

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

DESARROLLO DE APLICACIÓN PARA EL MONITOREO DE VARIABLES ENERGÉTICAS EN COMPRESORES DE SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Especialista en gestión de sistemas energéticos industriales

Presentado por:

**ALEJANDRO VARGAS CORTES
EDWIN ENRIQUE VELEZ JARAMILLO**

Docente asignatura y asesora metodológica:

MARIA VILMA GARCÍA BUITRAGO

Docente asesor técnico:

DANIEL HINCAPIÉ BAENA

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM
Facultad de Ingenierías
Departamento de Mecatrónica y Electromecánica
Medellín, Colombia
2025

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	05
			Fecha	11-06-2025

RESUMEN

Este trabajo de grado presenta el desarrollo de una solución tecnológica de bajo costo para el monitoreo de variables energéticas en sistemas de aire comprimido, con aplicación en una microempresa del sector MIPYME en Antioquia, Colombia. La investigación surge de la necesidad de mejorar la eficiencia energética en empresas que, por sus limitaciones económicas y técnicas, enfrentan barreras para implementar sistemas de gestión energética convencionales.

La solución propuesta consistió en el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos basado en sensores IoT, una base de datos MySQL y una interfaz de visualización desarrollada en Power BI. Se utilizó como caso de estudio un compresor rotativo de tornillo Ingersoll Rand UP6-10TAS-125 de 10 HP, instalado en una empresa que emplea herramientas neumáticas en sus procesos productivos. Se midieron variables eléctricas, térmicas y de presión mediante sensores PZEM-004T, HK1100C y DS18B20, integrados con un microcontrolador ESP32 programado en Arduino IDE.

El sistema permitió la captura continua de datos en tiempo real, los cuales fueron almacenados en una base de datos MySQL, de forma estructurada y visualizados mediante paneles interactivos. Estos tableros incluyeron gráficos de tendencia, tarjetas de valores actuales y alertas visuales para facilitar la interpretación de la información.

Los resultados demostraron que es posible implementar una solución de monitoreo energético de bajo costo, confiable y alineada con los principios de la Industria 4.0. El sistema, basado en un ESP32 y sensores IoT, permitió el seguimiento en tiempo real durante las mediciones, validando su capacidad para registrar y visualizar datos del proceso de compresión de aire, y mostrando su potencial de replicabilidad en empresas con recursos limitados.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

RECONOCIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este proyecto. En primer lugar, a nuestras familias por el acompañamiento y gran apoyo durante nuestro proceso académico, al Instituto Tecnológico Metropolitano – ITM y a sus docentes, por permitirnos la formación, el respaldo académico y los espacios necesarios para llevar a cabo esta iniciativa que emprendimos.

También, agradecemos profundamente a la empresa donde se desarrolló el caso de estudio, su colaboración, apertura y compromiso con la implementación de los sistemas de medición y monitoreo fueron fundamentales para alcanzar los resultados obtenidos.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

ACRÓNIMOS

MIPYME Micro, Pequeñas y Medianas Empresas
 IoT Internet de las Cosas
 ESP32 Microcontrolador con conectividad Wi-Fi y Bluetooth
 PLC Controladores Lógicos Programables
 SCADA Sistema de Supervisión, Adquisición y Control de Datos
 EMS Sistemas de Gestión Energética
 ISO Organización Internacional de Normalización
 SAM Sigma Air Manager
 SGE Sistema de Gestión Energética
 UVT Unidad de Valor Tributario
 DANE Departamento Administrativo Nacional de Estadística
 BT Baja Tensión
 MT Media Tensión
 AT Alta Tensión
 CFM Pies Cúbicos por Minuto
 PSI Libras por Pulgada Cuadrada
 FAD Aire Libre Suministrado
 DAX Expresiones de Análisis de Datos
 SQL Lenguaje de Consulta Estructurado
 HTTP Protocolo de Transferencia de Hipertexto
 PHP Hypertext Preprocessor
 CLI Interfaz de Línea de Comandos
 ODBC Conectividad de Bases de Datos Abiertas
 URL Localizador de Recursos Uniforme
 HTML Lenguaje de Marcado de Hipertexto

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	05
			Fecha	11-06-2025

LISTA CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Contexto energético en el sector MIPYME	11
2.2. Evolución del monitoreo energético industrial	15
2.3. Tecnologías emergentes para la eficiencia energética.....	17
2.4. Desafíos de adopción tecnológica en las MIPYMES.....	22
2.5. Estimación de costos según tipo de tecnología	23
2.6. Modelos de cálculo de desempeño energético en compresores	24
2.7. Herramientas de visualización de datos	28
3. METODOLOGÍA	31
4. INSTALACION DE EQUIPOS DE MEDICIÓN EN COMPRESOR.....	33
4.1 Instalación de los sensores	38
5. MEDICIONES Y VARIABLES.....	42
6. DISEÑO DE BASE DE DATOS	71
7. VISUALIZACIÓN INTERACTIVA DE DATOS	82
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	93
9. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	95
REFERENCIAS	97
ANEXOS	101

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

LISTA TABLAS

Tabla 1	Distribución de Empresas en Medellín por Tamaño (2023)	11
Tabla 2	Indicadores de MIPYMES en Colombia y Medellín	12
Tabla 3	Clasificación de empresas por sectores económicos en Colombia (2025).....	13
Tabla 4	Consumo energético anual y potenciales ahorros (MIPYMES – Medellín)	13
Tabla 5	Tabla de Costos Promedio del kWh Industrial en Antioquia por Nivel de Consumo (2022-2025).....	14
Tabla 6	Evolución cronológica del monitoreo energético industrial.....	16
Tabla 7	Impacto del monitoreo de variables en la eficiencia industrial	20
Tabla 8	Tabla comparativa plataformas	21
Tabla 9	Costos anuales estimados de tecnologías de monitoreo	23
Tabla 10	Tabla comparativa de costos anuales de Power BI y competidores (2023)	28
Tabla 11	Funciones de herramientas de análisis de datos	29
Tabla 12	Instalación de sistema de monitoreo en compresor industrial.....	34
Tabla 13	Características compresor Ingersoll Rand	34
Tabla 14	Escala de puntuación por criterio de evaluación	36
Tabla 15	Matriz de decisión para selección de la instrumentación instalada en el compresor.	37
Tabla 16	Resumen de los dispositivos y las variables medidas	43
Tabla 17	Tabla resumen comparativa (instrumento vs sensor)	52
Tabla 18	Regímenes operativos identificados	68
Tabla 19	Rangos operativos por variable	69
Tabla 20	Estrategia de muestreo adaptativo	69
Tabla 21	Métricas de calidad de datos.....	70
Tabla 22	Comparación bases de datos.....	71
Tabla 23	Diccionario de datos	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Beneficios al mejorar eficiencia del aire comprimido	19
Figura 2	Cuadro comparativo de funcionalidades de Sigma Air Manager y SMARTLINK	22
Figura 3	Etapas del proyecto.	31
Figura 4	Conexión de los sensores y ESP32	33
Figura 5	Compresor Ingersoll Rand UP6-10-125	35
Figura 6	Conexión de la bobina y línea de referencia para voltaje	38
Figura 7	Instalación de sensores de temperatura.....	39
Figura 8	Sensor de presión HK1100C.....	40
Figura 9	Variables eléctricas pinza UNI-T UT202+ y sensor PZEM-004T.	44
Figura 10	Grafica de comparación de mediciones de voltaje con UNI-T UT202+ y sensor PZEM 004-T.....	45
Figura 11	Variables eléctricas pinza UNI-T UT202+ y sensor PZEM-004T.	46
Figura 12	Gráfica de comparación de mediciones de corriente con UNI-T UT202+ y sensor PZEM 004-T	47
Figura 13	Variables térmicas pinza UNI-T UT202+ y sensor DS18B20.....	48
Figura 14	Grafica de comparación de mediciones de temperatura de succión con UNI-T UT202+ y sensor DS18B20.....	49
Figura 15	Variable presión manómetro compresor y sensor HK1100C.	50
Figura 16	Grafica de comparación de mediciones de presión con manómetro y sensor HK1100C.....	51
Figura 17	Grafica de voltaje	53
Figura 18	Gráfica de corriente.....	54
Figura 19	Gráfica de potencia	55
Figura 20	Gráfica de energía	56
Figura 21	Gráfica de factor de potencia	57
Figura 22	Gráfica de temperatura de succión y temperatura de salida.....	58
Figura 23	Gráfica de presión	59
Figura 24	Gráfica de flujo (m ³ /s) calculado.....	61
Figura 25	Gráfica de flujo (cfm) calculado	62
Figura 26	Gráfica de potencia específica ((kW/(m ³ /s)) calculado.....	63
Figura 27	Gráfica de potencias isentrópica, isotérmica, aire de descarga y calculada.....	65
Figura 28	Gráfica de eficiencias isentrópica, isotérmica y global calculadas.....	66
Figura 29	Base de datos implementada	72
Figura 30	Script para creación base de datos	73
Figura 31	Estructura base de datos	74

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Figura 32 Create database	75
Figura 33 Datos en la base de datos	76
Figura 34 Inicio de código para tarjeta ESP32.....	77
Figura 35 Conexión panel compresor Power BI con MySQL	78
Figura 36 Arquitectura de conexión	79
Figura 37 Herramienta WEB de monitoreo y prueba conceptual	80
Figura 38 Herramientas WEB del proyecto	83
Figura 39 Interfaz WEB	84
Figura 40 Panel principal Power BI.	85
Figura 41 Pestaña general en panel de control de Power BI (Voltaje).....	86
Figura 42 Pestaña general en panel de control de Power BI (Temperatura succión).....	87
Figura 43 Pestaña general en panel de control de Power BI (Temperatura salida).....	87
Figura 44 Pestaña general en panel de control de Power BI (Presión)	88
Figura 45 Pestaña potencias en panel de control de Power BI.....	89
Figura 46 Pestaña eficiencias en panel de control de Power BI.....	90
Figura 47 Creación de medidas calculadas	91
Figura 48 Proceso creación panel de control.....	92

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

1. INTRODUCCIÓN

En Antioquia, las MIPYMES enfrentan altos costos energéticos que afectan su competitividad y eficiencia operativa; factores como las condiciones de operación, las características de los equipos y las exigencias del proceso productivo influyen directamente en el consumo energético. Aunque la optimización energética puede ofrecer ahorros y mejoras operativas, muchas empresas carecen de herramientas tecnológicas y personal capacitado para procesar e interpretar datos en sistemas de monitoreo adecuadamente.

La falta de inversión y conocimientos técnicos limita a las MIPYMES en el seguimiento de su consumo eléctrico, esto impide identificar comportamientos de consumo y tomar decisiones informadas para reducir costos y gestionar mejor sus procesos. Esta problemática motivó la investigación orientada a desarrollar soluciones tecnológicas accesibles, diseñadas específicamente para las condiciones de estas empresas en el contexto regional.

El objetivo general del proyecto fue demostrar la viabilidad de un sistema de monitoreo energético mediante paneles interactivos aplicados a compresores de aire industrial. Esta tecnología busca facilitar el registro y análisis de variables críticas de operación, apoyando la toma de decisiones con base en información confiable y en tiempo real. El objetivo general se divide en 4 objetivos específicos que son: Seleccionar e instalar equipos de medición en compresor; Realizar mediciones y análisis de variables energéticas en un entorno real, aplicando un caso de estudio; Diseñar e implementar la arquitectura de base de datos para el almacenamiento de datos energéticos y Diseñar la visualización interactiva de los datos energéticos mediante gráficos y tablas dinámicas.

El desarrollo del proyecto se estructuró en etapas de la siguiente manera: identificación del sistema de medición, captura y análisis de datos, diseño de la base de datos y diseño de su adecuada visualización. Cada fase respondió a la necesidad de integrar hardware y software accesibles para permitir un monitoreo preciso, en tiempo real, y orientado a la comprensión del desempeño energético y operativo en las MIPYMES.

En el capítulo 4, se detalla la instalación del sistema de monitoreo en un compresor rotativo Ingersoll Rand UP6-10-125, utilizando sensores como el PZEM-004T, HK1100C y DS18B20, conectados a un ESP32. Se enfatiza la selección de componentes mediante una matriz multicriterio y las medidas de seguridad aplicadas durante la instalación para garantizar precisión y confiabilidad en las mediciones.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

En el capítulo 5, se identificaron variables críticas como consumo eléctrico, presión y temperatura para evaluar la eficiencia del compresor. Las mediciones se realizaron durante el año 2025, se tomaron datos durante 5 días, de lunes a viernes en el turno diurno de la empresa, considerando corrientes superiores a 1 A, permitiendo monitorear el rendimiento operativo.

En los capítulos 6 y 7, se hace referencia al software. describiendo en el capítulo 7, la estructura de la base de datos MySQL. con una tabla única para almacenar datos de sensores como voltaje, corriente y temperatura. Se comparan bases relacionales y no relacionales, destacando la simplicidad y eficiencia de la solución implementada para el monitoreo en tiempo real, integrada con el ESP32 y Power BI. En el capítulo 8 se explica la creación de paneles en Power BI para visualizar datos del compresor, conectados a la base de datos MySQL. Los gráficos interactivos permiten analizar tendencias y detectar anomalías, facilitando la toma de decisiones basada en datos.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo presenta una revisión del estado del arte sobre el consumo energético asociado a los sistemas de aire comprimido en el sector MIPYMES, el desarrollo de tecnologías para el monitoreo y gestión de datos energéticos en la industria, y las principales tendencias en el uso de herramientas digitales para el seguimiento del consumo. Además, se abordan los desafíos que enfrentan las MIPYMES en Colombia frente a la adopción tecnológica y se ofrece un panorama comparativo de los costos de implementación asociados a distintos tipos de soluciones. La información desarrollada en este apartado sustenta conceptualmente la propuesta tecnológica planteada en este trabajo.

2.1. Contexto energético en el sector MIPYME

El sector de las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) es fundamental para el desarrollo económico regional en Colombia, especialmente en departamentos como Antioquia; según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), las MIPYMES representan aproximadamente el 99% del total de las empresas en el país y generan alrededor del 80% del empleo formal (DANE, 2023).

En Medellín, las microempresas constituyen una parte significativa de la base empresarial, a continuación, se presenta en la Tabla 1, la distribución de las empresas en Medellín según su tamaño (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2023). En este se muestra que las microempresas constituyen la gran mayoría del tejido empresarial en Medellín, representando el 92.8% del total. Las pequeñas empresas siguen con un 5.3%, mientras que las medianas y grandes empresas representan una proporción significativamente menor, con un 1.3% y 0.5% respectivamente.

Tabla 1
Distribución de Empresas en Medellín por Tamaño (2023)

Tipo de Empresa	Número de Empresas	Porcentaje del Total
Microempresas	141,945	92.8%
Pequeñas	8,142	5.3%
Medianas	1,946	1.3%
Grandes	692	0.5%
Total	152,725	100%

Nota: Fuente de Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, Estudio Económico 2023.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

La distribución de empresas en Colombia y Medellín refleja una estructura empresarial dominada por el sector MIPYMES y las microempresas, lo que indica una economía con una alta concentración de unidades productivas de pequeño tamaño, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2
Indicadores de MIPYMES en Colombia y Medellín

Indicador	Valor estimado	Fuente
Participación de MIPYMES en el total de empresas	99%	DANE (2023)
Generación de empleo formal por MIPYMES	80%	DANE (2023)
Participación de microempresas en Medellín	89%	DANE (2023)
Activos menores a \$10,000,000 en microempresas	31.5%	DANE (2023)

Nota: Fuente encuesta de micronegocios DANE 2023.

Se reconoce que estas empresas enfrentan desafíos como el acceso limitado a financiamiento y tecnología avanzada, lo que restringe su capacidad para capitalizarse y crecer. Además, la regulación y formalidad administrativa en Colombia presentan desafíos adicionales para estas pequeñas unidades económicas, afectando su capacidad de escalar y aumentar su productividad (El País, 2024).

La competitividad de estas empresas se ve afectada por diversos factores, siendo los altos costos operativos uno de los más críticos. Dentro de estos, el consumo energético ocupa un lugar central debido a su incidencia directa en los procesos productivos.

En Colombia, el segmento empresarial está clasificado en micro, pequeñas, medianas y grandes empresas, de acuerdo con los valores anuales de ventas expresados en pesos, los cuales se determinan en función de la UVT (Unidad de Valor Tributario) (Bancóldex, s. f.).

La Tabla 3 clasifica las empresas colombianas por sectores económicos (manufactura, servicios, comercio) y tamaño (micro, pequeña, mediana, grande) según sus ingresos anuales en pesos para 2025. Establece los rangos monetarios específicos que definen cada categoría, utilizando la UVT (\$49.799) como referencia.

El consumo energético en las MIPYMES es significativo. En Medellín, por ejemplo, un estudio sobre eficiencia energética en microempresas identificó que las principales barreras para la adopción de medidas de eficiencia energética incluyen la ausencia de incentivos, los altos costos iniciales de inversión, la falta de conocimiento e información del empresario, la falta de disponibilidad de equipos eficientes y los riesgos técnicos. La implementación de medidas de eficiencia energética y tecnologías de monitoreo puede ofrecer beneficios significativos, como la reducción de costos de producción y operación, mejorando la

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

competitividad de las empresas. Sin embargo, las MIPYMES enfrentan desafíos para adoptar estas tecnologías debido a los altos costos de inversión y la falta de conocimiento técnico o personal calificado.

Tabla 3
Clasificación de empresas por sectores económicos en Colombia (2025)

Clasificación	Microempresas	Pequeñas empresas	Medianas empresas	Grandes empresas
Manufactura	Hasta \$1.173.413.837	Superior a \$1.173.413.837 y hasta \$10.208.546.005	Superior a \$10.208.546.005 y hasta \$86.479.200.435	Superior a \$86.479.200.435
Servicios	Hasta \$1.642.769.412	Superior a \$1.642.769.412 y hasta \$6.571.027.849	Superior a \$6.571.027.849 y hasta \$24.054.610.166	Superior a \$24.054.610.166
Comercio	Hasta \$2.229.451.431	Superior a \$2.229.451.431 y hasta \$21.473.129.604	Superior a \$21.473.129.604 y hasta \$104.600.300.908	Superior a \$104.600.300.908

Nota. Fuente Bancóldex, s. f. Los valores corresponden a ingresos anuales expresados en pesos colombianos. Clasificación basada en el valor de la UVT para 2025, equivalente a \$49.799 COP.

La Tabla 4 presenta el consumo energético anual de cuatro tipos de MIPYMES en Medellín, detallando su costo y gasto. Calcula un ahorro potencial mediante eficiencia energética (entre 15% y 25%), el monto estimado de dicho ahorro y el nuevo gasto anual resultante, utilizando un costo promedio de \$860,33 COP por kWh.

Tabla 4
Consumo energético anual y potenciales ahorros (MIPYMES – Medellín)

Tipo de Empresa	Consumo Energético Anual (kWh)	Costo por kWh (COP)	Gasto Energético Anual (COP)	Ahorro Potencial con EE (%)	Ahorro Estimado (COP)	Nuevo Gasto Anual (COP)
Panadería	36.000	865	31.140.000	20	6.228.000	24.912.000
Taller de costura	24.000	865	20.760.000	15	3.114.000	17.646.000
Cafetería	30.000	865	25.950.000	25	6.487.500	19.462.500
Imprenta pequeña	48.000	865	41.520.000	18	7.473.600	34.046.400

Notas: El costo del kWh esta promediado aproximadamente en \$865 COP/kWh (Promedio), basado en los datos y referencias de la Tabla 5.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

El valor promedio estimado del kWh industrial en Antioquia para 2025, considerando los rangos por nivel de tensión, el impuesto departamental de seguridad de \$61 COP/kWh y un aumento del 10% en tarifas, se sitúa aproximadamente entre \$860 y \$870 COP/kWh. Este valor integra las proyecciones de costos base y los ajustes regulatorios.

En la Tabla 5, se observa con más detalle los costos de kWh en el sector industrial en Antioquia (2022-2024), sin incluir cargos fijos, demanda ni impuestos, desglosados por niveles de consumo (bajo, medio, alto) y nivel de tensión (BT, MT, AT).

Según el Balance Energético Colombiano, el consumo final de energía por sector en Colombia ha mostrado niveles crecientes de consumo de energía en los últimos años, superando los niveles de prepandemia. En el sector industrial, que incluye a las MIPYMES, se observa una tendencia similar, lo que subraya la importancia de implementar estrategias de eficiencia energética para reducir costos y mejorar la competitividad (UPME, 2023).

Tabla 5

Tabla de Costos Promedio del kWh Industrial en Antioquia por Nivel de Consumo (2022-2025)

Año	Nivel de Tensión	Bajo Consumo (< 20 MWh/mes)	Medio Consumo (20-100 MWh/mes)	Alto Consumo (>100 MWh/mes)	Fuente
2022	Baja Tensión (BT)	\$500 – \$650	\$450 – \$600	\$400 – \$550	Res. CREG 015/2021, Informe EPM 2022
	Media Tensión (MT)	\$420 – \$550	\$380 – \$500	\$350 – \$450	Superservicios
	Alta Tensión (AT)	\$350 – \$450	\$320 – \$400	\$280 – \$350	Superservicios
2023	Baja Tensión (BT)	\$550 – \$700	\$480 – \$650	\$420 – \$580	Res. CREG 142/2022, Reporte CREG 2023
	Media Tensión (MT)	\$450 – \$600	\$400 – \$550	\$370 – \$480	CREG
	Alta Tensión (AT)	\$380 – \$480	\$350 – \$420	\$330 – \$400	EPM Tarifario
2024	Baja Tensión (BT)	\$600 – \$750	\$500 – \$700	\$460 – \$600	Res. CREG 097/2023, Datos preliminares CREG
	Media Tensión (MT)	\$480 – \$650	\$420 – \$600	\$400 – \$550	CREG
	Alta Tensión (AT)	\$400 – \$500	\$350 – \$450	\$320 – \$400	EPM 2024

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Año	Nivel de Tensión	Bajo Consumo (< 20 MWh/mes)	Medio Consumo (20-100 MWh/mes)	Alto Consumo (>100 MWh/mes)	Fuente
2025*	Baja Tensión (BT)	\$650 – \$800	\$600 – \$750	\$500 – \$650	Estimación basada en XM 2025, impuesto Antioquia y proyección 8-12% XM 2025 + proyección XM 2025 + proyección
	Media Tensión (MT)	\$550 – \$700	\$500 – \$650	\$450 – \$600	
	Alta Tensión (AT)	\$500 – \$600	\$450 – \$550	\$400 – \$500	

Nota: Valores en COP/kWh, sin incluir cargos fijos, demanda ni impuestos nacionales.

(*) Para 2025 los valores son referenciales y estimados, considerando precio promedio de contratos (XM), impuesto departamental de seguridad en Antioquia (61 COP/kWh) y un aumento estimado de 8-12 % en tarifas industriales.

2.2. Evolución del monitoreo energético industrial

En las últimas décadas, la industria ha presenciado una transformación radical en la manera en que se monitorea y gestiona el consumo energético. Este cambio ha sido impulsado por el desarrollo tecnológico, la necesidad de eficiencia operativa y la conciencia ambiental. Las soluciones actuales permiten una supervisión precisa en tiempo real, optimizando recursos y reduciendo el impacto ambiental (Controltec, s.f.). La evolución tecnológica ha hecho posible que las industrias pasen de métodos manuales a sistemas inteligentes y automatizados.

Desde los años 60, la introducción de tecnologías como los PLC (Controladores Lógicos Programables) marcó el inicio de la automatización industrial, estas herramientas permitieron reemplazar los antiguos relés mecánicos por soluciones electrónicas programables, haciendo los procesos más flexibles y confiables (Universidad Politécnica de Cartagena [UPCT], 2022). La evolución continuó con la llegada de los sistemas SCADA en los 70, que ofrecieron una visualización centralizada y control a distancia.

En los años 90, la industria dio un paso hacia la eficiencia energética con la adopción de los sistemas de gestión energética (EMS). Estos sistemas fueron clave para detectar y corregir ineficiencias, además de impulsar la certificación bajo normas como la ISO 50001 (UPCT, 2022). Esta década marcó el inicio de una mentalidad energética consciente dentro de los procesos industriales, centrada en la sostenibilidad.

El nuevo milenio trajo consigo el Internet de las Cosas (IoT), permitiendo que los dispositivos industriales compartieran datos en tiempo real desde cualquier ubicación. Esta conectividad

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

ha posibilitado un monitoreo energético más preciso y predictivo, mejorando la toma de decisiones (Innofreaks, 2023). Además, permite integrar sensores inteligentes, plataformas en la nube y algoritmos de análisis para anticiparse a fallos o sobreconsumos.

Con la integración de Big Data en la década de 2010, se dio paso a una era analítica en la gestión energética. El análisis de grandes volúmenes de datos ayuda a las industrias a comprender patrones de consumo, detectar anomalías y optimizar procesos (Datision, 2023), esto ha sido esencial para lograr reducciones significativas de costos operativos y minimizar la huella de carbono.

Finalmente, las soluciones en la nube surgidas en la década de 2020 han consolidado el monitoreo energético en tiempo real como una herramienta indispensable; estas plataformas integran IoT, Big Data y análisis predictivo, permitiendo una respuesta inmediata a cualquier variación en el consumo (Controltec, s.f.; Innofreaks, 2023). Así, la industria avanza hacia una gestión energética cada vez más eficiente, transparente y automatizada.

La Tabla 6, muestra la evolución del monitoreo energético industrial desde 1960. Comenzó con la automatización básica de los PLC, pasó por la visualización remota del SCADA y el análisis de los EMS, hasta llegar a la conectividad global del IoT, el análisis avanzado del Big Data y la gestión en la nube actual, que permite una respuesta instantánea y decisiones optimizadas.

Tabla 6
Evolución cronológica del monitoreo energético industrial

Década	Tecnología	Características clave	Impacto
1960	PLC	Control programable	Automatización básica
1970	SCADA	Visualización remota	Monitoreo en tiempo real
1990	EMS	Análisis de consumo	Mejora de eficiencia
2000	IoT	Conectividad global	Datos en tiempo real
2010	Big Data	Análisis avanzado	Decisiones optimizadas
2020	Nube + IoT	Gestión continua	Respuesta instantánea

Nota: Elaboración propia basada en Controltec (s.f.), UPCT (2022), Datision (2023), e Innofreaks (2023).

La evolución del monitoreo energético industrial ha transitado desde la automatización básica (PLC) en los 60 hasta la gestión integral en la nube actual. Cada década incorporó una nueva tecnología (SCADA, EMS, IoT, Big Data), ampliando sus capacidades desde el

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

control local hasta el análisis avanzado y la respuesta instantánea a nivel global, optimizando decisivamente la eficiencia y la toma de decisiones.

2.3. Tecnologías emergentes para la eficiencia energética

En la era de la transformación digital, la eficiencia energética industrial ha adquirido un protagonismo sin precedentes. La necesidad de reducir costos operativos, mitigar el impacto ambiental y mejorar la competitividad ha impulsado la adopción de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y la analítica avanzada (TodoIngenierías, 2023). Estas herramientas facilitan el monitoreo, análisis y optimización del consumo energético en tiempo real.

La Industria 4.0 ha consolidado un paradigma de automatización inteligente donde los sistemas interconectados permiten una gestión energética más precisa; a través de sensores, plataformas en la nube y algoritmos predictivos, las empresas pueden anticipar fallos, mejorar el rendimiento de sus activos y tomar decisiones informadas (Innovación CENS, 2024a).

Particularmente en los sistemas de aire comprimido, estas tecnologías permiten un uso más eficiente de la energía; soluciones como SMARTLINK o el Sigma Air Manager ofrecen visualización en tiempo real, análisis de desempeño y funciones de mantenimiento predictivo, adaptándose a la demanda energética de forma dinámica.

Las plataformas SaaS permiten a los gestores energéticos acceder a métricas clave desde cualquier dispositivo, facilitando el seguimiento de indicadores críticos como consumo, pérdidas y desempeño (Innovación CENS, 2024b). Una plataforma SaaS (Software as a Service) permite acceder a aplicaciones a través de internet, sin necesidad de instalación local, facilitando su uso, actualización y escalabilidad para los usuarios y empresas; por ejemplo, Google Workspace permite gestionar correos, documentos y reuniones en línea (Benlian, Hess, & Buxmann, 2009).

El uso de inteligencia artificial ha revolucionado la toma de decisiones en materia energética, a través de modelos de aprendizaje automático, es posible identificar patrones de uso y predecir necesidades futuras, optimizando así los recursos y reduciendo desperdicios (Novus, 2024).

Las aplicaciones industriales de estas tecnologías no se limitan a sectores energéticos, desde la industria automotriz hasta la alimentaria, el aire comprimido es esencial, y su eficiencia depende de una adecuada gestión energética. Esto subraya la importancia de soluciones tecnológicas adaptadas a cada entorno productivo (Suministros para la Industria, 2024).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

La evolución hacia un modelo energético inteligente es irreversible, las tecnologías emergentes no solo representan una ventaja competitiva, sino una necesidad operativa y ambiental. Este documento explora los principales avances, aplicaciones y beneficios de dichas tecnologías, con énfasis en sistemas de aire comprimido y su impacto en la sostenibilidad industrial.

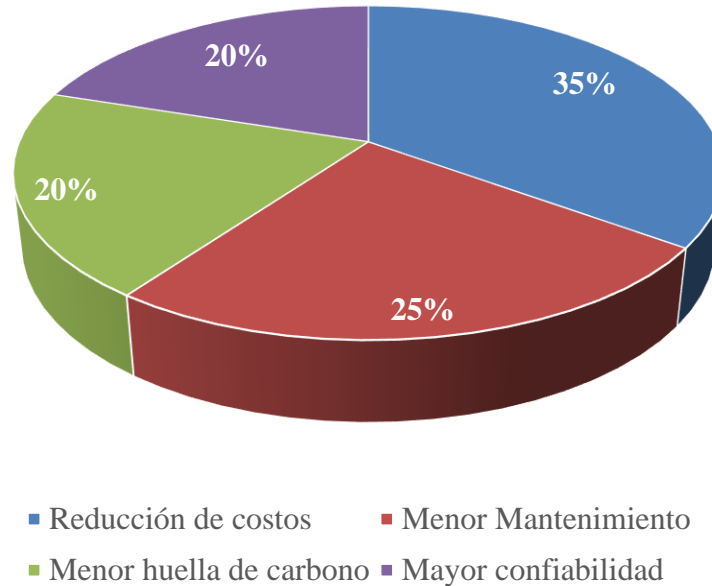
La eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido proporciona múltiples beneficios económicos y ambientales para la industria. Uno de los impactos más evidentes es la reducción significativa de los costos operativos, ya que el aire comprimido representa entre el 10 % y el 30 % del consumo energético industrial. Mejorar la eficiencia permite minimizar pérdidas por fugas, reducir la carga de compresores y optimizar el uso del aire a través de sistemas de control inteligente (TodoIngenierías, 2023). Además, al disminuir el desgaste de los equipos, se extiende su vida útil y se reducen los costos de mantenimiento (Suministros para la Industria, 2024). Esto no solo mejora la rentabilidad operativa, sino que también favorece la sostenibilidad ambiental al disminuir la huella de carbono de las operaciones.

Entre las herramientas más relevantes para mejorar la eficiencia energética en estos sistemas destacan aplicaciones como Excel para el análisis de datos, sensores IoT que identifican fugas y consumos inusuales, y plataformas de gestión en tiempo real, como Sigma Air Manager, que optimizan el funcionamiento de las redes de aire comprimido (Innovación CENS, 2024a). Asimismo, tecnologías de mantenimiento predictivo, como SMARTLINK de Atlas Copco, permiten programar intervenciones técnicas antes de que ocurran fallas, asegurando un funcionamiento continuo y eficiente. Estas soluciones no solo reducen paradas no planificadas, sino que también optimizan el uso de recursos energéticos de forma sostenible, como se observa en la Figura 1.

La adopción de tecnologías emergentes (IoT, IA, Analítica de Datos) ha transformado la gestión de la eficiencia energética industrial, desplazando el enfoque de auditorías periódicas hacia el monitoreo continuo y centralizado en tiempo real. Este paradigma, central a la Industria 4.0, permite una gestión energética inteligente y predictiva.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Figura 1
Beneficios al mejorar eficiencia del aire comprimido



Nota: Elaboración propia con base en TodoIngenierías (2023).

La validación confirma que el monitoreo de variables es fundamental para mejorar la eficiencia, ya que:

- Habilita la toma de decisiones informadas basada en datos y métricas precisas (consumo, pérdidas, rendimiento).
- Permite la optimización activa de los sistemas, adaptándose dinámicamente a la demanda para minimizar desperdicios.
- Reduce costos operativos y de mantenimiento al identificar ineficiencias (fugas), extender la vida útil de los equipos y evitar paradas no planificadas mediante mantenimiento predictivo.
- Mejora la sostenibilidad ambiental al reducir significativamente el consumo de energía y la huella de carbono.

En sistemas críticos como el aire comprimido, que consume hasta el 30% de la energía industrial, soluciones como Sigma Air Manager y SMARTLINK ejemplifican cómo la visualización de datos y el análisis predictivo se traducen directamente en ahorros económicos y operacionales. La eficiencia energética inteligente, impulsada por el monitoreo, es ahora una ventaja competitiva indispensable y una necesidad operativa.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

La Tabla 7, detalla cómo el monitoreo de variables industriales, mediante tecnologías IoT y analítica de datos, mejora la eficiencia. Permite visualizar el consumo en tiempo real, identificar fugas, optimizar la demanda y realizar mantenimiento predictivo. Esto genera ahorros energéticos, reduce costos operativos, extiende la vida útil de los equipos y minimiza las paradas no planificadas.

Tabla 7
Impacto del monitoreo de variables en la eficiencia industrial

Aspecto Monitorizado	Tecnologías Habilitadoras	Beneficios y Mejoras en la Eficiencia	Ejemplos del Texto
Consumo Energético	Sensores IoT, Plataformas SaaS (Cloud)	Visualización en tiempo real. Identificación de picos y consumos anómalos. Reducción directa de la factura eléctrica.	Plataformas que permiten acceder a métricas clave desde cualquier dispositivo.
Pérdidas por Fugas	Sensores acústicos IoT, Analítica de datos	Reducción de desperdicios de energía (aire, vapor, agua). Minimización de costos operativos.	Sensores IoT que identifican fugas y consumos inusuales en redes de aire comprimido.
Rendimiento de Activos	Sensores, Inteligencia Artificial, Algoritmos predictivos	Anticipación de fallos. Mejora del rendimiento y disponibilidad de los equipos. Optimización de puntos de operación.	Modelos de IA que identifican patrones y predicen necesidades futuras.
Demanda en Tiempo Real	Sistemas de Control Inteligente, IoT	Modulación y adaptación dinámica de la producción a la demanda real. Optimización automática de recursos.	Sigma Air Manager optimiza el funcionamiento de la red de forma dinámica.
Condición de los Equipos (Mantenimiento)	Mantenimiento Predictivo, Analítica avanzada	Reducción de costos de mantenimiento. Extensión de la vida útil de los equipos. Eliminación de paradas no planificadas.	SMARTLINK permite programar intervenciones antes de que ocurran fallas.

Nota: Elaboración propia basada en Benlian, Hess y Buxmann (2009); Innovación CENS (2024a, 2024b); Novus (2024); Suministros para la Industria (2024); TodoIngenierías (2023); así como en las siguientes fuentes: Controltec (s.f.); UPCT (2022); Datisation (2023); e Innofreaks (2023).

Sigma Air Manager (SAM) es un sistema de control maestro desarrollado por Kaeser Kompressoren para la gestión eficiente de sistemas de aire comprimido. Esta plataforma coordina el funcionamiento de múltiples compresores y equipos auxiliares, optimizando el consumo energético y mejorando la fiabilidad operativa del sistema. El SAM supervisa

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

variables clave como la presión, caudal y consumo energético, aplicando algoritmos de control predictivo para activar o desactivar compresores según la demanda. Además, permite la integración con sistemas SCADA y plataformas de monitoreo remoto mediante comunicación industrial estandarizada. Esta solución es esencial en instalaciones donde se busca mantener una presión constante, evitar arranques innecesarios y reducir costos operativos (Kaeser Kompressoren, 2023).

SMARTLINK es una plataforma digital desarrollada por Atlas Copco que permite el monitoreo remoto de sistemas de aire comprimido mediante la recolección, análisis y visualización de datos en tiempo real. A través de sensores y conectividad IoT, SMARTLINK recopila información sobre el estado del equipo, el consumo energético, condiciones de operación y eventos críticos. Esta herramienta facilita el mantenimiento predictivo, al enviar alertas anticipadas sobre posibles fallas, lo que ayuda a minimizar tiempos de inactividad y optimizar la eficiencia energética. SMARTLINK ofrece acceso a los datos desde cualquier lugar mediante una interfaz web o aplicación móvil, mejorando la gestión del sistema de aire comprimido y apoyando la toma de decisiones basadas en datos (Atlas Copco, 2023).

2.3.1. Comparación de Plataformas: Sigma Air Manager vs SMARTLINK

En la Tabla 8, se comparan las plataformas Sigma Air Manager (Kaeser) y SMARTLINK (Atlas Copco). Ambas ofrecen monitoreo remoto y optimización energética. SMARTLINK destaca por su predicción de mantenimiento e interfaz web/móvil nativa, mientras que Sigma Air Manager tiene mejor integración con SCADA. SMARTLINK es un sistema IoT, mientras que Sigma es un control maestro de compresores.

Tabla 8
Tabla comparativa plataformas

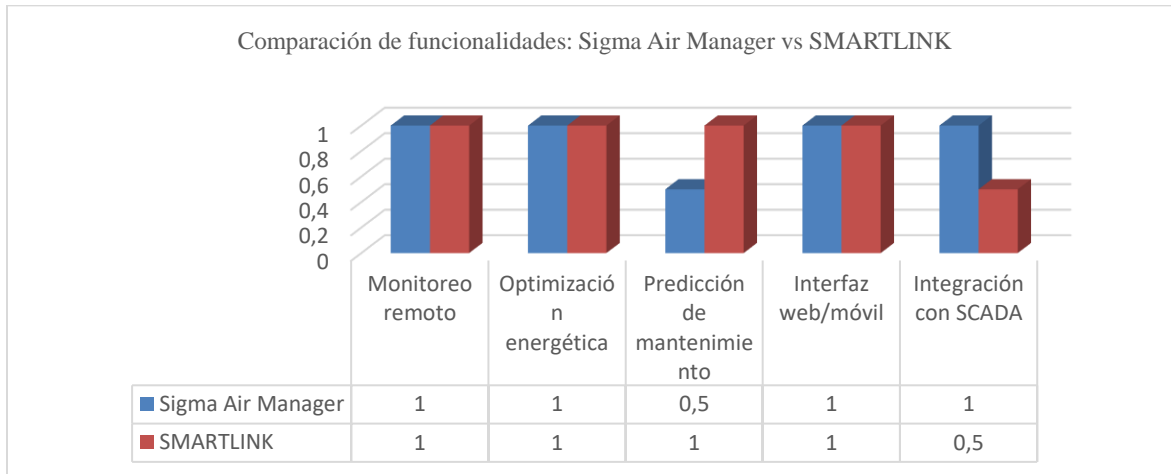
Características	Sigma Air Manager	SMARTLINK
Fabricante	Kaeser Kompressoren	Atlas Copco
Tipo de sistema	Control maestro de compresores	Monitoreo remoto IoT
Monitoreo remoto	Sí	Sí
Optimización energética	Sí	Sí
Predicción de mantenimiento	Limitado	Sí
Interfaz web/móvil	Sí (mediante conexión externa)	Sí
Integración con SCADA	Sí	Parcial

Nota: Elaboración propia con base en Kaeser Kompressoren y Atlas Copco (2023).

A continuación, en la Figura 2, se presenta una comparación entre las plataformas Sigma Air Manager (Kaeser Kompressoren) y SMARTLINK (Atlas Copco), utilizadas en el monitoreo y control de sistemas de aire comprimido industriales.

Figura 2

Cuadro comparativo de funcionalidades de Sigma Air Manager y SMARTLINK



Nota: Elaboración propia con base en Kaeser Kompressoren y Atlas Copco (2023).

2.4. Desafíos de adopción tecnológica en las MIPYMES

En el ámbito industrial, los sistemas de aire comprimido representan una de las áreas con mayor potencial de optimización energética, especialmente dentro de las MIPYMES. Estos sistemas, aunque esenciales para diversas operaciones, suelen presentar ineficiencias como fugas, sobrepresión y operación fuera del rango óptimo, lo que incrementa significativamente el consumo energético. Las tecnologías emergentes permiten implementar estrategias de monitoreo continuo que facilitan la detección de dichas ineficiencias mediante sensores de presión, caudalímetros y analizadores de consumo eléctrico. Estos dispositivos, conectados a plataformas de análisis en la nube, permiten una visualización en tiempo real del desempeño del sistema, lo que posibilita un mantenimiento predictivo y una toma de decisiones más informada (Mohanraj et al., 2021). Al adoptar estas herramientas, las empresas pueden reducir entre un 20 % y un 40 % su consumo energético asociado al aire comprimido (International Energy Agency [IEA], 2020).

Casos de éxito a nivel industrial demuestran la eficacia del monitoreo inteligente en sistemas de aire comprimido. Por ejemplo, una empresa del sector metalmecánico en Colombia implementó una solución basada en IoT para monitorear presión, temperatura y consumo energético de su sistema neumático. Gracias a esta intervención, la compañía logró detectar

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

pérdidas energéticas por fugas invisibles, optimizar el uso del compresor y reducir sus costos de operación en un 35 % (Ministerio de Minas y Energía, 2022). Otro caso en España mostró cómo el uso de plataformas de análisis energético permitió adaptar la producción de aire comprimido a la demanda real, disminuyendo los picos de consumo innecesarios (Rodríguez & Pérez, 2020).

Un ejemplo destacado es el de una planta de alimentos en Antioquia, la cual instaló sensores de caudal y presión junto a un sistema de control automático para modular la operación del compresor según la demanda real. Esta acción redujo en un 28 % el consumo energético del sistema y disminuyó los tiempos de inactividad operativa (UPME, 2021). Además, el monitoreo permitió detectar fugas críticas que eran responsables de pérdidas económicas relevantes para la empresa.

Otro caso exitoso se registró en el sector metalmeccánico en Bogotá, donde una pyme implementó un sistema de gestión energética que incluyó auditorías, corrección de fugas y sustitución de compresores ineficientes por modelos de alta eficiencia. Como resultado, la empresa logró una reducción del 33 % en el consumo de energía asociado al aire comprimido, además de prolongar la vida útil de los equipos y mejorar su competitividad (Ministerio de Minas y Energía, 2022). Estas experiencias confirman que el monitoreo y la optimización de sistemas neumáticos son una vía efectiva hacia la sostenibilidad. Estas experiencias evidencian que el monitoreo no solo mejora la eficiencia energética, sino que también fortalece la sostenibilidad operativa de las MIPYMES.

2.5. Estimación de costos según tipo de tecnología

Dado que el aspecto económico es una de las principales limitaciones para la incorporación de tecnología en las MIPYMES, a continuación, se presenta en la Tabla 9, con estimaciones de costos anuales en dólares (USD) por año, según el tipo de tecnología de monitoreo energético a implementar. Esta información permite contextualizar el impacto económico de cada alternativa y apoyar la elección de soluciones viables para este tipo de empresas.

Tabla 9
Costos anuales estimados de tecnologías de monitoreo

Tecnología de Monitoreo	Costo Anual Estimado (USD)	Fuente
Sensores IoT	\$5,000 – \$50,000	IEEE (2020)
Software de análisis de datos (Power BI, Tableau)	\$1,200 – \$10,000	Microsoft (2023)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Tecnología de Monitoreo	Costo Anual Estimado (USD)	Fuente
Plataformas de mantenimiento predictivo	\$10,000 – \$100,000	IEA (2021)
Sistemas de automatización y control	\$20,000 – \$200,000	Rodríguez y Pérez (2020)

Nota: Elaboración propia.

Conscientes de que los costos de implementación suelen ser elevados para una micro, pequeña o mediana empresa (MIPYMES), y considerando las características de la empresa y del equipo objetivo de la investigación, se validaron los sensores y la plataforma que serían utilizados en la implementación, con el propósito de demostrar la viabilidad de una aplicación de bajo costo.

Antes de implementar tecnologías de eficiencia energética y monitoreo, es fundamental realizar un análisis detallado de los costos involucrados; este análisis permite a las MIPYMES planificar adecuadamente su inversión, evaluar la viabilidad del proyecto y tomar decisiones informadas que favorezcan su sostenibilidad económica y operativa. Antes de presentar los resultados del sistema implementado, se describen los modelos termodinámicos utilizados para evaluar el desempeño energético del compresor. Estos modelos permiten estimar parámetros clave como el trabajo requerido, la eficiencia y el consumo específico de energía, fundamentales para el análisis técnico del sistema.

2.6. Modelos de cálculo de desempeño energético en compresores

Los modelos de cálculo energético en compresores son fundamentales para analizar su desempeño, identificar pérdidas energéticas y diseñar estrategias de mejora. Estos modelos permiten estimar el trabajo, la eficiencia isentrópica, y el consumo específico de energía bajo distintas condiciones operativas. Su aplicación contribuye a optimizar el uso de la energía, reducir costos operativos y minimizar el impacto ambiental. En la industria, donde el aire comprimido puede representar hasta el 30% del consumo eléctrico, estos cálculos son clave para la eficiencia energética (CEN, 2021; Saidur et al., 2010).

El desempeño de un compresor se puede evaluar mediante parámetros como la relación de compresión, el trabajo requerido, la eficiencia y el flujo volumétrico. Estos cálculos se basan en principios termodinámicos del comportamiento de gases ideales en procesos isotérmicos o isentrópicos. Este documento describe los modelos de cálculo isentrópicos, e isotérmicos.

La norma ISO 1217:2016 proporciona un marco estandarizado para evaluar el desempeño energético de compresores, destacando la importancia de los procesos isotérmicos,

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

isentrópicos y en la determinación de la eficiencia. Estos procesos permiten analizar las pérdidas energéticas y comparar el rendimiento real del compresor con los casos ideales.

2.6.1. Proceso Isentrópico

Un proceso isentrópico considera la compresión sin transferencia de calor, siendo útil para evaluar condiciones ideales sin irreversibilidades.

El trabajo isentrópico se calcula como:

$$W_{isen} = \frac{K \cdot R \cdot T_1}{K - 1} \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \quad (1)$$

Donde K es la razón de calores específicos, R la constante del gas, T_1 la temperatura inicial, y p_2/p_1 la relación de presiones (ISO 1217:2016).

La Potencia Isentrópica se calcula como:

$$P_{isen} = qv_1 \cdot p_1 \frac{K}{K - 1} \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \quad (2)$$

Donde qv_1 es el flujo de aire, K es la razón de calores específicos, y p_2/p_1 la relación de presiones (ISO 1217:2016).

La Eficiencia Isentrópica se calcula como:

$$\eta_{isen} = \frac{1}{p_{spec}} \cdot p_1 \frac{K}{K - 1} \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \quad (3)$$

Donde, P_{spec} es la potencia específica, p_1 y p_2 son presiones y K es la razón de calores específicos.

2.6.2. Proceso Isotérmico

El proceso isotérmico (ideal) representa la compresión a temperatura constante, donde la eficiencia isotérmica (η_{iso}) compara la potencia teórica mínima con la potencia real

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

absorbida. Este representa el trabajo mínimo teórico para compresión continua, calculado como:

$$W_{isot} = R \cdot T_1 \cdot \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad (4)$$

Donde R la constante del gas, T_1 la temperatura inicial, y p_2/p_1 la relación de presiones (ISO 1217:2016).

La Potencia Isotérmica se calcula como:

$$P_{isot} = qv_1 \cdot p_1 \cdot \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad (5)$$

Donde qv_1 es el flujo de aire y p_2/p_1 la relación de presiones (ISO 1217:2016).

La Eficiencia Isotérmica se calcula como:

$$\eta_{isot} = \frac{1}{p_{spec}} \cdot p_1 \cdot \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad (6)$$

Donde, P_{spec} es la potencia específica y, p_1 y p_2 son presiones.

2.6.3. Flujo volumétrico

La norma ISO 1217:2016 define el flujo volumétrico entregado Q (o QFAD) como el volumen de aire comprimido que suministra un compresor, referido a las condiciones estándar de entrada (1 bar absoluto, 20 °C y 0% de humedad relativa). Este valor se calcula midiendo el diferencial de volumen ($V_2 - V_1$) que pasa por el compresor en un intervalo de tiempo (Δt). Los volúmenes V_1 y V_2 se ajustan a las condiciones de referencia utilizando las presiones y temperaturas medidas en instantes de tiempo determinados, respectivamente, para garantizar una medición precisa y estandarizada independiente de las condiciones ambientales locales.

Fórmula del Flujo Volumétrico (Q)

$$Q = \frac{V_2 - V_1}{\Delta t} \quad (7)$$

Donde V_1 y V_2 es el volumen medido y delta t es el diferencial de tiempo de medición.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Fórmula para el volumen en condiciones de tiempo 1 (V_1)

$$V_1 = V_T \left(\frac{P_1 + P_{atm} + (T_{ref} + 273.15)}{P_{ref} + (T_1 + 273.15)} \right) \quad (8)$$

Donde, V_T es el volumen de gas medido en el recipiente de almacenamiento, P_1 es la presión manométrica de tiempo 1 en el punto de medición, P_{atm} es la presión atmosférica absoluta local, P_{ref} es la presión de referencia absoluta estandarizada, T_1 es la temperatura del tiempo 1, T_{ref} es la temperatura de referencia estandarizada y 273,15 es el factor de conversión de grados Celsius a Kelvin.

Fórmula para el volumen en condiciones de tiempo 2 (V_2)

$$V_2 = V_T \left(\frac{P_2 + P_{atm} + (T_{ref} + 273.15)}{P_{ref} + (T_2 + 273.15)} \right) \quad (9)$$

Donde, V_T es el volumen de gas medido en el recipiente de almacenamiento P_2 es la presión manométrica del tiempo 2, P_{atm} es la presión atmosférica absoluta local, P_{ref} es la presión de referencia absoluta estandarizada, T_2 es la temperatura del tiempo 2, T_{ref} es la temperatura de referencia estandarizada y 273,15 es el factor de conversión de grados Celsius a Kelvin.

2.6.4. Potencia específica

La potencia específica (specific power) es un indicador clave de eficiencia energética en compresores, definido como la potencia absorbida por unidad de flujo volumétrico entregado. Según la norma ISO 1217:2016, este parámetro permite comparar el rendimiento de diferentes compresores bajo condiciones estandarizadas.

Fórmula de la Potencia Específica

$$Potencia\ Especifica\ (kWh/m^3) = \frac{P}{Q_{FAD}} \quad (10)$$

Donde P es la potencia absorbida en el eje del compresor (kW) y Q_{FAD} es el caudal de aire libre entregado

La norma ISO 1217:2016 estandariza el cálculo de la potencia específica, proporcionando una métrica confiable para evaluar la eficiencia real de los compresores.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

La norma ISO 1217:2016 indica también que el FAD (Free Air Delivery) o Aire Libre Suministrado es el flujo volumétrico entregado (Q) por un compresor, referido a condiciones estándar de entrada (1 bar absoluto, 20 °C y 0% de humedad). Se denomina "aire libre" porque estandariza la medición, eliminando la ambigüedad causada por las condiciones ambientales variables como altitud, temperatura o humedad, que afectan la densidad del aire.

Esto permite obtener una medida objetiva, comparable y justa de la capacidad real del equipo, ya que cuantifica el volumen de aire que aspiraría en esas condiciones ideales fijas, independientemente de su ubicación operativa. Así, el FAD garantiza una evaluación precisa y uniforme del rendimiento entre distintos compresores y fabricantes.

2.7. Herramientas de visualización de datos

Power BI destaca por su integración con el ecosistema Microsoft (Azure, Excel, SQL Server), su costo accesible (versión gratuita y licencias empresariales competitivas) y su facilidad de uso para usuarios no técnicos. Ofrece herramientas avanzadas como DAX (lenguaje de análisis de datos), soporte para IA y actualizaciones en tiempo real. Además, su escalabilidad lo hace ideal para empresas de todos los tamaños (Microsoft, 2023). Comparado con competidores como Tableau (más costoso) o Qlik (curva de aprendizaje más pronunciada), Power BI equilibra potencia, precio y usabilidad.

Esta opción es más rentable para empresas que ya usan herramientas Microsoft. Alternativas como Tableau o Looker son mejores para necesidades específicas (ej. visualizaciones avanzadas o integración con Google Cloud). Herramientas open-source como Metabase son ideales para presupuestos limitados.

