

Elaboración de ingeniería detallada de un prototipo de red inteligente para un usuario residencial.

Angie Natalia Torrado Picón y Jeiner Estivenson Niño Rincón

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Electricista

Director

Manuel José Ortiz Rangel

Magister en Ingeniería Eléctrica

Codirector

Gabriel Ordóñez Plata

Doctor Ingeniero Industrial

Universidad industrial de Santander

Facultad de ingenierías físico-mecánicas

Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y telecomunicaciones

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

*A Dios principalmente, por llenarme de sabiduría y paciencia para culminar esta etapa.
A mi madre, Marlene Picón por su apoyo incondicional, por ser un ejemplo a seguir y por motivarme durante este proceso.
A mis hermanos y a mi hermana Valentina Barbosa por ser mis compañeros de vida, por su cariño y apoyo incondicional.
A Jeiner Niño, por su amor y confianza.
A mis amigos, Laura Sanabria, Edwin Páez, Laura León, Jesús Torres, Tatiana León y Guillermo Galindez, por compartir la vida universitaria.*

Angie Natalia Torrado Picón

*A Dios, a mis padres, Isabel Rincón y Joaquín Niño, por estar presentes durante toda la carrera universitaria.
A mi hermano Leandro Niño(Q.E.P.D) y a mi hermano Cristian Niño que siempre creyeron en mí.
A Natalia Torrado, por su amor y confianza.
A mis amigos, Diego Tirado, Paola Vargas, Jesús Torres, Laura León, Jhony Pérez, Oscar Velázquez, por compartir la vida universitaria.
A kiara por ser la mejor mascota.*

Jeiner Estivenson Niño Rincón

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Industrial de Santander, por la oportunidad de ser parte de esta gran alma mater y permitirnos obtener el título de ingenieros electricistas.

Agradecemos a nuestro director Manuel José Ortiz Rangel, por su apoyo durante el desarrollo de ese proyecto.

Agradecemos al profesor Guillermo Galindez, por el acompañamiento brindado y disponer de su tiempo para guiarnos durante el desarrollo de este proyecto.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos	14
1.1. Objetivo General	14
1.2. Objetivos Específicos	14
2. Red inteligente doméstica (RID).....	15
2.1. Tecnologías en la RID.....	17
2.1.1. Medición inteligente	17
2.1.2. Autogeneración (Energía Renovable)	18
2.1.3. Control	20
2.1.4. Comunicación.....	22
3. Diseño del prototipo de RID	24
3.1. Selección de protocolo de comunicación.....	24
3.2. Criterios de selección de los equipos de campo.....	25
3.3. Análisis de equipos en el mercado	25
3.4. Selección de componentes:	27
3.4.1. Medidor inteligente.....	28
3.4.2. Generación Fotovoltaica.....	29
3.4.3. Controlador y Asistente de voz	30
3.4.4. Control de iluminación	32
3.4.5. Control de tomacorriente	35
3.4.6. Otros	38
4. Prototipo de la red inteligente doméstica	43
5. Conclusiones	47

6. Recomendaciones.....	49
Bibliografía	51
Anexos.....	53

Lista de Tablas

Tabla 1. Protocolos de comunicación de una RID.....	23
Tabla 2. Lista de chequeo de los equipos encontrados en el mercado	26
Tabla 3. Clasificación de los equipos del prototipo de la RID.....	28
Tabla 4. Características del medidor avanzado.....	28
Tabla 5. Características del panel fotovoltaico.	29
Tabla 6. Características del microinversor.....	30
Tabla 7. Características del controlador homeLYnk.	30
Tabla 8. Características del asistente de voz.....	31
Tabla 9. Características de la bombilla 1	32
Tabla 10. Características de la bombilla 2.	33
Tabla 11. Características del detector de movimiento.	34
Tabla 12. Características del actuador.	35
Tabla 13. Características del tomacorriente 1.....	36
Tabla 14. Características del tomacorriente 2.....	37
Tabla 15. Características de la fuente 1.	38
Tabla 16. Características de la fuente 2.	39
Tabla 17. Características del control universal.	40
Tabla 18. Características de pulsador.	41
Tabla 19. Características del KNX-USB.	42

Lista de Figuras

Figura 1. Estructura de la red inteligente.	15
Figura 2. Estructura de una RID.	17
Figura 3. Sistema de Medición inteligente.	18
Figura 4. Generación fotovoltaica en una red residencial.	19
Figura 5. Diagrama de dispositivos de control en una RID.	22
Figura 6. Esquema general del prototipo.	24
Figura 7. Prototipo de la RID.	43
Figura 8. Ubicación espacial de los equipos del prototipo de la RID.	49

Lista de Anexos

(Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

Anexo A. Análisis de mercado.

Anexo B. Planos del prototipo.

Anexo C. Memoria de cálculo.

Resumen

Título: Elaboración de ingeniería detallada de un prototipo de red inteligente para un usuario residencial.*

Autor: Angie Natalia Torrado Picón, Jeiner Estivenson Niño Rincón**

Palabras Clave: Red inteligente, prototipo, medición inteligente, generación distribuida, control, comunicación, diseño.

Descripción: El presente trabajo de investigación comprende el diseño de un prototipo de red inteligente doméstica desarrollado con componentes de domótica, medición inteligente, generación fotovoltaica y asistente de voz basado en inteligencia artificial.

La motivación del proyecto surge debido al constante cambio tecnológico por el cual atraviesan las redes eléctricas convencionales y la necesidad de establecer un modelo de uso racional de la energía.

Inicialmente se hizo una investigación de los protocolos más usados y con base en eso se estableció el protocolo de comunicación adecuado para la integración de los equipos, seguido se realizó un estudio de mercado para identificar los equipos o artefactos con opciones de integración, así como para identificar la incidencia de los mismos en la topología característica de un usuario residencial convencional, luego se determinaron los criterios de diseño para seleccionar los equipos mínimos y más adecuados para la conformación de una red inteligente doméstica, una vez seleccionados los equipos se establecieron las zonas que conforman el prototipo. Finalmente se procedió con el diseño del prototipo en base a los dispositivos seleccionados. Se incluye como soportes del diseño los cuatro planos con la ubicación espacial, arquitectura lógica del sistema y el plano de conexiones (ingeniería detallada).

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánica. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Manuel José Ortiz Rangel, Magister en Ingeniería Eléctrica. Codirector: Gabriel Ordoñez Plata, Doctor Ingeniero Industrial.

Abstract

Title: Detailed engineering development of a smart grid prototype for a residential user.*

Author: Angie Natalia Torrado Picón, Jeiner Estivenson Niño Rincón**

Key Words: Smart grid, prototype, smart metering, distributed generation, control, communication, design.

Description: This research work includes the design of a prototype of a smart home network developed with components of home automation, smart metering, photovoltaic generation and voice assistant based on artificial intelligence.

The motivation of the project arises due to the constant technological change through which conventional electrical networks go through and the need to establish a model of rational use of energy.

Initially, an investigation was made of the most used protocols and based on this, the appropriate communication protocol for the integration of the equipment was established, followed by a market study to identify the equipment or devices with integration options, as well as to identify the incidence of the same in the characteristic topology of a conventional residential user, then the design criteria were determined to select the minimum and most appropriate equipment for the formation of a smart home network, once the equipment was selected, the areas that make up the prototype. Finally, the prototype was designed based on the selected devices. The four planes with the spatial location, logical system architecture and the connection plane (detailed engineering) are included as design supports.

