



CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN INTERNET DE LAS COSAS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Sistema de monitoreo de consumo eléctrico

Autor:
Ing. Matías Herreros

Director:
Esp. Ing. Hernán San Martín (UNDEF - FIE)

Jurados:
Nombre del jurado 1 (pertenencia)
Nombre del jurado 2 (pertenencia)
Nombre del jurado 3 (pertenencia)

*Este trabajo fue realizado en la ciudad de Campana (Buenos Aires),
entre febrero de 2024 y diciembre de 2024.*



CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN INTERNET DE LAS COSAS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Sistema de monitoreo de consumo eléctrico

Autor:
Ing. Matías Herreros

Director:
Esp. Ing. Hernán San Martín (UNDEF - FIE)

Jurados:
Nombre del jurado 1 (pertenencia)
Nombre del jurado 2 (pertenencia)
Nombre del jurado 3 (pertenencia)

*Este trabajo fue realizado en la ciudad de Campana (Buenos Aires),
entre febrero de 2024 y diciembre de 2024.*

Resumen

El propósito del trabajo es generar un prototipo de un producto que permita, principalmente a usuarios domiciliarios, tener información sobre su consumo de electricidad para poder tomar decisiones inteligentes que apunten a reducir el uso de energía. El objetivo subyacente es asistir a los usuarios en la reducción de costos y generar un impacto positivo en el ambiente. Para alcanzar estos objetivos se implementó un dispositivo que mide variables eléctricas y transmite los datos a un servidor en la nube que los procesa, almacena y luego disponibiliza a través de una plataforma web. Este sistema ofrece a los usuarios una forma práctica de monitorear su consumo.

La memoria incluye detalles sobre la arquitectura del sistema, su implementación y pruebas realizadas, así como los resultados obtenidos. A lo largo del desarrollo del proyecto se aplicaron conocimientos adquiridos en la especialización en Internet de las Cosas, incluyendo diseño de hardware, desarrollo de software y administración de bases de datos.

Resumen

La presente memoria describe el diseño y la implementación del prototipo de un dispositivo que permite medir distintas variables relacionadas al consumo eléctrico. Este sistema transmite los datos a un servidor en la nube que los procesa, almacena y luego disponibiliza a través de una plataforma web. A partir de la información obtenida los usuarios pueden, de una forma práctica, monitorear su consumo.

La memoria incluye detalles sobre la arquitectura del sistema, su implementación y pruebas realizadas, así como los resultados obtenidos. A lo largo del desarrollo del trabajo se aplicaron conocimientos adquiridos durante la carrera de especialización, incluyendo diseño de hardware, desarrollo de software y administración de bases de datos.

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Sistema de monitoreo de consumo eléctrico	1
1.2. Motivación	4
1.3. Objetivos y alcance	5
1.3.1. Objetivos	5
1.3.2. Alcance	5
1.4. Estado del arte	7

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Sistema de monitoreo de consumo eléctrico	1
1.2. Motivación	4
1.3. Objetivos y alcance	5
1.3.1. Objetivos	5
1.3.2. Alcance	5
1.4. Estado del arte	7

Índice de figuras

1.1. Emisiones de CO_2 por la generación de electricidad.	2
1.2. Cambio anual en la demanda de electricidad por región para el período 2019-2025.	2

Índice de figuras

1.1. Emisiones de CO_2 por la generación de electricidad.	2
1.2. Cambio anual en la demanda de electricidad por región para el período 2019-2025.	3

Índice de tablas

Índice de tablas

1.1. Productos actuales en el mercado	8
---	---

Capítulo 1

Introducción general

En el presente capítulo se presenta una descripción del contexto y la importancia de contar con información precisa sobre el consumo energético. Además, se aborda la motivación detrás del trabajo, subrayando la necesidad de reducir el impacto ambiental y los costos asociados al consumo eléctrico. También se presentan los objetivos y el alcance del proyecto, detallando las metas específicas. Finalmente, se realiza una análisis sobre el estado del arte de las tecnologías relacionadas existentes en la actualidad.

1.1. Sistema de monitoreo de consumo eléctrico

Tener información es crucial para la toma de decisiones ya que mejora la calidad de las mismas al basarlas en hechos y datos concretos. Permite identificar oportunidades y riesgos, reduce incertidumbres, facilita la planificación estratégica y el uso eficiente de los recursos.