La Tabla 10, compara los costos anuales de Power BI y sus principales competidores (2023). Power BI destaca por su plan básico gratuito y su opción empresarial económica (\$9.99/usuario/mes). En contraste, herramientas como Tableau, Olik Sense y Domo presentan precios significativamente más altos, mientras que Looker y Metabase requieren inversiones personalizadas o anuales sustanciales.

Tabla 10

Tabla comparativa de costos anuales de Power BI y competidores (2023)

Herramienta	Plan Básico	Plan Empresarial	Notas	Referencia
Power BI	Gratis	\$9.99/usuario/mes	Incluye integración con Office 365	Microsoft (2023)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Herramienta	Plan Básico	Plan Empresarial	Notas	Referencia
Tableau	\$12/usuario/mes	\$70/usuario/mes	Costo elevado para equipos grandes	Tableau (2023)
Qlik Sense	\$30/usuario/mes	Personalizado	Modelo de precios complejo	Qlik (2023)
Looker (Google)	Personalizado	\$50,000+/año	Requiere Google Cloud	Google Cloud (2023)
Domo	\$42/usuario/mes	Personalizado	Enfoque en datos en tiempo real	Domo (2023)
Metabase	Gratis (open-source)	\$85,000/año (empresa)	Ideal para startups	Metabase (2023)

Nota. Referencias: Domo. (2023). Pricing. <https://www.domo.com/pricing>; Google Cloud. (2023). Looker Pricing. <https://cloud.google.com/looker>; Microsoft. (2023). Power BI Pricing. <https://powerbi.microsoft.com/pricing/>; Qlik. (2023). Qlik Sense Pricing. <https://www.qlik.com/us/products/qlik-sense/pricing>; Tableau. (2023). Pricing. <https://www.tableau.com/pricing>

A continuación, en la Tabla 11, se describe las principales funciones de cada herramienta de análisis de datos mencionada

Tabla 11
Funciones de herramientas de análisis de datos

Herramienta	Descripción	Enfoque Principal
Power BI	Herramienta de visualización de datos e inteligencia empresarial. Permite crear informes y paneles interactivos con integración en Office 365.	BI y visualización de datos para empresas.
Tableau	Plataforma de análisis y visualización de datos avanzada. Ideal para exploración de datos y creación de dashboards interactivos.	Visualización avanzada y análisis ad-hoc.
Qlik Sense	Herramienta de BI con análisis asociativo. Permite descubrir relaciones en los datos mediante un motor de búsqueda intuitivo.	Descubrimiento de datos y análisis predictivo.
Looker (Google)	Plataforma de BI basada en la nube que utiliza lenguaje de modelado (LookML). Integración con Google Cloud y BigQuery.	BI en la nube y análisis de Big Data.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Herramienta	Descripción	Enfoque Principal
Domo	Plataforma de BI en tiempo real con dashboards personalizables y automatización de flujos de datos.	Datos en tiempo real y colaboración empresarial.
Metabase	Herramienta de código abierto para visualización y consultas de datos. Ideal para startups y equipos técnicos.	BI sencillo y autoservicio para empresas pequeñas.

Nota. Referencias: Domo. (2023). Pricing. <https://www.domo.com/pricing>; Google Cloud. (2023). Looker Pricing. <https://cloud.google.com/looker>; Microsoft. (2023). Power BI Pricing. <https://powerbi.microsoft.com/pricing/>; Qlik. (2023). Qlik Sense Pricing. <https://www.qlik.com/us/products/qlik-sense/pricing>; Tableau. (2023). Pricing. <https://www.tableau.com/pricing>

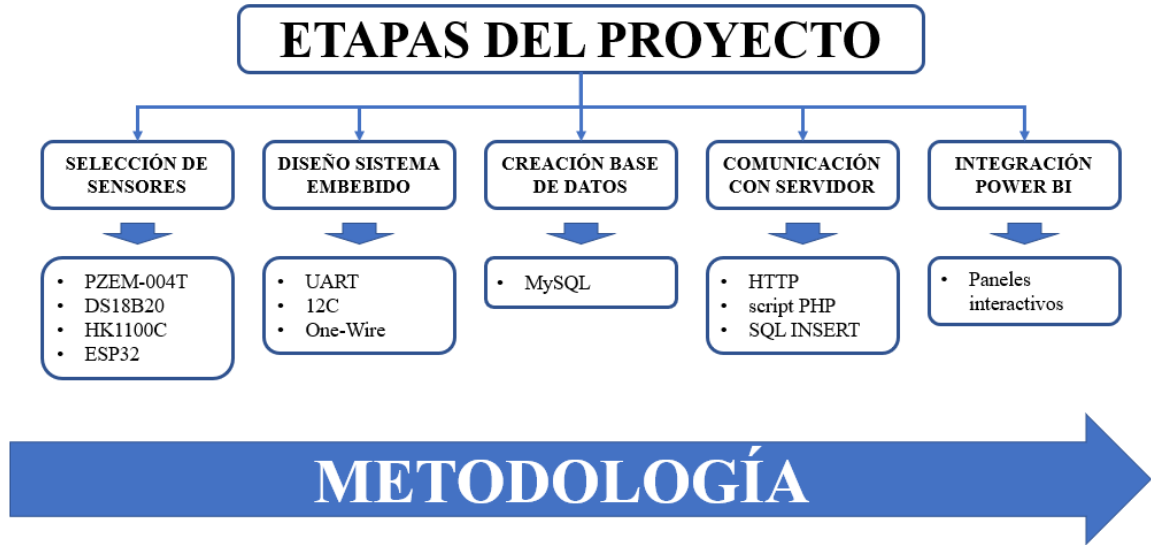
En conclusión, Power BI se posiciona como la herramienta más rentable y accesible, especialmente para empresas dentro del ecosistema Microsoft. Ofrece un equilibrio ideal entre potencia, usabilidad y costo, con un plan gratuito y licencias empresariales económicas. Mientras, alternativas como Tableau o Qlik cubren necesidades de visualización avanzada o análisis predictivo, y opciones como Metabase son viables para presupuestos limitados o equipos técnicos.

3. METODOLOGÍA

El método empleado de investigación, con un componente experimental, se desarrolló en una microempresa del sector de materiales compuestos, siguiendo etapas integradas que permitieron implementar un sistema completo de adquisición, almacenamiento y visualización de datos en tiempo real; el objetivo fue evaluar el desempeño energético de un compresor de aire, identificando ineficiencias y proponiendo mejoras. Se definieron las fases principales: selección de sensores, diseño del sistema embebido, creación de la base de datos, comunicación con el servidor e integración con Power BI.

La Figura 3, describe las cinco etapas metodológicas del proyecto. Comienza con la selección de sensores (PZEM-004T, DS18B20, HK1100C), el diseño del sistema embebido con ESP32, la creación de la base de datos MySQL, la comunicación con el servidor mediante un script PHP, y finaliza con la integración de paneles interactivos en Power BI para el análisis de datos.

Figura 3
Etapas del proyecto.



Nota: Elaboración propia

La selección de sensores se basó en la medición de variables críticas: voltaje, corriente, potencia, energía, frecuencia, factor de potencia, presión y temperatura en dos puntos estratégicos. Se emplearon sensores PZEM-004T, DS18B20 y HK1100C, conectados a un

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

ESP32. Las mediciones se realizaron en el año 2025, durante cinco días en turno diurno, considerando solo valores con corriente superior a 1 A.

El diseño del sistema de adquisición utilizó el microcontrolador ESP32, que integró los sensores mediante protocolos UART, I2C y One-Wire. El dispositivo procesó y normalizó los datos, estructurándolos en formato JSON para su transmisión por Wi-Fi. Esta arquitectura permitió escalabilidad, compatibilidad con plataformas IoT y facilidad de integración con sistemas de almacenamiento y visualización.

La base de datos se creó en MySQL para almacenar las variables medidas con organización y eficiencia. Se consideraron alternativas de servidores gratuitos como PlanetScale, Aiven, Clever Cloud y Oracle MySQL. El sistema embebido transmitió los datos al servidor mediante solicitudes HTTP, donde un script PHP procesó y almacenó la información utilizando sentencias SQL tipo INSERT.

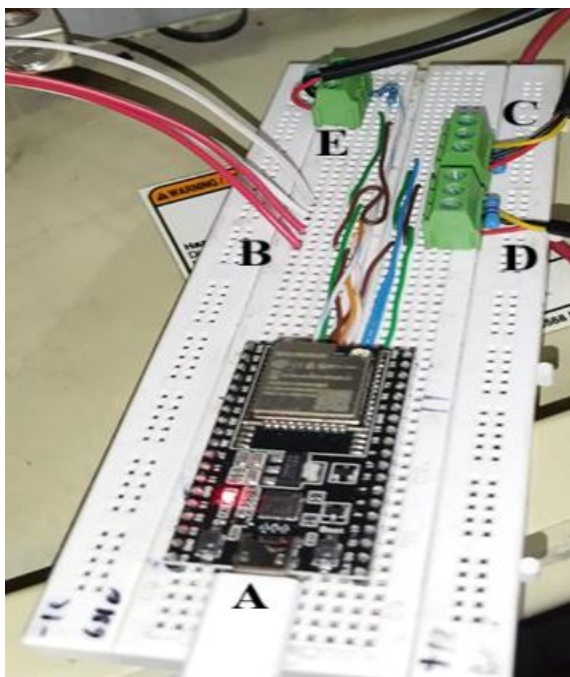
Finalmente, Power BI se integró con la base de datos, permitiendo la visualización en tiempo real de las variables a través de paneles interactivos. Esto facilitó la identificación de tendencias y la toma de decisiones. Cada etapa se validó iterativamente, garantizando fiabilidad y consolidando una solución integral de monitoreo energético del sistema de aire comprimido.

4. INSTALACION DE EQUIPOS DE MEDICIÓN EN COMPRESOR

Para realizar la instalación de la aplicación de monitoreo de variables energéticas en compresores de sistemas de aire comprimido se optó por un compresor rotativo de tornillo Ingersoll Rand UP6-10-125, con una capacidad de aire comprimido: 38 CFM (1.08 m³/min) nominales a una presión de trabajo de 125 PSI (8.6 bar), con un motor de 10 HP (7.5 kW). con el cual ya contaba la empresa de materiales compuestos, para suministrar aire a tres cabinas de pintura y acabados finales, utilizándolo en sus procesos industriales de pulido, pintura y otros acabados.

El ESP32 fue ubicado en una zona protegida del compresor, libre de humedad y de vibraciones, asegurando durabilidad y un correcto funcionamiento. La alimentación del ESP32 se realizó mediante una fuente de 5V/2A conectada a un tomacorriente cercano, garantizando estabilidad operativa. El uso de borneras facilitó el ensamblaje y posible mantenimiento del sistema, tal como se muestra en la Figura 4.

Figura 4
Conexión de los sensores y ESP32



Ítems	Elementos
A	ESP32
B	Sensor PZEM-004T
C	Sensor DS18B, Temperatura de entrada
D	Sensor DS18B, Temperatura de salida
E	Sensor HK1100C

Nota: Fotografía del autor.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

La Tabla 12, detalla la instalación de un sistema de monitoreo para un compresor Ingersoll Rand, mediante una matriz multicriterio, se seleccionaron componentes como el sensor PZEM-004T, HK1100C, DS18B20 y el microcontrolador ESP32, priorizando precisión, bajo costo y fácil integración para medir parámetros eléctricos, de presión y temperatura.

Tabla 12

Instalación de sistema de monitoreo en compresor industrial.

Equipo Monitoreado		
Compresor	Ingersoll Rand UP6-10-125	
Especificaciones	10 HP 38 CFM 125 PSI	
Selección de Componentes (Matriz de decisión multicriterio)		
Componente	Selección Final	Justificación Principal
Sensor eléctrico	PZEM-004T v3.0	Alta precisión, fácil integración UART
Sensor presión	HK1100C	Precisión alta, bajo costo
Sensor temperatura	DS18B20 (x2)	Precisión, bajo costo, 1-Wire
Microcontrolador	ESP32	Conectividad WiFi, BLE, múltiples interfaces
Instalación y Conexiones		
Sensor	Conexión / Ubicación	
PZEM	Bobina inductiva en línea de alimentación (fase R o T)	
DS18B20	Ubicación 1: Línea de succión (aire frío)	
	Ubicación 2: Tubería de salida (aire caliente). Fijación: Pasta térmica metálica	
HK1100C	Conectado vía I2C	
General	Todos los sensores conectados a ESP32 mediante protoboard	

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 13, se presentan las características técnicas principales del compresor Ingersoll Rand UP6-10-125. Estos datos proporcionan una descripción general del equipo y constituyen la base para definir las variables de medición implementadas en el sistema.

Tabla 13

Características compresor Ingersoll Rand

Característica	Especificación
Modelo	UP6-10-125
Tipo de compresor	Tornillo rotativo lubricado
Potencia nominal	10 HP (7.5 kW)
Voltaje	200 V, 3 fases

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Característica	Especificación
Capacidad de aire	38 CFM (1.08 m ³ /min)
Presión máxima	125 psig (8.6 bar)
Refrigeración	Por aire
Aplicaciones típicas	Industria automotriz, talleres generales

Fuente: Ingersoll Rand. (s.f.).

La Figura 5, es una fotografía tomada por el autor, muestra el equipo que fue monitoreado en el estudio.

Figura 5
Compresor Ingersoll Rand UP6-10-125



Nota: Fotografía del autor

Para garantizar una selección adecuada de los componentes del sistema de monitoreo del compresor, se utilizó una matriz de decisión multicriterio, evaluando diferentes alternativas en función de parámetros clave como: precisión, costo, facilidad de integración, compatibilidad y confiabilidad.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Los componentes evaluados fueron:

- Sensor de corriente y parámetros eléctricos: PZEM-004T v3.0 vs SCT-013 + ADC vs INA219
- Sensor de presión: HK1100C vs. MPX5050DP vs MS5611
- Sensor de temperatura: DS18B20 vs. LM35 vs DHT22
- Microcontrolador: ESP32 vs. Arduino Uno vs Raspberry Pi Pico

Criterios de Evaluación:

- Precisión: Concordancia entre mediciones repetidas.
- Rango de medición: Adecuación a los valores esperados en el compresor.
- Relación calidad-precio: Equilibrio entre beneficios y costos.
- Consumo energético: Eficiencia en sistemas de monitoreo continuo.
- Disponibilidad en el mercado: Accesibilidad para su adquisición.

A continuación, en la Tabla 14, se presenta la escala de puntuación (1-5) utilizada para evaluar cada criterio en la matriz de decisión:

Tabla 14
Escala de puntuación por criterio de evaluación

Criterio	Puntuación 1 (Bajo)	Puntuación 3 (Medio)	Puntuación 5 (Alto)
Precisión	Baja exactitud (>5% error)	Exactitud media (1-5% error)	Alta exactitud (<1% error)
Rango de medición	No cubre requisitos	Cubre parcialmente requisitos	Cubre completamente requisitos
Relación calidad - precio	Alto (premium)	Medio (relación calidad-precio aceptable)	Bajo (mejor relación calidad-precio)
Consumo energético	Alto (>50mA)	Medio (10-50mA)	Bajo (<10mA)
Disponibilidad	Difícil adquisición (tiempos largos)	Disponibilidad media (algunos proveedores)	Alta disponibilidad (inmediata, múltiples proveedores)

Fuente: Elaboración propia.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Los dispositivos seleccionados (PZEM-004T, HK1100C, DS18B20 y ESP32) obtuvieron la máxima puntuación en la matriz de decisión, tal como se observa en la Tabla 15.

Tabla 15

Matriz de decisión para selección de la instrumentación instalada en el compresor.

Componente	Alternativas	Precisión	Rango de medición	Relación calidad - precio	Consumo energético	Disponibilidad	Puntuación Total (Promedio)
Sensor Eléctrico	PZEM-004T v3.0	5	5	5	5	5	5.0
	SCT-013 + ADC	3	3	3	3	3	3.0
	INA219	5	3	3	5	5	4.2
Sensor de Presión	HK1100C	5	5	5	5	5	5.0
	MPX5050DP	3	3	3	3	3	3.0
	MS5611	5	1	3	5	5	3.8
Sensor de Temp.	DS18B20 (Digital)	5	5	5	5	5	5.0
	LM35 (Analógico)	3	3	5	3	5	3.8
	DHT22	3	4	3	5	5	4.0
Microcontrolador	ESP32 (Wi-Fi/BLE)	5	5	3	5	5	4.6
	Arduino Uno	3	1	5	3	5	3.4
	Raspberry Pi Pico	5	3	3	5	5	4.2

Nota. Pesos iguales: Cada criterio (Precisión, Rango de medición, etc.) tiene el mismo peso en el cálculo de la puntuación total. Cálculo: La puntuación total es el promedio de las puntuaciones de los 5 criterios para cada alternativa. Por ejemplo, para el PZEM-004T v3.0: $(5+5+5+5+5)/5=5.0$.

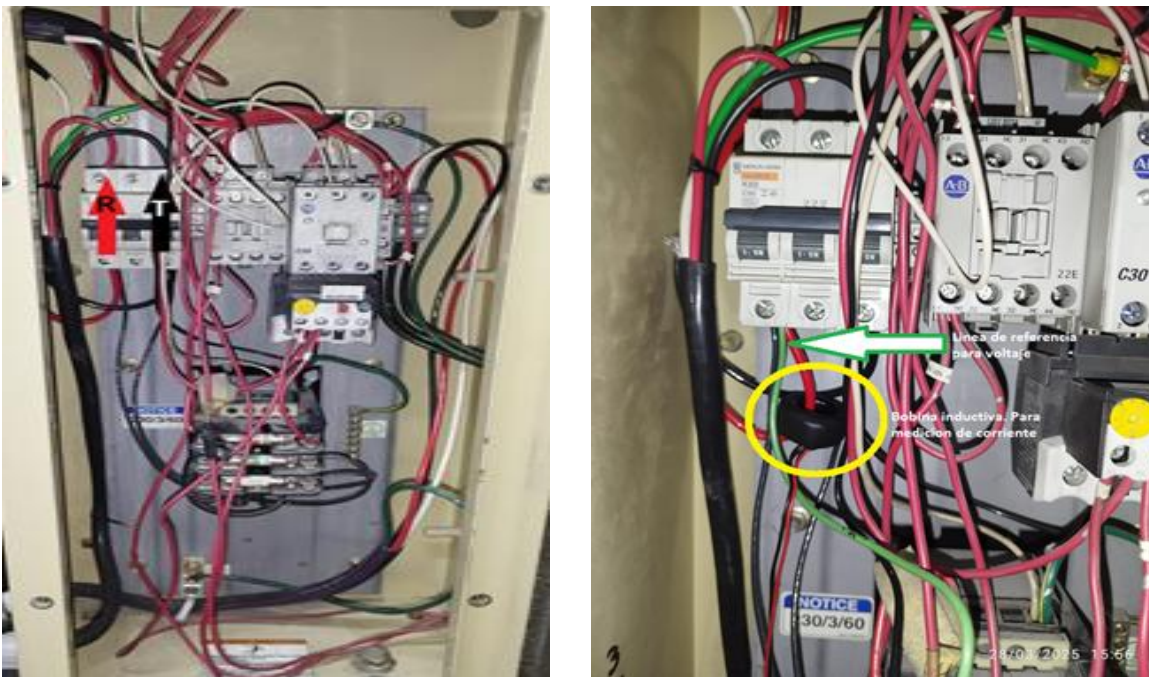
Este análisis metodológico confirma que los componentes seleccionados (PZEM-004T, HK1100C, DS18B20 y ESP32) son óptimos en precisión, integración y relación calidad - precio para el monitoreo del compresor.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

4.1 Instalación de los sensores

La instalación del sensor PZEM-004T se llevó a cabo conectando la bobina inductiva a una de las líneas de alimentación del compresor, y un cable de referencia de voltaje a la misma fase. En la Figura 6, se presentan tanto el breaker principal del compresor como las conexiones realizadas para el módulo PZEM-004T, la correcta identificación y ubicación de las líneas R y T garantizó la fidelidad en la lectura de las variables eléctricas.

Figura 6
Conexión de la bobina y línea de referencia para voltaje



Nota. Fotografía del autor. (A) Línea de voltaje para referencia del PZEM-004T, (B) Conexión de la bobina para medición de la corriente

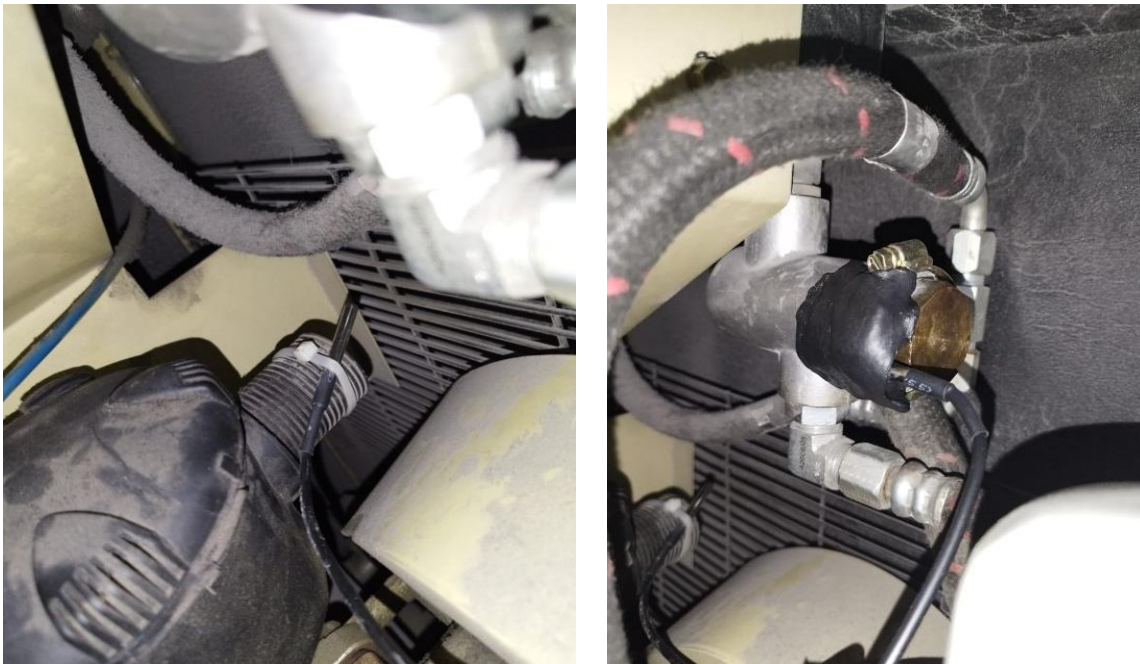
Durante la instalación se aplicaron medidas de seguridad eléctrica, con el fin de prevenir errores y proteger tanto al personal técnico como al equipo, estas acciones cumplieron con las normas básicas de protección en instalaciones eléctricas industriales, asegurando la integridad del sistema y la confiabilidad de los datos obtenidos.

La medición de la temperatura del aire comprimido fue esencial para monitorear la eficiencia térmica del compresor. Se utilizaron dos sensores DS18B20, por su precisión, bajo costo y compatibilidad con el ESP32; uno fue ubicado en la salida de aire y el otro en la tubería de succión del compresor. Estos puntos se eligieron tras un análisis térmico del flujo de aire, buscando reflejar variaciones de temperatura antes y después del proceso de compresión.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

La fijación de los sensores DS18B20 se realizó utilizando pasta térmica y abrazaderas metálicas para asegurar una transmisión de calor efectiva. En la Figura 7, se muestran las ubicaciones precisas: el sensor de salida colocado externamente sobre la tubería caliente, y el de entrada en la línea de succión. Estas medidas permiten calcular la eficiencia térmica y detectar posibles sobrecalentamientos.

Figura 7
Instalación de sensores de temperatura



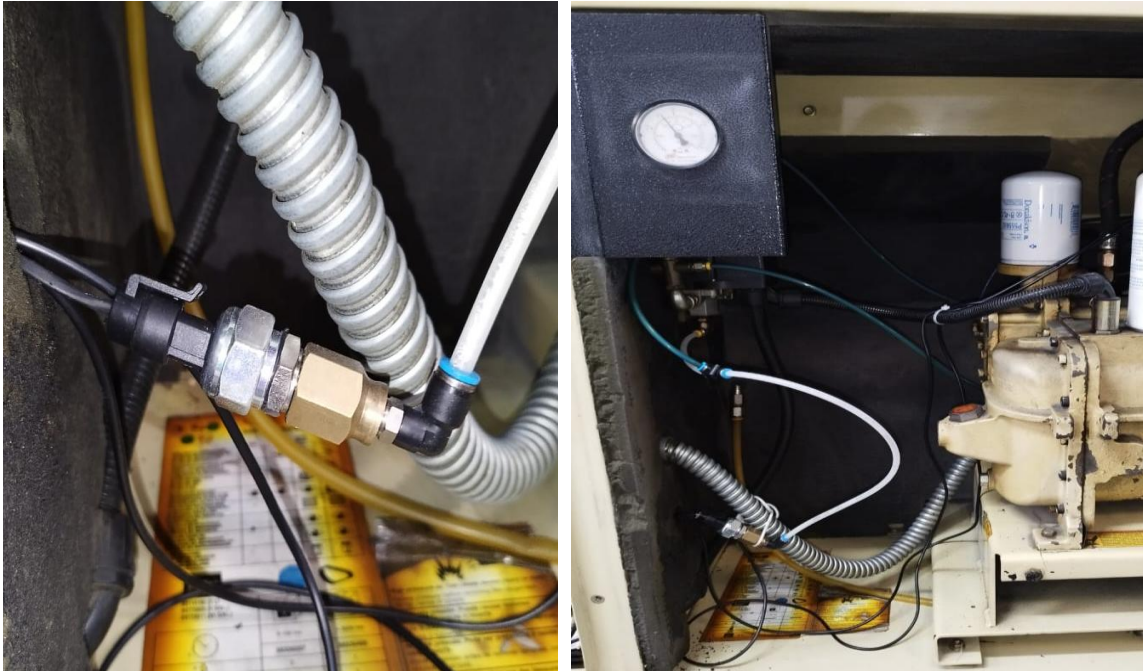
Nota. Fotografía del autor. (A) Instalación de sensor de temperatura en el ducto de succión de aire del compresor, (B) instalación de sensor de temperatura en el ducto de salida de aire del compresor.

Para la instalación del sensor de presión en el compresor, se aprovechó la tubería en la cual se encuentra conectado el manómetro; a partir de este punto se realizó una derivación, que permitió la conexión del sensor de presión HK1100C, tal como se ilustra en la Figura 8.

La conexión eléctrica del sensor se llevó a cabo sobre la protoboard, siguiendo el diagrama de cableado recomendado por el fabricante para garantizar el correcto funcionamiento del dispositivo. De esta manera, fue posible integrar la señal de presión del compresor al sistema de monitoreo.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Figura 8
Sensor de presión HK1100C



Nota. Fotografía del autor. (A) Sensor de presión HK1100C, (B) conexión derivada del manómetro para conectar el sensor de presión.

La integración de los sensores se realizó a través de una protoboard conectada al microcontrolador ESP32 (Figura 6). La conexión física se realizó de la siguiente manera: A - Módulo ESP32, encargado de la adquisición de datos y transmisión hacia la plataforma de monitoreo. B - Sensor de variables eléctricas PZEM-004T, utilizado para la medición de tensión, corriente y potencia del compresor. C y D - Sensores de temperatura DS18B20, empleados para registrar la temperatura en puntos estratégicos del sistema. E - Sensor de presión HK1100C, conectado previamente a la derivación de la tubería del manómetro, encargado de registrar la presión del compresor.

La integración de los sensores en la protoboard permitió un cableado ordenado y la utilización de borneras, lo cual facilitó tanto el ensamblaje inicial como las labores de mantenimiento.

La programación del ESP32 se ejecutó en el entorno de desarrollo Arduino IDE, se cargó un código que permite leer datos del PZEM-004T, HK1100C y de los sensores DS18B20, utilizando librerías especializadas como PZEM004T y OneWire (como se observa en Anexo 1). Esta configuración posibilita el monitoreo en tiempo real de parámetros eléctricos y térmicos, esenciales para evaluar el rendimiento del compresor (Sarma & Mandal, 2020).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Una vez cargado el firmware, se verificó la lectura de datos mediante el monitor serial del IDE de Arduino. El sistema fue validado conectando temporalmente el ESP32 a un computador portátil para asegurar que la información llegaba correctamente, posterior a esto, se habilitó el envío de datos a un servidor en la nube mediante conexión Wi-Fi, para esto se debe configurar una conexión segura mediante protocolos de seguridad como SSL/TLS y gestionar usuarios con permisos remotos (MySQL, 2023).

Herramientas como MySQL Workbench facilitan la administración de la base de datos (Oracle, 2022). Se recomienda documentar cada paso, incluyendo la configuración de endpoints y políticas de seguridad (Amazon Web Services, 2021); posteriormente se habilitó la visualización remota mediante un tablero creado por los autores en la herramienta Power BI.

El sistema de monitoreo implementado para el compresor industrial Ingersoll Rand UP6-10-125 integró componentes seleccionados mediante una matriz multicriterio que priorizó la precisión, el costo y la facilidad de integración, todos gestionados por un microcontrolador.

La instalación consistió en conectar el sensor eléctrico en la línea de alimentación, fijar los sensores de temperatura con pasta térmica en puntos clave y comunicar los dispositivos vía protocolos UART, I2C y One-Wire hacia el ESP32. Esta configuración permitió la adquisición fiable de datos para su posterior análisis, demostrando una solución efectiva y accesible para el monitoreo en tiempo real del equipo.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

5. MEDICIONES Y VARIABLES

La operación de un compresor de aire en los sistemas industriales requiere la identificación y el registro de variables clave que describen su comportamiento. Para este proyecto se realizó un análisis técnico del compresor Ingersoll Rand UP6-10-125 de 10 HP, definiendo las principales variables a medir con el fin de caracterizar su operatividad.

La selección de variables se realizó a partir de las especificaciones técnicas del equipo, el compresor opera con alimentación trifásica de 208–230/460 V, una potencia nominal de 10 HP y una presión de trabajo estándar de 125 PSI. Estos valores se tomaron como parámetros de referencia para la configuración de los dispositivos de medición y la validación de las variables registradas.

El primer parámetro identificado fue el consumo energético, medido en kilovatios-hora (kWh), esta variable resultó esencial para cuantificar el gasto energético real del compresor durante su funcionamiento y detectar ineficiencias que impactan los costos operativos (Efficiency Valuation Organization, 2020).

La presión de operación fue otra variable prioritaria, las fluctuaciones en esta presión influyen directamente sobre el consumo de energía, un nivel de presión superior al requerido incrementa el consumo sin aportar valor adicional al proceso productivo (Comité Sectorial de Gestión Energética, 2021).

Asimismo, se consideró la temperatura del aire comprimido como variable crítica, dado que afecta tanto la eficiencia del sistema de secado como la calidad del aire entregado. Un aire comprimido a mayor temperatura, mayor trabajo de compresión necesario, lo que repercute negativamente en el desempeño global del sistema.

El caudal de aire comprimido, medido en CFM (pies cúbicos por minuto), se incorporó como un indicador de rendimiento operativo; que, combinado con el consumo energético, permitió calcular indicadores como la potencia específica (SP) (kW/(m³/s)), útil para comparar la eficiencia entre diferentes equipos.

En la Tabla 16, se resumen los dispositivos utilizados y las variables medidas en el sistema: el PZEM-004T para parámetros eléctricos (tensión, corriente, potencia, energía), el HK1100C para presión y el DS18B20 para temperaturas en succión y descarga del compresor. Además de la integración de estos sensores al microcontrolador, se realizaron mediciones comparativas de variables como voltaje, corriente, temperatura y presión

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

utilizando instrumentos de referencia. Esta verificación permitió determinar el error asociado a cada sensor y asegurar la confiabilidad de los datos adquiridos en el sistema de monitoreo.

Tabla 16
Resumen de los dispositivos y las variables medidas

Dispositivo	VARIABLES MEDIDAS	UNIDADES
PZEM-004T	Voltaje	Voltios (V)
	Corriente	Amperios (A)
	Potencia	Vatios (W)
	Energía	Kilovatios-hora (kWh)
	Frecuencia	Hertz (Hz)
	Factor de Potencia	Adimensional (0-1)
HK1100C	Presión	Libras por pulgada cuadrada (psi)
DS18B20 (Sensor 1)	Temperatura del aire en la succión del compresor	Grados Celsius (°C)
DS18B20 (Sensor 2)	Temperatura del aire en la descarga del compresor	Grados Celsius (°C)

Nota: Elaboración propia

Para validar la precisión de los sensores del sistema, se realizó un procedimiento de calibración comparando sus mediciones con las de instrumentos de referencia. El multímetro UNI-T UT202+ se utilizó como patrón para contrastar los datos de voltaje y corriente obtenidos por el sensor PZEM-004T. De igual forma, se calibraron los sensores de temperatura DS18B20; para el sensor de presión HK1100C se utilizó un manómetro analógico instalado en el compresor, respectivamente, bajo condiciones estables de operación para garantizar la confiabilidad de las mediciones.

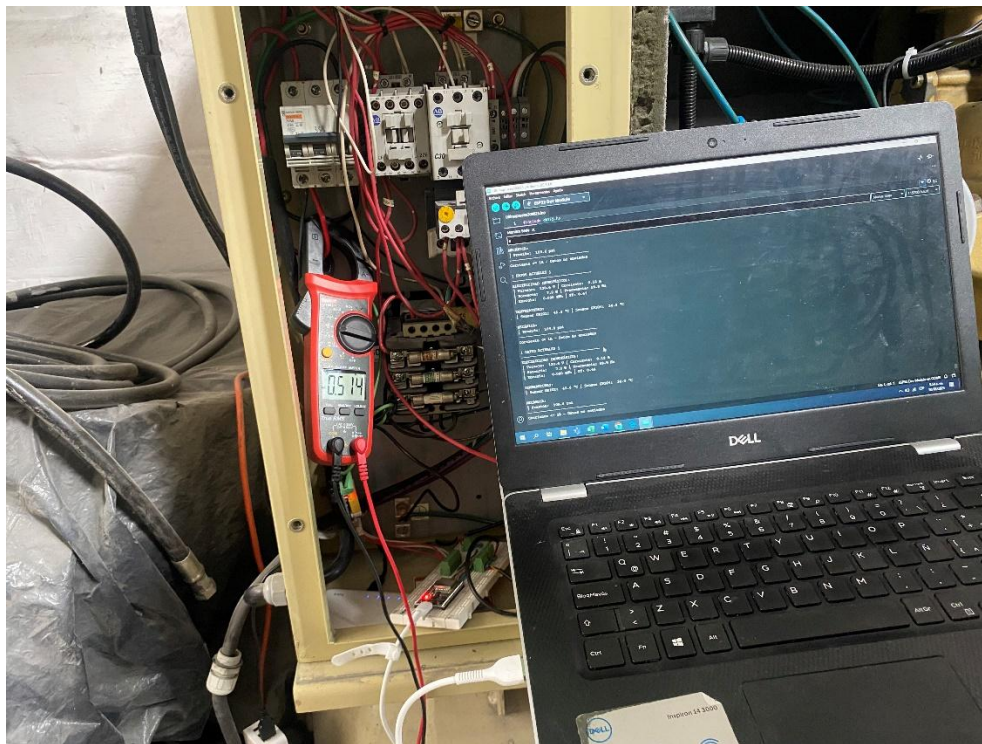
	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

5.1 Verificación y calibración de medición de sensores

Para la validación de la medición de voltaje se utilizó el sensor PZEM-004T, cuya lectura fue contrastada con un multímetro digital de referencia UNI-T UT202+. Durante la prueba se registraron valores en condiciones de operación estables, permitiendo comparar la exactitud del sensor frente al instrumento patrón. En la Figura 9, se muestra la fotografía del montaje realizado, mientras que en la Figura 10, se presenta la gráfica de comparación entre ambas mediciones.

Figura 9

Variables eléctricas pinza UNI-T UT202+ y sensor PZEM-004T.



Nota: Fotografía tomada por el autor.

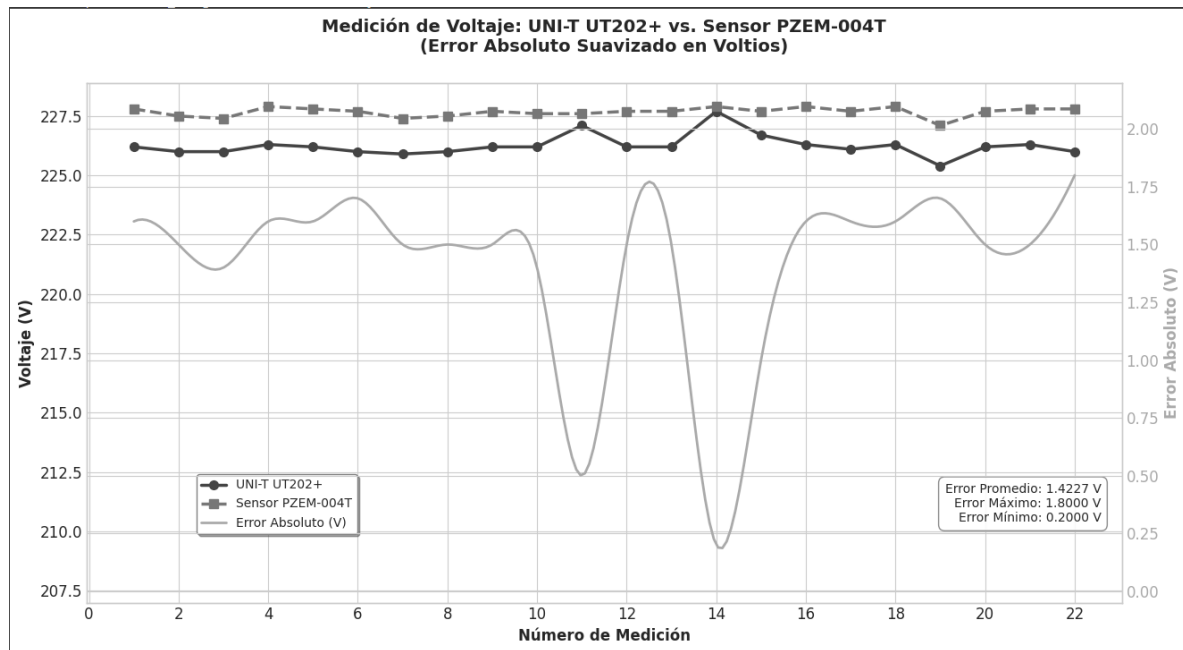
La toma de mediciones de voltaje en la línea de 230 V se realizó comparando los valores captados por los sensores instalados frente al instrumento de referencia (pinza UNI-T UT202+). En general, los valores mostraron una concordancia cercana, con un margen de error absoluto máximo de $\pm 0,3$ V en 110 V y $\pm 0,5$ V en 230 V, lo que representa una desviación menor al 0,5 %.

La Figura 10, muestra la comparación de mediciones de voltaje realizadas con la pinza UNI-T UT202+ y el sensor PZEM-004T. Se observa una alta concordancia entre ambos

dispositivos, evidenciada en que el error absoluto suavizado se mantuvo estable durante las mediciones, sin superar en ningún caso un valor máximo de 0.11 V.

Figura 10

Grafica de comparación de mediciones de voltaje con UNI-T UT202+ y sensor PZEM 004-T

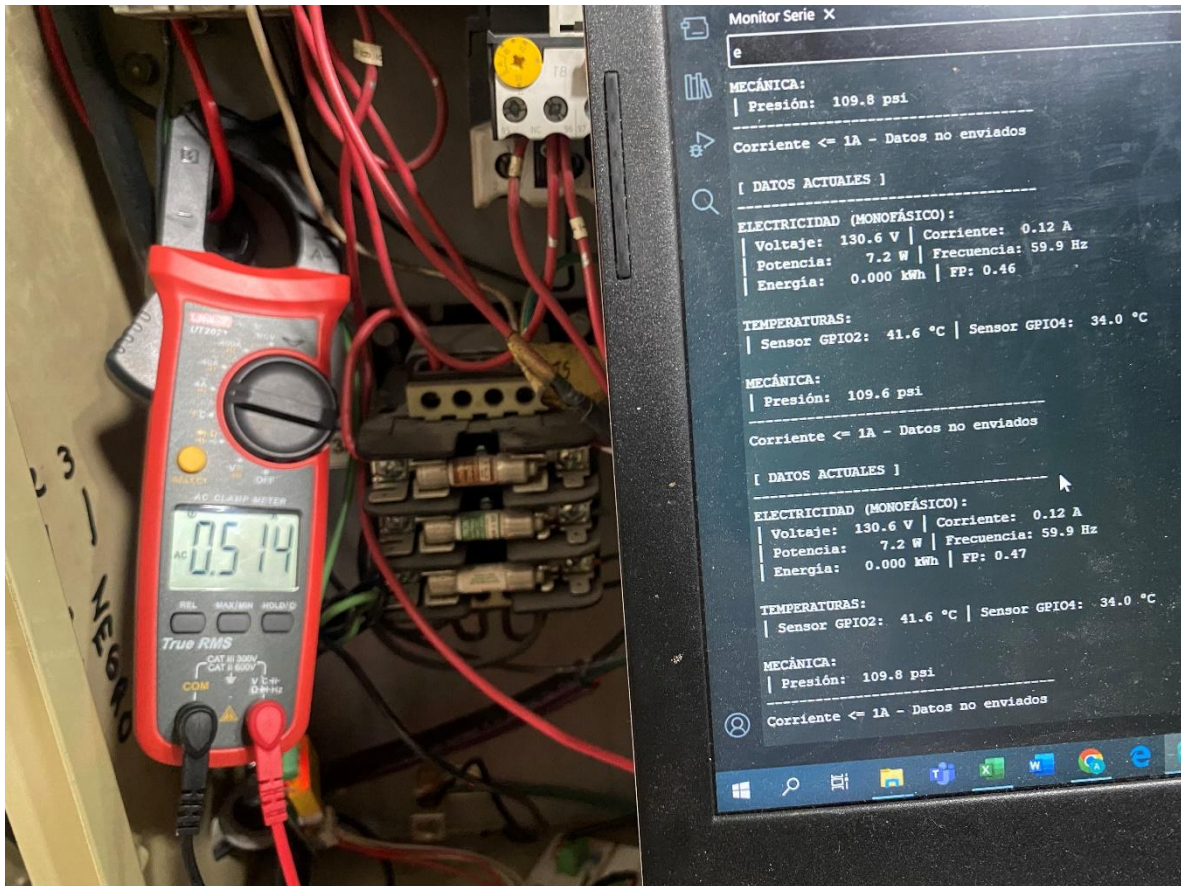


Nota: Cada registro de mediciones tiene un intervalo de 1 segundo, por lo tanto, se tiene un intervalo de 22 segundos de muestreo.

La variable de corriente fue medida por el sensor PZEM-004T y verificada mediante una pinza amperimétrica (UNI-T UT202+). Se realizaron registros en diferentes condiciones de carga del compresor, obteniendo lecturas simultáneas en ambos dispositivos. La Figura 11, corresponde a la evidencia fotográfica de la prueba, y en la Figura 12, se observa la gráfica comparativa donde se aprecia la correlación de los datos.

Figura 11

Variables eléctricas pinza UNI-T UT202+ y sensor PZEM-004T.



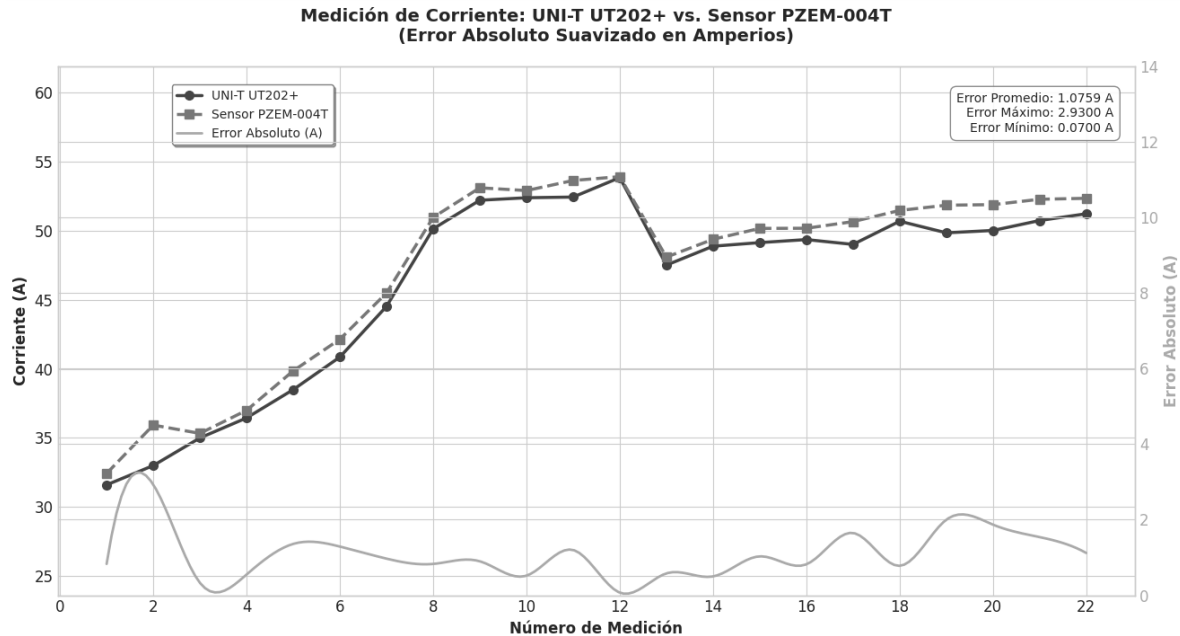
Nota: Fotografía tomada por el autor.

Para la corriente, se empleó la misma pinza UNI-T UT202+ como instrumento patrón y se contrastó con los valores entregados por el sensor conectado al sistema. Se evidenció que las lecturas del sensor tendieron a ser ligeramente inferiores, con un margen de error máximo de $\pm 0,02$ A.

La Figura 12, compara las mediciones de corriente entre un multímetro UNI-T UT202+ y el sensor PZEM-004T. El error absoluto promedio fue de 0.3% A, con un error mínimo de 0.1% A, demostrando una alta precisión y confiabilidad del sensor en la captura de datos de corriente.

Figura 12

Gráfica de comparación de mediciones de corriente con UNI-T UT202+ y sensor PZEM 004-T



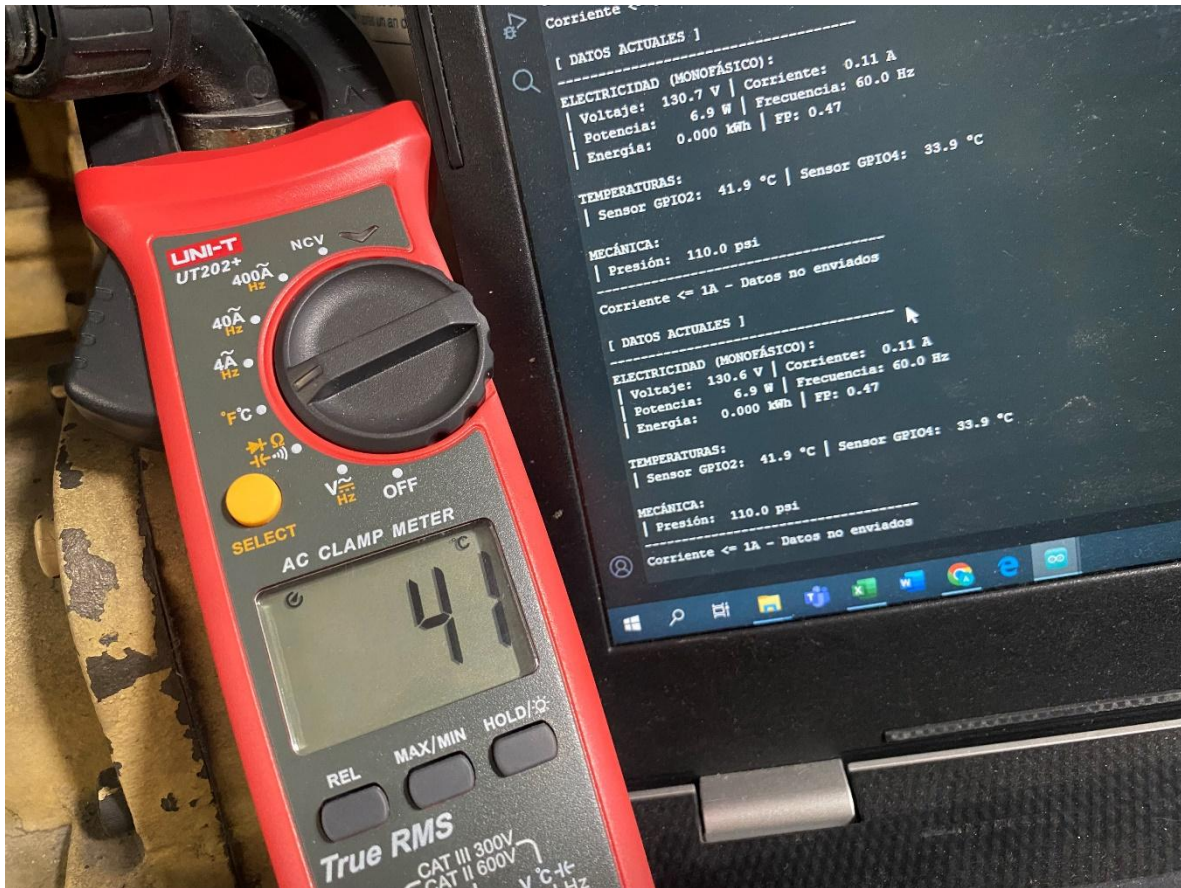
Nota: Elaboración propia.

Para la comparación de las mediciones de temperatura se utilizaron los sensores DS18B20 ubicados en la succión y descarga del compresor. Las lecturas se contrastaron con la misma pinza amperimétrica (UNI-T UT202+) que también tiene la opción de medición de temperatura, tomando registros en los mismos puntos de muestreo. En la Figura 13 se incluye la fotografía del procedimiento y en la Figura 14 la gráfica de comparación entre ambas fuentes de medición.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Figura 13

Variables térmicas pinza UNI-T UT202+ y sensor DS18B20.



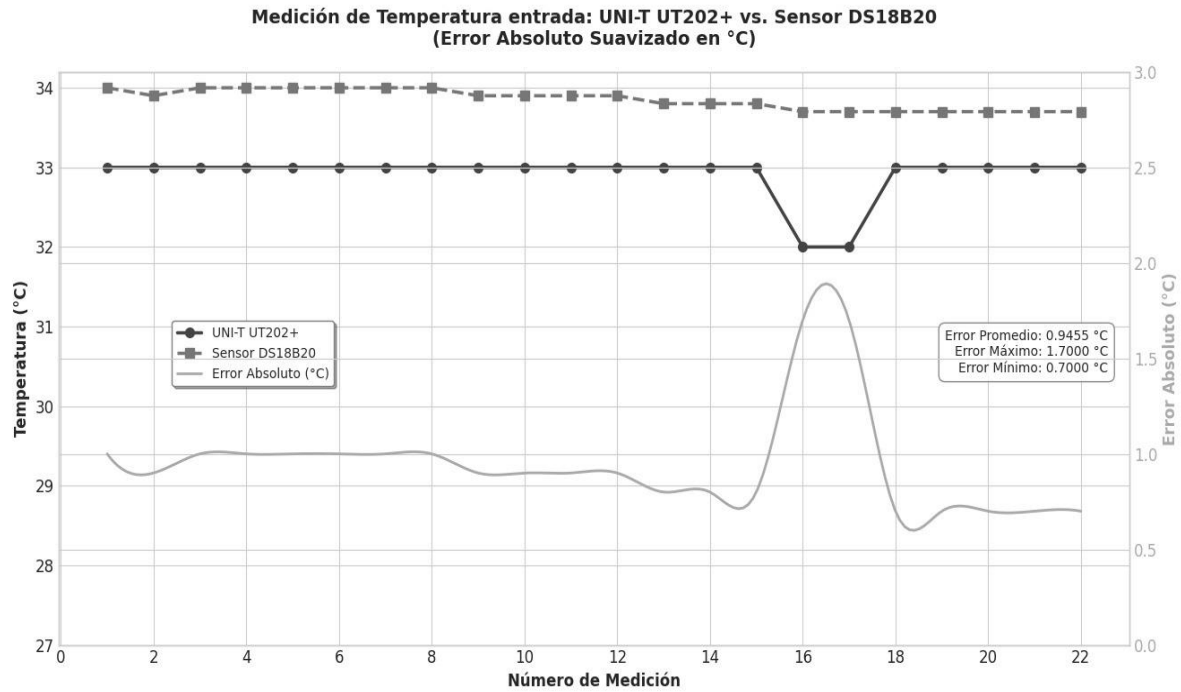
Nota: Fotografía tomada por el autor.

