

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Diseño de una Solución Web para la Recolección y Análisis de Datos en Tiempo Real en el Sector Eléctrico Colombiano: Caso Aplicado al Administrador del Sistema Interconectado Nacional (ASIC).

<https://sigeme.z41.web.core.windows.net/>

Carlos Daniel Pabón Jaimes
Jhojan David Quejada Rodríguez
Kevin Alirio Pérez Rengifo

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Ingeniería de Software

Asesor(es)
Alicia Osorio Builes
Jaime Andrés Gutiérrez Monsalve

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM
Facultad de Ingenierías
Departamento Antioquia
Medellín, Colombia
2025

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RESUMEN

Este trabajo de grado presenta el diseño e implementación de SIGEME (Sistema de Gestión de Medidas), una solución tecnológica orientada a optimizar la recolección, validación y análisis de datos energéticos en tiempo real en el sector eléctrico colombiano. El proyecto se enfoca en atender las necesidades del Administrador del Sistema Interconectado Nacional (ASIC), mediante el desarrollo de una plataforma web que mejora la eficiencia operativa y la calidad de la información registrada.

La metodología aplicada se fundamentó en principios de ingeniería de software con enfoque ágil, utilizando Scrum como marco de trabajo. Se emplearon técnicas como historias de usuario, mockups de alta fidelidad y validaciones iterativas con stakeholders, lo que permitió una construcción progresiva y centrada en el usuario. El sistema fue diseñado bajo una arquitectura modular basada en microservicios, integrando tecnologías como IoT, almacenamiento distribuido, procesamiento en la nube y visualización web.

Entre los principales resultados se destaca la implementación de una infraestructura escalable y segura que permite la recepción automatizada de medidas, su validación estructural y de negocio, y la generación de reportes personalizados. El sistema evidenció mejoras significativas en los tiempos de respuesta, reducción de errores operativos y fortalecimiento de la trazabilidad de los datos. Además, se logró la aprobación técnica por parte del ASIC, consolidando la viabilidad del sistema en entornos críticos.

En conclusión, SIGEME representa un avance estratégico hacia la digitalización del sector eléctrico colombiano, alineándose con los objetivos regulatorios y de sostenibilidad del país. Se recomienda continuar con su evolución mediante la incorporación de tecnologías emergentes como inteligencia artificial y blockchain, así como su extensión hacia otros actores del mercado eléctrico.

Palabras clave: IoT, Big Data, sector eléctrico, plataforma web, análisis de datos, redes inteligentes, Scrum, arquitectura distribuida.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos, en primer lugar, a Dios, por ser nuestra guía constante, por brindarnos la sabiduría, la fortaleza y la serenidad necesarias para afrontar cada desafío durante este proceso.

A nuestras familias y seres queridos, quienes han sido nuestro mayor soporte. Gracias por su amor incondicional, por su paciencia infinita y por acompañarnos con palabras de aliento, comprensión y fe. Cada logro alcanzado es también fruto de su entrega, sacrificio y confianza en nosotros.

Al Instituto Tecnológico Metropolitano – ITM, por brindarnos una formación académica de calidad, por ser un espacio de crecimiento profesional y personal, y por permitirnos desarrollar este proyecto que hoy culmina con orgullo.

A nuestros asesores, Alicia Osorio Builes y Jaime Andrés Gutiérrez Monsalve, por su dedicación, orientación y compromiso. Su experiencia, paciencia y acompañamiento fueron clave para el desarrollo exitoso de este trabajo de grado. Gracias por creer en nuestro potencial y por guiarnos con sabiduría y generosidad.

A todos aquellos que, de una u otra forma, hicieron parte de este proceso, nuestro más sincero agradecimiento. Este logro es también de ustedes.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	7
1.1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.2.	JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	9
1.3.	OBJETIVOS	9
1.3.1.	OBJETIVO GENERAL	10
1.3.2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS	10
1.4.	HIPOTESIS	10
2.	MARCO TEÓRICO.....	10
3.	MARCO CONCEPTUAL	12
4.	ANTECEDENTES	13
5.	ESTADO DEL ARTE	16
6.	MARCO LEGAL	17
7.	METODOLOGÍA.....	20
7.1.	IDENTIFICACIÓN DE REQUISITOS.....	20
7.2.	DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	22
7.3.	PLAN DE CALIDAD	23
7.3.1.	MATRIZ DE RIESGOS DEL PROYECTO	24
7.3.2.	PLAN DE PRUEBAS	25
7.3.2.1.	CONTEXTO DEL PROYECTO.....	26
7.3.2.2.	CONTEXTO PRODUCTO.....	27
7.3.2.3.	ALCANCE	27
7.3.2.4.	ENFOQUE DE PRUEBAS.....	28
7.3.2.5.	CALENDARIO DE PRUEBAS.....	30
7.3.2.6.	RIESGOS	31
7.4.	CRONOGRAMA	31
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

8.1.	REQUISITOS FUNCIONALES Y NO FUNCIONALES	33
8.1.1.	ÉPICAS.....	35
8.1.2.	HISTORIAS DE USUARIO.....	37
8.1.3.	CASOS DE PRUEBAS	42
8.1.4.	MOCKUPS	44
8.2.	DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	49
8.2.1.	DIAGRAMA Y FLUJO DE CONTEXTO.....	49
8.2.2.	DIAGRAMA COMPONENTES.....	50
8.2.3.	DEFINICIÓN DE ARQUITECTURA OBJETIVO	52
8.3.	PROTOTIPO FUNCIONAL.....	55
8.3.1.	DISEÑO Y ALCANCE DEL PROTOTIPO.....	55
8.3.2.	COMPONENTES DEL PROTOTIPO	56
8.3.3.	VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO.....	57
9.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	60
9.1.	CONCLUSIONES.....	60
9.2.	RECOMENDACIONES	61
9.3.	TRABAJO FUTURO.....	61
	REFERENCIAS	63
	ANEXOS.....	66

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Perfiles de consumo por tipo de día.....	14
Ilustración 2 Infraestructura de sistema híbrido.....	15
Ilustración 3 Diseño metodológico.....	20
Ilustración 4 Cronograma de actividades del proyecto.....	32
Ilustración 5 Cronograma de ejecución de sprints.....	32
Ilustración 6 Gestión de roles.....	44
Ilustración 7 Configuración de permisos por rol.....	44
Ilustración 8 Gestión de variables.....	45
Ilustración 9 Formulario de reporte medidas.....	45
Ilustración 10 Carga de archivos para reporte de medidas.....	46
Ilustración 11 Reportaría de medidas vista Analista.....	46
Ilustración 12 Reportaría de medidas vista CGM.....	47
Ilustración 13 Notificaciones.....	47
Ilustración 14 Flujo de sistema.....	50
Ilustración 15 Diagrama de componentes.....	51
Ilustración 16 Arquitectura objetivo.....	54
Ilustración 17 Acta Mesa Arquitectura Empresarial (15/07/2025).....	58

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda energética, la integración de fuentes renovables y la necesidad de una gestión eficiente de los recursos han impulsado una transformación profunda en el sector eléctrico colombiano. En este contexto, la digitalización de los procesos de recolección, validación y análisis de datos energéticos se ha convertido en un eje estratégico para garantizar la sostenibilidad, confiabilidad y eficiencia del sistema eléctrico nacional.

El Administrador del Sistema Interconectado Nacional (ASIC), como entidad responsable de centralizar y validar la información técnica del sistema eléctrico, enfrenta problemas significativos relacionados con la precisión, oportunidad y trazabilidad de los datos reportados por los distintos agentes del mercado. La falta de herramientas tecnológicas especializadas limita la capacidad de respuesta ante eventos críticos, dificulta la planificación energética y obstaculiza el cumplimiento de los lineamientos regulatorios establecidos por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y el Consejo Nacional de Operación (CNO).

Ante esta problemática, el presente trabajo de grado propone el diseño e implementación de SIGEME (Sistema de Gestión de Medidas), una plataforma web orientada a mejorar los procesos de recepción, validación y análisis de medidas energéticas en tiempo real. La solución se fundamenta en principios de ingeniería de software con enfoque ágil, integrando tecnologías como IoT, Big Data, arquitectura distribuida y servicios en la nube, con el objetivo de fortalecer la toma de decisiones estratégicas y optimizar la operación del sistema eléctrico colombiano.

El trabajo de grado se estructura en capítulos que abordan el planteamiento del problema, el marco teórico y conceptual, los antecedentes y estado del arte, la metodología empleada, el diseño de la solución, los resultados obtenidos y las conclusiones derivadas del proceso de desarrollo. Cada sección contribuye a evidenciar la pertinencia, viabilidad y aporte del sistema SIGEME en el camino hacia la transformación digital del sector eléctrico nacional.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente los sistemas eléctricos se ven limitados debido a la baja capacidad de identificar patrones de consumo, prever demandas y optimizar la operación de las redes de acuerdo con los retos que nuevos agentes del sistema enfrentan. Se han identificado

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

desafíos relacionados con la integración de nuevas fuentes de generación y la creciente demanda de energía eléctrica cuya gestión, demanda soluciones innovadoras que combinen tecnologías relacionadas con la automatización, IoT y analítica avanzada (Plancarte, 2024). En este contexto, resulta indispensable explorar alternativas que busquen dar respuestas a la pregunta, ¿Cómo aumentar la eficiencia y precisión en la recolección, monitoreo y análisis de datos asociados al sector eléctrico?

Sin embargo, la implementación de tecnologías como IoT o Big Data plantean retos significativos, como la integración de infraestructuras de comunicación eficientes en términos energéticos y la gestión de grandes volúmenes de datos. En este contexto, la falta de precisión en los datos recolectados puede limitar la capacidad de las empresas eléctricas para tomar decisiones informadas, mientras que la ineficiencia en los procesos de monitoreo y análisis puede incrementar los costos (Erol-Kantarci, 2015).

Por tanto, durante el año 2010 el gobierno colombiano en asociación con 13 ministerios formuló y puso en marcha el Plan Vive Digital Colombia 2014-2018 el cual buscó incentivar el uso estratégico de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) centrándose en cuatro pilares fundamentales: infraestructura, servicios, aplicaciones y usuarios, buscando cerrar brechas digitales y fomentar la competitividad del país (MinTIC, 2010).

En el contexto del sector eléctrico, el plan resalto la necesidad de la implementación de herramientas tecnológicas avanzadas para mejorar la recolección y gestión de datos buscando un monitoreo eficiente y preciso, promoviendo la sostenibilidad y la innovación en la gestión energética que permita la eficiencia operativa y la toma de decisiones estratégicas (MinTIC, 2010).

Teniendo en cuenta lo anterior, los esfuerzos e iniciativas tanto gubernamentales como privadas se han alineado en la búsqueda de redes eléctricas inteligentes (Smart grids), apalancados en tecnologías de la información y comunicación (TIC) para optimizar la generación, distribución y consumo de energía por medio de un flujo bidireccional de electricidad y datos. Estos desarrollos han facilitado la gestión más eficiente y sostenible del sistema eléctrico colombiano en constante crecimiento (Giral-Ramírez, 2017). Sin embargo, en Colombia, aún no se cuenta con la infraestructura, herramientas o regulación necesaria para llegar a las Smart grids (Giral-Ramírez, 2017). Este trabajo de grado busca aportar herramientas eficaces para lograr el objetivo Smart grids en Colombia.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La construcción del sistema SIGEME (Sistema de gestión de medidas) como herramienta para la recepción, validación y procesamiento de medidas de energía busca contribuir positivamente en diversos ámbitos del sector eléctrico.

A nivel económico la implementación de tecnologías digitales en redes inteligentes permite disminuir costos asociados al monitoreo y análisis manual de datos y permite la automatización de procesos, reduciendo la necesidad de intervención humana. En segundo lugar, el porcentaje de errores y la redistribución y optimización de los recursos garantizan ahorros económicos sustanciales en la gestión del recurso eléctrico colombiano. Por otro lado, la capacidad de procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real mediante herramientas como Big Data, permite identificar patrones de consumo y ajustar la distribución de energía de manera más eficiente. Esto no solo mejora la sostenibilidad del sistema, sino que también reduce las pérdidas energéticas, lo que impacta positivamente en los costos operativos (Erol-Kantarci, 2015).

De igual manera, a nivel estratégico y de planificación, un análisis y procesamiento preciso de la información permite identificar patrones de comportamiento del sistema que pueden anticipar riesgos y problemas conocidos o vividos en el suministro del fluido eléctrico, así como proyectar tendencias para una planificación y gestión energética más acertada permitiendo una anticipación a demandas futuras, optimizar la infraestructura existente y evitar inversiones innecesarias (Erol-Kantarci, 2015).

De acuerdo con lo anterior, y teniendo en cuenta el marco normativo y regulatorio del sector eléctrico colombiano al estar actualmente clasificado como infraestructura estratégica y de seguridad nacional, el uso de herramientas que faciliten el análisis de información cercana a tiempo real, contribuye a la visión de los entes regulatorios en su misión de construir el marco regulatorio necesario para evolucionar el sistema eléctrico colombiano al tener un sustento consistente y actualizado de la operación del sistema interconectado nacional (Giral-Ramírez, 2017).

1.3. OBJETIVOS

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una plataforma web para la recolección y validación de datos en tiempo real en el sector eléctrico colombiano, orientada a la mejora de los tiempos de procesamiento y la calidad de la información registrada ante el Administrador del Sistema Interconectado Nacional (ASIC).

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los requerimientos funcionales y no funcionales de la plataforma web, con el fin de que la solución responda a las necesidades operativas del Administrador del Sistema Interconectado Nacional (ASIC) en la recolección y validación de datos en tiempo real.
- Analizar soluciones tecnológicas existentes en el sector eléctrico colombiano, para la identificación de elementos funcionales que puedan ser incorporados en el diseño de la plataforma web para el ASIC.
- Diseñar la solución web con base en los requerimientos definidos, asegurando que responda a las necesidades del ASIC en la recolección y validación de datos en tiempo real, mediante una implementación ágil y progresiva que facilite su adaptación y evolución dentro del entorno operativo.
- Validar el prototipo funcional de la solución web con base en los requerimientos definidos, considerando la aprobación de la arquitectura por parte de la mesa técnica del ASIC y el soporte documental mediante acta y línea base.

1.4. HIPOTESIS

La implementación de una plataforma web para la recepción, validación y procesamiento de medidas de energía contribuye a mejorar los tiempos de recolección y validación de datos en el sector eléctrico colombiano, incrementando la calidad de la información registrada por el ASIC y fomentando la toma de decisiones en el mercado energético.

2. MARCO TEÓRICO

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En un mundo cada vez más dependiente de la electricidad como base para el desarrollo económico y social, el análisis y monitoreo en tiempo real del sector eléctrico se ha convertido en una necesidad primordial. Las crecientes demandas energéticas, los desafíos medioambientales y la necesidad de integrar fuentes de energía renovable han impulsado la búsqueda de tecnologías avanzadas y enfoques innovadores. En este contexto, diversas teorías científicas proporcionan las bases conceptuales y metodológicas necesarias para recopilar, analizar e interpretar datos de manera eficiente y efectiva (Hamdan, Sonko, Fabuyide, Daudu, & Etukudoh, 2024) (Purkait, Basu, & Nath, 2024). Teniendo en cuenta lo anterior se han revisado las teorías más relevantes aplicadas al sector eléctrico, destacando su funcionamiento, beneficios y campos de aplicación.

Entre las teorías más influyentes en el análisis y monitoreo del sector eléctrico se encuentra la teoría de la estadística, que se centra en la recopilación, análisis e interpretación de datos. Su capacidad para detectar patrones y tendencias permite a los operadores del sistema eléctrico anticiparse a posibles fallos y optimizar la distribución de energía. Un caso de aplicación real se da en el análisis estadístico de los datos provenientes de medidores inteligentes, es posible identificar zonas con un consumo inusual de energía y adoptar medidas correctivas (Reyes, 2022).