En el ámbito de la energía, y dado el contexto actual, contar con datos de buena calidad se ha vuelto particularmente importante. En las últimas décadas, la creciente demanda de energía eléctrica ha generado preocupaciones significativas a nivel mundial. Este incremento en el consumo energético, impulsado por el crecimiento poblacional, la industrialización y la expansión de tecnologías dependientes de la electricidad, ha llevado a una mayor explotación de recursos naturales y un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, como se observa en la Figura 1.1. Estos factores han contribuido al cambio climático, provocando impactos ambientales que van desde el calentamiento global hasta la pérdida de biodiversidad y eventos climáticos extremos.

Capítulo 1

Introducción general

En el presente capítulo se presenta una descripción del contexto y la importancia de contar con información precisa sobre el consumo energético. Además, se aborda la motivación detrás del trabajo, subrayando la necesidad de reducir el impacto ambiental y los costos asociados al consumo eléctrico, se presentan los objetivos y el alcance y se detallan las metas específicas. Finalmente, se realiza una análisis sobre el estado del arte de las tecnologías relacionadas existentes en la actualidad.

1.1. Sistema de monitoreo de consumo eléctrico

Tener información es crucial para la toma de decisiones ya que mejora la calidad de las mismas al basarlas en hechos y datos concretos. Permite identificar oportunidades y riesgos, reduce incertidumbres, facilita la planificación estratégica y el uso eficiente de los recursos.

En el ámbito de la energía, y dado el contexto actual, contar con datos de buena calidad se ha vuelto particularmente importante. En las últimas décadas, la creciente demanda de energía eléctrica ha generado preocupaciones significativas a nivel mundial. Este incremento en el consumo energético, impulsado por el crecimiento poblacional, la industrialización y la expansión de tecnologías dependientes de la electricidad, ha llevado a una mayor explotación de recursos naturales y un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, como se observa en la figura 1.1. Estos factores han contribuido al cambio climático, provocando impactos ambientales que van desde el calentamiento global hasta la pérdida de biodiversidad y eventos climáticos extremos.

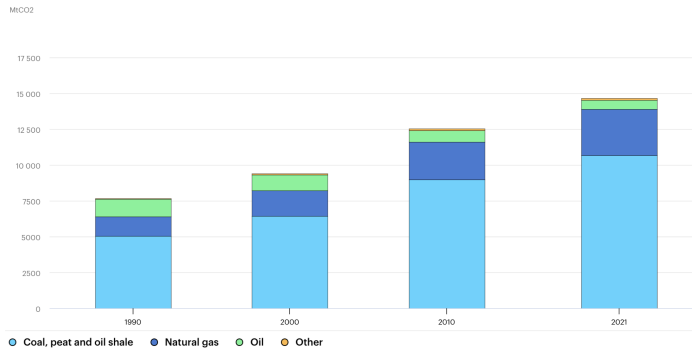


FIGURA 1.1. Emisiones de CO_2 por la generación de electricidad y calor por fuente de **energía, Mundo**¹.

Según un informe de la *International Energy Agency (IEA)*, y como se observa en la **Figura 1.2**, se espera que el crecimiento de la demanda global de electricidad aumente del 2,6 % en 2023 a un promedio del 3,2 % en 2024-2025. El estudio también destaca que para 2025, la demanda aumentará en 2500 TWh con respecto a los niveles de 2022, lo que significa que en los próximos tres años, el aumento anual del consumo de electricidad será aproximadamente equivalente a la suma del consumo de Reino Unido y Alemania juntos.

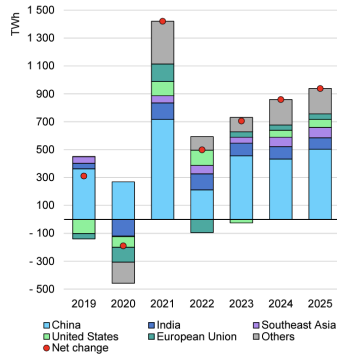


FIGURA 1.2. Cambio anual en la demanda de electricidad por región para el período 2019-2025².