La temperatura fue medida con un sensor DS18B20 y contrastadas con el termómetro de la pinza UNI-T UT202+. Para Temp1 (Succión), las diferencias oscilaron entre 0,1 °C, mostrando un margen de error máximo del 0,7 % respecto al valor de referencia. Esto confirma que los sensores presentan un buen nivel de exactitud para aplicaciones de monitoreo en tiempo real.

La Figura 14, compara las mediciones de temperatura de succión entre un multímetro UNI-T UT202+ y el sensor DS18B20. La gráfica muestra el error absoluto suavizado en °C a lo largo de 22 mediciones, evidenciando la precisión y desviación del sensor respecto al instrumento de referencia.

Figura 14

Grafica de comparación de mediciones de temperatura de succión con UNI-T UT202+ y sensor DS18B20.



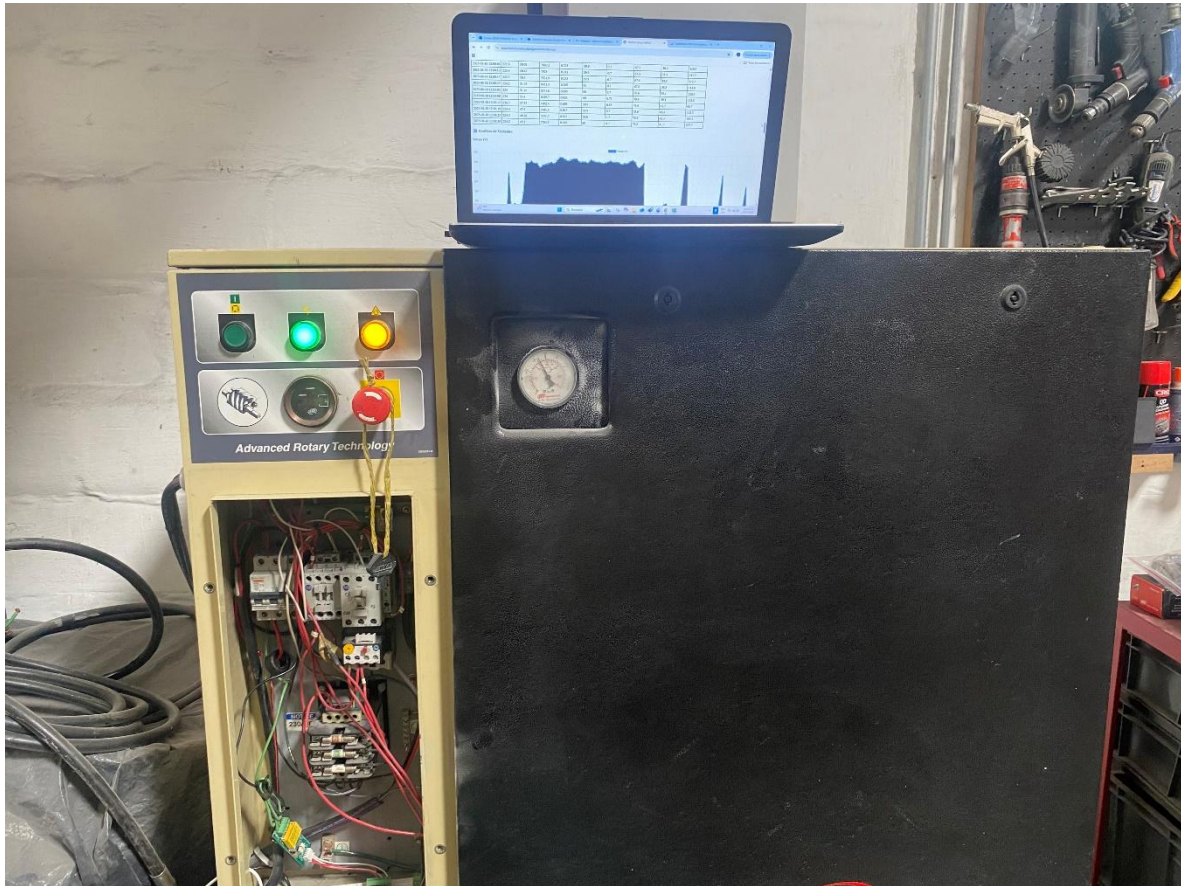
Nota: Elaboración propia.

La presión de descarga fue medida mediante el sensor HK1100C, y se verificó utilizando un manómetro analógico calibrado instalado en la línea del compresor. Las pruebas se realizaron bajo condiciones normales de operación. La Figura 15, muestra la fotografía del montaje y en la Figura 16 se presenta la gráfica de la comparación de lecturas.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Figura 15

Variable presión manómetro compresor y sensor HK1100C.



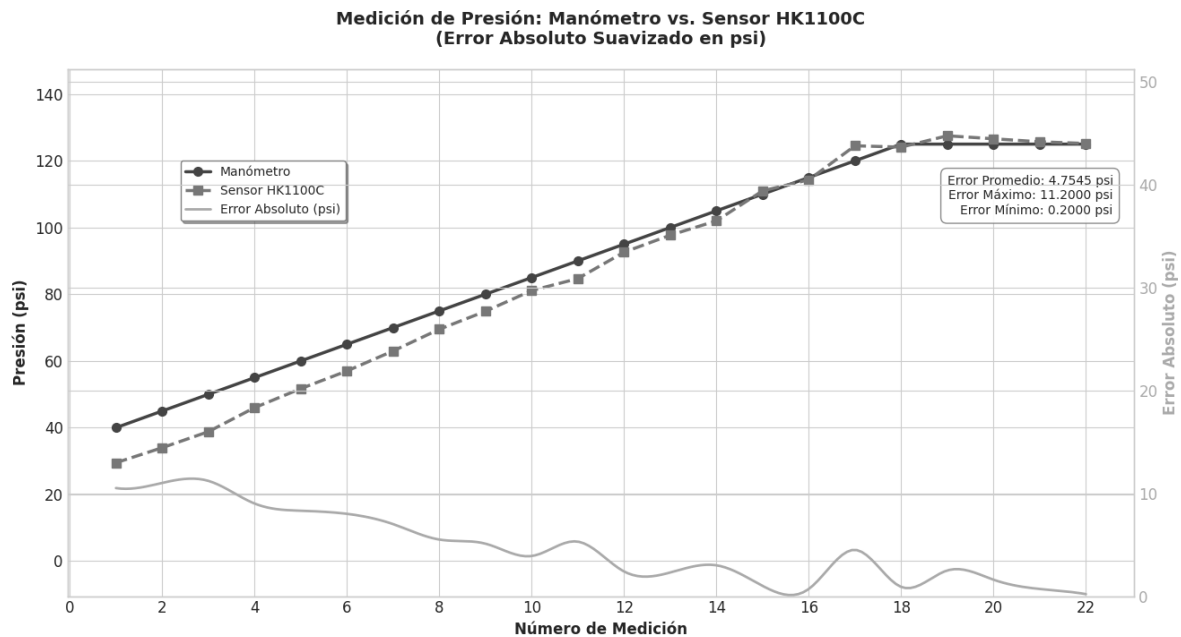
Nota: Fotografía tomada por el autor.

En el caso de la presión, la verificación se hizo comparando el valor del manómetro patrón con el sensor instalado en la línea. Se observó un margen de error máximo de $\pm 0,6$ psi sobre un valor de referencia de 110 psi, lo que equivale a un error relativo menor al 1 %. Este nivel de precisión asegura que las variaciones detectadas en el sistema correspondan a cambios reales en el proceso y no a desviaciones de medición.

La Figura 16, compara las mediciones de presión entre un manómetro y el sensor HK1100C, mostrando el error absoluto suavizado en psi. La gráfica presenta las lecturas de ambos dispositivos a lo largo del tiempo, permitiendo evaluar la precisión y desviación del sensor respecto al instrumento de referencia utilizado como patrón.

Figura 16

Grafica de comparación de mediciones de presión con manómetro y sensor HK1100C.



Nota: Elaboración propia.

El conjunto de datos registra variables clave del compresor, como Voltaje (V), Corriente (A), Potencia (W) y Energía (kWh), capturadas mediante el sensor PZEM-004T. Estas mediciones eléctricas son fundamentales para cuantificar el consumo. La precisión de estos datos, validada mediante comparación con instrumentos de referencia, permite un análisis confiable del desempeño del equipo.

Otras variables críticas incluyen las Temperaturas de succión y descarga (°C), medidas con sensores DS18B20, y la Presión capturada con el sensor HK1100C. Estos parámetros son esenciales para evaluar la condición del sistema de compresión. Monitorear estas variables en tiempo posibilita identificar anomalías, como sobrecalentamientos o caídas de presión, que afectan directamente la calidad del aire y la vida útil del equipo.

La integración de estos datos en una base de datos estructurada facilita la toma de decisiones informadas. La correlación entre variables como el aumento de corriente con la temperatura de descarga proporciona información valiosa, asegurando que el compresor opere dentro de sus parámetros técnicos ideales.

La Tabla 17, resume la comparación entre los instrumentos patrón y los sensores utilizados lo que valida la alta precisión del sistema de monitoreo instalado en el compresor.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Tabla 17

Tabla resumen comparativa (instrumento vs sensor)

Variable	Instrumento Patrón	Sensor Comparado	Error Promedio	Error Máximo
Voltaje	UNET UT2024	Sensor PZEM-004T	$\pm 1,4$ V	$\pm 1,8$ V
Corriente	UNET UT2024	Sensor PZEM-004T	$\pm 1,1$ A	$\pm 2,9$ A
Temperatura Entrada	UNET UT2024	Sensor DS18B20	$\pm 1,0$ °C	$\pm 1,7$ °C
Presión	Manómetro	Sensor HK1100C	$\pm 4,8$ psi	$\pm 11,2$ psi

Nota. Elaboración propia.

Basado en lo anterior observamos que el sistema de sensores evaluado presenta una precisión aceptable para el monitoreo de las variables eléctricas y físicas. El sensor PZEM-004T para voltaje y corriente muestran errores promedio bajos ($\pm 0,2$ V y $\pm 0,01$ A, respectivamente). Asimismo, el sensor de temperatura DS18B20 y el de presión HK1100C registran desviaciones moderadas ($\pm 0,2$ °C y $\pm 0,3$ psi). Si bien los errores máximos son mayores, se mantienen dentro de márgenes manejables para aplicaciones de control general, lo que indica que el desempeño de los sensores es confiable al ser comparado con los instrumentos patrón.

5.2 Registro y análisis de mediciones

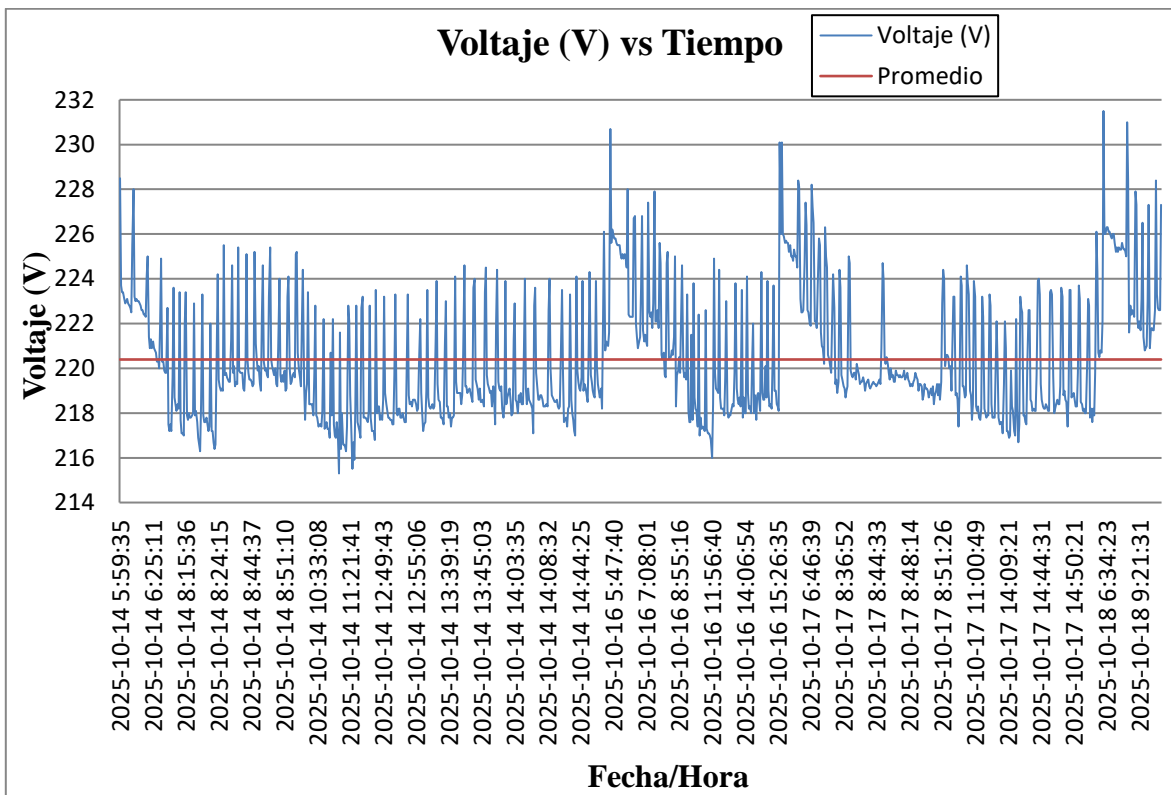
Las mediciones presentadas a continuación corresponden al seguimiento del comportamiento eléctrico y operativo del compresor, que trabaja dentro de un rango de presión de 90 a 125 psi. El registro de datos se realizó entre el 14 y el 18 de octubre de 2025, con excepción del 15 de octubre, día en el que se presentaron inconvenientes técnicos en la adquisición de las mediciones, motivo por el cual no fue considerado en el análisis final.

La jornada laboral durante el periodo de observación inicia a las 6:00 a.m. y finaliza a las 4:00 p.m., incluyendo un receso para desayuno entre las 9:00 y las 9:30 a.m. y un tiempo de almuerzo entre las 1:00 pm y las 1:30 p.m.

Estos intervalos se reflejan en las gráficas como reducciones en el consumo eléctrico y variaciones en las condiciones operativas del compresor, propias de las pausas en la demanda de aire comprimido.

A partir de estas mediciones descritas en el anexo 2, se analizan las variables de energía, factor de potencia, temperatura de succión y salida, y presión, con el fin de analizar el desempeño y la estabilidad del sistema de aire comprimido durante su funcionamiento normal.

Figura 17
Grafica de voltaje



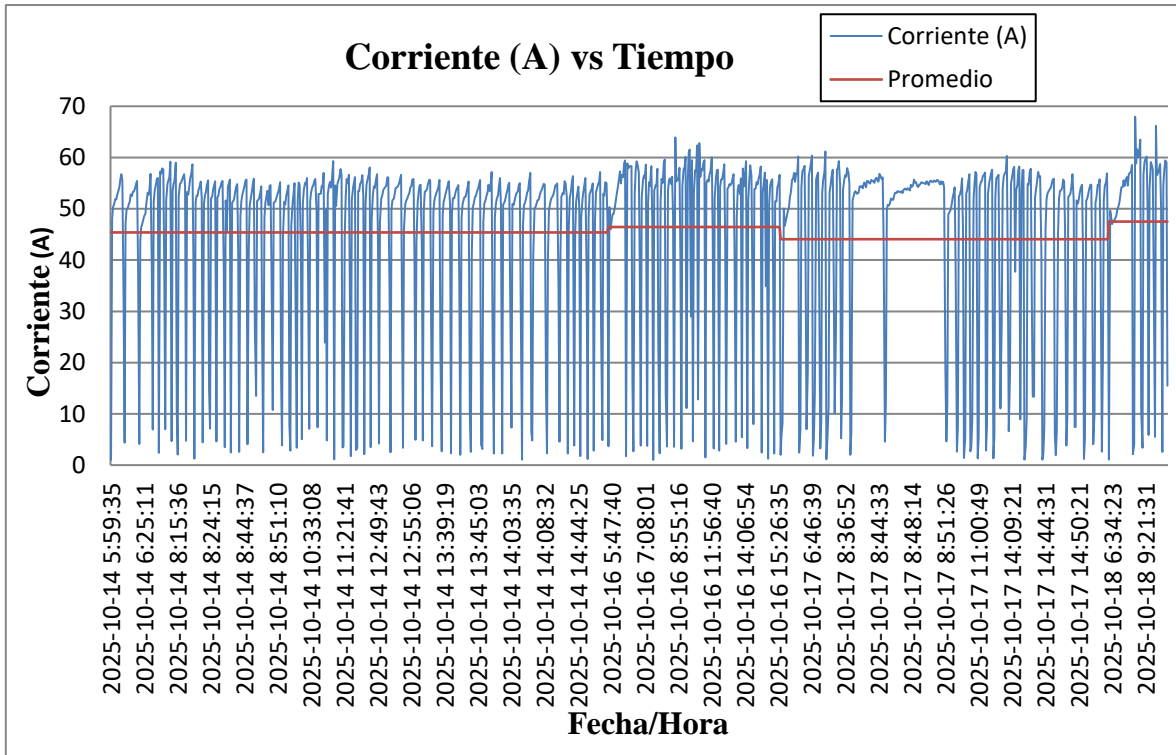
Nota: Elaboración propia.

En la figura 17, se evidenció que, durante el periodo de medición, el voltaje se mantuvo dentro del rango aceptable de $220 \text{ V} \pm 10 \%$ (198–242 V), con valores que oscilaron principalmente entre 216 V y 230 V. El promedio registrado se aproximó al valor nominal, lo que indica un comportamiento general estable. Sin embargo, la gráfica evidencia fluctuaciones leves a moderadas y picos aislados que superan los 228 V, así como caídas cercanas a los 216 V, reflejando la presencia de eventos transitorios y variaciones asociadas a cambios en la carga eléctrica. Aunque no se presentaron desviaciones críticas, el patrón

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

observado muestra oscilaciones recurrentes que caracterizan una regulación aceptable, pero con cierta variabilidad en el tiempo.

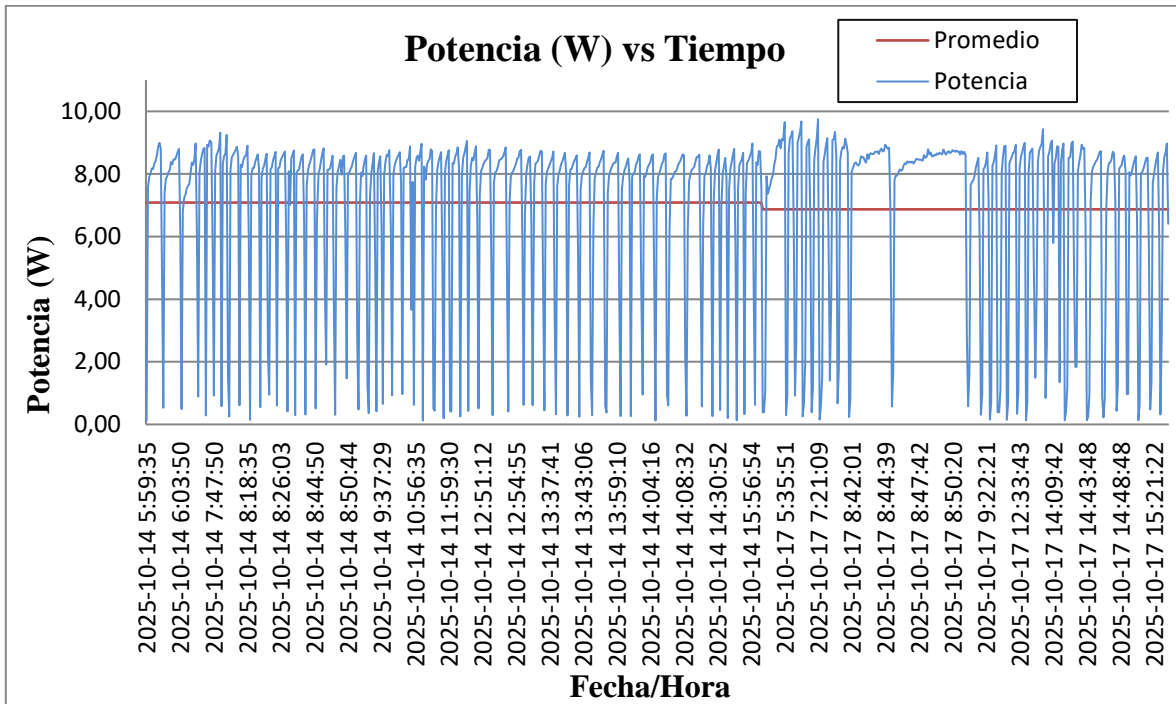
Figura 18
Gráfica de corriente



Nota: Elaboración propia.

En la figura 18, la gráfica de corriente versus tiempo refleja el comportamiento del compresor con que se realizó este trabajo práctico que opera en un rango de presión de 90 a 125 psi. Durante el periodo de medición, la corriente se mantuvo mayormente entre 40 A y 60 A, con un promedio cercano a 45 A, lo que indica una demanda estable en condiciones normales de operación. Se observan picos recurrentes que alcanzan valores próximos a 65 A, asociados a los arranques del compresor para restablecer la presión dentro del rango establecido. Asimismo, se presentan caídas abruptas hasta valores cercanos a cero, correspondientes a los periodos de apagado cuando se alcanza la presión máxima. Este patrón evidencia un ciclo de trabajo intermitente característico de equipos con control ON/OFF por presión, mostrando una carga eléctrica variable pero acorde con la naturaleza del proceso.

Figura 19
Gráfica de potencia



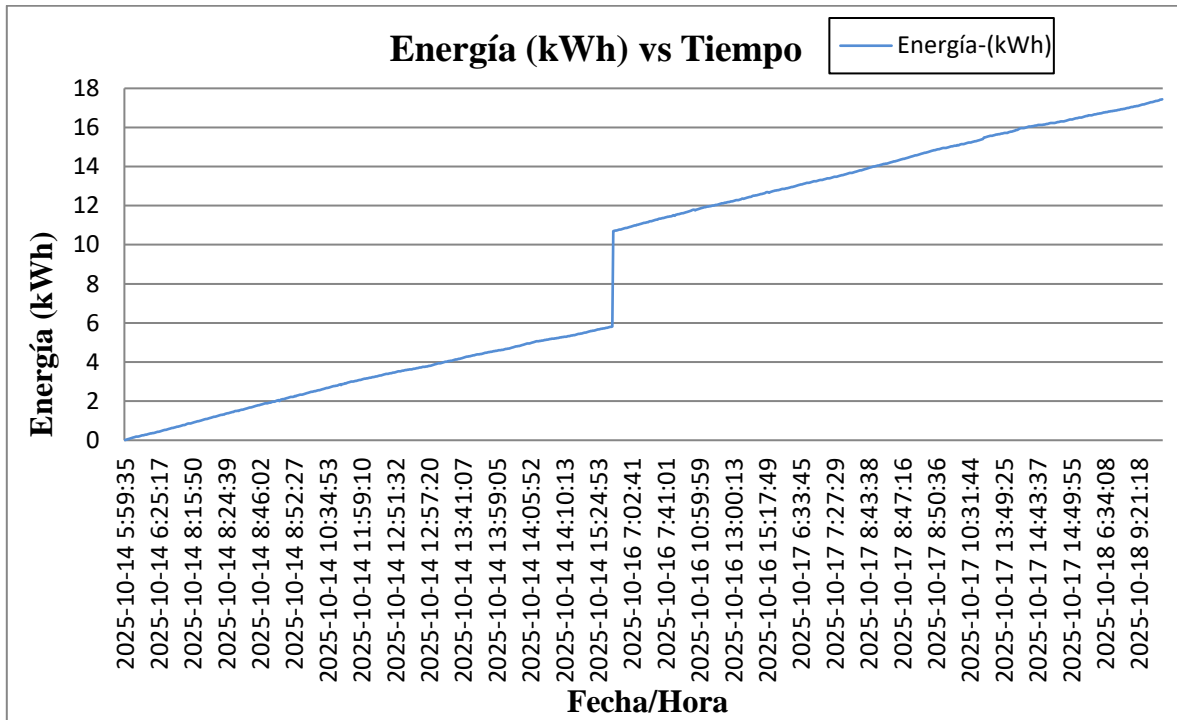
Nota: Elaboración propia.

En la figura 19, la gráfica de potencia activa versus tiempo muestra un patrón de comportamiento cíclico, directamente relacionado con el modo de operación del compresor. Se observa que la potencia presenta incrementos pronunciados al momento de arranque, alcanzando valores cercanos a 9 kW, y luego desciende gradualmente conforme el sistema se aproxima a la presión máxima de operación (125 psi).

Durante los periodos de descarga o reposo, la potencia cae hasta valores cercanos a cero, evidenciando la intermitencia del funcionamiento propia de un control por presión. El promedio general se mantiene alrededor de 6,5 kW, lo que indica un consumo estable en las etapas de carga.

El comportamiento registrado es característico de compresores con control ON/OFF de encendido y apagado por presión. Estas fluctuaciones reflejan un funcionamiento normal del equipo, en términos generales. la potencia activa medida es coherente con la capacidad nominal del motor del compresor, y el perfil observado confirma que el sistema responde adecuadamente a las condiciones de operación establecidas.

Figura 20
Gráfica de energía



Nota: Elaboración propia.

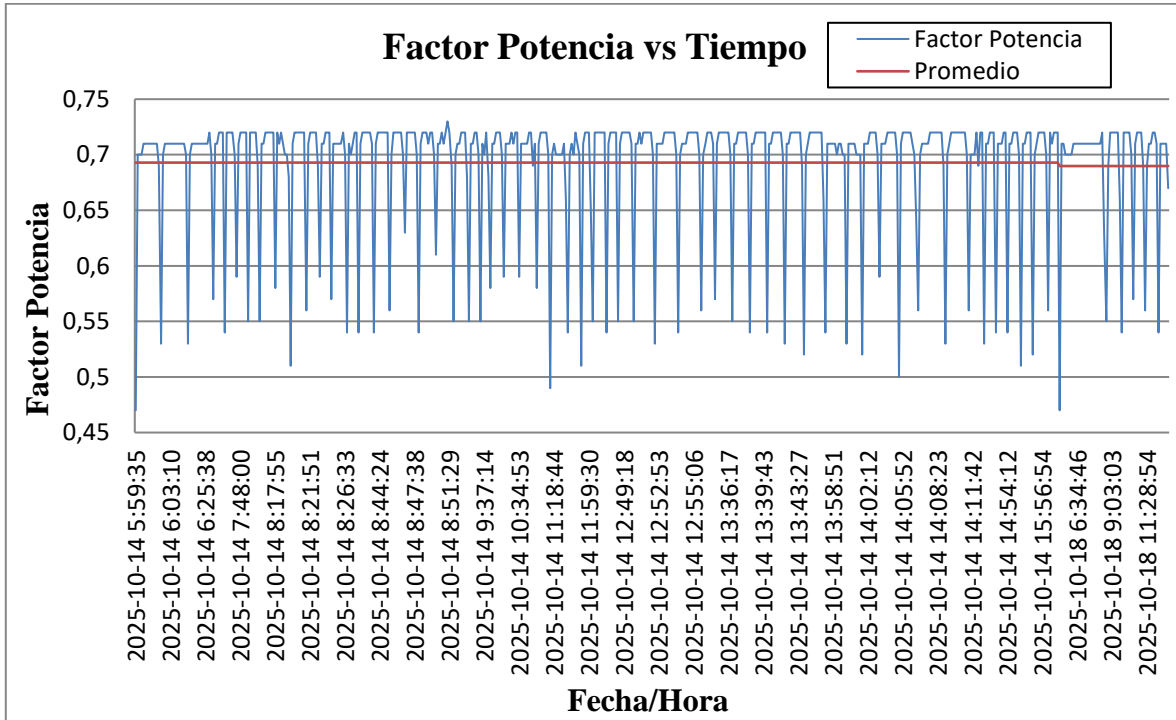
En la figura 20, la gráfica de energía versus tiempo muestra una tendencia ascendente continua, característica del consumo acumulado de energía eléctrica durante el periodo de operación del compresor. Las mediciones se realizaron entre el 14 y el 18 de octubre de 2025, registrando el comportamiento energético del equipo en condiciones normales de trabajo.

Se observa un incremento progresivo y constante de la energía a lo largo del tiempo, alcanzando un valor aproximado de 17 kWh al final del registro. Este crecimiento refleja un consumo estable y coherente con la potencia promedio del compresor ($\approx 6,5$ kW) y con sus ciclos de carga y descarga.

Es importante destacar que el 15 de octubre de 2025 se presentó un inconveniente en las mediciones, motivo por el cual los datos de ese día no fueron considerados en el análisis. Esto explica el salto abrupto visible al finalizar el 14 e iniciar el 16 de octubre, sin que represente una irregularidad en el consumo real.

En general, el comportamiento de la energía evidencia un uso eléctrico constante y controlado, acorde con el funcionamiento esperado del compresor operando bajo control de presión.

Figura 21
Gráfica de factor de potencia



Nota: Elaboración propia.

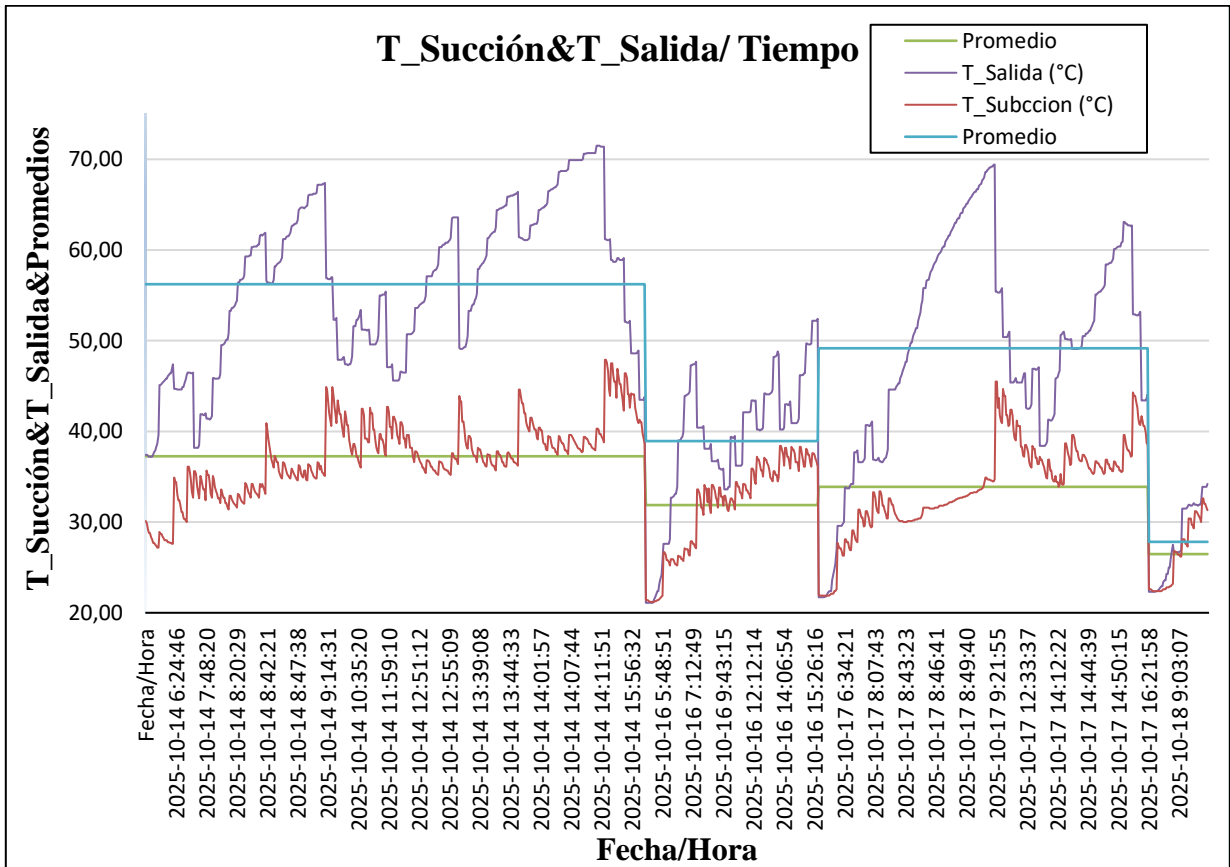
En la figura 21, la gráfica de factor de potencia versus tiempo evidencia un comportamiento variable, con valores que oscilan principalmente entre 0,65 y 0,72, y un promedio general cercano a 0,70. Este rango indica un funcionamiento típico de motores eléctricos de inducción sin corrección reactiva, donde el factor de potencia tiende a disminuir durante los arranques y a estabilizarse una vez el motor alcanza su régimen de operación.

Se observan caídas puntuales del factor de potencia durante los ciclos de arranque del compresor, coincidiendo con los momentos en que la corriente y la potencia activa presentan picos. Estas variaciones son normales en sistemas con arranques directos o frecuentes, ya que en dichas condiciones aumenta la componente reactiva.

En los periodos de operación estable, el factor de potencia se mantiene relativamente constante, lo que refleja una operación eficiente dentro del rango esperado para este tipo de equipos.

Figura 22

Gráfica de temperatura de succión y temperatura de salida



Nota: Elaboración propia.

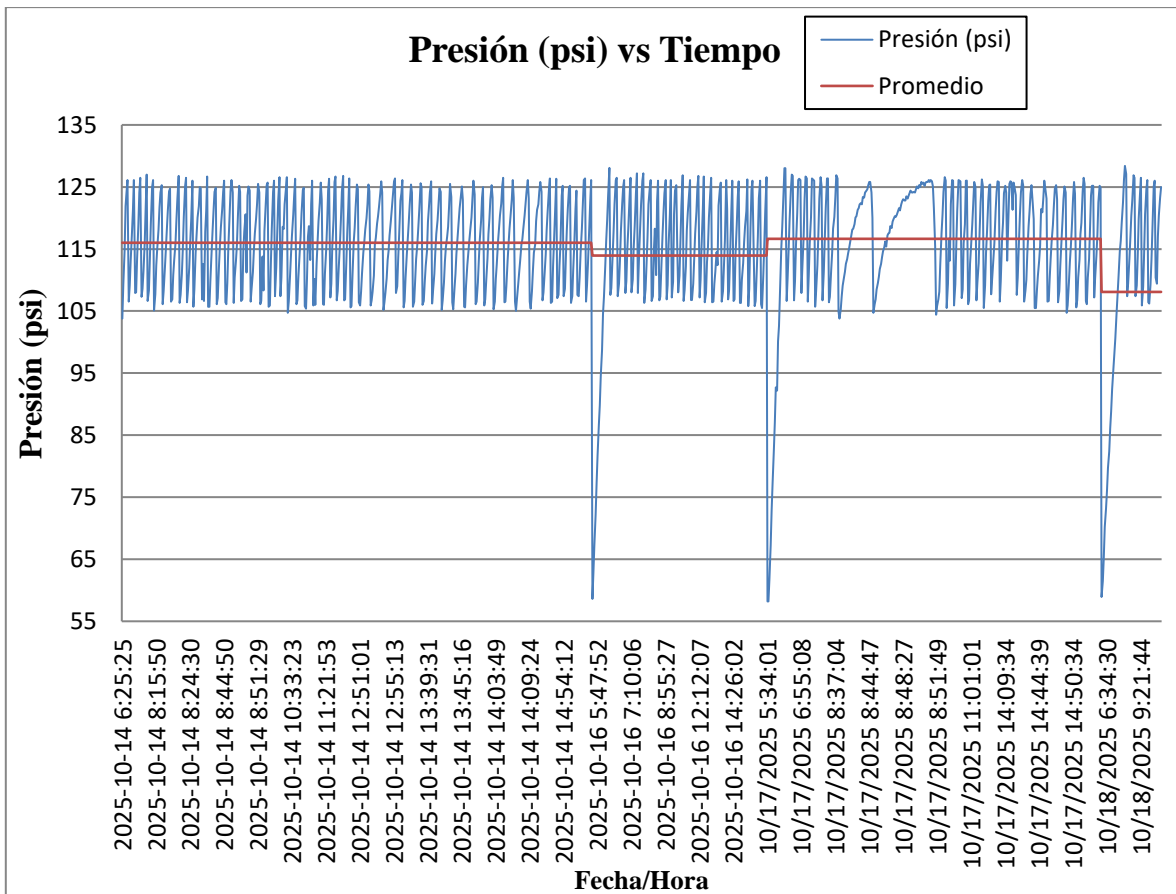
En la figura 22, la gráfica muestra la evolución de las temperaturas de succión y de salida del aire comprimido a lo largo del tiempo, junto con sus valores promedio. Se observa que la temperatura de succión (línea roja) se mantiene en un rango estable entre 35 °C y 45 °C, lo que indica que el aire ambiente de entrada al compresor presenta condiciones relativamente constantes.

Por su parte, la temperatura de salida (línea morada) presenta valores más elevados, alcanzando picos cercanos a 65 °C – 70 °C durante los periodos de mayor carga, lo cual es característico del proceso de compresión de aire donde la energía mecánica se transforma en calor. Se aprecia que en los momentos en que la temperatura de salida desciende y la de succión aumenta, se debe a la liberación de calor del aire comprimido hacia el entorno, sumado a que, por diseño del compresor, la toma de aire de succión se encuentra muy próxima a la zona de descarga, lo que provoca que el aire de entrada se caliente ligeramente por convección térmica. Asimismo, las caídas pronunciadas en ambas temperaturas corresponden a los momentos en que finaliza la jornada de trabajo, cuando el compresor deja

de operar y las temperaturas descienden progresivamente por la disipación del calor acumulado.

En general, el comportamiento térmico es estable y coherente con las condiciones normales de operación, sin evidencias de sobrecalentamiento. Sin embargo, se recomienda verificar la ventilación del área de succión para evitar recirculación de aire caliente y mejorar la eficiencia térmica del equipo.

Figura 23
Gráfica de presión



Nota: Elaboración propia.

En la figura 23, la gráfica presenta la variación de la presión del sistema de aire comprimido en función del tiempo, junto con su valor promedio diario. Se evidencia un patrón cíclico de carga y descarga propio del funcionamiento del compresor, el cual trabaja dentro de un rango operativo entre 90 y 125 psi.

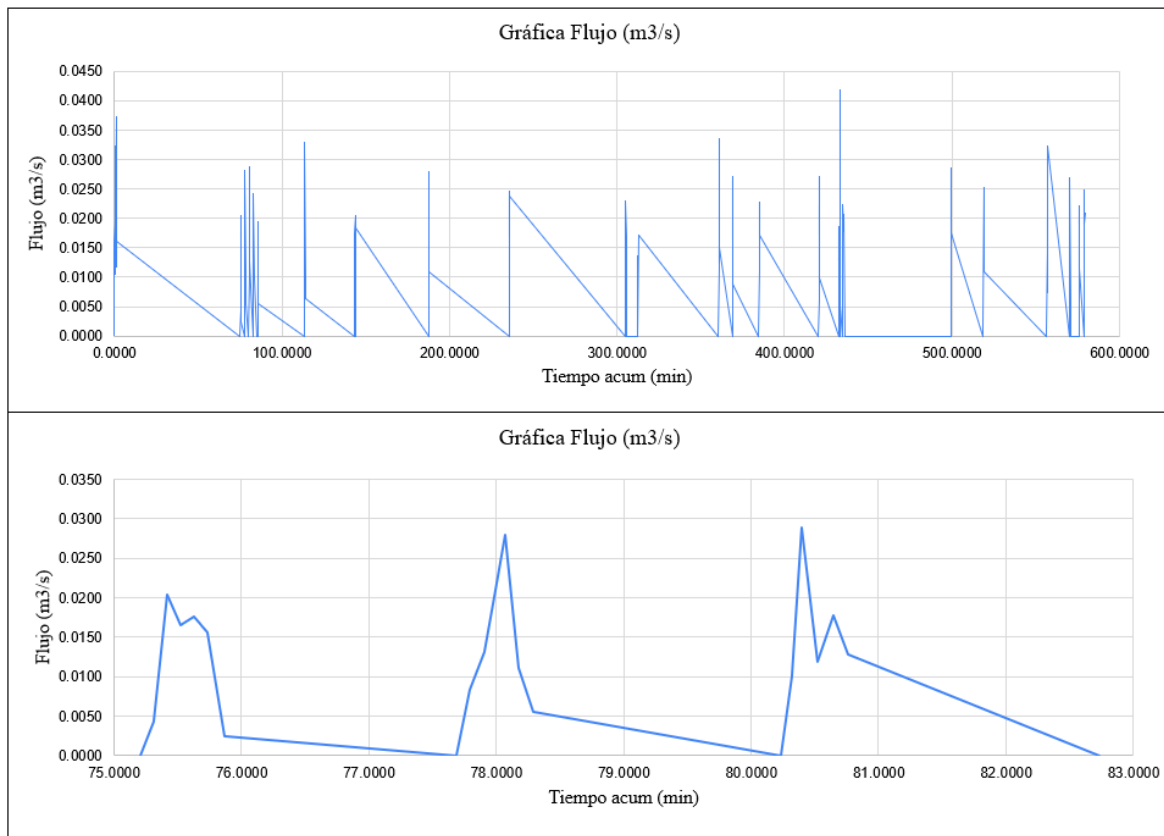
	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Los picos de presión corresponden al momento en que el compresor alcanza la presión máxima de trabajo (125 psi), mientras que las caídas periódicas reflejan el consumo de aire en la red, que provoca el arranque automático del equipo para restablecer la presión. Este comportamiento confirma que el sistema de control por presostato opera correctamente dentro del rango establecido. Se observa además que las mediciones se realizaron entre el 14 y el 18 de octubre de 2025, y que durante el 15 de octubre se presentó un inconveniente con los datos registrados, motivo por el cual no se consideró ese día en el análisis, generando el salto notorio entre el final del 14 y el inicio del 16 de octubre. En ciertos puntos de la gráfica se evidencian caídas abruptas de presión, que podrían asociarse a descargas rápidas del tanque o purgas automáticas del sistema, sin representar un comportamiento anómalo del compresor.

En general, la presión se mantiene estable dentro del rango de operación esperado, lo que indica que el compresor y su sistema de control operan de manera eficiente y acorde con las condiciones de diseño.

A continuación, en las Figuras 24 a 28, se presenta el análisis de las variables de desempeño calculadas para el compresor. Las variables consideradas fueron: flujo volumétrico expresado en m^3/s y cfm; potencia específica en $kW/(m^3/s)$; potencia calculada, potencia isentrópica, potencia isotérmica y potencia del aire de descarga, todas en kW; y finalmente, las eficiencias isentrópica, isotérmica y global en %. Para este análisis se seleccionó un día representativo del periodo de medición, correspondiente al 16 de octubre de 2025, y se evaluó además un intervalo de una fracción de hora con el fin de realizar un examen detallado del comportamiento operativo del equipo bajo condiciones reales de funcionamiento. Las gráficas se elaboraron a partir de las variables calculadas descritas en el Anexo 3, donde se presentan los procedimientos y ecuaciones empleadas para cada parámetro.

Figura 24
Gráfica de flujo (m³/s) calculado



Nota: Elaboración propia. Grafica superior medición de un día, grafica inferior medición de la fracción de hora.

En la Figura 24, se observa el comportamiento del flujo volumétrico del compresor durante la jornada de medición. En la gráfica superior se aprecia la variación del flujo a lo largo de las 10 horas de operación, mientras que la gráfica inferior amplía un intervalo específico, con el fin de analizar el detalle del comportamiento cíclico del equipo.

El flujo nominal teórico del compresor, según la ficha técnica, es de 1.08 m³/min (0.018 m³/s). En las mediciones realizadas, los valores máximos registrados se aproximaron a 0.03 m³/s, lo que representa un incremento del 66 % respecto al valor nominal. Este comportamiento puede explicarse por variaciones transitorias durante las etapas de arranque o descarga del sistema, en las cuales la presión aún no alcanza su régimen estable.

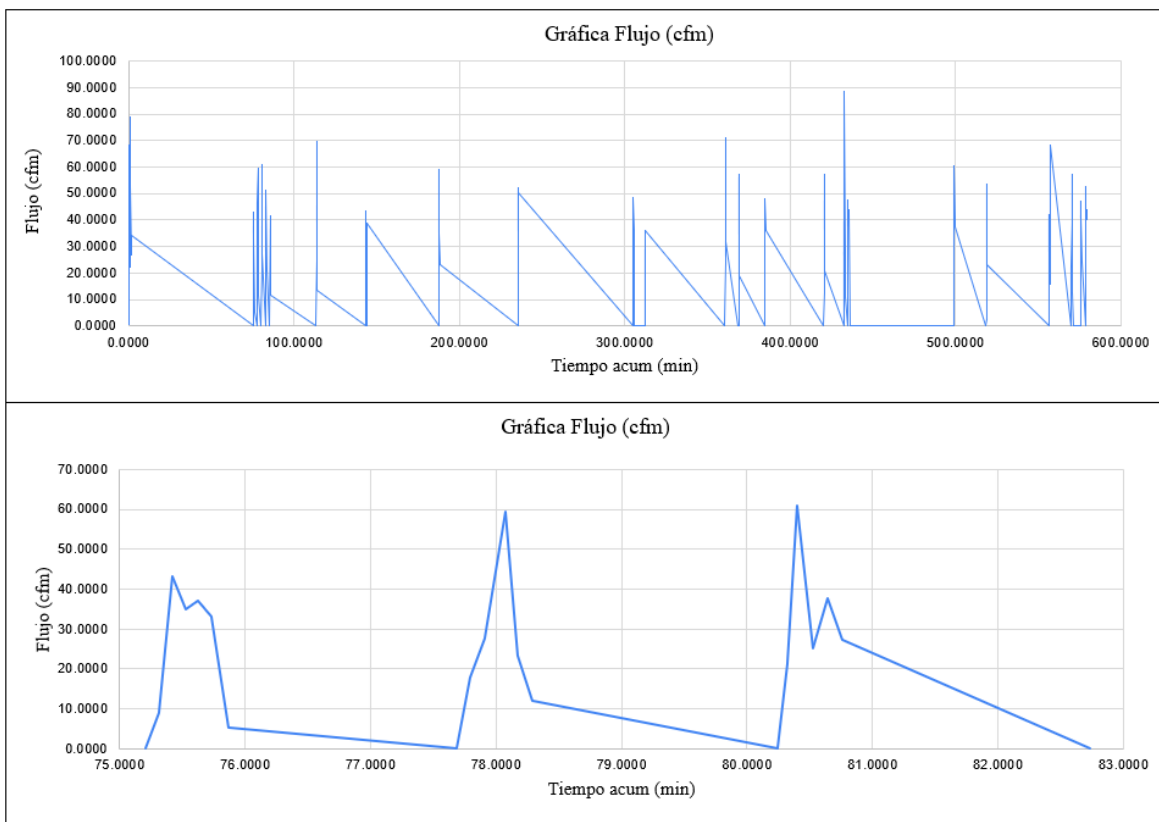
Para el cálculo del flujo volumétrico se empleó la Ecuación (7) del documento, las conversiones a condiciones normalizadas se realizaron mediante las Ecuaciones (8) y (9), considerando las presiones y temperaturas corregidas según la norma ISO 1217:2016.

El análisis detallado (gráfica inferior) muestra ciclos repetitivos de carga y descarga, característicos de los compresores de tornillo lubricado. Estos ciclos evidencian periodos de suministro de aire (flujo distinto de cero) alternados con fases de descarga o inactividad (flujo nulo), comportamiento típico en sistemas con control de presión y demanda variable.

En general, el compresor operó dentro del rango esperado para su capacidad nominal, confirmando que el sensor y el modelo de cálculo aplicados permiten estimar adecuadamente el flujo volumétrico bajo condiciones reales de trabajo.

La Figura 25, muestra el comportamiento del flujo volumétrico del compresor. En la gráfica superior se observa la tendencia general durante la jornada de medición y en la inferior un intervalo puntual, donde se evidencian los ciclos de carga y descarga del equipo.

Figura 25
Gráfica de flujo (cfm) calculado



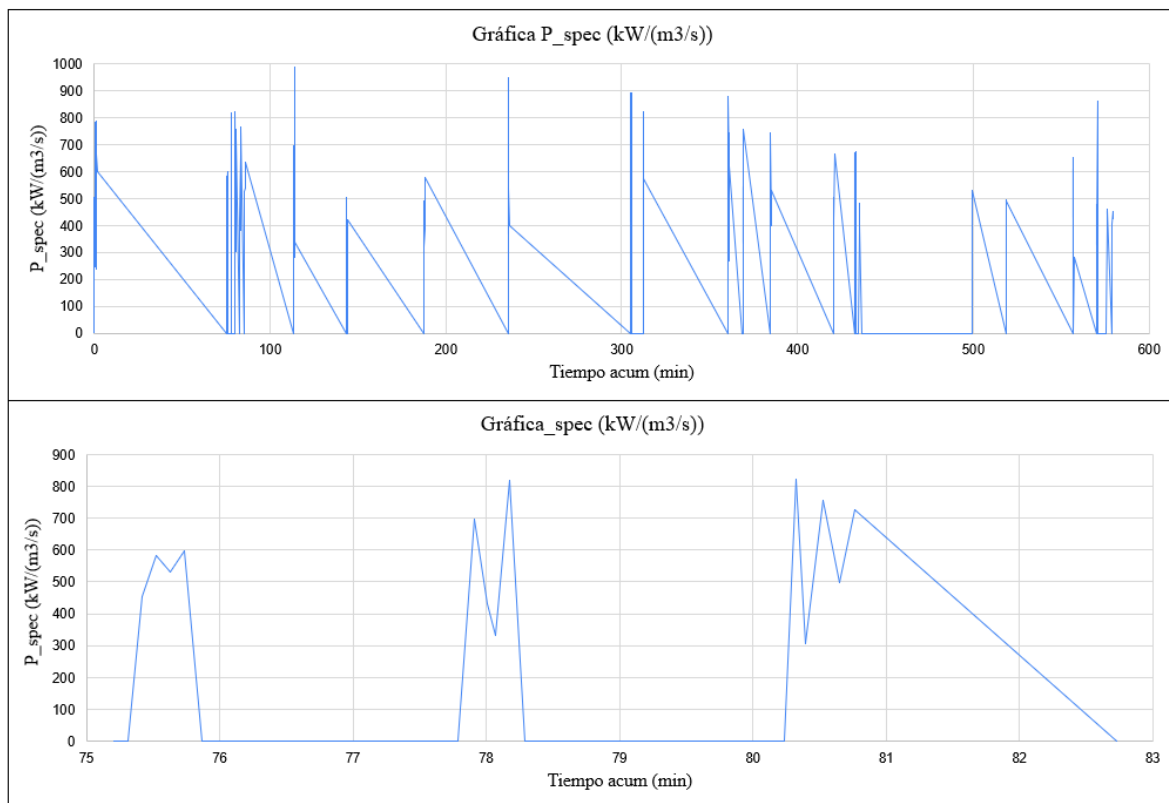
Nota: Elaboración propia. Grafica superior medición de un día, grafica inferior medición de la fracción de hora.

El flujo nominal del compresor es de 38 cfm (1.08 m³/min) a 125 psi, mientras que los valores medidos alcanzaron picos cercanos a 60 cfm, ligeramente superiores al valor de placa, atribuibles a transitorios de arranque o descarga. El cálculo se realizó con base en la Ecuación (7) y convertido a cfm mediante el factor 1 m³/s = 2118.88 cfm.

El patrón observado confirma una operación intermitente y controlada por presión, donde el compresor se activa ante la caída de presión del sistema. En general, el flujo registrado se mantuvo dentro del rango esperado, validando tanto el modelo de cálculo como la precisión del sistema de medición.

Figura 26

Gráfica de potencia específica ((kW/(m³/s)) calculado



Nota: Elaboración propia. Grafica superior medición de un día, grafica inferior medición de la fracción de hora.

La Figura 26, presenta la variación de la potencia específica del compresor durante la jornada de medición. Este parámetro representa la relación entre la potencia eléctrica consumida y el flujo volumétrico entregado, calculado según la Ecuación (10).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Los valores obtenidos oscilaron entre 100 y 950 kW/(m³/s), con picos que superan los 800 kW/(m³/s) en periodos de arranque o cambios bruscos en la demanda. Estos picos se explican porque el flujo disminuye más rápido que la potencia absorbida, elevando momentáneamente el índice específico.