Otra teoría esencial es la teoría de la probabilidad, que permite modelar la incertidumbre inherente a los sistemas eléctricos. En un entorno donde las variables son dinámicas y los datos a menudo incompletos, esta teoría se convierte en una herramienta fundamental para prever picos de demanda energética y evaluar la probabilidad de fallos técnicos. Su aplicación mejora significativamente la capacidad de los sistemas eléctricos para planificar y reaccionar ante escenarios impredecibles (Suárez Cifuentes, 2002).

La teoría muestral se requiere para poder implementar puntos que puedan ser representativos del sistema de interconexión eléctrica visto de manera completa. En redes eléctricas extensas, donde medir todos los puntos es inviable, esta teoría permite seleccionar estratégicamente un subconjunto representativo de medidores. Esto no solo reduce costos, sino que también garantiza que las decisiones se basen en datos confiables y representativos (Gómez Degraives, 2023).

Por otro lado, la teoría de la información proporciona los fundamentos para la transmisión y el almacenamiento eficiente de datos, especialmente en el contexto de las redes inteligentes. La capacidad de manejar grandes volúmenes de información generada por dispositivos IoT ha transformado la manera en que los sistemas eléctricos operan,

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

permitiendo un monitoreo en tiempo real y una respuesta rápida ante anomalías bajo las herramientas de BigData (Roffet, 2022).

Asimismo, la teoría de sistemas distribuidos aborda la integración de datos provenientes de múltiples fuentes en un sistema coherente y funcional. Esta teoría descentralizada es especialmente útil en redes eléctricas que deben manejar datos de subestaciones, plantas de generación y usuarios finales, ofreciendo una visión integral del sistema eléctrico (Pesado, 2012).

Finalmente, el aprendizaje automático emerge como una herramienta poderosa que complementa a las demás teorías. Sus algoritmos avanzados permiten analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real, detectando patrones y prediciendo eventos como fallos o sobrecargas. Esto no solo optimiza el rendimiento del sistema eléctrico, sino que también automatiza la toma de decisiones basada en datos, reduciendo el margen de error humano (Díaz-Ramírez, 2021).

El análisis y monitoreo del sector eléctrico no podría alcanzar los niveles de eficiencia y adaptabilidad actuales sin la aplicación de estas teorías científicas. Desde la estadística hasta el aprendizaje automático, cada teoría aporta una visión única que enriquece la gestión del sistema eléctrico, haciéndolo más resiliente, sostenible y preparado para enfrentar los desafíos del futuro. La integración de estas disciplinas no solo permite una mejor gestión de la energía, sino que también contribuye significativamente al desarrollo sostenible, al garantizar un suministro confiable y una operación eficiente del sector eléctrico.

3. MARCO CONCEPTUAL

Los sistemas eléctricos constituyen un conjunto de componentes interconectados que abarcan la generación, transmisión, distribución y consumo de energía eléctrica. Entre sus elementos destacan generadores, transformadores, líneas de transmisión, subestaciones y redes de distribución. Su principal objetivo es garantizar un suministro eficiente, confiable y seguro de electricidad para los usuarios finales, de cara a las demandas y proyecciones de sector, los sistemas eléctricos buscan adaptarse a las crecientes demandas energéticas promoviendo la sostenibilidad mediante tecnologías avanzadas como redes inteligentes y sistemas de monitoreo en tiempo real (Matulic, 2003).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En este contexto, las redes inteligentes o Smart grids representan una evolución del sistema eléctrico tradicional al integrar tecnologías de la información y comunicación (TIC). Estas redes permiten una gestión más eficiente y sostenible de todas las etapas del sistema eléctrico: generación, transmisión, distribución y consumo. Además, facilitan la integración de recursos energéticos distribuidos, como energías renovables, y mejoran la eficiencia operativa mediante la automatización, el monitoreo en tiempo real y la participación de los usuarios (Gómez et al., 2018).

El Internet de las Cosas (IoT) juega un rol importante al conectar dispositivos físicos, sensores y software dentro del sistema eléctrico. Esta tecnología permite la recopilación, análisis e intercambio de datos en tiempo real, impulsando la automatización mediante tecnologías avanzadas como redes inalámbricas, computación en la nube y análisis de datos. Su capacidad de integrar información de diversas fuentes hace que sea fundamental en los sistemas modernos de monitoreo y control eléctrico (Baccelli, 2021).

Por otro lado, el Big Data se refiere al manejo de grandes volúmenes de datos masivos y diversos que son recopilados por el IoT y las redes inteligentes. Estos datos, caracterizados por su volumen, variedad, velocidad, veracidad y valor, requieren tecnologías avanzadas para su procesamiento. El análisis de Big Data permite extraer información útil para optimizar la operación del sistema eléctrico y prever fallos, mejorando así la toma de decisiones (Hernández-Leal et al., 2017).

Finalmente, el papel del analista de datos es fundamental. Este profesional emplea herramientas estadísticas, tecnologías computacionales y técnicas de visualización para interpretar y analizar grandes volúmenes de datos recopilados por los sistemas eléctricos. Su trabajo es clave para extraer conocimientos accionables que optimicen la eficiencia y sostenibilidad del sector eléctrico (Taherdoost, 2020).

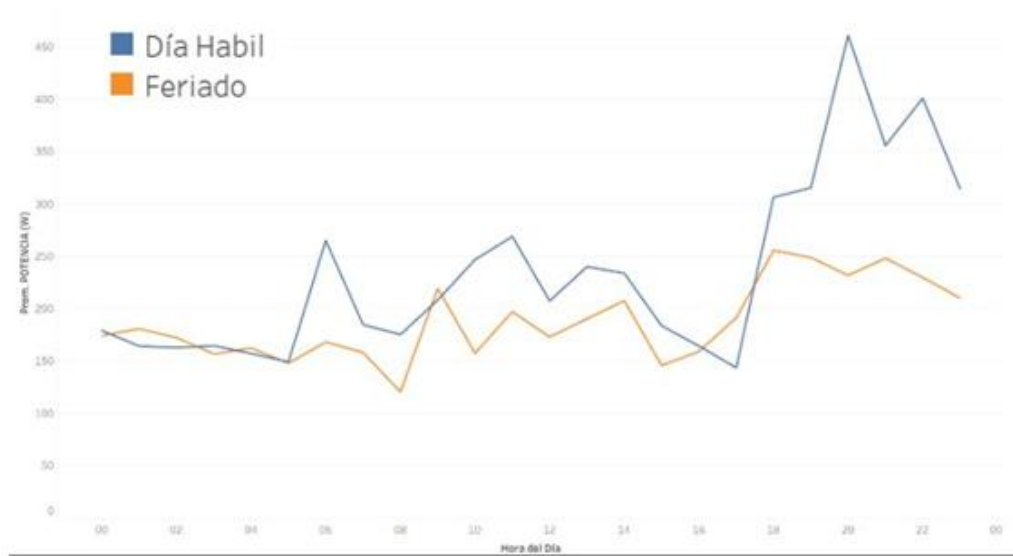
4. ANTECEDENTES

La baja eficiencia y falta de precisión en la recolección, monitoreo y análisis de datos asociados al sector eléctrico es un desafío actual para el sector energético con el fin de garantizar la estabilidad, optimización y escalabilidad de los sistemas eléctricos. De esta manera, los proyectos e iniciativas de modernización del sector han encontrado en

tecnologías como BigData, IoT y data Analytics herramientas importantes para apalancar la transformación del sector en el camino hacia la eficiencia energética y la consolidación de las Smart Grids (Kumar, 2023). Sin embargo, estas iniciativas se han enfocado en diferentes partes y escalas de los sistemas eléctricos.

El proyecto *“Recolección y análisis de datos en el ámbito de la eficiencia energética eléctrica”* buscó desarrollar un prototipo técnico de bajo costo, accesible y abierto para la recolección de datos de consumo energético con el objetivo de permitir que las organizaciones puedan obtener información detallada sobre sus patrones de consumo eléctrico, identificar oportunidades de ahorro y adoptar medidas para optimizar el uso de la energía. Para este proyecto se hicieron uso de herramientas tecnológicas basadas en Big Data y sistemas de almacenamiento en la nube, fomentando la accesibilidad para usuarios finales. Esta iniciativa demostró cómo la recopilación de datos en tiempo real puede generar perfiles de consumo, y como el consumo varía de acuerdo con variables externas y estacionales.

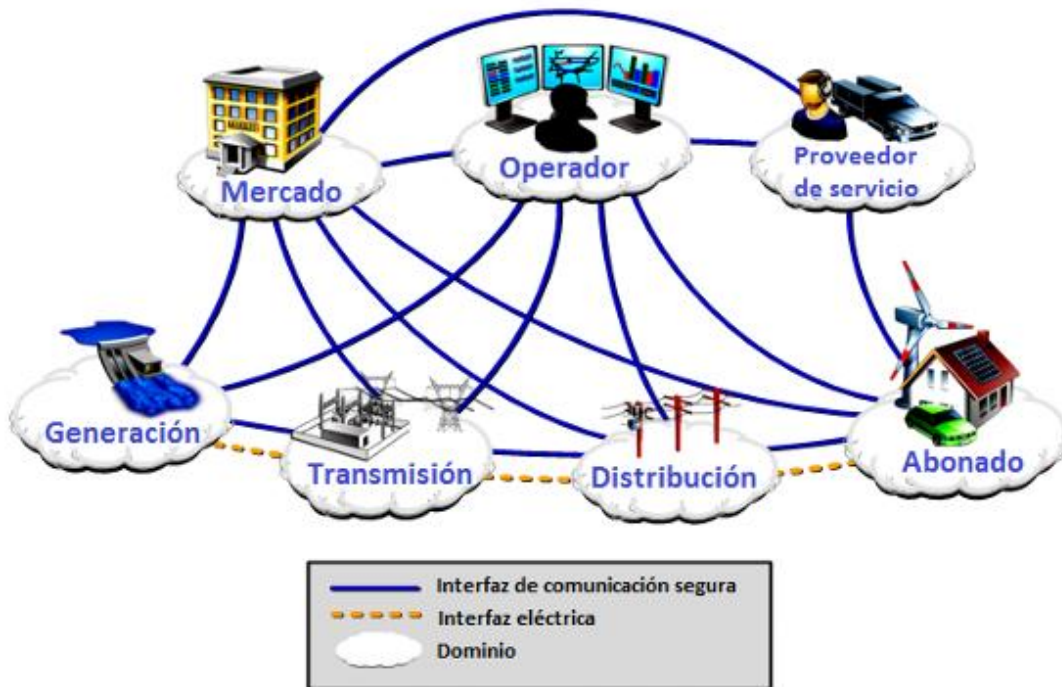
Ilustración 1 Perfiles de consumo por tipo de día



Adicionalmente, El análisis de los datos recopilados permitió identificar patrones específicos como el uso de electrodomésticos o sistemas de iluminación y destacar los picos de energía permitiendo a los usuarios tomar decisiones informadas, reducir el consumo eléctrico y obtener beneficios económicos (Santiso, 2020).

Por otro lado, el proyecto *“Diseño de un sistema híbrido inalámbrico-fibra para transmisión de datos en redes eléctricas inteligentes”* se enfocó en diseñar una infraestructura que combinara tecnologías inalámbricas y fibra óptica para garantizar una transmisión precisa de datos en redes eléctricas inteligentes, buscando garantizar la interoperabilidad y la confiabilidad en la transmisión de datos mediante la combinación de tecnologías inalámbricas y fibra óptica (Ruiz, 2016).

Ilustración 2 Infraestructura de sistema híbrido



La meta principal era incrementar la eficiencia operativa de las redes eléctricas mediante la integración de sistemas avanzados de comunicación y medir los parámetros en tiempo real. Este sistema demostró ser altamente efectivo para la transmisión de datos en redes inteligentes, asegurando estabilidad y precisión incluso en condiciones adversas. Los resultados permitieron optimizar la gestión de energía, reducir tiempos de respuesta ante problemas técnicos y mejorar la confiabilidad de los sistemas. Además, el uso de tecnologías combinadas ofreció una solución escalable para futuras expansiones de la infraestructura (Ruiz, 2016).

De igual manera, el proyecto *“Revisión de las características de sistemas de medición de energía”* evaluó el impacto y la pertinencia del uso de medidores avanzados para integrar

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

la medición y el procesamiento de datos, centrándose en optimizar la gestión de energía, identificando anomalías en el consumo y proporcionando información que permita mejoras en tiempo real en las operaciones de las redes eléctricas. El estudio concluyó que los medidores inteligentes utilizados en este proyecto son herramientas eficaces para la gestión de energía dado que su capacidad para recopilar datos de forma constante y analizarlos en tiempo real permite identificar anomalías, patrones de consumo irregular y oportunidades de optimización. Adicionalmente estos sistemas también destacaron por su facilidad de integración en redes existentes, lo que facilitó su adopción la implementación del proyecto (Navarro, 2017).

Si bien estos desarrollos abordaron el problema en diferentes partes del sistema y presentan los resultados positivos después de la implementación de las soluciones propuestas, la actual iniciativa dio respuesta a las necesidades del Administrador del Sistema Interconectado Nacional - ASIC en Colombia, el cual debido a su rol en el sistema eléctrico, centralizó los datos relacionados a todo el sistema y debido a la regulación vigente y en constante evolución presentó requisitos particulares que las actuales soluciones del mercado no han podido solventar.

5. ESTADO DEL ARTE

La transición hacia un sector eléctrico más eficiente y sostenible no solo es una necesidad, sino una oportunidad para transformar la manera en que se gestionan los recursos energéticos. La implementación de tecnologías avanzadas, como el Internet de las Cosas (IoT), el Big Data y la Inteligencia Artificial, promete optimizar la recolección, monitoreo y análisis de datos en tiempo real y se posiciona como las herramientas indispensables en el camino hacia la construcción de la solución de cara a los retos actuales del sector eléctrico.

Desde una perspectiva técnica, la incorporación de sensores inteligentes y sistemas interconectados permite una recopilación de datos más precisa y en tiempo real. Esto no solo favorece la identificación de patrones de consumo eléctrico, sino también la predicción de fallos y la mejora en la distribución de energía. Según estudios recientes de la IEEE, las aplicaciones basadas en IoT pueden reducir significativamente los costos operativos y aumentar la eficiencia de las redes eléctricas. Esto refuerza la idea de que las tecnologías emergentes tienen el potencial de revolucionar un sector que tradicionalmente enfrenta retos de sostenibilidad y eficiencia (Abir, 2021).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

A nivel operativo, el análisis predictivo y el uso de algoritmos avanzados de aprendizaje automático ofrecen un salto cualitativo en la toma de decisiones energéticas. A través del procesamiento de grandes volúmenes de datos, los operadores eléctricos pueden anticipar demandas y adaptar la distribución de energía de manera proactiva. Sin embargo, esto también plantea problemas relacionados con la interoperabilidad tecnológica y la protección de datos sensibles, áreas que requieren una atención prioritaria para garantizar la adopción generalizada de estas soluciones innovadoras (Abir, 2021).

Por otro lado, la sostenibilidad ambiental se posiciona como un beneficio integral de esta transformación tecnológica. La optimización en el uso de recursos eléctricos y la integración eficiente de energías renovables, como la solar y la eólica, son pasos cruciales para reducir emisiones de carbono y avanzar hacia comunidades más sostenibles. Aquí, el papel de estas tecnologías no solo es técnico, sino también estratégico, al actuar como un centralizador que facilite la coordinación de las diferentes fuentes de energía y, su gestión en tiempo real con base en la información histórica y actual (Sebastián, 2024).

Pese a los desafíos mencionados, la implementación de estas tecnologías representa una inversión estratégica y necesaria para el futuro. La seguridad de los datos, la interoperabilidad y la resistencia de las infraestructuras son aspectos que, aunque complejos, tienen soluciones viables mediante estándares y protocolos internacionales (Lanziano Barrera, 2024).