* Research work.

**Faculty of Physical-Mechanical Engineerings, School of Electrical, Electronics and Telecommunications Engineering. Director: Manuel José Ortiz Rangel, Master in Electrical Engineer. Codirector: Gabriel Ordoñez Plata, PhD Industrial Engineer

Introducción

Las redes eléctricas comprenden uno de los sistemas modernos más complejos e importantes para el funcionamiento de la sociedad actual y es el soporte vital de las actividades humanas. En su desarrollo y crecimiento, la tecnología ha cobrado un papel importante proporcionando soluciones que facilitan las actividades cotidianas en entornos cada vez más autónomos, soportados en aplicaciones automatizadas, basadas en inteligencia artificial y la integración de diversas tecnologías de información y comunicación. El concepto de red inteligente tuvo sus inicios en el año 2005 (AMIN & WOLLENBERG, 2005), en un artículo publicado por la IEEE Power and Energy Magazine. Desde hace algunas décadas se ha desarrollado el concepto de las redes inteligentes domésticas a partir de un conjunto de desarrollos tecnológicos en diversas disciplinas aplicadas a los sistemas eléctricos, principalmente en los sistemas de generación, la electrónica y las telecomunicaciones (DÍAZ ANDRADE & DELGADO HERNÁNDEZ, 2011).

De ahí la evolución del marco legal Colombiano en el contexto del uso racional y eficiente de la energía por medio de la Ley 697 de 2001 (Congreso de la Republica de Colombia, 2001), CREG 039 de 2016 (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2016), MME decreto 348 de 2017 (Ministerio de Minas y Energía, 2017) y el uso de energías renovables con la Ley 1715 de 2014 (Congreso de la Republica de Colombia, 2014), CREG 281 de 2015 (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2015), UPME resolución 121 de 2017 (Unidad de Planeación Minero Energética, 2017), CREG 030 de 2018 (Comisión de Regulación de Energáa y Gas, 2018), promueve la instalación de energías no convencionales como la generación fotovoltaica o eólica, para optimizar el uso de los sistemas eléctricos y el uso óptimo de la generación no convencional mediante la

integración del usuario final como consumidor y aportante de energía eléctrica al sistema eléctrico convencional.

Analizando el impacto de la evolución del marco legal en el sector colombiano, el usuario se considera un actor con participación más activa dentro del escenario energético y basándose en la gran diversidad de opciones tecnológicas que existen en el mercado se puede pensar en varias soluciones para integrar una red inteligente doméstica a un usuario residencial. La apertura de los protocolos de comunicación permite la interacción entre dispositivos de diferentes marcas y el ecosistema, creando diversas soluciones enfocadas hacia el confort, seguridad y reducción de consumos para el usuario residencial.

Para el desarrollo del proyecto se establecieron los requisitos mínimos de la topología de un usuario residencial y los dispositivos con posibilidad de integración a una red inteligente doméstica. Para el cumplimiento de este propósito se tomará como base la recopilación de información de proyectos de investigación realizados por universidades en el ámbito nacional con temas relacionados a la caracterización de sistemas eléctricos inteligentes y finalizados con fecha previa a enero de 2019.

Esta información se consideró como el punto de referencia para la definición de criterios de diseño y componentes mínimos del prototipo de la red inteligente doméstica. Posteriormente se realizó la consulta técnica con los proveedores o integradores locales que ofrecen equipos y soluciones domóticas que se adapten a los criterios y requisitos técnicos definidos; estas actividades se complementarán con la consulta de soluciones disponibles "on line" con proveedores con oferta disponible por medios virtuales.

A partir de la definición de criterios y del análisis de la oferta comercial y técnica disponible de componentes activos y dispositivos de campo de los diversos proveedores consultados se realizará

la selección de dispositivos mínimos que cumplan con los requisitos establecidos para garantizar la convergencia en un ecosistema doméstico de al menos los siguientes aspectos:

- Medidor inteligente con señal de tarifa horaria.
- Control de iluminación.
- Control de artefactos de uso doméstico.

En base a los dispositivos seleccionados se hará el diseño del prototipo con planos que incluyan de manera completa las características físicas de cada elemento y su conexión a cada parte de la red inteligente doméstica.

Este diseño permitirá la implementación física del prototipo de una red inteligente doméstica al cual se le podrán hacer pruebas de control de iluminación, medición bidireccional, tarifa diferencial y gestión de la energía eléctrica, con el propósito de demostrar cómo hacer uso racional de la energía en el usuario final residencial del sistema eléctrico colombiano y adquirir las bases para aprovechar los incentivos tarifarios derivados de la aplicación del marco legal Colombiano.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Diseñar un prototipo de red inteligente residencial con tecnologías tales como el control de iluminación, artefactos inteligentes, tarifa diferencial y generación fotovoltaica.

1.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información acerca de los dispositivos eléctricos y domóticos disponibles en el mercado para un control de iluminación, tarifa diferencial, generación fotovoltaica y un artefacto inteligente.
- Seleccionar los dispositivos eléctricos y domóticos para la construcción del prototipo.
- Elaborar los planos del prototipo con la ingeniería detallada.
- Realizar el diseño del prototipo de red inteligente del usuario residencial.

2. Red inteligente doméstica (RID)

Este capítulo se refiere a la definición de una red inteligente doméstica y las tecnologías que la conforman. El concepto general de red inteligente hace referencia a una red de energía, acorde con los adelantos tecnológicos y tendencias del siglo XXI, que incorpora los servicios y beneficios de las tecnologías de comunicación y computación digital a una infraestructura de transmisión, distribución y usuario final de energía eléctrica, se caracteriza por un flujo bidireccional de energía e información que incluyen equipos instalados en la parte de la red del cliente y sensores asociados (DÍAZ ANDRADE & DELGADO HERNÁNDEZ, 2011).

En la Figura 1 se muestra la infraestructura de la red inteligente que usa tecnologías de control y comunicación para el monitoreo de la generación, transmisión, distribución y usuario final (residenciales, comerciales e industriales) para dar cumplimiento con la demanda de energía eléctrica de los usuarios de manera más eficiente. Las nuevas tecnologías permiten almacenar energía, comunicar y aumentar la robustez del sistema, así como tomar decisiones en tiempo real de la red.

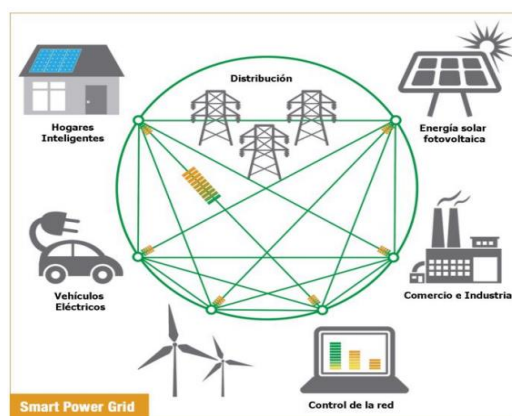


Figura 1. Estructura de la red inteligente.

Tomada de Visión General, Características y Funcionalidades de la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid), 2018.

La red inteligente doméstica (RID) integra tecnologías de medición avanzada, generación con fuente renovable, control y comunicación, por consiguiente la implementación de la domótica aporta servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación con la intención de que el ambiente sea autogestionable y con un alto grado de confort, con el fin de mejorar la capacidad de respuesta del sistema eléctrico residencial a las necesidades particulares del usuario, ya que permite tener un control independiente de cada dispositivo que la compone, esto se da mediante la comunicación entre cada actuador con su controlador. La integración de dispositivos inteligentes que hacen actuación-control han demostrado que la demanda se traslada a horas en las cuales la oferta de energía es mayor, por medio de configuración de horarios de operación que controlan las funciones de algunos de los electrodomésticos de la residencia (GÓMEZ, HERNÁNDEZ, & RIVAS, 2018).