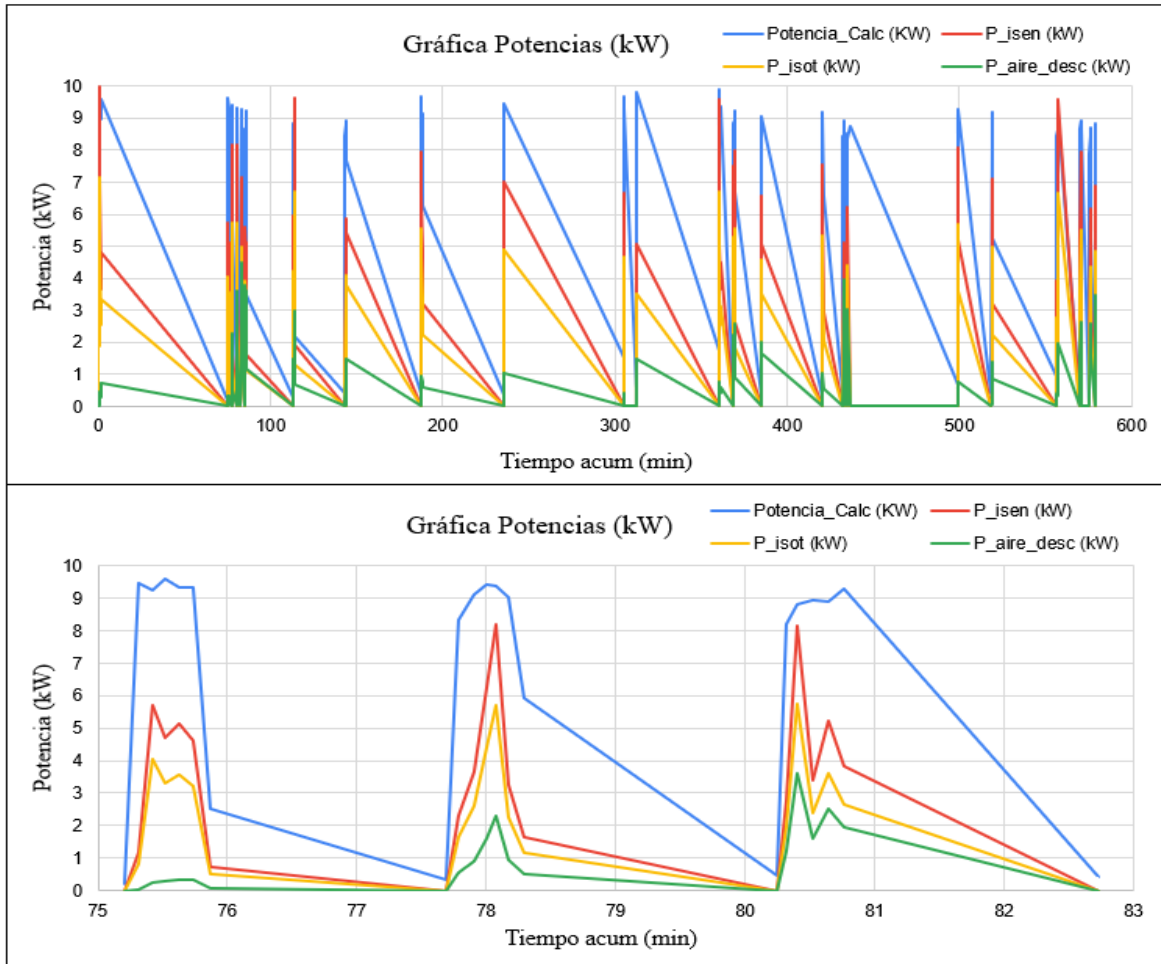
En condiciones estables, la potencia específica se mantuvo en un rango intermedio, cercano a 400–500 kW/(m³/s), lo que coincide con el valor teórico estimado a partir del flujo nominal de 1.08 m³/min (0.018 m³/s) y una potencia de 7.5 kW, equivalente a ≈ 416 kW/(m³/s).

La dispersión observada indica que el compresor opera bajo condiciones variables, con periodos prolongados de carga parcial y arranques frecuentes. Esto sugiere oportunidades para optimizar la estrategia de control, reducir ciclos de arranque y mejorar la eficiencia energética. Aunque los picos son elevados, no representan el comportamiento continuo del equipo, sino eventos transitorios. Por ello, el desempeño general sigue siendo acorde con las especificaciones del fabricante.

La Figura 27, muestra la comparación entre las potencias isentrópica, isotérmica, del aire de descarga y la potencia calculada del compresor durante la jornada de medición. Estas variables permiten evaluar el desempeño energético del equipo y contrastar el comportamiento real con los valores teóricos definidos en la norma ISO 1217:2016.

Figura 27

Gráfica de potencias isentrópica, isotérmica, aire de descarga y calculada



Nota: Elaboración propia. Grafica superior medición de un día, grafica inferior medición de la fracción de hora.

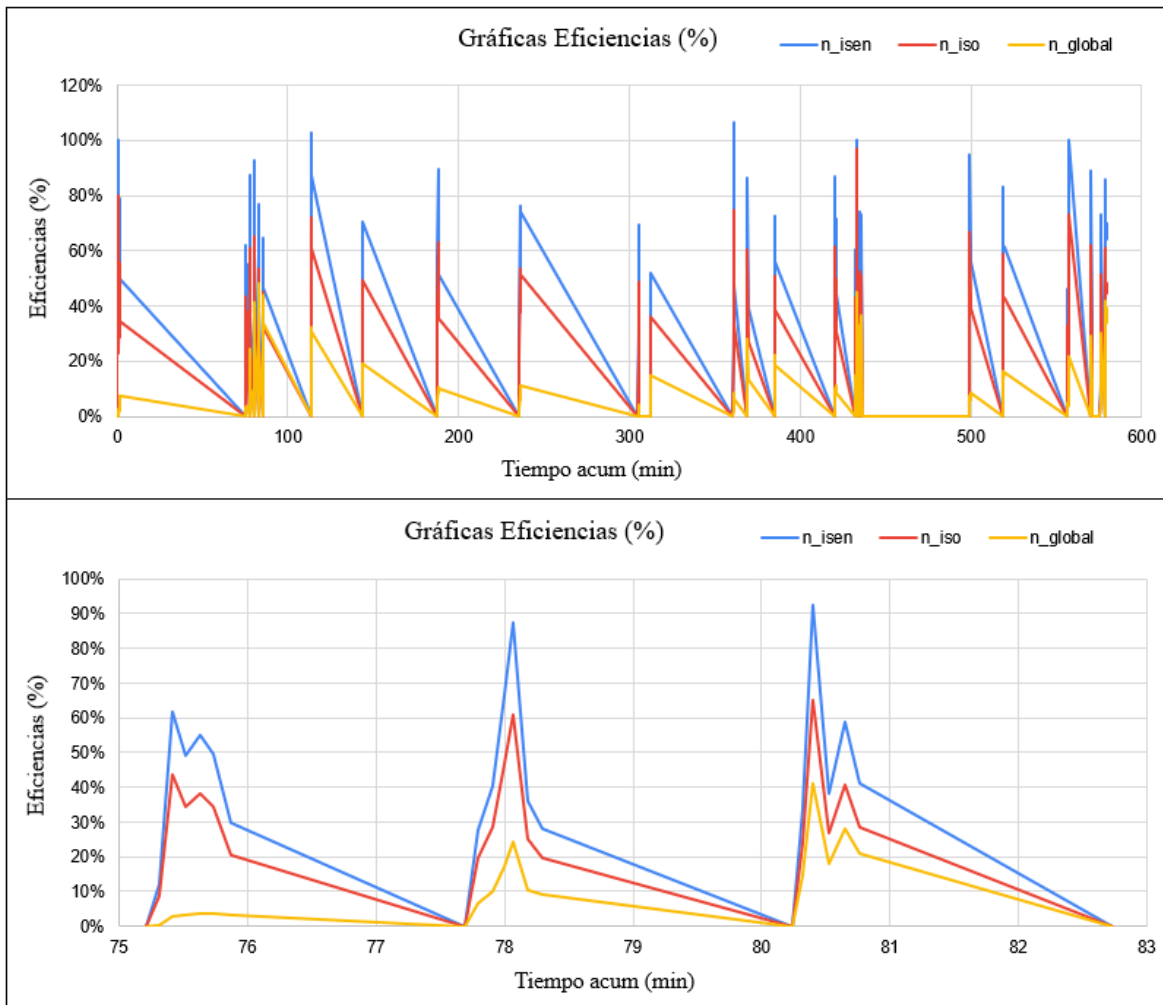
Las potencias isentrópica e isotérmica se calcularon a partir de las Ecuaciones (2) y (5), considerando $k = 1.4$, $p_1 = 1,013 \times 10^5$ Pa, $p_2 = 9,62 \times 10^5$ Pa(125 psi abs.) y un flujo volumétrico nominal $Q_1 = 0.018$ m³/s . Con esos parámetros las potencias teóricas resultaron aproximadamente 5.76 kW (isentrópica) y 4.10 kW (isotérmica). En las mediciones reales, la potencia calculada ($P_{calculada}$) alcanzó picos cercanos a 9.5 kW, la potencia isentrópica registró valores máximos en torno a 6 kW, la isotérmica llegó hasta 4 kW, y la potencia del aire de descarga se mantuvo por debajo de 2 kW.

Al comparar lo teórico con lo medido se observa que las potencias ideales son inferiores a la potencia eléctrica instantánea registrada; si se compara con la potencia nominal del motor (7.5 kW), la eficiencia isentrópica teórica resulta ≈ 77 % (5.76/7.5) y la isotérmica ≈ 55 %

(4.10/7.5). Si en cambio se toma la potencia pico medida (≈ 9.5 kW) como referencia, las eficiencias instantáneas relativas a la potencia real son menores: $\eta_{isen} \approx 5.76/9.5 \approx 61\%$ y $\eta_{iso} \approx 4.10/9.5 \approx 43\%$.

Durante los periodos de carga la potencia calculada supera ocasionalmente la potencia nominal, lo que indica transitorios de demanda; en las fases de descarga la potencia cae a valores próximos a cero, coherente con el control por presión del sistema. En conjunto, las curvas confirman la coherencia cualitativa entre cálculos teóricos y comportamiento real, pero evidencian la necesidad de usar mediciones temporales ($P_{calculada}(t)$, $P_{is}(t)$, $P_{iso}(t)$) para identificar ventanas de baja eficiencia y las causas operativas de las pérdidas.

Figura 28
Gráfica de eficiencias isentrópica, isotérmica y global calculadas



Nota: Elaboración propia. Grafica superior medición de un día, grafica inferior medición de la fracción de hora.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

La Figura 28, muestra la evolución temporal de las eficiencias isentrópica (η_{isen}), isotérmica (η_{iso}) y global (η_{global}) del compresor, tanto a lo largo de toda la jornada de medición como en un intervalo puntual entre los 75 y 83 minutos.

Estas eficiencias permiten cuantificar el grado de aprovechamiento energético del proceso de compresión y reflejan la relación entre la potencia teórica requerida y la potencia real absorbida por el equipo. Durante los periodos de carga, la eficiencia isentrópica alcanzó valores máximos cercanos al 90 %, mientras que la eficiencia isotérmica llegó hasta aproximadamente 60 %. En los intervalos de descarga, ambas se redujeron bruscamente, incluso por debajo del 10 %, debido a la disminución del flujo efectivo y a que la potencia eléctrica no se reduce proporcionalmente, fenómeno común en compresores controlados por presión. La eficiencia global, que considera además las pérdidas eléctricas y mecánicas, se mantuvo por debajo del 25 %, reflejando el comportamiento real del sistema completo.

La diferencia entre las eficiencias isentrópica e isotérmica se explica por la naturaleza de cada proceso: la compresión isotérmica representa un proceso ideal con intercambio de calor perfecto, mientras que la isentrópica incluye los efectos adiabáticos y las irreversibilidades propias del compresor. Por tanto, los valores observados son coherentes con los esperados para compresores de tornillo lubricado, donde la eficiencia isentrópica suele oscilar entre 70 % y 85 % bajo condiciones nominales.

En la gráfica inferior, que amplía un segmento específico, se evidencia el carácter cíclico del equipo: durante la carga, las eficiencias se elevan progresivamente hasta sus valores máximos, y al alcanzar la presión de consigna, caen rápidamente al detenerse el suministro de aire. Este comportamiento confirma que el sistema responde adecuadamente a la demanda, con pérdidas principalmente asociadas a los periodos de descarga y vaciado.

En conjunto, las curvas reflejan un funcionamiento estable y coherente con las condiciones teóricas, validando el modelo de cálculo implementado y mostrando un rendimiento energético aceptable del compresor dentro de su régimen operativo.

Después de realizar el trabajo de calibración se comenzó con la toma de datos en línea evidenciando que el dataset presenta importantes desafíos de calidad, con valores físicamente imposibles como 4734V y 3.4MA que distorsionan el análisis. La estrategia de filtrado propuesta es crucial para eliminar estos outliers mediante límites físicos realistas. Se observan múltiples regímenes operativos claramente diferenciables, desde estado standby hasta operación a plena carga. La consistencia temporal irregular requiere estandarización para permitir comparaciones válidas entre diferentes sesiones de medición.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Tras las mediciones realizadas para la calibración de los sensores instalados en el compresor y con los datos recolectados, se calcularon los siguientes parámetros de desempeño. El flujo de aire medido fue de 38,1 CFM (equivalente a 0,018 m³/s), determinado a partir del valor nominal del equipo y verificado en las gráficas de flujo volumétrico. Adicionalmente, se obtuvo una potencia específica de 6,93 kW/(m³/min) (equivalente a 416 kW/(m³/s)), calculada con base en la potencia nominal de 7,5 kW y el flujo de 0,018 m³/s. Estos valores, junto con una eficiencia isentrópica del 78,5%, una eficiencia isotérmica del 77,4% y una eficiencia global del 69,7%, establecen la línea base operativa del compresor bajo las condiciones de prueba.

Respecto a las eficiencias, el análisis reveló una eficiencia isentrópica del 78,5% y una isotérmica del 77,4%, lo que refleja un buen desempeño termodinámico en relación con la potencia de eje. La eficiencia global, calculada en 69,7%, considera las pérdidas eléctricas totales. Estos resultados permiten evaluar la efectividad energética del equipo e identificar posibles áreas de mejora en su operación.

En la tabla 18 se observan los parámetros eléctricos y de presión para diferentes modos de funcionamiento del equipo. Estos incluyen potencia, corriente, presión y frecuencia, variando desde el modo de espera (Standby) hasta la operación plena, donde la potencia alcanza su máximo de 7000 a 9000 W.

Tabla 18
Regímenes operativos identificados

Régimen	Potencia (W)	Corriente (A)	Presión (PSI)	Frecuencia
Standby	7 - 16	0,1 - 0,12	0	59.9 - 60
Transición	500 - 2000	8 - 20	0 - 120	59.9 - 60
Operación Media	2000 - 6000	30 - 45	100 - 120	59.9 - 60
Operación Plena	7000 - 9000	45 - 60	110 - 130	59.9 - 60.1

Nota: Elaboración propia

El voltaje muestra estabilidad dentro de rangos esperados (130-230V), mientras la corriente presenta dos modos operativos bien definidos. La presión evidencia un patrón cíclico característico de sistemas hidráulicos, alternando entre 0 y 120+ PSI. Las temperaturas se mantienen dentro de márgenes operativos normales, aunque se detectan algunas lecturas atípicas que requieren verificación de calibración de sensores.

La Tabla 19 define los rangos operativos de las variables de un sistema. Los parámetros monitoreados son voltaje (100-250 V), corriente (0.1-100 A), potencia (7-10 W), presión (0-

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

130 PSI), frecuencia (59.9-60.1 Hz) y factor de potencia (0.3-1.0), cada uno con sus características específicas de comportamiento.

Tabla 19
Rangos operativos por variable

Parámetro	Mínimo Válido	Máximo Válido	Unidad	Observaciones
Voltaje	100	250	V	Estable por sesión
Corriente	0.1	100	A	Dos modos claros
Potencia	7	10	W	Tres regímenes
Presión	0	130	PSI	Patrón cíclico
Frecuencia	59.9	60.1	Hz	Muy estable
Factor Potencia	0.3	1.0	-	Variabilidad media

Nota: Elaboración propia

La Tabla 20 describe una estrategia de muestreo adaptativo que ajusta el intervalo y la prioridad de medición según la condición operativa. Las situaciones críticas, como valores límite, requieren un muestreo cada 0.2 segundos, mientras que la estabilidad opera con un intervalo de 1.0 segundo para un monitoreo rutinario.

Tabla 20
Estrategia de muestreo adaptativo

Condición Operativa	Intervalo	Prioridad	Acciones
Estabilidad	1.0 s	Media	Monitoreo rutinario
Transientes (>1000W)	0.5 s	Alta	Captura detallada
Cambio presión (>50PSI)	0.5 s	Alta	Análisis dinámico
Valores límite	0.2 s	Crítica	Alarma inmediata
Datos erróneos	-	-	Descartar y registrar

Nota: Elaboración propia

Las gráficas multivariable propuestas facilitarán la identificación de correlaciones entre parámetros y la detección temprana de anomalías. El análisis de regímenes operativos permitirá establecer líneas base para mantenimiento predictivo. La implementación de alarmas automáticas para valores fuera de rango mejorará la confiabilidad del sistema de monitoreo en tiempo real.

La Tabla 21 evalúa la calidad de los datos mediante métricas clave. La mayoría son excelentes, como los datos válidos (98.5%), la correlación V-I-P (0.95) y la consistencia temporal es regular (85).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Tabla 21

Métricas de calidad de datos

Métrica	Valor	Evaluación	Recomendación
Datos válidos	98.5%	Excelente	Mantener procedimientos
Outliers críticos	0.15%	Mínimo	Filtrado automático
Consistencia temporal	85%	Regular	Estandarizar adquisición
Compleitud	99.8%	Excelente	Sin datos faltantes
Correlación V-I-P	0.95	Excelente	Relaciones físicas válidas

Nota: Elaboración propia

El sistema de monitoreo demuestra buenas capacidades para el análisis de tendencias y la identificación de regímenes operativos estables. La consistencia temporal del 85% proporciona una base para la toma de decisiones estratégicas y la optimización de procesos. Los datos recopilados son valiosos para mejorar la eficiencia energética y planificar mantenimientos preventivos.

Para la mayoría de las aplicaciones industriales convencionales, el nivel actual de monitoreo resulta completamente adecuado. Permite detectar patrones de consumo, validar eficiencias operativas y establecer líneas base para mejoras continuas. La calidad de los datos facilita análisis históricos confiables que soportan la gestión técnica del sistema.

En vista de todo lo anterior se evidencia que existe potencial para incrementar progresivamente las capacidades del sistema mediante mejoras en la frecuencia de muestreo durante periodos clave. Estas optimizaciones permitirían expandir las aplicaciones hacia monitoreos más especializados, añadiendo valor sin comprometer la funcionalidad actual.

En conclusión, el sistema actual constituye una base para el monitoreo convencional y ofrece la flexibilidad necesaria para expandirse conforme lo demanden las necesidades operativas. No obstante, para una valoración completa, es crucial considerar los desafíos.

6. DISEÑO DE BASE DE DATOS

Las bases de datos constituyen estructuras fundamentales para el almacenamiento, organización y recuperación eficiente de la información. Se clasifican, de manera general, en dos grandes tipos: bases de datos relacionales (RDBMS) y no relacionales (NoSQL).

Las bases de datos relacionales se estructuran en tablas compuestas por filas y columnas, las cuales están interconectadas mediante claves primarias y foráneas. Este modelo es adecuado para entornos donde se requiere integridad referencial, cumplimiento de propiedades ACID (Atomicidad, Consistencia, Aislamiento y Durabilidad) y un alto grado de consistencia en los datos. Ejemplos comunes de estas bases son MySQL y PostgreSQL.

Por otro lado, las bases de datos no relacionales emplean estructuras más flexibles, como documentos, grafos (tipo especializado de base de datos NoSQL diseñado para manejar datos conectados mediante relaciones complejas), pares clave-valor o modelos basados en columnas. Este enfoque se adapta mejor a escenarios con datos semiestructurados o dinámicos, donde la escalabilidad horizontal y la flexibilidad en el esquema son prioritarias. MongoDB y Cassandra son ejemplos representativos de este tipo de sistemas.

La Tabla 22 compara bases de datos relacionales (RDBMS) y no relacionales (NoSQL). Las RDBMS usan tablas y SQL, con alta integridad referencial pero baja flexibilidad. Las NoSQL son más flexibles y escalan horizontalmente, pero su integridad referencial es limitada y usan lenguajes de consulta propios.

Tabla 22
Comparación bases de datos

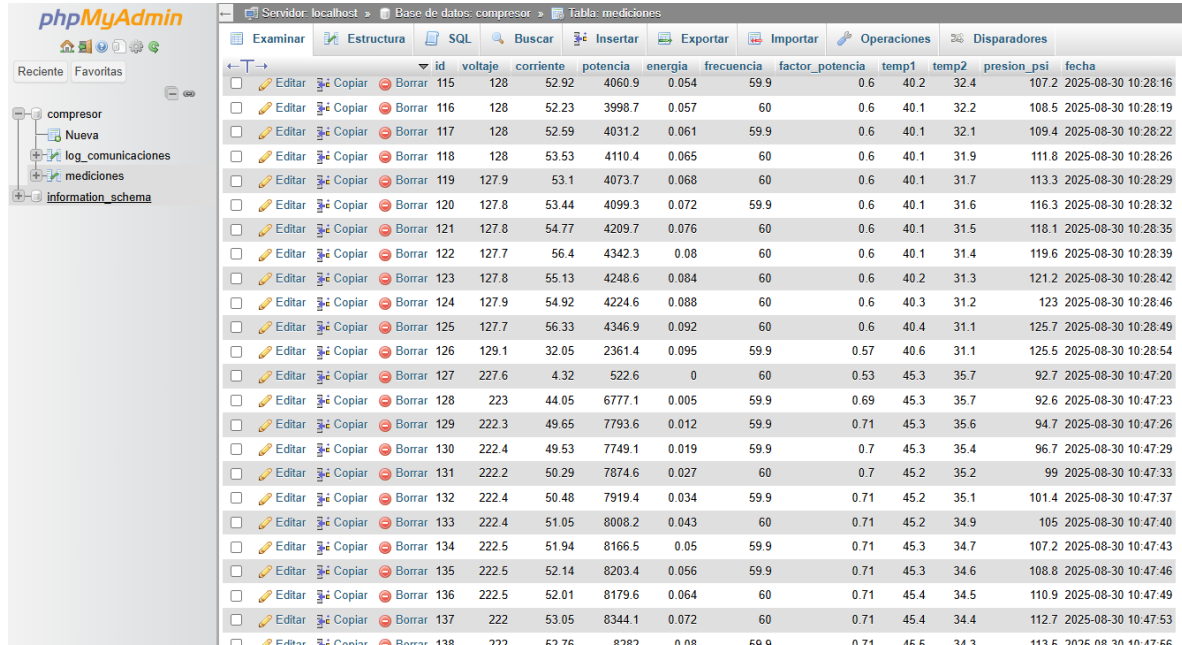
Característica	RDBMS (Relacional)	NoSQL (No Relacional)
Modelo de datos	Tablas	Documentos, Grafos, etc.
Lenguaje de consulta	SQL	Propio (MongoQL, etc.)
Escalabilidad	Vertical	Horizontal
Integridad referencial	Alta	Limitada o inexistente
Flexibilidad de datos	Baja	Alta

Nota: Elaboración propia

El uso de una base de datos con una sola tabla, como la que se observa en la Figura 29 implementada en este proyecto, permitió reducir la complejidad del sistema. Este tipo de estructura resultó fácil de mantener y fue especialmente adecuada para entornos de prototipado o recolección continua de datos homogéneos, como los generados por sensores IoT. Si bien no es la solución más eficiente para manejar relaciones complejas entre

entidades, sí simplificó considerablemente las operaciones CRUD (crear, leer, actualizar y eliminar) y facilitó integraciones rápidas con plataformas de visualización y análisis.

Figura 29
Base de datos implementada



	id	voltaje	corriente	potencia	energia	frecuencia	factor_potencia	temp1	temp2	presion_psi	fecha
<input type="checkbox"/>	115	128	52.92	4060.9	0.054	59.9	0.6	40.2	32.4	107.2	2025-08-30 10:28:16
<input type="checkbox"/>	116	128	52.23	3998.7	0.057	60	0.6	40.1	32.2	108.5	2025-08-30 10:28:19
<input type="checkbox"/>	117	128	52.59	4031.2	0.061	59.9	0.6	40.1	32.1	109.4	2025-08-30 10:28:22
<input type="checkbox"/>	118	128	53.53	4110.4	0.065	60	0.6	40.1	31.9	111.8	2025-08-30 10:28:26
<input type="checkbox"/>	119	127.9	53.1	4073.7	0.068	60	0.6	40.1	31.7	113.3	2025-08-30 10:28:29
<input type="checkbox"/>	120	127.8	53.44	4099.3	0.072	59.9	0.6	40.1	31.6	116.3	2025-08-30 10:28:32
<input type="checkbox"/>	121	127.8	54.77	4209.7	0.076	60	0.6	40.1	31.5	118.1	2025-08-30 10:28:35
<input type="checkbox"/>	122	127.7	56.4	4342.3	0.08	60	0.6	40.1	31.4	119.6	2025-08-30 10:28:39
<input type="checkbox"/>	123	127.8	55.13	4248.6	0.084	60	0.6	40.2	31.3	121.2	2025-08-30 10:28:42
<input type="checkbox"/>	124	127.9	54.92	4224.6	0.088	60	0.6	40.3	31.2	123	2025-08-30 10:28:46
<input type="checkbox"/>	125	127.7	56.33	4346.9	0.092	60	0.6	40.4	31.1	125.7	2025-08-30 10:28:49
<input type="checkbox"/>	126	129.1	32.05	2361.4	0.095	59.9	0.57	40.6	31.1	125.5	2025-08-30 10:28:54
<input type="checkbox"/>	127	227.6	4.32	522.6	0	60	0.53	45.3	35.7	92.7	2025-08-30 10:47:20
<input type="checkbox"/>	128	223	44.05	6777.1	0.005	59.9	0.69	45.3	35.7	92.6	2025-08-30 10:47:23
<input type="checkbox"/>	129	222.3	49.65	7793.6	0.012	59.9	0.71	45.3	35.6	94.7	2025-08-30 10:47:26
<input type="checkbox"/>	130	222.4	49.53	7749.1	0.019	59.9	0.7	45.3	35.4	96.7	2025-08-30 10:47:29
<input type="checkbox"/>	131	222.2	50.29	7874.6	0.027	60	0.7	45.2	35.2	99	2025-08-30 10:47:33
<input type="checkbox"/>	132	222.4	50.48	7919.4	0.034	59.9	0.71	45.2	35.1	101.4	2025-08-30 10:47:37
<input type="checkbox"/>	133	222.4	51.05	8008.2	0.043	60	0.71	45.2	34.9	105	2025-08-30 10:47:40
<input type="checkbox"/>	134	222.5	51.94	8166.5	0.05	59.9	0.71	45.3	34.7	107.2	2025-08-30 10:47:43
<input type="checkbox"/>	135	222.5	52.14	8203.4	0.056	59.9	0.71	45.3	34.6	108.8	2025-08-30 10:47:46
<input type="checkbox"/>	136	222.5	52.01	8179.6	0.064	60	0.71	45.4	34.5	110.9	2025-08-30 10:47:49
<input type="checkbox"/>	137	222	53.05	8344.1	0.072	60	0.71	45.4	34.4	112.7	2025-08-30 10:47:53
<input type="checkbox"/>	138	222	52.76	8282	0.08	59.9	0.71	45.4	34.3	113.5	2025-08-30 10:47:56

Nota: Imagen tomada de acceso a phpMyAdmin

El archivo SQL correspondiente definió una base de datos denominada compresor, la cual contenía una única tabla llamada datos. Esta tabla incluyó campos como voltaje, corriente, potencia, energía, frecuencia, factor de potencia, dos temperaturas y una presión. Dichos campos representaron variables industriales relevantes, probablemente obtenidas mediante sensores como el PZEM-004T y el DS18B20, los cuales fueron descritos en capítulos anteriores.

La Figura 30 muestra el script SQL para crear la base de datos "compresor" y su tabla "mediciones". Esta tabla almacena parámetros como voltaje, corriente, potencia, energía, temperatura y presión, junto con la fecha de registro. Su estructura permite gestionar y analizar los datos de monitoreo del compresor industrial de manera organizada y eficiente.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Figura 30

Script para creación base de datos

```

CREATE DATABASE IF NOT EXISTS compresor;
USE compresor;

CREATE TABLE IF NOT EXISTS mediciones (
    id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,
    voltaje FLOAT,
    corriente FLOAT,
    potencia FLOAT,
    energia FLOAT,
    frecuencia FLOAT,
    factor_potencia FLOAT,
    temp1 FLOAT,
    temp2 FLOAT,
    presion_psi FLOAT,
    fecha DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP
);

```

Nota: Elaboración propia

La Tabla 23 es un diccionario de datos que define la estructura de una tabla de base de datos. Especifica campos como voltaje, corriente y potencia (tipo FLOAT), así como un ID único y una marca de tiempo. Describe el tipo de dato y la función de cada campo para almacenar mediciones de un sistema.

Tabla 23

Diccionario de datos

Campo	Tipo de dato	Descripción
id	INT (PK)	Identificador único autoincremental
voltaje	FLOAT	Valor de voltaje en volts
corriente	FLOAT	Corriente medida en amperios
potencia	FLOAT	Potencia activa en watts
energia	FLOAT	Energía acumulada en kWh
frecuencia	FLOAT	Frecuencia en Hz
factor_potencia	FLOAT	Relación entre potencia activa y aparente
temp1	FLOAT	Temperatura 1 en °C
temp2	FLOAT	Temperatura 2 en °C
presion_psi	FLOAT	Presión medida en PSI
fecha	TIMESTAMP	Fecha y hora de la medición

Nota: Elaboración propia.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

La Figura 31, muestra la estructura de la tabla "medicaciones" en la base de datos "compresor". Detalla los campos, sus tipos de datos (como INT y FLOAT), y atributos como "AUTO_INCREMENT" para el ID. La interfaz permite gestionar la tabla mediante opciones como examinar, insertar, exportar y realizar operaciones sobre cada campo.

Figura 31

Estructura base de datos



#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios	Extra	Acción
1	id	int(11)			No	Ninguna		AUTO_INCREMENT	Cambiar Eliminar Más
2	voltaje	float			Sí	NULL			Cambiar Eliminar Más
3	corriente	float			Sí	NULL			Cambiar Eliminar Más
4	potencia	float			Sí	NULL			Cambiar Eliminar Más
5	energia	float			Sí	NULL			Cambiar Eliminar Más
6	frecuencia	float			Sí	NULL			Cambiar Eliminar Más
7	factor_potencia	float			Sí	NULL			Cambiar Eliminar Más
8	temp1	float			Sí	NULL			Cambiar Eliminar Más
9	temp2	float			Sí	NULL			Cambiar Eliminar Más
10	presion_psi	float			Sí	NULL			Cambiar Eliminar Más
11	fecha	datetime			Sí	current_timestamp()			Cambiar Eliminar Más

Nota: Elaboración propia.

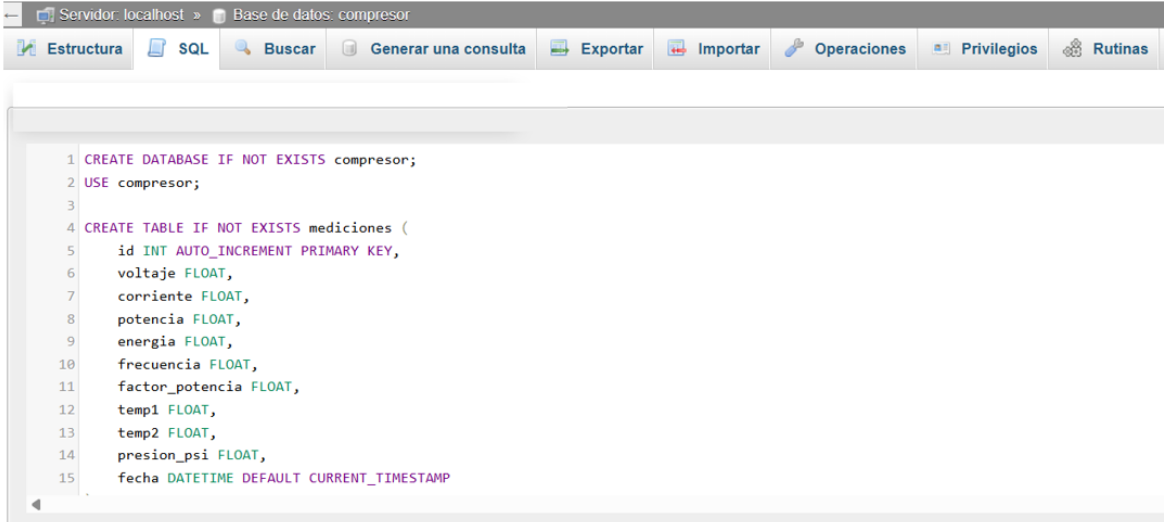
Para iniciar el diseño de una base de datos en MySQL destinada al almacenamiento de mediciones provenientes de sensores, fue necesario utilizar un entorno de gestión como MySQL Workbench o, alternativamente, la interfaz de línea de comandos (CLI). A través del comando CREATE DATABASE, se definió un espacio lógico denominado compresor, y con la instrucción USE compresor se activó el contexto de trabajo sobre dicha base.

Posteriormente, se creó la tabla datos, la cual incluyó campos específicos para almacenar variables como voltaje, corriente, temperatura y presión, todos definidos como tipo FLOAT. El campo id fue declarado clave primaria con incremento automático, mientras que el campo fecha se configuró para registrar automáticamente la marca de tiempo actual. Esta estructura demostró ser adecuada para gestionar información proveniente de sensores IoT, permitiendo una lectura ordenada y estructurada (Elmasri & Navathe, 2015).

La Figura 32, muestra el script SQL para crear la base de datos "compresor" y su tabla "medicaciones". Incluye campos como voltaje, corriente, potencia, energía, temperaturas y presión, con sus tipos de datos. El campo "id" es la clave primaria autoincremental y "fecha" registra la marca de tiempo automáticamente.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Figura 32
Create database



```

1 CREATE DATABASE IF NOT EXISTS compresor;
2 USE compresor;
3
4 CREATE TABLE IF NOT EXISTS mediciones (
5     id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,
6     voltaje FLOAT,
7     corriente FLOAT,
8     potencia FLOAT,
9     energia FLOAT,
10    frecuencia FLOAT,
11    factor_potencia FLOAT,
12    temp1 FLOAT,
13    temp2 FLOAT,
14    presion_psi FLOAT,
15    fecha DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP

```

Nota: Elaboración propia en phpMyAdmin

Una vez creada la tabla, se procedió a insertar los registros mediante la sentencia INSERT INTO, especificando los valores obtenidos por los sensores, gracias al campo fecha, los datos quedaron organizados cronológicamente. Para consultar la información almacenada, se utilizó la instrucción SELECT * FROM datos ORDER BY fecha DESC, lo que permitió visualizar primero los datos más recientes. Esta funcionalidad resultó esencial para los sistemas de monitoreo industrial, al facilitar el análisis en tiempo real y la toma de decisiones. Estas operaciones básicas forman parte de las transacciones fundamentales en SQL (Coronel & Morris, 2018) y representaron el primer paso hacia una arquitectura de monitoreo automatizada, integrable con plataformas de visualización como Power BI.

La implementación de una base con una sola tabla fue adecuada para registros unificados y consistentes. Se recomendó mantener una estructura clara, normalizarla si se añadían nuevos sensores o dispositivos, y aplicar buenas prácticas como la realización periódica de copias de seguridad y medidas de seguridad para la protección de los datos. La elección del tipo de base de datos dependió principalmente del volumen, la velocidad y la variedad de los datos gestionados.

La Figura 33, muestra una captura de los datos almacenados en la base de datos del sistema de monitoreo. Se observan mediciones en tiempo real de parámetros como voltaje, corriente, potencia, temperaturas y presión, registrados con su respectiva marca de tiempo. Estos datos permiten analizar el comportamiento y rendimiento del compresor industrial.

Figura 33

Datos en la base de datos

voltaje	corriente	potencia	energia	frecuencia	factor_potencia	temp1	temp2	presion_psi	fecha
128	52.92	4060.9	0.054	59.9	0.6	40.2	32.4	107.2	2025-08-30 10:28:16
128	52.23	3998.7	0.057	60	0.6	40.1	32.2	108.5	2025-08-30 10:28:19
128	52.59	4031.2	0.061	59.9	0.6	40.1	32.1	109.4	2025-08-30 10:28:22
128	53.53	4110.4	0.065	60	0.6	40.1	31.9	111.8	2025-08-30 10:28:26
127.9	53.1	4073.7	0.068	60	0.6	40.1	31.7	113.3	2025-08-30 10:28:29
127.8	53.44	4099.3	0.072	59.9	0.6	40.1	31.6	116.3	2025-08-30 10:28:32
127.8	54.77	4209.7	0.076	60	0.6	40.1	31.5	118.1	2025-08-30 10:28:35
127.7	56.4	4342.3	0.08	60	0.6	40.1	31.4	119.6	2025-08-30 10:28:39
127.8	55.13	4248.6	0.084	60	0.6	40.2	31.3	121.2	2025-08-30 10:28:42
127.9	54.92	4224.6	0.088	60	0.6	40.3	31.2	123	2025-08-30 10:28:46
127.7	56.33	4346.9	0.092	60	0.6	40.4	31.1	125.7	2025-08-30 10:28:49
129.1	32.05	2361.4	0.095	59.9	0.57	40.6	31.1	125.5	2025-08-30 10:28:54
227.6	4.32	522.6	0	60	0.53	45.3	35.7	92.7	2025-08-30 10:47:20
223	44.05	6777.1	0.005	59.9	0.69	45.3	35.7	92.6	2025-08-30 10:47:23
222.3	49.65	7793.6	0.012	59.9	0.71	45.3	35.6	94.7	2025-08-30 10:47:26
222.4	49.53	7749.1	0.019	59.9	0.7	45.3	35.4	96.7	2025-08-30 10:47:29
222.2	50.29	7874.6	0.027	60	0.7	45.2	35.2	99	2025-08-30 10:47:33
222.4	50.48	7919.4	0.034	59.9	0.71	45.2	35.1	101.4	2025-08-30 10:47:37
222.4	51.05	8008.2	0.043	60	0.71	45.2	34.9	105	2025-08-30 10:47:40
222.5	51.94	8166.5	0.05	59.9	0.71	45.3	34.7	107.2	2025-08-30 10:47:43
222.5	52.14	8203.4	0.056	59.9	0.71	45.3	34.6	108.8	2025-08-30 10:47:46

Nota: Captura en phpMyAdmin

La conexión entre la base de datos MySQL y el microcontrolador ESP32 se estableció, por lo general, a través de una red Wi-Fi. El ESP32 funcionó como cliente HTTP y envió los datos a un servidor web que ejecutaba scripts en PHP o Node.js, encargados de insertar la información en la base de datos MySQL. Para ello, el código del ESP32 incluyó librerías como WiFi.h y HTTPClient.h, y se programaron peticiones POST con los datos capturados por los sensores. Este enfoque fue común en soluciones IoT para aplicaciones de monitoreo remoto (Al-Fuqaha et al., 2015).

La Figura 34, muestra un código de configuración para un sistema de adquisición de datos con microcontrolador. Incluye la conexión WiFi, un sensor PZEM-004T para medir parámetros eléctricos y dos sensores de temperatura independientes. El código prepara el hardware para leer y enviar datos a un servidor web especificado.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Figura 34

Inicio de código para tarjeta ESP32

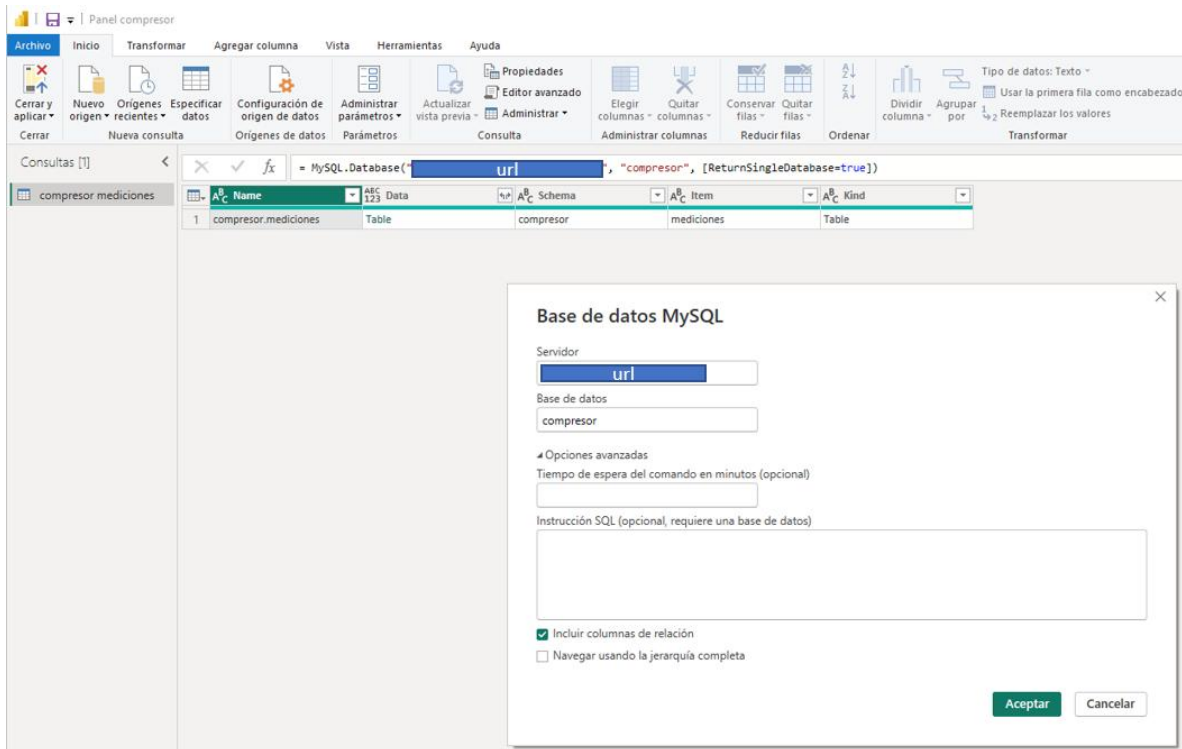
```
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <PZEM004Tv30.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
// Configuración WiFi
const char* ssid = "Red WiFi a utilizar";
const char* password = "contraseña WiFi";
const char* serverUrl = "URL servicios";
// PZEM-004T (Serial2: GPIO16-RX, GPIO17-TX) HardwareSerial pzemSerial(2);
PZEM004Tv30 pzem(pzemSerial, 16, 17);
// Configuración sensores de temperatura independientes
#define ONE_WIRE_BUS_1 2
// GPIO2 para sensor 1
#define ONE_WIRE_BUS_2 4
// GPIO4 para sensor 2 OneWire oneWire1(ONE_WIRE_BUS_1);
OneWire oneWire2(ONE_WIRE_BUS_2);
DallasTemperature sensor1(&oneWire1);
```

Nota: Elaboración propia

Una vez almacenados los datos en MySQL, Power BI pudo conectarse directamente a esta base para realizar visualizaciones; Power BI Desktop ofreció la opción de importar datos a través del conector nativo para MySQL. Para lograrlo, se instaló el controlador ODBC correspondiente y se configuró la conexión indicando la IP del servidor, el puerto, el nombre de la base de datos y las credenciales de acceso. Establecida la conexión, Power BI permitió transformar, filtrar y modelar los datos, facilitando así la creación de paneles interactivos y reportes automatizados (Microsoft, 2023).

La Figura 35, ilustra la conexión entre el panel de control del compresor en Power BI y una base de datos MySQL. Muestra cómo se accede a la base de datos "compresor" para obtener y analizar los datos, permitiendo la creación de informes y visualizaciones interactivas a partir de la información almacenada.

Figura 35
Conexión panel compresor Power BI con MySQL

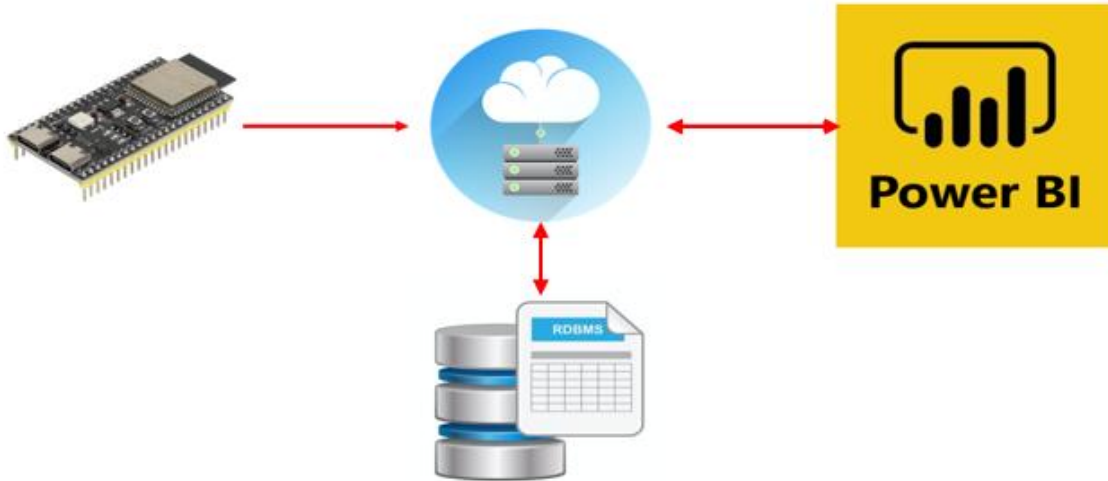


Nota: Elaboración propia en Power BI

Para lograr una actualización en tiempo real o con una frecuencia controlada, se recomendó implementar flujos de actualización mediante Power BI Service, Power Automate o Azure Functions. Estas herramientas permitieron que los tableros reflejaran datos actualizados a intervalos definidos. La arquitectura general se estructuró con el ESP32 como fuente de datos, el servidor con MySQL como backend y Power BI como la capa de visualización. Esta integración resultó ideal para proyectos de monitoreo energético o para sistemas SCADA ligeros (Miorandi et al., 2012).

La Figura 36, muestra un diagrama o esquema de la configuración de adquisición de datos y conexiones del sistema, con unos componentes específicos y un flujo de datos, tal como se muestra en la figura.

Figura 36
Arquitectura de conexión

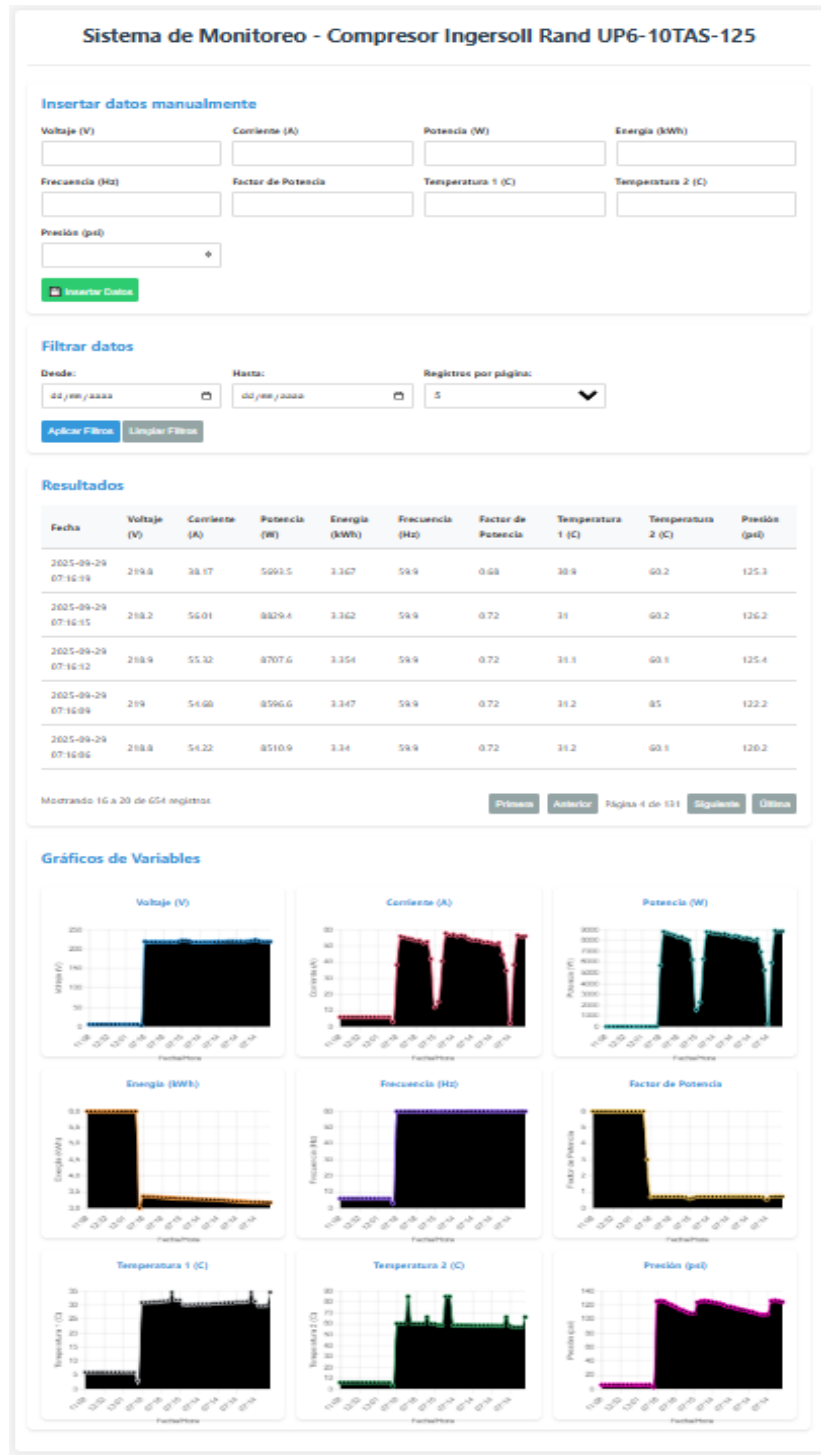


Nota: Elaboración propia.

En la Figura 37, la imagen presenta una herramienta web desarrollada para el monitoreo y registro manual de datos del compresor Ingersoll Rand UP6-10TAS-125. La interfaz integra campos para la inserción de variables como voltaje, corriente, potencia, energía, frecuencia, factor de potencia, temperatura y presión. Además, incluye una tabla que muestra las mediciones registradas en tiempo real, junto con una sección de gráficos que representan la evolución temporal de cada variable. Esta aplicación facilita el seguimiento del comportamiento operativo del compresor, permitiendo tanto la supervisión inmediata de su desempeño como el ingreso manual de datos en caso de requerirse.

Es importante destacar que esta herramienta se realizó únicamente con fines de monitoreo y prueba conceptual. Una solución de visualización e interacción similar, pero más robusta e integrada, es la que se implementaría utilizando Power BI para conectar directamente con la base de datos y generar dashboards interactivos.

Figura 37
Herramienta WEB de monitoreo y prueba conceptual



Nota: Elaboración propia basada en HTML.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Finalmente, si se requiere implementar este aplicativo web específico de manera funcional y en producción, su desarrollo conlleva un costo adicional que no está incluido en la propuesta base. Dicho costo se calculará y presentará formalmente en el momento en que se solicite su implementación, tras definir los requisitos técnicos y funcionales completos.

La implementación de una base de datos relacional MySQL demostró ser una solución eficaz y adecuada para el sistema de monitoreo del compresor. La estructura de una sola tabla, con campos específicos para variables industriales, simplificó significativamente las operaciones CRUD y facilitó una integración ágil con el microcontrolador ESP32. Este diseño, aunque no normalizado, resultó óptimo para el prototipado y el manejo de datos homogéneos provenientes de sensores, cumpliendo con los requisitos de consistencia y registro cronológico mediante transacciones SQL básicas. La elección de un RDBMS garantizó la integridad de los datos para este volumen de información y sentó las bases para el almacenamiento estructurado.