En conclusión, el uso de estas tecnologías en el sector eléctrico no solo responde a una necesidad operativa, sino que se convierten en herramientas claves para enfrentar los retos actuales del sector. IoT, Big Data y IA, en combinación con un diseño centrado en la seguridad y la interoperabilidad, tienen el potencial de transformar el panorama energético de los sistemas eléctricos hacia modelos más eficientes y sostenibles.

6. MARCO LEGAL

La medición de energía en Colombia es un aspecto fundamental para la gestión eficiente del mercado eléctrico, garantizando la transparencia en la comercialización, distribución y generación de energía. Para ello, el país ha desarrollado un marco regulatorio sólido que establece lineamientos técnicos y administrativos en el manejo de las mediciones por medio de las regulaciones CREG 038 de 2014, CREG 030 de 2018 y el Acuerdo CNO 1043 de 2018

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

los cuales juegan un papel crucial en el sector eléctrico al definir de manera clara y precisa el funcionamiento técnico y operativo de los actores del sistema.

La resolución CREG 038 de 2014 modificó el Código de Medida dentro del Código de Redes, estableciendo disposiciones relacionadas con el almacenamiento, transmisión y protección de datos de las mediciones energéticas. Su objetivo principal es garantizar que la información recolectada por los sistemas de medición sea confiable y segura, evitando fraudes o pérdidas en la gestión energética. Uno de sus aspectos más relevantes es la exigencia de un Centro de Gestión de Medidas (CGM), encargado de centralizar la información de los medidores en tiempo real y facilitar la toma de decisiones estratégicas. La resolución también establece protocolos de transmisión de datos que aseguran que la información fluya de manera segura entre los agentes del mercado (CREG, Resolución 38 de 2014 CREG, 2014).

Por otro lado, La resolución CREG 174 de 2021 complementa los lineamientos sobre telemetría y los mecanismos para integrar generación distribuida en la red nacional. Este documento regula la forma en que los comercializadores y operadores de red deben manejar las mediciones de generación y consumo, estableciendo criterios de compensación para los excedentes generados por pequeños productores, adicionalmente, promueve el uso de medidores inteligentes, lo que permite una mejor gestión del consumo energético y brinda a los usuarios herramientas para controlar su demanda. Esta regulación ha sido clave en la modernización del sistema eléctrico colombiano, al fomentar la eficiencia energética y la integración de fuentes renovables en la matriz energética (CREG, Resolución 174 de 2021 CREG, 2021).

De igual manera, el Consejo Nacional de Operación (CNO), mediante el Acuerdo 1043 de 2018, estableció parámetros técnicos esenciales para la transmisión de información desde los medidores hacia el ASIC (Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales). Este acuerdo especifica requisitos de seguridad que minimizan riesgos de manipulación o errores en los datos de medición, garantizando la confiabilidad del sistema. Esta normativa abarca desde protocolos de comunicación hasta estándares de ciberseguridad que deben implementarse en los sistemas de medición. Asimismo, define mecanismos de auditoría y supervisión para asegurar que la información transmitida entre los agentes del mercado eléctrico sea precisa y oportuna (CNO, 2018).

El marco regulatorio colombiano en materia de medición energética ha evolucionado significativamente, el actual marco regulatorio ha sido fundamental para la transformación

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

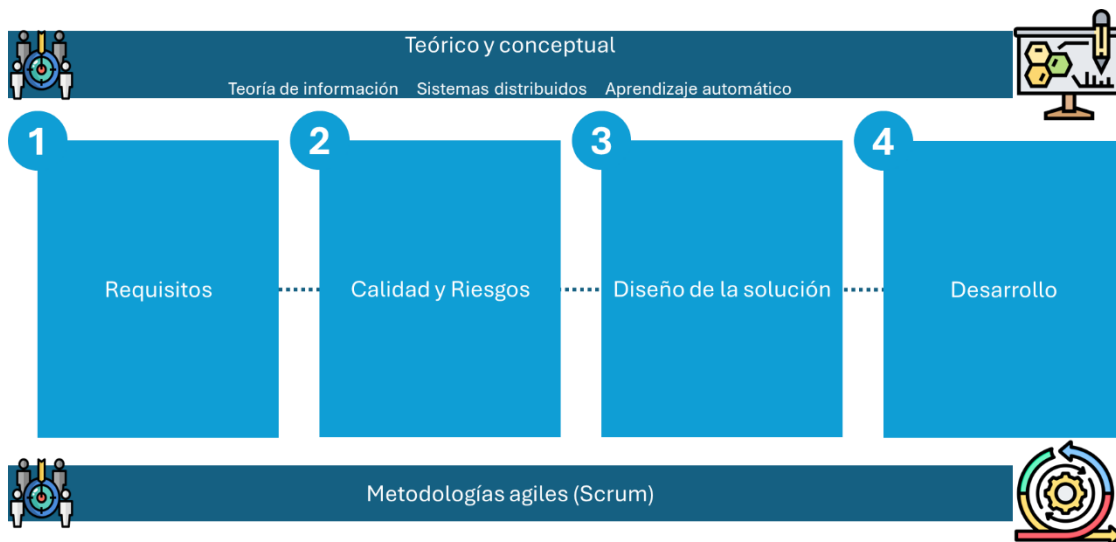
del mercado energético en Colombia, facilitando la adopción de nuevas tecnologías y promoviendo una gestión eficiente de la energía. Sin embargo, es necesario continuar fortaleciendo los mecanismos de control y supervisión para garantizar que la información de los sistemas de medición sea cada vez más precisa y accesible para todos los actores involucrados.

7. METODOLOGÍA

El presente proyecto de grado se centra en el desarrollo de una plataforma web para la recolección y validación de datos en tiempo real en el sector eléctrico colombiano, específicamente para el Administrador del Sistema Interconectado Nacional (ASIC). El enfoque metodológico busca garantizar que la solución propuesta responda a las necesidades reales del ASIC, en términos de mejora en los tiempos de recolección y validación de datos, así como en la calidad de la información registrada.

El proyecto se desarrolló bajo un enfoque ágil, utilizando el marco de trabajo Scrum, lo que permitió una construcción iterativa e incremental del prototipo funcional. A continuación, se describen las fases ejecutadas:

Ilustración 3 Diseño metodológico



7.1. IDENTIFICACIÓN DE REQUISITOS

Durante la fase de elicitación de requisitos, se empleó la técnica de historias de usuario, ampliamente utilizada en entornos ágiles. Esta técnica facilitó la identificación y documentación de los requerimientos funcionales desde la perspectiva de los usuarios finales, permitiendo capturar de forma clara qué funcionalidades debe ofrecer el sistema y

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

el valor que estas aportan. Las historias de usuario se redactaron siguiendo el formato estándar: “Como [tipo de usuario], quiero [funcionalidad], para [beneficio esperado]”, lo cual favoreció la comprensión y priorización de los requerimientos.

Como complemento a esta técnica, se diseñaron mockups de alta fidelidad que representaron visualmente las funcionalidades descritas en las historias de usuario. Estos modelos estáticos permitieron validar la interfaz gráfica propuesta, facilitando la comunicación entre los desarrolladores y los interesados, y asegurando una interpretación coherente de los requerimientos. Además, los mockups sirvieron como base para futuras iteraciones de diseño y desarrollo, contribuyendo a una mejor planificación y reducción de errores en etapas posteriores.

La identificación de los requisitos funcionales y no funcionales del sistema SIGEME (Sistema de Gestión de Medidas) se desarrolló mediante una metodología estructurada basada en principios de ingeniería de software con enfoque ágil. Este proceso fue esencial para garantizar que la solución propuesta respondiera de manera efectiva a las necesidades operativas del Administrador del Sistema Interconectado Nacional (ASIC), en el contexto de la recolección, validación y análisis de datos energéticos en tiempo real.

El proceso de identificación se llevó a cabo bajo el marco de trabajo Scrum, el cual permitió una construcción iterativa e incremental del sistema. Durante la fase de elicitación de requisitos, se empleó la técnica de historias de usuario, ampliamente utilizada en entornos ágiles. Esta técnica facilitó la identificación y documentación de los requerimientos funcionales desde la perspectiva de los usuarios finales, permitiendo capturar de forma clara qué funcionalidades debe ofrecer el sistema y el valor que estas aportan. Las historias de usuario se redactaron siguiendo el formato estándar: “Como [tipo de usuario], quiero [funcionalidad], para [beneficio esperado]”, lo cual favoreció la comprensión y priorización de los requerimientos (Beedle, 2001).

Como complemento a esta técnica, se diseñaron mockups de alta fidelidad que representaron visualmente las funcionalidades descritas en las historias de usuario. Estos modelos estáticos permitieron validar la interfaz gráfica propuesta, facilitando la comunicación entre los desarrolladores y los interesados, y asegurando una interpretación coherente de los requerimientos. Además, los mockups sirvieron como base para futuras iteraciones de diseño y desarrollo, contribuyendo a una mejor planificación y reducción de errores en etapas posteriores (Cooper, 2014).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Adicionalmente, se realizaron sesiones de validación técnica con la mesa operativa del ASIC, en las cuales se revisaron los requisitos definidos, se ajustaron conforme a la normativa vigente y se verificó su viabilidad operativa. Esta validación permitió asegurar que los requisitos estuvieran alineados con las condiciones reales del entorno eléctrico colombiano. Los requisitos fueron clasificados en dos grandes categorías:

- Requisitos funcionales (RF): Incluyen las funcionalidades que el sistema debe ofrecer, tales como autenticación de usuarios, segmentación de permisos, gestión de clientes y medidas, y carga estructurada de información. Estos requisitos fueron definidos con base en las operaciones críticas del ASIC y en los lineamientos establecidos por la regulación CREG (CREG, Resolución 38 de 2014 CREG, 2014) y el CNO (CNO, 2018).
- Requisitos no funcionales (RNF): Establecen las condiciones de calidad que debe cumplir el sistema, como seguridad, escalabilidad, usabilidad y tiempos de respuesta. Estos requisitos fueron definidos conforme a la norma ISO/IEC 25010 y validados mediante pruebas técnicas y encuestas a usuarios (ISO/IEC, 2011).

7.2. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

El diseño de la solución tecnológica para el sistema SIGEME se desarrolló mediante una metodología que combina principios de ingeniería de software, modelado arquitectónico y prácticas ágiles, con el objetivo de garantizar que la arquitectura propuesta refleje los requerimientos funcionales y no funcionales definidos en la fase de análisis. Esta metodología permitió generar como resultado los diagramas arquitectónicos incluidos en este documento, los cuales representan la estructura lógica y física del sistema

La metodología aplicada se fundamenta en los siguientes pilares:

- Modelado Basado en Arquitectura (ABM): Se emplearon técnicas de modelado orientadas a componentes y servicios, siguiendo las recomendaciones de la norma ISO/IEC/IEEE 42010 para la descripción de arquitecturas de sistemas (ISO/IEC, 2011). Este enfoque asegura que los diagramas reflejen las vistas necesarias para comprender la interacción entre módulos, flujos de datos y mecanismos de integración.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Prácticas Ágiles (Scrum): El diseño se realizó de manera iterativa e incremental, utilizando artefactos como historias de usuario y mockups para validar la funcionalidad esperada antes de su implementación (Beedle, 2001). Esto permitió que los diagramas evolucionaran conforme se refinaban los requisitos y se validaban las decisiones técnicas.
- Modelado UML y Diagramas de Arquitectura en la Nube: Se utilizaron diagramas de componentes y despliegue basados en UML, adaptados a entornos cloud híbridos (Azure y On-Premise). Estos diagramas permiten representar la relación entre microservicios, colas de mensajería, almacenamiento distribuido y servicios transversales (Booch, 2005).

7.3. PLAN DE CALIDAD

El desarrollo del sistema SIGEME se enmarca en un entorno crítico como el sector eléctrico colombiano, donde la calidad del software no solo representa un valor agregado, sino un requisito normativo y operativo indispensable. Por esta razón, el presente apartado describe el enfoque adoptado para garantizar la calidad del producto, desde su concepción hasta su validación final, alineado con estándares internacionales y buenas prácticas en ingeniería de software.

El plan de calidad se fundamenta en la norma ISO/IEC 25010, que define los atributos esenciales de calidad para productos de software, tales como funcionalidad, fiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenibilidad y portabilidad. Estos atributos fueron considerados en cada fase del desarrollo, desde la identificación de requisitos hasta la implementación y pruebas del sistema.

La gestión de riesgos se abordó mediante la aplicación de la norma ISO 31000 y las recomendaciones del PMBOK, permitiendo identificar, evaluar y mitigar amenazas que pudieran comprometer el alcance, cronograma, costos o calidad del proyecto. Se elaboró una matriz de riesgos que contempla aspectos técnicos, estratégicos, financieros y externos, con estrategias de mitigación específicas para cada caso.

Asimismo, se definió un plan de pruebas estructurado que incluye pruebas unitarias, de integración, de sistema y de aceptación, siguiendo los lineamientos de los estándares IEEE 829 e IEEE 1012. Estas pruebas fueron ejecutadas de forma iterativa en cada sprint del marco Scrum, asegurando la validación continua de funcionalidades y atributos de calidad.

7.3.1. MATRIZ DE RIESGOS DEL PROYECTO

La gestión de riesgos constituye un componente esencial en proyectos de desarrollo de software, especialmente en entornos críticos como el sector eléctrico, donde la confiabilidad y seguridad son requisitos normativos. La matriz de riesgos del proyecto se fundamenta en metodologías reconocidas para la identificación, análisis y mitigación de riesgos, asegurando la alineación con los objetivos del proyecto y la normativa vigente, considerando las siguientes practicas:

- Norma ISO 31000: Gestión del Riesgo: Se aplicaron los principios establecidos por la norma ISO 31000, que define un marco sistemático para identificar, evaluar y tratar riesgos en proyectos tecnológicos (ISO, 2018). Este enfoque garantiza la trazabilidad y la consistencia en la gestión de riesgos.
- Guía PMBOK (Project Management Body of Knowledge): Se siguieron las recomendaciones del PMBOK para la planificación de la gestión de riesgos, incluyendo la definición de categorías, la estimación de impacto y probabilidad, y la asignación de estrategias de mitigación (PMI, 2021)
- Análisis Cualitativo y Cuantitativo: La matriz incorpora una evaluación cualitativa (impacto y probabilidad) y cuantitativa (priorización mediante escalas), permitiendo identificar riesgos críticos que pueden afectar el alcance, cronograma, costos y calidad del proyecto (Ward & Chapman, 2011).
- Técnicas de Brainstorming y Validación con Stakeholders: La identificación de riesgos se realizó mediante sesiones colaborativas con el equipo de desarrollo y la mesa técnica del ASIC, asegurando que los riesgos contemplen aspectos técnicos, operativos y regulatorios (Hillson & Simon, 2012).

