



# *Estudio y análisis de medidor de voltaje controlado por dispositivos móviles*

**Derechos de autor**



Todos los derechos reservados

*Laboratorio de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Inteligencia Artificial  
(LIDTIA)*

Prohibida su reproducción total o parcial,  
sin consentimiento expreso de LIDTIA



México MMXIX



# Universidad Autónoma de Zacatecas

## Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica

Laboratorio de Innovación y Desarrollo Tecnológico  
en Inteligencia Artificial (LIDTIA)

### *Título de la Tesis*

## Tesis

Que en cumplimiento parcial de los requisitos para obtener el grado de  
MAESTRO EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA APLICADA

Presenta

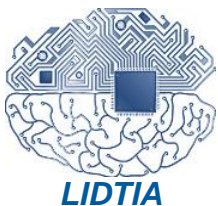
**Julio César Soriano Romero**

### Directores de tesis

Dra. Ma. del Rosario Martínez Blanco (UAZ - México)

Dr. José Manuel Ortiz Rodríguez (UAZ - México)

Zacatecas, Zac., México - Noviembre 2019





*Estudio y análisis de medidor de voltaje  
controlado por dispositivos móviles*

**Aprobada por el jurado:**

---

Dra. Ma. del Rosario Martínez Blanco

---

Dr. José Manuel Ortiz Rodríguez

---

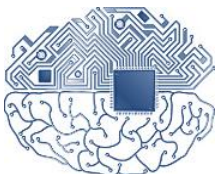
Dr. Luis Octavio Solís Sánchez

---

Dr. Héctor René Vega Carrillo

---

Dr. Héctor Alonso Guerrero Osuna



**LIDTIA**

# Dedicatoria

---

A mi esposa:

Por estar a mi lado en cada momento, incluso en los más difíciles. No fue nada sencillo el transcurso de esta etapa de mi vida, pero siempre estuviste ahí para mí, ayudándome con tus consejos y mostrándome que todo es posible mientras nos apoyemos uno al otro.

A mi hija:

*Eres el motivo más grande para superarme y la chispa de mi vida, es por ello que quiero ser un buen ejemplo. Todo lo que hago es por ti.*

A mis padres y hermanos:

Por ayudarme a forjar mi camino y convertirme en la persona que soy, todos mis logros son gracias a ustedes y por ustedes, sirviendo como ejemplo para alcanzar mis metas.

A mis asesores:

Por la formación académica y transmisión de conocimientos permitiéndome alcanzar una más de mis metas, a pesar de las adversidades siempre creyeron en mí hasta el último instante y siendo parte fundamental de este proyecto

# Agradecimientos

---

Este trabajo fue parcialmente apoyado por:

- Fondo Sectorial de Investigación para la Educación de CONACyT bajo el convenio 241771, con número de becario 493388.
- El Laboratorio de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Inteligencia Artificial (LIDTIA) con sede en la Universidad Autónoma de Zacatecas.
- A la empresa OMADS por las facilidades otorgadas para el desarrollo del presente proyecto.

# Resumen

---

La población mundial crece continuamente, y se espera que la urbanización agregue otros 2.500 millones de personas a las ciudades durante las próximas tres décadas. Las ciudades han sido el epicentro de la innovación y el desarrollo tecnológico. Una ciudad inteligente, es un área urbana que utiliza diferentes tipos de sensores electrónicos para recopilar datos. Con estos datos es posible administrar activos y recursos de manera eficiente utilizando la tecnología de Internet de las Cosas que pertenece al dominio de la Industria 4.0. El concepto de ciudad inteligente aplicado en los hogares integra las nuevas tecnologías de información y comunicación de la Industria 4.0, como los sistemas ciberfísicos conectados a Internet de las redes de cosas a través de aplicaciones de computación en la nube para optimizar la eficiencia de las operaciones y servicios en el hogar y conectarse con los ciudadanos. Una casa inteligente es aquella que brinda a sus propietarios comodidad, seguridad, eficiencia energética (bajos costos de operación) y conveniencia en todo momento, independientemente de si hay alguien en casa. En este sentido, el hogar inteligente es un término comúnmente utilizado para definir una residencia que tiene electrodomésticos, iluminación, calefacción, aire acondicionado, televisores, computadoras, sistemas de entretenimiento de audio y video, sistemas de seguridad y cámaras que son capaces de comunicarse entre sí. y se puede controlar de forma remota por un horario, desde cualquier habitación de la casa, así como de forma remota desde cualquier lugar del mundo por teléfono o internet. Sin embargo, todos los dispositivos mencionados consumen energía eléctrica cuando se usan y también cuando no. En este trabajo de investigación, se presenta el desarrollo de la tecnología para la detección inteligente del consumo eléctrico en hogares inteligentes en un entorno de Internet de las cosas. Este dispositivo inteligente es capaz de analizar el consumo de energía de los dispositivos eléctricos conectados a la energía eléctrica mediante el uso de dispositivos móviles. El medidor inteligente tiene un sistema ciberfísico con una aplicación integrada de computación en la nube, a la que se puede

acceder mediante dispositivos móviles, que es capaz de mostrar el consumo eléctrico de los dispositivos eléctricos cuando se usan y cuando no. Este desarrollo tecnológico contribuye a detectar el consumo fantasma de energía eléctrica para promover el ahorro de energía. Los resultados obtenidos muestran que esta tecnología contribuye al ahorro de energía en hogares inteligentes, lo que disminuye el gasto económico para los propietarios de viviendas y al mismo tiempo permite observar y analizar el consumo de energía eléctrica de diferentes dispositivos eléctricos mediante el uso de dispositivos móviles que están conectados a través de Internet a una aplicación integrada en un sistema ciberfísico.

## Abstract

---

The world's population is continually growing, and urbanisation is expected to add another 2.5 billion people to cities over the next three decades. Cities have been the epicenter of innovation and technological development. A smart city, is an urban area that uses different types of electronic sensor to collect data. With these data it is possible to manage assets and resources efficiently using the Internet of Things technology that belongs to the domain of Industry 4.0. The smart city concept applied in homes, integrates new information and communication technologies of Industry 4.0, such as cyberphysical systems connected to Internet of things networks through cloud computing applications to optimize the efficiency of home operations and services and connect to citizens. A smart home is one that provides its home owners comfort, security, energy efficiency (low operating costs) and convenience at all times, regardless of whether anyone is home. In this sense, the smart home is a term commonly used to define a residence that has appliances, lighting, heating, air conditioning, TVs, computers, entertainment audio & video systems, security, and camera systems that are capable of communicating with one another and can be controlled remotely by a time schedule, from any room in the home, as well as remotely from any location in the world by phone or internet. However, all the mentioned devices consume electrical energy when they are being used and also when they are not. In this research work, the development of technology for the smart sensing of electrical consumption in smart homes in an internet of things environment is presented. This smart device is capable to analyze the power consumption of electrical devices connected to electrical power by using mobile devices. The smart meter has a cyberphysical system with an embedded cloud computing application, which can be accessed by mobile devices, which is capable to show the electrical consumption of electrical devices when when they are being used and also when they are not. This technological developmento contributes to detect the phantom consumption of electrical energy in order to promote energy saving. The results obtained shows that



this technology contributes to the energy saving in smart homes which decreases the economic expense in for home owners and at the same time it allows to observe and analyze the electrical energy consumption of different electrical devices through the use of mobile devices that are connected through the Internet to an application embedded in a cyberphysical system.

# Índice general

---

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>1</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>1</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
JUSTIFICACIÓN .....	2
PREGUNTAS CIENTÍFICAS .....	2
HIPÓTESIS .....	3
OBJETIVO GENERAL .....	3
<i>Objetivos particulares</i> .....	4
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>5</b>
2.1. ENERGÍA ELÉCTRICA .....	6
2.1.1. <i>Pérdidas de energía eléctrica</i> .....	8
2.1.1.1. Pérdidas técnicas .....	10
2.1.1.2. Pérdidas no técnicas .....	10
2.1.2. <i>Ahorro energético</i> .....	11
2.1.3. <i>Impacto ambiental</i> .....	14
2.2. REDES INTELIGENTES .....	19
2.3. SMART HOME .....	23
2.4. INDUSTRIA 4.0 .....	25
2.5. INTERNET DE LAS COSAS (IOT) .....	28
2.6. MEDIDORES INTELIGENTES .....	31
2.6.2 <i>Infraestructura de medición avanzada (AMI)</i> .....	34
2.6.2.1 Red de área local (Home Area Network) .....	36
2.7. BIG DATA Y ANÁLISIS DE GRANDES DATOS .....	37
2.8. CLOUD COMPUTING .....	39
2.8.2 <i>FOG Computing</i> .....	41
2.9. SISTEMAS EMBEBIDOS .....	44
2.9.2 <i>Sistemas embebidos en chip</i> .....	46
2.9.3 <i>Estructura de microprocesadores multinúcleo</i> .....	49
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>51</b>
3.1. TARJETA ABEJA .....	51
3.1.1 <i>Características principales de la tarjeta IoT Abeja</i> .....	52
3.1.2 <i>Características del microcontrolador ESP32</i> .....	54
3.2. PINES DE CONEXIÓN DE LA TARJETA ABEJA .....	56
3.2.1 <i>Pines de "solo entrada"</i> .....	56

3.2.2	<i>SPI flash integrada en el chip ES_WROMM-32</i> .....	56
3.2.3	<i>Pines GPIO capacitivos</i> .....	56
3.2.4	<i>Pines GPIO del Convertidor Análogo Digital (ADC)</i> .....	57
3.2.5	<i>Pines GPIO del Convertidor Digital a Análogo (DAC)</i> .....	57
3.2.6	<i>Pines GPIO RTC</i> .....	58
3.2.7	<i>Pines GPIO para manejar señales PWM</i> .....	58
3.2.8	<i>Pines GPIO I2C</i> .....	59
3.2.9	<i>Pines GPIO SPI</i> .....	59
3.2.9.1.	Interrupciones .....	59
3.2.9.2.	Pin de habilitación .....	59
3.2.10	<i>Sensor de Corriente ACS712</i> .....	59
3.3	FORMAS EN QUE SE PUEDE CONECTAR LA TARJETA .....	62
3.4.	SOFTWARE .....	62
3.5.	CIRCUITO INTEGRADO LM358 .....	64
3.4.1	<i>Características del circuito integrado</i> .....	65
3.5	MÓDULO RELÉ 5V DC.....	66
3.6	MÉTODOS .....	69
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....		<b>76</b>
4.1.	PARTICIPACIÓN EN CONGRESO .....	79
4.2.	FORMACIÓN DE CAPITAL HUMANO .....	80
<b>CONCLUSIONES</b> .....		<b>80</b>
5.1.	CONCLUSIONES.....	80
5.2.	PROSPECTIVAS.....	81
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....		<b>82</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b> .....		<b>88</b>

# Índice de figuras

---

FIGURA 1 PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....	9
FIGURA 2 ESTIMACIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA Y EMISIONES DE CO2 PARA EL 2030 .....	17
FIGURA 3 DEMANDA ENERGÉTICA Y EMISIONES DE CO2 PARA EL 2030 .....	17
FIGURA 4 ESTRUCTURA DE LA SMART GRID .....	20
FIGURA 5 INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIÓN DE UNA RED INTELIGENTE .....	21
FIGURA 6 NÚMERO DE DISPOSITIVOS CONECTADOS A INTERNET .....	22
FIGURA 7 INDUSTRIA 4.0 .....	27
FIGURA 8 RELACIÓN ENTRE LA PERCEPCIÓN SOBRE LA IMPORTANCIA DE INTERNET Y EL NIVEL DE UTILIZACIÓN, SEGÚN PAÍS. ....	30
FIGURA 9 EVOLUCIÓN DE LA MEDICIÓN INTELIGENTE .....	36
FIGURA 10 ANÁLISIS DE BIG DATA .....	38
FIGURA 11 ACTORES DEL CLOUD COMPUTING .....	41
FIGURA 12 ESTRUCTURA DEL FOG COMPUTING .....	42
FIGURA 13 PARTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA EMBEBIDO .....	45
FIGURA 14 COMPONENTES DE LOS SE .....	46
FIGURA 15 EJEMPLO DE SISTEMA EMBEBIDO .....	48
FIGURA 16 ESQUEMA DE UN MICROCONTROLADOR .....	49
FIGURA 17 ESTRUCTURA MICROPROCESADOR .....	50
FIGURA 18 ESTRUCTURA DE MICROCONTROLADOR .....	55
FIGURA 19 TARJETA ABEJA .....	55
FIGURA 20 ESTRUCTURACIÓN DE PINES EN TARJETA ABEJA .....	58
FIGURA 21 SENSOR DE CORRIENTE ACS712 .....	60
FIGURA 22 RELACIÓN DE SALIDAS DE PINES EN SENSOR DE CORRIENTE .....	60
FIGURA 23 DIAGRAMA DE BLOQUES FUNCIONAL .....	62
FIGURA 24 CONFIGURACIÓN PRINCIPAL DE PLACA ESP32 DENTRO DE LA INTERFAZ PRINCIPAL DE LA IDE DE ARDUINO .....	64
FIGURA 25 ESTRUCTURA CIRCUITO INTEGRADO .....	65
FIGURA 26 MÓDULO RELÉ .....	66
FIGURA 27 ESTRUCTURA DE RELEVADOR .....	67
FIGURA 28 DIAGRAMA DIODO DE PROTECCIÓN .....	67
FIGURA 29 PROGRAMACIÓN DE DISPOSITIVO .....	71
FIGURA 30 DIRECCIÓN IP ENVIADA POR DISPOSITIVO .....	71
FIGURA 31 EJEMPLO DE PRUEBA DE LECTURA PARA EL SENSOR. ....	72
FIGURA 32 INTEGRACIÓN INVASIVA DEL DISPOSITIVO .....	72
FIGURA 34 REPRESENTACIÓN DE CONEXIÓN TARJETA CON SENSOR DE CORRIENTE INVASIVO .....	73
FIGURA 35 PLANOS DE CARCASA PARA INTEGRACIÓN DE DISPOSITIVO .....	74
FIGURA 36 CARCASA IMPRESA .....	74
FIGURA 37 DISPOSITIVO INSTALADO EN LA RED ELÉCTRICA .....	76
FIGURA 38 REGISTRO DE ACTIVIDAD SIN ANOMALÍAS .....	77
FIGURA 39 EJEMPLO DE CENSO ACTUAL CON DISPOSITIVO DE CONSUMO DE CORRIENTE EN CORTO. ....	78
FIGURA 40 CENSADO DE CORRIENTE A TRAVÉS DEL TRAZADOR EN SERIE EN ESTADO ESTACIONARIO .....	78

# Índice de tablas

---

TABLA 1 COMPARACIÓN CLOUD COMPUTING Y FOG COMPUTING .....	42
TABLA 2 CARACTERÍSTICAS DEL MICROCONTROLADOR.....	54
TABLA 3 DIAGRAMA DE SALIDA DE PINES.....	61
TABLA 4 RELACIÓN DE PINES DE CIRCUITO INTEGRADO .....	66

# Introducción

---

El uso de telecomunicaciones en diferentes aplicaciones del sector eléctrico ha permitido verificar la evolución de su arquitectura, ya sea por tecnologías alámbricas o inalámbricas. El servicio prestado por cada una de las dos opciones se mantiene inclinado ya sea por una u otra tendencia y es por ello que en la actualidad se torna inminente el uso de soluciones híbridas, donde cohabitan varias tecnologías para cada etapa de una red eléctrica inteligente. De igual manera los planes de negocios para implementar la infraestructura de medición inteligente requieren de diferentes soluciones tecnológicas; operadoras de red, transmisores de información, generadores y fabricantes, siendo necesaria una gestión de las redes de telecomunicaciones para este tipo de servicio específico y que facilitan la creación de herramientas para la optimización del consumo de la energía eléctrica, incorporando nuevos servicios al consumidor-cliente, en relación a los que actualmente ofrece una empresa de distribución. [1]

La energía eléctrica mantiene e impulsa la economía y por consecuencia mejora el nivel de vida de las personas, razón por la que se requiere de un nuevo concepto del sistema eléctrico, pensado no sólo desde la generación en dirección al cliente sino de forma bidireccional. Dichos clientes denominados consumidores activos “dotados de elementos de medición prácticamente en tiempo real bidireccionales que informan, tanto al consumidor como a la empresa de distribución, las condiciones del servicio y del uso de la energía”. [1]

En este nuevo paradigma el consumo energético será uno de los elementos claves, ya que representa uno de los grandes factores competitivos entre empresas, por lo que

aquellas que consigan una mayor reducción verán garantizada su rentabilidad económica y por tanto su supervivencia en el mercado, apostando por un modelo de sustentabilidad. Por tanto, el control, análisis y optimización del consumo energético. [2]

## **Justificación**

El principal objetivo del presente proyecto de investigación es el análisis y el estudio del comportamiento de un dispositivo creado en el *Laboratorio de Innovación y desarrollo Tecnológico en Inteligencia Artificial (LIDTIA)*, que permite medir y registrar el consumo eléctrico residencial tomando como referencia las variables de voltaje, potencia y corriente, controlado a distancia por medio de un dispositivo móvil. Ya que se pretende tener el control del consumo eléctrico a través del dispositivo y a su vez crear conciencia a los usuarios sobre el ahorro energético, generando información bidireccional. El análisis que se realiza es la relación que existe entre el consumo de energía eléctrica en los aparatos que se encuentran normalmente en una vivienda y el determinar al mismo tiempo cual es el impacto que se tiene al respecto con el consumo fantasma que estos elementos presentan, para lo cual se incorpora la implementación de la industria 4.0., enfocándose principalmente en los apartados de Big data, Internet de las cosas y Cloud computing siendo grandes áreas que generan gran impacto tecnológico.

## **Preguntas científicas**

Dentro del consumo de energía eléctrica residencial

- ¿el valor que se registra a través de los medidores convencionales es realmente el consumido?
- ¿cuál es el impacto del consumo fantasma que los aparatos presentan?
- ¿es posible reducir este consumo?
- ¿cómo poder reducirse el consumo eléctrico?

## **Hipótesis**

Al gasto que generan los electrodomésticos que se encuentran conectados a la red eléctrica, aunque no estén en funcionamiento se le conoce como consumo fantasma, donde hoy en día el campo de acción es muy amplio debido a que al momento sólo el distribuidor genera el análisis de manera convencional. La mayoría de los usuarios desconocen si realmente el gasto que generan es el reflejo del consumo real, la mayoría de los aparatos conectados a una red eléctrica generan este tipo de consumo incluso si no se encuentran en funcionamiento, con el simple hecho de estar ligados a la red se genera dicho gasto. El registro de dicha actividad se lleva a cabo por los medidores convencionales, el cual no genera distinción entre el gasto. Registrando el consumo en tiempo real de los electrodomésticos es posible reducir este efecto y a su vez generar una base de datos que permita conocer las variantes de gasto con respecto a temporadas. Para ello se pretende desarrollar un dispositivo que registre la información, siendo un intermediario entre el usuario y la red eléctrica sin necesidad de manipular los aparatos directamente, lo anterior por medio de la red de internet enviando la información a una base de datos y posteriormente creando un registro de actividad.

## **Objetivo general**

El objetivo principal de este proyecto de investigación es el estudio y análisis del comportamiento de un dispositivo creado en el *Laboratorio de Innovación y desarrollo Tecnológico en Inteligencia Artificial (LIDTIA)* que registre el consumo eléctrico residencial utilizando sistemas operativos embebidos en chip enfocado hacia la industria 4.0., que permita generar un estudio basado en la conducta que tienen los aparatos electrodomésticos que se encuentran conectados a una red eléctrica y mantener un control del consumo fantasma que esto conlleva. Y a su vez generar la información correspondiente de dicha actividad para su posterior análisis, permitiendo así tomar decisiones en tiempo real acerca de la actividad de consumo de electrodomésticos. Permitiendo recabar la información en la nube y generar una base de datos para consultas posteriores.



Para alcanzar el objetivo general, se proponen los siguientes objetivos particulares:

***Objetivos particulares***

- Recopilar información acerca de las variables que intervienen en el consumo de energía eléctrica residencial.
- Conocer la forma de selección, coordinación y aplicación de los medidores de energía eléctrica.
- Analizar y determinar el estado del arte conforme a los dispositivos existentes.
- Realizar el pre procesamiento de la información extraída.
- Implementar el dispositivo en un ambiente real.
- Analizar resultados obtenidos y generar una comparación con el método convencional de medición.
- Generar un registro para un análisis predictivo posterior.

# Revisión de literatura

---

La población mundial crece continuamente, y se espera que la urbanización agregue otros 2.500 millones de personas a las ciudades durante las próximas tres décadas. Las ciudades actuales de todo el mundo se enfrentan a enormes retos como la polución, apagones, congestión, delincuencia, deudas y costes crecientes, entre otros. Para que estas cifras crezcan, se hace necesario un involucramiento de los recursos necesarios para que las ciudades sean más eficientes, sostenibles y habitables. Las ciudades han sido el epicentro de la innovación y el desarrollo tecnológico, es por esto que es fundamental reducir notablemente las emisiones de carbono, logrando a la par una gestión más prudente de los recursos naturales. En este punto, ahorrar en costes operativos y perseguir disminuir la necesidad de inversiones masivas son otros dos de los grandes retos. Es aquí donde las ciudades inteligentes generan un gran campo de investigación, debido a que es un área urbana que utiliza diferentes tipos de tecnología, donde es posible la administración de activos y recursos de manera eficiente.

El concepto de ciudad inteligente aplicado en los hogares integra las nuevas tecnologías de información y comunicación de la Industria 4.0, como los sistemas ciberfísicos conectados a Internet de las redes de cosas a través de aplicaciones de computación en la nube para optimizar la eficiencia de las operaciones y servicios domésticos y conectarse con los ciudadanos. Bajo este contexto, una casa inteligente es aquella que brinda a sus propietarios comodidad, seguridad, eficiencia energética (bajos costos de operación) y conveniencia en todo momento, independientemente de si hay alguien en casa o no.

En este sentido, el hogar inteligente es un término comúnmente utilizado para definir una residencia que tiene electrodomésticos, iluminación, calefacción, aire acondicionado, televisores, computadoras, sistemas de audio y video de entretenimiento, sistemas de seguridad y cámaras que son capaces de comunicarse entre sí, y se puede controlar de forma remota por un horario, desde cualquier habitación de la casa, así como de forma remota desde cualquier lugar del mundo por teléfono o internet. Sin embargo, todos los dispositivos mencionados consumen energía eléctrica cuando se usan y también cuando no.

El conocimiento de la demanda futura de energía eléctrica en una región, en un país o en el mundo, es una herramienta importante para el desarrollo e implementación de una política energética, ya sea por organizaciones internacionales o por el gobierno. Esta demanda de energía tendrá que ser satisfecha por una combinación óptima de las fuentes de energía eléctrica disponibles, teniendo en cuenta las restricciones impuestas por el futuro cambio económico y social hacia un mundo sostenible. [3]

## **2.1. Energía eléctrica**

La generación, el consumo y la conservación de energía son la raíz de muchos de los problemas más alarmantes que enfrenta la industria energética e indirectamente el consumidor del hogar. La demanda sigue aumentando mientras que la capacidad de generar y entregar energía aumenta a un ritmo mucho más lento. Por lo tanto, hacer más eficiente la gestión y el uso de la energía eléctrica producida es esencial para la prosperidad colectiva y la calidad de vida. [4]

Una gran parte del consumo a nivel mundial se debe a los hogares, en un hogar típico es posible encontrar que la mayoría de este consumo es ocasionado por los electrodomésticos que son responsables de una parte importante de las facturas de energía.

Estos electrodomésticos incluyen calentadores de agua, lavadoras de ropa y secadoras, lavavajillas, refrigeradores y congeladores, estufas eléctricas y luces. Todo lo anterior tiene un gran impacto en el nivel de carga de cada elemento, tiempo estimado de uso y durante cuánto tiempo se encuentra conectado a la red eléctrica. [5]

Cuando un elemento es utilizado genera diferentes pérdidas de energía, es decir, de toda la energía que se pretende consumir solo un porcentaje es aprovechado y a lo que no, se le conoce como pérdida. Este fenómeno pasa inadvertido para el usuario debido a que el registro es de manera general, lo que implica que no se pueda detectar de manera particular cada electrodoméstico y determinar cuál de los aparatos se encuentra generando un costo de kilowatts-horas, por lo que crea un costo extra reflejado directamente en el bolsillo del consumidor.