¹IEA (2023), Greenhouse Gas Emissions from Energy Data Explorer, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer>

²IEA (2023), Year-on-year change in electricity demand by region, 2019-2025, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/year-on-year-change-in-electricity-demand-by-region-2019-2025>, Licence: CC BY 4.0

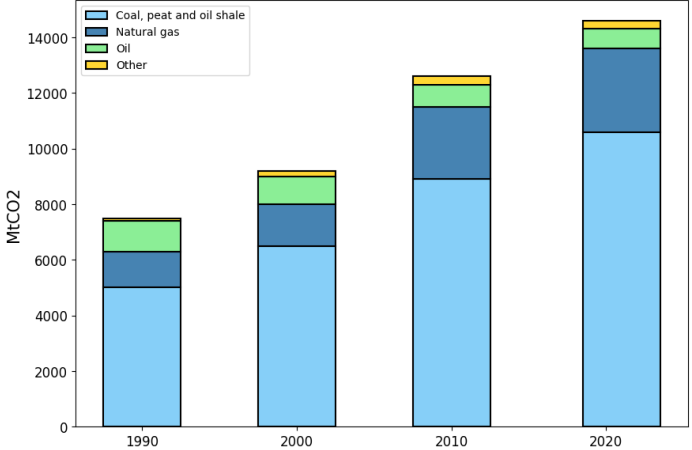


FIGURA 1.1. Emisiones de CO_2 por la generación de electricidad y calor por fuente de **energía a nivel global**¹.

Según un informe de la *International Energy Agency (IEA)* ², y como se observa en la **figura 1.2**, se espera que el crecimiento de la demanda global de electricidad aumente del 2,6 % en 2023 a un promedio del 3,2 % en 2024-2025. El estudio también destaca que para 2025, la demanda aumentará en 2500 TWh con respecto a los niveles de 2022, lo que significa que en los próximos tres años, el aumento anual del consumo de electricidad será aproximadamente equivalente a la suma del consumo de Reino Unido y Alemania juntos.

¹IEA (2023), Greenhouse Gas Emissions from Energy Data Explorer, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer>

²IEA (2023), Electricity Market Report 2023, IEA, Paris <https://iea.blob.core.windows.net/assets/255e9cba-da84-4681-8c1f-458ca1a3d9ca/ElectricityMarketReport2023.pdf>

Al mismo tiempo, el costo de la electricidad también ha experimentado un incremento significativo en los últimos años, impulsado por diversos factores como la creciente demanda, el aumento de precios de los combustibles utilizados para su generación y factores geopolíticos. Este aumento impacta directamente en el presupuesto de los hogares y en la competitividad de las industrias y la economía en general.

En este contexto, la eficiencia energética se ha convertido en una prioridad global. Gobiernos, organizaciones y consumidores buscan métodos para optimizar el uso de la energía y reducir su huella de carbono.

Uno de los sectores donde esta optimización es crucial es el consumo eléctrico domiciliario. Los hogares representan una parte significativa del consumo energético total y, a menudo, carecen de herramientas eficaces para monitorear y gestionar su uso de electricidad. Esta falta de visibilidad y control sobre el consumo diario impide a los usuarios adoptar hábitos más sostenibles y económicos.

Para lograr una mayor eficiencia es vital poder contar con información en tiempo real relacionada al consumo de energía eléctrica. Tener estos datos permitiría, por ejemplo, identificar cuáles son los electrodomésticos y hábitos que más energía consumen o tomar decisiones informadas al reemplazar o adquirir nuevos dispositivos. Disponer de información adecuada puede ayudar a los hogares a enfocar los esfuerzos de ahorro energético, disminuir sus costos asociados y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

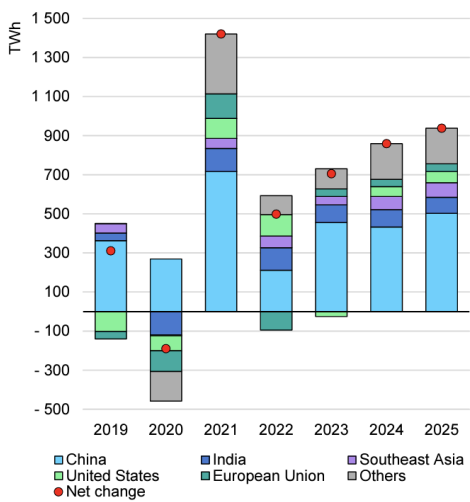


FIGURA 1.2. Cambio anual en la demanda de electricidad por región para el período 2019-2025³

Al mismo tiempo, el costo de la electricidad también ha experimentado un incremento significativo en los últimos años, impulsado por diversos factores como la creciente demanda, el aumento de precios de los combustibles utilizados para su generación y factores geopolíticos. Este aumento impacta directamente en el presupuesto de los hogares y en la competitividad de las industrias y la economía en general.

