

**EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA WISUN EN SISTEMAS INTELIGENTES  
DE MEDICIÓN DE ENERGÍA EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI**

**LUIS HERNANDO MARTINEZ MOSQUERA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SANTIAGO DE CALI  
2023**

**EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA WISUN EN SISTEMAS INTELIGENTES  
DE MEDICIÓN DE ENERGÍA EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI**

**LUIS HERNANDO MARTINEZ MOSQUERA**

**Directores:**

**FABIO GERMAN GUERRERO MORENO**

**JAVIER MEDINA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**SANTIAGO DE CALI**

**2022**

## FICHA RESUMEN

Título	Evaluación de la tecnología WiSUN en sistemas inteligentes de medición de energía en la ciudad de Santiago de Cali.									
Palabras clave	WiSUN, medición inteligente.									
Resumen	En este anteproyecto se aborda el estudio previo para evaluar la viabilidad de utilizar la tecnología WiSUN en sistemas inteligentes de medición de energía en Santiago de Cali. Se plantea un problema específico en relación con este tema y se describe el contexto como los desafíos asociados a su desarrollo. También, se realiza una revisión y análisis de la literatura existente sobre la implementación de WiSUN en sistemas de medición inteligentes. Con base en esto, se establecen los objetivos y las actividades necesarias para alcanzarlos. Por último, se presenta un cronograma detallado de las actividades y un presupuesto aproximado para el proyecto.									
Área temática o línea de investigación	Telecomunicaciones									
Modalidad	Profesional		Revisión crítica		Investigación/innovación					
	En la industria/empresa	X	Creación de empresa		Práctica social					
Áreas Académicas EIEE	Arquitecturas digitales		Bionanoelectrónica		Conversión de energía					
	Informática industrial		Sistemas de potencia		Telecomunicaciones	X				
	Automática		Otra							
Grupos de investigación involucrados	GADYM		BIONANO		Convergencia					
	PSI		GRALTA		SISTEL-UV	X				
	GICI		SHG		Otro:					
Duración esperada	5 (meses)									
Entidades participantes	Universidad del Valle									
Costo presupuestado	Aportes en especie	COP \$ 17'008.599								
	Aportes en efectivo	COP \$ 2'500.000								
	Presupuesto global	COP \$ 19'508.599								
<b>Estudiante</b>										
Nombre	Luis Hernando Martinez Mosquera				Código	201830760				
E-mail	<a href="mailto:Luis.hernando.martinez@correounivalle.edu.co">Luis.hernando.martinez@correounivalle.edu.co</a>				Teléfono	3105410427				
<b>Director</b>										
Nombre	Fabio German Guerrero Moreno			Título	Ph.D	M.Sc.	X	Esp.	Ing.	X
Institución	Universidad del Valle				Dr.	Otro				
E-mail	<a href="mailto:fabio.guerrero@correounivalle.edu.co">fabio.guerrero@correounivalle.edu.co</a>				Teléfono	321 2100 ext 8410				
<b>Director</b>										
Nombre	Javier Medina			Título	Ph.D	M.Sc.		Esp.	Ing.	X
Institución	COLBITS				Dr.	Otro				
E-mail	<a href="mailto:javier.medina@colbits.com.co">javier.medina@colbits.com.co</a>				Teléfono	3045779427				

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	5
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
3.	JUSTIFICACIÓN .....	7
4.	OBJETIVOS .....	7
4.1	OBJETIVO GENERAL .....	7
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
5	ANTECEDENTES .....	8
5.1	ANTECEDENTES NACIONALES .....	8
5.2	ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	8
6	MARCO TEORICO .....	10
6.1	REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES (SMART GRID) .....	10
6.2	EI INTERNET DE LAS COSAS (IOT) .....	10
6.3	MEDICIÓN INTELIGENTE .....	10
6.3.1	MEDIDORES INTELIGENTES .....	10
6.3.2	INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA (AMI) .....	10
6.3.3	TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN PARA MEDICIÓN INTELIGENTE ...	11
6.4	WIRELESS SMART UTILITY NETWORK (WISUN) .....	11
7	METODOLOGIA .....	12
7.4	Objetivo Específico 1 .....	12
7.4	Objetivo Específico 2 .....	12
7.4	Objetivo Específico 3 .....	13
8	CRONOGRAMA .....	14
9	PRESUPUESTO .....	15
10	REFERENCIAS .....	16