El control de optimización en tiempo real, estrategias de minimización de consumo y el control predictivo son métodos que representan un gran avance dentro del control eléctrico, no solo en el campo del consumo, sino que también en el ámbito de seguridad, ya que dentro del panorama de la predicción es posible actuar en el momento ante alguna anomalía. [6]

Es por esto que medir el consumo de energía eléctrica es un factor importante tanto para toda compañía eléctrica como para sus clientes. Gracias a los medidores de energía eléctrica se puede llevar a cabo el control de consumo. Con el paso del tiempo, de la mano de los dispositivos inteligentes, estos medidores han ido evolucionando. [7]

Los ahora denominados medidores inteligentes pueden clasificarse en dos grupos:

- 1) Los medidores de lectura automática (AMR, del inglés Automatic Meter Reading), los cuales solo tienen comunicación en una dirección hacia el proveedor de servicio, utilizada para funciones de facturación. [8]
- 2) La infraestructura avanzada de medición (AMI del inglés Advanced Metering Infrastructure), que cuenta con un canal de comunicación bidireccional y con la capacidad de realizar algunas funciones de mantenimiento. [9]

La evolución de los medidores inteligentes estará determinada por las características del mercado y de las compañías generadoras. En Estados Unidos se desea que los medidores ayuden a realizar tareas de administración de fallas de energía e incrementos en la confiabilidad de la red, mientras que en Europa el enfoque es mayor hacia el cumplimiento de regulaciones obligatorias y el incremento de capacidades para ayudar al usuario en la administración de su consumo. [10]

Los beneficios del empleo de las nuevas tecnologías requieren la coordinación entre el consumidor y el generador, dando así una mayor eficiencia energética mediante la introducción de dispositivos que se encuentren a la vanguardia como la industria 4.0, esto permite un beneficio económico directo ante los consumidores finales detectando las pérdidas que se tienen en el sistema.

### **2.1.1. Pérdidas de energía eléctrica**

Existen varios tipos de pérdidas eléctricas, ya sea desde de transmisión y distribución de energía eléctrica, hasta las pérdidas por el consumidor final. Las pérdidas más notables son las que incluyen las de transmisión entre fuentes de suministro y puntos de distribución, y en la red de distribución a las acometidas de los consumidores, incluyendo el uso ilícito de la energía. Las pérdidas equivalen a la diferencia entre la energía generada, recibida o suministrada y la energía vendida, entregada o facturada por las compañías eléctricas. Es necesario intensificar las técnicas de supervisión y

control de consumo, este último tiene un gran campo de trabajo para los investigadores impactando en la implementación de nuevas ideas para su mejor gasto. [11]

Cabe resaltar que, en el proceso de transformación de energía, se producen pérdidas que son de alguna manera imposibles de eliminar, ya que no se aprovecha el cien por ciento de su cambio, las pérdidas que se tienen durante el proceso desde su generación se pueden dividir en dos tipos, las técnicas y las no técnicas, las cuales se clasifican por tipo y origen, como se muestra en la figura siguiente.

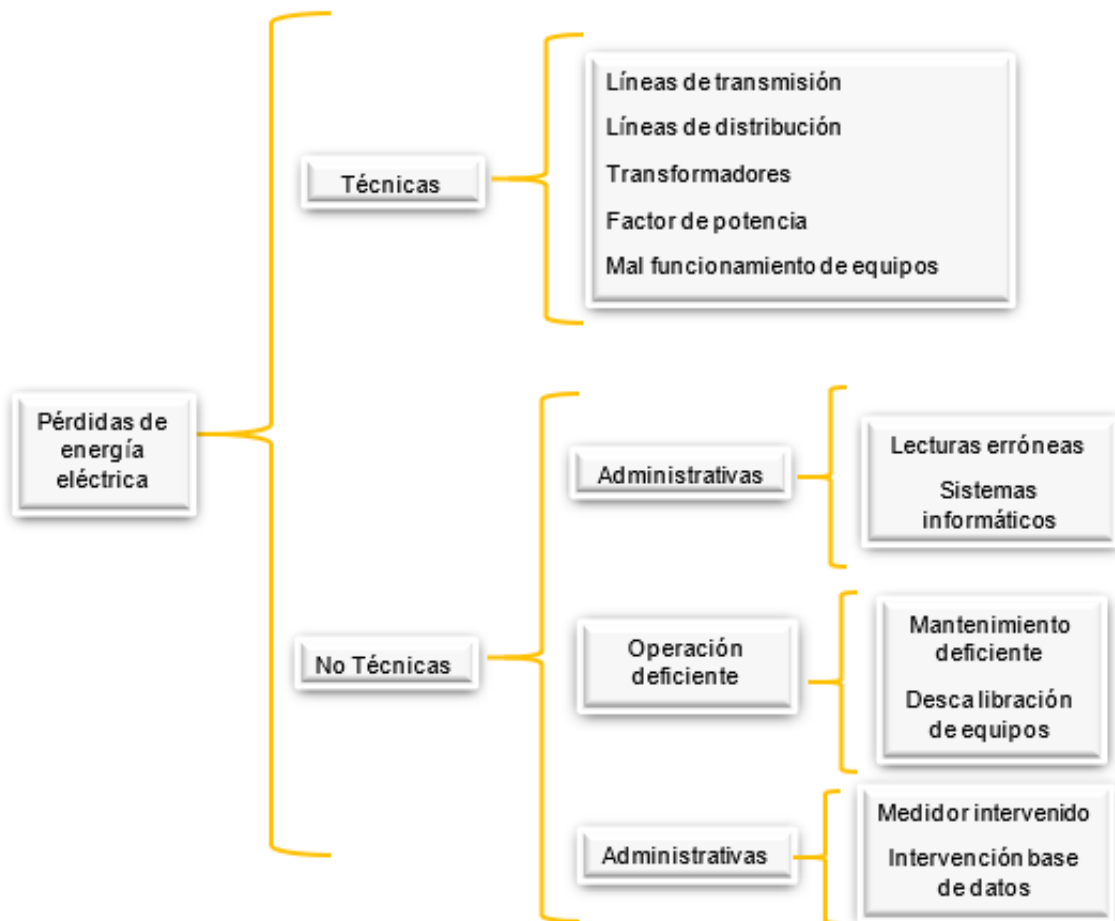


Figura 1 Pérdidas de energía eléctrica

#### *2.1.1.1. Pérdidas técnicas*

Las pérdidas técnicas están compuestas por un componente fijo, asociado al calor que se desprende cuando los transformadores son energizados, y un componente de pérdidas variable que surge debido al calentamiento de los conductores eléctricos mediante los cuales se suministra la electricidad. Esta conversión de energía eléctrica a energía calorífica se denomina efecto Joule. Las pérdidas técnicas constituyen la energía que se disipa y que no puede ser aprovechada de ninguna manera, pero que pueden ser reducidas a valores aceptables según planes establecidos para dicho efecto.

Éstas se presentan principalmente por la resistencia de los conductores que transportan la energía desde los lugares de generación hasta llegar a los consumidores. Son un fiel reflejo del estado y la ingeniería de las instalaciones eléctricas, dependen básicamente, del grado de optimización de la estructura del sistema eléctrico, y de las políticas de operación y mantenimiento. Su mayor concentración, es ocasionada por la transmisión de energía eléctrica por medio de conductores, transformadores y otros. [12]

#### *2.1.1.2. Pérdidas no técnicas*

Las pérdidas no técnicas se originan por la incorrecta gestión comercial y administrativa del sistema de medición o facturación de la empresa distribuidora de energía, por ejemplo, la que resulta por el uso de medidores mal calibrados, obsoletos o inadecuados; por errores de lectura en equipos de medición; por clientes sin identificación comercial; por falta de registro de los consumos propios; por retrasos de la facturación, o por demoras en las reconexiones de servicios, entre otros. [13]

Esto también incluye entre sus principales derivados a las sociales que se generan a través del hurto, conocidas como conexiones ilegales mediante varios métodos de conexión a la red eléctrica y no generando alguna remuneración económica ante el

distribuidor principal. Y pérdidas no comerciales las cuales suceden ante la modificación de los aparatos que registran la actividad.

El enfoque que se debe generar ante la preocupación de la distribución y consumo energético es directamente hacia el control y la reducción de pérdidas, enfatizando principalmente al consumidor final permitiéndole generar un análisis interno tanto de consumo como de control conduciendo a una eficiente optimización de los recursos energéticos. La tendencia que lleva este tipo de análisis se apoya directamente en lo que denominamos redes eléctricas inteligentes. [14]

Los elementos que se utilizan el día de hoy enfocados en la integración de nuevas tecnologías tienen ciertos requisitos los cuales a medida que aumentan, los desarrolladores se enfrentan con la presión de reducir el uso de energía.

### **2.1.2. Ahorro energético**

El ahorro de energía eléctrica es un elemento fundamental de las políticas públicas para el cuidado de los recursos energéticos no renovables, la diversificación energética, la protección del medio ambiente, el aumento de la productividad, la competitividad de la economía y para la protección de la economía familiar. Para conocer el impacto de los programas de ahorro de energía es necesario realizar mediciones, ya que es la mejor forma de validar las medidas y efectos de las campañas implementadas por el sector energético. [15]

El problema es que las mediciones son caras al involucrar diversos equipos y tiempo de procesamiento. No obstante, existen registradores económicos como los data loggers, pero únicamente pueden registrar cargas puntuales, por lo que su instalación se realiza internamente en el inmueble y se requiere mayor tiempo para el procesamiento de la información. [16]



Otra forma de realizar mediciones en el sector doméstico es la utilización de equipo con tecnología reciente, donde el software realiza la desagregación de curvas de los principales electrodomésticos, lo que reduce el número de equipos utilizados, ya que solo se instala un equipo de medición en la acometida de energía eléctrica, y el software facilita el manejo de la información, permitiendo manipular los resultados de manera sencilla y práctica, reduciendo así los tiempos de operación. [17]

En el contexto de conservación de energía, se han realizado estudios de campo previos limitado en su capacidad para medir el comportamiento de alta frecuencia y para proporcionar a los residentes comentarios oportunos sobre su uso de electricidad.

Los estudios anteriores a menudo utilizan datos obtenidos de largos o poco frecuentes ciclos de facturación residenciales, utilizando indirectamente técnicas de modelado de energía o encuestas auto informadas sobre intenciones de conservación. Lo anterior crea una duda y sospecha acerca de hacia dónde se dirige la factura de consumo, falta de información o información errónea genera un descontento directo del usuario. [18]

En los últimos años, el tema de la energía ha sido un tema abordado por los investigadores debido a su demanda en rápido crecimiento en todo el mundo. De acuerdo con la International Energy Agency (IEA), el suministro de energía eléctrica podría ser un 50% mayor en 2030 de lo que hay en la actualidad y esto tendría consecuencias económicas y ambientales alarmantes. Actualmente, el consumo de electricidad en el mundo ha ido en aumento debido a varios factores, que han evolucionado con el tiempo, tanto en el campo tecnológico como social. Sin embargo, esto afecta a la sostenibilidad del país, por lo que la necesidad de implementar un sistema de control para reducir este consumo es de gran importancia, ya que pueden alcanzarse no sólo el ahorro económico, sino que ayudará a cuidar el medio ambiente. [3]

El incremento del precio de la energía eléctrica provoca un efecto directo sobre la demanda de electricidad de los hogares. Ello se traduce en una caída en la actividad de dicho sector, en su producción y demanda de insumos intermedios y primarios; lo anterior impacta el ingreso de los hogares, incidiendo de nuevo sobre la demanda, pero ahora de todos los bienes finales, y con ello sobre su producción, demanda de insumos intermedios, trabajo y capital, ingreso de los hogares, y sigue el proceso del flujo circular de la renta hasta que converge. [19]

El incremento en el precio de la electricidad genera dos efectos en los hogares mexicanos: el efecto precio y el efecto ingreso. El efecto precio hace referencia al aumento en el costo de la canasta de consumo de las familias, siendo los hogares que habitan en el área rural, los más impactados por este efecto [20]. Ello se debe a que destinan una mayor proporción de su ingreso a la compra de los bienes que subieron de precio, en especial de la electricidad. La disminución en la demanda de trabajo y capital y la reducción de transferencias gubernamentales genera un efecto ingreso negativo en los hogares. [19]

Es de suma importancia la participación de los clientes en el sistema eléctrico, ya que de esta manera se logra verificar la cantidad de carga real que existe en la red en determinado tiempo, es decir, esto ayuda a los sistemas eléctricos a ser más confiables y eficientes, dando garantías a la hora de dar un suministro energético, ya que se evitarían sobrecargas en ciertos sectores en horas pico, lo que puede desencadenar el corte de suministro energético hacia los usuarios. [21]

La Administración de Información de Energía (EIA), ha pronosticado recientemente que el consumo mundial de energía crecerá un 56% entre 2010 y 2040. Aunque el 80% de esta energía procede de combustibles fósiles tradicionales, las energías renovables y la energía nuclear son de más rápido crecimiento, cada una del 2,5% por año. Por otro lado, se percibe un estado primitivo de las redes eléctricas actuales, que en la mayoría de los casos consisten en líneas de transmisión de energía de más de

50 a 60 años de edad y cuyo diseño conceptual se ha mantenido sin cambios durante más de 100 años. [22] [23]

La relación entre el uso de energía y los indicadores clave del proceso de producción, permitirá obtener relaciones importantes para estudiar el correcto uso energético:

- Tendencias en los consumos que reflejen parámetros estacionales.
- La eficiencia del proceso
- Tendencias futuras en el uso energético.
- Áreas específicas de gasto energético no útil.
- Desarrollar objetivos de Eficiencia Energética
- Comparación con sectores similares

El primer impacto de reducir el consumo energético en las viviendas será el económico. Mejorar una vivienda energéticamente, hacer menos consumos de agua, utilizar materiales respetuosos con el medio ambiente y lo más "naturales" posibles seguro que supondrá, a medio plazo, reducir gastos, lo cual genera un gran impacto ambiental.

### **2.1.3. Impacto ambiental**

Una de las mejores formas de evitar la escasez energética y reducir los impactos negativos ambientales y de salud de las tecnologías actuales energéticas es simplemente, utilizar menos energía [24]. Actualmente, la matriz energética a nivel mundial, se basa en combustibles fósiles y el ritmo de consumo es acelerado de modo que el agotamiento de las reservas existentes es una realidad que no admite discusión. [25]

Existe una creciente conciencia en todo el mundo de que las energías renovables (FRE) y la eficiencia energética son fundamentales, no sólo para hacer frente al cambio climático, sino también para el desarrollo económico y el acceso a la energía de los

miles de millones de personas que aún viven sin servicios modernos de energía [26]. Al igual que la alta correlación de los precios de la energía con el comportamiento de los precios del gas, el comportamiento inelástico del consumo de carbón con relación a su precio y los aumentos del consumo de petróleo y gas como sustitutos naturales ante altos precios del carbón. [27]

La transición del sistema energético actual basado en combustibles fósiles a un nuevo sistema con implantación de energías renovables y sistemas eléctricos de transporte requiere el desarrollo de nuevos algoritmos de control que permitan gestionar los aspectos relacionados tanto con la intermitencia y la distribución de la generación como con los nuevos perfiles de consumo [28]. Particularmente, se ha demostrado que las cargas residenciales juegan un papel importante en el corrimiento y reducción del pico de demanda [29].

Desde la introducción de la electricidad, la vida social patrocinada por la tecnología ha experimentado un desarrollo exponencial: la dinámica social ha cambiado de la extensión de las actividades humanas más allá de la puesta del sol, a la incorporación de electricidad en las máquinas de vapor, a los sistemas de transporte y, en general, a muchos otros. Para ello, el uso racional de este elemento se ha convertido en una parte importante para el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan aprovechar su máximo potencial y al mismo tiempo crear conciencia de la población, permitiendo su participación directa en este tema.

El primer gran impulso para el cambio fue la introducción de electricidad en los hogares en el primer cuarto de siglo. Esto proporcionó una nueva fuente de energía limpia y conveniente para los electrodomésticos y estimuló la introducción de nuevos equipos para el hogar. Donde el usuario es el autor principal dentro del consumo en el sector residencial, lo que genera una gran contribución al efecto invernadero que se crea a través del consumo energético. Con la llegada de la era de la información y la tecnología, la demanda residencial de alta calidad y confiabilidad de la energía

eléctrica aumenta día a día. Al mismo tiempo, la presión de los recursos naturales mundiales y el medio ambiente también aumenta rápidamente.

De acuerdo con la International Energy Agency (IEA), el suministro de energía eléctrica podría ser un 50% mayor en 2030 de lo que hay en la actualidad y esto tendría consecuencias económicas y ambientales alarmantes [3]. Con este incremento de la población mundial, el consumo energético será mayor, agotando aún más los recursos primarios y ocasionando un mayor daño al medio ambiente [30]. Se examinan tres objetivos de optimización, minimización de costos, demanda de maximización de la generación eólica y minimización de emisiones de carbono asociadas. [31]

Los sistemas de micro redes se consideran una alternativa a los sistemas de generación de energía centralizados actuales, porque pueden proporcionar beneficios económicos al evitar la transmisión a larga distancia. Además, los beneficios ambientales pueden ser obtenidos mediante la utilización de recursos de energía distribuida en combinación con micro redes, lo que permite la generación de una menor cantidad de contaminantes [32]. Se estima que para los siguientes años el incremento de CO<sub>2</sub> sea de manera radical, directamente proporcional al incremento en la población mundial que se espera para el 2030, como se muestra a continuación:

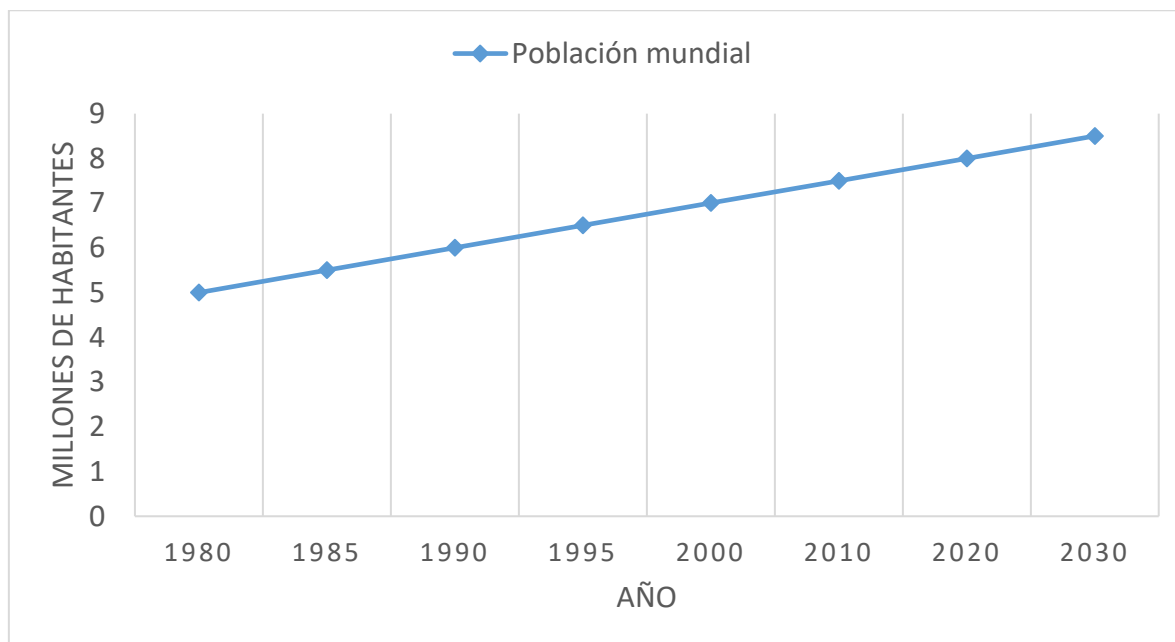


Figura 2 Estimación de demanda energética y emisiones de CO2 para el 2030

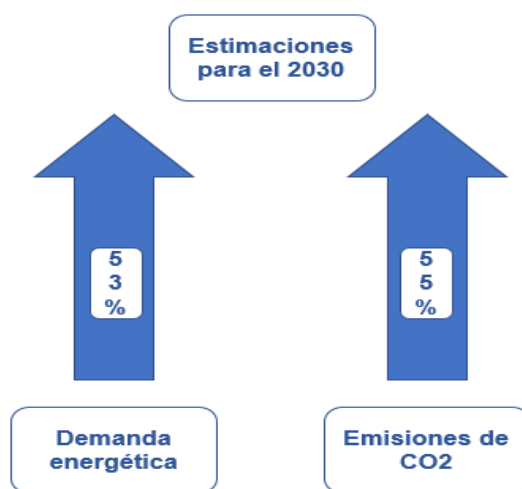


Figura 3 Demanda energética y emisiones de CO2 para el 2030

El fomento del uso eficiente de la energía eléctrica en cada país dependerá de la realidad del mismo, es decir, se debe considerar, por ejemplo, la infraestructura existente, mercado o modelo de negocios de energía, concepción del gobierno nacional en cuanto a los objetivos sociales del servicio eléctrico, situación económica del país, actitud del usuario del servicio hacia el ahorro de energía, entre otros [33].

Dentro de las redes inteligentes, la relación interactiva entre la red operadores, servicios públicos y hogares inteligentes es el elemento clave que permite tecnologías de red inteligente para funcionar juntas. Gestión energética de los edificios podría jugar un papel importante en la reducción de la energía costo y contaminación del aire, ya que entre el 30% y el 40% de la energía primaria del mundo se consume en edificios. [34]

Las micro redes prometen reducir el consumo de energía y las emisiones de carbono, en comparación con los sistemas de generación de energía centralizados actuales. Las casas inteligentes se están volviendo populares debido a su menor costo de energía y conveniencia. Las tareas domésticas flexibles que consumen energía se pueden programar de manera coordinada entre múltiples hogares inteligentes para reducir el costo económico y el CO<sub>2</sub>. [35]

La proyección del consumo de electricidad será información valiosa para el generador de esta energía, ya que puede saber cuánta potencia necesita para satisfacer la demanda residencial, dar mantenimiento a elementos del sistema, optimizar su oferta de energía y así maximizar su rentabilidad. [36]

Los nuevos modelos de precios de electricidad ofrecen a los consumidores fuertes incentivos para regular no solo su consumo total de energía, sino también su perfil de consumo. En particular, estos nuevos modelos de precios alientan a los clientes a reducir su consumo máximo al aplanar su uso. Lo que se refleja al pagar por este servicio, centrándose en el ahorro de energía que impacta directamente en el bolsillo del usuario. [37]

En el futuro, todos los dispositivos conectados al sistema eléctrico deberán ser inteligentes. Hay dos tipos de dispositivos especializados: dispositivos eléctricos genéricos (actuadores y potenciadores de la calidad de la energía) y dispositivos de medición; es decir, son para medir puntos en el sistema y dispositivos de medición.

Las variaciones entre estos dos, es que la medición de puntos proporciona solo datos, mientras que los dispositivos de medición controlan el sistema. [38]

Este control se centra en los diferentes electrodomésticos, principalmente en los electrodomésticos, como el estudio, la lavadora y el refrigerador, que son los principales contribuyentes del consumo, ya que están conectados durante todo el día. La tecnología de gestión del lado de la demanda puede ayudar a cambiar la carga de trabajo que consume energía de las horas pico a las horas de menor actividad para propósitos tales como el equilibrio de carga y la reducción del gasto de dinero, que es fundamental en un sistema de hogar inteligente.

## **2.2. Redes inteligentes**

Las tecnologías cambian nuestra vida. De muchas emergentes tecnologías, Internet de las cosas (IoT *del inglés Internet of Things*), M2M (Machine-to-Machine), también conocido como máquina a máquina (donde los dispositivos inteligentes son capaces de recolectar datos, retransmitir información entre sí, procesar la información colaborativa, y tomar acción automáticamente) es un nuevo paradigma que ofrece tanto retos como oportunidades. [39]

Las *Smart Grids* se presentan como una solución a la demanda de la gestión distribuida e inteligente de la energía, mejorando así las funciones de automatización, recolección y procesamiento de datos [40]. No hay una definición formal para indicar el significado de Smart Grid o red inteligente, pero en términos generales se puede decir que es la convergencia de avances y desarrollos tecnológicos que ayudan a modernizar la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, optimizando la operación del sistema [41]. Otra diferencia importante es la incorporación de tecnología digital de forma tal que exista un flujo de información bidireccional entre generadores y consumidores reduciéndose así los costos de



generación y transmisión, mejorando al mismo tiempo la eficiencia y la confiabilidad [42].