Tabla 1 Matriz de riesgos SIGEME

<i>Categoría</i>	<i>Riesgo</i>	<i>Impacto / Probabilidad</i>	<i>Estrategia de Mitigación</i>
<i>Financiero</i>	Subestimación de recursos tecnológicos	Medio / Baja	Revisión periódica del presupuesto y ajustes según necesidades técnicas.
<i>Financiero</i>	Falta de disponibilidad de recursos humanos	Alto / Media	Control de cronograma con gestión ágil y seguimiento de sprints.
<i>Financiero</i>	Fallos en la arquitectura inicial	Alto / Media	Validación temprana de la arquitectura mediante revisión técnica por pares.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

<i>Estratégico</i>	Cambios en la dirección institucional	Alto / Media	Revisión continua de alineación estratégica con reuniones mensuales.
<i>Estratégico</i>	Falta de interoperabilidad con otros sistemas	Alto / Media	Adopción de estándares abiertos y actualizados.
<i>Estratégico</i>	Rechazo de usuarios por mal diseño de interfaz	Alto / Alta	Validación temprana de la interfaz con usuarios.
<i>Estratégico</i>	Arquitectura no escalable	Alto / Media	Diseño modular y escalable desde el inicio.
<i>Externo</i>	Cambios regulatorios inesperados	Alto / Baja	Monitoreo normativo continuo y revisión legal mensual.
<i>Externo</i>	Ataques cibernéticos	Alto / Media	Pruebas de seguridad y revisión de código.
<i>Externo</i>	Fallos en servicios externos sin redundancia	Alto / Baja	Implementación de backups y pruebas de recuperación.
<i>Externo</i>	Incompatibilidades técnicas con terceros	Medio / Media	Validación de compatibilidad técnica y pruebas de integración.
<i>Externo</i>	Incidentes de seguridad que afecten la percepción pública	Alto / Media	Auditoría externa de seguridad y revisión estática de código.
<i>Equipo</i>	Rotación de personal clave	Medio / Media	Plan de retención y documentación continua.
<i>Equipo</i>	Retrabajo por validaciones tardías	Medio / Alta	Validaciones tempranas con prototipos.
<i>Equipo</i>	Baja calidad del producto por pruebas insuficientes	Alto / Media	Definición clara del plan de pruebas y ejecución rigurosa.
<i>Transversal</i>	Falta de trazabilidad de decisiones	Medio / Media	Uso de herramientas colaborativas y control de versiones.
<i>Transversal</i>	Ausencia de métricas claras	Medio / Media	Definición de KPIs desde el inicio y revisión en cada Sprint.
<i>Transversal</i>	Desalineación entre stakeholders	Alto / Media	Gestión activa de expectativas y reuniones quincenales.
<i>Transversal</i>	Cambios frecuentes en requisitos	Alto / Alta	Gestión de cambios con control de alcance y revisión continua del backlog.

7.3.2. PLAN DE PRUEBAS

El plan de pruebas del sistema SIGEME se diseñó con el propósito de garantizar la calidad, confiabilidad y cumplimiento de los requisitos funcionales y no funcionales definidos durante la fase de análisis, acorde con ello se estableció una estrategia de validación rigurosa basada en estándares internacionales y metodologías ágiles.

La planificación de pruebas se estructuró conforme a los lineamientos de los estándares IEEE 829 e IEEE 1012, abarcando los niveles de pruebas unitarias, de integración, de sistema

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

y de aceptación. Cada tipo de prueba fue alineado con los entregables definidos en los sprints del marco de trabajo Scrum, permitiendo una validación continua e incremental de las funcionalidades desarrolladas.

Las pruebas de integración se centraron en la comunicación entre módulos, especialmente en el flujo de datos entre el frontend, los servicios web y la base de datos. Las pruebas de sistema simulaban escenarios de uso completo, evaluando el comportamiento del sistema desde la perspectiva del usuario final.

7.3.2.1. CONTEXTO DEL PROYECTO

Este documento presenta el desarrollo del proyecto SIGEME (Sistema de Gestión de Medidas), una solución tecnológica orientada a optimizar la eficiencia y precisión en la recolección, monitoreo y análisis de datos en tiempo real en el sector eléctrico colombiano. El objetivo principal fue diseñar e implementar una plataforma web que permita la recepción, validación y procesamiento de medidas de energía, contribuyendo a la toma de decisiones estratégicas y a la sostenibilidad energética.

La metodología empleada se basó en prácticas de ingeniería de software con enfoque ágil, utilizando Scrum como marco de trabajo. Se aplicaron técnicas como historias de usuario y mockups de alta fidelidad para la definición de requisitos y diseño de interfaz. El desarrollo se estructuró en épicas funcionales y se apoyó en herramientas modernas de visualización y análisis de datos.

Entre los resultados más destacados se encuentra la implementación de una arquitectura robusta que integra dispositivos IoT, procesamiento en la nube y visualización web. Se logró una mejora significativa en la precisión de los datos recolectados, reducción de costos operativos y aumento en la eficiencia del monitoreo energético. Los indicadores de desempeño del sistema evidencian tiempos de respuesta óptimos y una alta confiabilidad en la gestión de medidas.

En conclusión, el sistema SIGEME representa un avance importante hacia la transformación digital del sector eléctrico, alineándose con los objetivos regulatorios y estratégicos del país. Se recomienda continuar con su escalabilidad, integración con tecnologías emergentes como inteligencia artificial y blockchain, y fortalecer su interoperabilidad para futuras aplicaciones en redes inteligentes.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

7.3.2.2. CONTEXTO PRODUCTO

SIGEME es una plataforma web diseñada para mejorar la eficiencia y precisión en la recolección, monitoreo y análisis de datos energéticos en tiempo real dentro del sector eléctrico colombiano. Su propósito principal es apoyar la toma de decisiones estratégicas mediante el procesamiento confiable de medidas de energía.

Aspectos importantes del sistema:

- Utiliza tecnologías como la computación en la nube.
- Se desarrolló bajo metodologías ágiles, específicamente Scrum.
- Integra dispositivos inteligentes para capturar datos y visualizarlos en una interfaz web.
- Mejora la precisión de los datos, reduce costos operativos y optimiza el monitoreo energético.

El sistema cubre múltiples funcionalidades y niveles operativos:

- Recepción y validación de medidas: Permite registrar datos energéticos desde dispositivos IoT y validarlos automáticamente.
- Procesamiento y análisis: Los datos se procesan en tiempo real para identificar patrones de consumo y anomalías.
- Visualización y generación de informes: Usuarios pueden consultar reportes personalizados y exportarlos en formatos como PDF o Excel.
- Gestión de roles y permisos: Control de acceso basado en perfiles como Administrador, Analista y CGM (Coordinador de Gestión de Medidas).
- Integración con plataformas externas: A través de Apis seguras para interoperabilidad con otros sistemas.
- Escalabilidad y seguridad: Infraestructura preparada para crecer y cumplir con estándares de seguridad y disponibilidad.

7.3.2.3. ALCANCE

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Esta sección define los límites del plan de pruebas, especificando qué componentes del sistema SIGEME serán evaluados y cuáles no, así como los atributos de calidad según la norma ISO/IEC 25010 que serán considerados durante el proceso de validación.

Tabla 2 Objetos de pruebas

Módulos	Alcance	No incluye
<i>Gestión de roles y permisos</i>	Creación, edición y asignación de roles a usuarios, incluyendo la validación de restricciones de acceso	Pruebas de integración con sistemas externos de autenticación como LDAP o SSO.
<i>Reporte de medidas</i>	Formulario de carga de archivos, la verificación de formatos soportados y la persistencia de datos.	Pruebas de formatos no definidos como XML ni la visualización de datos en tiempo real.
<i>Consulta de reportes</i>	Filtros por usuario, fechas y fronteras reportadas.	Pruebas de exportación en formatos no contemplados en los requisitos (por ejemplo, PDF si no está en alcance).
<i>Integraciones</i>	Conexión vía API REST con servicios externos	pruebas de rendimiento extremo ni simulaciones de fallos en ambientes productivos

Tabla 3 Atributos del sistema ISO/IEC 25010

Atributo	Alcance	No incluye
<i>Funcionalidad</i>	Cumplimiento de los requisitos funcionales definidos en las historias de usuario.	Funcionalidad en sistemas operativos no soportados como iOS o HarmonyOS.
<i>Usabilidad</i>	navegación, claridad de interfaz y experiencia de usuario en navegadores modernos.	Pruebas con tecnologías de asistencia como lectores de pantalla.
<i>Seguridad</i>	Autenticación, autorización, manejo de errores.	Pruebas de penetración avanzadas ni simulaciones de ataques
<i>Rendimiento</i>	Tiempo de respuesta en consultas y carga de archivos.	Pruebas de estrés con miles de usuarios simultáneos.
<i>Compatibilidad</i>	Navegadores modernos (Chrome, Firefox).	Compatibilidad con sistemas operativos móviles no contemplados en el alcance

7.3.2.4. ENFOQUE DE PRUEBAS

El analista de pruebas aplicó prácticas de aseguramiento de calidad (QA) y control de calidad (QC) siguiendo los estándares IEEE829 e IEEE1012. Se utilizó técnicas de verificación y validación en cada nivel de prueba.

- Pruebas Unitarias

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Responsable: Desarrollador. Se utilizaron frameworks como JUnit o Py Test para validar métodos individuales, funciones de validación de campos y lógica de negocio. Estas pruebas se ejecutarán en entornos locales antes de la integración.

➤ Pruebas de Integración

Responsable: QA. Se validó la comunicación entre módulos, como el flujo de datos entre el formulario de carga y la base de datos. Se utilizó herramientas como Postman para probar endpoints REST y verificar respuestas esperadas.

➤ Pruebas de Sistema

Responsable: QA. Se ejecutó casos de prueba end-to-end que simulan el uso completo del sistema por parte de los usuarios. Se validaron reglas de negocio, flujos de navegación y persistencia de datos.

➤ Pruebas de Aceptación

Responsable: Tester y Stakeholders. Se validó el cumplimiento de los criterios de aceptación definidos en las historias de usuario. Se simularon escenarios reales de uso para verificar que el sistema cumple con las expectativas del cliente.

➤ Recursos

Esta sección detalla las precondiciones necesarias para ejecutar el plan de pruebas, incluyendo software, hardware, accesos y datos requeridos.

➤ Software

- Herramientas: Postman para pruebas de API, Selenium para pruebas automatizadas de interfaz, JMeter para pruebas de rendimiento, Jira para gestión de incidencias, Git para control de versiones.
- Navegadores: Chrome y Firefox en sus versiones más recientes para validar compatibilidad.

➤ Hardware

- Equipos con mínimo 8GB de RAM, procesador Intel i5 o superior.
- Acceso a servidores de pruebas en ambiente staging con configuración similar a producción.

➤ Usuarios y Accesos

- Credenciales para perfiles de usuario: Administrador, CGM, Analista.
- Acceso a endpoints de API, base de datos de pruebas y servidores de aplicación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Base de Datos
 - Base de datos de pruebas con datos ficticios pero representativos del sistema real.
 - Scripts de carga inicial para pruebas de integración y validación de consultas.

7.3.2.5. CALENDARIO DE PRUEBAS

El proceso de pruebas se integra de forma iterativa y continua dentro del marco de trabajo Scrum, permitiendo validar funcionalidades en cada sprint y asegurar la calidad desde las primeras etapas del desarrollo. El equipo de QA participa activamente en todas las ceremonias clave del ciclo de vida ágil:

Tabla 4 Actividades QA en ceremonias SCRUM

Fase	Actividades	Objetivo
<i>Sprint Planning</i>	Revisión de historias de usuario, definición de criterios de aceptación, estimación de esfuerzo de pruebas	Asegurar que los requisitos sean verificables
<i>Desarrollo (Daily Scrum)</i>	Seguimiento de avances, revisión de bloqueos, ejecución de pruebas unitarias y de integración	Validar funcionalidades en desarrollo
<i>Sprint Review</i>	Ejecución de pruebas de sistema y aceptación, demostración de funcionalidades	Validar cumplimiento de criterios de aceptación
<i>Sprint Retrospective</i>	Análisis de defectos encontrados, revisión de cobertura de pruebas, mejora continua	Optimizar el proceso de pruebas

Paralelo con el plan de releases: El calendario de pruebas se alinea con el plan de releases del sistema SIGEME, permitiendo validar cada entrega funcional antes de su despliegue. A continuación, se muestra un ejemplo de planificación concurrente:

Tabla 5 Actividades QA en plan de Sprints/Releases

Sprint	Funcionalidad	Actividades
<i>Sprint 1</i>	Gestión de roles	Pruebas unitarias, integración, sistema
<i>Sprint 2</i>	Reporte de medidas	Pruebas de sistema, carga de archivos
<i>Sprint 3</i>	Consulta de reportes	Pruebas de aceptación con stakeholders
<i>Sprint 4</i>	Integraciones API	Pruebas de integración y seguridad
<i>Sprint 5</i>	Optimización y ajustes	Pruebas de rendimiento y regresión

7.3.2.6. RIESGOS

Tabla 6 Matriz de riesgos priorizados alcance plan de pruebas

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Acción	Plan
<i>Fallos en la integración con sistemas externos debido a incompatibilidades técnicas.</i>	Media	Alta	Realizar pruebas de integración tempranas y definición de estándares de interoperabilidad	Ambientes de pruebas simuladas y realizar validaciones cruzadas para cada sprint.
<i>Baja calidad del producto debido a falta de pruebas de rendimiento y seguridad</i>	Media	Alta	Definir pruebas de performance y seguridad	Incluir pruebas automatizadas y definir métricas de rendimiento aceptables.
<i>Retrabajo en funcionalidades debido a validaciones tardías con usuarios finales.</i>	Alta	Media	Incluir validaciones continuas por Sprint	Validar satisfacción de usuarios sobre el entregable.
<i>Vulnerabilidades de seguridad debido a prácticas de desarrollo inseguras.</i>	Media	Alta	Realizar revisiones de código y pruebas de seguridad	Implementar políticas de revisión, escaneo de vulnerabilidades en CI/CD.
<i>Pérdida de información crítica debido a fallos en la infraestructura de servidores.</i>	Baja	Alta	Implementar Backups automáticas y monitoreo de infraestructura.	Configurar respaldos periódicos y monitoreo con alertas.

7.4. CRONOGRAMA

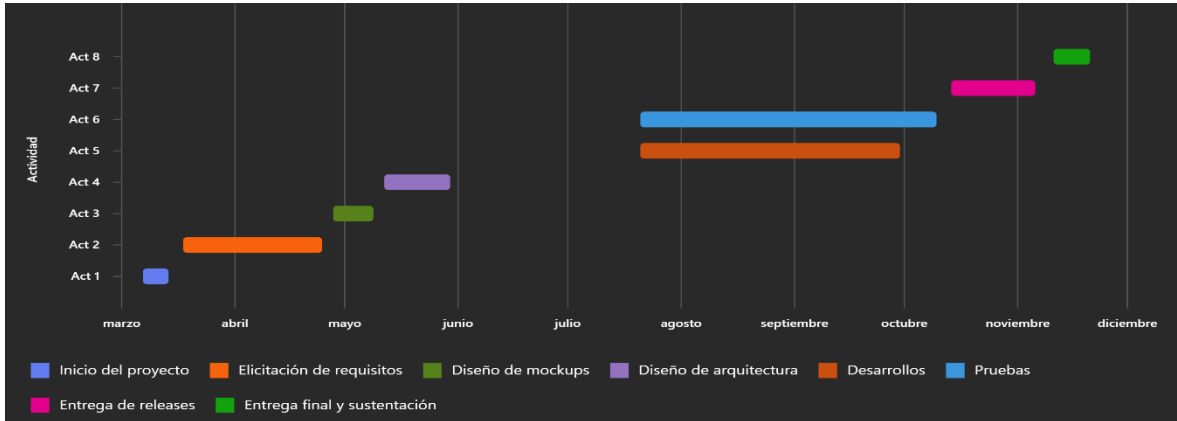
El desarrollo del sistema SIGEME se planificó bajo la metodología ágil Scrum, la cual permite una construcción iterativa e incremental del producto. Esta metodología se fundamenta en la división del trabajo en sprints de duración fija, donde cada iteración incluye actividades de análisis, desarrollo, pruebas y validación con los interesados. El objetivo es garantizar entregas funcionales frecuentes y reducir riesgos asociados a cambios en los requisitos (Schwaber & Sutherland, 2020).

El cronograma general del proyecto abarca las siguientes fases:

- Inicio del proyecto (07/03/2025 – 14/03/2025)
- Elicitación de requisitos (18/03/2025 – 25/04/2025)
- Diseño de mockups y arquitectura (28/04/2025 – 30/05/2025)

- Desarrollo y pruebas (21/07/2025 – 10/10/2025)
- Entrega de releases y sustentación (14/10/2025 – 21/11/2025)

Ilustración 4 Cronograma de actividades del proyecto.