En este contexto, la eficiencia energética se ha convertido en una prioridad global. Gobiernos, organizaciones y consumidores buscan métodos para optimizar el uso de la energía y reducir su huella de carbono.

Uno de los sectores donde esta optimización es crucial es el consumo eléctrico domiciliario. Los hogares representan una parte significativa del consumo energético total y, a menudo, carecen de herramientas eficaces para monitorear y gestionar su uso de electricidad. Esta falta de visibilidad y control sobre el consumo diario impide a los usuarios adoptar hábitos más sostenibles y económicos.

Para lograr una mayor eficiencia es vital poder contar con información en tiempo real relacionada al consumo de energía eléctrica. Tener estos datos permitiría, por ejemplo, identificar cuáles son los electrodomésticos y hábitos que más energía consumen o tomar decisiones informadas al reemplazar o adquirir nuevos dispositivos. Disponer de información adecuada puede ayudar a los hogares a enfocar los esfuerzos de ahorro energético, disminuir sus costos asociados y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

³IEA (2023), Year-on-year change in electricity demand by region, 2019-2025, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/year-on-year-change-in-electricity-demand-by-region-2019-2025>, Licence: CC BY 4.0

1.2. Motivación

La motivación del trabajo surge de la necesidad de abordar los desafíos previamente planteados relacionados con el consumo energético, la sostenibilidad ambiental y la economía doméstica. El sistema busca generar datos y proveer información para lograr una reducción de consumo eléctrico a partir de la adopción de prácticas más eficientes. Esta disminución u eficientización del consumo es clave ya que sirve para reducir el impacto ambiental relacionado con la generación y consumo de energía y para reducir costos.

1.2. Motivación

La motivación del trabajo surge de la necesidad de abordar los desafíos previamente planteados relacionados con el consumo energético, la sostenibilidad ambiental y la economía doméstica. El sistema busca generar datos y proveer información para lograr una reducción de consumo eléctrico a partir de la adopción de prácticas más eficientes. Esta disminución u eficientización del consumo es clave ya que sirve para reducir el impacto ambiental relacionado con la generación y consumo de energía y para reducir costos.

1.3. Objetivos y alcance

1.3.1. Objetivos

El principal objetivo del trabajo es el diseño e implementación de un prototipo que permita, principalmente a usuarios domiciliarios, tener información sobre su consumo de electricidad para poder tomar decisiones inteligentes que apunten a reducir el uso de energía. El objetivo subyacente es asistir a los usuarios en la reducción de costos y generar un impacto positivo en el ambiente. Este objetivo macro se desglosa en varios objetivos específicos:

- Medir variables eléctricas esenciales como **voltaje**, corriente, potencia, frecuencia y factor de potencia.
- Asegurar que el dispositivo transmita los datos de manera confiable a un servidor en la nube para su procesamiento, almacenamiento y posterior consumo.
- Proveer al usuario una interfaz intuitiva que le permita acceder a sus datos de consumo eléctrico de manera clara y comprensible.
- Ofrecer herramientas analíticas para identificar patrones de consumo y sugerir acciones para mejorar la eficiencia energética.
- Fomentar el uso responsable de la energía mediante recomendaciones basadas en datos precisos.
- Educar a los usuarios sobre su consumo energético y las maneras de optimizarlo, contribuyendo a la reducción de costos y del impacto ambiental.
- Asegurar que el sistema sea escalable para adaptarse a diferentes volúmenes de datos y a un número creciente de usuarios.
- Mantener la accesibilidad y facilidad de uso del sistema, garantizando que usuarios sin conocimientos técnicos avanzados puedan beneficiarse de la herramienta.