Al igual que el Internet, *Smart Grid* consistirá en sistemas de control, ordenadores, comunicación y nuevas tecnologías y equipos trabajando en conjunto, pero en este caso, estas tecnologías funcionarán con la red eléctrica para responder digitalmente a la demanda eléctrica. Consecuentemente, esta moderna red es capaz de almacenar, comunicar y tomar decisiones. [43]

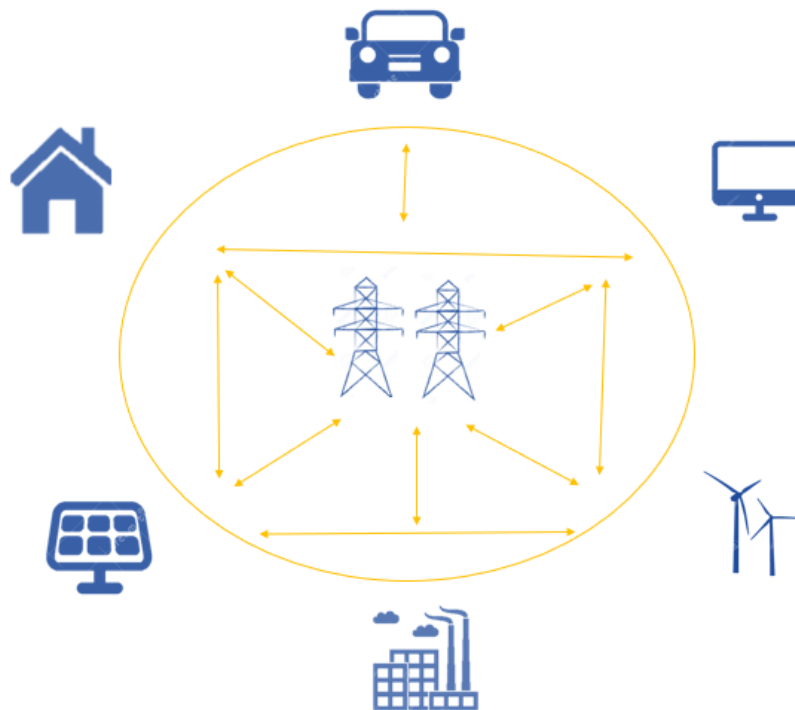


Figura 4 Estructura de la Smart Grid

El concepto Smart Grid hace referencia a un modernizado sistema de distribución eléctrica que realiza un control automatizado del flujo de energía desde la central generadora hasta los consumidores, proporcionando mayor seguridad, rentabilidad y eficiencia. [44]

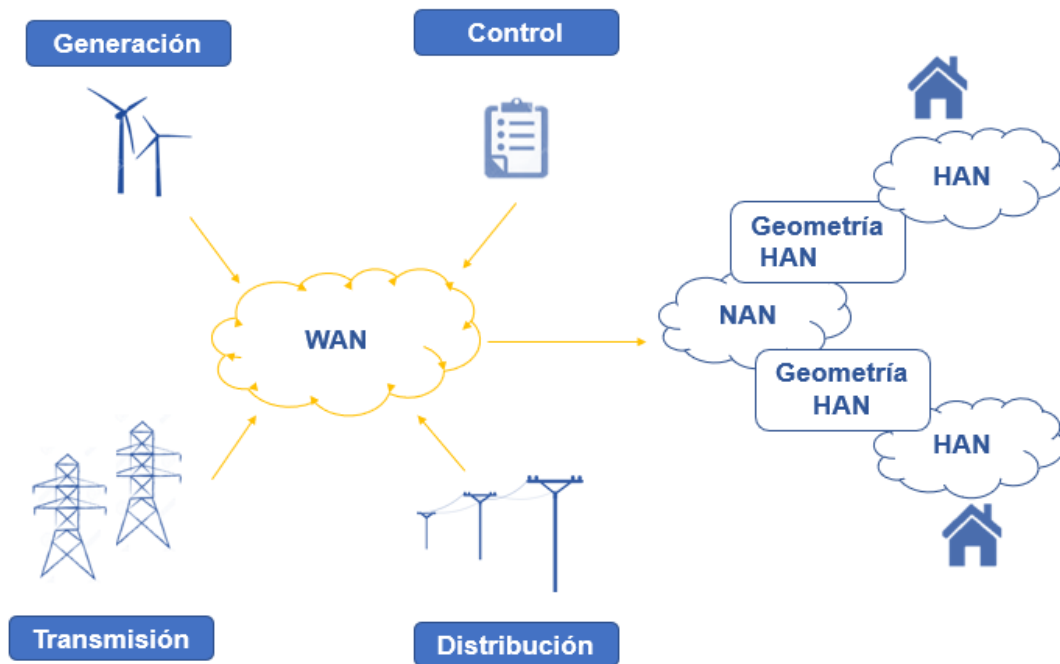


Figura 5 Infraestructura de comunicación de una red inteligente

La importancia de las redes inteligentes radica en que pueden ser auto-reparables en caso de fallas, se pueden incluir a los clientes en un envío de datos bidireccional, también deben tener resistencia a ataques que pueden venir desde el exterior mediante software malicioso. Además, se puede ofrecer una gran calidad en la eficiencia del servicio. [21]

Las redes de comunicaciones M2M son de especial importancia para las Smart Grids, son clave para permitir la monitorización y control en casi tiempo real del elevado número de puntos de consumo y de generación previstos. Por lo tanto, deben cumplir requisitos muy exigentes desde el punto de vista técnico (p.ej., baja latencia, alta disponibilidad), pero también desde el económico (bajos costes de despliegue y operación). [45]

Las comunicaciones de máquina a máquina (M2M) se refieren a las formas que permiten aplicaciones automatizadas que proporcionan conectividad entre máquinas o dispositivos sin ningún tipo de intervención humana. Las comunicaciones M2M

pueden implicar una gran cantidad de dispositivos en una amplia gama de dominios de aplicaciones. Así se forma la llamada Internet de las cosas (IoT) [46]. Con M2M, los dispositivos se “comunican” entre sí mediante conexiones cableadas o inalámbricas y comparten datos sin intervención humana directa. El uso de las comunicaciones M2M es particularmente adecuado para interactuar con un gran número de dispositivos remotos que actúan como interfaz con clientes finales, servicios públicos, etc. De esta manera dispositivos tales como medidores inteligentes, letreros, cámaras, sensores remotos, computadoras portátiles y dispositivos pueden interconectarse para soportar una variedad de nuevas aplicaciones. [47]

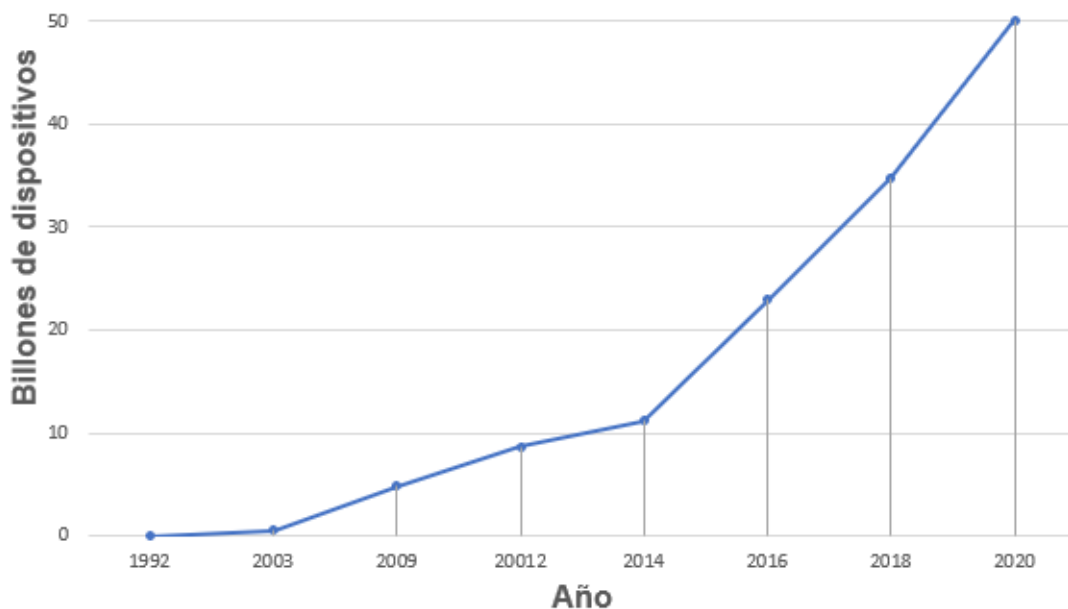


Figura 6 Número de dispositivos conectados a internet

Este gráfico se obtiene de informes recientes desarrollados por Cisco y Ericsson. Los informes discuten el crecimiento esperado en la cantidad de dispositivos conectados para 2020 debido a la introducción del mercado M2M, que es el primer paso para el desarrollo y aprovechamiento de los dispositivos que se encuentran en el hogar para incorporarse en el avance tecnológico denominado Smart home. [48]

### **2.3. Smart Home**

La necesidad del ser humano por la sobrevivencia ha llevado al mismo a requerir varios elementos, uno de ellos la protección, ya sea ante la intemperie como de los depredadores, todo esto ha generado que la denominación de un hogar tenga tantos sentidos, porque conforme el ser humano ha evolucionado al mismo tiempo lo ha hecho su vivienda, acoplándose de acuerdo a las necesidades del entorno. [49]

La adaptación del hogar de acuerdo a dichas necesidades ahora se ve involucrado en un ambiente tecnológico y de constante innovación, especialmente en el control de electrodomésticos, seguridad y placer, estos factores han permitido la integración de lo que se conoce ahora como casa inteligente. [50]

En una casa o entorno de vivienda que contiene tecnología para permitir que los dispositivos y sistemas domésticos se controlen automáticamente es necesario el aprovechamiento de la industria 4.0 de una manera integral. Para lograr esto, el sistema de hogar inteligente que se diseña adopta tecnologías que permiten la construcción de una red doméstica local para controlar objetos o dispositivos en el hogar, utilizando la amplia gama de oportunidades que ofrecen dispositivos como teléfonos celulares y, a su vez, Internet, aprovechando el gran potencial que permite conectar la red doméstica local a Internet (la plataforma de administración remota) para la comunicación con el fin de apoyar el control y la gestión. [51]

Una casa inteligente es aquella que brinda a sus propietarios comodidad, seguridad, eficiencia energética (bajos costos de operación) y conveniencia en todo momento, independientemente de si hay alguien en casa o no. En este sentido, el hogar inteligente es un término comúnmente usado para definir una residencia que tiene electrodomésticos, iluminación, calefacción, aire acondicionado, televisores, computadoras, sistemas de entretenimiento de audio y video, sistemas de seguridad y cámaras que son capaces de comunicarse entre sí, y se puede controlar de forma

remota por un horario, desde cualquier habitación de la casa, así como de forma remota desde cualquier lugar del mundo por teléfono o internet. [52]

La visión funcional ve a los hogares inteligentes como una forma de gestionar mejor las demandas de la vida diaria a través de la tecnología. Esto se refleja en el sentido de la administración y la reducción del consumo de electricidad en los hogares como parte de una transición más amplia hacia un futuro bajo en carbono. La visión sociotécnica considera el hogar inteligente como la próxima ola de desarrollo en la electrificación y digitalización de la vida cotidiana, dando un gran salto hacia el desarrollo de una sociedad que coexiste entre la urbanización centrada en las ciudades inteligentes y el cuidado especial de la naturaleza. [53]

Esto se refleja en el sentido de la administración y la reducción del consumo de electricidad en los hogares como parte de una transición más amplia hacia un futuro bajo en carbono. La visión sociotécnica considera el hogar inteligente como la próxima ola de desarrollo en la electrificación y digitalización de la vida cotidiana, dando un gran salto hacia el desarrollo de una sociedad que coexiste entre la urbanización centrada en las ciudades inteligentes y el cuidado especial de la naturaleza. [54]

Los sistemas avanzados de control del hogar tienen varios nombres, incluidos el hogar inteligente, la automatización del hogar y los sistemas integrados del hogar. Por cualquier nombre, estos sistemas controlan convenientemente dispositivos electrónicos y dispositivos para el hogar, incluidos audio/video, oficina en el hogar, telecomunicaciones, intercomunicadores, seguridad, iluminación, HVAC y rociadores de césped.

En general, un hogar inteligente puede verse como un entorno en el que las tecnologías informáticas y de comunicaciones se utilizan para el uso y control de diferentes dispositivos domésticos de forma remota o automática para mejorar la calidad de vida del residente. Generando el principio del desarrollo de ciudades

inteligentes, cuyo objetivo principal es el cuidado del medio ambiente. Puede verse como una subclase de categorías más grandes que involucran edificios inteligentes o incluso ciudades inteligentes. Esto gracias a los pasos agigantados que ha hecho el desarrollo de la industria específicamente en la 4.0, que implementa nueva tecnología en varios aspectos de la vida diaria.

## **2.4. Industria 4.0**

El siglo XXI ha sido marcado por grandes avances tecnológicos desde sus primeros años: la creciente miniaturización de las computadoras personales, el nacimiento y auge de los teléfonos inteligentes, las tabletas y el cómputo en la nube son sólo algunos de los ejemplos más importantes que se podrían destacar; mismos que paulatinamente han cambiado el comportamiento de las personas en la llamada sociedad de la información. Es cotidiano ver a las personas en la calle, en el trabajo o en la casa con sus teléfonos en la mano, ya sea “chateando”, revisando sus redes sociales, o consumiendo algún tipo de recurso en Internet. Un estudio sobre los hábitos de los usuarios de Internet en México en 2015, realizado por la Asociación Mexicana de Internet, revela que de los 53.9 millones de usuarios mexicanos, 5 de cada 10 acceden a Internet desde su teléfono inteligente y pasan en promedio 6 horas y 11 minutos al día conectados y la tendencia es que este número aumente gradualmente en los años. [55]

Este concepto es algo nuevo que se está incorporando a la vida del ser humano de una manera muy rápida, introduciendo con ello las nuevas tecnologías digitales, al igual que las industrias ya trabajan con estos nuevos conceptos y tecnologías. Dentro de las variantes que tiene la industria 4.0 el internet de las cosas es uno de los que ha tenido un gran desplome dentro de la vida diaria en gran parte gracias al cómputo móvil, generando una gran aceptación por parte de los usuarios dentro del ámbito de la seguridad, comodidad y servicios. [56]

La Industria 4.0 dicta el fin de las aplicaciones centralizadas tradicionales para el control de producción. Su visión de los ecosistemas de las fábricas inteligentes con entidades de taller inteligentes y autónomas es inherentemente descentralizada. En respuesta a las demandas de los clientes de productos a medida, estas plantas alimentadas por habilitadores tecnológicos como la impresión 3D, Internet de las cosas, computación en la nube, dispositivos móviles y Big Data, entre otros, crean un entorno totalmente nuevo. Los sistemas de fabricación del futuro, incluidos los sistemas de ejecución de fabricación (Manufacturing Execution Systems) tendrán que construirse para soportar este cambio de paradigma. [57],[58]

La industria 4.0 representa un enfoque a la innovación de nuevos productos y procesos, a través de fábricas inteligentes, totalmente integradas en redes de trabajo (a lo largo de la cadena de valor) que propician nuevas formas de colaboración e infraestructuras sociales. No obstante que está todavía en proceso de desarrollo, sus bondades permiten anticipar grandes cambios, ya que se le asocia con la digitalización de los sistemas de información y producción para las actividades de gestión; los sistemas de automatización para la adquisición de datos de las máquinas y líneas de producción; con el intercambio de información para el monitoreo y control de los procesos y la toma de decisiones en tiempo real, por mencionar algunos. [59]

Su principal objetivo es generar un nivel de desarrollo con respecto a la automatización notable, enfocándose en la eficiencia operativa, productividad y automatización, esto hacia la interacción de hombre-máquina y a su vez el desarrollo de tecnología máquina-máquina ha tomado un gran auge dentro de este desarrollo. [60]

Estas características no solo están altamente correlacionadas con las tecnologías de Internet y los algoritmos avanzados, sino que también indican que la Industria 4.0 es un proceso industrial de valor agregado. Aunque no existe un consenso al respecto, el internet de las cosas (IoT), el cómputo móvil, el cómputo en la nube, el Big data y la analítica avanzada parecen ser los pilares tecnológicos más importantes en la industria 4.0, dado que, de estas tecnologías, depende:

- la escalabilidad de la capacidad de cómputo
- el procesamiento y análisis de datos
- la accesibilidad global de los servicios vía internet u otros dispositivos móviles
- la creación de nuevos procesos, productos y modelos de negocio. [59]



Figura 7 Industria 4.0

El gran desafío de la industria 4.0 es garantizar el proceso completo de precisión y eficiencia. Teniendo en cuenta los siguientes puntos principales: accesibilidad, multilingüismo, seguridad, privacidad, subsidiariedad, uso de estándares abiertos, software de código abierto y soluciones multilaterales. Ofreciendo igualdad de oportunidades para su acceso público, admitiendo varios idiomas, ofreciendo servicios de seguridad de la mano de la tecnología siendo confiable. [1][2][39]

La adaptabilidad, la eficiencia de los recursos y la integración de los procesos de oferta y demanda mejoran en la Industria 4.0, por lo tanto, las fábricas, la producción, las ciudades y los posibles equipos y objetos inteligentes se vuelven inteligentes. Llegando a desarrollar elementos de uso cotidiano en el escenario del hogar inteligente, las "cosas" en IoT se refieren a un conjunto de sensores y actuadores para uso diario.



## 2.5. Internet de las cosas (IoT)

El internet de las cosas (IOT del inglés Internet of Things) permite una comunicación de forma multidireccional entre máquinas, personas y productos, facilitando la toma de decisiones en base a la información que la tecnología recoge de su entorno. Utiliza nuevos sensores y actuadores que, en combinación con el análisis de Big data y de computación en la nube, permite máquinas autónomas y sistemas inteligentes [63]. IoT es una tecnología clave para que la industria manufacturera avance hacia la fabricación de productos inteligentes (incorporando servicios sobre los productos), generando una relación más estrecha con los consumidores finales y captando información sobre el desempeño y el uso de sus productos, incluso cuando estén en posesión del cliente. Por ejemplo, electrodomésticos con IoT que, mediante una conexión Wi-Fi, reportan al fabricante información en tiempo real y precisa como fallas, consumo, horas de uso, etc. [61]

Hay una gran cantidad de tecnologías, variedad de cosas u objetos en nuestro entorno, a través de esquemas de enrutamiento únicos y protocolos de comunicación estándar, pueden interactuar entre sí y cooperar con dispositivos cercanos para lograr objetivos comunes en el campo de la IOT. Mismo que consta de modelos que ofrecen servicios de conectividad integrados entre dispositivos, manipulados directa e indirectamente por los usuarios.

La computación en la nube puede proporcionar la infraestructura virtual para dicha utilidad informática que integra dispositivos de monitoreo, dispositivos de almacenamiento, herramientas de análisis, plataformas de visualización y entrega, creando un entorno de comodidad y seguridad de fácil acceso y manipulación, pero con características muy importantes.

El IoT se puede describir como la conexión de objetos cotidianos como teléfonos móviles, televisores, sensores y actuadores, donde los dispositivos están conectados de manera inteligente para permitir nuevas formas de comunicación entre ellos. A

través de la red que genera una interconexión entre máquinas, realizan actividades específicas sin la necesidad de interacción humana. Hoy en día, las casas inteligentes se vuelven cada vez más “intelectualizadas” y rentables con un progreso y costo continuos, en electrónica, tecnología de la información, tecnología de comunicación, especialmente tecnología de Internet de las cosas, llevando este concepto a ciudades inteligentes y redes inteligentes de suministro de electricidad.

En la actualidad más de 53.9 millones de personas que están conectadas en promedio 6 horas y 11 minutos al día a Internet, mediante una variedad de dispositivos, genera una cantidad monstruosa de datos al día, por lo que actualmente hay ramas de las tecnologías de la información que se encargan de encarar la ardua tarea de procesar esos datos y cuyos frutos han sido el desarrollo de sistemas que funcionan bajo enfoques diversos como las implementaciones de almacenes de datos (Data Warehouse) o de datos masivos (Big Data). [55]

IoT se considera una extensión de Internet existente donde la interacción entre humanos ha dominado la comunicación diaria de la red. Algunos ejemplos de interacción de persona a persona son los mensajes de texto, las conferencias de voz y video y las redes sociales, la implementación de la tecnología en una interacción directa hombre-máquina se ha convertido en otra parte importante de la comunicación por Internet cuando las máquinas se vuelven más inteligentes con la inteligencia artificial. [64]

En aplicaciones personales y domésticas, no solo puede proporcionar entretenimiento virtual sino también control de dispositivos utilizado de manera cotidiana. El control de electrodomésticos como refrigeradores y lavadoras IoT significa que las casas ofrecen una mejor gestión de la energía. Esta interacción permite generar un entorno de seguridad como el control de cámaras, cerraduras y registro de actividad en un hogar a través de los dispositivos manejados a través de una red e incluso a kilómetros de distancia [62]. El aprovechamiento del IOT es debido a que el auge de la tecnología se encuentra muy latente, dentro de las regiones de centro y Sudamérica los hogares que

tienen acceso a internet son notables como se puede observar en la figura 2.7, donde se muestra la importancia y el nivel de utilización por país.

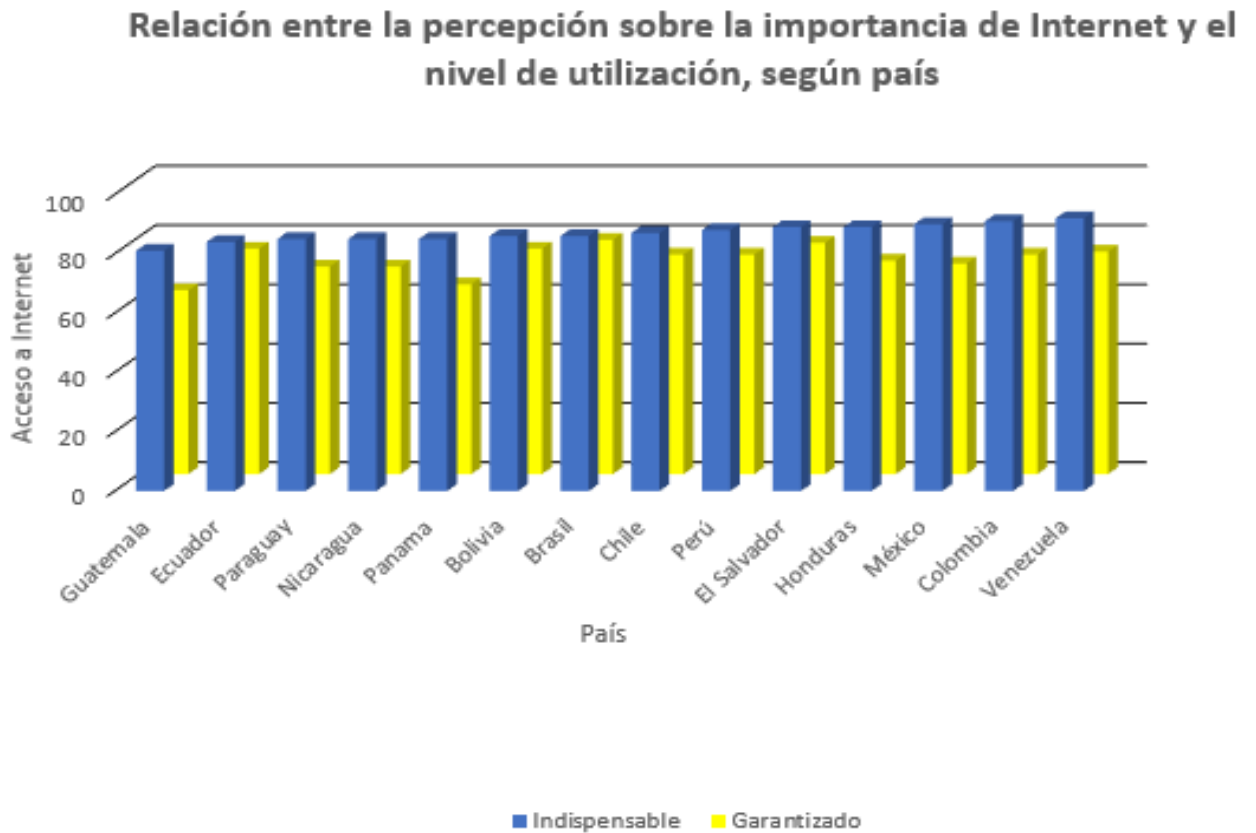


Figura 8 Relación entre la percepción sobre la importancia de Internet y el nivel de utilización, según país.

Los campos de aplicación son muy diversos debido a que sus soluciones se expresan en cualquier tipo de área, tales como industria inteligente, sistemas interconectados, producción, hogares y sistemas de seguridad, son solo algunas de las áreas a las cuales el internet de las cosas se ha ido incorporando actualmente. [65]

Esto crea un cambio dentro de Internet de las cosas, de ser solo un espacio virtual para poder incluirlo en un espacio integrado en el mundo físico. Las características típicas del IoT son:

- a) crear nuevas redes independientes que operan con sus propias infraestructuras
- b) implementar nuevos servicios
- c) aplicar modos de comunicación nuevos y diferentes entre las personas y las cosas y las cosas mismas, incluida la comunicación de máquina a máquina (M2M).

Sin embargo, el impacto que pueden tener las tecnologías de IoT es no limitado al valor creado por el individuo conectando productos. En cambio, las funciones de un producto pueden ser mejoradas aún más si está conectado a productos relacionados y se convierte así en parte de un sistema de producto. Por ejemplo, un tractor conectado puede formar parte de un sistema agrícola más grande, que podría incluir, por ejemplo, tractores, cosechadoras, empacadoras o taladros adicionales, y monitorear la ubicación, así como indicadores clave de rendimiento de las máquinas para optimizar la eficiencia general del equipo de la flota más grande. [66]

Y yendo más allá incluso de tales sistemas de producción, la combinación de sistemas de productos múltiples, anteriormente dispares, por ejemplo, los sistemas de datos meteorológicos, la optimización de semillas y los sistemas de riego, pueden conducir a elementos, que tienen la capacidad de expandir la industria existente con ciertos límites y sacudir la dinámica competitiva.