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la tecnología de comunicaciones IoT está ganando importancia en la medición inteligente. En este contexto, la tecnología WiSUN se ha destacado como una posible alternativa a otras tecnologías comúnmente utilizadas. Sin embargo, es necesario evaluar su desempeño en entornos urbanos específicos como los encontrados en la ciudad Santiago de Cali. Por tal motivo, en este documento se presenta la siguiente propuesta de grado: evaluación de la tecnología WiSUN en sistemas inteligentes de medición de energía en la ciudad de Santiago de Cali.

Con el fin de conocer más sobre los sistemas de medición inteligente que utilizan la tecnología WiSUN, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de antecedente en torno al tema. Además, se elaboró un marco teórico que incluye los conceptos fundamentales sobre medición inteligente y comunicación IoT, con el objetivo de proporcionar una comprensión adecuada del lenguaje utilizado en el proyecto.

La propuesta se enfoca en un problema específico y establece una metodología dividida en tres etapas, cada una con un conjunto de tareas específicas para ser llevadas a cabo en un plazo de 20 semanas. Por último, se presenta una estimación del costo del proyecto.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente cerca del 90% de personas en el mundo tienen acceso a la energía eléctrica [1], lo cual la convirtió en un derecho humano de tipo económico y social, ya que es una necesidad básica insustituible para la cual el Estado está en la obligación de asegurar su entrega como derecho mínimo de garantía a toda la población [2].

El consumo de recursos y energía mundial representan un gran riesgo para el medio ambiente, pues el 80% de gases de efecto invernadero son producidos por este. En búsqueda de mitigar y controlar el impacto ambiental surgen las redes eléctricas inteligentes, las cuales incorporan la producción energética distribuida por fuentes de energía renovables, con el fin de disminuir el uso de combustibles fósiles [3].

Con base en esto, en Colombia, la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), creó “*Smart Grid Colombia visión 2030*” una ruta para la implementación de redes eléctricas inteligentes en el país. El gobierno nacional proyecta que con esta ruta para el 2030 se tenga una implementación general del 75%, en zonas

urbanas un 95% (12 millones de usuarios) y en zonas rurales el 50% (2 millones de usuarios) [4].

Los sistemas eléctrico modernos, para cumplir con su fin de generación, transmisión y distribución controlada, requieren la integración avanzada de sensores, comunicación y control de la operación, adicionando al sistema elementos nuevos como los medidores inteligentes, que utilizan tecnologías de comunicación para su monitoreo, tanto por el usuario como por especialistas. Por consiguiente, algunas empresas en Colombia van avanzando y aplicando sistemas de medición inteligente, entre ellas encontramos a SOPESA, Electricaribe, EMCALI, Celsia y ENEL [5].

Las tecnologías de comunicación en la medición inteligente pueden ser cableadas o inalámbricas y están encargadas en asegurar la transferencia de datos entre cliente y servidor. Por lo que, la selección de una red de comunicación adecuada es importante. Al elegir una tecnología, se deben tener en cuenta los costos, ancho de banda (la cantidad de datos que se pueden transferir entre dos puntos de red), tiempo específico (bits por segundo), área de transferencia y la seguridad de los datos [6].

Entre las tecnologías de comunicación destaca WiSUN, por ser una especificación abierta basada en el estándar IEEE 802.15.4, operando en espectros sin licencias, es decir, en aquellas partes del espectro de radiofrecuencia que no están a la venta. WiSUN es una red de autoconstrucción que facilita agregar nuevos dispositivos a la red, por lo que, si una ruta falla, la red cambiará automáticamente a la otra [7].