Uno de los aspectos más relevantes de la RID es la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) (RASHED MOHASSEL, FUNG, MOHAMMADI, & RAAHEMIFAR, 2014) de tal forma que permite tener un flujo bidireccional de energía e información, así como una medición de los parámetros eléctricos necesarios para hacer un análisis detallado de la energía consumida y generada en la RID, que conllevan a racionalizar consumos energéticos, minimizar costos en la facturación, maximizar la confiabilidad en el sistema ante fallas del operador de red; facilita una herramienta de gestión al usuario para decidir cómo y cuándo consumir de forma responsable energía eléctrica (ALVARADO BRITO, 2011).

2.1. Tecnologías en la RID

Inicialmente se abordará la figura 2. donde se aprecia el conjunto de equipos que conforman una RID. La instalación residencial consta de tres fuentes de energía las cuales son: un panel fotovoltaico, un generador eólico y la red eléctrica comercial. La energía fluye a través del medidor inteligente el cual se encarga de registrar los datos de consumo y generación de la RID, los módulos de control se configuran para la toma de decisiones a partir de las variables entregadas por los sensores dispuestos en la residencia, toda esta información fluye a través de Red de Área Doméstica (HAN).

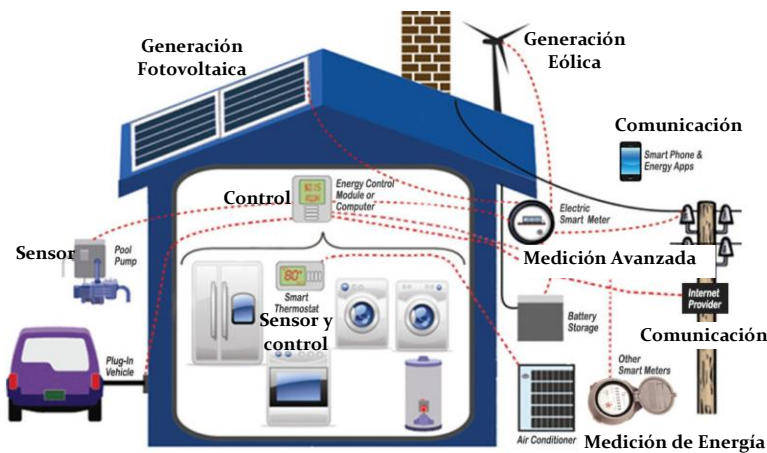


Figura 2. Estructura de una RID.

Tomada de *Cloud based consumer home automation for electricity, water, & gas management*.

2.1.1. Medición inteligente

La Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) está formada por varias tecnologías tales como los medidores inteligentes, redes de comunicación y medios para integrar los datos recopilados en plataformas de gestión de energía. AMI permite establecer una conexión compacta y bidireccional entre el cliente y el operador de red, lo cual permite que se haga un intercambio de información necesaria para poder tomar decisiones con respecto a la demanda energética (ALVARADO

BRITO, 2011). En la figura 3 se observa un esquema general del flujo de energía e información del sistema AMI, por medio del medidor inteligente se tiene en tiempo real la información de consumo y la generación que es suministrada a la compañía de electricidad, la cual genera el reporte de consumo.



Figura 3. Sistema de Medición inteligente.
Tomada de Empresas Eléctricas AG.

2.1.2. Autogeneración (Energía Renovable)

En sus inicios las inversiones que involucraban un sistema de generación local como paneles fotovoltaicos contaban una restricción de costo, lo cual ocasionó poca infraestructura en cuanto a montaje y operación de ahí que su aporte a la red eléctrica fuera mínimo, sin embargo, con la RID se puede hacer la adecuación completa de este tipo de generación como una autogeneración. Lo que hace que el usuario residencial sea más independiente y autosuficiente ya que puede generar y almacenar casi toda la energía que requiere, puesto que actúa como generador propio, siendo esta generación bidireccional lo que implica que puede entregar el excedente a la red eléctrica (ALVARADO BRITO, 2011) según las Leyes 697 de 2001 (Congreso de la Republica de Colombia, 2001) y 1715 de 2014 (Congreso de la Republica de Colombia, 2014). En la figura 4

se muestra la estructura de un sistema fotovoltaico, formado de módulos solares fotovoltaicos, un inversor y un tablero de control conectado al cuarto eléctrico (tablero general de distribución), a donde es inyectada la energía de la red eléctrica convencional. La residencia consume y entrega excedentes de energía a la red por medio del medidor bidireccional.

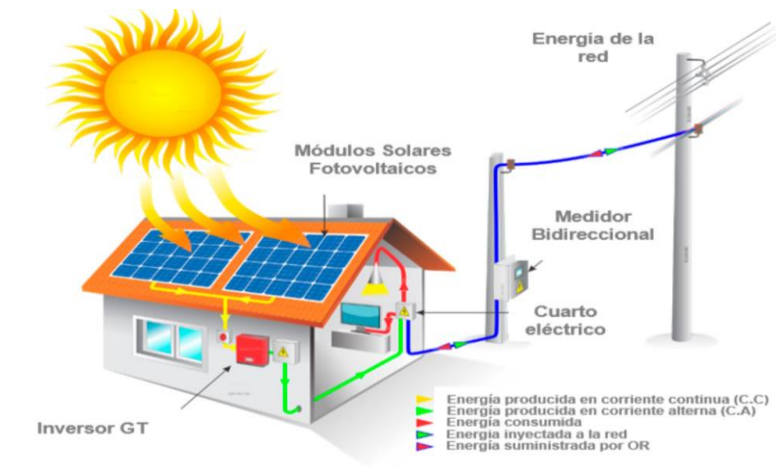


Figura 4. Generación fotovoltaica en una red residencial.
Tomada de ZIKLO SOLAR, 2019.

La ley 1715 de 2014 (Congreso de la Republica de Colombia, 2014) promueve la autogeneración a pequeña escala para un usuario residencial con capacidad menor al 15% de la potencia del centro de distribución, facilitando el trámite con respecto a usuarios que pueden entregar más de 15% debido a que este trámite no requiere un estudio de conexión y solo necesita cumplir con los requisitos:

1. Actualización de la medida.
2. Certificación RETIE.
3. Legalización del medidor bidireccional.

2.1.3. Control

De manera general, una RID incorpora tecnologías de sensorización, métodos de control y comunicación que permiten la interconexión de una serie de equipos para obtener información del entorno doméstico, esto con el fin de que los métodos de control tomen acciones sobre los equipos de actuación en dicho entorno (ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CALIDAD, 2020).

2.1.3.1. Equipos del sistema de control

Estos equipos se encargan de captar información, procesarla y actuar en el entorno doméstico, dentro de los cuales se pueden encontrar:

Sensores: son dispositivos cuya función es transformar la información de un parámetro o estado físico en señales eléctricas, que se proporcionará al sistema de control (GASENSIO, 2018). Dentro de los sensores que se pueden encontrar en un sistema domótico están los siguientes:

Seguridad de personas y bienes: Sensores de presencia, detectores de rotura de cristales, detectores de vibración, sísmicos, pulsadores de ‘socorro’ en viviendas o en empresas, detectores de humos /incendios, detectores de inundación, Detectores de gas.