Específicamente en el desarrollo de elementos que se encuentran en la mayoría de los hogares, incluso hasta en los servicios que se prestan, por ejemplo, el registro de energía eléctrica para el cual hoy en día se trabaja en un amplio desarrollo de dispositivos que permitan un mayor aprovechamiento de recursos, como medidores inteligentes.

## **2.6. Medidores inteligentes**

El medidor inteligente es uno de los dispositivos más importantes utilizados en la red inteligente (Smart Grid). La red es el sistema eléctrico que consiste en generación de electricidad, transmisión de electricidad, distribución de electricidad y consumo de electricidad. Esta última etapa se controla desde el medidor de manera convencional, teniendo en cuenta el consumo de kilovatios a través del dispositivo, la interacción que actualmente está disponible es unidireccional, ya que la manipulación de este dispositivo es únicamente del proveedor, lo que genera algunos inconvenientes para el usuario, uno de ellos es saber si el consumo que se genera está realmente registrado. [18]

El objetivo es utilizar el control avanzado de las tecnologías de información y comunicación para ahorrar energía, reducir costos y, en última instancia, cumplir con los objetivos ambientales, como los objetivos de la UE 20-20-20 (aumento del 20% en la eficiencia energética, reducción del 20% en las emisiones de CO<sub>2</sub> y 20% de energía renovable para 2020) [67]. El uso de la demanda controlable reduce el requisito de respuesta primaria de los generadores que permanecen parcialmente cargados, lo que reduce los costos operativos del sistema y las emisiones de CO. La reducción en el costo y las emisiones de CO constituiría un caso comercial para obtener una respuesta de frecuencia del control de la demanda al proporcionar incentivos financieros a los consumidores [68].

La reducción significativa de esta emisión genera un impacto positivo en el medio ambiente con respecto al calentamiento global, lo que implica directamente un beneficio que se genera a partir de una actividad diaria. Los datos relacionados con la energía pueden estar disponibles desde el medidor para el habitante del hogar: potencia instantánea y consumo total de energía, posiblemente agrupados en rangos estadísticamente significativos (horas del día, períodos del mes o año). [69]

Con el medidor inteligente, se miden los datos eléctricos, como el voltaje y la frecuencia, y la información del consumo de energía se registra en tiempo real. El medidor inteligente admite comunicaciones bidireccionales entre el medidor y el

sistema central. Esta generación permite la acción inmediata ante cualquier anomalía o evento irregular en el sector eléctrico de la vivienda, sin necesidad de interactuar directamente, a través del dispositivo conectado a la red. [70]

Los medidores inteligentes pueden leer la información de consumo de energía en tiempo real, incluidos los valores de voltaje, ángulo de fase y frecuencia, y comunicar esos datos de forma segura. La capacidad de los medidores inteligentes para la comunicación de datos bidireccional permite recopilar información sobre la electricidad que se devuelve a la red eléctrica desde las instalaciones del cliente. Esto se realiza a través de dispositivos conectados a través de la red, como teléfonos celulares que pueden acceder a la red de forma remota sin tener que estar presentes en el hogar. [71]

Los medidores inteligentes requieren de ciertas capacidades para poder clasificar como tales, por destacar algunas se mencionan las siguientes: [72]

- capturar en tiempo real o casi en tiempo real el uso de electricidad y posiblemente la generación distribuida.
- proporcionar la posibilidad de lectura remota y local del medidor.
- manipular vía remota el medidor para emitir el control e incluso el corte del suministro.
- posibilidad de vinculación con otros suministros de productos básicos (gas, agua).
- capacidad para capturar eventos como el estado del dispositivo (dispositivo medido por medidor inteligente), calidad de la energía, incluido el voltaje.
- ser interoperable dentro de un entorno de red inteligente (por ejemplo, según lo especificado por NIST y SGAM Framework). [73]

### **2.8.1. Medidores de lectura automática (AMR)**

La infraestructura avanzada de medición (AMI siglas en inglés de Advanced Metering Infrastructure) es una tecnología habilitadora que permite incrementar la eficiencia en el proceso de distribución de las empresas eléctricas e incluye el hardware, el software, las comunicaciones, los sistemas asociados con la distribución de energía, los sistemas asociados con el consumidor y el software de gestión de datos de medidores inteligentes. La infraestructura AMI permite la configuración de medidores inteligentes, manejo de tarifas dinámicas, monitoreo de calidad de la energía, control de carga y reducción de pérdidas. [13]

Esta nueva tecnología permite tanto a los proveedores y consumidores la obtención y generación de datos más precisos ante los servicios utilizados. Impactando tanto en evitar las lecturas erróneas, control de gastos excesivos mediante cortes por parte del usuario, facturación en tiempo real y predicciones basadas en consumos anteriores, integrando a las dos partes principales de la distribución y consumo, creando un servicio con mayor calidad que impacte en el medio ambiente evitando consumos innecesarios.

### **2.6.2 Infraestructura de medición avanzada (AMI)**

Para lograr este objetivo es necesaria la incorporación del nuevo modelo de vivienda, enfocarse en los sistemas avanzados de medición que se encuentran integrados hacia la tendencia de la nueva era de la tecnología. Se conoce como sistemas avanzados de medición o sistemas con infraestructura de medición avanzada (AMI), a los sistemas con capacidad de medir, registrar, recolectar y transferir remotamente la información asociada al consumo, la demanda, los parámetros eléctricos y la forma de uso de la energía eléctrica, para su posterior presentación, análisis, gestión y toma de decisiones. Un sistema AMI en general se compone de tres componentes principales: medidores inteligentes, redes de comunicaciones y el sistema de gestión de datos de medición. [13]

La medición eléctrica en este rubro de las nuevas infraestructuras juega un papel importante, siendo uno de los elementos clave de estos sistemas el medidor inteligente, que tiene integradas capacidades avanzadas de medición, registro de datos, análisis de uso de los servicios y comunicación bidireccional, para transferir remotamente la información a sistemas de procesamiento de datos, para fines de monitoreo remoto y facturación. Otro elemento importante de los sistemas AMI son los concentradores o colectores de datos que realizan la recolección de datos de los medidores inteligentes, para transferirlos a través de redes domésticas (HAN), redes de medidores (NAN) los dispositivos en una NAN pertenecen a diferentes estructuras de red propia, redes de campo (FAN) y redes de área amplia (WAN), utilizando distintas tecnologías de comunicaciones (espectro disperso, radiofrecuencia, microondas, WiMax, Ethernet, Wi-Fi, ZigBee, celular, líneas eléctricas de potencia, fibras ópticas, etc.), hasta alcanzar los sistemas de explotación y gestión de datos (MDM) en las oficinas de la empresa suministradora del servicio eléctrico de distribución, en donde se procesa la información para propósitos de facturación y el monitoreo de la calidad del servicio. [74] [75] [73] [76]

La incorporación de estas tecnologías para la cuantificación de los flujos eléctricos de las redes eléctricas permite visualizar, de forma clara, los puntos en donde se consume energía de forma general y de forma específica, en los procesos asociados al transporte, distribución y comercialización del flujo eléctrico.

Entre los beneficios que esto representa se distingue la capacidad del sistema para poder mostrar, de forma precisa, los detalles de consumo de los usuarios en cantidad y en la forma en que usa la energía, así como los detalles del consumo en los diferentes nodos de la red en donde se efectúa la medición, lo anterior puede servir por ejemplo para efectuar balances de energía en diferentes niveles de la red de distribución, con los que se pueden identificar y conocer los puntos en donde se consume tanto la energía que es facturada por el proceso de comercialización, como la energía que no es facturada y puede ser catalogada como pérdida por factores técnicos o no técnicos.



### 2.6.2.1 Red de área local (Home Area Network)

HAN conocido también como BAM (Building Area Network), es un sistema integrado dentro de los hogares que permite la comunicación entre diferentes dispositivos inteligentes, tiene como límite el medidor de energía eléctrica, el principal elemento que lo constituye es el contador inteligente. El contador inteligente proporciona servicios públicos como respuesta a la demanda. [77]

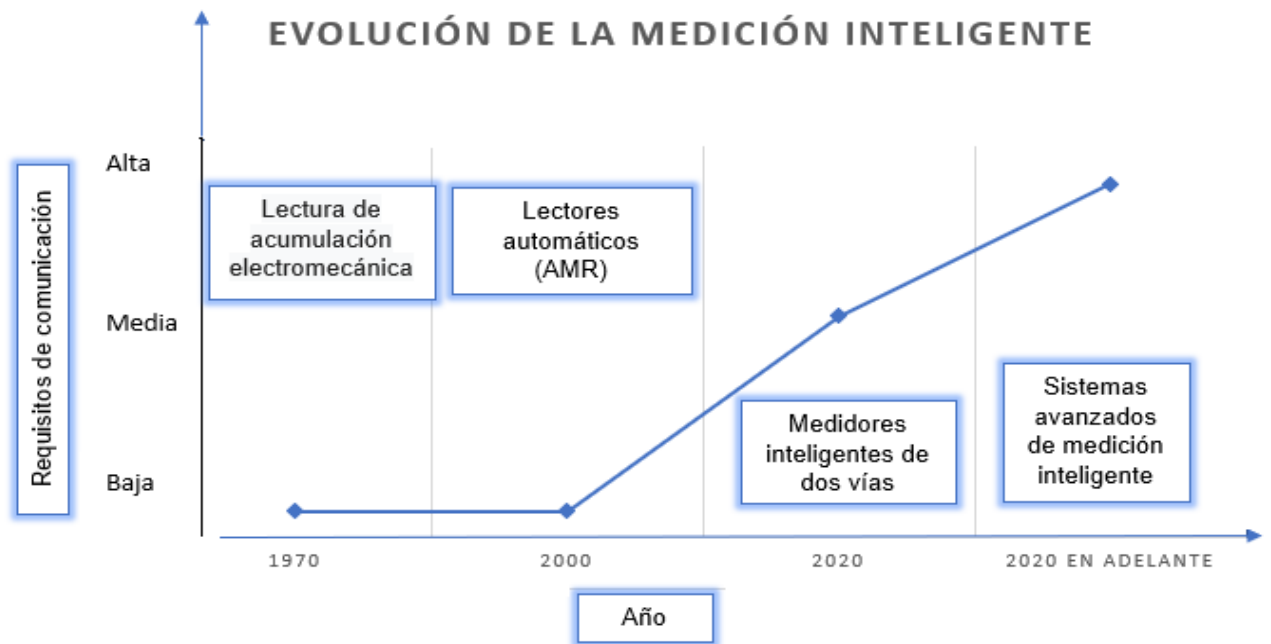


Figura 9 Evolución de la medición inteligente

La información recabada por los elementos de registro de alguna manera solo es analizada por un sector del servicio, y en la mayoría de los casos solo funciona como un pequeño censo de consumo y sin dar un seguimiento puntual, toda esta información puede generar un amplio campo de análisis para posteriores consultas, y toda la información generada puede ser de gran utilidad.

La información que viaja a través de dicha área genera una gran cantidad de información, que puede ser aprovechada por otras áreas de trabajo como Big Data y el análisis de los datos generados.

## 2.7. Big Data y análisis de grandes datos

Se refiere a datos caracterizados por su volumen (gran cantidad), velocidad (a la que se generan, accede, procesan y analizan) y variedad de datos estructurados y no estructurados. Estos datos pueden ser reportados por máquinas y equipos, sensores, cámaras, micrófonos, teléfonos móviles, software de producción, y pueden provenir desde diversas fuentes, como empresas, proveedores, clientes y redes sociales. El análisis de estos datos mediante algoritmos avanzados es clave para la toma de decisiones en tiempo real, permite alcanzar mejores estándares de calidad de producto y procesos, y facilita el acceso a nuevos mercados, fenómeno que se conoce como Innovación basada en Datos<sup>18</sup>. [61] [78]

La transmisión de datos se lleva a cabo en diferentes etapas del ciclo de vida de los datos de la siguiente manera:

- i. recopilación de datos de sensores para el almacenamiento,
- ii. integración de datos desde múltiples centros de datos,
- iii. gestión de datos para transferir los datos integrados a plataformas de procesamiento (por ejemplo, plataformas en la nube),
- iv. análisis de datos para mover los datos del almacenamiento al anfitrión del análisis.

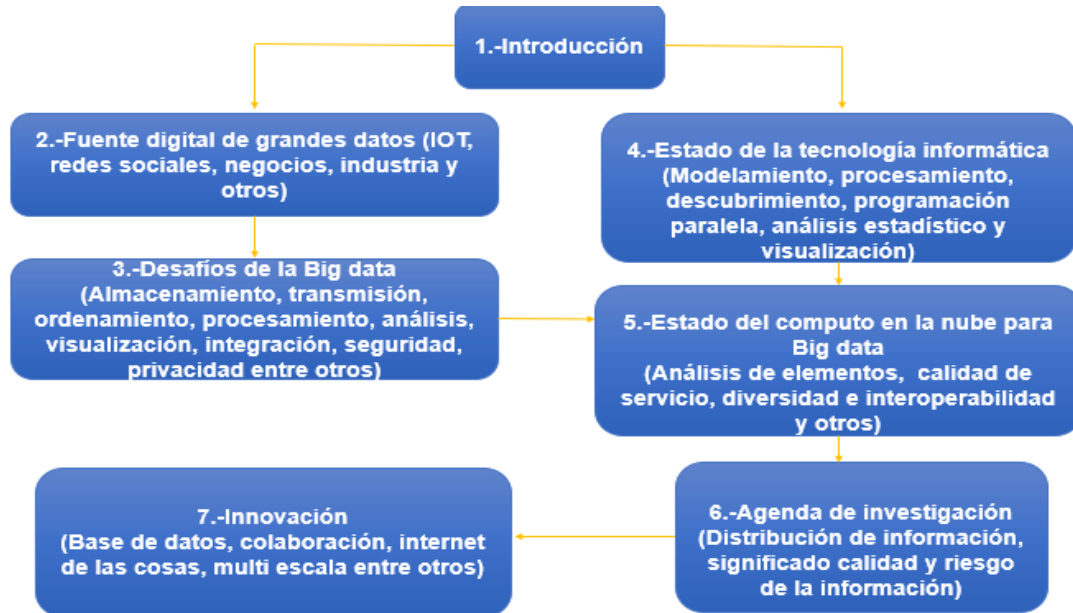


Figura 10 Análisis de Big Data

El análisis de dichos datos que se extraen directamente de dispositivos de medición son análisis textuales, la alimentación de redes sociales, correos electrónicos, blogs, foros en línea, respuestas a encuestas, documentos corporativos, noticias y los registros de centro de llamadas, son algunos ejemplos de datos textuales a los que los usuarios o compañías pueden acceder directamente. Permitiendo el análisis de grandes volúmenes de información significativos en una simple representación directa, a las cuales es posible su interpretación y apoyo en predicciones hacia la toma de decisiones. [79]

Big data proporciona a los usuarios la capacidad de utilizar la informática básica para procesar consultas distribuidas en múltiples conjuntos de datos y devolver conjuntos resultantes de manera oportuna. Utiliza tecnología de almacenamiento distribuido basada en computación en la nube en lugar de almacenamiento local conectado a un computadora o dispositivo electrónico. [80]

La evaluación de Big Data es impulsada por aplicaciones basadas en la nube de rápido crecimiento, desarrolladas usando tecnologías virtualizadas. Por lo tanto, la

computación en la nube no solo proporciona instalaciones para el cálculo y el procesamiento de Big data pero también sirve como modelo de servicio.

La realización de análisis en grandes volúmenes de datos requiere eficientes métodos para almacenar, filtrar, transformar y recuperar los datos. Algunos de los desafíos de implementar soluciones de gestión de datos en la nube, y las soluciones para realizar análisis en la nube enfrentan desafíos similares.

En comparación con los datos tradicionales, las características de Big Data pueden ser caracterizado por 5V, a saber, gran volumen, alta velocidad, alta variedad, baja veracidad y alto valor. La principal dificultad para hacer frente a Big Data no solo radica en su gran volumen, ya que puede aliviar en cierta medida este problema expandiendo razonablemente o ampliar sistemas informáticos. [81]

En realidad, los verdaderos desafíos son poder centrarse en los tipos de datos diversificados (variedad), respuesta oportuna (velocidad) e incertidumbre en los datos (veracidad). Debido a los tipos de datos diversificados, es necesario para poder tratar no solo datos estructurados tradicionales, sino también datos semiestructurados o no estructurados (incluidos texto, imágenes, video y voz) [82]. Esta variación de información puede almacenarse de manera remota a través de lo que se conoce como Cloud computing, por vía Internet y acceso desde cualquier sitio.

## **2.8. Cloud Computing**

El National Institute of Standards and Technology (NIST) y su Information Technology Laboratory, que define la computación en nube (Cloud computing) como: “Un modelo que permite el acceso bajo demanda a través de la red a un conjunto compartido de recursos de computación configurables (redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que se pueden aprovisionar rápidamente con el mínimo esfuerzo de gestión o interacción del proveedor del servicio [83].

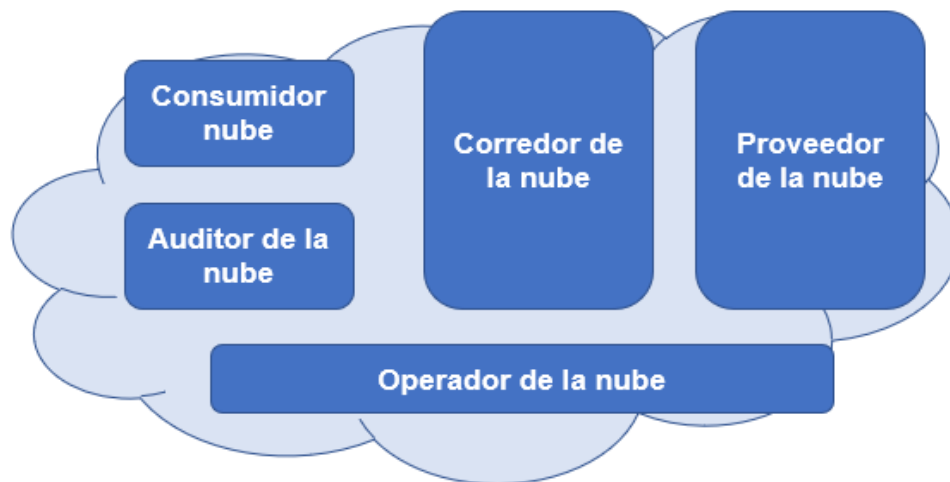
La computación en nube es una tecnología poderosa para realizar computación compleja y de escala masiva. Elimina la necesidad de mantener hardware informático costoso, espacio dedicado y software. Se ha observado un crecimiento masivo en la escala de datos o Big data generados a través de la computación en la nube. [84]

En sentido estricto, el Cloud computing no es un concepto nuevo, se puede remontar a 1997, cuando el término fue mencionado por primera vez, pero recientemente éste se ha convertido en un término de moda. La definición más común es proporcionada por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), que refiere la computación en la nube a "... un modelo para habilitar acceso a la red ubicuo, conveniente y bajo demanda a un conjunto compartido de recursos informáticos configurables (por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que se pueden aprovisionar y lanzar rápidamente con un mínimo de esfuerzo de gestión o interacción entre proveedor de servicios". [85]

El uso del término "nube" es metafórico y por lo general apunta a un gran conjunto de recursos disponibles, hardware y software, que son de fácil acceso a través de Internet. Cloud computing es un paradigma que permite ofrecer servicios a través de una red, normalmente Internet, y que son accesibles al usuario sin tener que gestionar los recursos que ofrecen tales servicios. Las ventajas de los sistemas Cloud se combinan con la centralización de la autenticación, la seguridad en el acceso y el licenciamiento de los sistemas virtualizados. [86] La virtualización es, por sí sola, una tecnología que aporta beneficios a organizaciones que van desde la reducción de costos por adquisición de equipos, hasta la disminución de emisiones contaminantes por la reducción en el consumo eléctrico asociado. [87] [88] [89] [90] [91]

Hay cinco actores principales en la computación en la nube según su participación, como se muestra en la figura. Nube consumidor o consumidor de servicios en la nube (CSC) es el que recibe el servicio de un proveedor de la nube y paga por el servicio según el uso. El proveedor en la nube o el proveedor de servicios en la nube (CSP) es el que proporciona los servicios en la nube para El CSC. El auditor en la nube es el

que realiza una evaluación independiente de los servicios en la nube, el sistema de información, operaciones, rendimiento y seguridad de las implementaciones en la nube. Cloud Broker es el que interactúa entre CSP y CSC para hacer que el negocio suceda. Cloud Carrier es quien proporciona la conectividad y la nube. Servicios de CSP a CSC. Todo esto gracias a los principales actores del computo en la nube como se muestra en la imagen 11. [92]



*Figura 11 Actores del Cloud computing*

De igual forma existen otros tipos de arquitectura de registro de dato como lo es el FOG computing teniendo algunas similitudes con el Cloud Computing.

### **2.8.2 FOG Computing**

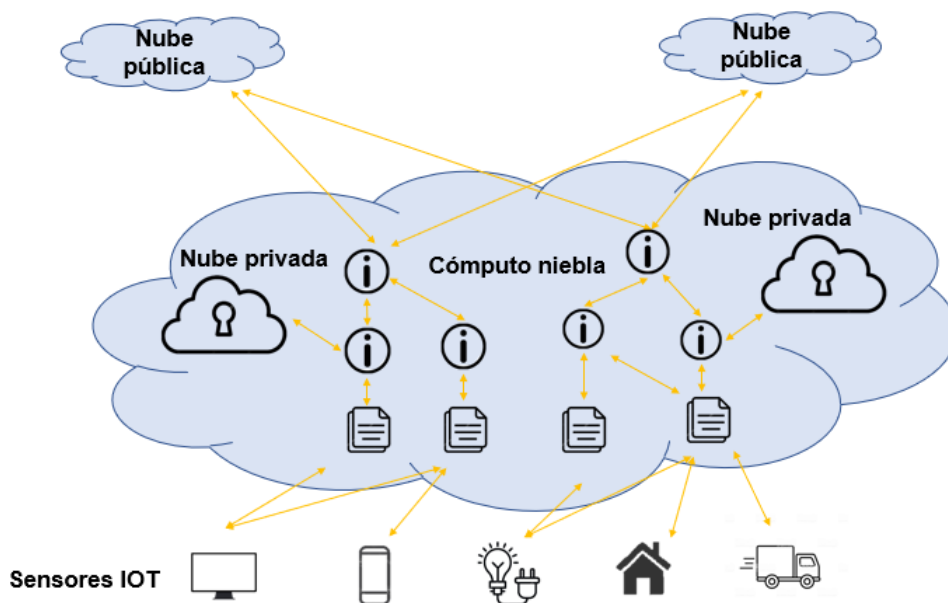


Figura 12 Estructura del FOG computing

El procesamiento de datos distribuidos en un entorno informático de niebla, está basado en la funcionalidad deseada de un sistema, los usuarios pueden implementar sensores apoyados por el Internet de las cosas en diferentes entornos, como carreteras, centros médicos y granjas, por mencionar algunos. Donde una vez que el sistema recoge información de los sensores, dispositivos de niebla, incluidas las pasarelas cercanas y nubes privada, realizan dinámicamente análisis de datos [93]. Hay una diferencia entre el Cloud computing y el Fog computing en algunos parámetros. Aquí hay una comparación punto por punto.

Tabla 1 Comparación cloud computing y fog computing

	<b>Computo en la nube</b>	<b>Computo en la niebla</b>
Uso destino	Dispositivos móviles	Usuarios generales de internet
Hardware	Información limitada	Información global recolectada
Almacenamiento	Limitado	Amplio y espacio de comunicación informático
Distancia a los usuarios	Conectividad física y a través de un solo salto	Distancia remota entre usuarios

---

Entorno de trabajo	Calles, parques, centros comerciales, etc.	Sistema de edificios enfocados a la IOT
Despliegue	Se centraliza o distrae en zonas residenciales	Centrado en servicios como Google, Amazon, etc.

---

La principal diferencia entre la computación en la nube y la computación en niebla es el alcance con la ubicación. La computación en la nube se ubica en un lugar centralizado y sirve como un portal global de información; la computación en la nube es a menudo la falta de conocimiento de la ubicación. [94]

La implementación de este tipo de áreas nos permite el análisis de los datos, comparándolos con patrones de consumos conocidos y parámetros exteriores ambientales como temperatura, humedad, etc., que pueden hacer decidir las acciones de ahorro energético. Al igual que la medición de diferentes parámetros y seguimiento mediante gráficos que permitirán la toma de decisiones, inclusión de alarmas para detectar consumos excesivos o superfluos.