1.3.2. Alcance

El alcance del **proyecto** abarca desde el diseño inicial hasta la implementación y despliegue de un sistema de monitoreo. Este sistema incluye varios componentes clave y fases de desarrollo:

- Diseño y desarrollo del dispositivo de medición:
 - selección de componentes de hardware y sensores adecuados para la medición de variables eléctricas.
 - programación del dispositivo para la captura precisa de datos y su transmisión mediante conexión Wi-Fi.
- Implementación de un servidor:
 - configuración de una base de datos relacional para el almacenamiento seguro y eficiente de grandes volúmenes de datos.
 - desarrollo de endpoints HTTP que permitan operaciones **CRUD** sobre los datos y la gestión de usuarios.

1.3. Objetivos y alcance

1.3.1. Objetivos

El principal objetivo del trabajo es el diseño e implementación de un prototipo que permita, principalmente a usuarios domiciliarios, tener información sobre su consumo de electricidad para poder tomar decisiones inteligentes que apunten a reducir el uso de energía. El objetivo subyacente es asistir a los usuarios en la reducción de costos y generar un impacto positivo en el ambiente. Este objetivo macro se desglosa en varios objetivos específicos:

- Medir variables eléctricas esenciales como **tensión**, corriente, potencia, frecuencia y factor de potencia.
- Asegurar que el dispositivo transmita los datos de manera confiable a un servidor en la nube para su procesamiento, almacenamiento y posterior consumo.
- Proveer al usuario una interfaz intuitiva que le permita acceder a sus datos de consumo eléctrico de manera clara y comprensible.
- Ofrecer herramientas analíticas para identificar patrones de consumo y sugerir acciones para mejorar la eficiencia energética.
- Fomentar el uso responsable de la energía mediante recomendaciones basadas en datos precisos.
- Educar a los usuarios sobre su consumo energético y las maneras de optimizarlo, contribuyendo a la reducción de costos y del impacto ambiental.
- Asegurar que el sistema sea escalable para adaptarse a diferentes volúmenes de datos y a un número creciente de usuarios.
- Mantener la accesibilidad y facilidad de uso del sistema, garantizando que usuarios sin conocimientos técnicos avanzados puedan beneficiarse de la herramienta.

1.3.2. Alcance

El alcance del **trabajo** abarca desde el diseño inicial hasta la implementación y despliegue de un sistema de monitoreo. Este sistema incluye varios componentes clave y fases de desarrollo:

- Diseño y desarrollo del dispositivo de medición:
 - selección de componentes de hardware y sensores adecuados para la medición de variables eléctricas.
 - programación del dispositivo para la captura precisa de datos y su transmisión mediante conexión Wi-Fi.
- Implementación de un servidor:
 - configuración de una base de datos relacional para el almacenamiento seguro y eficiente de grandes volúmenes de datos.

- implementación de un broker MQTT.
- Desarrollo de plataforma web:
 - creación de una interfaz de usuario intuitiva utilizando frameworks modernos.
 - integración de funcionalidades analíticas y visualización de datos, facilitando la interpretación y el análisis del consumo eléctrico por parte de los usuarios.
- Fase de pruebas y validación:
 - realización de pruebas unitarias y de integración para asegurar la correcta interacción entre el dispositivo de medición, el servidor en la nube y la plataforma web.
 - validación del sistema en un entorno real para garantizar su funcionalidad y eficacia.
- Despliegue y mantenimiento:
 - implementación del sistema en un entorno operativo real, disponible para usuarios domésticos.

- desarrollo de endpoints HTTP que permitan operaciones **CRUD**[#] sobre los datos y la gestión de usuarios.
- implementación de un broker MQTT.
- Desarrollo de plataforma web:
 - creación de una interfaz de usuario intuitiva utilizando frameworks modernos.
 - integración de funcionalidades analíticas y visualización de datos, facilitando la interpretación y el análisis del consumo eléctrico por parte de los usuarios.
- Fase de pruebas y validación:
 - realización de pruebas unitarias y de integración para asegurar la correcta interacción entre el dispositivo de medición, el servidor en la nube y la plataforma web.
 - validación del sistema en un entorno real para garantizar su funcionalidad y eficacia.
- Despliegue y mantenimiento:
 - implementación del sistema en un entorno operativo real, disponible para usuarios domésticos.

[#]Del inglés *Create, Read, Update, Delete*. Es un acrónimo que se refiere a operaciones de creación, lectura, actualización y borrado de datos.

1.4. Estado del arte

1.4. Estado del arte

Existen diversas tecnologías y productos que permiten a los usuarios monitorizar y gestionar su uso de energía de manera eficiente. Estos dispositivos varían en capacidades, parámetros medidos, precios y características técnicas.