Sistemas de climatización: Sensores de temperatura, sensores de humedad, sensores de presión absoluta y diferencial, sensores de flujo de aire / agua.

Relacionados con el clima: Sensores de radiación solar, velocidad y dirección del viento, pluviometría y lluvia, presión atmosférica.

Controladores: Un controlador da la posibilidad al usuario de definir acciones sobre los dispositivos que componen el sistema, en este caso se emplean en sistemas domóticos; los cuales utilizan la información suministrada por los sensores para tomar decisiones. Existen diversos tipos de dispositivos que funcionan como controladores tales como microcontroladores , plataformas Arduino y Raspberry Pi, Controladores Lógicos Programables (PLC – Programable Logic Controllers), microprocesadores , etc (CRUZ GÓMEZ, 2018).

Actuadores: El sistema de control recibe información del entorno doméstico sobre el cual se desea realizar algún tipo de acción por medio de los sensores, esta información aporta datos para que el controlador decida si hay que realizar dicha acción, si es así, esta acción se lleva a cabo por el actuador que tiene capacidad para provocarla. Existen diversos tipos de actuadores tales como contactores, electroválvulas, sirenas, motores, entre otros (GASENSIO, 2018).

Interfaces: son los módulos por los cuales el usuario puede interactuar con el sistema enviando órdenes y monitoreando el estado de los dispositivos. Las interfaces de control pueden estar ubicadas en el interior o exterior de la casa, comunicándose a través de Internet para proporcionar flexibilidad al sistema. Existen diversos tipos como pantallas, teclados, dispositivos móviles, entre otros. (CRUZ GÓMEZ, 2018).

En la figura 5 se aprecia la implementación de un sistema domótico, lo cual permite el monitoreo de la temperatura interna, control de riego de jardines, reproducción de música, control de iluminación y control de acceso de personas bajo un sistema de control central el cual se comunica por medio inalámbrico.

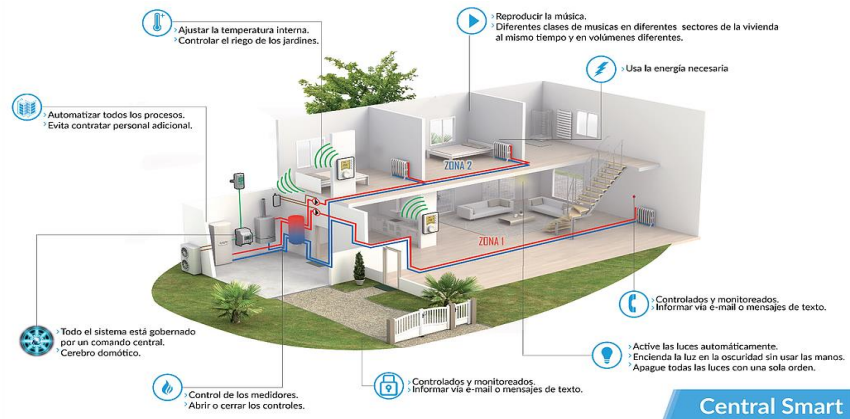


Figura 5. Diagrama de dispositivos de control en una RID.
Tomada de static wixstatic

2.1.4. Comunicación

La comunicación de los equipos se puede hacer por dos medios, el medio físico de par trenzado, PL(Power Lines), cable coaxial, fibra óptica y el medio inalámbrico como la señal infrarroja, radiofrecuencia o la red Wi-Fi, en un rango de frecuencias entre 1GHz y 40GHz. Estos medios ofrecen una apropiada velocidad de transmisión, pero depende de la distancia entre la ubicación del transmisor y el receptor (CRUZ GÓMEZ, 2018).

2.1.4.1. Protocolos de comunicación

El protocolo, se define como las reglas que gobiernan el intercambio ordenado de datos dentro de la red. Los elementos básicos que lo componen son el conjunto de caracteres, reglas para la secuencia, sincronización de los dispositivos y procedimientos para detectar errores en la transmisión (CEDILLO MÉNDEZ, RAFAEL ESTEBAN, & RAMÍREZ SALAS LINARES, 2012).

Existen diversos fabricantes de productos tecnológicos, por lo cual se hace necesario un estudio detallado de las características que tiene cada protocolo de comunicación para que la compatibilidad entre los equipos presentes en un sistema sea posible. A continuación, se presenta la Tabla 1 con las características de los protocolos más usados para una RID (GUILLEMIN, 1999), (PÉREZ PEREIRA & SALINAS, 2017), (BOUZAS MILLARES), (GALEANO GÓMEZ, 2005).

Tabla 1.
Protocolos de comunicación de una RID

CARACTERÍSTICAS	PROTOCOLOS								
	BacNet	Batibus	LonWorks	X-10	EHS	DMX	EIB	CEBus	KNX
Año de creación	1987	1989	1992	1976-1978	1992	1986	1990	1992	1999
Procedencia	ASHARE-EE.UU	Merlín Gerin(Schneider Electric)-Francia	Echelon-EE.UU	Pico Electronics Ltd-Uk	Comisión Europea-Unión Europea	Comisión de ingeniería de USITT	Siemens-Alemania	Asociación de Industrias Electrónicas de EE.UU-EE.UU	Proceso de convergencia (Batibus, EIB y EHS)
Propietario	Protocolo estándar abierto	Protocolo estándar abierto	Protocolo abierto	Protocolo abierto	Protocolo estándar abierto	Protocolo abierto	Protocolo abierto	Protocolo abierto	Protocolo estándar abierto
Medio de comunicación	Coaxial/Par trenzado/Fibra óptica	Par trenzado	Coaxial/Par trenzado/Línea Eléctrica/Fibra óptica	Línea Eléctrica	Línea Eléctrica/Par trenzado	XLR-5 pines	Par trenzado/Línea Eléctrica	Línea Eléctrica	Par trenzado / Wi-Fi
Velocidad de transmisión	56 Kbps a 1 Gbps*	4,8 Kbps	78 Kbps a 1,25 Mbps*	50 bps / 60bps	2,4 Kbps a 48 Kbps*	≥ 250 Kbps	9,6 Kbps / 1,2 Kbps / 2,4 Kbps*	7,5 Kbps	2,4 Kbps/9,6 Kbps*
Área de aplicación	Viviendas y oficinas	Oficinas e industrias	Oficinas e industrias	Viviendas y oficinas	Viviendas	Luminotecnia	Viviendas y oficinas	Viviendas	Viviendas y oficinas
Principal ventaja	Versátil	Sencillo de instalar y bajo costo	Compatibilidad entre distintos fabricantes	Protocolo bien desarrollado y sencillo	Fácil configuración y ampliación	Excelente control para iluminación	Gran cantidad y diversidad de dispositivos	Fácil de instalar, usar y extender	Unifica protocolos domóticos en Europa
Principal desventaja	Altos precios	Ya está en desuso	Altos precios	Baja capacidad	Ya está en desuso	Solo se especializa en iluminación	Ya está en desuso	Pocos productos a precios altos	Requiere cableado entre controlador y dispositivos de campo**

* Depende del medio físico

** Actualmente existe un nuevo modelo de controlador Wiser (homeLYnk), con conexión inalámbrica

3. Diseño del prototipo de RID

Para el diseño del prototipo de la RID que se observa en la figura 6, se presenta la selección del protocolo de comunicación en base a la Tabla 1 y posteriormente se plantean los criterios por los cuales los equipos de campo fueron seleccionados debido a que se hizo un estudio de mercado con el propósito de mostrar diferentes ofertas.