Con un sistema de medición de parámetros eléctricos es posible obtener algunas otras ventajas adicionales como la incursión de áreas de oportunidad relacionadas con una disminución de la facturación llevando a cabo facturación interna a partir de los consumos por centro de consumo o línea de producción. Generando alternativas que permitan hacer un uso más racional y eficiente de la energía, a su vez determinar la energía reactiva para la corrección óptima del factor de potencia, y minimizar pérdidas en los conductores por calentamiento, identificando aquellas cargas que contribuyen en mayor medida al consumo de energía, demanda máxima y/o bajo factor de potencia y calcular los índices energéticos y compararlos con los niveles recomendados. Es aquí donde los sistemas embebidos tienen un gran campo de trabajo debido a que permiten la contribución en el desarrollo de sistemas cada vez menores, más rápidos, económicos y con mayor capacidad de procesamiento para las más diversas aplicaciones, además de generar soluciones competitivas para clientes nacionales e internacionales.



## 2.9. Sistemas embebidos

Un sistema embebido (SE) está adaptado para realizar múltiples funciones, frecuentemente en un sistema de computación en tiempo real. Al contrario de lo que ocurre con las computadoras de propósito general, estos sistemas están diseñados para satisfacer necesidades específicas de acuerdo con el problema generado. Los SE tiene características especiales para incrementar el desarrollo tecnológico, teniendo en cuenta esto, se aprecian algunas características básicas como:

- desarrollo para la solución de problemas.
- instalación sobre un sistema anfitrión.
- brindar soluciones únicas en el mercado. Los SI proporcionan a un producto un valor añadido importante que lo distingue claramente de los productos de la competencia dándole una característica única para la función que desempeñe.

Los SE están presentes en nuestra vida cotidiana, en automóviles, celulares, electrodomésticos de uso diario como refrigeradores, hornos microondas, etc. [95] [96]

El crecimiento en la industria electrónica se ha generado en parte por el aumento en los niveles de integración, es decir, la cantidad de transistores que se tienen por  $\text{mm}^2$  y el costo inversamente relacionado con dicha cantidad. En los años 70's la escala de integración LSI (Small Scale Integration) tenía desde mil hasta diez mil transistores por circuito integrado con un promedio de doscientos transistores por  $\text{mm}^2$ , en los 80's la escala VLSI (Very Large Scale Integration) agrupaba hasta diez mil transistores por circuito integrado; fue en esta época cuando IBM desarrolló el SE. Los años 90's registraron hasta 270 mil transistores por  $\text{mm}^2$  y a comienzos de milenio se contaban con cerca de cuatro millones y medio de transistores por  $\text{mm}^2$ .

Actualmente se alcanzan niveles de integración de hasta nueve millones de transistores por mm<sup>2</sup> dando origen a microprocesadores más veloces, eficientes y a menor precio. Los altos niveles de integración han permitido construir nuevos sistemas más veloces, con mayor cantidad de puertos, de fácil interacción con otros dispositivos; como los microcontroladores, dispositivos que integran en un solo chip una unidad de procesamiento, una memoria y periféricos de entrada y salida; los microcontroladores se dividen en varias familias, entre ellas los PIC de Microchip y los ARM de ARM Holdings. Además de los microprocesadores y microcontroladores, en la actualidad están en auge los sistemas de desarrollo o SE, que integran en un microcontrolador, una cantidad de puertos análogos y digitales, y protocolos de comunicación para desarrollar casi cualquier tipo de aplicación que la ingeniería requiera. [97][98]

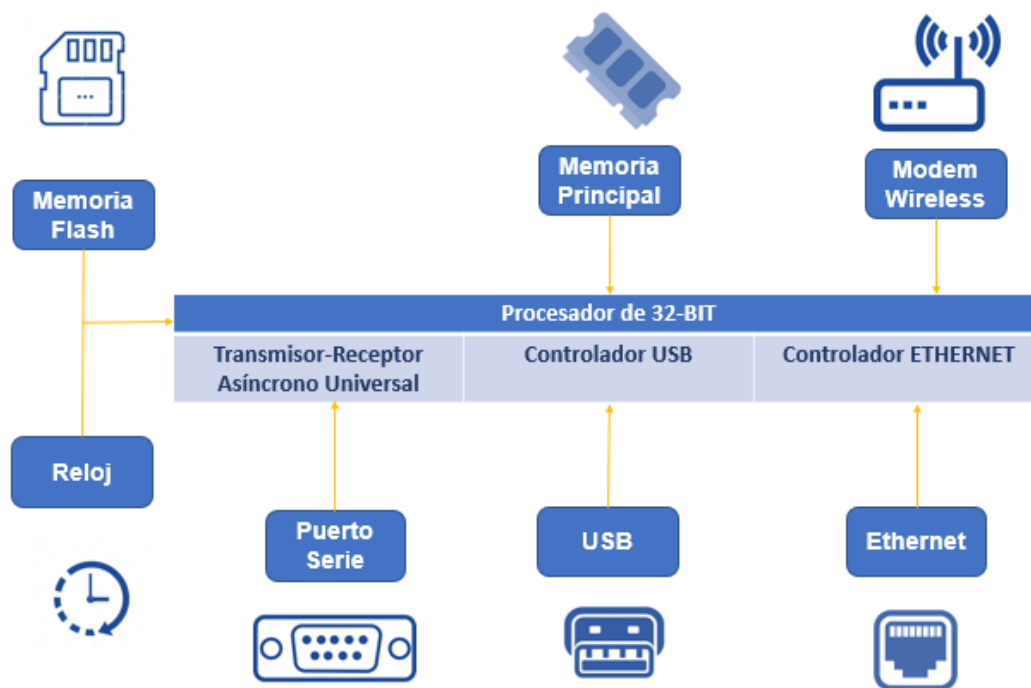


Figura 13 Partes principales de un sistema embebido

En la imagen anterior, se observan las principales partes que conforman un sistema embebido, la memoria flash (memoria de lectura y escritura), la memoria de acceso aleatorio de sincronía dinámica (SDRAM) que permite la escalabilidad pensado en usarlo como servidor o estación de trabajo, un módem inalámbrico para conexión a una red, un reloj en tiempo real para almacenar la hora en el sistema, un puerto de

conexión serial transmisor receptor asíncrono universal (SERIAL UART) para periféricos, un controlador, el controlador de bus universal en serie (USB), un puerto Ethernet para conexión de red de área local (LAN). Todo esto controlado por un procesador que hace el papel de “cerebro” y coordinador. Siendo sistemas cerrados estos carecen de interfaz de usuario, los que se programan en lenguaje ensamblador. La integración de varios componentes que permiten la aplicación de varias tareas de manera simultánea es gracias a los elementos que componen a los SE como lo muestra la imagen 14.

La parte central que funciona como cerebro se denomina microcontrolador [99]. Algunas de las características principales son:

- manejan licencia de software libre,
- son fiables funcionando de manera constante e ininterrumpida,
- son totalmente personalizables de acuerdo a la necesidad del usuario.

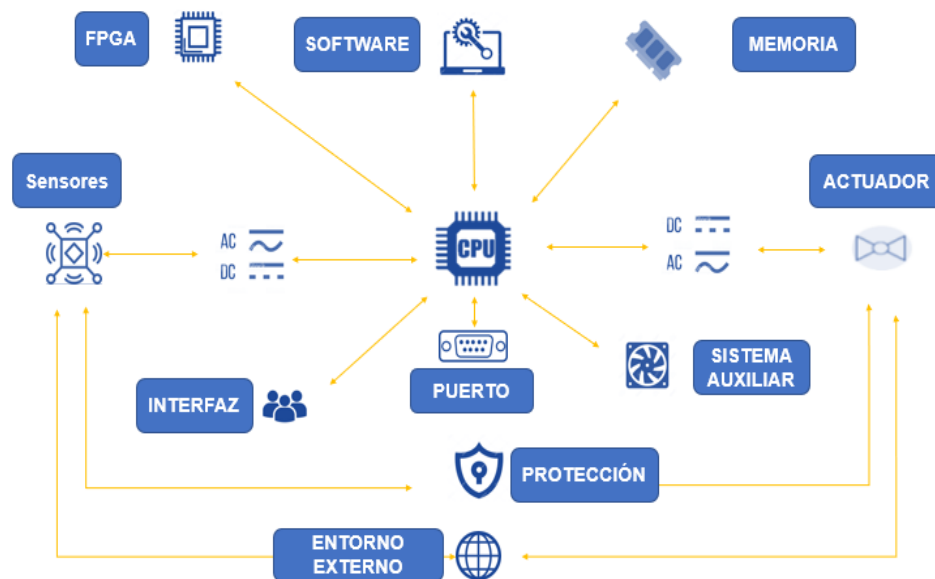


Figura 14 Componentes de los SE

## 2.9.2 Sistemas embebidos en chip

En la actualidad, cada vez con más frecuencia, se notan signos de la invasión digital, por ejemplo, en el aumento de chips embebidos en los dispositivos que se utilizan a diario. Se ha demostrado que una persona que vive en un país industrializado se ve confrontada con un promedio de 40 chips al día, de los cuales son capaces de comunicarse en redes. Se estima que en la actualidad una persona está en contacto con cientos de estos chips, la mayoría de los cuales acceden a densas redes de información. [100]

Un sistema embebido se puede definir, como un producto electrónico que contiene uno o más procesadores y software integrado para ejecutar funciones específicas [101]. Dichos SE además de realizar tareas normales de control digital directo (DDC por sus siglas en inglés) permiten llevar a cabo funciones de supervisión, tales como leer datos de un teclado, mostrar información de sensores y además comunicarse con otras computadoras existentes dentro del complejo industrial por medio de redes de área local [102]. Elementos que permiten tener la potencia de una pc en una versión pequeña. Un sistema embebido tiene tres componentes principales:

1. Hardware.
2. Un software primario o aplicación principal. Este software o aplicación lleva a cabo una tarea en particular, o en algunas ocasiones una serie de tareas.
3. Un sistema operativo que permite supervisar la(s) aplicación(es), además de proveer los mecanismos para la ejecución de procesos. En muchos SE es requerido que el sistema operativo posea características de tiempo real. [103]

Los elemento principales que presentan los SE se muestran a continuación:

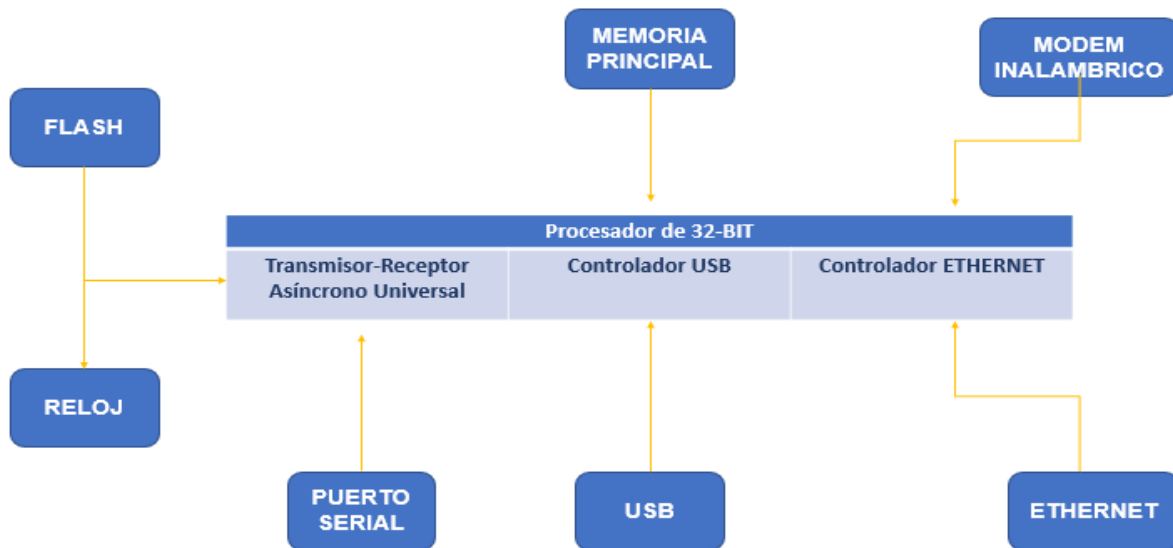


Figura 15 Ejemplo de sistema embebido

Como punto de partida se toma el concepto SE, que como “su denominación indica, es un sistema que encapsula en un dispositivo todo el hardware y software, normalmente en una sola tarjeta, para realizar un propósito específico.

En los últimos años el procesamiento digital ha dejado de ser realizado en su mayoría, por ordenadores de uso personal, y pasó a ser tarea de SE en aparatos comunes de uso diario, como los automóviles, electrodomésticos e incluso juguetes; o de uso industrial, como robots y controladores. Un sistema embebido tiene la función de cumplir un número limitado de procesos o tareas predefinidas. [104]

Un sistema embebido “es una combinación de hardware y software computacional diseñado para enfocarse en una realización de una función específica” [104]. Para el diseño del sistema embebido existen distintas arquitecturas, las cuales se pueden clasificar en función del tipo de dispositivo principal: las basadas en un microprocesador, las basadas en un microcontrolador, las basadas en un procesador digital de señales (DSP), las basadas en un chip hecho a la medida (SoC) y las basadas en un dispositivo lógico programable (PLD). [105]

Su principal función es el control de un sistema de lazo cerrado, es decir recaptura la información, la envía a través de sus periféricos de comunicación, procesa la información y ejecuta una acción. [106] [107]

Donde las partes fundamentales de dicho elemento son:

- Microprocesador
- Memoria caché
- BIOS-ROM
- CMOS RAM

En la figura 16 se muestra el esquema del microcontrolador metido dentro de un encapsulado de circuito integrado, con su procesador (CPU), buses, memoria, periféricos y puertos de entrada/salida.

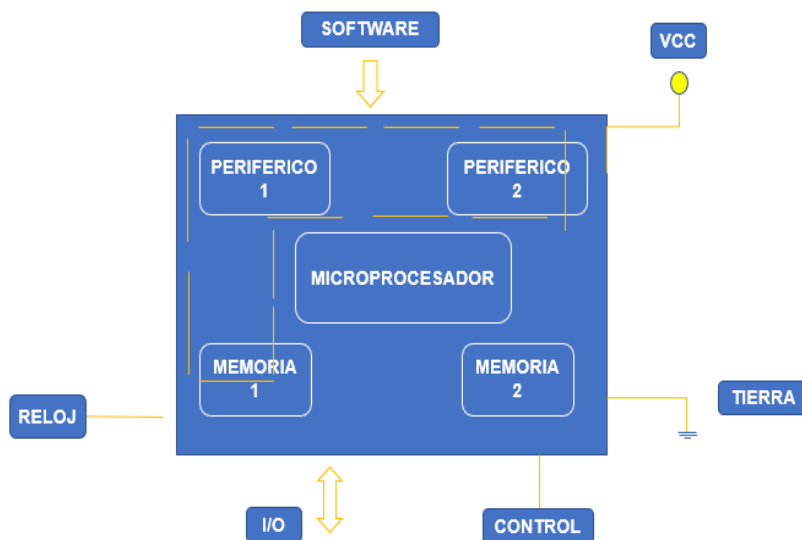


Figura 16 Esquema de un microcontrolador

### 2.9.3 Estructura de microprocesadores multinúcleo

El núcleo de un procesador está diseñado para que ejecute las instrucciones que se le manden en serie, es decir, una detrás de otra. Por supuesto, todo sería más sencillo si, mientras el núcleo del procesador está realizando una operación, otro núcleo estuviera realizando otra, completamente diferente.

Los procesadores multinúcleos, son un conjunto interconectado de núcleos de procesamiento independientes integrados en un solo chip de silicio. Estos núcleos de procesamiento se comunican y cooperan entre sí para ejecutar uno o más programas, como se muestra en la figura siguiente. [108]

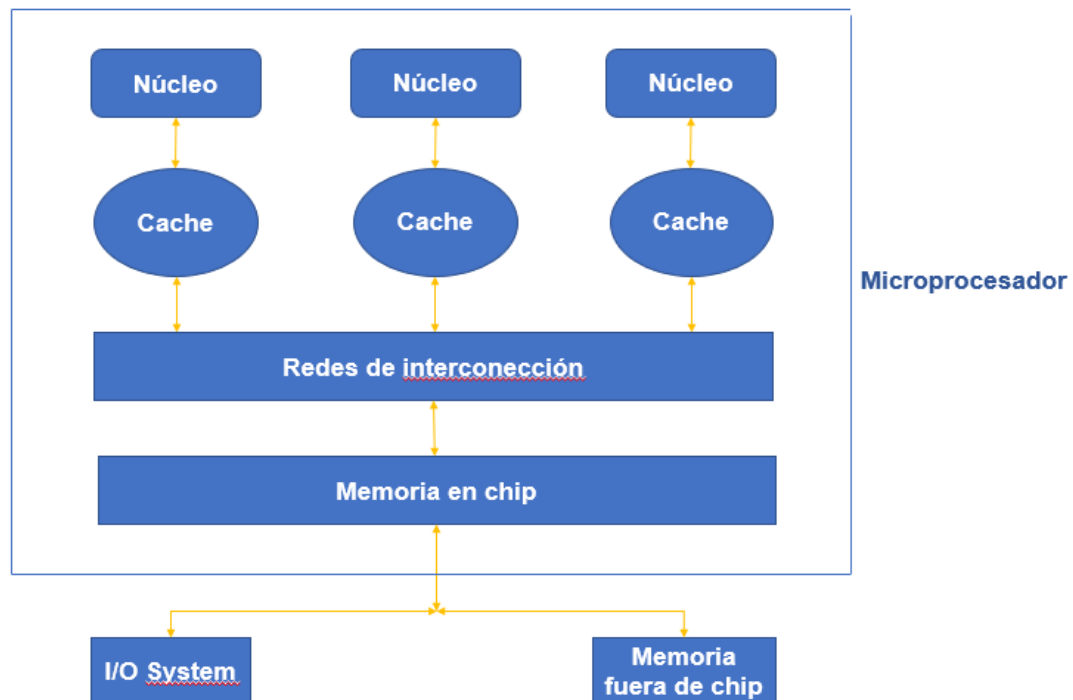


Figura 17 Estructura microprocesador

Los elementos que se utilizan al día de hoy enfocados en la integración de nuevas tecnologías tienen ciertos requisitos los cuales a medida que aumentan, los desarrolladores se enfrentan con la presión de reducir el uso de energía

# Materiales y métodos

---

El presente proyecto se desarrolló en el laboratorio de OMADS enfocado en el desarrollo tecnológico de la tarjeta *Abeja*, enfocado en las aplicaciones que se pueden dar a dicho elemento en el ámbito científico y/o tecnológico, en este caso en el área del análisis de medición de voltaje. El desarrollo de elementos de análisis de información tiene una amplia gama de posibilidades y a su vez desafíos, debido a que la implementación de la tarjeta es relativamente nueva en esta área, lo cual es una ventaja representativa ya que deja un campo abierto para generar una dirección hacia la resolución de la problemática. La tarjeta es una pequeña y completa placa de desarrollo basada en microcontroladores con aplicaciones, como por ejemplo Bluetooth y Wi-Fi, al igual que permite el desarrollo de programas de manera fácil y práctica. Esto genera una gran apertura a proyectos posteriores basados en los principios que se presentan a continuación.

## 3.1. Tarjeta Abeja

El elemento que se utiliza para el registro de la actividad necesaria dentro del proyecto será la tarjeta *Abeja*, la cual es una tarjeta que está orientada al desarrollo de aplicaciones en áreas como: Internet de las cosas, domótica, robótica, sistemas inteligentes, etc. Esta sección presenta de una forma simple y sencilla, información de referencia para entender y utilizar los pines de entrada-salida de propósito general o GPIO del inglés General Purpose Input Output, de la tarjeta de desarrollo IoT *Abeja*.



La tarjeta *Abeja*, diseñada por la empresa OMADS S.A. de C.V., tiene como elemento central al microcontrolador ESP32 desarrollado por Espressif. Empresa que surge a partir de resultados científico-tecnológicos obtenidos por sus integrantes en el ámbito de la investigación. Desarrollo Tecnológico e Innovación (IDTI). En comparación con las actividades industriales o empresariales más tradicionales, OMADS basa su actividad económica en el conocimiento y la innovación, enfocando sus esfuerzos en las aplicaciones de nuevos descubrimientos científicos y/o tecnológicos para la generación de nuevos productos, procesos o servicios. [109]

### **3.1.1 Características principales de la tarjeta IoT Abeja**

Como se mencionó anteriormente acerca de los microcontroladores, a diferencia de las computadoras portátiles o de escritorio, estos procesadores son reducidos en tamaño y están equipados con pequeñas capacidades de memoria RAM y espacio de almacenamiento. Además de lo anterior, es un circuito integrado capaz de ejecutar rutinas y/o programas.

En este sentido, la tarjeta *Abeja*, desarrollada por OMADS, forma parte de una "nueva generación de tecnología electrónica con capacidades de comunicación Wi-Fi y Bluetooth nativas". Al estar integrada en la tarjeta, capacidad de comunicación "Wi-Fi" y "Bluetooth", la misma puede ser utilizada como puente de comunicación con otras tarjetas y/o microcontroladores en el desarrollo de servicios y productos relacionados con IoT.

Una característica que destaca a la tarjeta *Abeja*, es su capacidad de ejecutar "aplicaciones autónomas embebidas en chip". Esta nueva tecnología impulsada por OMADS se conoce como "app embebidas".

Este tipo de aplicaciones hoy en día están tomando gran fuerza, entendida como "aplicación integrada", promoviendo el desarrollo de nuevos elementos en el área de la tecnología como los sistemas cibernéticos, que gracias al auge de la industria 4.0

presentan grandes características de innovación. De antemano, la tarjeta no sabe a qué red conectarse, qué contraseña usar y otros parámetros necesarios para interactuar en entornos de computación en la nube. Es necesario llevar a cabo un proceso de programación para que la tarjeta realice la tarea deseada.

La tarjeta se puede conectar como:

- Una estación
- Un punto de acceso
- Un dispositivo separado que ejecuta aplicaciones integradas

La tarjeta permite la creación de aplicaciones que se ejecutan de forma nativa en el dispositivo. Estas aplicaciones se pueden escribir y compilar en el lenguaje de programación. Es un dispositivo en lo que se conoce como "parpadeo". Para que las aplicaciones interactúen con el entorno para el que están programadas, el microcontrolador contiene un conjunto de funciones básicas que imitan el sistema operativo de una computadora.

Las aplicaciones embebidas son parte importante para el diseño y desarrollo de un nuevo tipo de tecnología impulsada por OMADS conocida como "Sistemas ciberfísicos", una nueva disciplina de innovación y desarrollo tecnológico que está surgiendo gracias a la evolución del fenómeno conocido como Industria 4.0.

Otra característica que debe resaltarse de la tarjeta, es que es compatible con el entorno de programación Arduino, diferenciándose de estas placas de desarrollo, en el hecho fundamental de que la tarjeta *Abeja* tiene la capacidad de interactuar en un entorno inter-conectado como el que se presenta en el fenómeno conocido como Internet de las cosas.

Como se ha mencionado con anterioridad, el elemento central de la tarjeta IoT *Abeja* es el microcontrolador ESP32.