Con base en lo anterior, se plantea el siguiente interrogante: ¿Como evaluar si la tecnología WiSUN es viable como posible remplazo de las actualmente empleadas en la ciudad Santiago de Cali para la medición inteligente?

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La medición inteligente es una herramienta clave para lograr una mayor eficiencia energética, reducir costos, tener un mayor control, y aumentar la calidad de vida de las personas. Para su implementación es indispensable contar con una Infraestructura de Medición Avanzada, la cual es asistida por una red de comunicaciones IoT seleccionada dependiendo de sus beneficios y requerimiento.

La tecnología WiSUN es una solución de comunicaciones inalámbrica de baja potencia y bajo costo que se está convirtiendo en una opción cada vez más popular para la implementación de sistemas de medición de energía inteligentes. Sin embargo, aún no se ha llevado a cabo un estudio exhaustivo sobre viabilidad de implementación de esta tecnología en un entorno urbano específico.

Una evaluación de la tecnología WiSUN en sistemas inteligentes de medición de energía en Santiago de Cali permitiría determinar si la tecnología es adecuada para el entorno urbano y si es capaz de cumplir con las necesidades de los usuarios finales, como distribuidores de energía y consumidores. También permitiría identificar cualquier problema o limitación en el rendimiento de la tecnología en un entorno urbano.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la tecnología WiSUN como una alternativa de comunicaciones en sistemas inteligentes de medición de consumo de energía en la ciudad de Santiago de Cali

#### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Documentar las arquitecturas, topologías y casos de uso de WiSUN más apropiados para la implementación de aplicaciones de medición inteligente.
- Desarrollar un método para configurar y programar una red WiSUN orientada medición inteligente utilizando módulos de evaluación comercialmente disponibles.
- Evaluar las ventajas y desventajas de la tecnología WiSUN en aplicaciones de medición inteligente.

## 5 ANTECEDENTES

En este apartado, se presentan proyectos que estudian la implementación de la tecnología WiSUN en diferentes contextos. Dentro de los estudios realizados se evidencia que la tecnología WiSUN es relativamente nueva, pues se encontró muy poca información.

Se consultaron las bases de datos *IEEE*, *Scopus*, *Science Direct*, biblioteca digital de la Universidad del Valle, entre otras, con las palabras clave: WiSUN, Smart metering . Se evidenciaron 4 artículos con fuerte relación con esta propuesta, uno del año 2017, otro del año 2020 y los restantes del año 2021.

### 5.1 ANTECEDENTES NACIONALES

“PROYECTO AMI” [8]. Un primer trabajo desarrollado dentro del territorio nacional, por la empresa caleña EMCALI siguiendo la ruta “*Smart Grid Colombia visión 2030*” de la UPME, en el año 2020 presentó este proyecto, el cual tiene como objetivo principal implementar cerca de cien mil medidores inteligentes en la ciudad Santiago de Cali. Estos medidores alternan en estas tres tecnologías de comunicación 3GPLC11 y RF-WiSUN. El proyecto aún se encuentra en desarrollo y actualmente desarrollan 6 pilotos en etapa de confidencialidad.

### 5.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

“TECNOLOGÍA DE COMUNICACIONES WISUN COMO SOLUCIÓN IOT PARA LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTE” [9], El documento de este proyecto es de tipo investigativo, en el cual se realiza un análisis de una tecnología de comunicaciones nueva llamada WiSUN para su futura implementación en los contadores inteligentes, favoreciendo a la transformación de las redes eléctricas convencionales en redes inteligentes. Para ello, primero, se realiza una investigación alrededor de las diferentes tecnologías de comunicaciones actuales aplicadas a las redes eléctricas inteligentes, comparándolas con esta nueva tecnología. Después, se describen los aspectos más característicos de la tecnología y se analiza su estructura dando a conocer los diferentes protocolos de los que se compone. Por último, se realizan pruebas de configuración y conectividad utilizando placas de evaluación de dos diferentes fabricantes, como son Rhom y Renesas, para probar la tecnología WiSUN, utilizando diferentes configuraciones, alejando los dispositivos para probar su cobertura y poniendo trabas a las comunicaciones para confirmar su correcto funcionamiento.