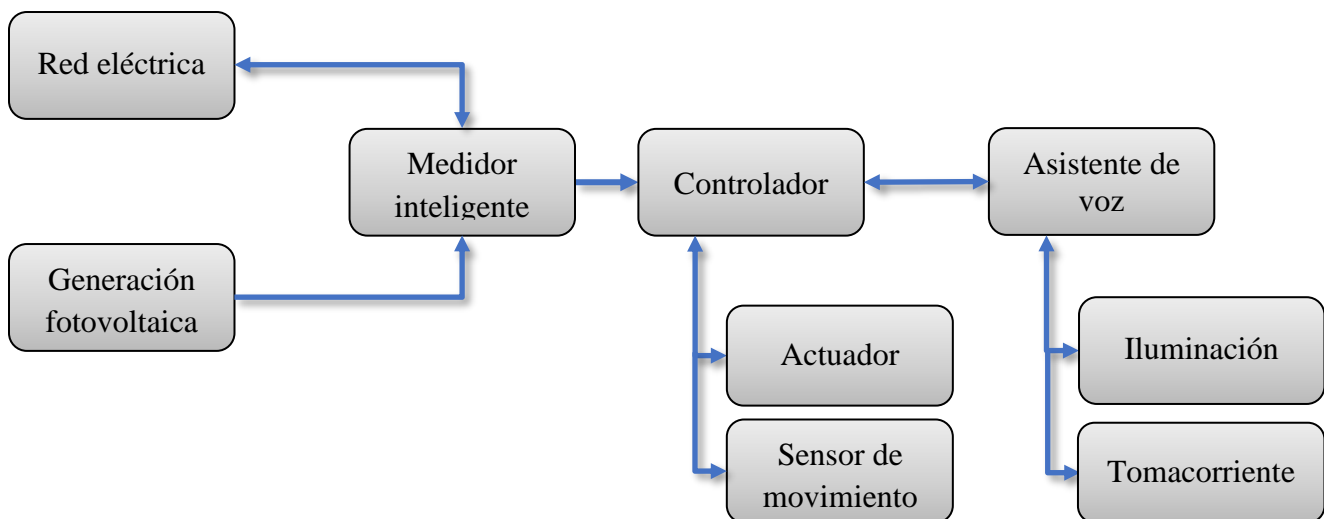


Figura 6. Esquema general del prototipo.

3.1. Selección de protocolo de comunicación

El protocolo KNX fue el seleccionado por la facilidad de diseño dado que los equipos están comunicados mediante el mismo bus, este protocolo cuenta con el software llamado "Engineering tool software" (ETS) que se especializa en la programación del entorno inteligente, donde se pueden integrar equipos de cualquier fabricante que maneje el protocolo KNX. Este protocolo permite la flexibilidad al modificar o ampliar la instalación, de manera que los nuevos equipos se conectan y se configuran en el bus, además de permitir la gestión de iluminación tanto de luces, persianas, toldos y la temperatura por medio de calefacción o aire acondicionado (CAÑADAS

GONZÁLES, 2017). Todas las características anteriormente mencionadas, conducen a un ahorro energético lo que reduce el costo en la factura.

3.2. Criterios de selección de los equipos de campo

Para la selección de los equipos se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- Disponibilidad: Tener los diferentes equipos disponibles en el menor tiempo posible, priorizando la industria local para su adquisición.
- Costo: se buscó tener una relación equilibrada de calidad/prestaciones/costo para cada componente.
- Compatibilidad: Se verifico en cada dispositivo la compatibilidad con el protocolo de comunicación seleccionado (KNX), mediante la consulta de sus fichas técnicas.
- Escalamiento: La capacidad de agregar más dispositivos en el sistema, sin necesidad de realizar grandes cambios a la infraestructura actual.

3.3. Análisis de equipos en el mercado

Se realizó un estudio de mercado con las ofertas disponibles en el ámbito nacional y online, de los requisitos de equipos necesarios para el diseño del prototipo de la RID según la Figura 6. En la Tabla 2 se presenta una lista de chequeo con los criterios establecidos anteriormente para los equipos consultados y de esta manera seleccionar los equipos mínimos a utilizar en el prototipo.

En el Anexo A que hace referencia al análisis de mercado se consultaron tres proveedores en el área de Bucaramanga además de la búsqueda online, en donde se encontraron 47 equipos los cuales están inventariados en un archivo Excel llamado Listado_Equipos donde se presenta la referencia,

tipo de búsqueda (local/online), costo, fabricante y sus 47 fichas técnicas en la carpeta llamada Fichas_Técnicas_Equipos,

Nota: debido a que no se logró cuantificar de manera adecuada la variable costo para todos los equipos se elimina de la Tabla 2. Lista de chequeo de los equipos encontrados en el mercado, para darle homogeneidad al análisis comparativo.

Tabla 2.
Lista de chequeo de los equipos encontrados en el mercado

Equipos	No (Anexo_A)	Referencia	Protocolo	Disponibilidad	Compatibilidad	Escalamiento
Panel fotovoltaico	43	AE M6-72	No aplica	✓	✓	✓
	45	BDM-300	No aplica	X	✓	✓
	46	GCL-GCL M6/60H	No aplica	X	✓	✓
Microinversor	44	PS280P-20/U	No aplica	✓	✓	✓
	47	IQ7+	No aplica	X	✓	✓
Medidor inteligente	2	A43 412-200	✓	X	✓	✓
	21	ZW095	X	X	X	X
	27	iEM3155	✓	✓	✓	✓
Controlador	12	Z70	X	✓	X	✓
	17	Horus Plus	X	✓	X	✓
	26	LS100100	✓	✓	✓	✓
Asistente de voz	34	Home mini	✓	✓	✓	✓
	35	Alexa	✓	X	✓	✓
Actuador	3	SA/S 2.10.2.1	✓	X	✓	✓
	4	µBrick io66	✓	X	✓	✓
	7	CT422220	✓	X	✓	✓
	15	510	✓	X	✓	✓
	30	MTN647091	✓	✓	✓	✓
Sensor de movimiento	8	SR31000	✓	X	✓	✓
	20	ZP3102-5	✓	X	✓	✓
	31	MGU3.533.18	✓	✓	✓	✓
Iluminación	18	ZW098	X	✓	X	✓
	36	W11-N11	✓	✓	✓	✓
	37	Bulb 1S	✓	✓	✓	✓
	38	ESL100	✓	✓	✓	✓

Continuación Tabla 2.

Equipos	No (Anexo_A)	Referencia	Protocolo	Disponibilidad	Compatibilidad	Escalamiento
Tomacorriente	19	ZW096-A02	X	✓	X	✓
	39	WP1	✓	✓	✓	✓
	40	KP200	✓	✓	✓	✓
Pulsadores	5	6-fach Unterputz	✓	X	✓	✓
	6	PLX16X00	✓	X	✓	✓
	11	Flat 55	✓	X	✓	✓
	22	DW1KD-1BZ	✓	X	✓	✓
	32	MGU3.530.30	✓	✓	✓	✓
Fuentes DC	1	SV/S 30.640.3.1	✓	X	✓	✓
	9	PS116400	✓	X	✓	✓
	14	762	✓	X	✓	✓
Fuentes DC	28	MTN684064	✓	✓	✓	✓
	29	MTN693003	✓	✓	✓	✓
Control universal	41	PRO+	✓	X	✓	✓
	42	LUCKYFF	✓	X	✓	✓
Interfaz USB – KNX	10	BD910000	✓	X	✓	✓
	13	312	✓	X	✓	✓
	33	MTN681829	✓	✓	✓	✓
Soluciones completas	16	Xeonsmart	✓	X	✓	✓
	23	SmartThings	✓	X	✓	✓
	24	Biticino	X	X	X	✓
	25	OPTIMA	X	X	X	✓

3.4. Selección de componentes:

En la tabla 3 se muestra el listado de los equipos seleccionados y posteriormente se indican las características de cada uno.