### 3.1.2. Características del microcontrolador ESP32

El Microcontrolador ESP32 fue desarrollado por la empresa Espressif Systems, una empresa china con sede en Shaghai. La línea de producción del circuito comenzó a finales de 2016, lo que lo sitúa en el esquema actual de transformación de la era digital en el ámbito de desarrollo del IoT. [110]

*Tabla 2 Características del microcontrolador*

<b>Atributo</b>	<b>Detalles</b>
Voltaje	3.3 v
Memoria flash	Basado en módulos
Procesador	Tensilica L108
Velocidad de procesador	Dual 160Mhz
RAM	520 k
GPIOs	34
Analogo a digital	7
Bluetooth	BLE
SPI	3

De la tabla anterior se puede observar que en el ESP32 se incluye comunicación a través de los siguientes periféricos:

- Convertidores Análogo-Digital
- Convertidores Digital-Análogo
- Interfaces SPI
- Interfaces UART
- Interfases I2S
- Canales PWM
- Entradas-Salidas con sensor capacitivo

Espressif ha puesto a disposición un módulo ESP32 conocido como ESP-WROOM-32 el cual contiene un microcontrolador ESP32 con hardware de soporte como memoria flash. Este módulo mide 18 mm x 25.5 mm y tiene un espacio de 1.27 mm entre los

pinos. Como se puede observar en la figura 18 son espacios muy pequeños, lo que permite diseñar tarjetas de dimensiones reducidas para ser utilizadas como "cosas" en entornos IoT. [111]

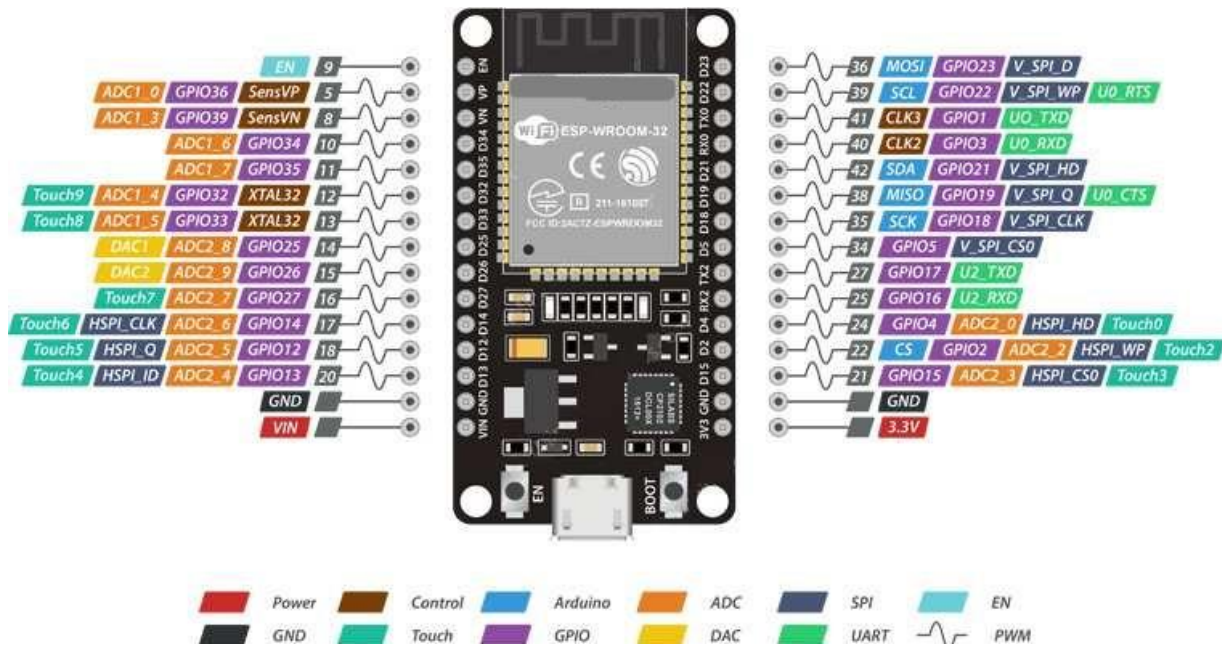


Figura 18 Estructura de microcontrolador

La tarjeta Abeja de OMADS, utiliza como elemento central el módulo ESP-WROOM-32 como el mostrado en la figura siguiente, en donde puede observarse lo siguiente:

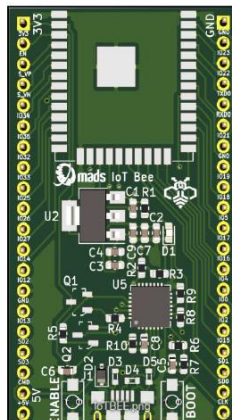


Figura 19 Tarjeta Abeja

La tarjeta *Abeja* contiene los siguientes elementos:

- Un módulo ESP-WROOM-32 de Espressif.
- 2 tiras de conectores de 30 pines, tipo hembra, que se conectan con el modulo ESP-WROOM-32, una a cada lado.
- Un adaptador micro USB para energizar el circuito y para comunicarse con la computadora al momento de la programación del mismo.
- Dos botones llamados *Habilitar* y *Reiniciar*, situados a la izquierda y derecha del conector micro USB respectivamente.
- Un LED de color verde que permite saber cuándo está conectada y energizada la tarjeta.
- Capacidad de almacenamiento de memoria micro SD para leer y almacenar información en el desarrollo de proyectos complejos. El lector de memoria se encuentra ubicado en la parte posterior de la tarjeta.

## **3.2. Pines de conexión de la tarjeta Abeja**

### **3.2.1 Pines de "solo entrada"**

El módulo ESP-WROOM-32 de Espressif asigna los pines GPIO del 34 al 39 como pines de "solo de entrada". Estos pines no tienen pull-ups internos o resistencias pull-down, por lo que solo pueden ser utilizados como entradas.

### **3.2.2 SPI flash integrada en el chip ES\_WROMM-32**

Los pines GPIO 6 - 11 por lo general conectan la memoria Flash SPI del chip ESP-WROOM-32. Es por ello que no se recomienda utilizar estos pines.

### **3.2.3 Pines GPIO capacitivos**

Se pueden conectar 10 sensores de toque capacitivos a la tarjeta *Abeja*. Estos pines tienen la capacidad de detectar variaciones de cualquier cosa que tenga carga

eléctrica, por ejemplo, la piel humana. Es por ello que estos pines tienen la capacidad de detectar variaciones inducidas cuando se tocan los mismos con un dedo, de tal forma que podrían reemplazar a un botón mecánico, así como despertar a la tarjeta cuando se encuentre en modo de sueño profundo. Los pines de toque son: T0 (GPIO 4), T1 (GPIO 0), T2 (GPIO 2), T3 (GPIO 15), T4 (GPIO 13), T5 (GPIO 12), T6 (GPIO 14), T7 (GPIO 27), T8 (GPIO 33), T9 (GPIO 32).

### **3.2.4 Pines GPIO del Convertidor Análogo Digital (ADC)**

La tarjeta tiene 18 canales ADC de entrada de 12 bits. Los canales de entrada del ADC tienen una resolución de 12 bits, lo que implica que se pueden realizar lecturas de 0 a 4095, en el que 0 corresponde a 0V y 4095 a 3.3V. En el código se puede establecer la resolución de los canales, así como el rango del ADC. Los pines de entrada son: ADC1\_CH0 (GPIO 36), ADC1\_CH1 (GPIO 37), ADC1\_CH2 (GPIO 38), ADC1\_CH3 (GPIO 39), ADC1\_CH4 (GPIO 32), ADC1\_CH5 (GPIO 33), ADC1\_CH6 (GPIO 34), ADC1\_CH7 (GPIO 35), ADC1\_CH8 (GPIO 4), ADC1\_CH9 (GPIO 0), ADC1\_CH10 (GPIO 2), ADC1\_CH11 (GPIO 15), ADC1\_CH12 (GPIO 13), ADC1\_CH13 (GPIO 12), ADC1\_CH14 (GPIO 14), ADC1\_CH15 (GPIO 27), ADC1\_CH16 (GPIO 25), ADC1\_CH17 (GPIO 26).

### **3.2.5 Pines GPIO del Convertidor Digital a Análogo (DAC)**

La tarjeta tiene 2 canales DAC que permiten convertir señales digitales en salidas de señal de voltaje análogas (Figura 20). Los canales son: DAC1 (GPIO 25), DAC2 (GPIO 26).



Figura 20 Estructuración de pines en tarjeta Abeja

### 3.2.6 Pines GPIO RTC

La tarjeta tiene soporte para pines GPIO RTC. Los pines conectados a los subsistemas de baja potencia RTC, se pueden utilizar cuando la tarjeta se encuentra en modo de sueño profundo. Estos pines se pueden utilizar para despertar a la tarjeta del sueño profundo cuando el co-procesador de ultra baja potencia se esté ejecutando. Los siguientes pines GPIO se pueden utilizar como una fuente externa para despertar la tarjeta: RTC\_GPIO0 (GPIO 36), RTC\_GPIO3 (GPIO 39), RTC\_GPIO4 (GPIO 34), RTC\_GPIO5 (GPIO 35), RTC\_GPIO6 (GPIO 25), RTC\_GPIO7 (GPIO 26), RTC\_GPIO8 (GPIO 33), RTC\_GPIO9 (GPIO 32), RTC\_GPIO10 (GPIO 4), RTC\_GPIO11 (GPIO 0), RTC\_GPIO12 (GPIO 2), RTC\_GPIO13 (GPIO 15), RTC\_GPIO14 (GPIO 13), RTC\_GPIO15 (GPIO 12), RTC\_GPIO16 (GPIO 14), RTC\_GPIO17 (GPIO 27).

### 3.2.7 Pines GPIO para manejar señales PWM

La tarjeta puede manejar 16 canales independientes que se pueden configurar para generar señales PWM con distintas propiedades. Los pines que se pueden configurar como salidas, se pueden utilizar como pines PWM. En este sentido, los pines GPIO del 34 al 39 pueden generar señales PWM.

### **3.2.8 Pines GPIO I2C**

Al programar la tarjeta con el IDE de Arduino, se deberían utilizar los pines I2C por defecto: GPIO 21 (SDA), GPIO 22 (SCL).

### **3.2.9 Pines GPIO SPI**

Por defecto, el mapeo de los pines SPI es el siguiente:

#### *3.2.9.1. Interrupciones*

Todos los pines GPIO se pueden configurar como interrupciones.

#### *3.2.9.2. Pin de habilitación*

El pin de habilitación, *Enable* o EN, es el pin regulador de 3.3V. Este pin está conectado a un push button, lo que permite reiniciar la tarjeta. Por sus características de diseño, la tarjeta Abeja se comporta como un dispositivo Wi-Fi o como una “cosa” en un entorno IoT.

De antemano, la tarjeta no sabe a qué red va a conectarse, que contraseña va a utilizar y otros parámetros requeridos para interactuar en entornos de cómputo en la nube. Es necesario realizar un proceso de programación para que la tarjeta realice la tarea deseada.

### **3.2.10 Sensor de Corriente ACS712**

Este sensor es una pequeña placa, que soporta un sensor de corriente de Allegro, el ACS712 30A está basado en el efecto Hall lineal, que ofrece una baja resistencia (~1,2 mΩ) al paso de la corriente con un aislamiento eléctrico de hasta 2,1 kV RMS, según indica el fabricante. Esta versión acepta una entrada de corriente continua de hasta 30A y una salida de tensión analógica proporcional (66 mV/A) que mide 500 mV.



Cuando la corriente de entrada es cero. El error de salida típico es de  $\pm 1,5\%$ . Opera desde 4.5 V a 5.5 V y está pensado para su uso en sistemas de 5 V.

Este dispositivo es muy sencillo, como se aprecia en la imagen siguiente, dispone de tres pines, Vcc, GND y Salida en un extremo y en el otro, dispone de un conector con dos contactos para leer la corriente que se desee medir.



Figura 21 Sensor de corriente ACS712

Trabaja con un sensor de efecto Hall que detecta el campo magnético que se produce por inducción de la corriente que circula por la línea que se está midiendo. El sensor nos entrega un valor de 2.5 voltios para una corriente de 0A y a partir de allí incrementa proporcionalmente de acuerdo a la sensibilidad, teniendo una relación lineal entre la salida de voltaje del sensor y la corriente.

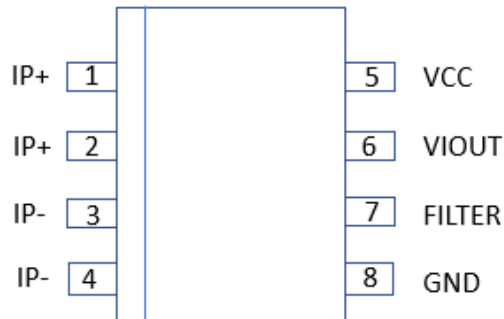


Figura 22 Relación de salidas de pines en sensor de corriente

*Tabla 3 Diagrama de salida de pines*

<b>Número</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
1 y 2	IP+	Terminales de corriente por censar
3 y 4	IP-	Terminales de corriente por censar
5	GND	Tierra
6	Filtro	Terminal para el capacitor externo
7	V/salida	Señal de salida análoga
8	V/CC	Terminal de encendido

El grosor del conductor de cobre permite la supervivencia del dispositivo en condiciones de sobrecorriente de hasta 5 x. Las terminales del camino conductor están aisladas eléctricamente de los cables del sensor (pines 5 a 8). Esto permite que el sensor de corriente ACS712 sea utilizado en aplicaciones que requieren aislamiento eléctrico sin el uso de optoaisladores u otras técnicas de aislamiento costosas.

En la figura 23 se puede observar el diagrama de bloques del sensor de corriente, representando gráficamente los diferentes procesos del sistema y su flujo de señalización, mostrado en cada bloque asignado.

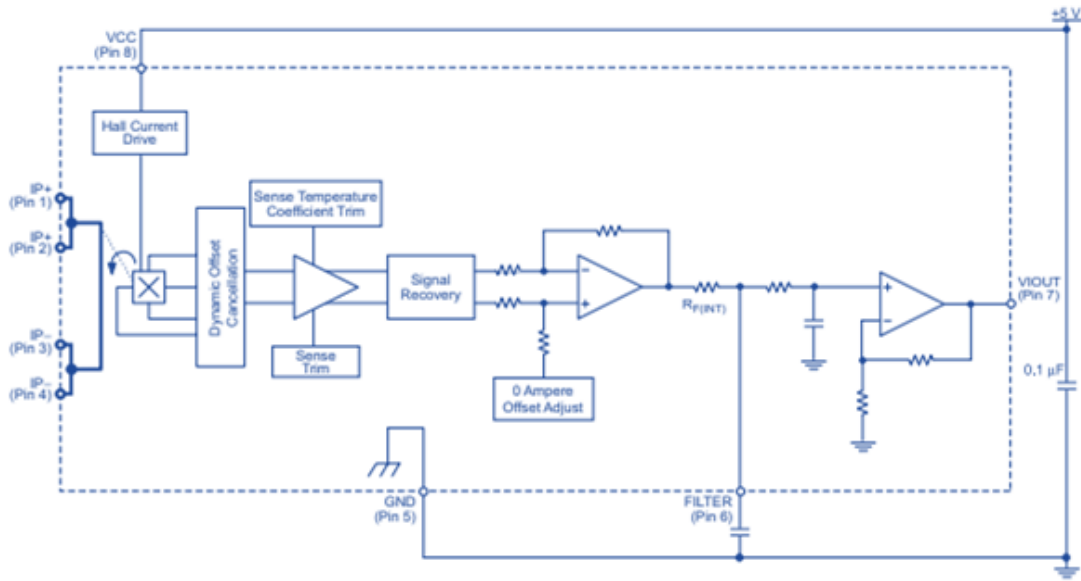


Figura 23 Diagrama de bloques funcional

### 3.3 Formas en que se puede conectar la tarjeta

La tarjeta *Abeja* tiene la posibilidad de conectarse de las siguientes maneras:

- Una estación
- Un punto de acceso o access point
- Un dispositivo independiente ejecutando aplicaciones embebidas

La tarjeta de desarrollo permite crear aplicaciones que se pueden ejecutar de forma nativa en el dispositivo. Las aplicaciones se pueden escribir y compilar en el lenguaje de programación C y se cargan en el dispositivo a través de un proceso que se conoce como "flasheo".

Para que las aplicaciones interactúen con el entorno para el que se programa, el microcontrolador contiene un conjunto de funciones básicas que imitan al sistema operativo de una computadora.

### 3.4. Software

El software utilizado es el de Arduino IDE, un entorno de desarrollo integrado (siglas en inglés de Integrated Development Environment). Es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación.

El IDE de Arduino es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación, es decir, consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Además, incorpora las herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash del hardware.

Es destacable desde la aparición de la versión 1.6.2 la incorporación de la gestión de librerías y la gestión de placas mejoradas respecto a la versión anterior y los avisos de actualización de versiones de librerías y cores. [112]

Desde la versión 1.6.2 del IDE de arduino.cc y gracias al gestor de placas, es posible añadir soporte a otros microcontroladores y placas al IDE de Arduino, como al ESP8266[113]. El software hecho para Arduino con el IDE es portable, es decir, el mismo firmware que se diseñó para un Arduino/Microcontrolador, sirve para otras placas Arduino u otras placas compatibles Arduino como el ESP8266. Cabe mencionar que la tarjeta *Abeja* se configura como una placa ESP32 DEV MODULE, que es una de las variantes de gestión de placas dentro del paquete de gestión de tarjetas “esp32”.

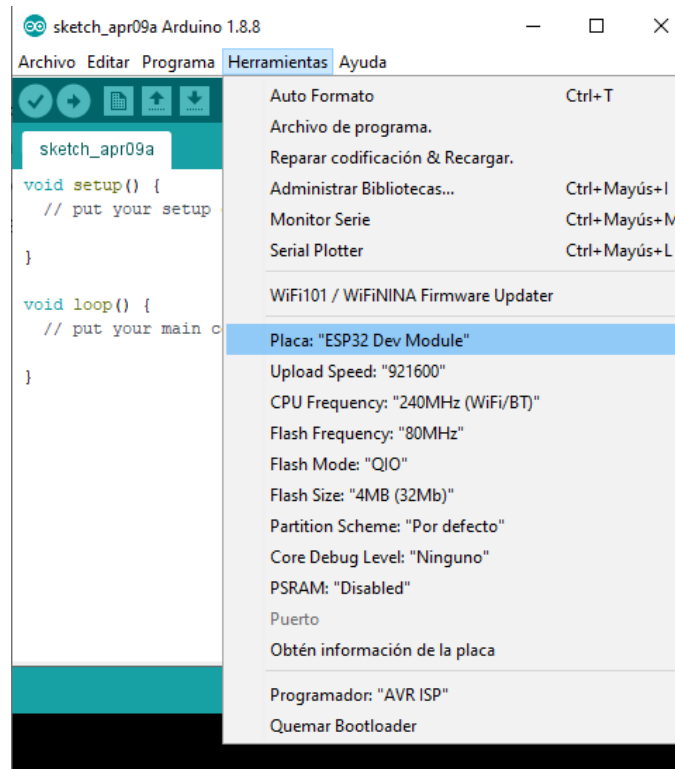


Figura 24 Configuración principal de placa ESP32 dentro de la interfaz principal de la IDE de Arduino

Las características principales del dispositivo en la interfaz de Arduino para su operación son:

- Placa: ESP32 Dev Modue
- Upload Speed: 91600
- CPU Frequency: 240 Mhz (Wi-Fi/Bt)
- Flash Frequency: 80 MHz
- Flash Mode: QIO
- Flash Size: 4 MB (32Mb)
- Programador: AVR ISP

### 3.5. Circuito integrado LM358

El circuito integrado LM358 está compuesto por 2 amplificadores operacionales en su interior. Consiste en dos circuitos independientes que se encuentran dentro del

encapsulado que compensan la frecuencia del amplificador operacional y cada uno opera como suplemento de poder que operan a diferentes rangos de voltaje, el drenaje es posible también bajo las operaciones de fuerza independientemente de la magnitud del suministro de voltaje.

### 3.4.1 Características del circuito integrado

- Alta ganancia en voltaje: 100 db.
- Frecuencia compensada en temperatura.
- Frecuencia máxima: 1.1 Mhz.
- Operación con fuente simple.
- Bajo offset 2mv.
- Voltaje de alimentación: 3 – 32vdc.
- Temperatura: 0° - 70° C.
- Encapsulados: DIP8, SO8, Mini SO8, TSSOP8.

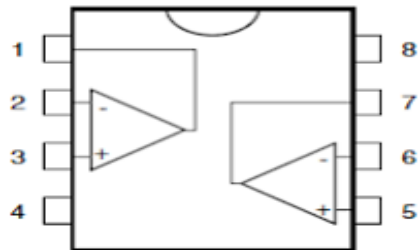


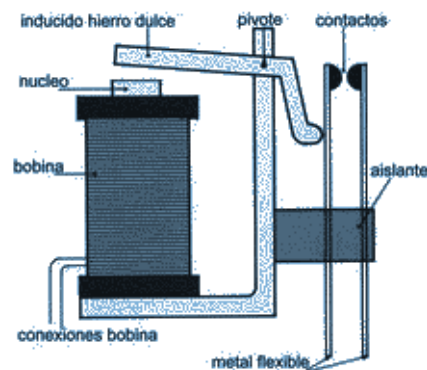
Figura 25 Estructura circuito integrado

*Tabla 4 Relación de pines de circuito integrado*

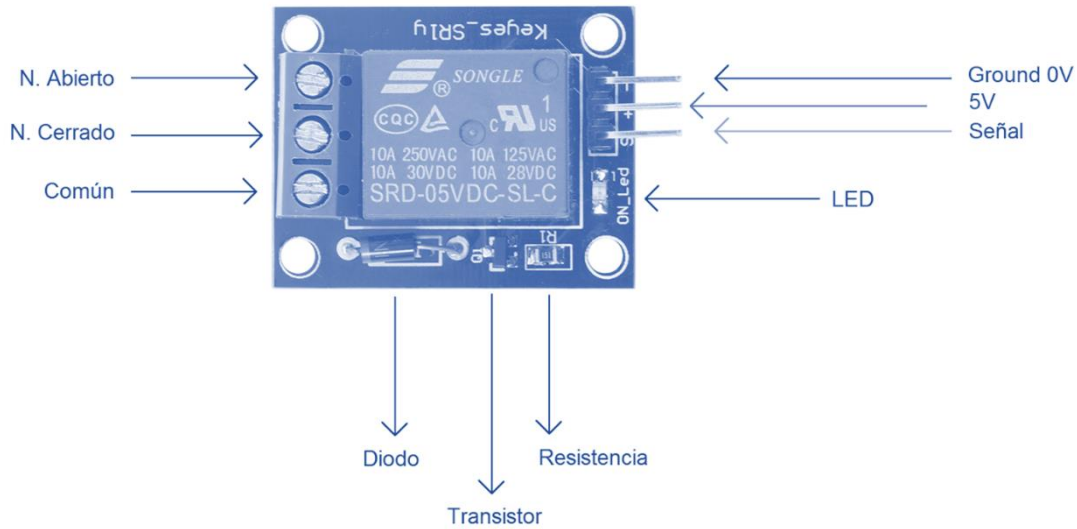
Número	Descripción
1	Salida
2	Entrada de inversión
3	Entrada no invertida
4	VCC
5	Entrada no invertida
6	Entrada de inversión
7	Salida
8	VCC+

### 3.5 Módulo Relé 5V DC

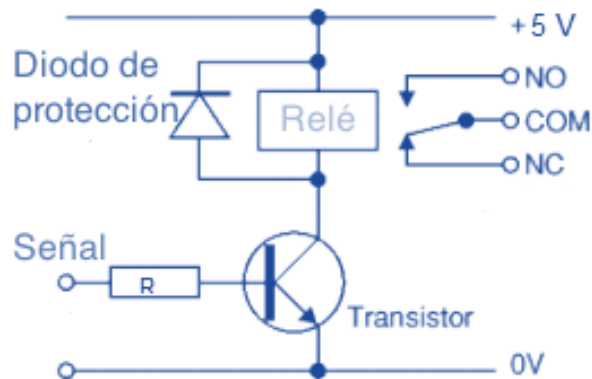
Este relé está formado por una bobina que al paso de corriente crea un campo magnético que atrae una pieza metálica, provocando el corte de electricidad. Cuando la corriente cesa, cesa también el campo magnético, la pieza vuelve a su sitio y la corriente se restablece (Figura 26 y 27).



*Figura 26 Módulo relé*



En la imagen 27 se puede observar que hay 3 contactos, uno normalmente abierto (Normally Open en inglés, NO) otro normalmente cerrado (Normally Closed en inglés, NC) y otro común, esto sirve para que, cuando el relé esté inactivo, el circuito quede abierto (normalmente abierto) o cerrado (normalmente cerrado). Se observa un diodo (ese componente negro con una banda gris en un lado representando su cátodo) en la parte inferior del relevador. El diodo sirve para hacer de elemento antirretorno para proteger al transistor del breve alto voltaje producido cuando el relé es desconectado. El diagrama muestra cómo un diodo de protección se conecta al revés en paralelo al relé.





La corriente que fluye a través de la bobina del relé crea un campo magnético el cual cesa en cuanto la corriente deja de circular por ella. Esta caída repentina del campo magnético induce sobre la bobina un breve pero alto voltaje, el cual es muy probable que dañe el transistor y la placa *Abeja*. El diodo de protección permite al voltaje inducido conducir una breve corriente a través de la bobina (y el diodo), así el campo magnético se desvanece rápidamente.

Las cargas del dispositivo se clasifican en activadas por tiempo y cargas activadas por eventos y el modelo físico de estas cargas es considerado en el modelo, como un refrigerador y una lavadora. Una aplicación de gestión de respuesta a la demanda con RTP.

El desarrollo del dispositivo comienza con la integración del código generado dentro de la plataforma Arduino, la designación de pines y tareas se centra en palabras simples pero importantes. El primer paso para este desarrollo con la creación del código es realizar las lecturas de las entradas analógicas a través de los pines designados, la tarjeta se configura en 11520 baudios siendo una configuración de velocidad máxima para el registro, tomando como salida principal el PIN número 13 para el sensor integración, tierra, potencia de cinco voltios para la placa y dos terminales para el circuito integrado.

El dispositivo de lectura actual envía una señal analógica a través de la tarjeta donde representa el valor del voltaje en una onda sinusoidal, esta señal es una onda que maneja pulsos positivos y negativos durante un lapso de tiempo, para corregir estos pulsos es necesario la aplicación del circuito integrado LM358, que corrige esta onda al entregar solo pulsos positivos que luego se reflejan en el trazador en serie del programa Arduino.