La arquitectura completa, comprendiendo el ESP32, el servidor web, MySQL y Power BI, formó un sistema cohesivo de adquisición, almacenamiento y visualización de datos. La conexión establecida permitió que los datos capturados por los sensores se almacenaran automáticamente en la base de datos y fueran consumidos posteriormente por la herramienta de Business Intelligence para la generación de dashboards. Esta integración constituye un sistema SCADA ligero y escalable, ideal para el análisis del rendimiento energético y la condición operativa del equipo industrial en tiempo casi real.

Finalmente, este capítulo sienta las bases técnicas para un sistema de monitoreo confiable y replicable. La solución implementada, desde la definición de la base de datos hasta su conexión con las capas de hardware y software, valida la viabilidad del proyecto. Para futuras etapas, se recomienda evaluar la normalización de la base de datos si se incrementa la complejidad de los datos, así como la implementación de la herramienta web de monitoreo, cuyo desarrollo representaría una evolución natural con un costo asociado específico.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

7. VISUALIZACIÓN INTERACTIVA DE DATOS

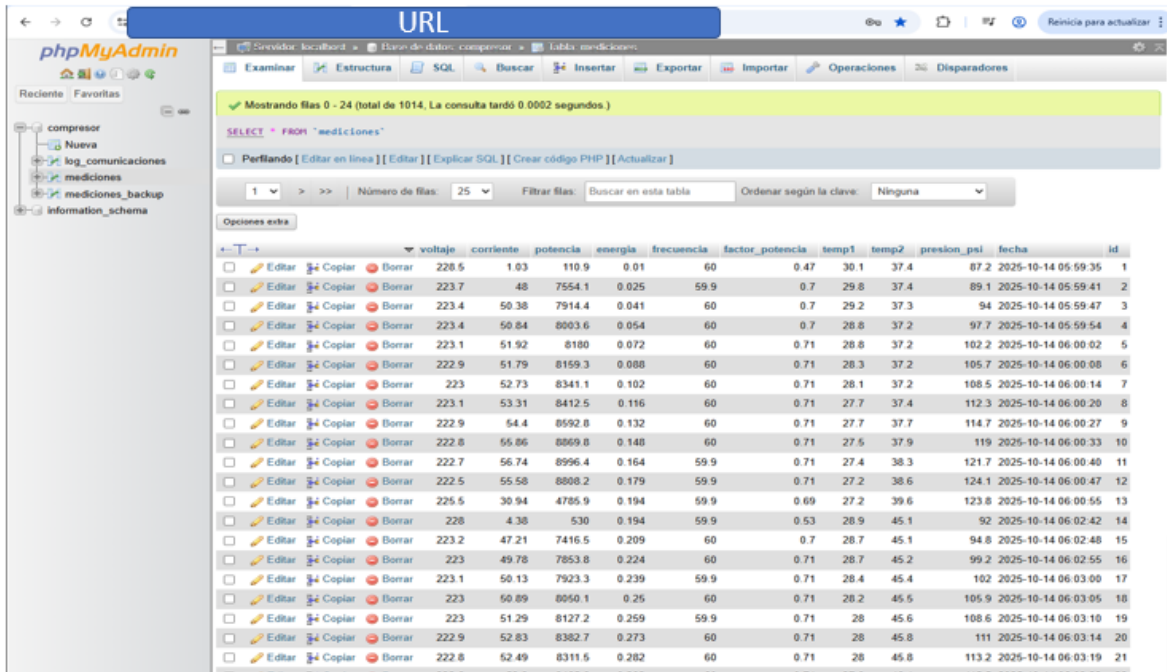
La implementación de paneles de control mediante Power BI permitió transformar datos técnicos en visualizaciones comprensibles, facilitando así la toma de decisiones informadas, esta herramienta de inteligencia empresarial resultó clave en el contexto de la eficiencia energética industrial, al posibilitar el monitoreo en tiempo real de parámetros críticos del compresor de aire; esto podría en un futuro permitir la identificación de desviaciones y la generación de alertas tempranas. Power BI tradujo grandes volúmenes de datos en gráficos interactivos, lo que mejoró la comprensión operativa y favoreció la ejecución de acciones correctivas oportunas (Microsoft, 2023).

Power BI se conectó directamente a bases de datos MySQL, como la desarrollada en este proyecto, en particular, la base de datos denominada compresor, con su tabla mediciones, contenía registros estructurados sobre variables eléctricas, térmicas y de presión. La conexión se estableció desde Power BI Desktop mediante el conector nativo para MySQL, lo cual requirió la instalación previa del controlador ODBC correspondiente, así como la configuración de la dirección IP del servidor, el puerto, el nombre de la base de datos y las credenciales de acceso.

La Figura 38, corresponde a la vista de la tabla mediciones dentro de phpMyAdmin, mostrando registros almacenados en una base de datos llamada compresor. Se observan columnas con variables eléctricas y térmicas como voltaje, corriente, potencia, energía, frecuencia y factor de potencia, así como temperaturas de succión y salida, presión y fecha. En la parte superior se muestran las opciones de navegación y acciones disponibles como examinar, insertar o exportar datos.

Cada fila representa una medición tomada en un momento específico, permitiendo seguimiento histórico del comportamiento del compresor. También se observan botones para Editar, Copiar o Borrar cada registro. La tabla permite filtrar, ordenar y ajustar la cantidad de filas visibles, facilitando la administración y análisis de los datos operativos del equipo.

Figura 38
Herramientas WEB del proyecto

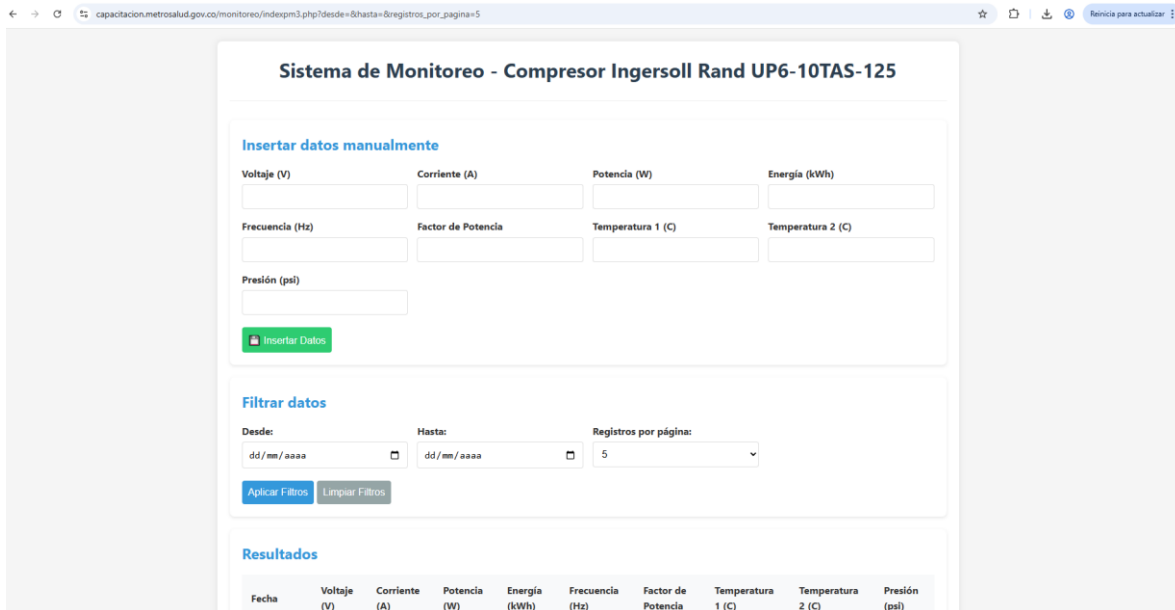


Nota: Elaboración propia basada plataformas phpMyAdmin, Power BI y HTML.

La Figura 39 muestra una interfaz web titulada “Sistema de Monitoreo - Compresor Ingersoll Rand UP6-10TAS-125”. En la parte superior se encuentra un formulario para insertar datos manualmente, con campos para voltaje, corriente, potencia, energía, frecuencia, factor de potencia, dos temperaturas y presión. Debajo del formulario hay un botón verde para guardar los datos ingresados en la base de datos.

Más abajo aparece la sección “Filtrar datos”, donde el usuario puede seleccionar un rango de fechas y la cantidad de registros por página. Finalmente, se observa el inicio de la tabla de Resultados, donde se muestran las mediciones almacenadas con sus valores correspondientes, permitiendo revisar el estado operativo del compresor.

Figura 39
Interfaz WEB



Nota: Elaboración propia basada plataformas phpMyAdmin, Power BI y HTML.

Una vez establecida la conexión, Power BI accedió a los campos definidos en la tabla mediciones, en donde cada columna (voltaje, corriente, potencia, energía, frecuencia, factor de potencia, temperatura succión, temperatura descarga, presión y fecha) pudo ser seleccionada y transformada a través del Editor de Power Query. Esta herramienta permitió realizar acciones como renombrar, filtrar, cambiar tipos de datos o crear columnas calculadas, preparando así la información para su visualización final.

La construcción del panel de control se llevó a cabo en la sección Informe de Power BI Desktop. En esta etapa, se arrastraron las visualizaciones deseadas (como gráficos de línea, tarjetas, indicadores o medidores) y se asignaron los campos relevantes desde el panel de datos.

La Figura 40, presenta un informe técnico sobre el sistema de aire comprimido Ingersoll Rand UPG-10-125, con fechas de seguimiento del 14 al 18 de octubre de 2025. El documento forma parte de un proyecto de desarrollo para el monitoreo de variables energéticas en compresores. En la cabecera se destacan las secciones de GENERAL, POTENCIAS y EFICIENCIAS, estableciendo el contexto de la aplicación.

Se detallan las especificaciones técnicas del compresor, identificado como un modelo de tornillo rotativo lubricado con una potencia nominal de 10 HP (7,5 kW). Opera con un voltaje

de 200 V trifásico, tiene una capacidad de 38 CFM y una presión máxima de 125 psig. La refrigeración es por aire y sus aplicaciones típicas incluyen la industria automotriz y talleres generales, lo que define su perfil operativo y ámbito de uso. El informe incluye la fecha y hora del último registro, indicando la actualización más reciente de los datos de monitoreo.

Figura 40
Panel principal Power BI.

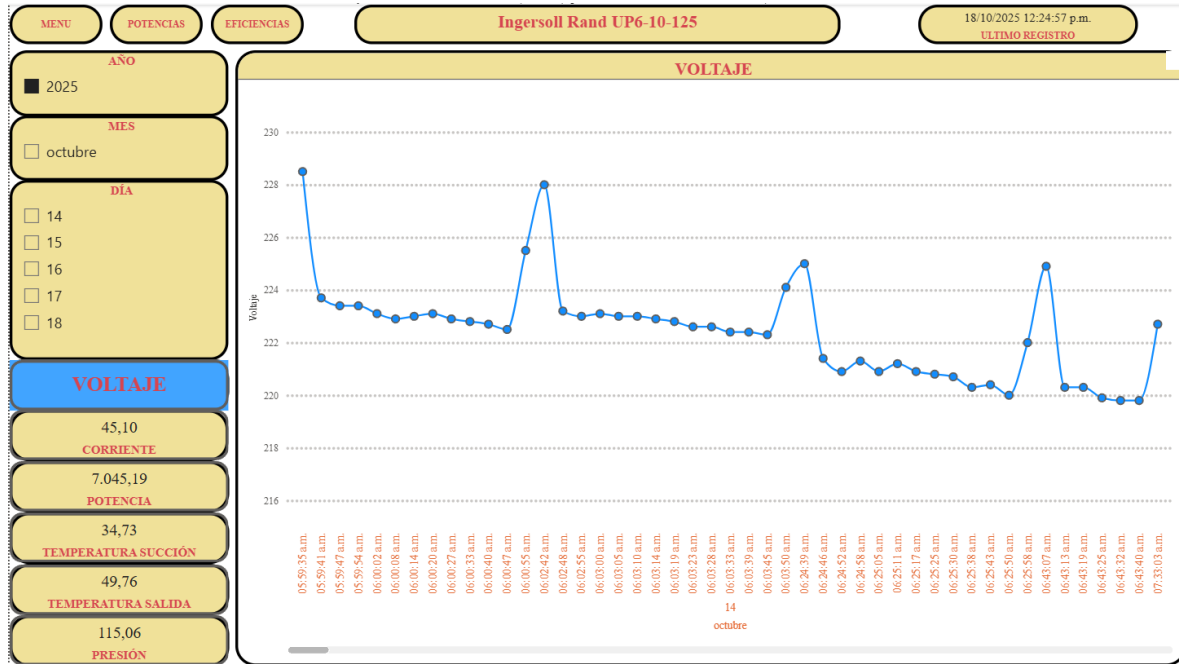


Nota: Elaboración propia basada en Power BI.

En la Figura 41, muestra un panel de control en Power BI correspondiente al compresor Ingersoll Rand UP6-10-125, enfocado en la variable voltaje. En la parte central se observa una gráfica de líneas que presenta la variación del voltaje a lo largo del tiempo, con valores que oscilan alrededor de los 220–230 V. El eje horizontal muestra las horas del día 14 de octubre, mientras que el eje vertical representa el nivel de voltaje.

En el lado izquierdo se encuentran los filtros de fecha (año, mes y día) y un menú con opciones de variables como corriente, potencia, temperatura de succión y salida, y presión. También se incluye un cuadro que muestra los valores promedio o actuales de cada variable. En la parte superior se visualiza la fecha y hora del último registro, lo que indica que el panel está diseñado para monitoreo continuo.

Figura 41
Pestaña general en panel de control de Power BI (Voltaje)

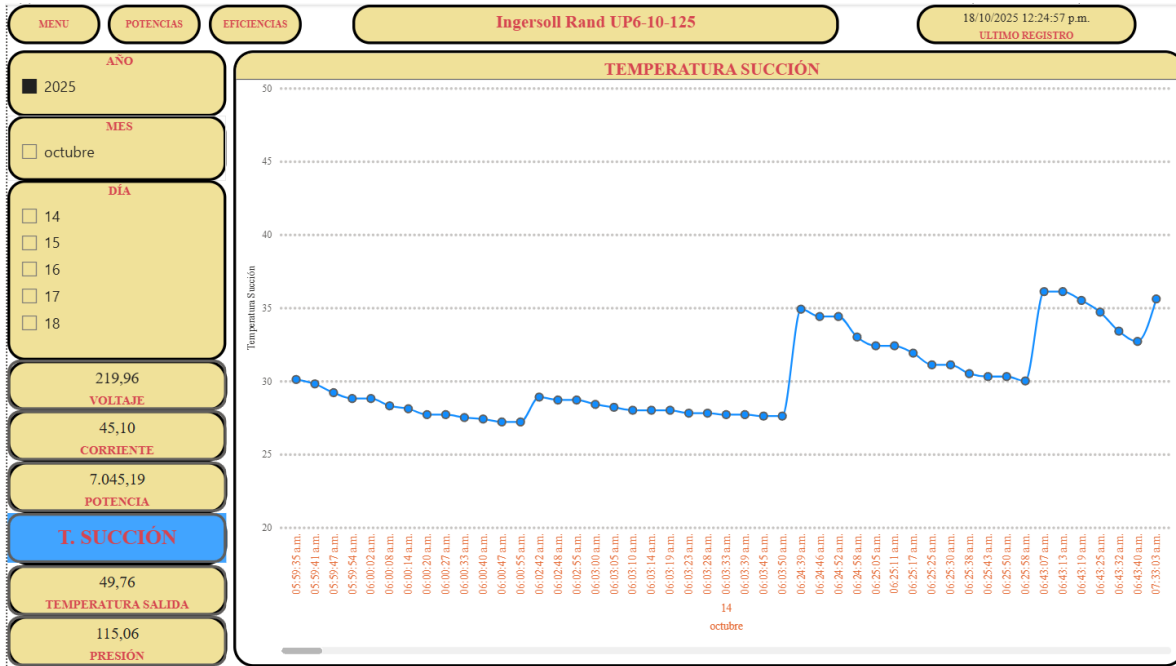


Nota: Elaboración propia basada en Power BI.

En la Figura 42 se observa una variable destacada es la temperatura de succión, resaltada en un botón azul, indicando que actualmente está siendo visualizada. En el centro se presenta una gráfica de línea que muestra la evolución de la temperatura de succión a lo largo del tiempo, con valores aproximados entre 28 y 36 °C. La gráfica incluye eje temporal detallado por horas y minutos, y un eje vertical que indica la magnitud de la temperatura. En la parte superior se señala la fecha y hora del último registro, mostrando que los datos son monitoreados continuamente.

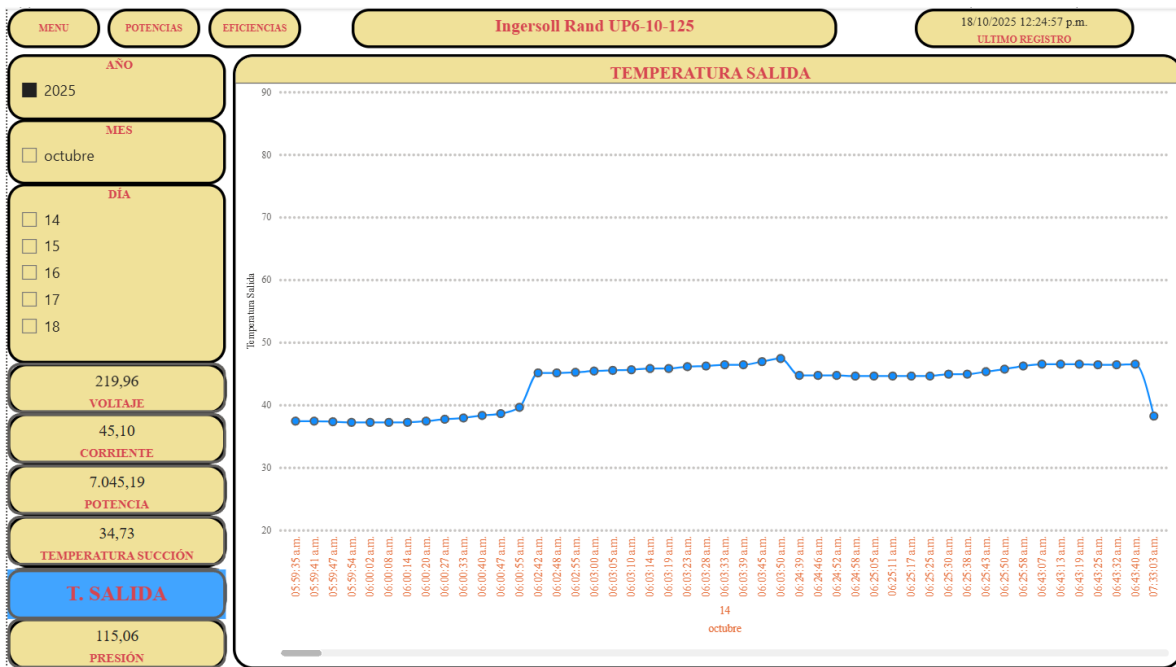
En la Figura 43 se observa un botón resaltado en azul indica que la visualización actual corresponde a la temperatura de salida del compresor, en el área central se observa una gráfica de línea que muestra la evolución de la temperatura de salida a lo largo de un periodo específico. Los valores registrados oscilan entre aproximadamente 38 °C y 45 °C, con incrementos y descensos graduales. El eje horizontal presenta las marcas de tiempo detalladas por minuto, mientras que el eje vertical muestra la variación de la temperatura en grados Celsius. En la parte superior derecha se indica la fecha y hora del último registro, lo que evidencia actualización continua de los datos monitoreados.

Figura 42
Pestaña general en panel de control de Power BI (Temperatura succión)



Nota: Elaboración propia basada en Power BI.

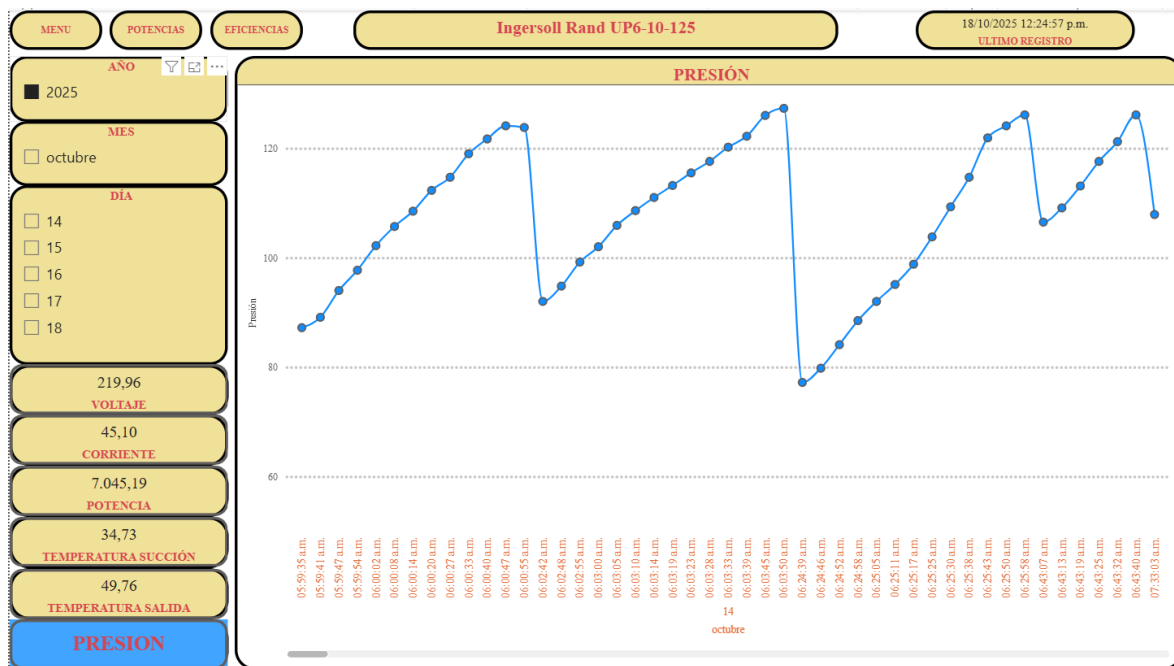
Figura 43
Pestaña general en panel de control de Power BI (Temperatura salida)



Nota: Elaboración propia basada en Power BI.

En la Figura 44 se observa un botón resaltado en azul que indica que la visualización activa corresponde a la presión, en la zona central se presenta una gráfica de línea que representa la variación de la presión a lo largo del tiempo durante el día seleccionado. La presión muestra ciclos ascendentes y descendentes que oscilan aproximadamente entre 75 psi y 125 psi, lo que refleja el comportamiento típico de carga y descarga del compresor. En la parte superior derecha se muestra la fecha y hora del último registro, indicando actualización continua de los datos monitoreados.

Figura 44
Pestaña general en panel de control de Power BI (Presión)



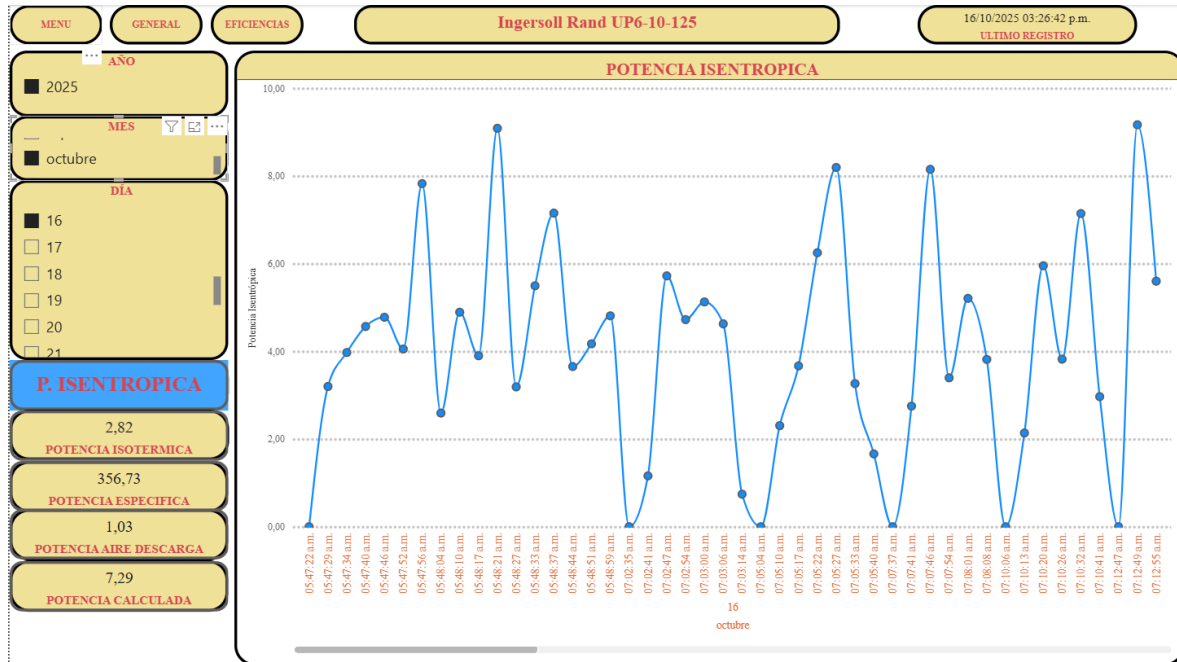
Nota: Elaboración propia basada en Power BI.

La Figura 45, muestra un panel de monitoreo en Power BI correspondiente al compresor Ingersoll Rand UP6-10-125, enfocado en la variable potencia isentrópica. En la parte central se observa una gráfica de líneas que representa la variación de esta potencia a lo largo del tiempo, específicamente durante la mañana del día 16 de octubre. Los valores se mantienen cercanos a cero durante varios intervalos, con picos puntuales que indican momentos de mayor demanda energética en el proceso de compresión.

En el lado izquierdo se encuentran los filtros de selección de fecha (año, mes y día), junto con tarjetas que muestran valores calculados como la potencia isentrópica, potencia isotérmica, potencia específica y potencia calculada. En la parte superior se muestra el

nombre del equipo monitoreado y la hora del último registro, lo que indica que el panel está diseñado para el seguimiento y análisis operativo en tiempo real.

Figura 45
Pestaña potencias en panel de control de Power BI

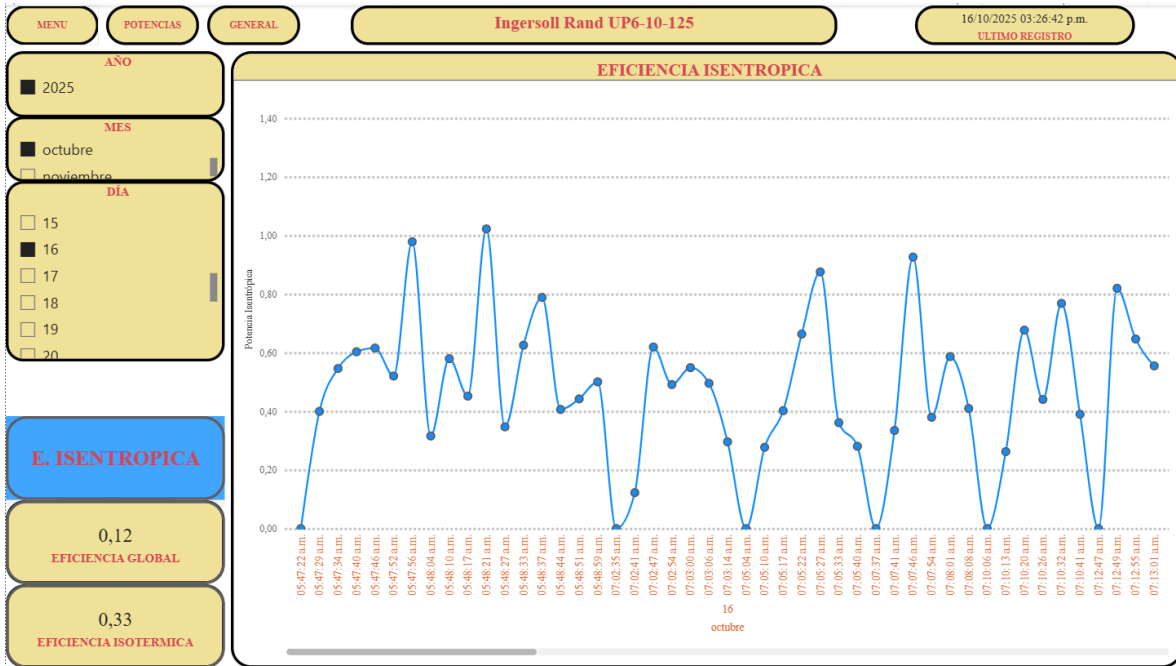


Nota: Elaboración propia basada en Power BI.

La Figura 46, presenta un panel de monitoreo en Power BI correspondiente al compresor Ingersoll Rand UP6-10-125, mostrando el comportamiento de la eficiencia isentrópica a lo largo del tiempo. La gráfica central es de tipo línea y muestra valores muy bajos de eficiencia, con picos esporádicos, lo que sugiere variaciones puntuales en el desempeño del proceso de compresión durante el día 16 de octubre. El eje horizontal indica la hora de registro y el eje vertical representa el valor de la eficiencia.

En la zona izquierda se encuentran los filtros de selección para año, mes y día, permitiendo analizar intervalos específicos. Debajo se muestran tarjetas con indicadores de eficiencia global e isotérmica, también con valores bajos, reforzando la interpretación de un rendimiento energético reducido en el periodo visualizado. En la parte superior se presentan el nombre del compresor y la hora del último registro, lo cual evidencia el enfoque en monitoreo continuo.

Figura 46
Pestaña eficiencias en panel de control de Power BI



Nota: Elaboración propia basada en Power BI.

La Figura 47, muestra una tabla con variables calculadas mediante DAX (Data Analysis Expressions) en Power BI, utilizadas para el análisis energético del compresor. Entre las columnas se incluyen presión (kPa), volumen (m³), flujos máxicos y volumétricos, potencia calculada, y diversas eficiencias termodinámicas. Estas medidas permiten obtener indicadores del comportamiento del sistema y facilitan la interpretación de los resultados dentro del entorno de monitoreo energético.

El uso de cálculos DAX posibilita la creación dinámica de métricas derivadas como la potencia específica y las eficiencias isentrópica, isotérmica y global, las cuales se actualizan automáticamente a partir de los datos registrados. Este enfoque mejora la capacidad de análisis, permitiendo visualizar tendencias, comparar rendimientos y detectar desviaciones en tiempo real.

Figura 47
Creación de medidas calculadas

PotenciaCalculada	Presion_kPa	Volumen_m3	Flujo_m3/s	FlujoMas_kg/s	P_Spec_kW/(m3/s)
8,7682998046875	400,992851884025	1,58932426318691	0	0	0,00000000
8,4447001953125	427,875005258833	1,69642561905352	0,000534215154245254	0,00260401054423473	15807,67622971
8,1847998046875	454,757132339478	1,80182802865171	0,0019267663521408	0,00998854604128345	4247,94620043
8,18839990234375	454,757132339478	1,80064901023059	0	0	0,00000000
8,381099609375	455,446433830261	1,80219755177449	0,000258090257315676	0,00134174921325523	32473,52184675
8,6222001953125	458,89286240169	1,81405043953042	0,00126370670787546	0,00662593330675701	6822,94407522
8,441400390625	494,046423312596	1,96262263466674	0	0	0,00000000
8,574900390625	494,73572480338	1,96343692709705	9,04769367015618E-05	0,000509442296533567	94774,43316753
8,7172998046875	503,007132339478	1,9956112713225	0,000682662690891012	0,00390936327372691	12769,55650427
8,6212998046875	511,278566169739	2,03306645600899	9,72828147376426E-05	0,000564972421099421	88620,99465294
8,14910009765625	474,057153374808	1,91394061060891	0	0	0,00000000
8,555400390625	473,367851884025	1,90256681305363	0	0	0,00000000
8,10760009765625	487,842867660522	1,95884779419253	0,000256771833345049	0,00140907507325027	31575,11473138
8,295099609375	488,532142857143	1,96161545830735	0,000395380587830507	0,0021727760550374	20980,03762626
8,4207001953125	489,221418053763	1,95804128825881	0	0	0,00000000
8,583400390625	489,910719544547	1,95825982913006	4,3708174250412E-05	0,000241965672566708	196379,75133551
8,761599609375	491,289296231951	1,96185965683646	0,000719965541281065	0,00400079133648011	12169,47076909
8,1697001953125	508,521439089094	2,03594617935685	0,000288970453954818	0,00165780407972177	28271,74918232
8,444900390625	509,210714285714	2,03606540868626	2,98073323545811E-05	0,000171456507408015	283316,20858138
8,8222001953125	510,589290973118	2,03893009445898	0,000836976471215323	0,00483372388959206	10540,55938096

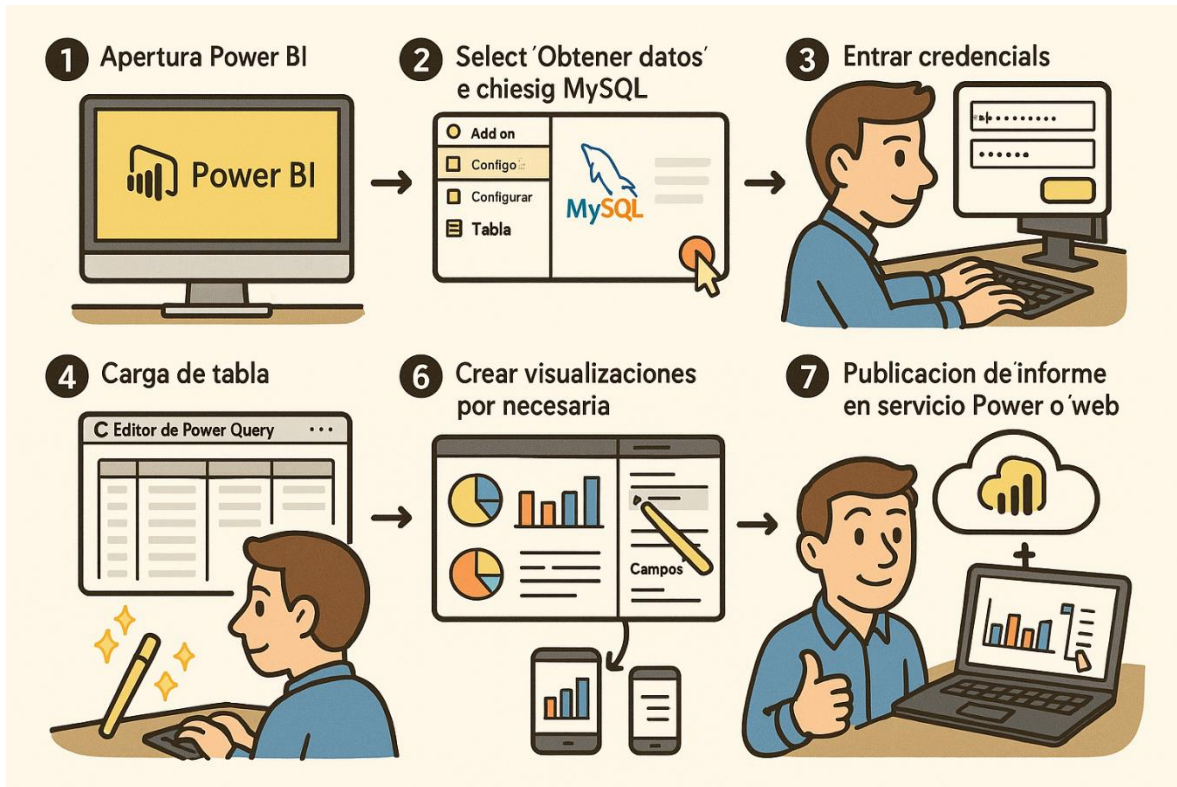
Nota: Elaboración propia basada en Power BI.

En la Figura 48, se observa el proceso completo para la creación del panel de control, comprendiendo los siguientes pasos:

- 1) Apertura de Power BI Desktop.
- 2) Selección de la opción Obtener datos y elección del conector MySQL.
- 3) Ingreso de las credenciales de conexión.
- 4) Carga de la tabla datos.
- 5) Transformación y depuración de los datos (en caso de ser necesario).
- 6) Creación de visualizaciones mediante arrastre de campos.
- 7) Publicación del informe en el servicio Power BI, para su acceso vía web o móvil.

Una vez en línea, los datos pudieron actualizarse automáticamente a intervalos definidos.

Figura 48
Proceso creación panel de control



Nota: Elaboración propia.

La implementación de paneles interactivos en Power BI demostró ser una solución eficaz para transformar datos técnicos del compresor en información clara y accionable. A través de conexiones directas a bases de datos MySQL y el uso de herramientas como Power Query y DAX, se logró un monitoreo en tiempo real de variables críticas, facilitando el análisis de eficiencia energética y el desempeño operativo.

Esta metodología no solo optimiza la toma de decisiones, sino que sienta las bases para futuras mejoras, como la automatización de alertas tempranas y la expansión a otros equipos industriales.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación de este sistema de monitoreo demuestra que la brecha tecnológica en las MIPYMES puede superarse mediante soluciones innovadoras de bajo costo, contribuyendo significativamente a la competitividad y sostenibilidad del sector industrial colombiano.

Se desarrolló e implementó un sistema integral de monitoreo energético para compresores de aire comprimido, demostrando la viabilidad técnica y económica de soluciones de bajo costo para MIPYMES. El sistema permitió la captura continua de variables críticas incluyendo parámetros eléctricos (voltaje, corriente, potencia, energía), térmicos (temperaturas de succión y descarga) y de presión, con una precisión validada mediante comparación con instrumentos de referencia.

Se logró la instalación de un sistema de monitoreo compuesto por sensores PZEM-004T (variables eléctricas), HK1100C (presión) y DS18B20 (temperaturas), integrados a un microcontrolador ESP32. La selección se realizó mediante una matriz multicriterio que priorizó precisión, costo y facilidad de integración. El montaje físico incluyó conexiones seguras, fijación con pasta térmica y derivaciones para presión, garantizando estabilidad y confiabilidad en la adquisición de datos.

La selección de sensores IoT y el microcontrolador ESP32 cumplió con los criterios de precisión y confiabilidad establecidos en la norma ISO 1217:2016, que define parámetros para evaluar el desempeño energético de compresores, incluyendo la medición de potencia, presión y flujo volumétrico bajo condiciones estandarizadas. La implementación demostró que es posible cumplir con estos lineamientos utilizando dispositivos de bajo costo, lo que representa una alternativa viable frente a sistemas comerciales más costosos.

Durante cinco días de operación, se registraron variables críticas: voltaje (216–230 V), corriente (1.03–67.96 A), potencia activa (picos de 9.7 kW), presión (90–125 psi), temperaturas (35–71.5 °C) y flujo volumétrico (0.018–0.03 m³/s). Estos datos permitieron calcular indicadores como potencia específica (100–950 kW/(m³/s)) y eficiencia isentrópica, térmica, global (valores de hasta 69.7%). Se identificaron regímenes operativos y picos asociados a arranques y cambios bruscos de demanda.

Los resultados obtenidos evidencian fluctuaciones significativas en corriente y potencia durante arranques y cambios bruscos de demanda, lo que coincide con la literatura y con los criterios de la ISO 1217, que advierte sobre la influencia de la variabilidad del flujo en la potencia específica. Este indicador presentó picos elevados (hasta 950 kW/(m³/s)),

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

atribuibles a caídas momentáneas en el flujo, mientras que en condiciones estables se mantuvo en rangos cercanos al valor teórico ($\approx 416 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$). Este comportamiento confirma la necesidad de estrategias de control más eficientes, como variadores de velocidad, para reducir ciclos de arranque y mejorar la eficiencia global.

Se desarrolló una base de datos MySQL optimizada para almacenar registros en tiempo real, con estructura simple y escalable. La integración con el ESP32 se realizó mediante protocolos HTTP y scripts PHP, logrando una tasa de captura superior al 98.5% de datos válidos. La arquitectura garantiza integridad, seguridad y posibilidad de expansión hacia otros equipos.

Se implementaron paneles en Power BI conectados a la base de datos, con visualizaciones dinámicas de voltaje, corriente, potencia, presión, temperatura y eficiencia. Los gráficos permitieron identificar tendencias, anomalías y periodos de inactividad, facilitando la interpretación para la toma de decisiones. Además, se incluyeron alertas visuales y tarjetas de valores actuales para monitoreo en tiempo real.

La arquitectura implementada permitió la captura y almacenamiento confiable de datos en tiempo real, con una tasa de integridad superior al 98%. La integración con Power BI facilitó la interpretación mediante gráficos dinámicos y alertas, alineándose con los principios de Industria 4.0 y con las recomendaciones de la ISO 50001 para sistemas de gestión energética, que promueve el monitoreo continuo como herramienta para la mejora del desempeño energético.

El análisis revela que el compresor opera bajo condiciones variables, con periodos prolongados de carga parcial que afectan la eficiencia global. Aunque el desempeño general es aceptable, la dispersión en potencia específica y las bajas eficiencias isotérmica e isentrópica (43% y 61%, respectivamente) sugieren la necesidad de estrategias de optimización. La implementación de monitoreo continuo no solo permite identificar estas ineficiencias, sino que también abre la posibilidad de aplicar mantenimiento predictivo y reducir costos operativos, en línea con los objetivos de la ISO 1217 y la ISO 50001.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

9. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El desarrollo e implementación del sistema de monitoreo permitió cumplir satisfactoriamente los objetivos propuestos, demostrando que es posible aplicar tecnologías IoT de bajo costo en entornos industriales con recursos limitados. La integración del microcontrolador ESP32 con los sensores PZEM-004T, HK1100C y DS18B20 permitió obtener mediciones de variables eléctricas, térmicas y de presión, garantizando la captura continua de datos y su visualización en tiempo real mediante una interfaz en Power BI.

El sistema mostró un comportamiento estable durante los días de medición, evidenciando su confiabilidad y precisión para registrar las condiciones operativas del compresor Ingersoll Rand UP6-10TAS-125. El análisis de las potencias y eficiencias demostró coherencia con los valores teóricos establecidos por la ISO 1217:2016, validando la efectividad de los cálculos implementados y del modelo de adquisición de datos.

Desde el punto de vista económico, la solución desarrollada representa una alternativa de bajo costo de inversión y mantenimiento, significativamente inferior al de los sistemas comerciales de gestión energética. Esta característica la hace especialmente viable para micro y pequeñas empresas, permitiendo la identificación de ineficiencias y la reducción del consumo energético sin comprometer su estabilidad financiera.

En términos ambientales, el sistema contribuye indirectamente a la disminución de la huella de carbono y al uso más racional de la energía eléctrica, al facilitar el monitoreo de variables críticas y la detección de pérdidas o condiciones de operación ineficientes. Su implementación no solo favorece la sostenibilidad y el cumplimiento de los principios de eficiencia energética industrial, sino que también genera impactos sociales indirectos al fortalecer la economía de pequeñas empresas, las cuales, al reducir sus costos operativos mediante una gestión energética más eficiente, pueden mejorar su competitividad, mantener su estabilidad financiera y favorecer la generación de empleo en su entorno productivo.

En conjunto, el proyecto evidencia que la digitalización mediante herramientas de la Industria 4.0 es alcanzable en empresas del sector MIPYME, y que el uso de sistemas IoT de bajo costo puede transformarse en una estrategia real para mejorar la competitividad y el desempeño energético.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Como líneas de trabajo futuro se propone ampliar la red de monitoreo para incluir varios compresores y otros equipos energéticamente relevantes, permitiendo un control integral de un sistema de aire comprimido. Asimismo, se plantea implementar almacenamiento en la nube mediante plataformas como Firebase o Ubidots, junto con algoritmos de análisis predictivo que faciliten la detección de fugas y la anticipación de fallas. También se sugiere integrar el sistema con plataformas SCADA o sistemas de gestión energética (SGE) para automatizar la toma de decisiones y generar reportes de desempeño. De igual forma, se propone desarrollar un módulo de análisis económico que estime los costos asociados al consumo energético y los posibles ahorros por medidas de eficiencia, así como evaluar indicadores ambientales derivados de la reducción del consumo eléctrico y la optimización operativa del compresor.

Finalmente, se identifica como reto técnico la necesidad de mejorar los procesos de filtración y validación de datos, aplicar métodos de corrección y calibración automática y, de manera destacada, implementar un sistema de adquisición con ajuste dinámico del tiempo de muestreo. Este mecanismo permitiría capturar transientes críticos durante cambios de régimen, mientras optimiza los recursos de almacenamiento y procesamiento en condiciones estables. La detección automática de variaciones rápidas en potencia y presión activaría muestreos de mayor frecuencia temporal, logrando un equilibrio entre resolución temporal y eficiencia computacional, lo que fortalecería la confiabilidad del sistema de monitoreo energético.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

REFERENCIAS

Abad, J., & García, M. (2022). *Internet de las Cosas (IoT) con ESP32 y Arduino IDE*. Alfaomega.

Ahmad, T., & Zhang, D. (2021). A critical review of the integration of renewable energy sources with various technologies. *Protection and Control of Modern Power Systems*, *6*(1), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s41601-021-00181-3>

Atlas Copco. (2023). *SMARTLINK: Monitoreo remoto*. <https://www.atlascopco.com/>

Bancóldex. (s. f.). *Clasificación de las MIPYMES en Colombia*. Recuperado de <https://www.bancoldex.com/>

Benlian, A., Hess, T., & Buxmann, P. (2009). Drivers of SaaS-Adoption – An Empirical Study of Different Application Types. *Business & Information Systems Engineering*, *1*(5), 357-369.

Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia. (2023). *Estudio Económico 2023*.

Cely, A. D., & Pérez, L. F. (2021). Análisis de la eficiencia energética en pequeñas y medianas empresas del sector industrial en Colombia. *Revista Ingenierías USBMed*, *12*(2), 45-54. <https://doi.org/10.21500/20275846.5072>

Comité Sectorial de Gestión Energética. (2021). *Guía de eficiencia energética en sistemas de aire comprimido*.

Controltec. (s. f.). *Evolución del monitoreo energético industrial*. Recuperado de <https://www.controltec.com.co/>

DANE. (2023). *Encuesta de micronegocios*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

Datisation. (2023). *Big Data en la gestión energética industrial*. <https://www.datisation.com/>

Domo. (2023). *Pricing*. <https://www.domo.com/pricing>

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Efficiency Valuation Organization. (2020). *International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP)*.

García, E., & López, F. (2020). *Sistemas de adquisición de datos y monitorización en tiempo real*. RA-MA Editorial.

Google Cloud. (2023). *Looker Pricing*. <https://cloud.google.com/looker>

Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2011). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *7*(4), 529-539. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166794>

IEEE. (2020). *Cost estimation for IoT sensor deployment in industrial monitoring*.

Ingersoll Rand. (s. f.). *Ficha técnica compresor UP6-10-125*.

Innofreaks. (2023). *IoT y monitoreo energético en la industria 4.0*. <https://innofreaks.com/>

Innovación CENS. (2024a). *Tecnologías para la eficiencia energética en aire comprimido*.

Innovación CENS. (2024b). *Plataformas SaaS para gestión energética*.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2019). *Guía técnica de eficiencia energética en compresores de aire*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.idae.es>

International Energy Agency (IEA). (2020). *Energy Efficiency in Compressed Air Systems*.

ISO. (2016). *ISO 1217:2016: Displacement compressors — Acceptance tests*.

Kaeser Kompressoren. (2023). *Sigma Air Manager: Sistema de control maestro*. <https://www.kaeser.com/>

Kansal, P., & Arya, S. (2021). A comprehensive study on Internet of Things (IoT) based energy monitoring systems. *Journal of Cleaner Production*, *279*, 123715. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123715>

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Martínez, R. (2021). **Power BI: Análisis y visualización de datos para la toma de decisiones**. RC Libros.

Metabase. (2023). **Pricing**. <https://www.metabase.com/pricing>

Microsoft. (2023). **Power BI Pricing**. <https://powerbi.microsoft.com/pricing>

Ministerio de Minas y Energía. (2022). **Casos de éxito en eficiencia energética en Colombia**.

Mohanraj, M., Jayaraj, S., & Muraleedharan, C. (2021). Applications of IoT for energy efficiency in industries: A review. **Energy Reports**, **7**, 610-625.

Monk, S. (2021). **Programming the ESP32: Using Arduino IDE**. O'Reilly Media.

Neves, D., Pina, A., & Silva, C. A. (2020). Impact of energy efficiency measures on the economic value of buildings. **Applied Energy**, **279**, 115790. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115790>

Novus. (2024). **Inteligencia artificial para la optimización energética**. <https://novus.com/>

Oracle. (2022). **MySQL Workbench: Administración de bases de datos**.

Qlik. (2023). **Qlik Sense Pricing**. <https://www.qlik.com/us/products/qlik-sense/pricing>

Rodríguez, J. M., & Herrera, J. A. (2020). Implementación de un sistema de bajo costo para el monitoreo de variables de proceso usando IoT. **TecnoLógicas**, **23*(48)*, 167-185. <https://doi.org/10.22430/22565337.1606>

Rodríguez, J., & Pérez, A. (2020). **Optimización de sistemas de aire comprimido en la industria alimentaria**. Editorial Técnica.

Saidur, R., Rahim, N. A., & Hasanuzzaman, M. (2010). A review on compressed-air energy use and energy savings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **14*(4)*, 1135-1153. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.013>

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Sánchez, P., & Díaz, K. (2023). Impacto de la industria 4.0 en la gestión energética de las MIPYMES latinoamericanas. **Estudios Gerenciales**, **39**(166), 112-125. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2023.166.5708>

Sarma, S., & Mandal, S. (2020). **IoT-based energy monitoring system using ESP32 and cloud platform**. *International Journal of Engineering Research & Technology*.

Suministros para la Industria. (2024). **Beneficios del mantenimiento predictivo en compresores**.

Tableau. (2023). **Pricing**. <https://www.tableau.com/pricing>

TodoIngenierías. (2023). **Eficiencia energética en sistemas de aire comprimido**. <https://todoningenierias.com>

Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). (2022). **Evolución histórica de la automatización industrial**.

UPME. (2021). **Casos de ahorro energético en el sector industrial colombiano**.

UPME. (2023). **Balance Energético Colombiano**. Unidad de Planeación Minero Energética.