Tabla 3.

Clasificación de los equipos del prototipo de la RID

Listado de los equipos del prototipo de la RID	
Medición inteligente	Medidor inteligente.
Autogeneración	Generación Fotovoltaica.
Control y comunicación	Controlador y Asistente de voz. Control de iluminación. Control de tomacorriente.
Otros	Son elementos necesarios para el funcionamiento del prototipo pero que no entran una de las categorías específicas mencionadas anteriormente (Fuente DC, Control Infrarrojo, RF, interfaz de pulsadores, elementos generales).

A continuación, se muestran los equipos seleccionados con sus características.


3.4.1. Medidor inteligente

Se seleccionó el Medidor Avanzado iEM3155, él tiene las siguientes características:

Tabla 4.

Características del medidor avanzado.

Característica	Descripción
Función	Permite una medición bidireccional de energía y tarifa diferencial.
Fabricante	Schneider Electric
Protocolo	Modbus RTU en 9,6, 19,2 y 38,4 kbaudios Par/Impar o ninguna
Alimentación	100-277 V / 173-480 V
Corriente nominal [In]	63 A
Puertos	1 RS485, 1 digital

Tipo de medición	Energía activa, reactiva y aparente activa (firmado, de cuatro cuadrantes)
Numero de Polos	3P+N, 1P+N, 3P
Vista del dispositivo	


3.4.2. Generación Fotovoltaica

Se seleccionó un Panel solar Power Plus 330W y un microinversor de 300W, el cual tiene las siguientes características:

Tabla 5.
Características del panel fotovoltaico.

Característica	Descripción
Función	Permite suplir la demanda energética de una pequeña carga en la RID.
Fabricante	Power Plus
Potencia	320 W
Vista del dispositivo	

Tabla 6.
Características del microinversor.


Característica	Descripción
Función	Permite transformar la energía generada en DC por el panel fotovoltaico en energía AC.
Fabricante	Power Plus
Potencia pico	300 W (generada)
Potencia promedio	250 W (generada)
Tensión Max DC	60 VDC
Vista del dispositivo	

3.4.3. Controlador y Asistente de voz

Se seleccionó el Controlador HOMELYNK LSS100100, el cual tiene las siguientes características:

Tabla 7.
Características del controlador homeLYnk.

Característica	Descripción
Función	Permite captar toda la información que le brindan los diferentes sensores que haya distribuidos por distintos puntos de la residencia. Toda la información recibida es procesada y, posteriormente, genera diferentes órdenes a los actuadores, que son los encargados de ejecutarlas.
Fabricante	Schneider Electric


Protocolo	BACnet / KNX / IP (Internet Protocol) / Modbus
Alimentación	24 V DC
Puertos	1 RJ45 / 1 RS485 / 1 RS232/ 1 USB 2.0
Potencia	2W
Vista del dispositivo	

Se seleccionó el asistente de voz Google Home Mini, el cual tiene las siguientes características:

Tabla 8.

Características del asistente de voz.

Característica	Descripción
Función	Permite consultar el estado y dar órdenes a los dispositivos que interactúan con él por medio de comandos de voz.
Fabricante	Google
Protocolo	Wi-Fi 802.11b/g/n/ac (2.4GHz/5Ghz) / Compatibilidad con Bluetooth 4.1
Alimentación	5 V DC
Puertos	1 puerto micro USB
Potencia	Potencia 9W

Sistema operativo compatible	Android / iOS
Vista del dispositivo	

3.4.4. Control de iluminación

Se seleccionaron dos bombillas de diferentes fabricantes la bombilla 1 SMART/ESL10 tiene la capacidad de dimerización y la bombilla 2 SMART/W11-N11 es una bombilla “Smart” genérica.

Las cuales tienen las siguientes características:

Tabla 9.

Características de la bombilla 1.

Característica	Descripción
Función	Permite un control total de la iluminación mediante la aplicación VeSync.
Fabricante	ETEKCITY
Protocolo	Wi-Fi 802.11b/g/n/ac (2.4GHz)
Alimentación	100-130V / 50-60 Hz
Potencia	9W
Color	2700 K
Sistema operativo	iOSTM 8.0 o superior / AndroidTM 4.3 or superior

compatible	
Vista del dispositivo	

Tabla 10.
Características de la bombilla 2.

Característica	Descripción
Función	Permite un control total de la iluminación mediante la aplicación Sengled.
Fabricante	Sengled
Protocolo	Wi-Fi 802.11b/g/n/ac (2.4GHz)
Alimentación	110-130V / 50-60 Hz
Potencia	9W
Color	2700 K
Sistema operativo compatible	iOS™ 8.0 o superior / Android™ 4.3 or superior



Se seleccionó un detector de movimiento KNX/MGU3.533.18, el cual tiene las siguientes características:

*Tabla 11.
Características del detector de movimiento.*

Característica	Descripción
Función	Permite detectar movimiento y transmitir esa información al controlador.
Fabricante	Schneider Electric
Protocolo	KNX
Alimentación	BUS KNX
Puertos	Salida 230 V / 50-60 Hz



3.4.5. Control de tomacorriente

Se seleccionó un actuador KNX/MTN647395 binario con detección de corriente y accionamiento manual (en adelante actuador). El cual tiene las siguientes características:

Tabla 12.
Características del actuador.

Característica	Descripción
Función	Permite controlar las cargas a través de contactos n.a. independientes de forma autónoma como manual.
Fabricante	Schneider Electric
Protocolo	KNX
Alimentación	BUS KNX
Salidas	2 contactos N.A / 100-240 V / 0.1-16 A / 50-60 Hz
Tipos de carga	Iluminación incandescente, halógena o motores



Se seleccionaron dos tomacorrientes de diferentes fabricantes el tomacorriente 1 de sobreponer /SMART SOCKET WP1 y el tomacorriente 2 empotrado/KP200(US). Los cuales tienen las siguientes características:

Tabla 13.
Características del tomacorriente 1.

Característica	Descripción
Función	Permite un control on/off y una medición de energía consumida mediante la aplicación Smart Life.
Fabricante	Gosund
Protocolo	Wi-Fi 802.11b/g/n/ac (2.4GHz)
Alimentación	110-240V/ 10 A / 50-60 Hz
Potencia	2200 W
Sistema operativo compatible	iOS™ 8.0 o superior / Android™ 4.4 o superior



Tabla 14.
Características del tomacorriente 2.

Característica	Descripción
Función	Permite un control on/off y una medición de energía consumida mediante la aplicación Kasa Smart.
Fabricante	TP-Link
Protocolo	Wi-Fi 802.11b/g/n/ac (2.4GHz)
Alimentación	125V / 15 A / 60 Hz
Potencia	1400 W
Sistema operativo compatible	iOS™ 10 o superior / Android™ 5 o superior



3.4.6. Otros

Se seleccionaron dos fuentes de alimentación, la fuente 1 de alimentación MTN693003 debe alimentar el controlador por el consumo que requiere y la fuente 2 de alimentación KNX / MTN684064 se utilizará para alimentar el actuador, el pulsador y el detector de movimiento. Las cuales tienen las siguientes características:

Tabla 15.
Características de la fuente 1.