El registro de la actividad se almacena en el dispositivo *Abeja* que a su vez lo envía por medio de la computación en la nube a través de una plataforma conectada por

medio de Wi-Fi que aplica la tecnología llamada máquina a máquina. Dicho almacenamiento permite la predicción, obteniendo conocimiento del consumo actual directamente y en tiempo real.

Todo este desarrollo se centra en el análisis del consumo de electricidad de uso residencial, pero también en la capacidad de actuar de inmediato para intervenir ante cualquier anomalía dentro de la red eléctrica residencial, por ejemplo, si un electrodoméstico tiene un consumo máximo generado por alguna falla técnica, que a primera vista es difícil de percibir, de manera remota se puede cortar la energía eléctrica del dispositivo en cuestión, aquí es donde el desarrollo del dispositivo muestra un elemento importante que puede resolver este detalle, el relé actúa de inmediato debido a que la tarjeta *Abeja* puede informar en tiempo real de alguna falla eléctrica con cualquier elemento a través de la plataforma, funcionando como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el cual, mediante una bobina y un electroimán, se opera un conjunto de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos, en este caso de conectar y desconectar de la red eléctrica el electrodoméstico de forma remota.

La programación generada permite que el dispositivo se conecte a la red eléctrica de forma remota, que también contiene un elemento de seguridad que consiste en que si el elemento encuentra alguna anomalía que afecte el consumo de corriente eléctrica, el relé corta automáticamente la energía eléctrica que suministra el dispositivo. La conexión del dispositivo se realiza a través de la red eléctrica, específicamente detrás de la toma de corriente, ingresando al sensor a través de los cables de la red, sin interrumpir el paso de la corriente.

### **3.6 Métodos**

El desarrollo del dispositivo comienza con la integración del código generado dentro de la plataforma Arduino, la designación de pines y tareas se centra en palabras

simples pero importantes. El primer paso para este desarrollo con la creación del código es realizar las lecturas de las entradas analógicas a través de los pines designados, la tarjeta se configura en 11520 baudios siendo una configuración de velocidad máxima para el registro, tomando como salida principal el PIN número 27 para el sensor integración, tierra, potencia de cinco voltios para la placa y dos terminales para el circuito integrado.

La programación que se designa a la tarjeta es mediante la plataforma de Arduino, para realizar la lectura de corriente simplemente se necesita leer la entrada analógica. A continuación, se muestra un ejemplo de la programación requerida para la lectura de corriente y transmisión de información.

```
ESP32SEN_CORRIENTE
// Import required libraries
#include "WiFi.h"
#include "ESPAsyncWebServer.h"

// Replace with your network credentials
const char* ssid = "CONEXION-DIGITAL3921";
const char* password = "DAVFERVIL3921";

//Sensitivity in Volts/Amps for 5A sensor
float sensitivity = 0.185;

// Create AsyncWebServer object on port 80
AsyncWebServer server(80);

String readACS712Current() {
    float voltage = analogRead(A0)*(5.0 / 1023.0); //sensor reading
    if (isnan(voltage)) {
        Serial.println("Failed to read from ACS712 sensor!");
        return "--";
    } else {
        float current = (voltage-2.5)/sensitivity; //Equation to get the current
        Serial.println(current);
        return String(current);
    }
}

const char index_html[] PROGMEM = R"rawliteral(
<!DOCTYPE HTML>
```

*Figura 29 Programación de dispositivo*

El dispositivo envía la información por medio de Wi-Fi, entrega una dirección IP en la plataforma a la cual el usuario accede y ve el registro en tiempo real como lo muestra la siguiente imagen (información transparente al usuario):



```
ets Jun 8 2016 00:22:57

rst:0x1 (POWERON_RESET),boot:0x13 (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
configsip: 0, SPIWP:0xee
clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00
mode:DIO, clock div:1
load:0x3fff0018,len:4
load:0x3fff001c,len:928
ho 0 tail 12 room 4
load:0x40078000,len:8424
ho 0 tail 12 room 4
load:0x40080400,len:5868
entry 0x4008069c
Connecting to WiFi..
192.168.1.6
```

*Figura 30 Dirección IP enviada por dispositivo*

Esta información es almacenada en los servidores de administración de la plataforma, para ser enviados al usuario mostrando el costo que se ha generado al momento de la solicitud. En la plataforma se puede observar también el consumo de energía semanal, costo mensual, máximo consumo, elementos conectados y la generación del reporte.

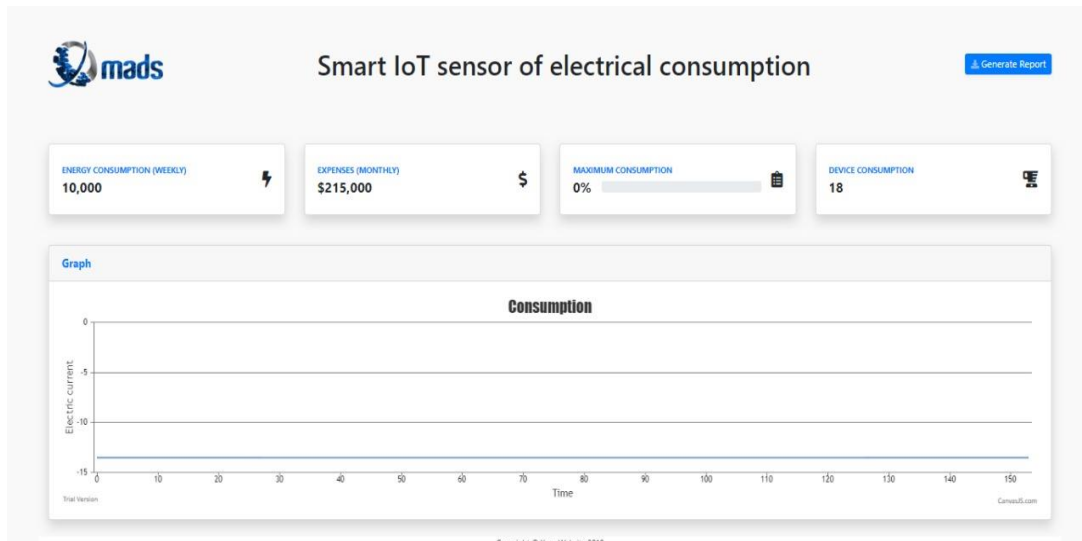


Figura 31 Ejemplo de prueba de lectura para el sensor.

El sistema de visualización de la plataforma en línea consta de cinco elementos principales los cuales son: el botón de consumo semanal, el cual crea el registro de la actividad durante la última semana, costo que relaciona el consumo con el gasto que se genera, consumo máximo, cantidad de elementos conectados y generación de reporte el cual muestra la información del puerto serial con datos referentes al consumo de corriente en el momento de la requisición.

El sensor que realiza el registro de los datos obtenidos se coloca de manera invasiva, esto se refiere a que el sensor se integra a la fase de distribución eléctrica creando un puente, lo cual consiste en un circuito en serie, como se muestra (figura 32).



Figura 32 Integración invasiva del dispositivo

Las conexiones de la figura anterior están distribuidas de la siguiente manera: el color rojo representa la salida de voltaje que entrega la tarjeta *Abeja*, el negro tierra y el azul es la línea a través del cual el sensor envía los datos hacia la tarjeta como se observa en la figura siguiente.

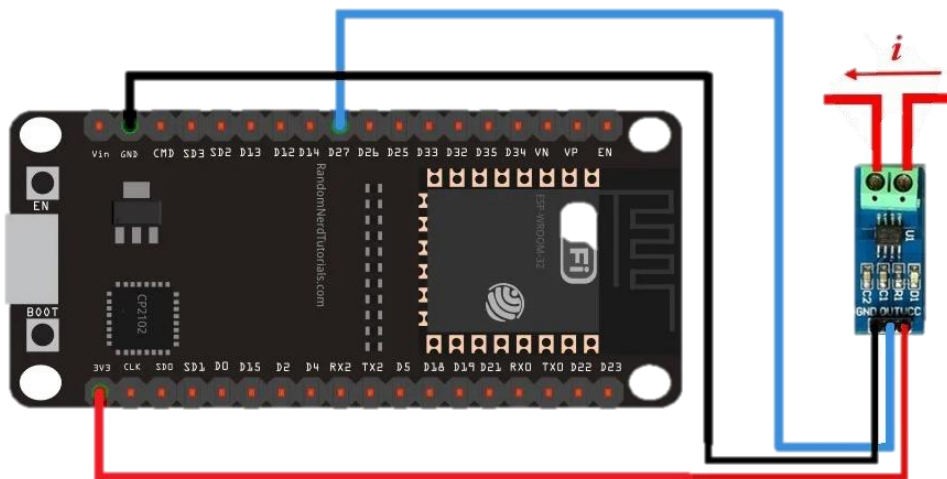


Figura 33 Representación de conexión tarjeta con sensor de corriente invasivo

La línea pasa a través del sensor de corriente por la parte superior y sale por la consiguiente, incrustándose en la línea de distribución, este arreglo permite la medición de corriente que fluye a través de éste, el método es a través de un sensor de efecto hall que provee un voltaje de salida proporcional a la corriente que fluye en el circuito en la conexión de salida, que posteriormente es enviado a la tarjeta *Abeja*. El registro de la actividad se almacena en el dispositivo mencionado que a su vez lo envía a través de la computación en la nube mediante una plataforma conectada a la red por medio de Wi-Fi, aquí es donde se aplica la tecnología denominada máquina a máquina. Dicho almacenamiento permite la “predicción”, obteniendo conocimiento del consumo actual directamente y en tiempo real, permitiendo pronosticar el consumo por época del año.

Como ya se ha mencionado, la implementación del dispositivo es a través de la red eléctrica, donde el registro de cableado es parte fundamental para su incorporación, la colocación del dispositivo se encuentra entre la línea de distribución y la caja de

conexión, debido a esto, el elemento que soporta el dispositivo está diseñado de acuerdo a la imagen 34 y 35, permitiendo un mejor diseño ergonómico para la manipulación e integración.

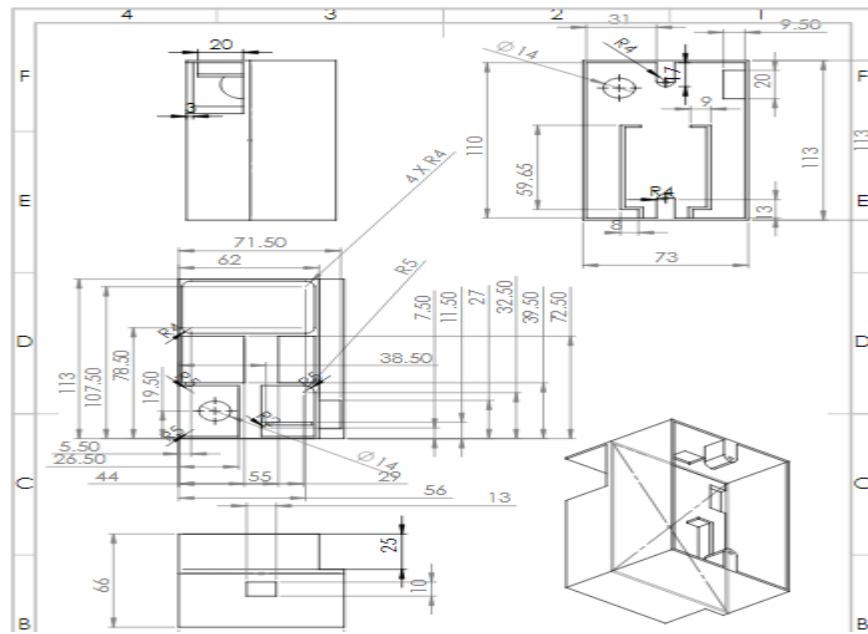


Figura 34 Planos de carcasa para integración de dispositivo

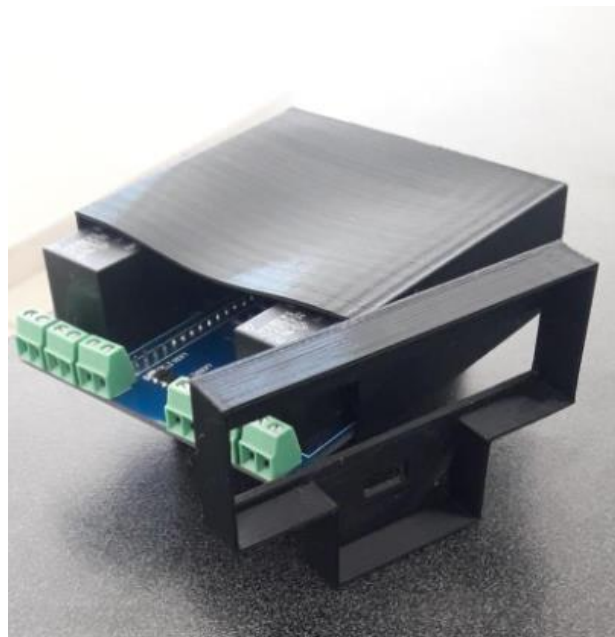


Figura 35 Carcasa impresa

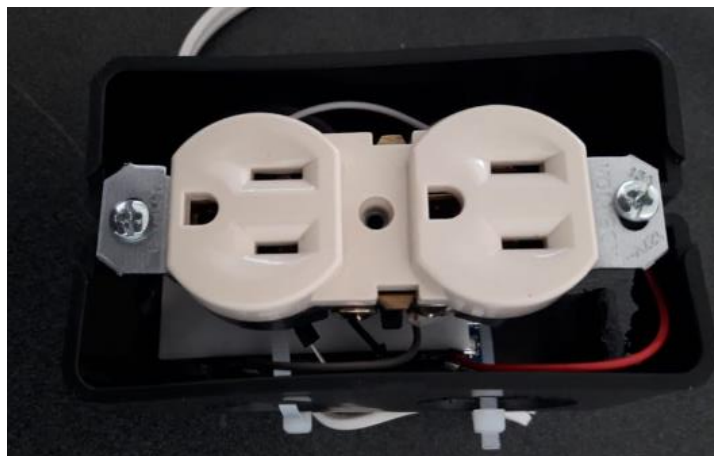




# Resultados y discusión

---

Usando el dispositivo en cuestión (*Abeja*) como se observa en la figura 37, se aplicaron varias pruebas a los aparatos eléctricos para crear un registro de actividades individuales, en el que el uso se representó a través de diferentes horarios, cuando hay un consumo mayor y menor dentro de un hogar común, generando más actividad durante la tarde, sin ninguna anomalía, la figura 36 muestra la actividad presentada por el dispositivo durante las pruebas realizadas a un aparato de consumo eléctrico estable, por tal motivo se propuso realizar la prueba conectando elementos de alto consumo (taladro) al mismo tiempo (como se muestra en la figura 39, generando picos, que es lo que se buscó obtener dando una mejor idea de su aplicación .



*Figura 36 Dispositivo instalado en la red eléctrica*

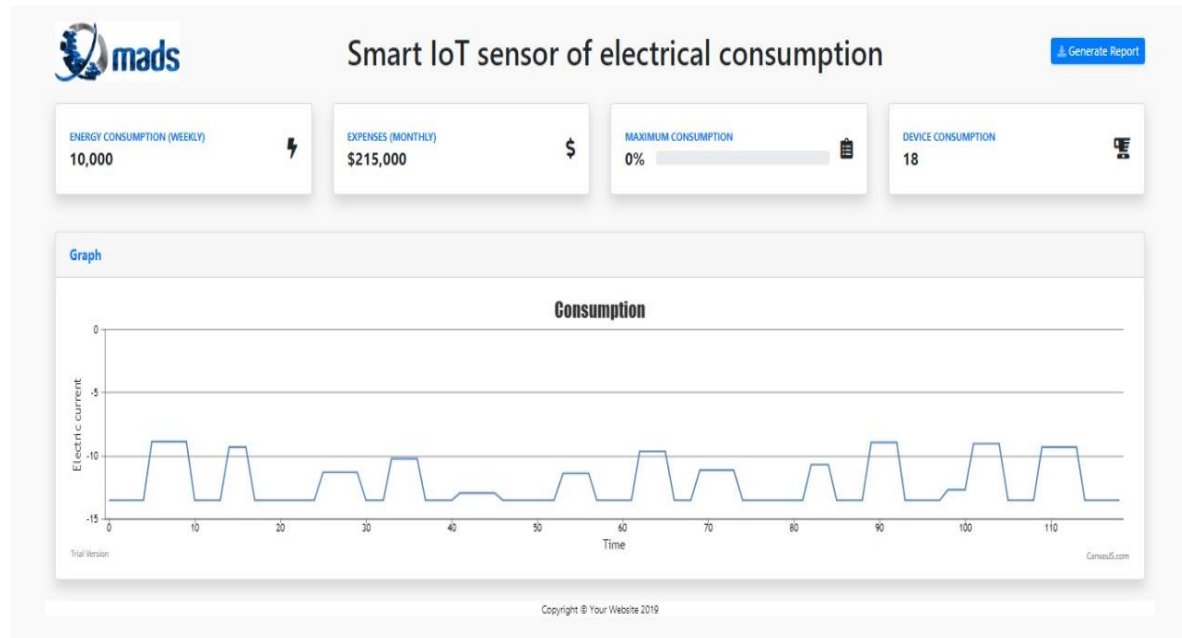


Figura 37 Registro de actividad sin anomalías

Una vez que el circuito comenzó a tomar medidas registrando las señales de pico, generado directamente a través de la toma corriente el dispositivo está preparado para ignorar señales por debajo de 25 amperes asegurándose de que el modo de bloqueo automático estaba en funcionamiento. Se generó un alto consumo de corriente provocando un corto circuito para poder activar directamente el relé (figura 38), lo que permitió cortar la alimentación a través de la toma de corriente de prueba, accionando el relevador desconectando de la corriente el elemento en cuestión, sin provocar el corte de energía total a la instalación. La tarjeta *Abeja* registra y envía de forma remota la información obtenida por el sensor de corriente en ciclos de onda, mientras permite el control del relé (abrir y cerrar circuito).

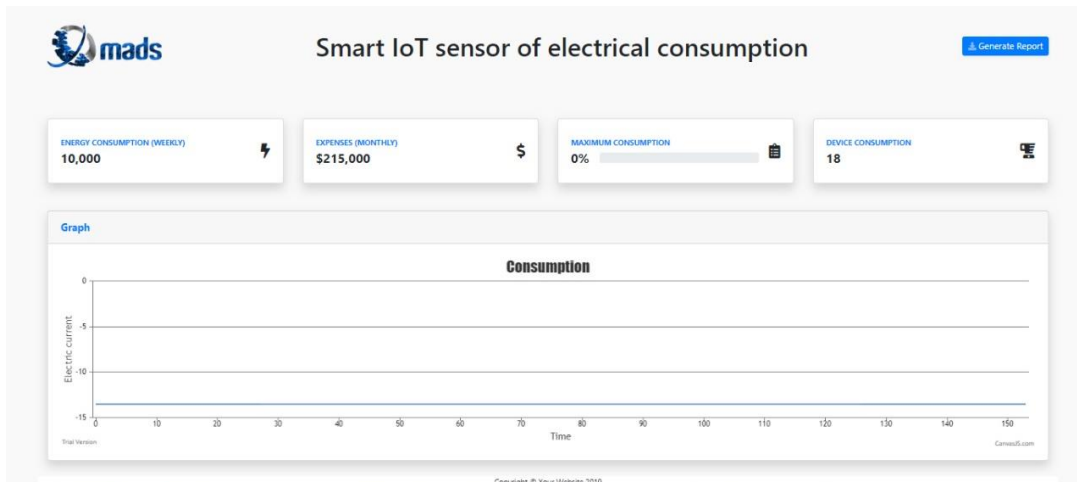


Figura 38 Ejemplo de censo actual con dispositivo de consumo de corriente en corto.



Figura 39 Censado de corriente a través del trazador en serie en estado estacionario

En la figura anterior se observa la prueba del dispositivo con un taladro de 200W, el cual muestra la variación de corriente en tiempo real.

El dispositivo cuenta con dos opciones para desconectar el suministro eléctrico al o los electrodomésticos conectados a éste, por medio del relé ubicado en la tarjeta o de manera remota a través de la plataforma en línea.

En las pruebas realizadas donde se generó el corto circuito, se observó que el dispositivo genera la señal enviada hacia el relevador permitiendo la incorporación de la línea una vez estabilizada, en caso de que la anomalía persista, la configuración del dispositivo *Abeja* realiza tres intentos de reincorporación a través del relevador que permite el paso de la corriente hacia el elemento conectado, volviendo al registro de actividad de consumo, una vez que se realizaron estas tres incorporaciones y la anomalía persiste el relevador corta la corriente de manera permanente inhabilitando los dispositivos conectados a la toma eléctrica. Una vez que se estabiliza el registro de corriente por debajo de los 25 amperes el dispositivo permite la incorporación a la red eléctrica instantáneamente, si a la tercera incorporación la corriente se estabiliza, la conexión del dispositivo a la red se mantiene activa reiniciando la posibilidad de tres intentos de reconexión permitidas por la tarjeta *Abeja*.

Otra opción de reactivación o desconexión puede ser accionado de manera remota por el usuario por medio de la plataforma al percatarse o no de alguna anomalía que presente algún aparato, incluso sin que se sobrepase el rango de consumo de corriente que la tarjeta *Abeja* tiene establecido.

## **4.1. Participación en congreso**

### **4.1.1. Año 2019**

Martínez-Blanco, MR; Soriano Romero, JC; Ortiz-Rodríguez, JM; (2019) Sensor inteligente de consumo eléctrico en hogares inteligentes para entornos IoT. XIX International Symposium on Solid State Dosimetry held (ISSSD 2019) Zacatecas, Zac. México.

## **4.2. Formación de capital humano**

### **4.2.1. Asesoría de modelo dual**

David Fernández Villarreal

Desarrollo de plataforma en línea.

---

## **Capítulo 5**

# **Conclusiones**

---

## **5.1. Conclusiones**

Una parte importante en la que las redes domésticas de consumo de electricidad pueden contribuir a reducir el consumo de eléctrico es la conciencia del daño que causa y qué mejor manera de probarlo que permitir que cada usuario acceda al registro directamente y de forma remota, sin la necesidad de intervención del distribuidor.

Generando al mismo tiempo un registro para comparaciones posteriores, dejando la posibilidad de predecir el comportamiento eléctrico en distintos periodos del año.

La inclusión del desarrollo de nuevas tecnologías en este campo permite tener una forma infinita de apoyar el desarrollo tecnológico, al mismo tiempo que tiene un enorme impacto en la generación de un entorno de confort y seguridad entre los usuarios que eligen involucrarse más en la tecnología de hogares inteligentes, apoyando la reducción de CO<sub>2</sub> al tener una mayor conciencia del desperdicio de energía generado en el área de suministro residencial.

Con este análisis, el principio de funcionamiento de la domótica se ha centrado en el uso de las aplicaciones constantes que surgen, de esta forma el control de los recursos de forma global se verá afectado positivamente hacia el ahorro. Generando un gran campo de aplicación y desarrollo para investigadores que trabajan en el área de cuidado ambiental, aplicaciones de control, vivienda con la implementación de inteligencia artificial, hogares inteligentes y redes.

## **5.2. Prospectivas**

La intención del desarrollo del dispositivo en el futuro es la implementación de inteligencia artificial, que permite al elemento tomar sus propias decisiones antes de cualquier evento, incluso registrar de forma autónoma la determinación de acciones, administrar los dispositivos y su consumo, lo que permite formar una idea del comportamiento eléctrico, formulando decisiones para un mejor uso de los recursos individualmente. Influye directamente en las actividades cotidianas del ser humano, creando un ambiente de confort y seguridad. El reconocimiento de la voz, el aprendizaje automático y la gestión de decisiones son solo algunos de los elementos que se pretenden incorporar a este proyecto, esperando grandes expectativas antes de la situación actual.