A continuación, se presenta una comparativa de algunos de los productos más destacados en el mercado, evaluando sus capacidades, parámetros medidos, precios y especificaciones técnicas.

- Sense Home Energy Monitor⁵: Sense es una aplicación móvil que muestra cuánta energía están consumiendo el hogar y los dispositivos individuales en tiempo real. Ayuda a encontrar maneras de ahorrar dinero y reducir la huella de carbono, ofreciendo información personalizada y herramientas para rastrear los aparatos que mas energía consumen.
- Emporia Vue⁶: El monitor de energía doméstica Emporia Vue permite monitorizar el uso de energía en tiempo real e identificar cualquier consumo de energía innecesario, ayudando a ahorrar dinero. Es reconocido como el mejor monitor de energía doméstica del mercado y es líder en ventas en Amazon. Permite el monitoreo de hasta 16 circuitos individuales, con integración con asistentes de voz como Alexa para control y notificaciones.
- Aeotec Home Energy Meter⁷: Los sensores pertenecientes a la familia Aeotec Home Energy Meter son compatibles con las tecnologías Zigbee o Z-Wave, y proporcionan datos vitales para hacer que una red doméstica sea verdaderamente inteligente. Los sensores no solo recopilan y transfieren datos, sino que también permiten activar automatizaciones vinculadas. Los datos recopilados también se utilizan para advertir, informar y proteger la instalación eléctrica en el caso que se den condiciones inusuales.
- TED Pro Home⁸: El T1500 es un medidor de potencia que mide con precisión el consumo de energía de los dispositivos. Tiene una funcionalidad que permite al usuario introducir el valor del kilowatt-hora (kWh) y, en base a esto, se estima el costo de la energía consumida por el electrodoméstico conectado. El T1500 también puede usarse para verificar la calidad de la energía al monitorear el tensión, la frecuencia y el factor de potencia entre otras variables. No posee forma de almacenamiento de datos históricos.
- Efergy Elite 4.0⁹: Este dispositivo permite ver cuánta electricidad se está usando en cualquier momento (costo y kW), ver datos promedio e históricos diarios, semanales o mensuales, configurar hasta 4 tarifas diferentes y múltiples monedas mundiales, y emitir alertas de audio frente a consumos de energía excesivos.

En la tabla 1.1 se presenta en forma condensada la comparativa entre los distintos productos. Se consideran valores en dólares americanos (USD).

⁵Sense Home Energy Monitor <https://sense.com/homes/product/>

⁶Emporia Vue <https://www.emporiaenergy.com/energy-monitors/>

⁷Aeotec Home Energy Meter <https://aeotec.com/smart-sensors/>

⁸TED Pro Home <https://www.theenergydetective.com/product/ted-t1500-power-meter>

⁹Efergy Elite 4.0 <https://efergy.com/elite-classic/?v=06fa567b72d7>

Producto	Parámetros Medidos	Precio	Especificaciones Técnicas
Sense Home Energy Monitor	V, A, W, FP, Hz	\$ 300	Wi-Fi, detección de dispositivos, app móvil integrada, procesamiento edge
Emporia Vue	V, A, W, FP, Hz	\$ 100	Wi-Fi, 16 sensores de circuito, app móvil, integración con asistentes de voz
Aeotec Home Energy Meter	V, A, W, FP, Hz	\$ 130	Z-Wave, medición de energía total y por fase
TED 1500	V, A, W, FP, Hz	\$ 50	Pantalla LCD, batería de respaldo, aviso de sobre tensión
Efergy Elite 4.0	V, A, W, FP, Hz	\$ 49	RF, pantalla LCD, almacenamiento de datos de hasta 24 meses

TABLA 1.1. Tabla comparativa de los productos similares presentes en el mercado.

La selección de un sistema de monitoreo de consumo eléctrico depende de las necesidades específicas del usuario, incluyendo el nivel de detalle requerido, la facilidad de instalación y el presupuesto disponible. Los productos comparados ofrecen una gama de capacidades y características, desde la medición y visualización del consumo eléctrico en el propio dispositivo, hasta la detección avanzada de dispositivos, la integración con sistemas de domótica y la generación de informes. Esta comparativa proporciona una base para evaluar la solución presentada en el presente trabajo.