Característica	Descripción
Función	Permite entrega un valor de tensión y corriente continua, para el funcionamiento de dispositivos de potencia considerable como el controlador LS100100.
Fabricante	Schneider Electric
Alimentación	110/220 V
Puertos	Salida de 24 V DC / 0,4 A
Potencia	9,6 W



Tabla 16.
Características de la fuente 2.

Característica	Descripción
Función	Permite alimentar el bus KNX.
Fabricante	Schneider Electric
Protocolo	KNX
Alimentación	110-220 V
Puertos	Salida de 30V DC / 640mA
Otras características	Es resistente a cortocircuitos y cuenta con un limitador de voltaje y corriente.



Se seleccionó el Control Universal WIFI/RM PRO+, tiene las siguientes características:

Tabla 17.


Características del control universal.

Característica	Descripción
Función	Permite el control de dispositivos que tengan un mando con señal infrarroja o RF, como televisores, aire acondicionado equipos de sonido, etc.
Fabricante	BroadLink
Protocolo	Wi-Fi 802.11b/g/n/ac (2.4GHz)
Alimentación	5V DC / 1 A / 60 Hz
Puertos	Señal infrarroja / señal RF
Alcance señal	Infrarroja 8-10 metros / RF 15-20 metros atravesando paredes
Sistema operativo compatible	/ iOS™- Android™



Se seleccionó el Push Button / KNX/MGU3.530.30, el cual tiene las siguientes características


Tabla 18.
Características de pulsador.

Característica	Descripción
Función	Permite ejecutar acciones programadas
Fabricante	Schneider Electric
Protocolo	KNX
Alimentación	BUS KNX
Numero de botones	6
Vista del dispositivo	

Se seleccionó el convertidor KNX-USB/MTN681829 ,el cual tiene las siguientes características:

Tabla 19.

Características del KNX-USB.

Característica	Descripción
Función	Permite establecer una conexión entre el bus KNX o cualquier dispositivo KNX con un computador para la programación.
Fabricante	Schneider Electric
Protocolo	KNX
Alimentación	BUS KNX
Vista del dispositivo	

Se seleccionaron elementos generales como el Router o punto de acceso a internet, tomacorriente y bombilla tradicional con las siguientes recomendaciones:

Router o punto de acceso a internet: es un dispositivo que provee del servicio de internet al prototipo, como este equipo depende de la empresa que preste el servicio solo se especifica que tenga conexión física e inalámbrica a internet para su integración al prototipo.

Tomacorriente tradicional: corresponde a un Tomacorriente de 110-220V el cual está asociado al actuador.

Bombilla tradicional: corresponde a una bombilla ahorradora de energía entre 6-9W el cual está asociado al actuador.

4. Prototipo de la red inteligente doméstica

En este capítulo se describe la figura 7 donde se observa el diagrama conceptual de la topología de la RID que presenta cuatro zonas, la zona 1 que corresponde a la fuente de energía eléctrica, zona 2 a la medición de energía eléctrica, zona 3 al control y la zona 4 donde se ubican las cargas, además se observan los puertos o medios de comunicación entre cada zona permitiendo el flujo de información entre los diferentes puntos así como los equipos mínimos seleccionados, la forma como se deben conectar, la función que cumple cada uno por individual y la interacción que tiene con el resto de los equipos presentes en el prototipo, además en el Anexo B se muestra la ingeniería detallada de la conexión de potencia y la conexión de la red de comunicación en los planos Plano_Potencia y Plano_Comunicación respectivamente además de la ubicación de los equipos en el Plano_Ubicación_Espacial.

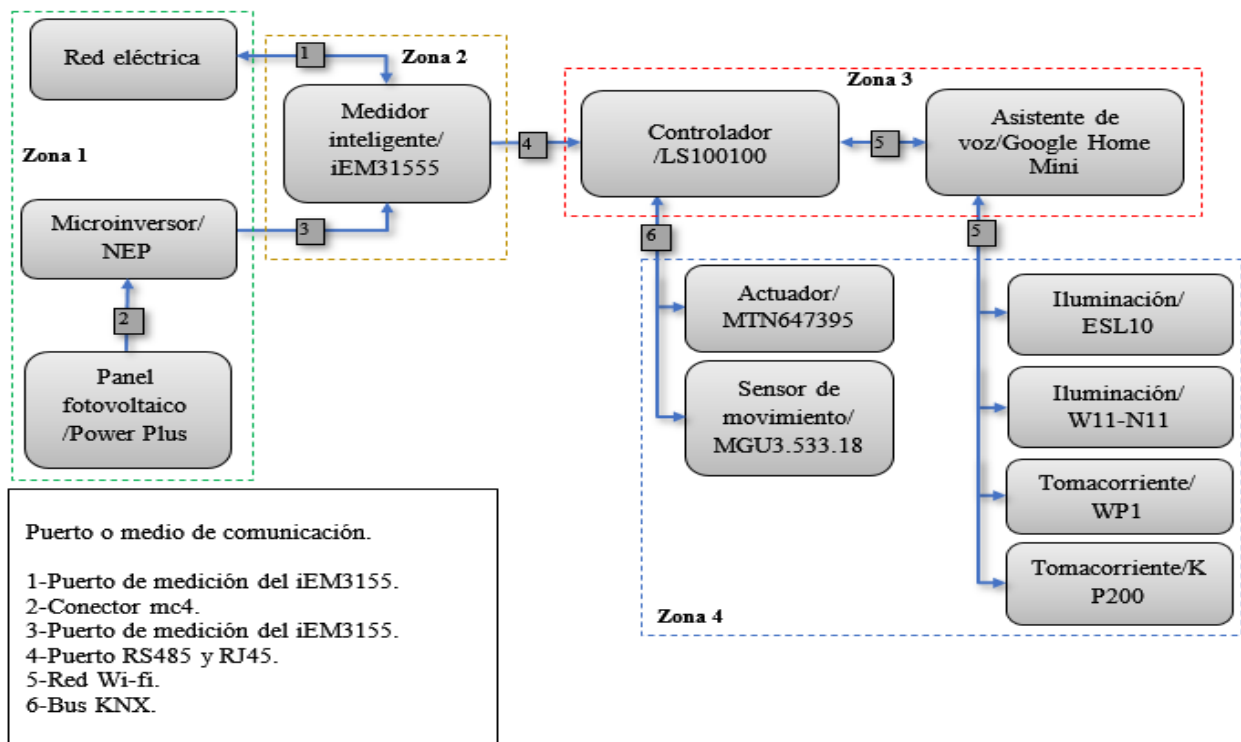
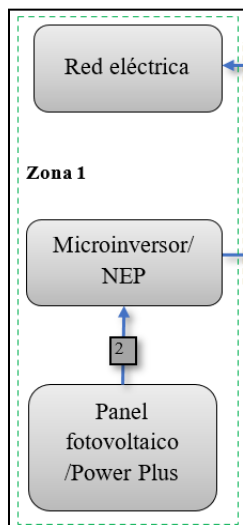
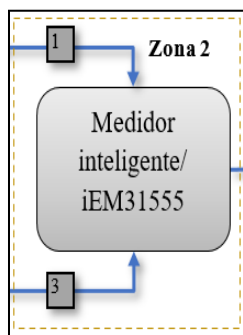


Figura 7. Prototipo de la RID.