## Bibliografía

---

- [1] E. Inga Ortega, D. Arias Cazco, V. Orejuela Luna, y J. Inga Ortega, «Comunicaciones celulares para medición inteligente de energía eléctrica en sistemas de distribución», *Ingenius*, n.º 10, dic. 2013.
- [2] García, J. B., Díaz, F. F., & Córdoba, A. S. (2018). La industria 4.0: un camino hacia el ahorro energético. *Dínamo técnica: revista gallega de energía*, (22), 8-9.
- [3] J. Álvarez-Alvarado, G. J. Ríos-Moreno, G. Ronquillo, y M. Trejo-Perea, «Medidor inteligente para las variables de energía eléctrica basado en un sistema embebido», p. 10, 2016.
- [4] D. Zhang, S. Li, M. Sun, y Z. O'Neill, «An Optimal and Learning-Based Demand Response and Home Energy Management System», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, n.º 4, pp. 1790-1801, jul. 2016.
- [5] Zhuang Zhao, Won Cheol Lee, Yoan Shin, y Kyung-Bin Song, «An Optimal Power Scheduling Method for Demand Response in Home Energy Management System», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, n.º 3, pp. 1391-1400, sep. 2013.
- [6] H. Li, A. Ravey, A. N'Diaye, y A. Djerdir, «A novel equivalent consumption minimization strategy for hybrid electric vehicle powered by fuel cell, battery and supercapacitor», *J. Power Sources*, vol. 395, pp. 262-270, ago. 2018.
- [7] A. Nilsson, C. J. Bergstad, L. Thuvander, D. Andersson, K. Andersson, y P. Meiling, «Effects of continuous feedback on households' electricity consumption: Potentials and barriers», *Appl. Energy*, vol. 122, pp. 17-23, jun. 2014.
- [8] K. Sridharan y N. N. Schulz, «Outage management through AMR systems using an intelligent data filter», *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 16, n.º 4, pp. 669-675, oct. 2001.
- [9] A. A. Cardenas, S. Amin, G. Schwartz, R. Dong, y S. Sastry, «A game theory model for electricity theft detection and privacy-aware control in AMI systems», en *2012 50th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing (Allerton)*, Monticello, IL, USA, 2012, pp. 1830-1837.
- [10] J. F. Figueroa, M. A. R. Ochoa, M. S. Rodriguez, y M. G. V. Palma, «Diseño de un medidor de energía eléctrica bidireccional y monitoreado mediante aplicación móvil / Design of a two-way electric power meter monitoring with a mobile application», *RECI Rev. Iberoam. Las Cienc. Comput. E Informática*, vol. 7, n.º 14, pp. 1-30, ago. 2018.
- [11] M. Y. H. Pérez, G. A. Figueroa, y M. S. Domínguez, «Modelo para detectar y prevenir pérdidas no técnicas en sistemas de distribución eléctrica con base en técnicas de minería de datos y redes bayesianas», p. 8, 2015.
- [12] J. M. Ramos y M. E. I. Martínez, «Disminución de las pérdidas técnicas en circuito secundario del JB-287», *Avances*, vol. 21, n.º 2, pp. 193-207, 2019.
- [13] J. M. G. López, R. C. Luna, J. C. M. Cervantes, y J. Meneses, «Aplicación de tecnologías de medición avanzada (AMI) como instrumento para reducción de pérdidas», p. 12, 2015.
- [14] A. G. P. Sevilla y F. O. A. Fernández, «Evolución de las redes eléctricas hacia Smart Grid en países de la Región Andina», *Rev. Educ. En Ing.*, vol. 8, n.º 15, pp. 48-61, jun. 2013.
- [15] D. Larcher y J.-M. Tarascon, «Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage», *Nat. Chem.*, vol. 7, n.º 1, pp. 19-29, ene. 2015.

- [16] B. Zakeri y S. Syri, «Electrical energy storage systems: A comparative life cycle cost analysis», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 42, pp. 569-596, feb. 2015.
- [17] S. Kufeoglu y M. Lehtonen, «A review on the theory of electric power reliability worth and customer interruption costs assessment techniques», en *2016 13th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, Porto, Portugal, 2016, pp. 1-6.
- [18] K. Sharma y L. Mohan Saini, «Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 49, pp. 720-735, sep. 2015.
- [19] P. R. A. Salazar y J. C. C. Cantú, «(Effect of the price of electricity in mexican households with a gender perspective and poverty status)», p. 25.
- [20] P. R. A. Salazar y J. C. C. Cantú, «(Effect of the price of electricity in mexican households with a gender perspective and poverty status)», p. 25.
- [21] P. Moreno y M. García, «Respuesta a la Demanda para Smart Home Utilizando Procesos Estocásticos», *ID Tecnológico*, vol. 12, n.º 2, pp. 7-17, dic. 2016.
- [22] G. Mercado *et al.*, «SG-SM - Smart Grid San Martin», presentado en XVII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (Salta, 2015), 2015.
- [23] G. Mercado *et al.*, «SG-SM - Smart Grid San Martin», p. 5.
- [24] Badii, M. H., Guillen, A., Abreu, J. L., & UANL, S. N. D. L. G. (2016). Energías Renovables y Conservación de Energía (Renewable Energies and Energy Conservation). *Daena: International Journal of Good Conscience*, 11(1), 141-155.
- [25] Y. S. Reyes, H. I. G. Blanco, M. V. Chamorro, G. V. Ochoa, y E. V. Ortíz, «Technical and economic design of a photovoltaic solar test bank for power generation off-grid/Diseño técnico y económico de un banco de prueba solar fotovoltaico para generación de energía eléctrica de forma aislada», *Prospectiva*, vol. 16, n.º 2, pp. 82-88, ago. 2018.
- [26] Altomonte, H. (2017). Las energías renovables no convencionales en la matriz de generación eléctrica. *Tres estudios de caso. Documentos de Proyectos*, 40975.
- [27] Arango Arango, M. A., & Arroyave, O. (2016). Análisis de combustibles fósiles en el mercado de generación de energía eléctrica en Colombia: un contraste entre modelos de volatilidad. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 22, 190-215.
- [28] C. Bordons, F. G. Torres, y L. Valverde, «Gestión Óptima de la Energía en Microrredes con Generación Renovable», *Rev. Iberoam. Automática E Informática Ind.*, vol. 12, n.º 2, pp. 117-132, 2015.
- [29] F. A. P. Martinez, O. A. G. Vivas, y Y. S. S. Rosas, «Cuantificación del ahorro de energía eléctrica en clientes residenciales mediante acciones de gestión de demanda», *Rev. UIS Ing.*, vol. 16, n.º 2, pp. 217-226, may 2017.
- [30] González, C., Pérez, R., Vásquez Stanescu, C., & Araujo, G. (2014). Eficiencia Energética: Uso racional de la energía eléctrica en el sector administrativo. *Consumo eficiente*.
- [31] E. F. Scozzina, J. L. Fontana, H. Currie, M. E. S. Verrastro, y E. Villalva, «Transferencia de tecnología aplicada. Evaluación de impacto ambiental en redes eléctricas y estaciones transformadoras de la Provincia de Corrientes, trabajos 2014-2016», *Extensionismo Innov. Transf. Tecnológica*, vol. 3, n.º 0, pp. 121-128, mar. 2016.
- [32] L. Martínez, D. Fernández, R. J. Mantz, y P. E. Battaiotto, «Evaluación y control de sistemas de producción de hidrógeno como cargas inteligentes en micro redes con alta penetración de generación renovable», presentado en V Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería (La Plata, 2019), 2019.
- [33] J. C. Hernández, Á. D. Pinto, J. A. González, N. A. Pérez-García, J. M. Torres, y J.-E. Rengel, «Nuevas Estrategias para un Plan de Uso Eficiente de la Energía Eléctrica», *Cienc. Docencia Tecnol.*, n.º 54, pp. 75-99, jun. 2017.



- [34] Y. Zhang, D. Yau, S. Zonouz, D. Jin, M. Qiu, y M. Erol-Kantarci, «Guest Editorial Smart Grid Cyber-Physical Security», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, n.º 5, pp. 2409-2410, sep. 2017.
- [35] M. H. Cintuglu, O. A. Mohammed, K. Akkaya, y A. S. Uluagac, «A Survey on Smart Grid Cyber-Physical System Testbeds», *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 19, n.º 1, pp. 446-464, 2017.
- [36] M. Chong y R. Aguilar, «Proyección de Series de Tiempo para el Consumo de la Energía Eléctrica a Clientes Residenciales en Ecuador», p. 22.
- [37] B. Celik, R. Roche, S. Suryanarayanan, D. Bouquain, y A. Miraoui, «Electric energy management in residential areas through coordination of multiple smart homes», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 80, pp. 260-275, dic. 2017.
- [38] M. Liserre, G. Buticchi, M. Andresen, G. De Carne, L. F. Costa, y Z.-X. Zou, «The Smart Transformer: Impact on the Electric Grid and Technology Challenges», *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 10, n.º 2, pp. 46-58, jun. 2016.
- [39] Chen, Y. K. (2012, January). *Challenges and opportunities of internet of things. In 17th Asia and South Pacific design automation conference (pp. 383-388). IEEE.*
- [40] V. Caballero, D. Vernet, A. Zaballos, y G. Corral, «Web of Energy: hacia la integración inteligente para las redes de sensores en Smart Grids», en *Proceedings XIII Jornadas de Ingeniería Telemática - JITEL2017*, 2017, pp. 30-39.
- [41] A. G. P. Sevilla y F. O. A. Fernández, «Evolución de las redes eléctricas hacia Smart Grid en países de la Región Andina», *Rev. Educ. En Ing.*, vol. 8, n.º 15, pp. 48-61, jun. 2013.
- [42] Fossati, J. P. (2011). Revisión bibliográfica sobre microredes inteligentes. *Memoria de trabajos de difusión científica y técnica*, 9, 13-20.
- [43] V. A. Gómez, C. Hernández, E. Rivas, V. A. Gómez, C. Hernández, y E. Rivas, «Visión General, Características y Funcionalidades de la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid)», *Inf. Tecnológica*, vol. 29, n.º 2, pp. 89-102, mar. 2018.
- [44] N. Poveda, C. Medina, y M. Zambrano, «Tecnologías de comunicación para redes de potencia inteligentes de media y alta tensión», *Prisma Tecnológico*, vol. 5, n.º 1, pp. 29-32, ago. 2016.
- [45] M. Seijo, G. Lopez, J. I. Moreno, J. Matanza, F. Martín, y C. Martínez, «Herramientas TIC para la mejora del rendimiento y la planificación de redes PLC para Smart Grids», p. 9.
- [46] F. Ghavimi y H.-H. Chen, «M2M Communications in 3GPP LTE/LTE-A Networks: Architectures, Service Requirements, Challenges, and Applications», *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 17, n.º 2, pp. 525-549, 2015.
- [47] Kan Zheng, Fanglong Hu, Wenbo Wang, Wei Xiang, y M. Dohler, «Radio resource allocation in LTE-advanced cellular networks with M2M communications», *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, n.º 7, pp. 184-192, jul. 2012.
- [48] A. Ali, W. Hamouda, y M. Uysal, «Next generation M2M cellular networks: challenges and practical considerations», *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, n.º 9, pp. 18-24, sep. 2015.
- [49] S. H. Park, S. H. Won, J. B. Lee, y S. W. Kim, «Smart home ? digitally engineered domestic life», *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 7, n.º 3-4, pp. 189-196, jul. 2003.
- [50] R. A. Ramlee, D. H. Z. Tang, y M. M. Ismail, «Smart home system for Disabled People via Wireless Bluetooth», en *2012 International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*, Bandung, West Java, Indonesia, 2012, pp. 1-4.
- [51] S. Davidoff, M. K. Lee, C. Yiu, J. Zimmerman, y A. K. Dey, «Principles of Smart Home Control», en *UbiComp 2006: Ubiquitous Computing*, vol. 4206, P. Dourish y A. Friday, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006, pp. 19-34.
- [52] T. Yamazaki, «Beyond the Smart Home», en *2006 International Conference on Hybrid Information Technology*, Cheju Island, 2006, pp. 350-355.
- [53] B. Zhou *et al.*, «Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 61, pp. 30-40, ago. 2016.

- [54] B. Ur, E. McManus, M. Pak Yong Ho, y M. L. Littman, «Practical trigger-action programming in the smart home», en *Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems - CHI '14*, Toronto, Ontario, Canada, 2014, pp. 803-812.
- [55] G. A. García y A. D. R. Reyes, «PROPUESTA DE UN MODELO DE REFERENCIA BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS PARA DISEÑAR SOLUCIONES UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES», p. 20.
- [56] T. Stock y G. Seliger, «Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0», *Procedia CIRP*, vol. 40, pp. 536-541, 2016.
- [57] R. Schmidt, M. Möhring, R.-C. Härtling, C. Reichstein, P. Neumaier, y P. Jozinović, «Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results», en *Business Information Systems*, vol. 208, W. Abramowicz, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 16-27.
- [58] A. Ustundag y E. Cevikcan, *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Cham: Springer International Publishing, 2018.
- [59] C. B. Y. Cortés, J. M. I. Landeta, y J. G. B. Chacón, «El entorno de la industria 4.0 : Implicaciones y perspectivas futuras», *Concienc. Tecnológica*, n.º 54 (julio-diciembre), pp. 33-45, 2017.
- [60] V. Dohale y S. Kumar, «A Review of Literature on Industry 4.0», p. 7.
- [61] Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). *Industria 4.0: fabricando el futuro* (Vol. 647). Inter-American Development Bank.
- [62] C. Doukas y I. Maglogiannis, «Bringing IoT and Cloud Computing towards Pervasive Healthcare», en *2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, Palermo, Italy, 2012, pp. 922-926.
- [63] C. Stergiou, K. E. Psannis, B.-G. Kim, y B. Gupta, «Secure integration of IoT and Cloud Computing», *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 78, pp. 964-975, ene. 2018.
- [64] Z.-K. Zhang, M. C. Y. Cho, C.-W. Wang, C.-W. Hsu, C.-K. Chen, y S. Shieh, «IoT Security: Ongoing Challenges and Research Opportunities», en *2014 IEEE 7th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications*, Matsue, Japan, 2014, pp. 230-234.
- [65] P. A. Dhobi y N. Tevar, «IoT based home appliances control», en *2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, Erode, 2017, pp. 648-651.
- [66] Wortmann, F., & Flüchter, K. (2015). Internet of things. *Business & Information Systems Engineering*, 57 (3), 221-224.
- [67] J. Lloret, J. Tomas, A. Canovas, y L. Parra, «An Integrated IoT Architecture for Smart Metering», *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, n.º 12, pp. 50-57, dic. 2016.
- [68] J.-H. Huh, S. Otgonchimeg, y K. Seo, «Advanced metering infrastructure design and test bed experiment using intelligent agents: focusing on the PLC network base technology for Smart Grid system», *J. Supercomput.*, vol. 72, n.º 5, pp. 1862-1877, may 2016.
- [69] J.-N. Louis, A. Calo, K. Leiviskä, y E. Pongrácz, «Environmental Impacts and Benefits of Smart Home Automation: Life Cycle Assessment of Home Energy Management System», *IFAC-Pap.*, vol. 48, n.º 1, pp. 880-885, 2015.
- [70] K. Johnsen y F. V. Winther, «Dynamic Facades, the Smart Way of Meeting the Energy Requirements», *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 1568-1573, nov. 2015.
- [71] R. Bhuyar y S. Ansari, «Design and Implementation of Smart Office Automation System», *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 151, n.º 3, pp. 37-42, oct. 2016.
- [72] A. Kylili y P. A. Fokaides, «European smart cities: The role of zero energy buildings», *Sustain. Cities Soc.*, vol. 15, pp. 86-95, jul. 2015.
- [73] D. Alahakoon y X. Yu, «Smart Electricity Meter Data Intelligence for Future Energy Systems: A Survey», *IEEE Trans. Ind. Inform.*, vol. 12, n.º 1, pp. 425-436, feb. 2016.
- [74] D. Perez, E. Inga, y R. Hincapie, «Optimal sizing of a network for smart metering», *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, n.º 5, pp. 2114-2119, may 2016.

- [75] Y. Yoldaş, A. Önen, S. M. Muyeen, A. V. Vasilakos, y İ. Alan, «Enhancing smart grid with microgrids: Challenges and opportunities», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 72, pp. 205-214, may 2017.
- [76] A. S. Malik, M. Albadi, M. Al-Jabri, A. Bani-Araba, A. Al-Ameri, y A. Al Shehhi, «Smart grid scenarios and their impact on strategic plan—A case study of Omani power sector», *Sustain. Cities Soc.*, vol. 37, pp. 213-221, feb. 2018.
- [77] M. Ruiz y M. García, «INTEROPERABILIDAD ENTRE MEDIDORES INTELIGENTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESIDENCIAL», 2015.
- [78] C. Yang, Q. Huang, Z. Li, K. Liu, y F. Hu, «Big Data and cloud computing: innovation opportunities and challenges», *Int. J. Digit. Earth*, vol. 10, n.º 1, pp. 13-53, ene. 2017.
- [79] S. Madden, «From Databases to Big Data», *IEEE Internet Comput.*, vol. 16, n.º 3, pp. 4-6, may 2012.
- [80] W. Raghupathi y V. Raghupathi, «Big data analytics in healthcare: promise and potential», *Health Inf. Sci. Syst.*, vol. 2, n.º 1, p. 3, dic. 2014.
- [81] H. V. Jagadish *et al.*, «Exploring the inherent technical challenges in realizing the potential of Big Data», 2014.
- [82] R. Kitchin, «Big Data, new epistemologies and paradigm shifts», *Big Data Soc.*, vol. 1, n.º 1, p. 205395171452848, jul. 2014.
- [83] C. M. Castro y A. T. Balcázar, «Cloud computing: modelo de innovación en un laboratorio de cómputo», *Rev. Electrónica Sobre Tecnol. Educ. Soc.*, vol. 4, n.º 7, ene. 2017.
- [84] I. A. T. Hashem, I. Yaqoob, N. B. Anuar, S. Mokhtar, A. Gani, y S. Ullah Khan, «The rise of “big data” on cloud computing: Review and open research issues», *Inf. Syst.*, vol. 47, pp. 98-115, ene. 2015.
- [85] F. Jalali, K. Hinton, R. Ayre, T. Alpcan, y R. S. Tucker, «Fog Computing May Help to Save Energy in Cloud Computing», *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 34, n.º 5, pp. 1728-1739, may 2016.
- [86] E. E. G. Martínez, J. D. R. Ayala, D. U. Agundis, E. U. Barraza, y L. H. G. Muñoz, «Cloud Computing: de la virtualización de aplicaciones y de escritorio, a la virtualización de servidores», *Pist. Educ.*, vol. 36, n.º 114, abr. 2018.
- [87] E. Inga *et al.*, «Reconstrucción del patrón de consumo eléctrico a partir de Big Data mediante técnica de MapReduce», *Enfoque UTE*, vol. 9, n.º 1, pp. 177-187, mar. 2018.
- [88] y, P. R. Palos-Sánchez, y M. Aguayo-Camacho, «“Los cambios organizacionales y la nube en el entorno turístico: Estudio de caso”», *Int. J. World Tour.*, vol. 3, n.º 5, pp. 34-42, 2016.
- [89] Humanes, H. H., Hernández, I., Díaz, J., Perez, J., Ríos, A., Gonzalez-Rodriguez, J., & Paire, J. (2016). Estudio del Soporte a la Variabilidad en la Nube en un entorno con Multitenencia: Plataforma GPaaS. *Actas XXI Jornadas de Ingeniería del Software y Bases De Datos*, 37-50.
- [90] Rosatto, D., Bond, R., Belizán, M., Morales, D. M., & Encinas, D. (2017). Modelado y simulación de arquitecturas de cloud computing con cloudsims: comunicación entre entidades. In *XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (La Plata, 2017)*.
- [91] H. Hassan, «Organisational factors affecting cloud computing adoption in small and medium enterprises (SMEs) in service sector», *Procedia Comput. Sci.*, vol. 121, pp. 976-981, 2017.
- [92] Kumar, P. R., Raj, P. H., & Jelciana, P. (2018). Exploring data security issues and solutions in cloud computing. *Procedia Computer Science*, 125, 691-697.
- [93] A. V. Dastjerdi y R. Buyya, «Fog Computing: Helping the Internet of Things Realize Its Potential», *Computer*, vol. 49, n.º 8, pp. 112-116, ago. 2016.
- [94] T. H. Luan, L. Gao, Z. Li, Y. Xiang, G. Wei, y L. Sun, «Fog Computing: Focusing on Mobile Users at the Edge», *ArXiv150201815 Cs*, feb. 2015.
- [95] J. A. M. Sánchez, «DESARROLLO DE UN SISTEMA EMBEBIDO PARA AYUDA A LA NATACIÓN DE PERSONAS NO VIDENTES MEDIANTE EL RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES», p. 80.

- [96] C. A. P. Sarango, «INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES», p. 122.
- [97] A. G. Aguirre y P. J. R. Giraldo, «Sistema embebido de bajo costo para visión artificial», *Sci. Tech.*, vol. 19, n.º 2, pp. 163-173, jun. 2014.
- [98] M. A. Sánchez, «La industria de la electrónica de consumo en Argentina: un aporte al estudio de su desarrollo a partir del análisis de su localización», *H-Ind. Rev. Hist. Ind. Los Serv. Las Empres. En América Lat.*, n.º 22, pp. 40-70, 12.
- [99] M. S. T. Guerrero, «CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR», p. 103.
- [100] Camargo Bareño, C. I. (2011). *Transferencia tecnológica y de conocimientos en el diseño de sistemas embebidos* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- [101] G. Díaz y C. Johanna, «Estudio sobre la viabilidad de desarrollar aplicaciones gráficas en sistemas embebidos RESUMEN», jun. 2015.
- [102] O. López, J. R. Mateus, S. Q. Ayala, J. B. Santaella, y J. C. Blanco, «DISEÑO DE UN CONTROLADOR PI EMBEBIDO APLICADO A CONTROL DE NIVEL DE TANQUES INTERACTIVOS», *Rev. Colomb. Tecnol. Av. RCTA*, vol. 2, n.º 24, may 2017.
- [103] Pérez, D. (2009). Sistemas embebidos y sistemas operativos embebidos. *Lecturas en ciencias de la computación. Universidad Central de Venezuela, Vols.º i deº 2ISSN*, 1316-6239.
- [104] Ortiz, L., & Nelson, R. (2017). Internet de las cosas.
- [105] J. C. Sosa, I. Dominguez-Lopez, A. L. García-García, J. D. O. Barceinas-Sánchez, y A. Jassen, «Sistema embebido para la detección de luz láser empleando el soft-core Nios II», p. 12, 2015.
- [106] A. A. F. Alexandra y L. M. K. Alejandro, «INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES.», p. 132.
- [107] C. Pérez, «Sistemas Embebidos (ES)», p. 19.
- [108] V. Rajaraman, «Multi-core microprocessors», *Resonance*, vol. 22, n.º 12, pp. 1175-1192, dic. 2017.
- [109] «Home | OMADS», *OMADS S.A. of C.V.* [En línea]. Disponible en: <https://omads.co/>. [Accedido: 23-nov-2019].
- [110] J. W. Santos y R. C. de Lara Junior, «Sistema de automatização residencial de baixo custo controlado pelo microcontrolador ESP32 e monitorado via smartphone», *Low-cost residential automation system controlled by the ESP32 microcontroller and monitored via smartphone*, jul. 2019.
- [111] A. F. D. Ramírez y I. Guryev, «RED DE SENSORES PARA CONTROL AUTOMÁTICO DE LOS DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS PARA DOMÓTICA», *JÓVENES EN Cienc.*, vol. 4, n.º 1, pp. 2501-2505, nov. 2018.
- [112] J. Jalden, X. C. Moreno, y I. Skog, «Using the Arduino Due for Teaching Digital Signal Processing», en *2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Calgary, AB, 2018, pp. 6468-6472.
- [113] P. Rai y M. Rehman, «ESP32 Based Smart Surveillance System», en *2019 2nd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET)*, Sukkur, Pakistan, 2019, pp. 1-3.

## Glosario de términos

---

- **Sistemas ciberfísicos:** Dispositivos que integran capacidades de computación, almacenamiento y comunicación con el fin de controlar e interactuar con un proceso físico. Generalmente, los sistemas ciberfísicos están conectados entre sí y conectados con el mundo virtual y las redes digitales globales.
- **Interfaces SPI (Serial Peripheral Interface Bus o bus serial de interfaz de periféricos):** Es un estándar de enlaces de datos sincronizados por un reloj que operan en modo duplex. Los dispositivos se comunican en modo maestro/esclavo donde el dispositivo maestro inicia el data frame (trama de red o marco de datos). Múltiples dispositivos esclavos están permitidos en líneas slave selects (SS) individuales.
- **UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter):** Chip de ciertos sistemas digitales cuyo principal objetivo es convertir los datos recibidos en forma paralela, a forma serial, con el fin de comunicarse con otro sistema externo. También realiza el proceso inverso.
- **Canales PWM:** Consiste en una señal con una determinada frecuencia (y por lo tanto con un mismo periodo) que consta de dos valores fijos de tensión: uno alto (HIGH), que es la amplitud, y otro bajo (LOW), que es el valor nulo.
- **Memoria Flash:** Dispositivo en forma de tarjeta, que se encuentra orientado a realizar el almacenamiento de grandes cantidades de datos en un espacio reducido, permitiendo la lectura y escritura de múltiples posiciones de memoria en la misma operación.

- **Canales ADC:** Dispositivo que convierte una cantidad física continua (generalmente voltaje) a un número digital que representan la amplitud de dicha cantidad.
  
- **GPIO:** GPIO (General Purpose Input/Output, Entrada/Salida de Propósito General) es un pin genérico en un chip, cuyo comportamiento (incluyendo si es un pin de entrada o salida) se puede controlar (programar) por el usuario en tiempo de ejecución. Los pines GPIO no tienen ningún propósito especial definido. Aplicaciones embebidas (por ejemplo, Arduino, BeagleBoard, Raspberry Pi) hacen un uso intensivo de GPIO para interactuar con el entorno físico.