“*Development and Its Future Prospects of Gas Smart Meter Using WiSUN Technology*” [10] es un proyecto investigativo, en el cual la empresa Tokyo Gas con el propósito de introducir los contadores inteligentes en Tokyo, zona densamente poblada de edificios, realiza una investigación sobre el uso de la tecnología WiSUN para realizar retransmisión multisalto con bajo consumo de energía. Finalmente,



Tokyo Gas demostró y desplegó el sistema de medición inteligente para mejorar la seguridad y el potencial de ahorro de energía en el mercado mundial.

*“Communication Network Selection for Advanced Metering Infrastructure User Profiles in Indonesia”* [11] es un documento investigativo, en el cual se proponen métodos para seleccionar redes de comunicación utilizando el cálculo del factor de costo, para encontrar la tecnología de red preferible para tres tipos diferentes de usuarios: estaciones de carga de vehículos eléctricos (VE) en zonas urbanas y rurales y móviles. La tecnología de comunicación con el factor de costo más bajo se interpreta como la preferible. Según los resultados de la simulación, la más preferible para zonas urbanas y rurales es la comunicación por línea eléctrica de banda estrecha (NB PLC) y WiSUN, según la prioridad financiera que se pueda seleccionar. Para la estación de carga de vehículos eléctricos móviles, IoT de banda estrecha (NB IoT) podría ser preferible considerando las inversiones financieras.

## **6 MARCO TEORICO**

### **6.1 REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES (SMART GRID)**

Una red inteligente es un sistema eléctrico que permite el intercambio bidireccional de electricidad y datos utilizando tecnologías digitales de comunicación, lo que permite detectar, reaccionar y actuar ante cambios en el uso y diferentes problemas. Estas redes tienen la capacidad de recuperarse automáticamente y permiten a los usuarios de electricidad convertirse en participantes activos en el sistema [12]

### **6.2 EI INTERNET DE LAS COSAS (IOT)**

Internet de las Cosas (IoT) es un término que se refiere al proceso en el cual los objetos cotidianos son conectados a Internet por medio de un protocolo estándar. Esto permite que cualquier cosa o dispositivo pueda ser controlado o monitoreado de forma remota desde cualquier lugar, logrando la interconexión sin la intervención humana. El resultado es un intercambio constante de datos entre estos objetos conectados, obteniendo una gran variedad de aplicaciones y beneficios [13].

### **6.3 MEDICIÓN INTELIGENTE**

La medición inteligente es una tecnología que utiliza dispositivos de medición modernos, infraestructura de telecomunicaciones y sistemas de análisis de datos para permitir una comunicación bidireccional, lo que permite ofrecer servicios mejores y más amplios, mejorando la eficiencia en el funcionamiento de las redes eléctricas y contribuyendo a mejorar la confiabilidad, seguridad y calidad del servicio [14].

#### **6.3.1 MEDIDORES INTELIGENTES**

Un medidor inteligente es un dispositivo de medición avanzado para el consumo de electricidad, agua o gas natural que proporciona una medición más precisa a los medidores convencionales. Además, añaden la capacidad de transmitir esta información a través de una red de telecomunicaciones hasta un centro de procesamiento de datos [15]

#### **6.3.2 INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA (AMI)**

AMI es un acrónimo en inglés que se refiere a *Advanced Metering Infrastructure*, infraestructura de medición avanzada que permite la comunicación bidireccional entre los proveedores de servicios de energía y los usuarios. Esta infraestructura se compone de hardware, software, arquitecturas y redes de comunicaciones, que permiten gestionar los datos del sistema [16].

### 6.3.3 TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN PARA MEDICIÓN INTELIGENTE

las tecnologías de comunicación son fundamentales en las redes inteligentes y en la infraestructura de medición avanzada, pues operación de AMI implica el intercambio de datos entre los clientes y el servidor, por lo que es crucial elegir una red de comunicación apropiada y diseñar sus componentes. Estas tecnologías pueden ser mediante alámbricas o inalámbricas [17].

**TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN ALÁMBRICAS:** Las tecnologías alámbricas son aquellas que requieren de un medio físico para transmitir una señal. Power Line Communication (PLC), es la tecnología alámbrica más conocida y se clasifica en tres tipos según el ancho de banda en:

- *Ultra Narrowband PLC* (UNB-PLC), tecnología PLC de banda ultra estrecha que permite transmisiones de datos en frecuencias por debajo de 3 kHz.
- *Narrowband PLC* (NB-PLC), tecnología PLC de banda ultra estrecha que permite transmisiones de datos en un rango de frecuencias de 3 a 3500 kHz..
- *Broadband over power lines* (BPL), tecnología PLC de banda ancha que permite transmisiones de datos en un rango de frecuencias de 1 a 250 MHz.

**TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICAS:** Las tecnologías de comunicación inalámbricas no requieren un medio físico para transmitir información, en cambio utilizan el aire como medio para comunicarse concretamente señales de radio. Estas tecnologías se pueden dividir en diferentes categorías según su alcance en:

- Red inalámbrica de área amplia (WWAN), con un alcance de una región completa.
- Red inalámbrica de área metropolitana (WMAN), con un alcance de 100 metros.
- Red inalámbrica de área local (WLAN), con un alcance de hasta 10 metros.
- Red inalámbrica de área local (WBAN), con un alcance de hasta 2 metros.

### 6.4 WIRELESS SMART UTILITY NETWORK (WISUN)

es un estándar de comunicación inalámbrica que permite la conexión de dispositivos en una red inteligente. Este estándar es utilizado para alimentar redes IoT a gran escala en exteriores, como redes de malla inalámbricas para AMI, gestión de energía en hogares, automatización de distribución y otras aplicaciones de redes a gran escala en exteriores [7].

## 7 METODOLOGIA

Para lograr los objetivos planteados en el proyecto, se trabajará por medio de etapas, donde cada una se enfoca en un objetivo específico. Cada etapa constará de diferentes actividades, detalladas en un plan de trabajo, con el fin de llevar a cabo el proyecto satisfactoriamente.

### 7.4 Objetivo Específico 1

Documentar las arquitecturas, topologías y casos de uso de WiSUN más apropiados para la implementación de aplicaciones de medición inteligente.

**Actividad 1.1:** identificación de los requisitos necesarios en la comunicación IoT para la medición inteligente.

**Actividad 1.2:** investigación de la situación legal de WiSUN en Colombia como: espectro asignado, regulaciones y licenciamiento.

**Actividad 1.3:** revisión de estándares IEEE 802.15.4g y IEEE 802.15.4e sobre las especificaciones detalladas de WiSUN.

**Actividad 1.4:** identificación y elección de la arquitectura más apropiada para la medición inteligente en el entorno urbano de la ciudad Santiago de Cali.

**Actividad 1.5:** identificación y elección de la topología más apropiada para la medición inteligente en el entorno urbano de la ciudad Santiago de Cali.

**Actividad 1.6:** identificación y elección de los protocolos más apropiada para la medición inteligente en el entorno urbano de la ciudad Santiago de Cali.

**Actividad 1.7:** documentación y reporte de los resultados obtenidos en las actividades anteriores.

### 7.4 Objetivo Específico 2

Desarrollar un método para configurar y programar una red WiSUN orientada medición inteligente utilizando módulos de evaluación comercialmente disponibles.

**Actividad 2.1:** identificación y selección de módulos comerciales, más apropiado a las especificaciones seleccionadas en el primer objetivo.

**Actividad 2.2:** obtención de módulos de evaluación.

**Actividad 2.3:** implementación del ambiente de validación y ejecución de pruebas para cada módulo.

**Actividad 2.4:** configuración de la red WiSUN de acuerdo con la selección de arquitectura, topología y protocolos del anterior objetivo.