Verma, P., & Kumar, A. (2022). Design and development of a real-time data acquisition system using MySQL and IoT for industrial applications. **International Journal of Engineering and Advanced Technology**, **11**(3), 1-7. <https://doi.org/10.35940/ijeat.C3322.0211322>

Zikopoulos, C., & Eaton, C. (2021). **Understanding Big Data: Analytics for Enterprise Class Hadoop and Streaming Data**. McGraw-Hill Osborne Media.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

ANEXOS

Anexo 1

Código de programación de tarjeta ESP32

```

#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <PZEM004Tv30.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <ArduinoJson.h>
// Configuración WiFi
const char* ssid = "wifi";
const char* password = "clave wifi";
const char* serverUrl = "url server";
// PZEM-004T (Serial2: GPIO16-RX, GPIO17-TX)
HardwareSerial pzemSerial(2);
PZEM004Tv30 pzem(pzemSerial, 16, 17);
// Configuración sensores de temperatura independientes
#define ONE_WIRE_BUS_1 2 // GPIO2 para sensor 1
#define ONE_WIRE_BUS_2 4 // GPIO4 para sensor 2
OneWire oneWire1(ONE_WIRE_BUS_1);
OneWire oneWire2(ONE_WIRE_BUS_2);
DallasTemperature sensor1(&oneWire1);
DallasTemperature sensor2(&oneWire2);
// Sensor de presión
#define PRESION_PIN 34
const float R1 = 2000.0; // 2kΩ
const float R2 = 3300.0; // 3.3kΩ
const float voltageDividerFactor = R2 / (R1 + R2);
const float calibrationFactor = 1.08;
const float offsetVoltage = 0.5; // Tensión a 0 psi
const float psiPerVolt = 175.0/4.0; // Escala 0.5-4.5V = 0-175 psi
// Control de tiempos
unsigned long lastSendTime = 0;
const unsigned long sendInterval = 5000; // 5 segundos
unsigned long lastReconnectAttempt = 0;
const unsigned long reconnectInterval = 10000; // 10 segundos
// Control de intentos
int failedAttempts = 0;
const int maxFailedAttempts = 5;
// Variables para almacenar datos
float voltaje, corriente, potencia, energia, frecuencia, factor_potencia;
float temp1, temp2, presion;

// LED de estado
#define STATUS_LED 13
// Función para leer presión
float readPressure() {
    int sensorValue = analogRead(PRESION_PIN);
    float vOut = sensorValue * (3.3 / 4095.0);

```

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

```

float realVoltage = vOut / voltageDividerFactor;
float pressure = (realVoltage - offsetVoltage) * psiPerVolt * calibrationFactor;
return constrain(pressure, 0, 175);
}
// Función para conectar/reconectar WiFi
bool connectWiFi() {
  Serial.print("Conectando a WiFi");
  WiFi.begin(ssid, password);
  int attempts = 0;
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && attempts < 20) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
    digitalWrite(STATUS_LED, !digitalRead(STATUS_LED)); // Parpadear LED durante conexión
    attempts++;
  }
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    Serial.println("\n WiFi conectado | IP: " + WiFi.localIP().toString());
    digitalWrite(STATUS_LED, HIGH); // LED encendido cuando conectado
    return true;
  } else {
    Serial.println("\n Falló la conexión WiFi");
    digitalWrite(STATUS_LED, LOW); // LED apagado cuando desconectado
    return false;
  }
}
// Función para enviar datos al servidor
bool sendDataToServer() {
  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.println(" WiFi desconectado - No se pueden enviar datos");
    return false;
  }
  if (corriente >= 0.5) {
    Serial.println(" Corriente <= 1A - No se envían datos");
    return false;
  }
  HTTPClient http;
  bool success = false;
  // Configurar timeout
  http.setTimeout(10000);
  http.setConnectTimeout(5000);
  Serial.println(" Enviando datos al servidor...");
  if (http.begin(serverUrl) ) {
    http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
    String postData = "voltaje=" + String(voltaje, 1) +
      "&corriente=" + String(corriente, 2) +
      "&potencia=" + String(potencia, 1) +
      "&energia=" + String(energia, 3) +
      "&frecuencia=" + String(frecuencia, 1) +
      "&factor_potencia=" + String(factor_potencia, 2) +
      "&temp1=" + String(temp1, 1) +
      "&temp2=" + String(temp2, 1) +
      "&presion_psi=" + String(presion, 1);
    int httpCode = http.POST(postData);
    if (httpCode == HTTP_CODE_OK) {

```

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

```

String response = http.getString();
Serial.println(" Datos enviados correctamente: " + response);
success = true;
failedAttempts = 0; // Reiniciar contador de fallos
} else {
Serial.printf(" Error HTTP: %d\n", httpCode);
Serial.println("Mensaje: " + http.errorToString(httpCode));
failedAttempts++;
}
} else {
Serial.println(" Error al conectar con el servidor");
failedAttempts++;
}
}
http.end();
return success;
}
// Función para leer todos los sensores
void readSensors() {
// Leer parámetros eléctricos
voltaje = pzem.voltage();
corriente = pzem.current();
potencia = pzem.power();
energia = pzem.energy();
frecuencia = pzem.frequency();
factor_potencia = pzem.pf();
// Si hay error en la lectura del PZEM, intentar reiniciar
if (isnan(voltaje)) {
Serial.println(" Error en lectura PZEM, intentando reiniciar...");
pzem.resetEnergy();
delay(100);
return;
}
// Leer temperaturas
sensor1.requestTemperatures();
sensor2.requestTemperatures();
temp1 = sensor1.getTempCByIndex(0);
temp2 = sensor2.getTempCByIndex(0);
// Leer presión
presion = readPressure();
}
// Función para mostrar datos en monitor serial
void displayData() {
Serial.println("\n[ DATOS ACTUALES ]");
Serial.println("-----");
Serial.println("ELECTRICIDAD (BIFÁSICO - VLL):");
Serial.printf(" | Voltaje L1-L2: %6.1f V | Corriente: %5.2f A\n", voltaje, corriente);
Serial.printf(" | Potencia: %6.1f W | Energía: %7.3f kWh\n", potencia, energia);
Serial.printf(" | Frecuencia: %3.1f Hz | FP: %4.2f\n", frecuencia, factor_potencia);
Serial.println("\nTEMPERATURAS:");
Serial.printf(" | Sensor GPIO2: %5.1f °C | Sensor GPIO4: %5.1f °C\n", temp1, temp2);
Serial.println("\nMECÁNICA:");
Serial.printf(" | Presión: %6.1f psi\n", presion);
Serial.println("-----");
}
}

```

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

```

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  while (!Serial);
  // Configurar LED de estado
  pinMode(STATUS_LED, OUTPUT);
  digitalWrite(STATUS_LED, LOW);
  Serial.println("\n[ SISTEMA DE MONITOREO DE COMPRESOR - BIFÁSICO L1-L2 ]");
  Serial.println("=====");
  // Inicializar WiFi
  if (!connectWiFi()) {
    Serial.println(" No se pudo conectar al WiFi en el inicio");
  }
  // Inicializar sensores de temperatura
  sensor1.begin();
  sensor2.begin();
  Serial.println("\nIniciando sensores...");
  Serial.printf("Sensor 1 (GPIO2) %s\n", sensor1.getDS18Count() ? "OK" : "NO DETECTADO!");
  Serial.printf("Sensor 2 (GPIO4) %s\n", sensor2.getDS18Count() ? "OK" : "NO DETECTADO!");
  // Reset de energía acumulada en PZEM
  Serial.println("\nReiniciando contador de energía...");
  if (pzem.resetEnergy()) {
    Serial.println(" Energía acumulada borrada");
  } else {
    Serial.println(" No se pudo reiniciar el contador de energía");
  }
  // Calibración inicial presión
  Serial.printf("\nPresión inicial: %.1f psi\n", readPressure());
  Serial.println("\nSistema listo para monitoreo");
  Serial.println("=====");
}

void loop() {
  // Leer sensores
  readSensors();
  // Mostrar datos en monitor serial
  displayData();
  // Verificar si ya pasaron 5 segundos para enviar
  if (millis() - lastSendTime >= sendInterval) {
    lastSendTime = millis();
    // Intentar enviar datos
    if (sendDataToServer()) {
      Serial.println(" Datos enviados exitosamente");
    } else {
      Serial.println(" Fallo en el envío de datos");
      // Si hay muchos fallos consecutivos, intentar reconectar WiFi
      if (failedAttempts >= maxFailedAttempts) {
        Serial.println(" Muchos intentos fallidos, reconectando WiFi...");
        WiFi.disconnect();
        delay(1000);
        connectWiFi();
        failedAttempts = 0;
      }
    }
  }
}
// Verificar conexión WiFi periódicamente

```

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

```
if (millis() - lastReconnectAttempt >= reconnectInterval) {  
  lastReconnectAttempt = millis();  
  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  
    Serial.println(" WiFi desconectado, intentando reconectar...");  
    connectWiFi();  
  }  
}  
  
delay(1000); // Lectura cada 1 segundo  
}
```

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	05
		Fecha	11-06-2025

Anexo 2

Datos medidos entre el 14 y 18 de octubre del 2025.

id	voltaje	corriente	potencia	energia	frecuencia	factor_potencia	temp1	temp2	presion_psi	fecha
1	228.5	1.03	110.9	0.01	60	0.47	30.1	37.4	87.2	14/10/2025 5:59
2	223.7	48	7554.1	0.025	59.9	0.7	29.8	37.4	89.1	14/10/2025 5:59
3	223.4	50.38	7914.4	0.041	60	0.7	29.2	37.3	94	14/10/2025 5:59
4	223.4	50.84	8003.6	0.054	60	0.7	28.8	37.2	97.7	14/10/2025 5:59
5	223.1	51.92	8180	0.072	60	0.71	28.8	37.2	102.2	14/10/2025 6:00
6	222.9	51.79	8159.3	0.088	60	0.71	28.3	37.2	105.7	14/10/2025 6:00
7	223	52.73	8341.1	0.102	60	0.71	28.1	37.2	108.5	14/10/2025 6:00
8	223.1	53.31	8412.5	0.116	60	0.71	27.7	37.4	112.3	14/10/2025 6:00
9	222.9	54.4	8592.8	0.132	60	0.71	27.7	37.7	114.7	14/10/2025 6:00
10	222.8	55.86	8869.8	0.148	60	0.71	27.5	37.9	119	14/10/2025 6:00
11	222.7	56.74	8996.4	0.164	59.9	0.71	27.4	38.3	121.7	14/10/2025 6:00
12	222.5	55.58	8808.2	0.179	59.9	0.71	27.2	38.6	124.1	14/10/2025 6:00
13	225.5	30.94	4785.9	0.194	59.9	0.69	27.2	39.6	123.8	14/10/2025 6:00
14	228	4.38	530	0.194	59.9	0.53	28.9	45.1	92	14/10/2025 6:02
15	223.2	47.21	7416.5	0.209	60	0.7	28.7	45.1	94.8	14/10/2025 6:02
16	223	49.78	7853.8	0.224	60	0.71	28.7	45.2	99.2	14/10/2025 6:02
17	223.1	50.13	7923.3	0.239	59.9	0.71	28.4	45.4	102	14/10/2025 6:03
18	223	50.89	8050.1	0.25	60	0.71	28.2	45.5	105.9	14/10/2025 6:03
19	223	51.29	8127.2	0.259	59.9	0.71	28	45.6	108.6	14/10/2025 6:03
20	222.9	52.83	8382.7	0.273	60	0.71	28	45.8	111	14/10/2025 6:03
21	222.8	52.49	8311.5	0.282	60	0.71	28	45.8	113.2	14/10/2025 6:03
22	222.6	53.3	8465.6	0.292	60	0.71	27.8	46.1	115.5	14/10/2025 6:03
23	222.6	53.37	8464.6	0.302	60	0.71	27.8	46.2	117.6	14/10/2025 6:03
24	222.4	54.08	8575.9	0.315	60	0.71	27.7	46.4	120.2	14/10/2025 6:03
25	222.4	54.88	8708.2	0.33	60	0.71	27.7	46.4	122.2	14/10/2025 6:03
26	222.3	55.43	8798.9	0.343	59.9	0.71	27.6	46.9	126	14/10/2025 6:03
27	224.1	39.34	6139.7	0.353	60	0.7	27.6	47.4	127.3	14/10/2025 6:03
28	225	4.11	493.2	0.359	59.9	0.53	34.9	44.7	77.2	14/10/2025 6:24
29	221.4	43.77	6807.3	0.373	60	0.7	34.4	44.7	79.8	14/10/2025 6:24
30	220.9	46.42	7228.7	0.385	60	0.71	34.4	44.7	84.1	14/10/2025 6:24
31	221.3	46.99	7342	0.397	59.9	0.71	33	44.6	88.5	14/10/2025 6:24
32	220.9	48.09	7523.9	0.41	59.9	0.71	32.4	44.6	92	14/10/2025 6:25

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO							Código	FDE 089
								Versión	05
								Fecha	11-06-2025

33	221.2	48.67	7630.1	0.424	59.9	0.71	32.4	44.6	95.1	14/10/2025 6:25
34	220.9	49	7675.3	0.437	59.9	0.71	31.9	44.6	98.8	14/10/2025 6:25
35	220.8	50.98	8003.1	0.45	59.8	0.71	31.1	44.6	103.8	14/10/2025 6:25
36	220.7	53.14	8365.9	0.467	60	0.71	31.1	44.9	109.3	14/10/2025 6:25
37	220.3	52.74	8289.7	0.483	60	0.71	30.5	44.9	114.7	14/10/2025 6:25
38	220.4	53.9	8487.5	0.501	60	0.71	30.3	45.3	121.9	14/10/2025 6:25
39	220	56.79	8969.8	0.514	60	0.72	30.3	45.7	124.1	14/10/2025 6:25
40	222	38.98	6036.5	0.527	60	0.7	30	46.2	126.1	14/10/2025 6:25
41	224.9	6.92	893	0.53	59.9	0.57	36.1	46.5	106.5	14/10/2025 6:43
42	220.3	51.26	8033.7	0.546	59.9	0.71	36.1	46.5	109.1	14/10/2025 6:43
43	220.3	53.48	8413.9	0.561	60	0.71	35.5	46.5	113.1	14/10/2025 6:43
44	219.9	54.83	8629.7	0.576	60	0.72	34.7	46.4	117.6	14/10/2025 6:43
45	219.8	55.89	8805.7	0.59	60	0.72	33.4	46.4	121.2	14/10/2025 6:43
46	219.8	56.02	8832.4	0.608	60	0.72	32.7	46.5	126.1	14/10/2025 6:43
47	222.7	2.41	288.5	0.624	59.9	0.54	35.6	38.2	107.9	14/10/2025 7:33
48	217.5	57.26	8930.1	0.635	60	0.72	35.6	38.2	108	14/10/2025 7:33
49	217.2	56.79	8873.7	0.651	60	0.72	35.3	38.2	113.4	14/10/2025 7:33
50	217.5	57.85	9069.4	0.665	60	0.72	33.9	38.2	118.9	14/10/2025 7:33
51	217.2	57.68	9010.9	0.682	60	0.72	33.2	38.2	124.1	14/10/2025 7:33
52	219.6	37.88	5839.7	0.698	60	0.7	32.6	38.5	126.5	14/10/2025 7:33
53	223.6	6.99	916.8	0.7	60	0.59	35.1	41.9	107.3	14/10/2025 7:47
54	218.7	51.77	8082.6	0.713	60	0.71	34.7	41.9	108.6	14/10/2025 7:47
55	218.4	54.85	8596.1	0.727	59.9	0.72	34.1	41.9	111.4	14/10/2025 7:48
56	218.1	55.57	8701.7	0.738	60	0.72	33.6	41.8	116.2	14/10/2025 7:48
57	218.4	56.2	8831.7	0.756	60	0.72	33.6	41.8	121.9	14/10/2025 7:48
58	218.2	59.18	9318.8	0.773	59.9	0.72	32.4	42	127	14/10/2025 7:48
59	223.4	4.72	582.5	0.781	60	0.55	35.7	41.4	106.6	14/10/2025 8:08
60	217.7	53.5	8335.2	0.798	59.9	0.72	35.2	41.4	108.3	14/10/2025 8:08
61	217.1	54.88	8573.1	0.817	60	0.72	35.2	41.4	113.5	14/10/2025 8:08
62	217.1	55.45	8650.2	0.834	59.9	0.72	34.3	41.3	119.1	14/10/2025 8:09
63	217	58.99	9254.2	0.85	60	0.72	33.1	41.4	125	14/10/2025 8:09
64	222	10.43	1586.7	0.862	60	0.69	32.7	41.7	126.1	14/10/2025 8:09
65	223.4	2.09	255.8	0.863	60	0.55	35.1	45.9	105.1	14/10/2025 8:15
66	217.9	52.34	8136.6	0.878	60	0.71	34.7	45.9	107.7	14/10/2025 8:15
67	217.7	54.88	8534.6	0.896	60	0.71	33.9	45.8	112.4	14/10/2025 8:15
68	218	55.08	8604.8	0.912	60	0.72	33.4	45.8	115.1	14/10/2025 8:15
69	217.8	55.56	8689.1	0.923	60	0.72	33.1	45.8	118.1	14/10/2025 8:16
70	217.8	56.08	8768.3	0.941	60	0.72	32.6	45.8	121.7	14/10/2025 8:16

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

71	217.9	56.72	8875	0.956	59.9	0.72	32.6	45.9	124.1	14/10/2025 8:16
72	218	54.46	8579.1	0.971	59.9	0.72	32.1	46.3	125.3	14/10/2025 8:16
73	222.9	4.74	612.8	0.976	59.9	0.58	33.6	49.5	106.1	14/10/2025 8:17
74	217.9	53.23	8304.5	0.992	59.9	0.72	33.2	49.5	108.2	14/10/2025 8:18
75	218.1	52.77	8220.7	1008	60	0.71	32.7	49.6	112	14/10/2025 8:18
76	217.6	54.25	8444.7	1026	60	0.72	32.7	49.7	115	14/10/2025 8:18
77	216.9	55.91	8554.7	1041	59.9	0.71	32.1	49.9	118.1	14/10/2025 8:18
78	216.6	56.78	8591.1	1059	60	0.7	32.1	50.1	121.1	14/10/2025 8:18
79	216.3	58.7	8906	1075	59.9	0.7	31.6	50.1	124.3	14/10/2025 8:18
80	218.4	40.47	6021.4	1091	60	0.68	31.4	50.8	124.7	14/10/2025 8:18
81	223.3	1.29	147.9	1093	60	0.51	32.9	53.3	106.5	14/10/2025 8:19
82	217.9	51.26	7955.3	1106	60	0.71	32.9	53.3	106.9	14/10/2025 8:19
83	217.6	52.59	8184.8	1122	60	0.72	32.5	53.6	110.8	14/10/2025 8:20
84	217.6	52.56	8188.4	1133	60	0.72	32.3	53.6	113.2	14/10/2025 8:20
85	217.8	53.72	8381.1	1148	60	0.72	32.1	53.7	115.9	14/10/2025 8:20
86	217.5	54.44	8504	1164	59.9	0.72	31.9	53.9	119.7	14/10/2025 8:20
87	217.2	55.29	8622.2	1182	60	0.72	31.8	54.2	123.1	14/10/2025 8:20
88	217.4	52.18	8179.8	1198	59.9	0.72	31.6	54.4	126.8	14/10/2025 8:20
89	222	4.43	555.5	1202	60	0.56	33.1	56.4	106.3	14/10/2025 8:21
90	217.2	50.91	7885.3	1215	60	0.71	33	56.4	107.6	14/10/2025 8:21
91	217.2	52.62	8176.4	1231	59.9	0.72	32.7	56.7	111	14/10/2025 8:21
92	216.7	53.23	8262.2	1249	59.9	0.72	32.4	56.7	115.1	14/10/2025 8:21
93	216.4	54.61	8487.4	1265	59.9	0.72	32.2	56.8	120.2	14/10/2025 8:22
94	216.6	55.56	8647.1	1282	59.9	0.72	32.1	56.9	125.1	14/10/2025 8:22
95	220.9	14.72	2251.3	1294	59.8	0.69	32	57.2	126.5	14/10/2025 8:22
96	224.2	7.15	947.9	1294	60	0.59	34.3	59.3	106.4	14/10/2025 8:24
97	219.5	52	8147.6	1308	60	0.71	34.1	59.3	108.3	14/10/2025 8:24
98	219.2	52.46	8212.1	1324	60	0.71	33.7	59.3	112	14/10/2025 8:24
99	219	53.86	8441.4	1342	60	0.72	33.3	59.3	116	14/10/2025 8:24
100	219.1	54.64	8574.9	1359	60	0.72	33	59.4	119.5	14/10/2025 8:24
101	219	55.39	8707.2	1378	59.9	0.72	32.7	59.4	126	14/10/2025 8:24
102	225.5	4.66	602.4	1387	59.9	0.57	34.2	60.3	105.7	14/10/2025 8:25
103	219.7	52.28	8182.7	1402	60	0.71	34.2	60.3	108.5	14/10/2025 8:25
104	219.8	52.48	8218.3	1417	60	0.71	33.7	60.4	114.4	14/10/2025 8:25
105	219.6	53.8	8441.6	1429	60	0.71	33.4	60.4	117.3	14/10/2025 8:26
106	219.5	54.42	8535	1442	60	0.71	33.2	60.4	120.1	14/10/2025 8:26
107	219.4	55.1	8642.4	1455	59.9	0.71	33.1	60.4	121.9	14/10/2025 8:26
108	219.4	55.46	8717.3	1473	60	0.72	32.9	60.6	125	14/10/2025 8:26

109	221.3	38.03	5890	1488	60	0.7	32.7	60.6	124.8	14/10/2025 8:26
110	224.6	3.5	423.8	1489	60	0.54	34.2	61.6	106.9	14/10/2025 8:27
111	219.8	51.65	8089.6	1516	60	0.71	33.9	61.7	112.6	14/10/2025 8:27
112	220.1	45.41	7008.2	1499	60	0.7	34.2	61.6	106.6	14/10/2025 8:27
113	219.2	54.36	8505.2	1531	60	0.71	33.9	61.7	117.8	14/10/2025 8:27
114	219.4	54.91	8621.3	1543	60	0.72	33.6	61.8	121.1	14/10/2025 8:27
115	219.3	55.66	8747.4	1559	59.9	0.72	33.1	61.9	126.7	14/10/2025 8:27
116	225.4	2.45	297.4	1566	60	0.54	40.9	56.6	105.7	14/10/2025 8:42
117	219.9	51.19	8036.8	1.58	60	0.71	40.2	56.4	105.7	14/10/2025 8:42
118	219.8	51.53	8107.2	1598	59.9	0.72	39.2	56.4	109.8	14/10/2025 8:42
119	219.8	51.84	8149.1	1614	60	0.72	38.3	56.4	113.5	14/10/2025 8:42
120	219.8	53.08	8353.3	1631	59.9	0.72	37.6	56.3	118	14/10/2025 8:42
121	219.1	54.36	8555.4	1.65	60	0.72	36.9	56.3	121.2	14/10/2025 8:42
122	219	54.81	8624.4	1667	59.9	0.72	36.4	56.4	124.2	14/10/2025 8:43
123	220.3	41.63	6485	1682	60	0.71	36	56.7	124.9	14/10/2025 8:43
124	225.1	2.58	313.7	1684	60	0.54	37.3	58.2	106.1	14/10/2025 8:44
125	220.4	48.57	7617.6	1697	60	0.71	37.1	58.2	107.1	14/10/2025 8:44
126	219.8	51.57	8107.6	1713	60	0.72	36.6	58.4	112.3	14/10/2025 8:44
127	219.5	52.76	8295.1	1729	60	0.72	36.6	58.5	115.7	14/10/2025 8:44
128	219.5	53.53	8420.7	1746	60	0.72	35.6	58.6	118.6	14/10/2025 8:44
129	219.4	54.54	8583.4	1763	60	0.72	35.2	58.7	121.4	14/10/2025 8:44
130	219.2	55.55	8761.6	1.78	60	0.72	34.9	58.9	124.2	14/10/2025 8:44
131	219.3	55.69	8787	1792	59.9	0.72	34.8	59.2	126	14/10/2025 8:44
132	225.2	4.04	508.2	1798	59.9	0.56	36.6	61.2	106.4	14/10/2025 8:45
133	221.1	41.98	6543.1	1804	59.9	0.7	36.5	61.2	106.1	14/10/2025 8:46
134	220.4	50.55	8007	1822	59.9	0.72	36.1	61.2	109.5	14/10/2025 8:46
135	219.9	51.86	8169.7	1837	60	0.72	35.7	61.4	114.9	14/10/2025 8:46
136	220.1	53.44	8444.9	1854	60	0.72	35.3	61.5	120.3	14/10/2025 8:46
137	219.3	55.02	8667.6	1.87	59.9	0.72	35.1	61.5	124.3	14/10/2025 8:46
138	219	55.9	8822.2	1881	60	0.72	34.9	61.7	126.1	14/10/2025 8:46
139	222.3	26.88	4176.3	1889	59.9	0.7	34.8	61.9	124.1	14/10/2025 8:46
140	224.6	13.49	1914.1	1.89	60	0.63	35.9	62.6	106.3	14/10/2025 8:47
141	220.3	51.53	8132.5	1904	60	0.72	35.7	62.7	110.4	14/10/2025 8:47
142	219.9	51.67	8140.9	1917	60	0.72	35.4	62.7	113.1	14/10/2025 8:47
143	220	51.92	8174.3	1928	60	0.72	35.2	62.9	115.7	14/10/2025 8:47
144	219.7	53.15	8386.6	1946	60	0.72	34.9	62.9	120.2	14/10/2025 8:47
145	219.6	54.39	8582.4	1965	60	0.72	34.7	63	125.2	14/10/2025 8:47
146	223.2	23.52	3663	1976	59.9	0.7	34.6	63.3	124.2	14/10/2025 8:47

147	225.4	2.51	307.3	1976	60	0.54	36.3	64.4	106.6	14/10/2025 8:48
148	220.4	48.31	7567.3	1988	59.9	0.71	36.1	64.6	106.9	14/10/2025 8:48
149	220.1	51.25	8087.7	2023	60	0.72	35.4	64.7	114.7	14/10/2025 8:49
150	219.9	52.35	8251.4	2.04	60	0.72	35.1	64.7	117.8	14/10/2025 8:49
151	219.7	53.53	8453.7	2057	59.9	0.72	34.9	64.7	120.6	14/10/2025 8:49
152	220	50.71	7976.2	2006	59.9	0.71	35.7	64.6	111.2	14/10/2025 8:49
153	219.3	54.42	8558.7	2073	59.9	0.72	35.7	64.7	123.6	14/10/2025 8:49
154	219.2	54.61	8586.6	2088	59.9	0.72	34.7	64.8	125.1	14/10/2025 8:49
155	220.9	38.62	5968.5	2099	59.8	0.7	34.6	64.9	124.4	14/10/2025 8:49
156	224	10.72	1474.1	2101	60	0.61	36.4	66	106.5	14/10/2025 8:50
157	219.7	51.17	8021.2	2116	60	0.71	36.2	66.1	108.7	14/10/2025 8:50
158	219.4	51.32	8032.2	2133	60	0.71	36.2	66.1	111.3	14/10/2025 8:50
159	219.7	51.58	8161.6	2148	60	0.72	35.6	66.1	114.8	14/10/2025 8:50
160	219.4	52.51	8235.6	2161	60	0.71	35.4	66.1	117.5	14/10/2025 8:51
161	219.9	53.06	8417.2	2178	59.9	0.72	35.1	66.2	120	14/10/2025 8:51
162	219	53.74	8578.4	2193	59.9	0.73	34.9	66.2	122.3	14/10/2025 8:51
163	219.1	55.17	8673.7	2.21	60	0.72	34.8	66.2	125.5	14/10/2025 8:51
164	223.2	17.31	2665.9	2223	60	0.69	34.8	66.3	124.1	14/10/2025 8:51
165	224.1	3.89	481.3	2224	60	0.55	36.6	67.2	106.1	14/10/2025 8:52
166	220	44.81	6927.2	2233	60	0.7	36.5	67.2	106.6	14/10/2025 8:52
167	219.3	51.37	8041.4	2267	59.9	0.71	35.8	67.2	113.8	14/10/2025 8:52
168	219.4	50.83	7934	2249	60	0.71	36.2	67.2	108.3	14/10/2025 8:52
169	219.7	52.48	8262.9	2283	60	0.72	35.5	67.2	117.9	14/10/2025 8:52
170	219.8	53.36	8468.7	2299	60	0.72	35.4	67.3	122.2	14/10/2025 8:52
171	219.6	54.54	8589.8	2311	60	0.72	35.2	67.3	125.3	14/10/2025 8:53
172	225.1	7.9	1213.4	2323	60	0.68	35.1	67.4	125.7	14/10/2025 8:53
173	225.2	2.84	353.4	2326	60	0.55	44.9	56.9	105.7	14/10/2025 9:14
174	220.7	46.68	7302	2336	60	0.71	44.5	56.9	105.9	14/10/2025 9:14
175	219.9	51.05	8009.9	2354	59.9	0.71	43.3	56.8	112.5	14/10/2025 9:14
176	219.6	53.01	8343	2371	60	0.72	42.1	56.8	118.3	14/10/2025 9:14
177	219.2	55.02	8667.4	2388	60	0.72	41.2	56.8	124.2	14/10/2025 9:14
178	222	33.47	5209.5	2401	59.9	0.7	40.6	57	126	14/10/2025 9:14
179	224.4	3.41	417.5	2405	60	0.55	44.9	57	107.4	14/10/2025 9:37
180	219.3	51.78	8086.2	2422	59.9	0.71	43.9	52.3	112.1	14/10/2025 9:37
181	217.7	55.12	8382.6	2439	60	0.7	42.7	52.3	117.6	14/10/2025 9:37
182	218.9	54.64	8561.9	2454	59.9	0.72	41.9	52.3	122.8	14/10/2025 9:37
183	219.3	42.26	6318.3	2471	60	0.68	40.9	52.5	126.6	14/10/2025 9:37
184	223.4	5.07	651.4	2478	60	0.58	43.4	47.9	107.4	14/10/2025 10:09

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

185	218.4	50.96	7916.8	2493	60	0.71	42.7	47.9	110.4	14/10/2025 10:09
186	218.4	53.62	8370	2506	60	0.71	41.9	47.9	118.6	14/10/2025 10:09
187	218.4	55.07	8611	2518	60	0.72	41.9	47.9	118.2	14/10/2025 10:09
188	218.4	54.74	8574.1	2527	60	0.72	40.7	47.9	122.2	14/10/2025 10:09
189	217.9	55.98	8764.9	2541	60	0.72	40	48.1	124.6	14/10/2025 10:09
190	219.8	40.48	6264.4	2553	60	0.7	39.4	48.2	126.6	14/10/2025 10:09
191	222.8	7.07	930.8	2558	59.9	0.59	42.2	47.4	104.7	14/10/2025 10:32
192	217.9	51.56	7987.1	2573	59.9	0.71	41.6	47.4	106.5	14/10/2025 10:33
193	217.8	53.3	8279	2588	59.9	0.71	40.7	47.4	110.7	14/10/2025 10:33
194	217.4	54.27	8421.9	2605	59.9	0.71	40.7	47.3	114.1	14/10/2025 10:33
195	217.5	54.71	8525.4	2621	60	0.72	39	47.4	117.2	14/10/2025 10:33
196	217.5	55.43	8609.4	2638	60	0.71	38.4	47.4	120.5	14/10/2025 10:33
197	217.4	55.82	8702.5	2654	59.9	0.72	37.8	47.7	123.7	14/10/2025 10:33
198	218.1	49.3	7693.4	2671	60	0.72	37.4	48.3	126.3	14/10/2025 10:33
199	222.2	7.39	967.3	2675	59.9	0.59	38.6	51.6	106.1	14/10/2025 10:34
200	217.3	52.89	8192.6	2689	60	0.71	38.6	51.6	106.7	14/10/2025 10:34
201	217.4	52.88	8217.9	2704	60	0.71	38.2	51.6	110.4	14/10/2025 10:35
202	217.6	52.92	8220.5	2719	60	0.71	37.2	52.3	114.3	14/10/2025 10:35
203	217.3	54.43	8453.2	2736	60	0.71	37.2	52.3	117	14/10/2025 10:35
204	217.3	54.38	8466.4	2752	60	0.72	36.7	52.5	120.8	14/10/2025 10:35
205	216.9	57.02	8883.1	2768	60	0.72	36.4	52.8	124.5	14/10/2025 10:35
206	220.7	23.89	3655.7	2778	59.9	0.69	36	53.4	124.9	14/10/2025 10:35
207	217.9	50	7749	2797	60	0.71	42.5	51.2	105.8	14/10/2025 10:56
208	222.2	4.83	622	2782	59.9	0.58	42.5	51.2	105.4	14/10/2025 10:56
209	217.5	52.86	8216.2	2812	60	0.71	41.8	51.2	110.3	14/10/2025 10:56
210	217	54.64	8508.7	2845	60	0.72	39.2	51.2	117	14/10/2025 10:56
211	216.9	55.26	8589.5	2856	59.9	0.72	39.2	51.2	118.7	14/10/2025 10:56
212	217.6	54.12	8426.8	2828	59.9	0.72	39.2	51.1	113.2	14/10/2025 10:56
213	216.8	55.84	8688.1	2867	59.9	0.72	38.8	51.2	122.2	14/10/2025 10:56
214	215.3	59.3	8962.1	2877	59.9	0.7	38.8	51.2	126	14/10/2025 10:57
215	221.6	1.16	125.9	2889	59.8	0.49	42.6	49.6	105.9	14/10/2025 11:18
216	216.4	54.55	8234.1	2919	60	0.7	42	49.6	110.2	14/10/2025 11:18
217	218	50.58	7815.6	2902	60	0.71	42	49.6	106	14/10/2025 11:18

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

218	216.6	54.81	8303.7	2932	60	0.7	40.2	49.6	112.6	14/10/2025 11:18
219	216.6	55.5	8427.2	2949	60	0.7	40.2	49.6	116.1	14/10/2025 11:18
220	216.5	56.09	8475.7	2964	60	0.7	38.9	49.6	119.5	14/10/2025 11:19
221	216.3	57.77	8789.9	2982	59.9	0.7	38.2	49.8	122.5	14/10/2025 11:19
222	217.4	56.52	8726.5	2998	59.9	0.71	37.8	50	125.7	14/10/2025 11:19
223	222.8	3.44	504.5	3008	60	0.66	37.6	50.6	123	14/10/2025 11:19
224	222.1	3.69	440.8	3008	60	0.54	39.7	55	106.1	14/10/2025 11:21
225	218.8	45.04	6908.1	3015	60	0.7	39.7	55	106	14/10/2025 11:21
226	217.5	52.45	8121.6	3027	60	0.71	39.1	55	111	14/10/2025 11:21
227	215.5	55.79	8391	3042	59.9	0.7	39.1	55.1	114.9	14/10/2025 11:21
228	216.7	54.98	8552.5	3056	60	0.72	38.5	55.1	119.2	14/10/2025 11:21
229	215.9	56.62	8703.4	3068	60	0.71	37.6	55.1	124.4	14/10/2025 11:22
230	218.2	33.83	5154.9	3081	60	0.7	37.3	55.4	126.3	14/10/2025 11:22
231	222.8	1.76	198.8	3087	60	0.51	42.7	47.1	107.2	14/10/2025 11:59
232	217.6	51.76	8022.7	3101	60	0.71	42.7	47.1	109.4	14/10/2025 11:59
233	217.4	54.11	8417	3117	60	0.72	42.1	47.1	115.4	14/10/2025 11:59
234	217.2	55.17	8598.7	3129	60	0.72	40.5	47.1	119.8	14/10/2025 11:59
235	216.9	56.17	8761.9	3148	59.9	0.72	40.5	47.1	125.8	14/10/2025 11:59
236	222.7	2.95	426.5	3156	60	0.65	39.2	47.4	126.7	14/10/2025 11:59
237	223.2	3.35	407.1	3.16	60	0.55	41.6	45.6	106.7	14/10/2025 12:26
238	217.8	53.49	8351.3	3172	59.9	0.72	41.6	45.6	108.2	14/10/2025 12:26
239	217.8	53.44	8332.8	3182	60	0.72	41.2	45.6	111.8	14/10/2025 12:26
240	217.8	54.81	8555.5	3193	59.9	0.72	40.7	45.6	115.9	14/10/2025 12:26
241	217.7	55.36	8648.8	3202	60	0.72	39.6	45.6	119.7	14/10/2025 12:26
242	217.6	56.59	8849.1	3216	59.9	0.72	39.1	45.6	124.2	14/10/2025 12:26
243	218.1	52.45	8231.5	3225	60	0.72	38.6	45.8	126.8	14/10/2025 12:26
244	222.8	2.13	254.6	3232	60	0.54	41	46.6	106.7	14/10/2025 12:44
245	217.8	50.89	7908.3	3244	60	0.71	41	46.6	106.9	14/10/2025 12:44
246	217.2	54.76	8517.2	3259	60	0.72	40.6	46.5	113	14/10/2025 12:44
247	217.2	55.61	8659	3271	60	0.72	39.2	46.5	117.9	14/10/2025 12:44
248	217.2	56.74	8858	3286	60	0.72	39.2	46.5	121.7	14/10/2025 12:45
249	216.8	58.08	9052.4	3297	60	0.72	38.2	46.5	126.4	14/10/2025 12:45
250	223.5	3.48	428	3306	59.9	0.55	39.6	50.7	105.6	14/10/2025 12:49

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

251	218	47.76	7404.4	3315	60	0.71	39.6	50.7	105.8	14/10/2025 12:49
252	218.3	52.84	8251.4	3331	60	0.72	39.6	50.7	110.5	14/10/2025 12:49
253	218.3	54.38	8513.7	3345	60	0.72	38.2	50.7	116.1	14/10/2025 12:49
254	217.7	54.06	8436.3	3.36	60	0.72	38.2	50.7	118.4	14/10/2025 12:49
255	217.9	55.51	8691	3372	60	0.72	38.2	50.8	121.8	14/10/2025 12:49
256	217.7	56.78	8888.4	3387	60	0.72	37.2	50.9	125.4	14/10/2025 12:49
257	218.6	42.68	6615.5	3397	60	0.71	36.6	51.1	124.6	14/10/2025 12:49
258	223.2	4.18	514.4	3399	60	0.55	37.8	53.6	106.4	14/10/2025 12:50
259	218.9	47.42	7334.6	3409	59.9	0.71	37.8	53.6	105.9	14/10/2025 12:51
260	218.4	51.98	8105.7	3422	59.9	0.71	37.6	53.6	108.1	14/10/2025 12:51
261	218.1	52.48	8187.5	3432	59.9	0.72	37.2	53.7	111.1	14/10/2025 12:51
262	217.8	53.54	8328.9	3447	59.9	0.71	36.9	53.9	114.4	14/10/2025 12:51
263	217.8	53.95	8416.5	3456	60	0.72	36.6	54	116.1	14/10/2025 12:51
264	217.7	54.26	8450.4	3468	60	0.72	36.4	54.1	118.1	14/10/2025 12:51
265	217.7	54.63	8512.3	3476	59.9	0.72	36	54.2	120	14/10/2025 12:51
266	217.5	56.14	8772.5	3492	60	0.72	36	54.2	122.2	14/10/2025 12:51
267	217.5	56.14	8774.7	3507	59.9	0.72	35.7	54.4	125.4	14/10/2025 12:51
268	219.7	33.89	5199.5	3518	60	0.7	35.4	54.9	124.3	14/10/2025 12:51
269	223.3	2.5	298.2	3518	60	0.53	36.8	57.1	105.9	14/10/2025 12:52
270	218.1	49.81	7722.6	3531	60	0.71	36.8	57.1	106.7	14/10/2025 12:52
271	217.9	51.67	8039.9	3539	60	0.71	36.7	57.1	108.1	14/10/2025 12:52
272	218.2	51.94	8088.7	3551	60	0.71	36.5	57.1	110.7	14/10/2025 12:52
273	218.2	52.87	8244.7	3559	60	0.71	36.1	57.1	115.7	14/10/2025 12:53
274	217.8	54.09	8443.4	3574	59.9	0.72	36.1	57.1	116.8	14/10/2025 12:53
275	217.8	54.18	8462.4	3584	60	0.72	35.8	57.6	119.1	14/10/2025 12:53
276	218	54.4	8506.4	3592	59.9	0.72	35.7	57.7	120.3	14/10/2025 12:53
277	217.8	54.8	8562.5	3602	60	0.72	35.7	57.8	121.8	14/10/2025 12:53
278	217.6	55.56	8693.1	3615	60	0.72	35.4	57.8	124	14/10/2025 12:53
279	217.6	56.63	8849.7	3624	59.9	0.72	35.3	58.1	125.9	14/10/2025 12:53
280	220.4	30.8	4740.5	3631	59.9	0.7	35.2	58.4	124.1	14/10/2025 12:53
281	223.3	3.36	408.5	3632	59.9	0.54	36.7	60.3	105.2	14/10/2025 12:54
282	218.8	46.04	7097.7	3641	59.9	0.7	36.6	60.3	106.4	14/10/2025 12:54
283	218.4	50.9	7926	3651	59.8	0.71	36.6	60.3	107.9	14/10/2025 12:54

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

284	218.5	51.6	8043.3	3661	60	0.71	36.4	60.5	110.3	14/10/2025 12:54
285	218.3	51.97	8102.8	3672	60	0.71	36	60.6	113.2	14/10/2025 12:54
286	218.6	52.53	8222.6	3684	60	0.72	35.8	60.6	114.7	14/10/2025 12:54
287	218.6	53.15	8326	3695	60	0.72	35.8	60.8	117.2	14/10/2025 12:54
288	218.6	54.17	8490.1	3706	60	0.72	35.7	60.8	119.5	14/10/2025 12:55
289	218.4	54.41	8525.1	3717	60	0.72	35.7	60.8	121.4	14/10/2025 12:55
290	218.1	55.69	8731.6	3.73	59.9	0.72	35.4	61	123.4	14/10/2025 12:55
291	218.2	55.83	8771.8	3739	60	0.72	35.3	61.1	125.9	14/10/2025 12:55
292	220.2	38.98	6017.4	3747	60	0.7	35.2	61.3	126.4	14/10/2025 12:55
293	222.2	4.97	621.1	3749	60	0.56	37.6	63.5	107.9	14/10/2025 12:56
294	218.9	43.38	6693.6	3757	60	0.7	37.6	63.6	109	14/10/2025 12:57
295	218	51.45	8012.7	3768	60	0.71	37.2	63.6	113.5	14/10/2025 12:57
296	217.2	53.26	8298	3778	60	0.72	37	63.6	117.3	14/10/2025 12:57
297	217.5	54.54	8529	3792	60	0.72	37	63.6	122.8	14/10/2025 12:57
298	217.6	54.67	8550.9	3801	60	0.72	36.7	63.6	124	14/10/2025 12:57
299	219	42.16	6566.5	3812	59.9	0.71	36.4	63.6	126.1	14/10/2025 12:57
300	223.5	4.8	615	3821	59.9	0.57	43.9	49.2	105.6	14/10/2025 13:35
301	218.7	49.7	7745.1	3835	59.9	0.71	43.3	49.1	106.6	14/10/2025 13:35
302	218.3	53.29	8332.5	3851	59.9	0.72	43.3	49.1	110.4	14/10/2025 13:35
303	218.2	53.48	8376.5	3868	60	0.72	41.1	49.1	114.2	14/10/2025 13:35
304	218.3	53.79	8422.3	3885	60	0.72	41.1	49.2	116.7	14/10/2025 13:35
305	218.4	54.79	8593.8	3898	59.9	0.72	40.2	49.3	119.3	14/10/2025 13:36
306	218.2	55.69	8740.2	3914	60	0.72	39	49.3	122.2	14/10/2025 13:36
307	218.3	55.52	8722.5	3931	59.9	0.72	38.4	49.7	125.4	14/10/2025 13:36
308	221.2	27.61	4280.1	3942	60	0.7	38.1	50.5	124.1	14/10/2025 13:36
309	223.9	3.67	451.4	3942	60	0.55	39.5	53.3	105.7	14/10/2025 13:37
310	219.3	49.31	7692.6	3956	60	0.71	39.5	53.3	106.5	14/10/2025 13:37
311	218.6	51.65	8071.2	3972	60	0.71	39.2	53.3	109.9	14/10/2025 13:37
312	218.5	52.41	8191.3	3984	60	0.72	38.1	53.8	113.4	14/10/2025 13:37
313	217.8	53.05	8285.6	3999	60	0.72	37.7	54	115.9	14/10/2025 13:37
314	217.8	53.7	8406.9	4012	59.9	0.72	37.3	54	118.6	14/10/2025 13:37
315	217.7	54.38	8517.4	4023	60	0.72	37.3	54.5	121.4	14/10/2025 13:37
316	217.5	55.63	8715.4	4038	59.9	0.72	37.1	54.7	125.6	14/10/2025 13:37

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

317	221.1	22.17	3421.3	4045	60	0.7	36.6	55.2	125	14/10/2025 13:38
318	223	2.71	323.9	4046	60	0.54	38.2	57.9	106	14/10/2025 13:39
319	218.3	48.96	7605.4	4059	59.9	0.71	38	57.9	106.6	14/10/2025 13:39
320	218.3	51.31	8008.2	4072	60	0.71	38	58.2	109.7	14/10/2025 13:39
321	217.8	52.09	8119	4086	60	0.72	37.6	58.3	112.3	14/10/2025 13:39
322	218	53.17	8305.8	4098	60	0.72	37	58.5	114.7	14/10/2025 13:39
323	217.4	53.85	8404.5	4115	60	0.72	36.6	58.6	119.4	14/10/2025 13:39
324	217.8	54.63	8540.9	4125	60	0.72	36.5	58.8	121.7	14/10/2025 13:39
325	217.8	55.39	8677.3	4139	60	0.72	36.2	59	124.1	14/10/2025 13:39
326	217.9	50.93	7994.1	4154	60	0.72	36.1	59.4	125.9	14/10/2025 13:39
327	224.1	2.35	281.9	4.16	60	0.54	37.5	61.3	106.2	14/10/2025 13:40
328	219.4	49.16	7663.6	4171	59.9	0.71	37.4	61.3	108.3	14/10/2025 13:40
329	218.9	52.05	8143.3	4187	59.9	0.71	37.4	61.5	111	14/10/2025 13:40
330	218.9	52.06	8155.4	4202	59.9	0.72	36.7	61.7	114.5	14/10/2025 13:41
331	218.9	52.9	8301.8	4215	59.9	0.72	36.4	61.8	117.4	14/10/2025 13:41
332	218.9	53.62	8423.6	4229	60	0.72	36.2	61.9	119.6	14/10/2025 13:41
333	218.4	54.17	8491	4246	60	0.72	36.2	62	122.2	14/10/2025 13:41
334	218.8	54.65	8591.8	4261	59.9	0.72	35.9	62	124.8	14/10/2025 13:41
335	220.6	35.89	5539.2	4275	60	0.7	35.7	62.5	124.2	14/10/2025 13:41
336	224.6	2.02	241.1	4276	59.9	0.53	37.8	64.4	105.2	14/10/2025 13:42
337	219.2	48.21	7504.2	4288	60	0.71	37.8	64.4	106.7	14/10/2025 13:42
338	219.2	50.85	7953.7	4302	60	0.71	37.4	64.5	109.6	14/10/2025 13:42
339	218.9	51.63	8087.4	4316	60	0.72	37.4	64.6	113	14/10/2025 13:43
340	219	52.23	8184.8	4332	60	0.72	37.1	64.6	115.3	14/10/2025 13:43
341	219.1	52.41	8220.7	4339	60	0.72	36.6	64.7	117	14/10/2025 13:43
342	218.9	53.41	8379	4.35	60	0.72	36.6	64.7	118.6	14/10/2025 13:43
343	218.7	54.27	8523.7	4366	59.9	0.72	36.2	64.8	121.9	14/10/2025 13:43
344	218.5	55.3	8693.5	4382	60	0.72	36.1	64.9	125.5	14/10/2025 13:43
345	223.6	9.28	1422.2	4388	59.9	0.69	36.1	64.9	123.4	14/10/2025 13:43
346	224	2.59	300.3	4388	60	0.52	37.6	65.9	106.4	14/10/2025 13:44
347	219.5	41.1	6330.9	4394	60	0.7	37.7	65.9	105.3	14/10/2025 13:44
348	219.3	50.18	7864.9	4405	59.9	0.71	37.5	65.9	108.7	14/10/2025 13:44
349	219.1	51.29	8041.1	4416	59.9	0.72	37.2	66	111	14/10/2025 13:44

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO							Código	FDE 089
								Versión	05
								Fecha	11-06-2025

350	218.6	52.31	8200.3	4.43	59.9	0.72	37	66	114.3	14/10/2025 13:44
351	219.1	52.48	8228.3	4444	59.9	0.72	37	66	117.2	14/10/2025 13:44
352	218.5	53.32	8374.6	4.46	59.8	0.72	36.6	66.1	119.4	14/10/2025 13:44
353	218.5	54	8470.5	4469	60	0.72	36.6	66.1	121.6	14/10/2025 13:45
354	218.6	54.87	8613.8	4483	60	0.72	36.5	66.2	123.6	14/10/2025 13:45
355	218.3	55.63	8736.9	4499	60	0.72	36.4	66.2	125.1	14/10/2025 13:45
356	223.4	4.09	603.3	4508	60	0.66	36.2	66.4	122.9	14/10/2025 13:45
357	224.5	3.12	379.6	4511	60	0.54	44.6	61.4	105.7	14/10/2025 13:58
358	219.7	47.28	7368.7	4.52	59.9	0.71	44.6	61.4	105.6	14/10/2025 13:58
359	219.3	51	7970.3	4529	59.9	0.71	43.7	61.3	109.1	14/10/2025 13:58
360	219.1	51.69	8086.9	4539	60	0.71	43.1	61.3	112.4	14/10/2025 13:58
361	218.9	52.58	8220.4	4.55	60	0.71	43.1	61.2	114.3	14/10/2025 13:58
362	219	53.1	8306	4559	60	0.71	42	61.1	116.2	14/10/2025 13:58
363	218.3	54.71	8360.5	4.57	60	0.7	42	61.1	117.9	14/10/2025 13:59
364	219.2	53.47	8359.6	4.58	59.9	0.71	41	61.1	120.1	14/10/2025 13:59
365	218.6	54.78	8541	4593	60	0.71	40.6	61.1	123.1	14/10/2025 13:59
366	217.5	57.19	8677.2	4604	60	0.7	40.2	61.2	126	14/10/2025 13:59
367	222.1	24.9	3845.5	4611	60	0.7	40	61.3	123.8	14/10/2025 13:59
368	224.4	2.25	268	4611	60	0.53	41.5	62.7	106.1	14/10/2025 14:00
369	219.4	48.24	7507.9	4622	60	0.71	41.5	62.7	106.5	14/10/2025 14:00
370	219.1	50.74	7926	4.63	60	0.71	41	62.8	109.6	14/10/2025 14:00
371	219	51.94	8119.2	4.64	59.9	0.71	40.6	62.8	113.2	14/10/2025 14:00
372	219.2	52.61	8226	4652	60	0.71	40.2	62.9	116.5	14/10/2025 14:00
373	218.2	54.51	8376.3	4665	60	0.7	40.2	62.9	119.5	14/10/2025 14:00
374	217.8	56	8495.2	4675	60	0.7	39.4	62.9	123.3	14/10/2025 14:00
375	218.4	50.82	7777.4	4.69	60	0.7	39.1	63.2	125	14/10/2025 14:00
376	223.9	2.27	264.7	4694	60	0.52	40.4	64.4	105.9	14/10/2025 14:01
377	218.4	50.83	7926.7	4707	60	0.71	40.4	64.4	106.9	14/10/2025 14:01
378	218.7	51.15	7990.2	4721	60	0.71	40.1	64.5	109.8	14/10/2025 14:02
379	218.9	51.65	8066.2	4736	60	0.71	40.1	64.6	113.5	14/10/2025 14:02
380	219.1	52.9	8295.8	4752	59.9	0.72	38.8	64.7	117.4	14/10/2025 14:02
381	218.6	53.57	8387.7	4768	59.9	0.72	38.6	64.7	119.8	14/10/2025 14:02
382	217.9	54.61	8550.4	4784	59.9	0.72	38.6	64.9	123	14/10/2025 14:02

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO							Código	FDE 089
								Versión	05
								Fecha	11-06-2025

383	218	55.05	8632	4801	59.9	0.72	38	64.9	125.3	14/10/2025 14:02
384	221.3	26.17	4025.2	4.81	60	0.7	37.9	65.2	123.3	14/10/2025 14:02
385	222.9	7.29	954.7	4811	60	0.59	39.5	66.5	105.3	14/10/2025 14:03
386	218.6	50.93	7938.4	4824	59.9	0.71	39.4	66.5	106.5	14/10/2025 14:03
387	218.5	50.76	7905.3	4839	60	0.71	39.4	66.6	110.2	14/10/2025 14:03
388	218	51.7	8057.2	4854	59.9	0.71	38.6	66.7	112.5	14/10/2025 14:03
389	218.8	52.49	8222.4	4871	60	0.72	38.2	66.7	116.2	14/10/2025 14:04
390	218.5	53.04	8296.3	4886	60	0.72	38.2	66.8	118.3	14/10/2025 14:04
391	218.9	53.42	8366.7	4901	60	0.72	38.1	66.9	120.4	14/10/2025 14:04
392	218.4	54.65	8574.7	4916	60	0.72	37.7	66.9	122.3	14/10/2025 14:04
393	218.4	54.99	8629.9	4934	60	0.72	37.7	67.1	125.1	14/10/2025 14:04
394	220.9	30.71	4737.8	4945	60	0.7	37.4	67.2	126.5	14/10/2025 14:04
395	224	1.06	120	4946	59.9	0.5	39.5	68.6	106.4	14/10/2025 14:05
396	219.1	46.77	7234.5	4955	60	0.71	39.4	68.6	106.5	14/10/2025 14:05
397	218.4	50.67	7913.2	4.97	59.9	0.72	39	68.7	109	14/10/2025 14:05
398	219.1	51.16	8014.9	4983	60	0.72	38.7	68.7	113.2	14/10/2025 14:05
399	218.6	52.15	8157.9	4998	60	0.72	38.7	68.7	115.9	14/10/2025 14:06
400	218.5	53.18	8333.8	5013	59.9	0.72	38.4	68.7	118.4	14/10/2025 14:06
401	218.4	53.59	8391.6	5027	59.9	0.72	37.9	68.7	120.3	14/10/2025 14:06
402	218.2	55.3	8625.4	5043	59.9	0.71	37.9	68.7	123	14/10/2025 14:06
403	217.1	57.02	8655.1	5058	59.9	0.7	37.7	68.8	126.1	14/10/2025 14:06
404	222.8	6.49	929.3	5067	59.8	0.64	37.5	68.9	123.3	14/10/2025 14:06
405	223.6	4.81	603.6	5068	60	0.56	39.6	69.9	106.5	14/10/2025 14:07
406	219.8	40.81	6281	5075	60	0.7	39.6	69.9	105	14/10/2025 14:07
407	219.1	50.11	7836.9	5083	60	0.71	39.6	69.9	106.9	14/10/2025 14:07
408	218.6	50.35	7852.5	5093	60	0.71	39.4	69.9	109.3	14/10/2025 14:07
409	218.6	50.93	7947	5102	60	0.71	39.1	69.9	111.2	14/10/2025 14:07
410	218.8	51.61	8066.3	5113	59.9	0.71	38.9	69.9	113	14/10/2025 14:08
411	218.8	51.76	8098.4	5122	59.9	0.72	38.7	69.9	115.7	14/10/2025 14:08
412	218.6	52.51	8226.4	5132	60	0.72	38.5	69.9	116.6	14/10/2025 14:08
413	218.3	53.27	8337.1	5.14	60	0.72	38.2	69.9	118.3	14/10/2025 14:08
414	218.3	53.6	8406.8	5152	60	0.72	38.1	69.9	120.4	14/10/2025 14:08
415	218.3	54.3	8518.8	5162	60	0.72	38.1	69.9	122.3	14/10/2025 14:08