Dentro del periodo de desarrollo y pruebas, se definieron 6 sprints de 10 días hábiles cada uno, distribuidos de la siguiente manera:

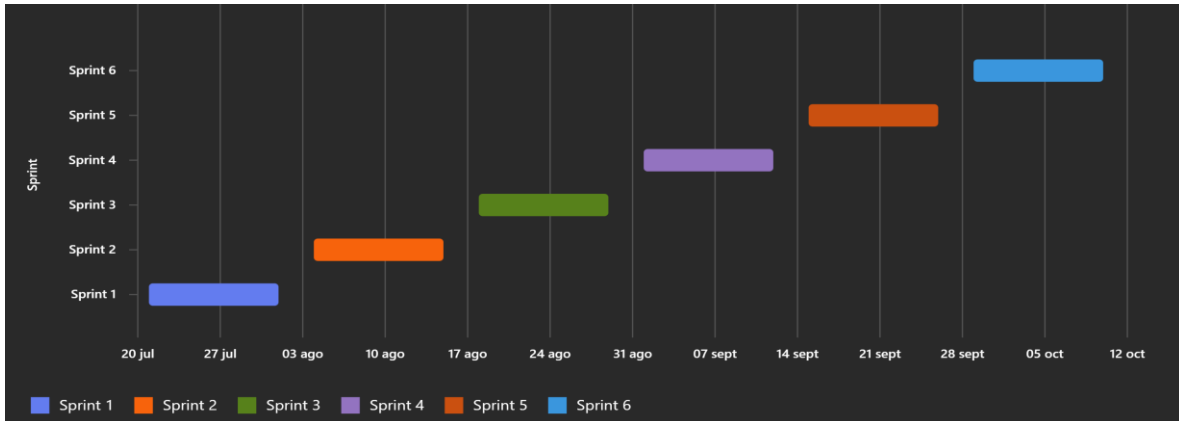
Tabla 7 Cronograma de Sprints

Sprint	Fechas	Épicas abordadas	Historias de Usuario
Sprint 1	21/07 – 01/08	Roles y permisos	HU-001, HU-002
Sprint 2	04/08 – 15/08	Gestión de usuarios	HU-009, HU-010
Sprint 3	18/08 – 29/08	Reporte de medidas	HU-004, HU-005
Sprint 4	01/09 – 12/09	Consulta de reportes	HU-006, HU-007
Sprint 5	15/09 – 26/09	Clientes y monitoreo	HU-011, HU-012, HU-013
Sprint 6	29/09 – 10/10	Integraciones y rendimiento	HU-008, HU-014

Cada sprint incluye:

- Sprint Planning: Priorización del backlog y definición de criterios de aceptación.
- Desarrollo: Implementación de funcionalidades y pruebas unitarias.
- QA y Validación: Ejecución de pruebas de integración y sistema.
- Sprint Review y Retrospective: Presentación de avances y análisis de mejoras.

Ilustración 5 Cronograma de ejecución de sprints



8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo del sistema SIGEME (Sistema de Gestión de Medidas) permitió validar la viabilidad técnica y operativa de una solución orientada a mejorar los procesos de recolección, validación y análisis de datos energéticos en tiempo real en el sector eléctrico colombiano. Los resultados obtenidos se presentan a continuación, acompañados de una discusión crítica que permite evaluar el cumplimiento de los objetivos planteados, así como las fortalezas, limitaciones y oportunidades de mejora del sistema.

La discusión de los resultados se apoya en estudios previos y en el marco regulatorio vigente, destacando la alineación del sistema con las resoluciones CREG 038 de 2014, CREG 174 de 2021 y el Acuerdo CNO 1043 de 2018. Asimismo, se identificaron fortalezas como la escalabilidad del sistema, su capacidad de integración con plataformas externas y la seguridad en el manejo de datos. Las limitaciones se relacionan con la interoperabilidad con sistemas heredados y la cobertura de pruebas de accesibilidad, mientras que las restricciones están asociadas a la infraestructura tecnológica disponible y a los requisitos regulatorios en constante evolución.

8.1. REQUISITOS FUNCIONALES Y NO FUNCIONALES

La definición de los requisitos funcionales y no funcionales del sistema SIGEME (Sistema de Gestión de Medidas) se fundamenta en la necesidad de mejorar los procesos de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

recolección, validación y análisis de datos energéticos en tiempo real, en el marco de las operaciones del Administrador del Sistema Interconectado Nacional (ASIC). Esta necesidad responde a los desafíos actuales del sector eléctrico colombiano, caracterizado por una creciente demanda energética, la integración de fuentes renovables y la necesidad de una gestión más eficiente y segura de la información técnica del sistema.

Los requisitos funcionales fueron identificados mediante técnicas de ingeniería de software con enfoque ágil, particularmente el uso de historias de usuario, mockups de alta fidelidad y sesiones de validación con actores clave del ASIC. Estas técnicas permitieron capturar de manera precisa las funcionalidades esperadas por los usuarios, garantizando que el sistema responda a las necesidades operativas reales del entorno eléctrico.

Por otro lado, los requisitos no funcionales se definieron con base en atributos de calidad establecidos por la norma ISO/IEC 25010, tales como seguridad, usabilidad, rendimiento y escalabilidad.

Tabla 8 Requisitos funcionales y no funcionales del sistema

<i>Id</i>	<i>Requisito</i>	<i>Tipo</i>	<i>Prioridad</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Funcionalidades</i>
<i>RF-001</i>	Autenticación de usuarios	Funcional	Alta	Identificar al usuario y restringir el acceso a usuarios no autorizados.	Iniciar sesión, crear usuario, recuperar contraseña.
<i>RF-002</i>	Segmentación de permisos	Funcional	Alta	Asignar el nivel de acceso requerido por el usuario de acuerdo con sus funciones	Crear, consultar, actualizar y eliminar roles y permisos, así como las relaciones entre ellos.
<i>RF-003</i>	Gestión de clientes	Funcional	Media	Gestionar los clientes y las cargas de información de medidas que pueden realizar.	Crear, consultar, actualizar y eliminar los clientes y las cargas de información permitidas al cliente.
<i>RF-004</i>	Gestión de medidas	Funcional	Media	Gestionar las medidas que pueden ser reportadas al sistema	Crear, consultar, actualizar y eliminar las medidas que pueden ser reportadas al sistema, así como los atributos de esta medida.
<i>RF-005</i>	Carga de información	Funcional	Media	Permitir la carga de información y visualización de estado de la carga parte de clientes.	Carga de información por medio de archivo JSON a través de la aplicación web y la visualización de los resultados de las cargas realizadas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO			Código	FDE 089
				Versión	04
				Fecha	24-02-2020

RNF-001	Escalabilidad del sistema	No Funcional	Alta	Garantizar el crecimiento tanto de usuarios como de los volúmenes de información reportada.	La arquitectura debe contemplar la capacidad de escalar vertical y horizontalmente de acuerdo con las necesidades del sistema.
RNF-002	Integridad de la información	No funcional	Alta	Garantizar la integridad de la información recibida.	Encriptación, navegación segura HTTPS y autenticación multifactorial.
RNF-003	Usabilidad	No funcional	Media	Garantizar que la navegación para los usuarios sea sencilla e intuitiva.	Validación con usuarios, encuestas previas y posteriores sobre los entregables, validación con herramientas automáticas.
RNF-004	Tiempos de respuesta	No funcional	Alta	Optimizar los procesos del sistema	Implementación de estrategias de paralelismo, asincronismo y buenas prácticas buscando la optimización y escalabilidad del sistema.

La pertinencia de estos requisitos se sustenta en el marco regulatorio colombiano, particularmente en las resoluciones CREG 038 de 2014 (CREG, Resolución 38 de 2014 CREG, 2014), CREG 174 de 2021 (CREG, Resolución 174 de 2021 CREG, 2021), y el Acuerdo CNO 1043 de 2018 (CNO, 2018). Estas normativas establecen lineamientos técnicos para la medición, transmisión y protección de datos energéticos, exigiendo la implementación de sistemas seguros, auditables y escalables para la gestión de medidas eléctricas.

Asimismo, investigaciones recientes destacan la importancia de integrar tecnologías como IoT, Big Data y sistemas distribuidos en la gestión energética. (Erol-Kantarci, 2015) señalan que la eficiencia en la infraestructura de comunicación y el procesamiento de datos es clave para la evolución hacia redes inteligentes. De igual forma, (Abir, 2021) destacan que los sistemas habilitados por IoT permiten una recolección más precisa y en tiempo real, lo cual es esencial para la toma de decisiones estratégicas en el sector eléctrico.

8.1.1. ÉPICAS

La Tabla 9 presenta la épica funcional que agrupa un conjunto de historias de usuario relacionadas con un objetivo común dentro del sistema. La épica define una necesidad de alto nivel desde la perspectiva del usuario o del negocio, y sirve como punto de partida para la planificación, priorización y desarrollo de funcionalidades específicas. A partir de esta

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

épica se derivan múltiples historias de usuario que detallan los requerimientos funcionales necesarios para su implementación.

Tabla 9 Épicas funcionales para el desarrollo del sistema

ID	Título	Descripción	Criterios
Epic-001	Definición y administración de roles en el sistema	Como administrador del sistema, quiero poder definir, asignar y gestionar roles de usuario, para que se garantice un control de acceso adecuado, seguro y alineado con las responsabilidades de cada perfil dentro de la plataforma.	Se debe poder crear, editar y eliminar roles personalizados. Cada rol debe tener permisos claramente definidos sobre las funcionalidades del sistema. El sistema debe validar los permisos antes de permitir el acceso a funcionalidades restringidas. Roles predefinidos en el sistema: Administrador = Acceso total al sistema, permisos de visualización, modificación y eliminación de roles existentes Analista: Accesos de consultas información reportada por CGMs. CGM: Accesos para poder registrar y cargar información.
Epic-002	Servicio web para reporte de medidas	Como usuario del sistema (interno o externo), quiero acceder a un servicio web que me permita consultar y reportar medidas, para que pueda compartir información actualizada de manera eficiente y segura desde diferentes plataformas.	El servicio debe exponer una API REST segura y documentada. Debe incluir autenticación y autorización para garantizar el acceso controlado a los datos. El sistema debe registrar logs de acceso y uso del servicio para auditoría. La respuesta del servicio debe ser rápida y manejar adecuadamente errores o datos faltantes.
Epic-003	Informe de medidas reportadas	Como analista o usuario autorizado del sistema, quiero generar informes detallados de las medidas que han sido reportadas, para que pueda visualizar tendencias, evaluar el cumplimiento de objetivos y tomar decisiones basadas en datos confiables.	El sistema debe permitir la generación de informes por rangos de fechas, tipos de medida y otras variables relevantes. Los informes deben poder visualizarse en pantalla y exportarse en formatos como PDF y Excel. El informe debe incluir metadatos como fecha de generación, usuario que lo solicitó y filtros aplicados. Los informes deben estar disponibles solo para usuarios con los permisos adecuados.
Epic-004	Integraciones	Como responsable técnico o administrador del sistema, quiero que el sistema pueda integrarse con plataformas y servicios externos, para que se facilite el intercambio de información, se optimicen procesos y se mejore la interoperabilidad con otras herramientas utilizadas por la organización.	El sistema debe permitir la configuración de integraciones con servicios externos mediante Apis. Las integraciones deben ser seguras, utilizando mecanismos de autenticación como OAuth2 o API Keys. Las integraciones deben registrar logs de actividad para auditoría y trazabilidad. El sistema debe manejar errores de integración de forma clara y notificar a los usuarios responsables. Las integraciones

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

			deben ser documentadas y fácilmente escalables para futuras conexiones.
Epic-005	Gestión de usuarios y autenticación	Permitir el acceso seguro y controlado al sistema mediante autenticación, recuperación de credenciales y administración de usuarios.	
Epic-006	Administración de clientes	Gestionar la información de los clientes que interactúan con el sistema, incluyendo sus permisos y datos asociados.	
Epic-007	Monitoreo de cargas y validación de datos	Brindar trazabilidad y control sobre las cargas de información realizadas por los usuarios, incluyendo validación estructural y de negocio.	
Epic-008	Escalabilidad y rendimiento del sistema	Asegurar que el sistema pueda crecer en usuarios y volumen de datos sin afectar su desempeño.	

8.1.2. HISTORIAS DE USUARIO

La Tabla 10 presenta un listado detallado de las historias de usuario que sirvieron como base para el desarrollo del proyecto. Cada historia incluye una descripción clara de la funcionalidad esperada, así como los criterios de aceptación correspondientes, los cuales permiten verificar el cumplimiento de los requisitos definidos y asegurar que el sistema responda adecuadamente a las necesidades del usuario final.

Tabla 10 Historias de usuario definidas para el desarrollo del sistema

ID	Título	Descripción	Criterios
HU-001	Consultar roles	Como administrador del sistema, quiero visualizar una tabla con todos los roles registrados, para verificar los permisos asignados y realizar ajustes si es necesario.	Interfaz de gestión: Se debe implementar una ventana o sección denominada "Gestión de roles", accesible desde el menú de administración del sistema. Visualización de roles: La pantalla debe mostrar una lista tabular con los roles existentes en el sistema. Cada fila debe incluir los siguientes campos: ID del rol Nombre del rol Descripción del rol Cantidad de usuarios asignados al rol Comportamiento ante la consulta: Si existen roles registrados, se deben mostrar directamente en la tabla sin generar notificaciones adicionales. Si no existen roles registrados, se debe mostrar una notificación de alerta indicando que no hay roles

			<p>disponibles. Si ocurre un error durante la consulta, se debe mostrar una notificación de error con un ícono representativo y un mensaje que describa la causa del error (por ejemplo, "Error al conectar con la base de datos").</p>
HU-002	<p>Configurar permisos por roles</p>	<p>Como administrador del sistema, quiero visualizar una tabla con todos los roles registrados, para verificar los permisos asignados y realizar ajustes si es necesario.</p>	<p>Acceso a la edición de roles: Desde la ventana de Gestión de roles, el sistema debe permitir seleccionar un rol específico y acceder a la opción "Editar", habilitando la modificación de sus permisos. Visualización y selección de permisos: Al ingresar a la pantalla de edición, se debe mostrar: Una lista de los permisos actualmente asignados al rol. Un listado de permisos disponibles para ser asignados, organizados por módulos o categorías funcionales. Controles de selección (checkboxes, switches, etc.) para agregar o quitar permisos. Restricción de permisos críticos: El sistema debe restringir la asignación de permisos de administración o control total a roles distintos del rol "Administrador". Si se intenta asignar estos permisos a otro rol, se debe bloquear la acción y mostrar una notificación explicativa. Confirmación de cambios: Al guardar las modificaciones: Si la operación es exitosa, el sistema debe mostrar una notificación de éxito indicando que los permisos fueron actualizados correctamente. Si ocurre un error (por ejemplo, fallo en la conexión o validación), se debe mostrar una notificación de error con un mensaje descriptivo del problema. Persistencia y validación: Los cambios realizados deben almacenarse correctamente en la base de datos y reflejarse en el comportamiento del sistema según los permisos asignados.</p>
HU-003	<p>Actualización de variables de plazos</p>	<p>Como usuario administrador del sistema, quiero poder modificar los valores de las variables asociadas a los plazos de los procesos, para asegurar que el sistema refleje correctamente los tiempos establecidos por la normativa o las políticas internas.</p>	<p>Interfaz de gestión: Se debe implementar una ventana denominada "Gestión de variables del sistema", accesible desde el panel de administración. Visualización de variables: La pantalla debe mostrar una lista completa de las variables existentes en el sistema. Cada registro debe incluir los siguientes campos: ID de la variable Nombre de la variable Valor actual Descripción Edición de variables: El usuario debe poder seleccionar una variable específica y modificar únicamente el campo correspondiente al valor. Confirmación de cambios: Antes de guardar cualquier</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