**Actividad 2.5:** programación de módulos de evaluación.

**Actividad 2.6:** sometimiento a pruebas definidas para cada modulo en el ambiente de validación y ejecución.

**Actividad 2.7:** determinación del desempeño de cada modulo en las pruebas realizadas.

**Actividad 2.8:** documentación y reporte de los resultados obtenidos en las actividades anteriores.

#### **7.4 Objetivo Específico 3**

Evaluar las ventajas y desventajas de la tecnología WiSUN en aplicaciones de medición inteligente.

**Actividad 3.1:** comparación y análisis del desempeño obtenido por cada modulo

**Actividad 3.2:** identificación de otras tecnologías de comunicación IoT usadas en la ciudad para la aplicación de medición inteligente.

**Actividad 3.3:** comparación y análisis del desempeño de los módulos WiSUN respecto a los identificados de otras tecnologías IoT.

**Actividad 3.4:** determinación de las ventajas y desventajas evidenciadas de la tecnología WiSUN en la aplicación de medición inteligente.

**Actividad 3.5:** documentación y reporte de los resultados obtenidos en las actividades anteriores.

## 8 CRONOGRAMA

En la siguiente tabla, se presenta el cronograma con las actividades definidas para cada objetivo en un lapso de 28 semanas, plazo en el que se pretende culminar el proyecto.

**Tabla 1.** Cronograma de actividades para los correspondientes objetivos

Objetivos y actividades mes a mes													
Objetivos	Actividades	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7					
Objetivo 1	1,1												
	1,2												
	1,3												
	1,4												
	1,5												
	1,6												
	1,7												
Objetivo 2	2,1												
	2,2												
	2,3												
	2,4												
	2,5												
	2,6												
	2,7												
	2,8												
Objetivo 3	3,1												
	3,2												
	3,3												
	3,4												
	3,5												

## 9 PRESUPUESTO

A continuación, se presenta la tabla de presupuesto aproximado del Trabajo de Grado. Los valores presentados se encuentran en pesos colombianos (COP).

**Tabla 2.** Presupuesto de gastos en el proyecto de grado

Rubro	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Fuente de financiación			Subtotal
					Recursos Univalle	Recursos propios	Recursos de COLBIT	
Recursos Humanos	Director	Horas	22	\$ 150,000.00	\$ 3,300,000.00			\$ 3,300,000.00
	Director 2	Horas	22	\$ 150,000.00			\$ 3,300,000.00	\$ 3,300,000.00
	Tesisita 1	Horas	800	\$ 6,042.00			\$ 4,833,600.00	\$ 4,833,600.00
Servicios	Transporte		100	\$ 5,000.00		\$ 500,000.00		\$ 500,000.00
	Papelería						\$ 100,000.00	\$ 100,000.00
Equipos	Computador			\$ 1,899,999.00		\$ 1,899,999.00		\$ 1,899,999.00
	Modulos			\$ 3,000,000.00			\$ 3,000,000.00	\$ 3,000,000.00
Software	Licencia			\$ 1,000,000.00			\$ 1,000,000.00	\$ 1,000,000.00
Servicios							\$ 500,000.00	\$ 500,000.00
Laboratorio de comunicaciones	Uso de instalacione	Horas	25	\$ 15,000.00	\$ 375,000.00			\$ 375,000.00
Bibliografía	Acceso a base de datos		5	\$ 200,000.00	\$ 200,000.00			\$ 200,000.00
Otros	imprevistos			\$ 500,000.00		\$ 500,000.00		\$ 500,000.00
<b>Total</b>					\$ 3,875,000.00	\$ 2,899,999.00	\$ 12,733,600.00	\$ 19,508,599.00