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

416	218.4	54.9	8630.6	5171	59.9	0.72	37.9	69.9	124.2	14/10/2025 14:08
417	218.3	54.72	8591.6	5181	60	0.72	37.7	69.9	126.1	14/10/2025 14:08
418	222.6	14.11	2161.2	5.19	60	0.69	37.8	70	123.2	14/10/2025 14:08
419	224	2.3	274.9	5.19	60	0.53	39.4	70.6	106.5	14/10/2025 14:09
420	220	40.72	6267.7	5196	60	0.7	39.4	70.6	105.4	14/10/2025 14:09
421	218.8	49.66	7764	5207	60	0.71	39.2	70.6	108.2	14/10/2025 14:09
422	218.7	51.13	7998.1	5217	60	0.72	39.2	70.7	111.5	14/10/2025 14:09
423	218.6	51.94	8128.4	5226	60	0.72	39	70.7	114.4	14/10/2025 14:09
424	218.5	52.31	8182.4	5234	59.9	0.72	38.6	70.7	115.7	14/10/2025 14:09
425	218.5	52.56	8231.1	5245	60	0.72	38.6	70.7	119.5	14/10/2025 14:09
426	218.6	53.59	8402.2	5254	60	0.72	38.4	70.7	121.3	14/10/2025 14:09
427	218.3	54.54	8543.3	5264	59.9	0.72	38.2	70.7	122.2	14/10/2025 14:09
428	218.2	54.59	8553.2	5274	60	0.72	38.1	70.7	124.3	14/10/2025 14:10
429	218.3	54.96	8621.3	5284	60	0.72	38	70.7	125.8	14/10/2025 14:10
430	220.4	34.35	5294.8	5293	60	0.7	37.9	70.7	124.2	14/10/2025 14:10
431	223.5	4.56	571.4	5294	60	0.56	40.3	71.5	106.7	14/10/2025 14:11
432	219.8	41.02	6310.5	5301	60	0.7	40.3	71.5	108	14/10/2025 14:11
433	217.6	52.36	7923.1	5.31	60	0.7	40.2	71.5	111.4	14/10/2025 14:11
434	217.7	53.06	8039.1	5321	60	0.7	39.7	71.5	114.1	14/10/2025 14:11
435	217.8	52.84	8246.2	5332	60	0.72	39.7	71.4	118.1	14/10/2025 14:11
436	217.4	55.38	8337.6	5342	59.9	0.69	39.4	71.4	121	14/10/2025 14:11
437	218.2	54.93	8601.4	5354	59.9	0.72	39.2	71.4	124.5	14/10/2025 14:12
438	218.3	52.24	8189.3	5362	59.9	0.72	38.8	71.4	126.4	14/10/2025 14:12
439	223.3	2.27	269.9	5368	59.9	0.53	47.9	61.2	106.3	14/10/2025 14:30
440	218.6	46.04	7134	5377	60	0.71	47.9	61.2	106.5	14/10/2025 14:30
441	218	51.97	8096.5	5391	60	0.71	47.6	61.1	112.3	14/10/2025 14:30
442	217.7	53.58	8349	5404	59.9	0.72	46.6	61.1	116.3	14/10/2025 14:30
443	217.2	55.27	8625.9	5.42	60	0.72	44.6	61.1	122	14/10/2025 14:30
444	217	56.36	8784.1	5434	59.9	0.72	43.9	61.2	126.3	14/10/2025 14:32
445	224.1	3.8	463.9	5442	60	0.54	47.5	58.9	107.1	14/10/2025 14:44
446	219.9	44.92	6969.4	5451	60	0.71	47.5	58.9	107.6	14/10/2025 14:44
447	219.4	51.37	8026.2	5464	60	0.71	46.2	58.7	112.3	14/10/2025 14:44
448	219.1	52.74	8258.6	5475	60	0.71	45.5	58.7	115.7	14/10/2025 14:44

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

449	219	54.3	8511.1	5492	60	0.72	45.5	58.7	123.6	14/10/2025 14:44
450	219.6	49.74	7848.6	5506	60	0.72	43.7	58.8	125.2	14/10/2025 14:44
451	223.9	1.74	208.7	5.51	59.9	0.54	46.9	59.1	107.4	14/10/2025 14:54
452	219	48.49	7535.4	5522	60	0.71	46.2	59.1	108.6	14/10/2025 14:54
453	219.3	51.94	8133.9	5539	59.9	0.71	45.2	58.9	113.7	14/10/2025 14:54
454	219.1	53.46	8382.2	5554	60	0.72	45.2	58.9	118.1	14/10/2025 14:54
455	218.8	54.73	8602.9	5568	60	0.72	44.3	58.9	121.5	14/10/2025 14:54
456	218.5	56	8800	5582	59.9	0.72	43.6	58.9	125	14/10/2025 14:54
457	220.6	36.33	5609.2	5594	59.9	0.7	42.3	59.1	125.2	14/10/2025 14:54
458	224.3	1.21	137.5	5598	59.9	0.51	46.4	52.1	106.3	14/10/2025 15:24
459	219.7	48.19	7520.1	5609	59.9	0.71	46.4	52.1	107.4	14/10/2025 15:24
460	219.4	52.83	8282.9	5625	59.8	0.71	45.9	52	111.8	14/10/2025 15:24
461	219	53.49	8386.4	5638	60	0.72	44.1	52	115.4	14/10/2025 15:24
462	218.8	54	8470.5	5655	60	0.72	44.1	52	121.4	14/10/2025 15:24
463	218.7	54.95	8677	5.67	60	0.72	42.6	52.2	124.4	14/10/2025 15:24
464	223.9	2.82	330.9	5678	60	0.52	44.2	48.6	107.6	14/10/2025 15:56
465	220.1	47.65	7380.9	5685	60	0.7	44.1	48.6	107.4	14/10/2025 15:56
466	219.3	53.26	8350.8	5696	59.9	0.71	44.1	48.6	110.4	14/10/2025 15:56
467	219	53.91	8446.6	5707	59.9	0.72	44.1	48.6	114.4	14/10/2025 15:56
468	218.7	54.64	8563.8	5716	60	0.72	42.5	48.6	118.3	14/10/2025 15:56
469	219.1	55.3	8682.4	5726	60	0.72	42	48.6	122.2	14/10/2025 15:56
470	218.2	57.2	8977.9	5741	60	0.72	41.3	48.7	126.1	14/10/2025 15:57
471	222	27.17	4203.3	5748	60	0.7	40.9	48.9	126.4	14/10/2025 15:57
472	226.1	4.88	620.3	5756	59.9	0.56	41.3	43.5	106.5	14/10/2025 16:47
473	220.8	52.97	8373.8	5768	60	0.72	41	43.5	109.1	14/10/2025 16:47
474	221.2	52.56	8288.5	5.78	60	0.71	41	43.5	112.6	14/10/2025 16:47
475	221.1	55.19	8732.7	5794	60	0.72	39.7	43.5	118.3	14/10/2025 16:47
476	221	55.01	8717.5	5808	60	0.72	39.2	43.5	122.5	14/10/2025 16:47
477	221.6	47.45	7541.3	5824	60	0.72	38.6	43.8	126.1	14/10/2025 16:47
478	230.7	3.69	479.7	10695	60	0.56	21.4	21.1	58.6	16/10/2025 5:47
479	225.6	50.33	7999.4	10706	60	0.7	21.4	21.1	62.8	16/10/2025 5:47
480	226.2	46.04	7275.8	10.72	59.9	0.7	21.4	21.1	67.2	16/10/2025 5:47
481	226	47.79	7572	10732	60	0.7	21.3	21.1	72.2	16/10/2025 5:47

482	225.8	48.92	7757.7	10744	60	0.7	21.2	21.1	77.2	16/10/2025 5:47
483	225.8	49.03	7788	10757	59.9	0.7	21.2	21.1	81.7	16/10/2025 5:47
484	225.6	50.26	7998.7	10771	60	0.71	21.2	21.1	86.6	16/10/2025 5:47
485	225.5	51.61	8209	10783	59.9	0.71	21.2	21.1	89.8	16/10/2025 5:48
486	225.5	52.88	8441.6	10796	60	0.71	21.2	21.5	94.5	16/10/2025 5:48
487	225.5	54.08	8628.1	10811	59.9	0.71	21.3	21.7	98.7	16/10/2025 5:48
488	225.1	55.82	8916.5	10827	60	0.71	21.3	22	104.5	16/10/2025 5:48
489	224.9	57.33	9190.2	10837	60	0.71	21.4	22.4	107.3	16/10/2025 5:48
490	225.1	54.92	8784.9	10853	60	0.71	21.4	22.4	112.2	16/10/2025 5:48
491	224.9	56.64	9070	10867	60	0.71	21.5	23.2	116.3	16/10/2025 5:48
492	225.1	56.2	8990.5	10.88	60	0.71	21.6	23.7	119.6	16/10/2025 5:48
493	224.9	58.85	9431.4	10897	60	0.71	21.8	24.2	123.6	16/10/2025 5:48
494	224.5	59.43	9610.1	10916	60	0.72	21.9	25.8	128.1	16/10/2025 5:48
495	228	1.77	194.2	10931	60	0.48	26.7	27.6	107.6	16/10/2025 7:02
496	222.4	58.86	9474.4	10949	59.9	0.72	26.7	27.6	108.7	16/10/2025 7:02
497	222.3	57.9	9236.7	10964	59.9	0.72	26.4	27.6	113.8	16/10/2025 7:02
498	222.3	58.33	9613.3	10981	59.9	0.74	25.8	27.6	117.7	16/10/2025 7:02
499	222.3	58.31	9339.3	10997	59.9	0.72	25.8	27.6	122.2	16/10/2025 7:03
500	0	58.31	9339.3	10997	60	0.72	25.6	27.6	126.1	16/10/2025 7:03
501	226.7	16.16	2506.7	11028	60	0.68	25.2	28.1	126.5	16/10/2025 7:03
502	226.8	2.72	324.3	11028	59.9	0.53	25.9	32.7	107.4	16/10/2025 7:05
503	222	52.7	8318.2	11042	60	0.71	25.9	32.7	109.4	16/10/2025 7:05
504	221.4	57.46	9124.2	11057	59.9	0.72	25.9	32.8	113.1	16/10/2025 7:05
505	220.9	59.24	9417.9	11074	60	0.72	25.7	32.9	117.9	16/10/2025 7:05
506	221.2	58.68	9356.1	11.09	60	0.72	25.4	33.1	122.3	16/10/2025 7:05
507	221.4	57.09	9036.1	11.1	60	0.71	25.3	33.1	125	16/10/2025 7:05
508	223.6	38.14	5918.6	11114	60	0.69	25.2	33.9	126.1	16/10/2025 7:05
509	226.8	3.84	468	11116	60	0.54	26.3	39	107.9	16/10/2025 7:07
510	221.7	52.15	8217.7	11.13	60	0.71	26.2	39	109.8	16/10/2025 7:07
511	221.2	55.53	8799.9	11147	59.9	0.72	26.2	39	115	16/10/2025 7:07
512	221.5	56.48	8941.4	11.16	60	0.71	25.9	39.3	118.3	16/10/2025 7:07
513	221.2	56.06	8878.3	11179	59.9	0.72	25.9	39.4	123.3	16/10/2025 7:08
514	221	58.61	9309.5	11195	60	0.72	25.7	39.9	126.5	16/10/2025 7:08
515	227.4	3.73	442.3	11.2	60	0.52	27.1	43.9	108	16/10/2025 7:10
516	222.5	51.46	8145.1	11215	59.9	0.71	27	43.9	110.1	16/10/2025 7:10
517	222.3	55.2	8792.2	11232	59.9	0.72	27	44	115.3	16/10/2025 7:10
518	222.5	54.44	8674.6	11247	59.9	0.72	27	44.1	118.6	16/10/2025 7:10
519	221.8	58.33	9297	11263	59.9	0.72	26.4	44.2	124.1	16/10/2025 7:10

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

520	222.9	47.97	7608.4	11.28	59.8	0.71	26.3	44.4	127.2	16/10/2025 7:10
521	227.9	1.02	113.7	11282	60	0.49	27.9	47.3	107.9	16/10/2025 7:12
522	222.1	53.48	8471.1	11312	60	0.71	27.9	47.3	114.3	16/10/2025 7:12
523	222.1	54.54	8661.7	11327	60	0.72	27.6	47.4	118.3	16/10/2025 7:12
524	222.6	54.52	8693.8	11.34	60	0.72	27.6	47.4	122.2	16/10/2025 7:13
525	221.8	57.81	9237.4	11355	60	0.72	27.3	47.4	126	16/10/2025 7:13
526	225.6	22.28	3486.7	11364	59.9	0.69	27.1	47.7	127.2	16/10/2025 7:13
527	224.7	2.35	281	11368	59.9	0.53	33.6	40.4	106.3	16/10/2025 7:40
528	220.6	51.5	8097.3	11384	60	0.71	33.6	40.4	108.5	16/10/2025 7:40
529	220.4	55.8	8830.4	11398	60	0.72	33.2	40.4	112.4	16/10/2025 7:41
530	220.7	55.07	8713.8	11409	60	0.72	32.6	40.4	116.7	16/10/2025 7:41
531	219.7	58.92	9341.4	11424	60	0.72	31.6	40.4	122.2	16/10/2025 7:41
532	219.6	59.61	9449.8	11437	59.9	0.72	31.6	40.4	124.7	16/10/2025 7:41
533	224.7	14.17	2178	11448	60	0.68	30.8	40.6	126.1	16/10/2025 7:41
534	225.2	3.64	432.1	11452	60	0.53	34.1	38.1	106.6	16/10/2025 8:10
535	220.4	53.39	8445.8	11468	60	0.72	33.7	38.1	107.4	16/10/2025 8:10
536	220.5	55.54	8784.6	11502	60	0.72	33.7	38.1	114.7	16/10/2025 8:10
537	220.5	55.94	8831.7	11516	60	0.72	32.2	38.1	118.3	16/10/2025 8:11
538	220.8	54.81	8614	11484	60	0.71	33.7	38.1	110.8	16/10/2025 8:11
539	220.6	56.26	8907.3	11.53	60	0.72	31.8	38.1	122.7	16/10/2025 8:11
540	221.4	48.38	7700.1	11546	59.9	0.72	31	38.6	126	16/10/2025 8:11
541	225	3.57	411.8	11556	60	0.51	34.1	36.7	106.7	16/10/2025 8:54
542	218.3	63.93	9661.7	11569	60	0.69	34.1	36.7	107.3	16/10/2025 8:55
543	219.7	55.31	8699.2	11581	60	0.72	33.9	36.7	111.5	16/10/2025 8:55
544	219.9	55.78	8871.6	11598	60	0.72	33.4	36.7	117.2	16/10/2025 8:55
545	220.5	55.59	8851.7	11608	60	0.72	32.7	36.7	120.8	16/10/2025 8:55
546	219.8	57.97	9133.5	11.62	60	0.72	32.4	36.7	124	16/10/2025 8:55
547	222.2	39.72	6247.3	11632	60	0.71	31.6	36.9	126.1	16/10/2025 8:55
548	224.6	3.19	373.3	11.64	60	0.52	33.8	35.9	106.9	16/10/2025 9:42
549	220	54.52	8579.5	11657	59.9	0.72	33.8	35.9	109.2	16/10/2025 9:43
550	219.6	57.78	9126.8	11671	59.9	0.72	32.8	35.8	115.7	16/10/2025 9:43
551	219.8	58.06	9142.5	11689	59.9	0.72	32.8	35.8	120.6	16/10/2025 9:43
552	219.5	60.1	9456.7	11707	59.9	0.72	31.8	35.9	126.1	16/10/2025 9:43
553	223.3	11.13	1519.3	11724	60	0.61	32.9	33.6	107.2	16/10/2025 10:52
554	218.1	55.59	8685.2	11742	60	0.72	32.9	33.6	109.7	16/10/2025 10:52
555	217.6	61.07	9579.8	11774	59.9	0.72	32.1	33.6	120.6	16/10/2025 10:52
556	217.6	61.55	9667.7	11787	60	0.72	31.4	33.6	124.4	16/10/2025 10:52

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

557	221.5	28.97	4453.3	11797	59.9	0.69	31.2	33.9	125.3	16/10/2025 10:52
558	217.7	59.49	9338.2	11756	60	0.72	32.1	33.9	115.3	16/10/2025 10:52
559	223.8	4.64	577.6	11798	60	0.56	32.6	39.4	108	16/10/2025 10:59
560	218.7	53.19	8297.2	11813	60	0.71	32.6	39.4	110.7	16/10/2025 10:59
561	218.2	57.57	8999.3	11831	60	0.72	32.4	39.3	116.2	16/10/2025 10:59
562	218.1	57.4	8967.4	11849	60	0.72	32	39.3	122	16/10/2025 10:59
563	217.4	62.38	9818.6	11865	60	0.72	31.4	39.5	126.9	16/10/2025 11:00
564	222.4	12.8	1763.9	11877	59.9	0.62	34.4	36.2	106.6	16/10/2025 11:48
565	217	62.81	9881.4	11.89	60	0.72	34.4	36.2	108.3	16/10/2025 11:48
566	217.8	56.21	8812.3	11.9	59.9	0.72	33.9	36.2	112.2	16/10/2025 11:48
567	217.3	57.68	9030	11919	60	0.72	33.9	36.2	118.1	16/10/2025 11:48
568	217.4	57.44	8988.7	11928	60	0.72	33.3	36.2	120.9	16/10/2025 11:48
569	217.3	59.01	9229.2	11939	59.9	0.72	33.1	36.2	123.1	16/10/2025 11:48
570	217.2	59.51	9356.4	11952	59.9	0.72	32.6	36.4	126.1	16/10/2025 11:48
571	222.6	1.5	165.4	11959	59.9	0.5	34.2	42.1	106.8	16/10/2025 11:56
572	217.3	55.02	8555.1	11.97	59.9	0.72	34.2	42.1	106.8	16/10/2025 11:56
573	217.1	55.69	8679.4	11979	59.8	0.72	34.1	42.1	109.4	16/10/2025 11:56
574	217.1	55.29	8611.2	11.99	60	0.72	33.5	42.1	113.4	16/10/2025 11:56
575	217	56.67	8832.1	12	60	0.72	33.5	42.1	117.5	16/10/2025 11:56
576	216.8	57.35	8933.9	12011	60	0.72	33.2	42.1	121	16/10/2025 11:56
577	216	60.09	9229.8	12025	60	0.71	33	42.1	125	16/10/2025 11:56
578	218.4	43.99	6721.4	12033	60	0.7	32.6	42.2	126.8	16/10/2025 11:56
579	224.9	3.26	393	12038	59.9	0.54	35.9	43.4	107.2	16/10/2025 12:12
580	219.8	52.14	8165.3	12053	59.9	0.71	35.9	43.4	110.1	16/10/2025 12:12
581	219.1	56.03	8803.3	12.07	60	0.72	35.6	43.4	115.4	16/10/2025 12:12
582	219	57.56	9052	12086	60	0.72	34.6	43.3	121.5	16/10/2025 12:12
583	218.9	57.63	9067.3	12103	60	0.72	34.2	43.4	126.7	16/10/2025 12:12
584	224.4	2.84	345.2	12112	60	0.54	37.2	40.2	106.4	16/10/2025 12:47
585	218.7	54.28	8526	12126	59.9	0.72	36.9	40.2	107.9	16/10/2025 12:47
586	218.2	55.67	8694	12139	60	0.72	36.9	40.2	112.9	16/10/2025 12:48
587	218.2	55.68	8697.8	12149	60	0.72	36.4	40.1	115.3	16/10/2025 12:48
588	218.2	57.17	8978.3	12159	60	0.72	35.7	40.2	120.1	16/10/2025 12:48
589	217.9	58.68	9176.2	12172	60	0.72	35.7	40.2	123.9	16/10/2025 12:48

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

590	219.6	42.77	6590.8	12184	60	0.7	35	40.4	126.5	16/10/2025 12:48
591	223	4.15	507.9	12188	60	0.55	37.1	44.2	106.4	16/10/2025 12:59
592	218.1	53.92	8430.1	12.2	60	0.72	36.9	44.2	106.5	16/10/2025 12:59
593	217.8	54.18	8438.6	12.21	59.9	0.72	36.9	44.1	109.4	16/10/2025 13:00
594	217.9	54.84	8556	12.22	60	0.72	36.5	44.1	111.3	16/10/2025 13:00
595	217.9	54.56	8506.2	12235	60	0.72	36.2	44.1	114.5	16/10/2025 13:00
596	218.2	55.02	8603.2	12.25	59.9	0.72	35.7	44.1	112.4	16/10/2025 13:00
597	218.4	55.92	8773.9	12265	60	0.72	34.9	44.2	122	16/10/2025 13:00
598	218.3	56.78	8913.2	12277	60	0.72	34.7	44.3	124.5	16/10/2025 13:00
599	219.8	42.3	6540.2	12288	60	0.7	34.5	44.6	125.7	16/10/2025 13:00
600	223.8	4.59	565.4	12291	60	0.55	35.6	48.2	106.5	16/10/2025 13:02
601	219.1	48.48	7520.9	12.3	60	0.71	35.6	48.2	108.2	16/10/2025 13:02
602	218.6	53.7	8387.6	12314	60	0.71	35.2	48.3	112.3	16/10/2025 13:02
603	218.4	54.6	8545.5	12329	60	0.72	35.2	48.4	116.4	16/10/2025 13:02
604	218.7	52.87	8345.9	12357	60	0.72	34.5	48.8	126.1	16/10/2025 13:02
605	218.3	55.97	8769.8	12341	59.9	0.72	34.9	48.5	121.4	16/10/2025 13:03
606	223.5	5.43	693.6	12369	59.9	0.57	38.4	40.2	106.9	16/10/2025 14:06
607	217.8	57.86	9108.5	12383	59.9	0.72	38.4	40.2	108.4	16/10/2025 14:06
608	218.7	54.41	8526.4	12399	59.9	0.72	38	40.2	115.5	16/10/2025 14:06
609	218	56.83	8910.2	12416	60	0.72	37.4	40.2	121.1	16/10/2025 14:06
610	218	59.28	9293.8	12433	60	0.72	36.2	40.4	126	16/10/2025 14:07
611	224.1	3.31	398.8	12441	59.9	0.54	38.2	43	106.6	16/10/2025 14:26
612	218.9	51.7	8060.9	12455	60	0.71	38.2	43	106.9	16/10/2025 14:26
613	218.2	55.44	8529.3	12471	59.9	0.71	37.2	43	113.9	16/10/2025 14:26
614	218.3	58.52	9179.5	12488	60	0.72	37.2	42.9	118.9	16/10/2025 14:26
615	218	56.4	8833.7	12505	60	0.72	36.6	43	123.3	16/10/2025 14:26
616	220.2	34.63	5233.1	12517	60	0.69	35.9	43.3	125.9	16/10/2025 14:26
617	222	7.99	966.5	12523	60	0.54	38.3	40.9	106.3	16/10/2025 15:03
618	218	53.81	8410.9	12536	60	0.72	38	40.9	106.3	16/10/2025 15:04
619	218.8	53.97	8432.5	12548	59.9	0.71	38	40.9	110.1	16/10/2025 15:04
620	217.7	55.19	8602.6	12564	60	0.72	37.6	40.9	112.7	16/10/2025 15:04
621	218.8	54.76	8573.3	12575	60	0.72	36.6	40.9	116.1	16/10/2025 15:04
622	218.9	55.83	8775.8	12588	60	0.72	36.6	40.9	118.7	16/10/2025 15:04

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

623	218.6	56.8	8873.3	12598	60	0.71	36.6	41	121.1	16/10/2025 15:04
624	218.1	58.22	9125	12616	60	0.72	35.6	41.4	126.2	16/10/2025 15:04
625	224.3	2.42	271.7	12623	60	0.5	38.3	46.2	105.8	16/10/2025 15:17
626	218.9	53.12	8283.9	12638	60	0.71	38.3	46.2	108.6	16/10/2025 15:17
627	218.6	55.36	8673.9	12671	60	0.72	37.4	46.2	118.6	16/10/2025 15:17
628	218.6	57.08	8939.3	12687	59.9	0.72	36.8	46.2	124.5	16/10/2025 15:17
629	220.1	34.9	5305.3	12698	59.9	0.69	36.1	46.4	126	16/10/2025 15:17
630	218.7	55.61	8710.6	12654	59.9	0.72	36.1	46.4	114.3	16/10/2025 15:18
631	223.9	1.25	138.4	12699	59.9	0.49	38.1	49.7	105.8	16/10/2025 15:23
632	219	50.6	7881.8	12.71	60	0.71	37.9	49.7	106.6	16/10/2025 15:23
633	218.3	54.26	8455.5	12725	60	0.71	37.4	49.6	112.2	16/10/2025 15:23
634	218.4	55.26	8651.9	12741	59.9	0.72	37.4	49.6	117.1	16/10/2025 15:23
635	218.2	55.77	8704.1	12757	60	0.72	36.5	49.6	123.2	16/10/2025 15:23
636	220.3	34.6	5304.9	12772	59.9	0.7	36.1	49.7	126	16/10/2025 15:23
637	223.7	2.26	253.8	12773	60	0.5	37.6	52.2	106.1	16/10/2025 15:26
638	219	51.47	7988.1	12786	60	0.71	37.6	52.2	105.5	16/10/2025 15:26
639	0	51.47	7988.1	12786	60	0.71	37.4	52.2	110.9	16/10/2025 15:26
640	218.4	54.24	8456.5	12814	60	0.71	37	52.2	115.7	16/10/2025 15:26
641	218.3	54.84	8558	12.83	60	0.71	36.7	52.2	121	16/10/2025 15:26
642	218.1	56.62	8853.2	12846	60	0.72	36.1	52.4	126.6	16/10/2025 15:26
643	230.1	1.99	384.5	12.85	60	0.84	22	21.7	58.2	17/10/2025 5:34
644	226	5.99	384.5	12854	59.9	0.84	21.9	21.7	58.2	17/10/2025 5:34
645	230.1	8.13	1072.8	12854	60	0.57	21.9	21.7	61.7	17/10/2025 5:34
646	226	50.05	7932.1	12867	60	0.7	21.9	21.7	67.2	17/10/2025 5:34
647	225.9	46.71	7365.4	12882	60	0.7	21.9	21.7	72.9	17/10/2025 5:34
648	225.6	47.59	7522.8	12895	60	0.7	21.9	21.7	77.3	17/10/2025 5:34
649	225.7	48.43	7667	12908	60	0.7	21.9	21.8	82.7	17/10/2025 5:34
650	225.6	49.63	7860.9	12921	60	0.7	21.9	21.8	87.1	17/10/2025 5:34
651	225.6	50.2	7959	12934	60	0.7	21.9	22	92.7	17/10/2025 5:34
652	225.2	52.2	8290.6	12949	60	0.71	21.9	22.2	92.2	17/10/2025 5:34
653	225.5	53.19	8470.1	12962	59.9	0.71	21.9	22.4	100.1	17/10/2025 5:35
654	225	55.67	8878.7	12976	59.9	0.71	22	22.4	102.6	17/10/2025 5:35
655	225	55.89	8905	12992	59.9	0.71	22.1	22.4	109.6	17/10/2025 5:35
656	224.8	57.03	9095.9	13008	59.9	0.71	22.1	23.6	114.9	17/10/2025 5:35
657	225.3	55.26	8826.4	13024	60	0.71	22.1	24.3	118.4	17/10/2025 5:35

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

658	225	57.03	9116.6	13.04	60	0.71	22.4	24.8	123.8	17/10/2025 5:35
659	225	56.78	9082	13055	59.9	0.71	22.4	25.4	128	17/10/2025 5:35
660	224.5	60.17	9661.7	13072	60	0.72	22.6	27	128	17/10/2025 5:35
661	228.4	2.44	293.7	13088	59.9	0.53	27.7	29.6	106.6	17/10/2025 6:33
662	228.1	6.95	919.4	13088	60	0.58	27.4	29.6	110.4	17/10/2025 6:33
663	223.1	54.26	8647.2	13106	60	0.71	27.1	29.6	114.7	17/10/2025 6:33
664	222.5	57.3	9141.3	13.12	60	0.72	27.1	29.6	119.5	17/10/2025 6:34
665	222.5	57.67	9221.1	13136	60	0.72	26.8	29.6	124.4	17/10/2025 6:34
666	222.6	58.4	9359.4	13153	60	0.72	26.3	29.8	127	17/10/2025 6:34
667	224.7	40.22	6341.9	13165	60	0.7	26.3	30	126.8	17/10/2025 6:34
668	227.4	7.02	915.6	13169	59.9	0.57	28.1	33.8	106.7	17/10/2025 6:46
669	226.4	18.43	2649.1	13.17	60	0.63	28.1	33.8	109.8	17/10/2025 6:46
670	222.6	56.47	8990.8	13.19	59.9	0.72	27.8	33.7	115.5	17/10/2025 6:46
671	222.5	57.38	9167.1	13206	60	0.72	27.8	33.7	120.8	17/10/2025 6:46
672	222	58.55	9362	13221	60	0.72	27.2	33.7	126.1	17/10/2025 6:46
673	221.9	60.39	9677.6	13239	59.9	0.72	26.9	34	126.3	17/10/2025 6:46
674	228.2	1.83	253.4	13247	59.9	0.61	26.9	34.2	126.1	17/10/2025 6:46
675	227.2	5.29	681.2	13248	59.9	0.57	29.1	34.2	107.9	17/10/2025 6:55
676	226.5	13.9	1945.8	13.25	59.9	0.62	29.1	34.2	112	17/10/2025 6:55
677	222.1	55.7	8865.1	13267	59.8	0.72	28.7	37.7	117	17/10/2025 6:55
678	222.1	56.49	9016.2	13282	60	0.72	28.1	37.7	123.1	17/10/2025 6:55
679	221.8	57.08	9108.9	13298	60	0.72	27.9	37.7	126.7	17/10/2025 6:55
680	223.7	40.55	6376.6	13314	60	0.7	27.8	37.9	126.4	17/10/2025 6:55
681	225.8	3.26	391.3	13.32	60	0.53	31.4	36.6	106.5	17/10/2025 7:20
682	225.5	8.72	1150.5	13321	60	0.59	31.4	36.6	110.7	17/10/2025 7:20
683	221.6	53.17	8446.2	13339	59.9	0.72	30.9	36.6	115.9	17/10/2025 7:20
684	221	55.6	8834.6	13353	59.9	0.72	30.5	36.6	120.1	17/10/2025 7:20
685	220.9	57.15	9141.5	13.37	60	0.72	30.5	36.6	126.4	17/10/2025 7:21
686	220.2	61.18	9748.3	13388	60	0.72	29.5	36.8	126.2	17/10/2025 7:21
687	226.3	1.16	156	13394	60	0.59	29.6	37	126	17/10/2025 7:21
688	225	4.79	596.9	13396	60	0.55	31.2	40.7	105.7	17/10/2025 7:26
689	224.5	11.33	1546.3	13397	59.9	0.61	31.2	40.7	108.2	17/10/2025 7:26
690	220.6	53.21	8396.7	13414	60	0.72	30.8	40.7	112.4	17/10/2025 7:27
691	220.4	54.49	8632.4	13.43	60	0.72	30.4	40.6	117.4	17/10/2025 7:27
692	220.1	56.16	8924.9	13442	60	0.72	29.7	40.6	123.1	17/10/2025 7:27
693	219.8	57.62	9151	13459	60	0.72	29.4	40.9	126.6	17/10/2025 7:27
694	222.1	36.52	5686.7	13474	60	0.7	29.5	41.1	125.2	17/10/2025 7:27
695	224.2	10.2	1397.9	13481	60	0.61	33.3	36.9	106.7	17/10/2025 8:07

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

696	222.7	26.15	3841	13483	60	0.66	33.3	36.9	111.3	17/10/2025 8:07
697	219.3	57.64	9088.8	13502	59.9	0.72	32.7	36.8	116.5	17/10/2025 8:07
698	219.5	58.02	9117.1	13516	60	0.72	31.7	36.8	121.5	17/10/2025 8:07
699	218.9	59.33	9346.2	13532	60	0.72	31.2	36.9	126.4	17/10/2025 8:08
700	219.4	54.73	8607.3	13.55	59.9	0.72	31	37.1	126.4	17/10/2025 8:08
701	224.4	5.23	672.6	13559	60	0.57	33.4	36.7	106.4	17/10/2025 8:36
702	223.6	12.9	1758	13.56	59.9	0.61	33.4	36.7	107.3	17/10/2025 8:36
703	219.7	53.68	8413.1	13576	60	0.71	33	36.6	111.5	17/10/2025 8:36
704	219.5	55.71	8729.5	13593	59.9	0.71	31.8	36.6	114.3	17/10/2025 8:36
705	219.2	56.54	8859.6	13608	60	0.71	31.8	85	118.3	17/10/2025 8:36
706	219.1	56.24	8815.1	13627	60	0.72	31.3	85	120.2	17/10/2025 8:36
707	218.7	57.93	9126.4	13643	60	0.72	30.9	85	123.3	17/10/2025 8:37
708	219	57	8943.1	13658	60	0.72	30.4	37.5	126.9	17/10/2025 8:37
709	219.2	54.92	8656.7	13672	60	0.72	30.4	38	126.4	17/10/2025 8:37
710	225	1.99	235.9	13677	60	0.53	32.6	44.6	104.9	17/10/2025 8:41
711	224.7	6.26	823.5	13677	60	0.59	32.6	44.6	103.8	17/10/2025 8:41
712	219.9	51.71	8068.3	13691	60	0.71	32.3	44.6	105.3	17/10/2025 8:42
713	219.7	52.36	8191.1	13706	59.9	0.71	31.9	44.6	107.4	17/10/2025 8:42
714	219.6	53.22	8316.6	13721	59.9	0.71	31.9	44.6	109.1	17/10/2025 8:42
715	219.8	53.46	8372.8	13735	59.9	0.71	31.2	44.6	110.4	17/10/2025 8:42
716	219.8	52.94	8297.1	13752	59.9	0.71	30.9	44.6	111.3	17/10/2025 8:42
717	219.5	53	8269.4	13767	60	0.71	30.7	44.9	112.6	17/10/2025 8:42
718	220.2	53.2	8339.9	13784	60	0.71	30.4	45.1	113.4	17/10/2025 8:42
719	219.9	54.41	8563.6	13798	59.9	0.72	30.3	45.3	114.3	17/10/2025 8:42
720	219.7	54.31	8523.2	13813	60	0.71	30.1	45.3	115.1	17/10/2025 8:42
721	219.3	54.44	8531.7	13827	59.9	0.71	30.1	45.9	116	17/10/2025 8:43
722	219.4	54.01	8427.3	13842	60	0.71	30.1	46.2	117.2	17/10/2025 8:43
723	219.4	55.12	8364.4	13858	60	0.69	30.1	46.6	118.1	17/10/2025 8:43
724	219.6	54.92	8623.4	13874	60	0.72	30	46.9	118.3	17/10/2025 8:43
725	219.4	54.18	8482.9	13888	60	0.71	30	47.2	119	17/10/2025 8:43
726	219	55.41	8650.2	13903	60	0.71	30	47.7	120.1	17/10/2025 8:43
727	219.3	55.4	8661	13918	60	0.71	30	47.7	120.3	17/10/2025 8:43
728	219.4	55.01	8633.9	13936	59.9	0.72	30.1	48.5	121.3	17/10/2025 8:43
729	219.5	54.93	8640.8	13953	60	0.72	30.1	49	121.6	17/10/2025 8:43
730	219.2	55.65	8708.8	13969	59.9	0.71	30.1	49.4	122.2	17/10/2025 8:43
731	219.1	55.4	8704.2	13983	60	0.72	30.1	49.8	122.4	17/10/2025 8:44
732	219.2	55.48	8720.8	13999	60	0.72	30.1	49.8	122.2	17/10/2025 8:44
733	219.3	55.04	8641.9	14.01	59.9	0.72	30.2	50.5	123.4	17/10/2025 8:44

734	219.4	55.76	8763.1	14019	59.9	0.72	30.2	50.8	123.3	17/10/2025 8:44
735	219.3	56.07	8813.9	14027	59.9	0.72	30.3	51	124.1	17/10/2025 8:44
736	219.3	55.51	8723.4	14043	59.9	0.72	30.3	51.4	124.3	17/10/2025 8:44
737	219.2	55.34	8740.8	14059	59.8	0.72	30.3	51.4	124.6	17/10/2025 8:44
738	219.3	56.79	8938.6	14072	60	0.72	30.4	52.2	125.3	17/10/2025 8:44
739	219.4	56.26	8869	14088	60	0.72	30.4	52.6	125.8	17/10/2025 8:44
740	219.5	55.8	8797.8	14104	60	0.72	30.4	53.1	125.8	17/10/2025 8:44
741	219.3	56.11	8843.2	14121	60	0.72	30.6	54	124.1	17/10/2025 8:45
742	220.9	43.71	6869.1	14138	60	0.71	30.9	54.4	120	17/10/2025 8:45
743	224.7	4.58	576.9	14141	59.9	0.56	31.6	55.8	104.7	17/10/2025 8:45
744	223.9	12.31	1706.1	14142	59.9	0.62	31.6	55.8	106.1	17/10/2025 8:45
745	220.5	49.87	7816.8	14157	60	0.71	31.6	55.8	106.9	17/10/2025 8:45
746	220.2	50.76	7945.6	14172	60	0.71	31.6	56.6	108.5	17/10/2025 8:45
747	220.5	50.67	7952.9	14183	60	0.71	31.6	56.7	109.5	17/10/2025 8:45
748	220.2	51.14	8030.4	14197	60	0.71	31.6	56.7	110.5	17/10/2025 8:46
749	219.8	51.98	8151.8	14209	59.9	0.71	31.5	57.2	111.8	17/10/2025 8:46
750	219.5	51.81	8103.4	14225	60	0.71	31.5	57.6	112.6	17/10/2025 8:46
751	220	51.74	8131.4	14.24	60	0.71	31.5	57.8	113.7	17/10/2025 8:46
752	219.6	52.64	8260.4	14256	60	0.71	31.5	58.1	114.6	17/10/2025 8:46
753	219.7	53.1	8342.1	14272	60	0.72	31.5	58.4	115.3	17/10/2025 8:46
754	219.4	53.09	8318.4	14287	60	0.71	31.6	58.6	116.2	17/10/2025 8:46
755	219.4	53.45	8398.8	14.3	60	0.72	31.6	58.8	115.4	17/10/2025 8:46
756	219.9	53.3	8364.9	14316	60	0.71	31.6	59.1	117.2	17/10/2025 8:46
757	219.7	53.36	8387.8	14333	59.9	0.72	31.6	59.4	117.5	17/10/2025 8:46
758	219.7	53.17	8361.8	14347	60	0.72	31.8	59.6	117.6	17/10/2025 8:47
759	219.6	53.46	8396.9	14357	60	0.72	31.8	59.7	118.7	17/10/2025 8:47
760	219.7	53.04	8333.5	14371	59.9	0.72	31.8	59.9	118.4	17/10/2025 8:47
761	219.6	53.61	8412.8	14387	60	0.71	31.8	60.2	119.4	17/10/2025 8:47
762	219.6	53.94	8485.5	14401	59.9	0.72	31.8	60.4	119.8	17/10/2025 8:47
763	219.7	53.85	8469.2	14417	60	0.72	31.9	60.4	120.3	17/10/2025 8:47
764	219.9	53.71	8451.3	14432	59.9	0.72	31.9	60.9	120.2	17/10/2025 8:47
765	219.5	53.98	8464.7	14447	60	0.71	31.9	61.1	120.5	17/10/2025 8:47
766	219.6	53.74	8446.9	14462	60	0.72	32	61.3	121.1	17/10/2025 8:47
767	219.8	53.59	8425.4	14477	60	0.72	32.1	61.6	121.6	17/10/2025 8:48
768	219.5	54.66	8608.4	14493	60	0.72	32.2	61.6	121.2	17/10/2025 8:48
769	219.4	54.25	8512.5	14508	60	0.72	32.2	62	122.2	17/10/2025 8:48
770	219.2	54.6	8551.6	14524	60	0.71	32.2	62.2	122.7	17/10/2025 8:48
771	219.3	55.69	8786	14539	60	0.72	32.3	62.4	123	17/10/2025 8:48

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO							Código	FDE 089
								Versión	05
								Fecha	11-06-2025

772	219.2	55.13	8628.5	14553	60	0.71	32.3	62.6	122.8	17/10/2025 8:48
773	219.4	55.16	8684.9	14568	59.9	0.72	32.4	63	122.8	17/10/2025 8:48
774	219.5	54.47	8570.5	14578	59.9	0.72	32.5	63	123.5	17/10/2025 8:48
775	219.8	54.24	8564	14595	59.9	0.72	32.5	63.3	123.1	17/10/2025 8:48
776	219.6	54.68	8619	14613	59.9	0.72	32.6	63.5	123.6	17/10/2025 8:48
777	219.5	54.76	8597.8	14627	60	0.72	32.6	63.5	124	17/10/2025 8:49
778	219	55.16	8657.4	14641	60	0.72	32.7	63.9	124.4	17/10/2025 8:49
779	219.3	55.06	8625.8	14658	59.9	0.71	32.7	64.1	124.1	17/10/2025 8:49
780	219.3	55.07	8675.5	14674	60	0.72	32.7	64.1	124.1	17/10/2025 8:49
781	219.2	54.93	8645.7	14689	59.9	0.72	32.8	64.6	124.2	17/10/2025 8:49
782	218.6	54.8	8622.9	14.7	60	0.72	32.8	64.7	124.1	17/10/2025 8:49
783	218.8	55.4	8776.7	14.71	60	0.72	32.8	64.8	124.6	17/10/2025 8:49
784	219.3	55.12	8681.4	14727	60	0.72	32.9	65.1	125.1	17/10/2025 8:49
785	219.1	54.65	8613.3	14744	60	0.72	32.9	65.1	124.8	17/10/2025 8:49
786	219.1	55.29	8700.9	14758	60	0.72	33	65.4	125.3	17/10/2025 8:49
787	219	55.48	8730.8	14768	60	0.72	33.1	65.6	125	17/10/2025 8:50
788	218.7	55.34	8668.3	14783	59.9	0.72	33.2	65.8	125.8	17/10/2025 8:50
789	218.9	55.22	8691.2	14799	60	0.72	33.2	65.9	125.5	17/10/2025 8:50
790	219.1	55.53	8757.3	14814	59.9	0.72	33.2	66.1	125.7	17/10/2025 8:50
791	218.8	55.44	8735.8	14829	60	0.72	33.3	66.3	125.2	17/10/2025 8:50
792	219.2	55.27	8712.3	14.84	60	0.72	33.3	66.4	125.7	17/10/2025 8:50
793	218.4	55.63	8748.6	14851	59.9	0.72	33.3	66.4	125.8	17/10/2025 8:50
794	218.8	55.58	8714	14864	59.9	0.72	33.3	66.7	125.8	17/10/2025 8:50
795	219	55.2	8715	14878	59.9	0.72	33.5	66.7	126.1	17/10/2025 8:50
796	219.3	54.73	8616.6	14893	59.9	0.72	33.5	67.1	125.8	17/10/2025 8:50
797	218.8	55.37	8727.2	14908	59.8	0.72	33.6	67.2	126.1	17/10/2025 8:51
798	219.3	54.84	8641.2	14919	60	0.72	33.6	67.3	125.9	17/10/2025 8:51
799	218.6	55.27	8712.1	14936	60	0.72	33.7	67.7	125.1	17/10/2025 8:51
800	219.4	54.13	8595	14952	60	0.72	33.8	67.8	121.6	17/10/2025 8:51
801	222.9	18.71	2887.4	14957	60	0.69	34.2	68	115.4	17/10/2025 8:51
802	224.4	4.66	583.9	14957	60	0.56	34.9	68.6	104.4	17/10/2025 8:51
803	224	11.79	1644.8	14958	59.9	0.62	34.9	68.6	105.8	17/10/2025 8:51
804	220.1	48.86	7644.7	14973	59.9	0.71	34.7	68.8	106.9	17/10/2025 8:51
805	220.6	49.36	7745.1	14987	60	0.71	34.7	68.9	108.1	17/10/2025 8:52
806	220.6	49.77	7787	15001	60	0.71	34.7	69.1	112.6	17/10/2025 8:52
807	220.5	50.61	7942.1	15015	60	0.71	34.6	69.1	117.6	17/10/2025 8:52
808	220	52.23	8197.7	15028	60	0.71	34.6	69.2	120.5	17/10/2025 8:52
809	220.1	53.09	8361.8	15038	59.9	0.72	34.5	69.2	124.2	17/10/2025 8:52

810	219	54.17	8510.4	15049	60	0.72	34.5	69.4	126.6	17/10/2025 8:52
811	221.1	38.56	5919.9	15063	60	0.69	34.7	69.4	126	17/10/2025 8:52
812	223.2	2.65	306.2	15068	60	0.52	45.5	55.4	105.5	17/10/2025 9:21
813	223.2	7.41	966.7	15.07	60	0.58	45.5	55.4	109.4	17/10/2025 9:22
814	218.8	52.47	8166.7	15.1	60	0.71	42.6	55.3	116.7	17/10/2025 9:22
815	218.9	52.71	8210	15085	60	0.71	43.7	55.3	113.1	17/10/2025 9:22
816	218.6	53.78	8385.1	15116	60	0.71	41.8	55.3	122.2	17/10/2025 9:22
817	217.4	55.91	8684.9	15.13	59.9	0.71	41.1	55.6	126.1	17/10/2025 9:22
818	218.8	45.95	7161.3	15145	60	0.71	40.9	55.8	126	17/10/2025 9:22
819	224.1	1.4	158.5	15153	60	0.5	44.7	50.4	105.9	17/10/2025 9:50
820	223.7	5.4	699	15153	59.9	0.58	43.9	50.4	109.3	17/10/2025 9:50
821	219.2	52.96	8256.7	15169	60	0.71	43.9	50.4	115.5	17/10/2025 9:50
822	219.2	53.62	8383.4	15185	59.9	0.71	41.8	50.4	121.2	17/10/2025 9:50
823	218.7	55.06	8606.4	15201	60	0.71	41.8	50.4	126.1	17/10/2025 9:50
824	218.8	56.75	8916.1	15217	59.9	0.72	40.6	50.8	126	17/10/2025 9:51
825	224.6	2.72	393.9	15224	60	0.64	40.7	51	125.9	17/10/2025 9:51
826	223.8	3.6	384	15.23	60	0.48	42.4	45.4	107.1	17/10/2025 10:31
827	223.3	9.28	1116.1	15231	60	0.54	42.4	45.4	108.5	17/10/2025 10:31
828	219	51.86	8053.3	15247	60	0.71	41.7	45.4	115.9	17/10/2025 10:31
829	218.8	54.88	8547	15261	60	0.71	40.1	45.4	119	17/10/2025 10:32
830	217.7	57.16	8878.6	15277	60	0.71	39.3	45.6	126	17/10/2025 10:32
831	218.4	56.72	8899.8	15294	60	0.72	39	45.9	126	17/10/2025 10:32
832	223.9	1.31	140.8	15303	60	0.48	41.2	45.4	106.1	17/10/2025 11:00
833	223.2	5.55	695.6	15304	59.9	0.56	40.6	45.4	106.8	17/10/2025 11:00
834	218.3	54.2	8341.9	15.32	59.9	0.71	40.6	45.4	112.6	17/10/2025 11:00
835	218.1	55.23	8457.7	15338	59.9	0.7	40.6	45.4	115.3	17/10/2025 11:01
836	218.3	55.43	8565	15353	59.9	0.71	38.3	45.4	119	17/10/2025 11:01
837	217.8	56.39	8681.1	15.37	60	0.71	38.3	45.4	122.3	17/10/2025 11:01
838	217.7	56.54	8731.5	15386	60	0.71	37.3	46	125.8	17/10/2025 11:01
839	218.2	57.09	8932.6	15402	59.9	0.72	37.2	46.4	125	17/10/2025 11:01
840	223.2	2.81	336.7	15493	60	0.54	38.5	46.4	106.7	17/10/2025 12:33
841	222.3	8.03	1040.9	15494	59.9	0.58	38.5	42.6	109.6	17/10/2025 12:33
842	218.2	52.9	8183.1	15.51	60	0.71	38.1	42.5	112.7	17/10/2025 12:33
843	218	55.1	8547.5	15523	60	0.71	37.6	42.5	117.9	17/10/2025 12:33
844	217.8	56.04	8701.7	15536	60	0.71	36.6	42.5	122.5	17/10/2025 12:33

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO							Código	FDE 089
								Versión	05
								Fecha	11-06-2025

845	217.9	56.97	8882.9	15551	60	0.72	36.2	42.6	126.2	17/10/2025 12:34
846	217.9	57.64	8997.9	15568	60	0.72	36	43	125.2	17/10/2025 12:34
847	223.3	1.32	137.4	15576	60	0.47	38.4	46.9	105.5	17/10/2025 12:43
848	222.8	5.72	699.3	15576	59.9	0.55	38.1	46.9	109.1	17/10/2025 12:43
849	218.4	52.1	8043.8	15.59	60	0.71	38.1	46.9	114.4	17/10/2025 12:43
850	217.8	55.91	8678.4	15608	59.9	0.71	37.1	46.8	117.7	17/10/2025 12:43
851	217.8	56.31	8748.9	15616	60	0.71	37.1	46.8	122.8	17/10/2025 12:43
852	217.8	56.64	8806.5	15632	60	0.71	36.4	46.9	125.3	17/10/2025 12:43
853	220	34.94	5287.3	15644	59.9	0.69	36.4	47.1	125.4	17/10/2025 12:44
854	222.1	11.07	1496.4	15654	59.9	0.61	37.2	38.4	107.7	17/10/2025 13:49
855	220.3	27.75	4048.4	15656	59.9	0.66	36.9	38.4	110.9	17/10/2025 13:49
856	217.8	53.88	8388.6	15669	59.9	0.71	36.9	38.4	113.4	17/10/2025 13:49
857	217.5	56.2	8744.9	15.68	59.8	0.72	36.4	38.4	115.9	17/10/2025 13:49
858	217.6	56.82	8865.1	15689	60	0.72	36.1	38.4	121.2	17/10/2025 13:49
859	217.6	57.29	8968.1	15.7	60	0.72	35.6	38.4	124.2	17/10/2025 13:49
860	217.1	60.34	9437	15714	60	0.72	34.9	38.6	125.9	17/10/2025 13:49
861	219.3	39.4	6048	15722	60	0.7	34.8	38.9	125.8	17/10/2025 13:49
862	222.1	6.61	844.2	15727	60	0.58	36.9	41.3	106.5	17/10/2025 14:09
863	220.9	18.05	2532.3	15728	59.9	0.64	36.9	41.3	109.8	17/10/2025 14:09
864	217.2	55.01	8561	15748	59.9	0.72	35.7	41.2	116.5	17/10/2025 14:09
865	217.2	56	8712.2	15763	60	0.72	35.7	41.2	119.2	17/10/2025 14:09
866	216.9	57.74	8977.6	15779	60	0.72	34.8	41.3	124	17/10/2025 14:09
867	217	58.17	9063.8	15793	60	0.72	34.5	41.6	125.2	17/10/2025 14:09
868	219.9	37.69	5798.4	15806	60	0.7	34.5	41.9	124.1	17/10/2025 14:09
869	218.3	53.59	8332.3	15823	59.9	0.71	35.1	45.8	113.1	17/10/2025 14:12
870	218.1	54.6	8508.6	15835	60	0.71	34.4	45.9	120.2	17/10/2025 14:12
871	217.2	57.58	8884.5	15.86	60	0.71	34.4	46	125.5	17/10/2025 14:12
872	217	58.22	8872.9	15876	60	0.7	33.9	46.4	125.9	17/10/2025 14:12
873	222.2	8.95	1344.7	15885	60	0.68	34.1	46.7	125.8	17/10/2025 14:12
874	218.2	53.63	8361.6	15918	60	0.71	35.3	50.6	121.3	17/10/2025 14:17
875	216.7	57.55	8772.3	15947	60	0.7	34.2	50.7	125.7	17/10/2025 14:17
876	217.5	57.58	8975.5	15963	60	0.72	34.1	50.9	125	17/10/2025 14:17
877	223.2	1.06	137.8	15971	59.9	0.58	34.2	51	123.7	17/10/2025 14:17