			<p>modificación, el sistema debe solicitar una confirmación explícita por parte del usuario (por ejemplo, mediante un cuadro de diálogo de confirmación). Notificación de resultados: Si la actualización se realiza correctamente, el sistema debe mostrar una notificación de éxito y actualizar automáticamente la lista de variables para reflejar el nuevo valor. Si ocurre un error durante el proceso de actualización, se debe mostrar una notificación de error con un mensaje descriptivo que indique la causa del fallo.</p>
HU-004	<p>Formulario para reporte de medidas</p>	<p>Como usuario autorizado del sistema, quiero registrar medidas a través de un formulario estructurado, para documentar y reportar datos relevantes de forma precisa y organizada.</p>	<p>Acceso a la funcionalidad: Se debe implementar una ventana denominada "Reporte de Medidas", accesible únicamente para los usuarios con perfil CGM (Coordinador de Gestión de Medidas). Estructura del formulario: El formulario debe incluir los siguientes campos obligatorios: Fecha de operación: campo de tipo fecha, con calendario desplegable. # Frontera: campo de selección tipo lista desplegable con las fronteras disponibles. Tipo de medidor: opción de selección entre: Principal Alterno Valor: campo numérico para ingresar el valor de la medida. Acciones del formulario: El formulario debe incluir un botón "Guardar" para registrar la información ingresada. Al guardar: Si la operación es exitosa, se debe mostrar una notificación de confirmación. Si ocurre un error, se debe mostrar una notificación de error con el detalle correspondiente. Flujo posterior al guardado: Una vez guardado el reporte, el sistema debe ofrecer dos opciones al usuario: Generar un nuevo reporte Finalizar la acción y regresar al menú principal o módulo anterior.</p>
HU-005	<p>Cargue de archivo para reporte de medidas</p>	<p>Como usuario CGM autorizado, quiero cargar un archivo con múltiples registros de medidas, para agilizar el proceso de reporte y evitar el ingreso manual de datos.</p>	<p>Acceso a la funcionalidad: Desde la ventana de Reporte de Medidas, los usuarios con perfil CGM deben contar con una opción habilitada para cargar un archivo JSON con múltiples registros de medidas. Validación de campos del archivo: El sistema debe validar que el archivo contenga los siguientes campos obligatorios: Fecha de operación: debe ser un valor de tipo fecha válido. # Frontera: debe coincidir con una frontera registrada en el sistema (validación contra lista). Tipo de medidor: debe ser uno de los valores permitidos: Principal o Alterno. Valor: debe ser un número válido (campo numérico,</p>

HU-006	<p>Consultar reportes de medidas por CGM</p>	<p>Como usuario CGM autorizado, quiero acceder a una vista que me permita consultar los reportes de medidas previamente registrados, para verificar, analizar y dar seguimiento a la información reportada en el sistema.</p>	<p>sin caracteres no permitidos). Proceso de carga: El usuario debe poder seleccionar el archivo desde su dispositivo. El sistema debe validar el formato y contenido del archivo antes de procesarlo. Si el archivo es válido, se debe permitir guardar los registros. Confirmación y flujo posterior: Al guardar los datos correctamente, el sistema debe mostrar una notificación de éxito. Luego, se debe ofrecer al usuario la opción de: Cargar un nuevo archivo Finalizar la acción y regresar al módulo principal Manejo de errores: Si se detectan errores en el archivo (estructura, datos inválidos, campos faltantes), el sistema debe mostrar una notificación de error detallando los problemas encontrados.</p> <p>Interfaz de consulta: El sistema debe contar con una ventana específica denominada "Reportes de Medidas", accesible desde el menú principal para usuarios con perfil CGM. Acceso restringido por usuario: La consulta debe estar limitada exclusivamente a los reportes registrados por el usuario CGM autenticado en el sistema. No se debe permitir la visualización de reportes de otros usuarios. Filtros de búsqueda: La interfaz debe incluir un filtro por rango de fechas, correspondiente al campo Fecha de operación, que permita al usuario delimitar el período de consulta. Visualización de datos: La tabla de resultados debe mostrar los mismos campos definidos en el formulario de reporte de medidas, incluyendo: Fecha de operación Número de frontera Tipo de medidor (Principal/Alternativo) Valor reportado Mensajes del sistema: Si no se encuentran registros que coincidan con los filtros aplicados, se debe mostrar una notificación informativa indicando que no hay datos disponibles. Si ocurre un error durante la consulta, se debe mostrar una notificación de error con el detalle correspondiente.</p>
HU-007	<p>Consulta reporte de medidas vista analista</p>	<p>Como usuario con perfil de Analista, quiero acceder a una vista consolidada de los reportes de medidas registrados por los CGM, para realizar análisis, seguimiento y control de los datos reportados en el sistema.</p>	<p>Interfaz de consulta: El sistema debe contar con una ventana específica denominada "Reportes de Medidas", accesible exclusivamente para usuarios con perfil Analista. Acceso a la información: El usuario con perfil Analista debe tener la capacidad de consultar los reportes generados por todos los usuarios CGM, sin restricciones por</p>

<p><i>HU-008</i></p>	<p>Obtener fronteras activas</p>	<p>Como usuario del sistema con permisos de consulta, quiero obtener un listado actualizado de las fronteras activas, para poder seleccionar únicamente aquellas que están habilitadas para el registro o análisis de medidas.</p>	<p>usuario. Filtros de búsqueda: La interfaz debe incluir los siguientes filtros para facilitar la búsqueda y segmentación de los datos: Fecha de operación: filtro por rango de fechas. CGM reportado: filtro de selección múltiple que permita elegir uno o varios usuarios CGM. Frontera reportada: filtro de selección múltiple para elegir una o varias fronteras. Tipo de medidor: filtro por tipo (Principal o Alterno). Visualización de datos: La tabla de resultados debe mostrar todos los campos definidos en el formulario de reporte de medidas, incluyendo: Fecha de operación Número de frontera Tipo de medidor Valor reportado Usuario CGM que registró el reporte Mensajes del sistema: Si no se encuentran registros que coincidan con los filtros aplicados, se debe mostrar una notificación informativa. Si ocurre un error durante la consulta, se debe mostrar una notificación de error con el mensaje correspondiente.</p> <p>Consulta condicionada por fecha: El sistema debe permitir listar únicamente las fronteras activas correspondientes a una fecha de operación específica indicada por el usuario en el formulario de reporte de medidas. Contexto de uso: La consulta debe devolver únicamente las fronteras cuyo estado sea "activo". La lista de fronteras activas debe estar disponible como campo desplegable dentro del formulario de reporte de medidas, facilitando su selección al momento de registrar un nuevo reporte. Filtrado por usuario CGM: Solo se deben mostrar las fronteras activas asociadas al usuario CGM autenticado. El sistema debe validar que las fronteras listadas estén vinculadas al CGM logueado y que estén activas en la fecha seleccionada. Evitar duplicados: La lista de fronteras debe estar libre de duplicados. Cada frontera debe aparecer una sola vez, incluso si está asociada a múltiples configuraciones internas. Manejo de excepciones: Si no existen fronteras activas para la fecha y el CGM indicado, se debe mostrar una notificación informativa. Si ocurre un error durante la consulta, se debe mostrar una notificación de error con el detalle correspondiente.</p>
----------------------	----------------------------------	--	--

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

<i>HU-009</i>	Registro de nuevos usuarios	Como administrador del sistema, quiero registrar nuevos usuarios desde una interfaz dedicada, para facilitar la incorporación de personal autorizado al sistema.	Formulario con campos: nombre, correo, rol, contraseña. Validación de datos obligatorios. Notificación de éxito o error. Asignación automática de rol según selección.
<i>HU-010</i>	Recuperación de contraseña	Como usuario del sistema, quiero recuperar mi contraseña mediante correo electrónico, para poder acceder al sistema en caso de olvido.	Campo para ingresar correo registrado. Envío de enlace de recuperación. Validación de token y nueva contraseña. Notificación de éxito o error.
<i>HU-011</i>	Gestión de clientes	Como administrador del sistema, quiero crear y administrar clientes del sistema, para controlar quién puede cargar información de medidas.	Formulario para registrar cliente con datos básicos. Asociación de clientes con fronteras y CGMs. Visualización, edición y eliminación de clientes. Validación de duplicados y campos obligatorios.
<i>HU-012</i>	Visualización del estado de carga	Como usuario CGM, quiero visualizar el estado de las cargas realizadas, para verificar si fueron exitosas, rechazadas o están en proceso.	Tabla con columnas: fecha, archivo, estado, número de registros. Filtros por fecha y estado. Notificación si no hay registros. Detalle de errores en cargas fallidas.
<i>HU-013</i>	Validación de integridad de datos	Como analista del sistema, quiero verificar la integridad de los datos cargados, para asegurar que no han sido alterados y cumplen con los estándares.	Validación automática de estructura y contenido. Registro de logs de validación. Notificación de inconsistencias. Visualización de medidas rechazadas con motivo.
<i>HU-014</i>	Escalabilidad del sistema	Como responsable técnico, quiero monitorear el rendimiento del sistema ante aumento de usuarios y datos, para garantizar su estabilidad y escalabilidad.	Métricas de uso y carga del sistema. Alertas ante sobrecarga. Simulación de escenarios de crecimiento. Reportes de rendimiento.

Esta tabla presenta las historias de usuario identificadas durante la fase de elicitación de requisitos. Cada historia incluye una descripción funcional y sus respectivos criterios de aceptación, los cuales permiten validar el cumplimiento de los objetivos planteados desde la perspectiva del usuario final.

8.1.3. CASOS DE PRUEBAS

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Para garantizar la calidad del sistema SIGEME y el cumplimiento de los requisitos funcionales y no funcionales definidos, la tabla 11 presenta los casos de pruebas cruciales en el cumplimiento de las necesidades definidas. Este enfoque permitió asegurar que cada funcionalidad desarrollada cuenta con pruebas específicas que validan su correcto funcionamiento.

Tabla 11 Casos de pruebas definidas para el desarrollo del sistema

<i>ID</i>	<i>Título</i>	<i>Sprint</i>
CP001	CP001 - Verificar el procesamiento de un archivo adjunto sin datos - tipos de archivos de reporte de medidas que se pueden adjuntar.	SIGEME\Sprint 3
CP002	CP002 - Registro exitoso de usuario	SIGEME\Sprint 2
CP003	CP003 - Registro de usuario con correo inválido	SIGEME\Sprint 2
CP004	CP004 - Recuperación de contraseña exitosa	SIGEME\Sprint 2
CP005	CP005 - Registro de cliente con datos completos	SIGEME\Sprint 5
CP006	CP006 - Registro de cliente duplicado	SIGEME\Sprint 5
CP007	CP007 - Carga de archivo JSON válida	SIGEME\Sprint 3
CP008	CP008 - Carga de archivo con errores de formato	SIGEME\Sprint 3
CP009	CP009 - Consulta de medidas por CGM	SIGEME\Sprint 4
CP010	CP010 - Consulta consolidada por analista	SIGEME\Sprint 4
CP011	CP011 - Validación de integridad de datos	SIGEME\Sprint 5
CP012	CP012 - Simulación de carga alta	SIGEME\Sprint 6
CP013	CP013 - Consulta de fronteras activas por fecha	SIGEME\Sprint 4
CP014	CP014 - Edición de cliente existente	SIGEME\Sprint 5
CP015	CP015 - Eliminación de cliente	SIGEME\Sprint 5
CP016	CP016 - Consulta de reportes sin resultados	SIGEME\Sprint 4
CP017	CP017 - Asignación de permisos a rol	SIGEME\Sprint 1
CP018	CP018 - Consulta de métricas de rendimiento	SIGEME\Sprint 6
CP019	CP019 - Validación de campos obligatorios en formulario de medidas	SIGEME\Sprint 3
CP020	CP020 - Acceso restringido por rol	SIGEME\Sprint 1

Esta tabla presenta los casos de pruebas identificadas durante la fase de refinamiento de los requisitos. Cada caso incluye los pasos requeridos para su certificación descritos en lenguaje Gherkin como medio de comunicación para facilitar la interacción entre los perfiles técnicos y funcionales.

8.1.4. MOCKUPS

Este conjunto de mockups representa la interfaz propuesta para el sistema de gestión y reporte de medidas. El propósito principal es ofrecer una experiencia de usuario clara, intuitiva y funcional, que facilite la interacción eficiente con el sistema. Las pantallas diseñadas abarcan funcionalidades clave, tales como la administración de roles, la generación de informes, la integración con servicios externos y el acceso a servicios web.

Cada sección ha sido concebida para reflejar los flujos reales de uso, considerando tanto las necesidades del usuario final como los requerimientos técnicos del proyecto. La disposición de los elementos visuales, la jerarquía de la información y la organización de los componentes están orientadas a optimizar la navegación y mejorar la usabilidad general del sistema.

Ilustración 6 Gestión de roles



Ilustración 7 Configuración de permisos por rol



Sistema gestión de medidas | Roles | Gestión de variables | Reporte de medidas | Reportes

Gestión de roles

Roles

Configuración de permisos

Configuración de permisos del rol

Nombre	# Usuarios	Descripción del rol
Consulta	13	Permite al usuario poder navegar en la aplicación sin ejecutar ninguna acción.

Consultar
 Eliminar
 Actualizar
 Cargar

Cancelar Guardar

Ilustración 8 Gestión de variables



Sistema gestión de medidas | Roles | Gestión de variables | Reporte de medidas | Reportes

Gestión de variables

Roles

Configuración de variable

Variables

Nombre	Valor	Descripción	Acción
Plazo de reporte	20/05/2025	Fecha máxima disponible para el reporte	Editar
Tamaño json	20	Permite al usuario poder navegar en la aplicación sin ejecutar ninguna acción.	Editar

Añadir

Ilustración 9 Formulario de reporte medidas

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020


Sistema gestión de medidas

[Roles](#)
[Gestión de variables](#)
[Reporte de medidas](#)
[Reportes](#)


Reporte de medidas

Formulario

Cargar reporte

Formulario reporte de lecturas

Fecha de Operación

Frontera

Tipo medidor

Valor lectura

Cancelar
Guardar

Ilustración 10 Carga de archivos para reporte de medidas


Sistema gestión de medidas

[Roles](#)
[Gestión de variables](#)
[Reporte de medidas](#)
[Reportes](#)


Reporte de medidas

Formulario

Cargar reporte

Carga de reporte

Reporte de lectura por medio de carga de archivo



Arrastrar archivo a esta zona
ó

Seleccionar archivo...

Cargar

Ilustración 11 Reportaría de medidas vista Analista

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Notificación



Se almaceno con éxito la modificación de la información.

Cerrar

Notificación



Se produjo un error al almacenar la información.

Error

Cerrar

Notificación



Lectura almacenada con éxito.

Desea reportar una nueva medida?

No

Si

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

8.2. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

El desarrollo del sistema SIGEME (Sistema de Gestión de Medidas) se orientó a la construcción de una solución tecnológica capaz de mejorar los procesos de recolección, validación y análisis de datos energéticos en tiempo real, en el contexto operativo del Administrador del Sistema Interconectado Nacional (ASIC). Los resultados obtenidos reflejan el cumplimiento de los objetivos planteados, tanto en términos funcionales como en atributos de calidad, y evidencian el impacto positivo de la solución en la eficiencia operativa del sistema eléctrico colombiano.

La solución fue diseñada bajo una arquitectura modular basada en microservicios, lo que permitió garantizar escalabilidad, mantenibilidad y facilidad de integración con sistemas externos. Se emplearon tecnologías como contenedores Docker, servicios RESTful, y bases de datos relacionales para asegurar la interoperabilidad y el rendimiento del sistema. Esta arquitectura responde a las recomendaciones de diseño para sistemas distribuidos en entornos críticos, como lo señalan (Pesado, 2012).