## 10 REFERENCIAS

- [1] Worldometer real time world statistics, "Población Mundial: 7.9 Billones de Personas (2022) - Worldometer", (2022). [En línea]. Disponible en <https://www.worldometers.info/es/poblacion-mundial/>
- [2] Corte Constitucional de Colombia, "Sentencia T-761/15", (2015). [En línea]. Disponible en <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2015/T-761-15.htm>
- [3] W. M. Giral Ramírez, H. J. Celedón Flórez, E. Galvis Restrepo, y A. T. Zona Ortiz, «Redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano: Revisión de tema», Tecnura, vol. 21, n.º 53, pp. 119–137, jul. 2017.
- [4] UPME, Estudio: Smart Grids Colombia Visión 2030 - Mapa de ruta para la implementación de redes inteligentes en Colombia", (2016). [En línea]. Disponible en <https://www1.upme.gov.co/Paginas/Smart-Grids-Colombia-Visión-2030.aspx>
- [5] C. Sánchez, "La medición avanzada habilita la transformación energética", Portafolio.co, (2020). [En línea]. Disponible en <https://www.portafolio.co/opinion/camilo-sanchez/la-medicion-avanzada-habilita-la-transformacion-energetica-546973>
- [6] I. Diahovchenko, M. Kolcun, Z. Conka, V. Savkiv y R. Mykhailyshyn, «Progress and Challenges in Smart Grids: Distributed Generation, Smart,» Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering, 2020.
- [7] Wi-SUN Alliance, "Wi-SUN Alliance", (2019). [En línea]. Disponible en <https://wi-sun.org>
- [8] EMCALI, "PROYECTO DE MEDICIÓN INTELIGENTE PARA DISMINUIR PÉRDIDAS DE ENERGÍA", (2022). [En línea]. Disponible en <https://emcali.com.co/-/emcali-adjudica-proyecto-de-medicion-inteligente-para-disminuir-perdidas-de-energia>
- [9] Urquiza, Morales y Mireia, "Tecnología de comunicaciones WISUN como solución IOT para las redes eléctricas inteligentes", (2020). [En línea]. Disponible en <https://addi.ehu.es/handle/10810/47113>
- [10] T. Kawata y Tokyo Gas, "Development and Its Future Prospects of Gas Smart Meter Using Wi-SUN Technology", (2017). [En línea]. Disponible en <https://ken.ieice.org/ken/paper/20170301dbSd/eng/>



- [11] R. D. Rahayani and N. -K. C. Nair, "Communication Network Selection for Advanced Metering Infrastructure User Profiles in Indonesia," 2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISGTAsia49270.2021.9715669.
- [12] i-SCOOP, "Smart grids: electricity networks and the grid in evolution". <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/smart-grids-electrical-grid/>
- [13] A. Pisano, "IoT "Internet de las Cosas", repositorio universidad de sanAndres, (2018). [En línea]. Disponible en [https://repositorio.udes.edu.ar/jspui/bitstream/10908/16159/1/\[P\]\[W\]%20T.%20M.%20Ges.%20Pisano,%20Ariel.pdf](https://repositorio.udes.edu.ar/jspui/bitstream/10908/16159/1/[P][W]%20T.%20M.%20Ges.%20Pisano,%20Ariel.pdf)
- [14] Enel. "Contador digital y medición inteligente | Enel Colombia". Enel Colombia, (2018). [En línea]. Disponible en <https://www.enel.com.co/es/medicion-inteligente.html>
- [15] European Commission. "Smart Metering deployment in the European Union". Smart Electricity Systems and Interoperability, (2019). [En línea]. Disponible en <https://ses.jrc.ec.europa.eu/smart-metering-deployment-european-union>
- [16] F. A. V. Meza. "Medidores: Tecnología AMI (Advanced Metering Infrastructure)". LinkedIn, (2022). [En línea]. Disponible en <https://es.linkedin.com/pulse/medidores-tecnología-ami-advanced-metering-fabio-andrés-velez-meza?trk=pulse-article>
- [17] M. G. RUIZ MALDONADO. "INTEROPERABILIDAD ENTRE MEDIDORES INTELIGENTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESIDENCIAL". Repositorio ups, (2015). [En línea]. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8435/6/UPS-KT01062.pdf>