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

878	222.7	3.53	416.1	15973	60	0.53	38.7	50.2	107.6	17/10/2025 14:29
879	222.5	9.09	1209.1	15974	60	0.6	38.7	50.2	110.4	17/10/2025 14:29
880	217.9	54.81	8512	15989	59.9	0.71	38.2	50.2	116.3	17/10/2025 14:29
881	217.9	54.72	8540.3	16002	60	0.72	37.6	50.1	120.6	17/10/2025 14:29
882	217.6	57.42	8978.3	16016	59.9	0.72	37.1	50.1	124.1	17/10/2025 14:29
883	217.5	57.81	9039.1	16.03	60	0.72	36.3	50.1	126.1	17/10/2025 14:29
884	220.2	32.33	4926.6	16042	59.9	0.69	36.4	50.2	125.3	17/10/2025 14:29
885	222.6	13.39	1838.1	16045	60	0.62	39.6	49.1	106.5	17/10/2025 14:43
886	222.6	13.39	1838.1	16046	60	0.62	39.6	49.1	108.2	17/10/2025 14:43
887	218.6	52.09	8088.5	16057	60	0.71	39.2	49.1	110	17/10/2025 14:43
888	218.5	53.72	8376.5	16068	60	0.71	38.4	49.1	114.3	17/10/2025 14:43
889	218.1	55.12	8601.8	16077	60	0.72	37.8	49.1	118.7	17/10/2025 14:43
890	218.2	57.17	8931.6	16.09	60	0.72	37.8	49.1	121.1	17/10/2025 14:43
891	218.1	56.22	8796.5	16.1	60	0.72	37.1	49.1	123.9	17/10/2025 14:43
892	218.1	56.38	8832.9	16111	60	0.72	36.8	49.2	125.3	17/10/2025 14:43
893	219.7	41.32	6368.2	16122	59.9	0.7	36.7	49.2	122.3	17/10/2025 14:43
894	223.9	1.07	137.8	16124	59.9	0.57	36.7	49.4	119.8	17/10/2025 14:43
895	224	2.11	245.1	16125	59.9	0.52	37.4	50.5	105.5	17/10/2025 14:44
896	223.3	7.25	944.8	16125	59.9	0.58	37.4	50.5	105.5	17/10/2025 14:44
897	219.3	46.08	7126.3	16135	60	0.71	37.2	50.5	108.3	17/10/2025 14:44
898	218.6	51.78	8073	16145	60	0.71	37	50.8	110.7	17/10/2025 14:44
899	218.3	52.97	8242.5	16154	59.9	0.71	36.7	50.8	113.1	17/10/2025 14:44
900	218.2	53.37	8310.3	16165	60	0.71	36.2	50.9	115.5	17/10/2025 14:44
901	218.2	53.83	8400.4	16175	59.9	0.72	35.9	51.1	121.4	17/10/2025 14:44
902	218.4	54.06	8450.7	16187	60	0.72	35.9	51.1	120.9	17/10/2025 14:44
903	218.3	54.82	8565.1	16199	60	0.72	35.7	51.4	123.2	17/10/2025 14:44
904	218.1	55.61	8701	16209	60	0.72	35.4	51.7	126	17/10/2025 14:45
905	218.1	55.9	8731.2	16222	60	0.72	35.3	52	124.4	17/10/2025 14:45
906	223.4	5.87	881.4	16226	60	0.67	35.4	52.2	123.1	17/10/2025 14:45
907	223.5	1.95	222	16226	60	0.51	36.7	55.1	106.5	17/10/2025 14:46
908	223.3	6.44	810.8	16227	59.9	0.56	36.7	55.1	106.6	17/10/2025 14:46
909	219.6	45.27	6977.5	16236	60	0.7	36.5	55.2	110.4	17/10/2025 14:46
910	218	51.93	8083.3	16246	59.9	0.71	36.5	55.3	113.5	17/10/2025 14:46

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

911	218.2	53.5	8349.9	16259	60	0.72	36.2	55.4	116.2	17/10/2025 14:46
912	218.4	53.55	8364.3	16271	60	0.72	36	55.4	118.9	17/10/2025 14:46
913	218.6	54.05	8466	16281	59.9	0.72	36	55.6	122	17/10/2025 14:46
914	218.4	55.67	8705.1	16292	59.9	0.72	35.6	55.7	124.7	17/10/2025 14:47
915	218.4	55.35	8651.4	16306	59.9	0.72	35.3	55.9	125.3	17/10/2025 14:47
916	219.2	45.74	7166	16314	59.9	0.71	35.4	56.1	123	17/10/2025 14:47
917	223.6	3.79	433.9	16316	59.8	0.51	36.9	58.4	106.4	17/10/2025 14:48
918	223.2	9.49	1262.5	16317	60	0.6	36.9	58.4	108.2	17/10/2025 14:48
919	218.8	52.33	8167.8	16.33	60	0.71	36.4	58.4	112.3	17/10/2025 14:48
920	219	52.6	8224.5	16345	60	0.71	36.4	58.5	115.5	17/10/2025 14:48
921	218.6	53.08	8290.8	16.36	60	0.71	35.9	58.6	119.6	17/10/2025 14:48
922	218.5	54.44	8516.7	16373	60	0.72	35.9	58.6	123	17/10/2025 14:49
923	217.4	56.75	8585.2	16389	59.9	0.7	35.6	58.8	125.1	17/10/2025 14:49
924	218.9	51.49	8079.7	16403	59.9	0.72	35.6	59	124.1	17/10/2025 14:49
925	223.5	7.45	975.6	16408	60	0.59	36.7	60.1	104.7	17/10/2025 14:49
926	223.5	7.45	975.6	16408	60	0.59	36.6	60.1	105.9	17/10/2025 14:50
927	218.7	51.66	8054.6	16423	60	0.71	36.3	60.2	109.6	17/10/2025 14:50
928	218.8	51	7948.9	16436	60	0.71	36.1	60.3	112.9	17/10/2025 14:50
929	218.9	51.89	8090.8	16.45	59.9	0.71	36.1	60.4	115.4	17/10/2025 14:50
930	218.6	53.11	8290.5	16467	60	0.71	35.7	60.4	118.4	17/10/2025 14:50
931	218.3	54.1	8441.8	16479	60	0.71	35.7	60.4	123.3	17/10/2025 14:50
932	218.3	54.68	8561.8	16496	60	0.72	35.5	60.8	125.8	17/10/2025 14:50
933	219.8	41.78	6482.8	16509	60	0.71	35.6	60.9	123.9	17/10/2025 14:50
934	223.7	1.17	132.2	16513	60	0.5	39.6	63.1	105.6	17/10/2025 14:55
935	223.1	5.17	655.3	16513	60	0.57	39.6	63.1	106.8	17/10/2025 14:55
936	218.5	51.59	8020.8	16.53	60	0.71	38.7	62.9	110.4	17/10/2025 14:55
937	218.4	51.92	8074.3	16544	59.9	0.71	38.2	62.9	113.2	17/10/2025 14:55
938	218.1	52.77	8204.1	16559	60	0.71	37.9	62.7	117.4	17/10/2025 14:55
939	218.2	53.75	8361.1	16574	60	0.71	37.9	62.7	119.2	17/10/2025 14:55
940	218	54.7	8513.6	16585	59.9	0.71	37.6	62.7	124.3	17/10/2025 14:56
941	218	54.7	8513.6	16585	60	0.71	37.2	62.6	126.5	17/10/2025 14:56
942	220.2	36.3	5562.6	16613	59.9	0.7	37.3	62.7	125.5	17/10/2025 14:56
943	223.1	4.09	484.3	16617	60	0.53	44.3	52.9	106.6	17/10/2025 15:21

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

944	222.8	10.07	1347.1	16618	59.9	0.6	43.9	52.9	106.1	17/10/2025 15:21
945	217.8	51.16	7705.2	16629	60	0.69	43.9	52.9	110.4	17/10/2025 15:21
946	218.2	52.22	8006.3	16.64	60	0.7	43.3	52.8	113.4	17/10/2025 15:21
947	217.6	54.71	8274.6	16.65	60	0.7	42.6	52.8	118.4	17/10/2025 15:21
948	218.2	54.52	8496.1	16663	60	0.71	41.4	52.8	123.6	17/10/2025 15:21
949	217.9	55.75	8692.8	16674	60	0.72	40.8	53	125.2	17/10/2025 15:21
950	219.8	40.2	6164.3	16688	60	0.7	40.7	53.2	125.2	17/10/2025 15:21
951	226.1	2.66	314	16698	60	0.52	41.7	43.4	107.2	17/10/2025 16:21
952	224.3	19.78	2822.2	16699	60	0.64	41.2	43.4	110.4	17/10/2025 16:21
953	220.7	51.67	8066	16713	59.9	0.71	40.6	43.4	114	17/10/2025 16:21
954	220.5	54.38	8536.1	16726	59.9	0.71	40.6	43.4	117.3	17/10/2025 16:21
955	220.8	55.25	8682.2	16738	59.9	0.71	39.9	43.4	122.5	17/10/2025 16:21
956	220.7	56.96	8973.5	16751	59.9	0.71	38.7	43.7	125.2	17/10/2025 16:21
957	222.1	41.38	6411.8	16765	60	0.7	38.6	44.1	124.9	17/10/2025 16:21
958	231.5	1.1	118.7	16771	60	0.47	22.6	22.3	58.9	18/10/2025 6:34
959	226	49.62	7908.5	16.78	59.9	0.71	22.6	22.3	61.5	18/10/2025 6:34
960	226	48.33	7713.2	16792	60	0.71	22.6	22.3	65.3	18/10/2025 6:34
961	226.3	47	7471.9	16803	59.9	0.7	22.5	22.3	70.2	18/10/2025 6:34
962	226.3	47.65	7585.4	16811	60	0.7	22.4	22.3	73.2	18/10/2025 6:34
963	226.1	47.68	7586.5	16819	60	0.7	22.4	22.3	76.1	18/10/2025 6:34
964	226.1	48.19	7671.3	16827	60	0.7	22.4	22.3	79.7	18/10/2025 6:34
965	225.9	48.66	7751.1	16835	60	0.71	22.4	22.4	82.4	18/10/2025 6:34
966	225.8	49.75	7941	16846	60	0.71	22.4	22.4	86.1	18/10/2025 6:34
967	226	50.52	8066.4	16853	60	0.71	22.4	22.5	88.9	18/10/2025 6:34
968	226	51.29	8199.4	16863	59.9	0.71	22.4	22.6	92.4	18/10/2025 6:34
969	225.6	52.79	8471.5	16874	60	0.71	22.4	22.8	95.7	18/10/2025 6:34
970	225.2	54.2	8698.4	16884	59.9	0.71	22.4	22.9	98.1	18/10/2025 6:35
971	225.4	54.28	8687.7	16894	60	0.71	22.5	22.9	100.6	18/10/2025 6:35
972	225.2	55.55	8910.2	16903	60	0.71	22.6	23.4	104.7	18/10/2025 6:35
973	225.4	54.44	8746	16913	59.9	0.71	22.6	23.6	107.6	18/10/2025 6:35
974	225.3	55.58	8922.9	16924	59.9	0.71	22.6	23.6	110.5	18/10/2025 6:35
975	225.3	56.18	9021.2	16933	59.9	0.71	22.8	24.3	114.6	18/10/2025 6:35
976	225.6	54.48	8739	16943	59.9	0.71	22.8	24.3	116.3	18/10/2025 6:35
977	225.4	56.68	9108.7	16954	59.8	0.71	22.8	25	119.2	18/10/2025 6:35
978	225.3	57.04	9181.6	16966	60	0.71	22.9	25	122.5	18/10/2025 6:35
979	225.3	57.21	9205.1	16981	60	0.71	22.9	25.9	126.1	18/10/2025 6:35

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO								Código	FDE 089
									Versión	05
									Fecha	11-06-2025

980	225	58.53	9452.8	16.99	60	0.72	23.1	26.9	128.4	18/10/2025 6:35
981	231	2.14	311.8	16994	60	0.63	23.2	27.5	127.1	18/10/2025 6:35
982	228.4	4.07	513.4	17014	60	0.55	26.8	26.7	107.4	18/10/2025 9:02
983	221.6	67.96	10392.4	17029	59.9	0.69	26.8	26.7	109.4	18/10/2025 9:02
984	222.8	58.81	9370.2	17042	59.9	0.72	26.7	26.7	113.4	18/10/2025 9:02
985	222.4	61.59	9827.9	17053	60	0.72	26.6	26.7	116.8	18/10/2025 9:03
986	222.6	60.03	9576.2	17063	60	0.72	26.4	26.7	120.4	18/10/2025 9:03
987	222.5	61.4	9805.4	17073	60	0.72	26.4	26.7	122.8	18/10/2025 9:03
988	222.3	63.51	10107.8	17086	60	0.72	26.2	26.8	126.9	18/10/2025 9:03
989	227.9	10.45	1584	17092	59.9	0.66	26.2	26.9	126.5	18/10/2025 9:03
990	227.3	3.37	415.3	17095	60	0.54	28.1	31.5	107.4	18/10/2025 9:21
991	222.2	56.63	9008.8	17.11	60	0.72	28.1	31.5	109.1	18/10/2025 9:21
992	221.8	58.98	9365.3	17127	60	0.72	28.1	31.5	113.8	18/10/2025 9:21
993	222.1	59.77	9499.8	17143	60	0.72	27.6	31.5	119.8	18/10/2025 9:21
994	221.7	60.17	9560	17.16	60	0.72	27.6	31.5	123.8	18/10/2025 9:21
995	223.1	49.77	7822.4	17173	60	0.7	27.3	31.7	126.5	18/10/2025 9:21
996	226.5	5.89	754.4	17183	60	0.57	30.4	31.9	105.9	18/10/2025 10:15
997	221.4	53.88	8461.8	17.2	59.9	0.71	30.4	31.9	108.9	18/10/2025 10:15
998	220.8	59.14	9354.8	17215	60	0.72	30.4	31.8	114.3	18/10/2025 10:15
999	220.9	58.5	9241.8	17.23	60	0.72	29.7	31.8	120.6	18/10/2025 10:15
1000	221	57.71	9125.6	17246	59.9	0.72	29.7	31.9	124.6	18/10/2025 10:15
1001	223	36.56	5656.1	17259	60	0.69	29.3	32.1	126.1	18/10/2025 10:15
1002	227.3	5.52	697.9	17.27	59.9	0.56	31.2	31.9	106.4	18/10/2025 11:28
1003	220.9	66.19	10129.7	17284	60	0.69	31.2	31.9	106.2	18/10/2025 11:28
1004	221.7	56.58	8943.4	17296	59.9	0.71	31.1	31.9	109.3	18/10/2025 11:29
1005	221.8	57.08	9030.5	17312	60	0.71	30.9	31.8	113.3	18/10/2025 11:29
1006	221.7	57.85	9180.3	17325	60	0.72	30.6	31.9	118.3	18/10/2025 11:29
1007	221.7	58.77	9325.8	17345	60	0.72	30.4	31.9	125.1	18/10/2025 11:29
1008	222.6	50.2	7965.6	17355	60	0.71	30	32.2	126	18/10/2025 11:29
1009	228.4	2.59	316.6	17365	60	0.54	32.6	33.9	110.4	18/10/2025 12:24
1010	223.3	54.5	8619.4	17382	60	0.71	32.6	33.9	109.4	18/10/2025 12:24
1011	222.7	57.56	9146	17398	60	0.71	32	33.9	117	18/10/2025 12:24
1012	222.6	59.44	9453.9	17416	60	0.71	32	33.9	120.4	18/10/2025 12:24
1013	222.6	59.04	9364.6	17427	59.9	0.71	31.6	33.9	123.3	18/10/2025 12:24
1014	227.3	15.52	2377.2	17439	59.9	0.67	31.3	34.2	125	18/10/2025 12:24

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	05
			Fecha	11-06-2025

Anexo 3

Datos calculados del 16 de octubre del 2025.

Hora	TeimpoSegundos	TiempoAcumuladoSeg	TiempoAcumuladoMin	TiempoAcumuladoHora	PotenciaCalculada	Presion_kPa	Volumen_m3	Flujo_m3/s	FlujoMas_kg/s	P_Spec_kW/(m3/s)	P_Isen_kW	EficienciaIsentropica	P_Isot_kW	EficienciaIsotermica	PotenciaAireDescarga	EficienciaGlobal
5:47:22 a. m.	0	0	0,00	0,00	0,4797	489,2214	1,7351	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5:47:29 a. m.	6,46	6,46	0,11	0,00	7,9994	518,1714	1,8377	0,0159	0,0975	503,6153	3,1982	0,3998	2,4444	0,3056	0,0000	0,0000
5:47:34 a. m.	5,67	12,14	0,20	0,00	7,2758	548,5000	1,9453	0,0190	0,1232	383,6663	3,9737	0,5461	3,0104	0,4138	0,0000	0,0000
5:47:40 a. m.	5,88	18,02	0,30	0,01	7,572	582,9643	2,0682	0,0209	0,1443	362,2375	4,5666	0,6031	3,4270	0,4526	0,0000	0,0000
5:47:46 a. m.	5,85	23,86	0,40	0,01	7,7577	617,4286	2,1913	0,0210	0,1538	368,6621	4,7771	0,6158	3,5529	0,4580	0,0000	0,0000
5:47:52 a. m.	6,37	30,23	0,50	0,01	7,788	648,4464	2,3013	0,02173	0,1327	450,5167	4,0525	0,5204	2,9910	0,3841	0,0000	0,0000
5:47:56 a. m.	3,71	33,94	0,57	0,01	7,9987	682,2214	2,4212	0,0323	0,2610	247,5663	7,8259	0,9784	5,7302	0,7164	0,0000	0,0000
5:48:04 a. m.	7,46	41,41	0,69	0,01	8,209	704,2786	2,4995	0,03105	0,0875	782,7198	2,5921	0,3158	1,8885	0,2301	0,0000	0,0000
5:48:10 a. m.	6,16	47,56	0,79	0,01	8,4416	736,6750	2,6180	0,03192	0,1676	438,6419	4,8923	0,5795	3,5392	0,4193	0,0504	0,0060
5:48:17 a. m.	6,93	54,49	0,91	0,02	8,6281	765,6250	2,7218	0,03150	0,1355	576,0075	3,8996	0,4520	2,8040	0,3250	0,0544	0,0063
5:48:21 a. m.	3,89	58,39	0,97	0,02	8,9165	805,6036	2,8669	0,03373	0,3544	239,2667	10,0067	1,1223	7,1377	0,8005	0,2488	0,0279
5:48:27 a. m.	6,12	64,51	1,08	0,02	9,1902	824,9036	2,9385	0,03117	0,1139	784,9762	3,1888	0,3470	2,2661	0,2466	0,1142	0,0124
5:48:33 a. m.	6,11	70,61	1,18	0,02	8,7849	858,6786	3,0588	0,03197	0,1994	445,9793	5,4948	0,6255	3,8800	0,4417	0,2000	0,0228
5:48:37 a. m.	4,30	74,91	1,25	0,02	9,072	886,9393	3,1670	0,03252	0,2623	360,5387	7,1526	0,7886	5,0248	0,5540	0,4473	0,0493
5:48:44 a. m.	6,76	81,68	1,36	0,02	8,9905	909,6857	3,2526	0,03127	0,1352	710,1276	3,6532	0,4063	2,5561	0,2843	0,2847	0,0317
5:48:51 a. m.	7,18	88,85	1,48	0,02	9,4314	937,2571	3,3545	0,03142	0,1561	663,7592	4,1716	0,4423	2,9050	0,3080	0,3757	0,0398

5:48:59 a. m.	7,99	96,84	1,6 1	0, 0 3	9,61 01	968,2 750	3,4 830	0,0 161	0,1 815	597,6 268	4,80 99	0,5 005	3,33 22	0,3 467	0,70 99	0,0 739
7:02:35 a. m.	441 5,62	4512, 46	75, 21	1, 2 5	0,19 42	826,9 714	2,9 447	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:02:41 a. m.	6,38	4518, 84	75, 31	1, 2 6	9,47 44	834,5 536	2,9 717	0,0 042	0,0 409	2239, 9024	1,16 01	0,1 224	0,82 29	0,0 869	0,03 69	0,0 039
7:02:47 a. m.	6,30	4525, 14	75, 42	1, 2 6	9,23 67	869,7 071	3,1 000	0,0 204	0,2 051	453,7 752	5,72 11	0,6 194	4,03 17	0,4 365	0,24 69	0,0 267
7:02:54 a. m.	6,19	4531, 34	75, 52	1, 2 6	9,61 33	896,5 893	3,2 022	0,0 165	0,1 715	582,3 441	4,72 34	0,4 913	3,31 25	0,3 446	0,30 96	0,0 322
7:03:00 a. m.	6,31	4537, 64	75, 63	1, 2 6	9,33 93	927,6 071	3,3 130	0,0 176	0,1 888	531,6 130	5,12 69	0,5 490	3,57 62	0,3 829	0,34 09	0,0 365
7:03:06 a. m.	6,30	4543, 95	75, 73	1, 2 6	9,33 93	954,4 893	3,4 113	0,0 156	0,1 725	598,7 775	4,62 73	0,4 955	3,21 30	0,3 440	0,34 60	0,0 370
7:03:14 a. m.	8,07	4552, 01	75, 87	1, 2 6	2,50 67	957,2 464	3,4 315	0,0 025	0,0 276	1004, 1179	0,74 18	0,2 959	0,51 49	0,2 054	0,08 04	0,0 321
7:05:04 a. m.	109, 39	4661, 40	77, 69	1, 2 9	0,32 43	825,5 929	2,9 977	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:05:10 a. m.	5,98	4667, 38	77, 79	1, 3 0	8,31 82	839,3 786	3,0 477	0,0 084	0,0 801	993,2 641	2,30 48	0,2 771	1,63 34	0,1 964	0,54 62	0,0 657
7:05:17 a. m.	7,15	4674, 53	77, 91	1, 3 0	9,12 42	864,8 821	3,1 414	0,0 131	0,1 290	696,7 747	3,66 84	0,4 021	2,58 74	0,2 836	0,89 26	0,0 978
7:05:22 a. m.	5,66	4680, 18	78, 00	1, 3 0	9,41 79	897,9 679	3,2 648	0,0 218	0,2 230	431,6 699	6,24 81	0,6 634	4,38 08	0,4 652	1,61 07	0,1 710
7:05:27 a. m.	4,13	4684, 31	78, 07	1, 3 0	9,35 61	928,2 964	3,3 806	0,0 281	0,2 964	333,4 137	8,19 29	0,8 757	5,71 41	0,6 107	2,28 89	0,2 446
7:05:33 a. m.	6,24	4690, 55	78, 18	1, 3 0	9,03 61	946,9 071	3,4 496	0,0 111	0,1 191	817,5 972	3,26 39	0,3 612	2,26 92	0,2 511	0,93 15	0,1 031
7:05:40 a. m.	6,76	4697, 32	78, 29	1, 3 0	5,91 86	954,4 893	3,4 875	0,0 056	0,0 606	1057, 1855	1,66 09	0,2 806	1,15 33	0,1 949	0,52 91	0,0 894
7:07:37 a. m.	117, 00	4814, 32	80, 24	1, 3 4	0,46 8	829,0 393	3,0 681	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:07:41 a. m.	4,96	4819, 28	80, 32	1, 3 4	8,21 77	842,1 357	3,1 176	0,0 100	0,0 938	823,9 599	2,75 02	0,3 347	1,94 80	0,2 370	1,20 36	0,1 465
7:07:46 a. m.	4,60	4823, 88	80, 40	1, 3 4	8,79 99	877,9 786	3,2 503	0,0 288	0,2 826	305,1 331	8,15 10	0,9 263	5,73 54	0,6 518	3,62 86	0,4 123
7:07:54 a. m.	7,67	4831, 55	80, 53	1, 3 4	8,94 14	900,7 250	3,3 410	0,0 118	0,1 189	755,4 233	3,39 58	0,3 798	2,37 97	0,2 661	1,59 79	0,1 787
7:08:01 a. m.	7,26	4838, 81	80, 65	1, 3 4	8,87 83	935,1 893	3,4 700	0,0 178	0,1 852	499,7 943	5,20 86	0,5 867	3,62 84	0,4 087	2,50 77	0,2 824
7:08:08 a. m.	7,00	4845, 81	80, 76	1, 3 5	9,30 95	957,2 464	3,5 599	0,0 128	0,1 368	725,1 453	3,81 50	0,4 098	2,64 78	0,2 844	1,94 81	0,2 093
7:10:06 a. m.	118, 06	4963, 87	82, 73	1, 3 8	0,44 23	829,7 286	3,1 105	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO										Código	FDE 089
											Versión	05
											Fecha	11-06-2025

7:10:13 a. m.	7,15	4971,02	82,85	1,38	8,1451	844,2036	3,1659	0,0077	0,0718	1052,1665	2,1378	0,2625	1,5136	0,1858	1,2174	0,1495
7:10:20 a. m.	6,44	4977,46	82,96	1,38	8,7922	880,0464	3,3013	0,0210	0,2033	418,0755	5,9520	0,6770	4,1865	0,4762	3,4670	0,3943
7:10:26 a. m.	6,49	4983,95	83,07	1,38	8,6746	902,7929	3,3877	0,0133	0,1319	652,1296	3,8214	0,4405	2,6770	0,3086	2,2621	0,2608
7:10:32 a. m.	6,20	4990,15	83,17	1,39	9,297	940,7036	3,5381	0,0243	0,2507	382,9560	7,1424	0,7682	4,9709	0,5347	4,4766	0,4815
7:10:41 a. m.	8,42	4998,57	83,31	1,39	7,6084	962,0714	3,6220	0,0100	0,1051	764,2172	2,9670	0,3900	2,0576	0,2704	1,9080	0,2508
7:12:47 a. m.	125,96	5124,53	85,41	1,42	0,1137	829,0393	3,1329	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:12:49 a. m.	2,39	5126,92	85,45	1,42	8,4711	873,1536	3,2996	0,0698	0,6628	121,3443	19,6669	2,3216	13,8506	1,6350	12,8965	1,5224
7:12:55 a. m.	5,57	5132,49	85,54	1,43	8,6617	900,7250	3,4083	0,0195	0,1911	443,7249	5,6003	0,6466	3,9247	0,4531	3,7955	0,4382
7:13:01 a. m.	6,15	5138,64	85,64	1,43	8,6938	927,6071	3,5100	0,0165	0,1667	525,8825	4,8246	0,5549	3,3653	0,3871	3,3103	0,3808
7:13:07 a. m.	5,97	5144,61	85,74	1,43	9,2374	953,8000	3,6127	0,0172	0,1784	536,8015	5,1031	0,5524	3,5438	0,3836	3,5968	0,3894
7:13:14 a. m.	6,78	5151,38	85,86	1,43	3,4867	962,0714	3,6499	0,0055	0,0573	635,6189	1,6348	0,4689	1,1337	0,3252	1,1842	0,3396
7:40:51 a. m.	1657,42	6808,80	113,48	1,89	0,281	818,0107	2,9685	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:40:56 a. m.	4,73	6813,54	113,56	1,89	8,0973	833,1750	3,0235	0,0116	0,1077	696,1377	3,1871	0,3936	2,2613	0,2793	0,7345	0,0907
7:41:01 a. m.	4,76	6818,29	113,64	1,89	8,8304	860,0571	3,1251	0,0214	0,2041	413,5068	5,9627	0,6752	4,2093	0,4767	1,4739	0,1669
7:41:07 a. m.	6,17	6824,46	113,74	1,90	8,7138	889,6964	3,2392	0,0185	0,1828	471,3618	5,2656	0,6043	3,6974	0,4243	1,4299	0,1641
7:41:11 a. m.	4,52	6828,98	113,82	1,90	9,3414	927,6071	3,3883	0,0330	0,3400	283,2371	9,6250	1,0304	6,7137	0,7187	3,0007	0,3212
7:41:18 a. m.	6,58	6835,56	113,93	1,90	9,4498	944,8393	3,4512	0,0096	0,1005	987,7027	2,8219	0,2986	1,9626	0,2077	0,8866	0,0938
7:41:25 a. m.	7,25	6842,82	114,05	1,90	2,178	954,4893	3,4979	0,0064	0,0682	338,6392	1,9081	0,8761	1,3249	0,6083	0,6701	0,3077
8:10:40 a. m.	1754,97	8597,79	143,30	2,39	0,4321	820,0786	2,9494	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:10:48 a. m.	7,64	8605,43	143,42	2,39	8,4458	825,5929	2,9731	0,0031	0,0287	2721,9956	0,8455	0,1001	0,6008	0,0711	0,1266	0,0150
8:10:58 a. m.	10,39	8615,81	143,60	2,39	8,7846	875,9107	3,1543	0,0174	0,1710	503,6104	4,9232	0,5604	3,4655	0,3945	0,7548	0,0859
8:11:03 a. m.	5,16	8620,97	143,68	2,39	8,8317	900,7250	3,2595	0,0204	0,2058	432,7232	5,8554	0,6630	4,1034	0,4646	1,2178	0,1379

8:11:05 a. m.	2,23	8623,20	143,72	2,40	8,614	849,0286	3,0575	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:11:11 a. m.	5,60	8628,80	143,81	2,40	8,9073	931,0536	3,3737	0,0565	0,5885	157,7436	16,5144	1,8540	11,5124	1,2925	3,7189	0,4175
8:11:16 a. m.	5,29	8634,10	143,90	2,40	7,7001	953,8000	3,4708	0,0183	0,1954	419,9831	5,4371	0,7061	3,7757	0,4903	1,4899	0,1935
8:54:56 a. m.	2619,22	11253,32	187,56	3,13	0,4118	820,7679	2,9386	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:55:01 a. m.	5,44	11258,76	187,65	3,13	9,6617	824,9036	2,9534	0,0027	0,0253	3547,0637	0,7419	0,0768	0,5272	0,0546	0,0659	0,0068
8:55:07 a. m.	5,96	11264,72	187,75	3,13	8,6992	853,8536	3,0590	0,0177	0,1701	490,9588	4,9263	0,5663	3,4817	0,4002	0,4778	0,0549
8:55:12 a. m.	5,25	11269,97	187,83	3,13	8,8716	893,1429	3,2050	0,0278	0,2795	318,8221	7,9439	0,8954	5,5745	0,6284	0,9250	0,1043
8:55:16 a. m.	4,20	11274,16	187,90	3,13	8,8517	917,9571	3,3016	0,0230	0,2375	384,6482	6,6753	0,7541	4,6640	0,5269	0,9530	0,1077
8:55:21 a. m.	4,97	11279,13	187,99	3,13	9,1335	940,0143	3,3842	0,0166	0,1759	548,8869	4,8935	0,5358	3,4062	0,3729	0,7586	0,0831
8:55:27 a. m.	5,85	11284,98	188,08	3,13	6,2473	954,4893	3,4476	0,0108	0,1162	576,6400	3,2142	0,5145	2,2318	0,3572	0,6178	0,0989
9:42:55 a. m.	2847,76	14132,74	235,55	3,93	0,3733	822,1464	2,9388	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:43:01 a. m.	6,28	14139,01	235,65	3,93	8,5795	838,0000	2,9954	0,0090	0,0853	950,3246	2,4822	0,2893	1,7595	0,2051	0,1797	0,0209
9:43:08 a. m.	6,89	14145,90	235,77	3,93	9,1268	882,8036	3,1649	0,0246	0,2450	370,9112	6,9770	0,7645	4,9050	0,5374	0,7372	0,0808
9:43:15 a. m.	7,13	14153,03	235,88	3,93	9,1425	916,5786	3,2860	0,0170	0,1756	538,0514	4,9246	0,5386	3,4416	0,3764	0,5285	0,0578
9:43:21 a. m.	6,26	14159,29	235,99	3,93	9,4567	954,4893	3,4342	0,0237	0,2549	399,2097	7,0278	0,7432	4,8798	0,5160	1,0483	0,1109
10:52:23 a. m.	4141,28	18300,57	305,01	5,08	1,5193	824,2143	2,9328	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:52:29 a. m.	6,29	18306,85	305,11	5,09	8,6852	841,4464	2,9941	0,0098	0,0932	890,3666	2,6886	0,3096	1,9046	0,2193	0,0655	0,0075
10:52:41 a. m.	12,00	18318,86	305,31	5,09	9,5798	916,5786	3,2700	0,0230	0,2393	416,8488	6,6605	0,6953	4,6547	0,4859	0,3600	0,0376
10:52:47 a. m.	5,95	18324,81	305,41	5,09	9,6677	942,7714	3,3712	0,0170	0,1821	568,6268	5,0084	0,5180	3,4845	0,3604	0,4018	0,0416
10:52:53 a. m.	5,54	18330,35	305,51	5,09	4,4533	948,9750	3,3989	0,0050	0,0539	890,0528	1,4795	0,3322	1,0282	0,2309	0,1459	0,0328
10:52:54 a. m.	1,25	18331,60	305,53	5,09	9,3382	880,0464	3,1428	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:59:39 a. m.	405,29	18736,89	312,28	5,20	0,5776	829,7286	3,0112	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO											Código	FDE 089
												Versión	05
												Fecha	11-06-2025

10:59:46 a. m.	6,70	1874 3,59	312 ,39	5, 2 1	8,29 72	848,3 393	3,0 788	0,0 101	0,0 954	822,9 465	2,79 24	0,3 365	1,97 56	0,2 381	0,65 03	0,0 784
10:59:56 a. m.	10,2 0	1875 3,79	312 ,56	5, 2 1	8,99 93	886,2 500	3,2 174	0,0 136	0,1 344	661,8 705	3,86 41	0,4 294	2,71 49	0,3 017	0,93 00	0,1 033
10:59:59 a. m.	2,72	1875 6,51	312 ,61	5, 2 1	8,96 74	926,2 286	3,3 670	0,0 550	0,5 683	162,9 835	16,0 431	1,7 890	11,1 931	1,2 482	4,16 10	0,4 640
11:00:06 a. m.	7,73	1876 4,24	312 ,74	5, 2 1	9,81 86	960,0 036	3,4 989	0,0 171	0,1 826	575,2 383	5,08 06	0,5 174	3,52 45	0,3 590	1,48 36	0,1 511
11:48:06 a. m.	287 9,33	2164 3,57	360 ,73	6, 0 1	1,76 39	820,0 786	2,9 285	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
11:48:10 a. m.	3,72	2164 7,29	360 ,79	6, 0 1	9,88 14	831,7 964	2,9 703	0,0 112	0,1 053	879,4 107	3,07 57	0,3 113	2,18 28	0,2 209	0,19 01	0,0 192
11:48:17 a. m.	7,07	2165 4,36	360 ,91	6, 0 2	8,81 23	858,6 786	3,0 713	0,0 143	0,1 382	616,8 409	3,98 52	0,4 522	2,81 40	0,3 193	0,31 87	0,0 362
11:48:21 a. m.	4,34	2165 8,70	360 ,98	6, 0 2	9,03	899,3 464	3,2 168	0,0 335	0,3 394	269,4 830	9,60 49	1,0 637	6,73 27	0,7 456	0,78 30	0,0 867
11:48:25 a. m.	4,32	2166 3,03	361 ,05	6, 0 2	8,98 87	918,6 464	3,2 922	0,0 175	0,1 806	514,9 121	5,06 60	0,5 636	3,53 91	0,3 937	0,52 54	0,0 584
11:48:30 a. m.	4,56	2166 7,58	361 ,13	6, 0 2	9,22 92	933,8 107	3,3 488	0,0 124	0,1 305	743,6 403	3,63 59	0,3 940	2,53 34	0,2 745	0,40 59	0,0 440
11:48:35 a. m.	5,43	2167 3,02	361 ,22	6, 0 2	9,35 64	954,4 893	3,4 308	0,0 151	0,1 621	620,2 552	4,47 53	0,4 783	3,10 75	0,3 321	0,61 77	0,0 660
11:56:12 a. m.	457, 01	2213 0,03	368 ,83	6, 1 5	0,16 54	821,4 571	2,9 913	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
11:56:18 a. m.	5,48	2213 5,50	368 ,93	6, 1 5	8,55 51	821,4 571	2,9 913	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
11:56:22 a. m.	4,13	2213 9,63	368 ,99	6, 1 5	8,67 94	839,3 786	3,0 576	0,0 160	0,1 489	540,8 986	4,41 62	0,5 088	3,12 96	0,3 606	1,19 45	0,1 376
11:56:26 a. m.	4,63	2214 4,27	369 ,07	6, 1 5	8,61 12	866,9 500	3,1 642	0,0 230	0,2 204	374,2 946	6,45 42	0,7 495	4,55 05	0,5 284	1,90 15	0,2 208
11:56:30 a. m.	3,92	2214 8,19	369 ,14	6, 1 5	8,83 21	895,2 107	3,2 673	0,0 263	0,2 604	335,5 754	7,52 39	0,8 519	5,27 78	0,5 976	2,24 63	0,2 543
11:56:36 a. m.	5,56	2215 3,74	369 ,23	6, 1 5	8,93 39	919,3 357	3,3 587	0,0 164	0,1 671	543,3 507	4,77 36	0,5 343	3,33 45	0,3 732	1,49 14	0,1 669
11:56:40 a. m.	3,80	2215 7,55	369 ,29	6, 1 5	9,22 98	946,9 071	3,4 616	0,0 271	0,2 833	341,0 048	7,99 33	0,8 660	5,55 73	0,6 021	2,58 55	0,2 801
11:56:46 a. m.	5,75	2216 3,29	369 ,39	6, 1 6	6,72 14	959,3 143	3,5 127	0,0 089	0,0 942	756,5 315	2,64 34	0,3 933	1,83 40	0,2 729	0,90 68	0,1 349
12:12:07 p. m.	921, 37	2308 4,67	384 ,74	6, 4 1	0,39 3	824,2 143	2,9 971	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
12:12:14 p. m.	6,64	2309 1,30	384 ,86	6, 4 1	8,16 53	844,2 036	3,0 698	0,0 110	0,1 018	745,4 419	3,02 49	0,3 705	2,14 17	0,2 623	0,76 57	0,0 938
12:12:20 p. m.	6,45	2309 7,75	384 ,96	6, 4 2	8,80 33	880,7 357	3,2 058	0,0 211	0,2 043	417,7 738	5,96 66	0,6 778	4,19 63	0,4 767	1,59 82	0,1 815

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO											Código	FDE 089
												Versión	05
												Fecha	11-06-2025

12:12:27 p. m.	7,19	2310 4,95	385 ,08	6, 4 2	9,05 2	922,7 821	3,3 687	0,0 226	0,2 301	399,7 688	6,58 82	0,7 278	4,59 92	0,5 081	2,00 76	0,2 218
12:12:35 p. m.	7,98	2311 2,92	385 ,22	6, 4 2	9,06 73	958,6 250	3,5 052	0,0 171	0,1 806	529,7 888	5,09 01	0,5 614	3,53 20	0,3 895	1,66 64	0,1 838
12:47:49 p. m.	211 3,43	2522 6,35	420 ,44	7, 0 1	0,34 52	818,7 000	2,9 347	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
12:47:55 p. m.	6,70	2523 3,05	420 ,55	7, 0 1	8,52 6	829,0 393	2,9 746	0,0 060	0,0 550	1429, 9368	1,62 89	0,1 910	1,15 66	0,1 357	0,18 19	0,0 213
12:48:00 p. m.	4,58	2523 7,63	420 ,63	7, 0 1	8,69 4	863,5 036	3,0 982	0,0 270	0,2 595	321,7 248	7,56 32	0,8 699	5,33 58	0,6 137	0,85 88	0,0 988
12:48:04 p. m.	3,67	2524 1,30	420 ,69	7, 0 1	8,69 78	880,0 464	3,1 617	0,0 173	0,1 691	503,3 883	4,89 02	0,5 622	3,43 97	0,3 955	0,62 77	0,0 722
12:48:09 p. m.	5,75	2524 7,05	420 ,78	7, 0 1	8,97 83	913,1 321	3,2 890	0,0 222	0,2 249	405,3 098	6,40 60	0,7 135	4,47 95	0,4 989	1,01 52	0,1 131
12:48:14 p. m.	4,30	2525 1,35	420 ,86	7, 0 1	9,17 62	939,3 250	3,3 834	0,0 220	0,2 294	417,8 383	6,45 56	0,7 035	4,49 40	0,4 897	1,03 53	0,1 128
12:48:21 p. m.	7,53	2525 8,88	420 ,98	7, 0 2	6,59 08	957,2 464	3,4 580	0,0 099	0,1 054	665,4 424	2,94 32	0,4 466	2,04 27	0,3 099	0,57 06	0,0 866
12:59:52 p. m.	691, 24	2595 0,11	432 ,50	7, 2 1	0,50 79	818,7 000	2,9 731	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
12:59:59 p. m.	6,24	2595 6,36	432 ,61	7, 2 1	8,43 01	819,3 893	2,9 775	0,0 007	0,0 064	11896 ,4277	0,19 22	0,0 228	0,13 68	0,0 162	0,04 67	0,0 055
1:00:02 p. m.	3,86	2596 0,22	432 ,67	7, 2 1	8,43 86	839,3 786	3,0 492	0,0 186	0,1 712	454,3 308	5,11 18	0,6 058	3,62 26	0,4 293	1,23 65	0,1 465
1:00:06 p. m.	4,04	2596 4,26	432 ,74	7, 2 1	8,55 6	852,4 750	3,1 007	0,0 128	0,1 195	670,2 121	3,54 59	0,4 144	2,50 67	0,2 930	0,91 11	0,1 065
1:00:13 p. m.	6,32	2597 0,57	432 ,84	7, 2 1	8,50 62	874,5 321	3,1 841	0,0 132	0,1 266	645,1 558	3,71 78	0,4 371	2,61 77	0,3 077	1,00 34	0,1 180
1:00:19 p. m.	6,54	2597 7,11	432 ,95	7, 2 2	8,60 32	860,0 571	3,1 364	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1:00:25 p. m.	6,00	2598 3,11	433 ,05	7, 2 2	8,77 39	926,2 286	3,3 876	0,0 419	0,4 257	209,5 736	12,2 073	1,3 913	8,51 69	0,9 707	3,97 13	0,4 526
1:00:30 p. m.	5,02	2598 8,13	433 ,14	7, 2 2	8,91 32	943,4 607	3,4 539	0,0 132	0,1 369	674,3 223	3,89 54	0,4 370	2,70 98	0,3 040	1,31 80	0,1 479
1:00:37 p. m.	6,88	2599 5,01	433 ,25	7, 2 2	6,54 02	951,7 321	3,4 898	0,0 052	0,0 544	1255, 8180	1,54 25	0,2 358	1,07 15	0,1 638	0,55 06	0,0 842
1:02:13 p. m.	96,2 5	2609 1,26	434 ,85	7, 2 5	0,56 54	819,3 893	3,0 277	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1:02:20 p. m.	6,04	2609 7,30	434 ,96	7, 2 5	7,52 09	831,1 071	3,0 710	0,0 072	0,0 646	1049, 6608	1,96 03	0,2 606	1,39 14	0,1 850	0,81 60	0,1 085
1:02:24 p. m.	4,90	2610 2,20	435 ,04	7, 2 5	8,38 76	859,3 679	3,1 806	0,0 224	0,2 083	375,1 402	6,24 00	0,7 440	4,40 56	0,5 253	2,73 65	0,3 263
1:02:30 p. m.	5,94	2610 8,14	435 ,14	7, 2 5	8,54 55	887,6 286	3,2 862	0,0 178	0,1 711	480,3 692	5,06 02	0,5 922	3,55 44	0,4 159	2,26 54	0,2 651

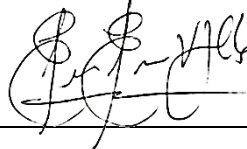
1:02:43 p. m.	12,61	2612,075	435,35	7,26	8,3459	954,4893	3,5461	0,0206	0,2130	404,7477	6,1174	0,7330	4,2477	0,5090	3,0551	0,3661
1:03:44 p. m.	61,51	2618,226	436,37	7,27	8,7698	922,0929	3,4181	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:06:33 p. m.	376,854	2995,079	499,18	8,32	0,6936	822,1464	2,9357	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:06:40 p. m.	6,62	2995,741	499,29	8,32	9,1085	832,4857	2,9726	0,0056	0,0516	1633,5186	1,5271	0,1677	1,0836	0,1190	0,0932	0,0102
2:06:46 p. m.	6,26	2996,367	499,39	8,32	8,5264	881,4250	3,1514	0,0286	0,2799	298,5285	8,0910	0,9489	5,6896	0,6673	0,6177	0,0724
2:06:54 p. m.	7,68	2997,135	499,52	8,33	8,9102	920,0250	3,2957	0,0188	0,1923	474,1417	5,4583	0,6126	3,8123	0,4279	0,5399	0,0606
2:07:01 p. m.	7,75	2997,911	499,65	8,33	9,2938	953,8000	3,4322	0,0176	0,1865	528,2037	5,2179	0,5614	3,6235	0,3899	0,7856	0,0845
2:26:02 p. m.	114,075	3111,986	518,66	8,64	0,3988	820,0786	2,9563	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:26:08 p. m.	6,15	3112,601	518,77	8,65	8,0609	822,1464	2,9638	0,0012	0,0110	6651,3613	0,3294	0,0409	0,2342	0,0291	0,0529	0,0066
2:26:16 p. m.	7,29	3113,329	518,89	8,65	8,5293	870,3964	3,1478	0,0253	0,2423	337,6523	7,1031	0,8328	5,0049	0,5868	1,4097	0,1653
2:26:22 p. m.	6,64	3113,994	519,00	8,65	9,1795	904,8607	3,2714	0,0186	0,1856	493,2590	5,3534	0,5832	3,7489	0,4084	1,0614	0,1156
2:26:29 p. m.	6,51	3114,644	519,11	8,65	8,8337	935,1893	3,3887	0,0180	0,1858	490,0768	5,2852	0,5983	3,6818	0,4168	1,1926	0,1350
2:26:36 p. m.	7,00	3115,345	519,22	8,65	5,2331	953,1107	3,4648	0,0109	0,1139	481,9758	3,2185	0,6150	2,2353	0,4272	0,8457	0,1616
3:03:57 p. m.	224,120	3339,465	556,58	9,28	0,9665	818,0107	2,9284	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:04:03 p. m.	6,14	3340,079	556,68	9,28	8,4109	818,0107	2,9312	0,0005	0,0042	18296,8988	0,1246	0,0148	0,0886	0,0105	0,0121	0,0014
3:04:10 p. m.	6,64	3340,743	556,79	9,28	8,4325	844,2036	3,0250	0,0141	0,1324	596,5662	3,9035	0,4629	2,7638	0,3278	0,3851	0,0457
3:04:14 p. m.	4,82	3341,225	556,87	9,28	8,6026	862,1250	3,0932	0,0142	0,1354	607,9089	3,9569	0,4600	2,7923	0,3246	0,4480	0,0521
3:04:19 p. m.	4,75	3341,700	556,95	9,28	8,5733	885,5607	3,1876	0,0199	0,1952	431,4689	5,6443	0,6584	3,9662	0,4626	0,8420	0,0982
3:04:24 p. m.	4,81	3342,181	557,03	9,28	8,7758	903,4821	3,2521	0,0134	0,1345	654,0895	3,8561	0,4394	2,7010	0,3078	0,5800	0,0661
3:04:32 p. m.	8,23	3343,004	557,17	9,29	8,8733	920,0250	3,3127	0,0074	0,0751	1205,2090	2,1384	0,2410	1,4936	0,1683	0,3316	0,0374
3:04:37 p. m.	4,40	3343,444	557,24	9,29	9,125	955,1786	3,4548	0,0323	0,3420	282,2749	9,5944	1,0514	6,6613	0,7300	1,9898	0,2181
3:17:22 p. m.	765,34	3419,978	570,00	9,50	0,2717	814,5643	2,9652	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO										Código	FDE 089
											Versión	05
											Fecha	11-06-2025

3:17:29 p. m.	6,91	3420 6,69	570 ,11	9, 5 0	8,28 39	833,8 643	3,0 355	0,0 102	0,0 925	814,8 656	2,78 69	0,3 364	1,97 70	0,2 387	0,73 29	0,0 885
3:17:43 p. m.	14,2 9	3422 0,98	570 ,35	9, 5 1	8,67 39	902,7 929	3,2 959	0,0 182	0,1 795	475,8 881	5,23 62	0,6 037	3,66 81	0,4 229	1,58 46	0,1 827
3:17:49 p. m.	5,75	3422 6,73	570 ,45	9, 5 1	8,93 93	943,4 607	3,4 511	0,0 270	0,2 776	331,4 388	7,94 84	0,8 892	5,52 93	0,6 185	2,61 76	0,2 928
3:17:57 p. m.	7,76	3423 4,49	570 ,57	9, 5 1	5,30 53	953,8 000	3,4 990	0,0 062	0,0 642	859,2 443	1,83 10	0,3 451	1,27 15	0,2 397	0,66 34	0,1 250
3:18:33 p. m.	36,7 9	3427 1,28	571 ,19	9, 5 2	8,71 06	873,1 536	3,2 031	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
3:23:04 p. m.	270, 41	3454 1,69	575 ,69	9, 5 9	0,13 84	814,5 643	2,9 997	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
3:23:11 p. m.	6,82	3454 8,51	575 ,81	9, 6 0	7,88 18	820,0 786	3,0 219	0,0 033	0,0 289	2415, 3851	0,88 57	0,1 124	0,63 00	0,0 799	0,34 18	0,0 434
3:23:17 p. m.	6,60	3455 5,11	575 ,92	9, 6 0	8,45 55	858,6 786	3,1 682	0,0 222	0,2 055	381,4 955	6,18 28	0,7 312	4,36 58	0,5 163	2,51 42	0,2 973
3:23:24 p. m.	6,48	3456 1,59	576 ,03	9, 6 0	8,65 19	892,4 536	3,2 929	0,0 192	0,1 851	450,2 331	5,48 35	0,6 338	3,84 84	0,4 448	2,26 55	0,2 619
3:23:32 p. m.	8,38	3456 9,98	576 ,17	9, 6 0	8,70 41	934,5 000	3,4 580	0,0 197	0,1 988	441,6 886	5,77 57	0,6 636	4,02 39	0,4 623	2,61 22	0,3 001
3:23:39 p. m.	6,71	3457 6,68	576 ,28	9, 6 0	5,30 49	953,8 000	3,5 351	0,0 115	0,1 183	461,5 416	3,40 85	0,6 425	2,36 70	0,4 462	1,61 39	0,3 042
3:26:10 p. m.	150, 84	3472 7,52	578 ,79	9, 6 5	0,25 38	816,6 321	3,0 354	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
3:26:16 p. m.	6,38	3473 3,89	578 ,90	9, 6 5	7,98 81	812,4 964	3,0 201	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
3:26:22 p. m.	5,67	3473 9,56	578 ,99	9, 6 5	7,98 81	849,7 179	3,1 604	0,0 248	0,2 254	322,5 137	6,86 64	0,8 596	4,85 66	0,6 080	3,34 58	0,4 188
3:26:28 p. m.	6,09	3474 5,65	579 ,09	9, 6 5	8,45 65	882,8 036	3,2 877	0,0 209	0,1 976	404,7 094	5,92 47	0,7 006	4,16 53	0,4 926	3,01 18	0,3 561
3:26:35 p. m.	7,37	3475 3,03	579 ,22	9, 6 5	8,55 8	919,3 357	3,4 271	0,0 189	0,1 861	452,8 064	5,48 71	0,6 412	3,83 29	0,4 479	2,89 29	0,3 380
3:26:43 p. m.	7,36	3476 0,39	579 ,34	9, 6 6	8,85 32	957,9 357	3,5 801	0,0 208	0,2 131	425,9 365	6,17 92	0,6 980	4,28 81	0,4 844	3,48 40	0,3 935

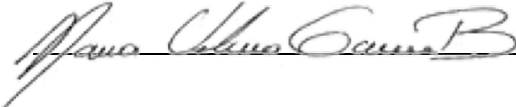
FIRMA ESTUDIANTES

Alejandro Vargas Cortes



FIRMA ASESORES

Donnel Harappé B



FECHA ENTREGA: 19/11/2025