El sistema contempla funcionalidades clave como:

- Autenticación y control de acceso mediante roles definidos (Administrador, Analista, CGM), con autenticación multifactorial y navegación segura (HTTPS).
- Gestión de clientes y medidas, con validación estructural y de negocio conforme a los lineamientos del CNO (CNO, 2018).
- Carga de información por archivo JSON, con retroalimentación automática sobre el estado de la carga.
- Visualización de reportes y generación de informes, con filtros por fechas, fronteras y usuarios.

8.2.1. DIAGRAMA Y FLUJO DE CONTEXTO

El proceso de validación de medidas dentro del sistema propuesto se estructura en dos etapas principales que garantizan la integridad, consistencia y trazabilidad de la información desde su ingreso hasta su consolidación en los sistemas internos del ASIC.

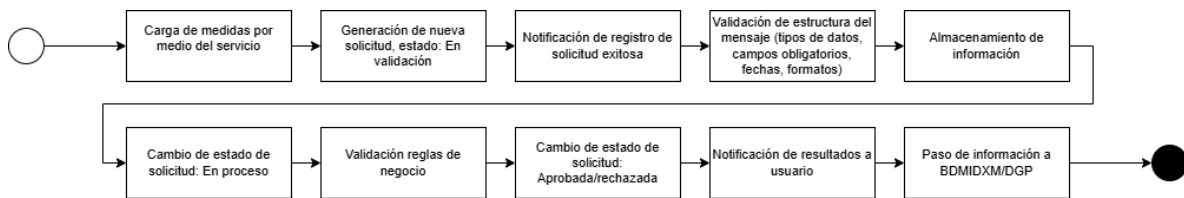
En la primera etapa, el usuario realiza la carga de medidas a través de un servicio web. Esta acción genera una nueva solicitud con estado inicial “En validación”, y se notifica al usuario

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

el registro exitoso de dicha solicitud. Posteriormente, el sistema ejecuta una validación estructural del mensaje, verificando aspectos como tipos de datos, campos obligatorios, formatos y fechas. Si la estructura es válida, la información es almacenada temporalmente para su posterior procesamiento.

La segunda etapa inicia con el cambio de estado de la solicitud a “En proceso”, seguido por la validación de reglas de negocio, las cuales determinan si la medida cumple con los criterios definidos por el ASIC. Según el resultado, la solicitud cambia su estado a “Aprobada” o “Rechazada”, y se emite una notificación al usuario con los resultados. Finalmente, la información validada es transferida a los sistemas internos BDMIDXM/DGP, asegurando su integración con las plataformas de análisis y gestión de datos del operador. Este flujo garantiza un tratamiento automatizado, seguro y auditable de las medidas energéticas, alineado con los requerimientos regulatorios y operativos del sector eléctrico colombiano.

Ilustración 14 Flujo de sistema



8.2.2. DIAGRAMA COMPONENTES

El diagrama de componentes presenta la arquitectura propuesta para el sistema SIGEME, diseñada bajo principios de modularidad, escalabilidad y seguridad, en cumplimiento con los lineamientos regulatorios y las mejores prácticas en ingeniería de software. Esta arquitectura integra componentes distribuidos en entornos Azure XM y On-Premise XM, garantizando interoperabilidad y alta disponibilidad para la gestión de medidas energéticas.

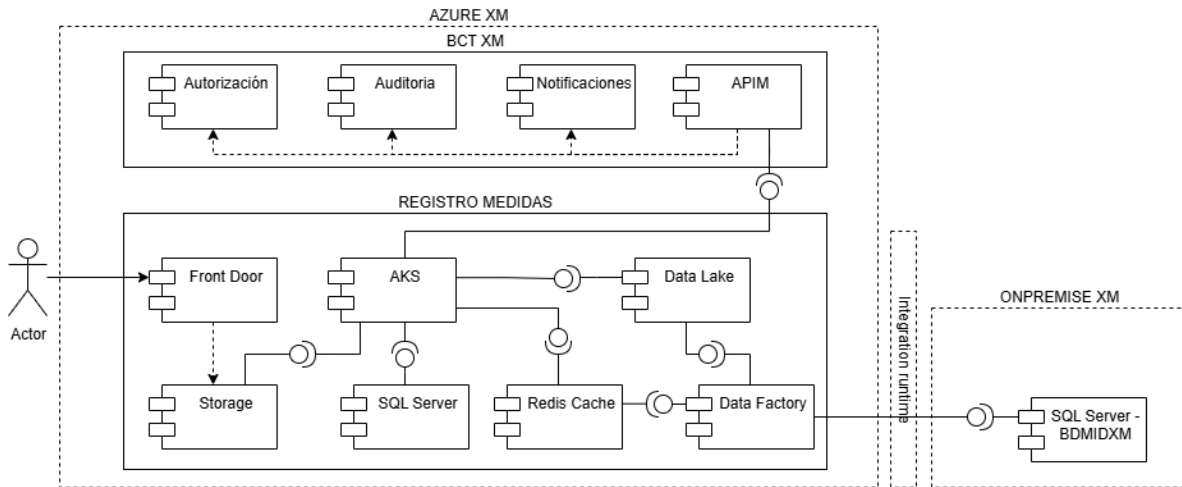
Componentes Principales:

- Actor: Representa al usuario que interactúa con el sistema a través de la interfaz web. El acceso se gestiona mediante el componente Front Door, que actúa como punto de entrada seguro, implementando políticas de autenticación y control de tráfico.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Registro de Medidas: Este bloque central agrupa los servicios responsables de la recepción, validación y almacenamiento de datos energéticos:
 - Front Door: Controla el acceso inicial y distribuye las solicitudes hacia los servicios internos.
 - AKS (Azure Kubernetes Service): Orquesta los contenedores que ejecutan los microservicios del sistema, asegurando escalabilidad horizontal.
 - Storage: Almacena archivos cargados por los usuarios, como reportes en formato JSON.
 - SQL Server: Gestiona la base de datos relacional para la persistencia de información estructurada.
 - Redis Cache: Optimiza el rendimiento mediante almacenamiento en memoria para consultas frecuentes.
 - Data Lake: Permite el almacenamiento masivo de datos no estructurados, facilitando análisis posteriores.
 - Data Factory: Orquesta procesos ETL (Extract, Transform, Load) para integrar datos entre sistemas internos y externos.
- Azure XM – BCT XM: Incluye servicios transversales que fortalecen la seguridad y trazabilidad:
 - Autorización: Control granular de permisos basado en roles.
 - Auditoría: Registro de eventos para garantizar trazabilidad y cumplimiento normativo.
 - Notificaciones: Gestión de alertas y mensajes hacia los usuarios.
 - APIM (API Management): Expone y asegura las Apis del sistema, facilitando la integración con aplicaciones externas.
- On-Premise XM: Contiene el SQL Server – BDMIDXM, encargado de la integración con sistemas internos del ASIC. Este componente asegura la transferencia segura de datos validados hacia las plataformas de análisis y gestión del operador.

Ilustración 15 Diagrama de componentes



Esta arquitectura responde a los principios de sistemas distribuidos y escalables, recomendados para entornos críticos como el sector eléctrico (Pesado, 2012). La combinación de servicios en la nube y on-premise asegura flexibilidad, resiliencia y cumplimiento normativo, alineándose con las exigencias de la CREG y el CNO (CREG, Resolución 38 de 2014 CREG, 2014) (CNO, 2018). Además, la integración de mecanismos de auditoría y control de acceso fortalece la seguridad, en concordancia con estándares internacionales (ISO/IEC, 2011).

8.2.3. DEFINICIÓN DE ARQUITECTURA OBJETIVO

La arquitectura ilustra la arquitectura objetivo-definida para el sistema SIGEME, concebida para garantizar el cumplimiento del alcance y los objetivos planteados en el proyecto: mejorar los tiempos de recolección y validación de datos energéticos, asegurar la integridad de la información y permitir la escalabilidad del sistema en entornos críticos del sector eléctrico colombiano.

El diseño se fundamenta en una arquitectura híbrida y orientada a servicios, que integra componentes distribuidos en la nube (Azure XM) y en infraestructura local (On-Premise XM). Esta estructura responde a los requerimientos funcionales y no funcionales definidos en la fase de análisis, asegurando interoperabilidad, seguridad y rendimiento.

Componentes Principales

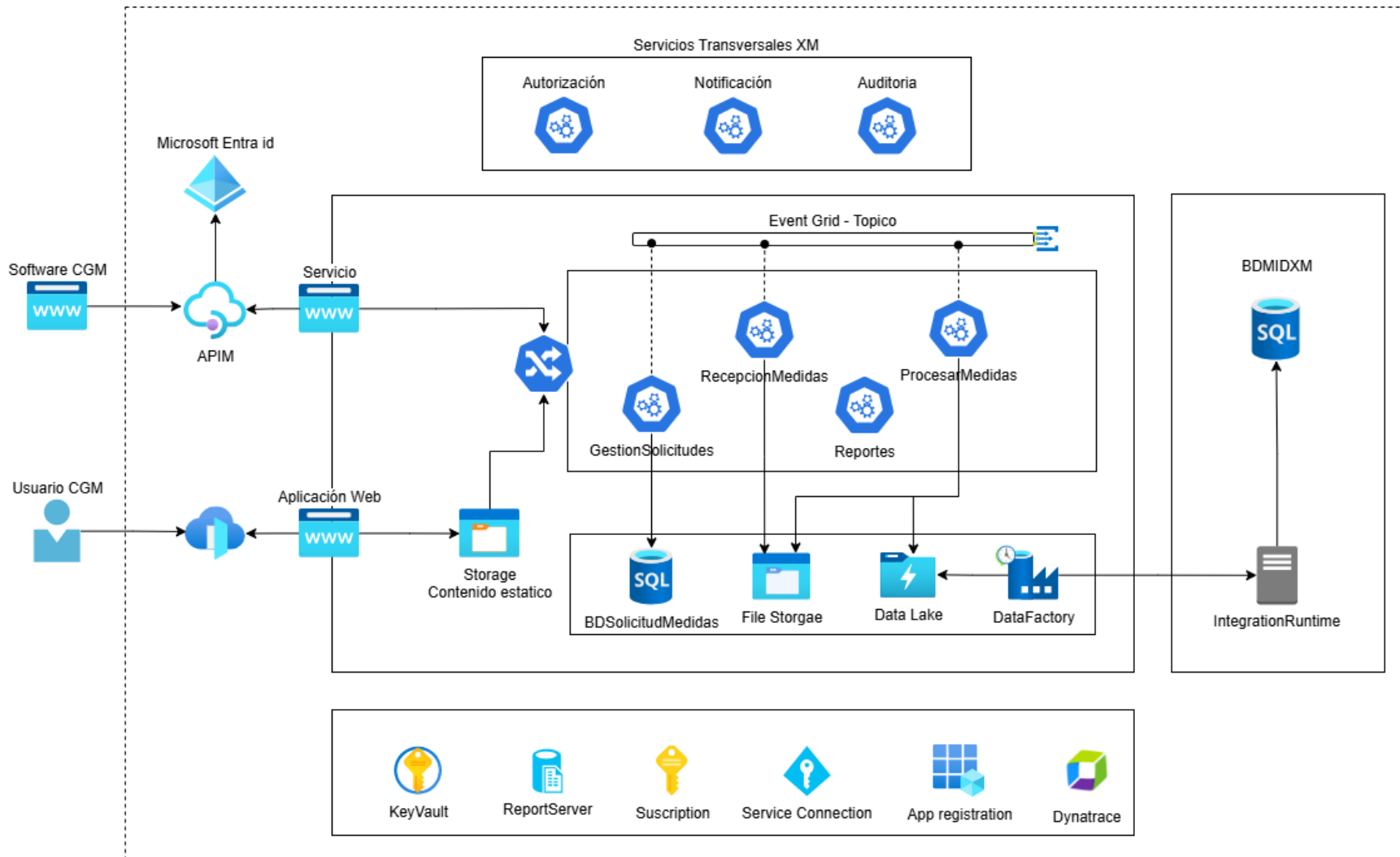
- Interfaz de Usuario y Acceso Seguro: El acceso al sistema se gestiona mediante un API Gateway XM, que actúa como punto de entrada seguro para usuarios CGM y aplicaciones externas. Este componente implementa políticas de autenticación y

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

autorización basadas en Microsoft Entra ID y App Registration, garantizando el control granular de permisos y la protección contra accesos no autorizados.

- Servicios de Negocio: El núcleo funcional se organiza en torno al Servicio Medidas, que interactúa con microservicios especializados para:
 - Gestión de Solicitudes: Control de cargas de información y validación inicial.
 - Recepción y Procesamiento de Medidas: Aplicación de reglas de negocio y validación estructural.
 - Generación de Reportes: Consolidación de datos para análisis y visualización.
Estos servicios se comunican mediante un Service Bus con tópicos, lo que permite desacoplar procesos y garantizar escalabilidad horizontal.
- Almacenamiento y Procesamiento de Datos: La arquitectura incorpora múltiples capas de almacenamiento:
 - BDSolicitudMedidas (SQL Server) para datos estructurados.
 - File Storage y Data Lake para archivos y datos masivos.
 - Data Factory para orquestación de procesos ETL, asegurando integración con el SQL Server BDMIDXM en el entorno On-Premise.
- Servicios Transversales: El bloque de Integraciones XM incluye funcionalidades críticas como Autorización, Auditoría y Notificación, expuestas mediante APIM (API Management). Estos servicios garantizan trazabilidad, seguridad y comunicación efectiva, cumpliendo con los lineamientos regulatorios establecidos por la CREG y el CNO.

Ilustración 16 Arquitectura objetivo



	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

La arquitectura objetivo asegura:

- Cumplimiento del alcance funcional: mediante la implementación de módulos para autenticación, gestión de medidas y generación de reportes.
- Escalabilidad y rendimiento: gracias al uso de contenedores orquestados y colas de mensajería.
- Integridad y seguridad de la información: mediante encriptación, auditoría y control de acceso.
- Interoperabilidad: con sistemas internos del ASIC a través de procesos ETL y Apis seguras.

Este diseño se alinea con las mejores prácticas en sistemas distribuidos y entornos críticos (Pesado, 2012), así como con las exigencias normativas del sector eléctrico colombiano (CREG, Resolución 38 de 2014 CREG, 2014) (CNO, 2018).

8.3. PROTOTIPO FUNCIONAL

El desarrollo del prototipo funcional del sistema SIGEME constituye un hito esencial en la validación de la solución tecnológica propuesta, ya que permite comprobar la implementación de los requerimientos definidos y evaluar su alineación con las necesidades operativas del Administrador del Sistema Interconectado Nacional (ASIC). Este prototipo se construyó de manera iterativa e incremental bajo el marco de trabajo ágil Scrum, utilizando como insumos las épicas funcionales, historias de usuario y mockups de alta fidelidad.

8.3.1. DISEÑO Y ALCANCE DEL PROTOTIPO

Las épicas definidas agruparon funcionalidades clave del sistema, tales como:

- Gestión de roles y permisos.
- Reporte y consulta de medidas energéticas.
- Integración con servicios externos.
- Administración de clientes y usuarios.

Cada épica se descompuso en historias de usuario que detallaron las acciones esperadas por los distintos perfiles del sistema (Administrador, Analista y CGM), asegurando trazabilidad entre los requerimientos y las funcionalidades implementadas. Las interfaces gráficas se diseñaron con base en los mockups validados previamente, garantizando una

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

experiencia de usuario coherente e intuitiva. Las pantallas desarrolladas abarcaron módulos como autenticación, carga y validación de medidas mediante archivos JSON, visualización de reportes con filtros dinámicos y administración de entidades del sistema.

8.3.2. COMPONENTES DEL PROTOTIPO

El prototipo se compone de cuatro módulos principales, cada uno implementado en un repositorio independiente, lo que asegura modularidad, escalabilidad y facilidad de mantenimiento:

- API Seguridad: Propósito: Garantiza la seguridad y el acceso controlado a los recursos del sistema.

Tecnologías utilizadas:

- ASP.NET Core: Framework para la construcción de servicios RESTful robustos y escalables.
- JWT (JSON Web Tokens): Tecnología para la autenticación segura basada en tokens, que permite sesiones confiables y protección contra accesos no autorizados.
- Entity Framework Core: Herramienta para la gestión de persistencia y acceso a datos, facilitando la interacción con la base de datos mediante un enfoque orientado a objetos.
- SQL Server: Motor de base de datos relacional utilizado para almacenar información crítica relacionada con usuarios, roles y permisos.

- API WEB SIGEME: Actúa como capa intermedia entre el frontend y los servicios internos exponiendo la lógica de negocio mediante servicios web que gestionan medidas, reportes y usuarios. Se utilizaron las siguientes tecnologías:

Tecnologías utilizadas:

- ASP.NET Core Web API: Framework para la creación de endpoints RESTful que facilitan la comunicación entre aplicaciones.
- Swagger/OpenAPI: Herramienta para la documentación y prueba de servicios, asegurando claridad en la definición de contratos de integración.
- AutoMapper: Librería para la transformación eficiente de modelos entre las distintas capas del sistema.
- SQL Server: Motor de base de datos relacional utilizado para la persistencia de información relacionada con medidas, reportes y usuarios.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Microservicio Registro de Medidas: Núcleo funcional del sistema, encargado de la integridad y trazabilidad de los datos para procesar la recepción, validación y persistencia de medidas energéticas en tiempo real. Se utilizaron las siguientes

Tecnologías utilizadas:

- ASP.NET Core: Framework para la implementación de la lógica de negocio y servicios orientados a microservicios.
- Entity Framework Core: Herramienta para la interacción eficiente con la base de datos mediante un enfoque orientado a objetos.
- SQL Server: Motor de base de datos relacional utilizado para el almacenamiento estructurado de las medidas energéticas.
- Service Bus: Tecnología para la orquestación asíncrona de procesos, permitiendo la gestión de eventos y la comunicación entre componentes de manera desacoplada.

- Frontend SIGEME: Proporcionar una interfaz gráfica intuitiva para la interacción de los usuarios con el sistema, permitiendo la carga de medidas, consulta de reportes y administración de entidades. Se utilizaron las siguientes tecnologías:

Tecnologías utilizadas:

- Angular CLI (v20.0.5): Framework para el desarrollo de aplicaciones web tipo SPA (Single Page Application), que asegura rapidez y modularidad.
- TypeScript, HTML5 y CSS3: Lenguajes y estándares para la construcción de la capa de presentación, ofreciendo una interfaz dinámica y adaptable.
- Karma y Jasmine: Herramientas para la ejecución de pruebas unitarias y validación de componentes, asegurando la calidad del código.
- RxJS: Librería para la programación reactiva, utilizada en la gestión de eventos asíncronos y flujos de datos en tiempo real.

8.3.3. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

La validación se realizó mediante sesiones técnicas con la mesa operativa del ASIC, donde se evaluó la conformidad de la arquitectura respecto a los lineamientos regulatorios y objetivos funcionales. Como resultado, se obtuvo la aprobación formal del diseño arquitectónico objetivo y se consolidó la línea base del sistema, documentada mediante actas de validación y acuerdos técnicos (proceso interno de gestión de cambio en XM S.A. E.S.P.).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Ilustración 17 Acta Mesa Arquitectura Empresarial (15/07/2025)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



Esta información pertenece a XM S.A.E.S.P. y es para uso exclusivo del destinatario intencional. Esta comunicación puede contener información reservada o de acceso privilegiado. Si usted ha recibido esta información por error, equivocación u omisión favor notificar en forma inmediata al remitente y eliminar dicha información o mensaje con sus anexos. La utilización, copia, impresión, retención, divulgación, reenvío u cualquier acción tomada sobre este mensaje y sus anexos queda estrictamente prohibida y puede ser sancionada legalmente.

ACTA MESA ARQUITECTURA EMPRESARIAL

FECHA	15/07/2025
Nombre de aplicativo	Proyecto SRM (Sistema Revisor Medidas)
Objetivo de la sesión	<p style="text-align: center;">Cambios en arquitectura, actualización de línea base, inclusión de Redis Cache, ajustes en interoperabilidad y ciberseguridad.</p> <p style="text-align: center;">Descripción del Cambio Presentado</p> <p style="text-align: center;">Se presentó una actualización a la arquitectura previamente aprobada del sistema SRM, incluyendo:</p> <p style="text-align: center;">Inclusión del componente Redis Cache.</p> <p style="text-align: center;">Ajustes en interoperabilidad, conectividad y protocolos.</p> <p style="text-align: center;">Cambios en la fuente de datos.</p> <p style="text-align: center;">Actualización del modelo de datos.</p> <p style="text-align: center;">Inclusión de componentes de seguridad, trazabilidad, autenticación y autorización.</p> <p style="text-align: center;">Validación de formatos de archivo (ZIP y JSON).</p> <p style="text-align: center;">Consideraciones de despliegue en ambientes de calidad y pruebas.</p>
Arquitecto de solución	CARLOS DANIEL PABÓN JAIMES
¿Arquitectura avalada por mesa de arquitectura de aplicaciones?	SI
Por qué? (en caso de no aprobar)	
Artefacto de línea base aprobado	LB_ARQ_SRM_CPABON_20250715.xlsx
Compromisos	
Participantes Equipo Base	<p>ALEJANDRO RUIZ HURTADO (DATOS Y ANALÍTICA)</p> <p>JESUS LEONARDO CASTELLANOS FORERO (DATOS Y ANALÍTICA)</p> <p>SANTIAGO ÁLVAREZ (DESARROLLO DE SOFTWARE E INTEGRACIONES)</p> <p>OLIMPO ÁVILA (CIBERSEGURIDAD)</p> <p>FRANK ALEXIS CÉSPEDES (INFRAESTRUCTURA)</p>

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En síntesis, el prototipo funcional de SIGEME no solo permitió materializar los requerimientos definidos, sino que también sirvió como instrumento de validación ante los actores clave del proyecto, asegurando la viabilidad técnica y operativa de la solución en el contexto del sistema eléctrico colombiano.

9. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

La plataforma SIGEME desarrollada para el Administrador del Sistema Interconectado Nacional (ASIC) permite mejorar los tiempos de recolección y validación de datos energéticos en tiempo real, incrementando la calidad de la información registrada y fortaleciendo la toma de decisiones estratégicas en el sector eléctrico colombiano. Esta afirmación se sustenta en la implementación de una arquitectura modular basada en microservicios, el uso de tecnologías como IoT, almacenamiento distribuido y procesamiento en la nube, así como en los resultados obtenidos durante las pruebas funcionales y de rendimiento. Entre las fortalezas del sistema se destacan su escalabilidad, seguridad y capacidad de integración con plataformas externas. Las limitaciones identificadas incluyen la interoperabilidad con sistemas heredados y la necesidad de mayor cobertura en pruebas de accesibilidad. Las restricciones están asociadas principalmente al marco regulatorio vigente y a la infraestructura tecnológica disponible en el entorno operativo del ASIC.

9.1. CONCLUSIONES

- La identificación de los requerimientos funcionales y no funcionales mediante técnicas ágiles como historias de usuario y mockups permitió construir una solución alineada con las necesidades operativas del ASIC, garantizando las funcionalidades primarias del sistema.
- El análisis de soluciones tecnológicas existentes en el sector eléctrico colombiano facilitó la incorporación de elementos funcionales relevantes, como la validación

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

estructural de datos, la trazabilidad de cargas y la generación de informes, fortaleciendo la propuesta de valor del sistema SIGEME.

- El diseño de la solución web, basado en principios de arquitectura distribuida y modelado orientado a servicios, asegura una implementación progresiva, adaptable y escalable, que responde eficazmente a los desafíos técnicos y normativos del entorno eléctrico colombiano.
- La validación del prototipo funcional mediante pruebas unitarias, de integración, sistema y aceptación, así como la aprobación por parte de la mesa técnica del ASIC, confirma la viabilidad de la solución y su alineación con los requisitos regulatorios, evidenciando una alta confiabilidad en la gestión de medidas energéticas.

9.2. RECOMENDACIONES

- Fortalecer los mecanismos de interoperabilidad con sistemas externos mediante el uso de estándares abiertos y protocolos actualizados, para facilitar la integración con otros actores del sistema eléctrico.
- Ampliar la cobertura de pruebas de seguridad, rendimiento y accesibilidad, incluyendo simulaciones de ataques, pruebas de estrés y validaciones con tecnologías de asistencia.
- Documentar exhaustivamente los procesos de carga, validación y generación de reportes, con el fin de facilitar la capacitación de usuarios y reducir errores operativos.
- Incorporar métricas de uso y satisfacción del usuario en cada sprint, para mejorar la experiencia de usuario y optimizar la evolución del sistema.

9.3. TRABAJO FUTURO

- Integrar tecnologías emergentes como inteligencia artificial para el análisis predictivo de medidas energéticas y blockchain para garantizar la trazabilidad y seguridad de los datos.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Desarrollar módulos de visualización avanzada que permitan análisis geoespacial y temporal de los datos recolectados, facilitando la toma de decisiones estratégicas.
- Evaluar la migración hacia arquitecturas serverless que optimicen los costos operativos y mejoren la escalabilidad del sistema en entornos de alta demanda.
- Extender el alcance del sistema SIGEME hacia otros agentes del mercado eléctrico, como generadores y comercializadores, promoviendo una visión integral de la gestión energética nacional.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

REFERENCIAS

- Abir, S. M. (2021). IoT-Enabled Smart Energy Grid: Applications and Challenges. *IEEE Access*.
- Beedle, M. (2001). *Manifiesto for Agile Software Development*. Obtenido de The Agile Manifesto: <https://agilemanifesto.org/>
- Booch, G. (2005). *The Unified Modeling Language User Guide*. Addison Wesley.
- CNO, C. N. (2018). *Acuerdo 1043 de 2018 CNO*. Obtenido de Gestor Normativo Alejandría 2.0: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/acuerdo_cno_1043_2018.htm
- Cockburn, A. (2006). *Agile Software Development: The Cooperative Game*. 2nd ed. Addison-Wesley.
- Cooper, A. R. (2014). *About Face: The Essentials of Interaction Design*. Wiley.
- CREG, C. D. (2014). *Resolución 38 de 2014 CREG*. Obtenido de Gestor Normativo Alejandría 2.0: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0038_2014.htm
- CREG, C. D. (2021). *Resolución 174 de 2021 CREG*. Obtenido de Gestor Normativo Alejandría 2.0: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0174_2021.htm
- Díaz Ortiz, J. J. (2017). Desarrollo e implementación de un aplicativo web, utilizando la metodología Scrum, para mejorar el proceso de atención al cliente en la empresa Z Aditivos S.A. *AUTONOMA*.
- Díaz-Ramírez, J. &.-R. (2021). Aprendizaje automático y aprendizaje profundo. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*.
- Erol-Kantarci, M. &. (2015). Energy-efficient information and communication infrastructures... *IEEE Communications Surveys & Tutorials*.
- Giral-Ramírez, W. M. (2017). Redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano. *Tecnura*.
- Gómez Degraes, Á. A. (2023). *La teoría del muestreo: ¿en qué consiste?* Obtenido de ISD Fundación: <https://isdfundacion.org/2023/02/17/la-teoria-del-muestreo/>
- Hamdan, A., Sonko, S., Fabuyide, A., Daudu, C. D., & Etukudoh, E. A. (2024). Real-time energy monitoring systems: Technological applications in Canada, USA, and Africa. *WJARR*, 2053–2063.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Hillson, D., & Simon, P. (2012). *Practical Project Risk Management: The ATOM Methodology*. Management Concepts.

ISO. (2018). *ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines*. International Organization for Standardization.

ISO/IEC. (2011). *ISO/IEC 25010: Systems and software engineering...* Obtenido de <https://iso25000.com>

Kumar, B. (2023). *Smart Grid and IoT for Sustainable Smart Cities*. Obtenido de IEEE Smart Grid: <https://smartgrid.ieee.org>

Lanziano Barrera, M. J. (2024). Diseño de un sistema de monitoreo climático inteligente. *UNAD*.

Microsoft. (2025). *ASP.NET Core Documentation*. Obtenido de Microsoft Learn: <https://learn.microsoft.com/es-es/aspnet/core>

Microsoft. (2025). *Azure Service Bus Messaging Documentation*. Obtenido de Microsoft Learn: <https://learn.microsoft.com/es-es/azure/service-bus-messaging>

Microsoft. (2025). *Entity Framework Core Documentation*. Obtenido de Microsoft Learn: <https://learn.microsoft.com/es-es/ef/core>

MinTIC. (2010). *Plan Vive Digital 2014–2018*. Obtenido de Ministerio de Tecnologías de la Información: <https://mintic.gov.co>

Navarro, L. O. (2017). Revisión de las características de sistemas de medición de energía.

OWL, P. (2025). *Lista de referencias APA: Fuentes electrónicas*. Obtenido de Purdue OWL: <https://owl.purdue.edu>

Pesado, P. e. (2012). *Sistemas Distribuidos: Tecnología y Casos de estudio*. SEDICI.

Plancarte, J. F. (2024). Impacto de las TIC en las redes eléctricas modernas. *Transición Energética INEEL*.

PMI. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK® Guide*. Project Management Institute.

Purkait, P., Basu, M., & Nath, S. R. (2024). Renewable Energy Integration to Electric Power Grid: Opportunities, Challenges, and Solutions. *Springer Nature Link*, 37–100.

Quelal Enríquez, D. A. (2019). Desarrollo del sistema académico aplicando ASP.NET Core. *Universidad Técnica del Norte*.

ReactiveX. (2025). *RxJS Documentation*. Obtenido de RxJS.dev: <https://rxjs.dev>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Reyes, J. E. (2022). *La Estadística como una Herramienta en la Metodología Científica*. Dirección de Publicaciones Científicas.

Richards, M. (2016). *Microservices vs. Service-Oriented Architecture*. O'Reilly Media.

Roffet, F. D. (2022). Teoría de la Información y Armonización Multi-sitio de rs-fMRI. *IEEE Xplore*.

Ruiz, M. (2016). Diseño de un sistema híbrido inalámbrico-fibra para transmisión de datos de medidores inteligentes de energía en redes Smart Grid. *ResearchGate*.

Santiso, H. S. (2020). Recolección y análisis de datos en el ámbito de la eficiencia energética. *Memoria Investigaciones En Ingeniería*.

Schwaber, K. &. (2020). *The Scrum Guide*. Obtenido de Scrum.org: <https://scrumguides.org>

Sebastián, C. e. (2024). Optimización energética doméstica: Análisis de consumo y eficiencia con Big Data para ciudades sostenibles. *UNAD*.

SmartBear. (2025). *Swagger/OpenAPI Specification*. Obtenido de Swagger.io: <https://swagger.io/docs>

Suárez Cifuentes, J. F. (2002). Introducción a la teoría de probabilidades. *UNAL*.

Team, A. (2025). *Angular CLI Overview and Command Reference*. Obtenido de Angular.io: <https://angular.io/cli>

Ward, S., & Chapman, C. (2011). *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights*. 2nd ed., Wiley.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ANEXOS

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

FIRMA ESTUDIANTES

CARLOS DANIEL PABÓN JAIMES

JHOJAN DAVID QUEJADA RODRÍGUEZ

KEVIN ALIRIO PEREZ RENGIFO

FIRMA ASESORES

ALICIA OSORIO BUILES

JAIME ANDRÉS GUTIÉRREZ MONSALVE

FECHA ENTREGA: 03/11/2025