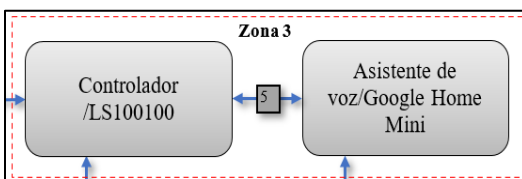
Zona 1:

Esta zona corresponde a la fuente de alimentación eléctrica monofásica de 120 V que consta de dos secciones, la energía recibida del operador de red que entrega energía constante a los dispositivos y la generación fotovoltaica compuesta por un módulo de panel fotovoltaico Power Plus de 320W conectado a un microinversor NEP de 300W por medio de conectores mc4, el microinversor se conecta al medidor iEM3155 a los puertos de medición por medio de cable calibre 12AWG al igual que operador de red.

Zona 2:

En esta zona se ubica la medición inteligente que permite la interacción entre la zona 1 y la zona 3 (controlador). El medidor iEM3155 está comunicado por el puerto RS485 al punto de acceso a internet del prototipo, lo que permite obtener el registro en tiempo real del consumo de energía del operador de red y la energía entregada por la generación fotovoltaica.

Estos datos se registran en la plataforma Energy Operation y se envían vía internet al controlador.

Zona 3:

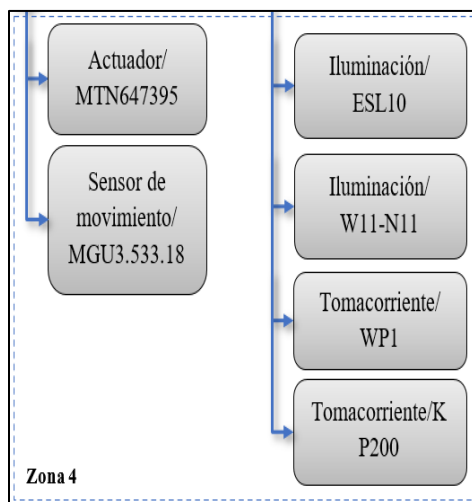
En esta zona se ubica el controlador LS100100 y el asistente de voz Google Home Mini. El controlador está conectado a la fuente de alimentación

MTN693003 por el puerto de alimentación de 24 VDC y su comunicación a través del puerto RJ45 que se conecta al punto de acceso a internet del prototipo; el controlador tomará la decisión de

encender o apagar una carga asociada al actuador MTN647395 como también tomará la decisión sobre una bombilla tradicional que depende del sensor de movimiento MGU3.533.18, tanto el actuador como el sensor de movimiento están comunicados por el bus KNX.

El asistente de voz Google Home Mini esta alimentado por un adaptador de 120-240V a 5VDC y este comunicado por medio inalámbrico Wi-fi al punto de acceso a internet del prototipo, permitiendo controlar las bombillas ESL10, W11-N11, los tomacorrientes WP1, KP200 y control remoto PRO+, la comunicación de los equipos anteriormente mencionados se hace por vía Wi-fi.

Zona 4:



En esta zona se divide en dos secciones, en la primera se encuentran aquellos equipos que se comunican por el bus KNX, como el actuador MTN647395 que tiene dos salidas de potencia, una conectada a un tomacorriente tradicional donde la carga máxima es de 10A con una potencia de 1200W, la otra salida de potencia está conectada a una bombilla tradicional ahorradora que tendrá

una potencia entre 6-9 W preferiblemente, estará controlada a través de el sensor de movimiento MGU3.533.18.

En la segunda sección están los equipos que se comunican a través de Wi-fi con el Google Home Mini, los equipos pueden ser controlados por la aplicación Asistente de Google o independientemente debido a que la bombilla ESL10 cuenta con la aplicación VeSync, la bombilla W11-N11 con la aplicación Sengled, el tomacorriente WP1 con la aplicación Smart Life y el tomacorriente KP200 con la aplicación Kasa Smart, estas aplicaciones permiten realizar o

programar ON/OFF a las bombillas y a las salidas del tomacorriente, dimerizar y tener el consumo de los aparatos conectados.

Los pulsadores MGU3.530.30 conectados al bus KNX se usan para ejecutar rutinas programadas en el controlados LS100100, como el encendido y apagado en conjunto o individual de varias cargas, la programación del ambiente KNX se hace a través del convertidor KNX-USB/MTN681829 que está conectado al bus KNX este equipo permite configurar y cargar la programación a los dispositivos presentes en el diseño, por otro lado el control universal Broadlink Wifi RM PRO+ esta comunicado por medio inalámbrico wifi y es un equipo controlado por la aplicación e-Control o al integrarse a la aplicación asistente de Google, este dispositivo al igual que los demás mencionados anteriormente puede integrarse a rutinas programadas en el asistente de Google.

Finalmente, en el Anexo C se hace el cálculo de la potencia instalada en el prototipo, dicho valor es de 3.9 kW lo que permite la selección de un conductor calibre 12AWG.

5. Conclusiones

- Se realizó un análisis de mercado, con el cual se pudo recopilar la información de 47 equipos con sus respectivas fichas técnicas; 29 marcas entre las cuales se encuentran ABB, Ingenium Bes, HORUS, Levinton, Schneider Electric, Google, Xiaomi, entre otras. Se pudo cotizar con tres proveedores en el área de Bucaramanga y los demás equipos a través de medio online.
- Se eligió el protocolo de comunicación KNX teniendo en cuenta que lo implementan diferentes fabricantes, lo cual permite la integración de diversos dispositivos de campo de diferentes marcas y proveedores, por medio del software llamado “Engineering tool software” (ETS) que se especializa en la programación del entorno inteligente.
- Con el planteamiento de cuatro criterios (disponibilidad, costo, compatibilidad y escalamiento) se seleccionaron 20 equipos eléctricos y domóticos para la integración de tecnologías de medición inteligente, autogeneración, control y comunicación, de los proveedores locales se hizo la correspondiente compra de equipos de generación fotovoltaica, medición inteligente, fuentes, controlador, actuador, sensor de movimiento y pulsador, para el asistente de voz, control universal, bombillas y tomacorrientes inteligentes se realizó la compra online.
- Se elaboró los planos de potencia, comunicación y ubicación espacial que permiten la comprensión más detallada del prototipo, teniendo en cuenta que los equipos

seleccionados ya se encuentran disponibles, para comenzar con la segunda fase se requiere la compra de los elementos generales, cableado y el gabinete, así como la programación del prototipo de la RID.

- El diseño del prototipo permite tener una base para la implementación de una RID en el marco nacional, haciendo énfasis en el uso racional de la energía mediante las tecnologías de medición inteligente, generación distribuida, control y comunicación.

6. Recomendaciones

Se deja como sugerencia para abordar en la segunda fase, seguir la ubicación espacial de la Figura 8, usar un gabinete metálico certificado para el transporte del prototipo a diferentes lugares, hacer uso de canaleta ranurada para la organización del sistema de cableado de potencia y comunicación, además el uso de riel DIN para facilitar la adecuación de futuros dispositivos KNX, adecuar una bornera para alimentación del prototipo y unas borneras ubicadas en las cargas para la medición finalmente se recomienda destinar un teléfono inteligente o Tablet únicamente para uso del prototipo.

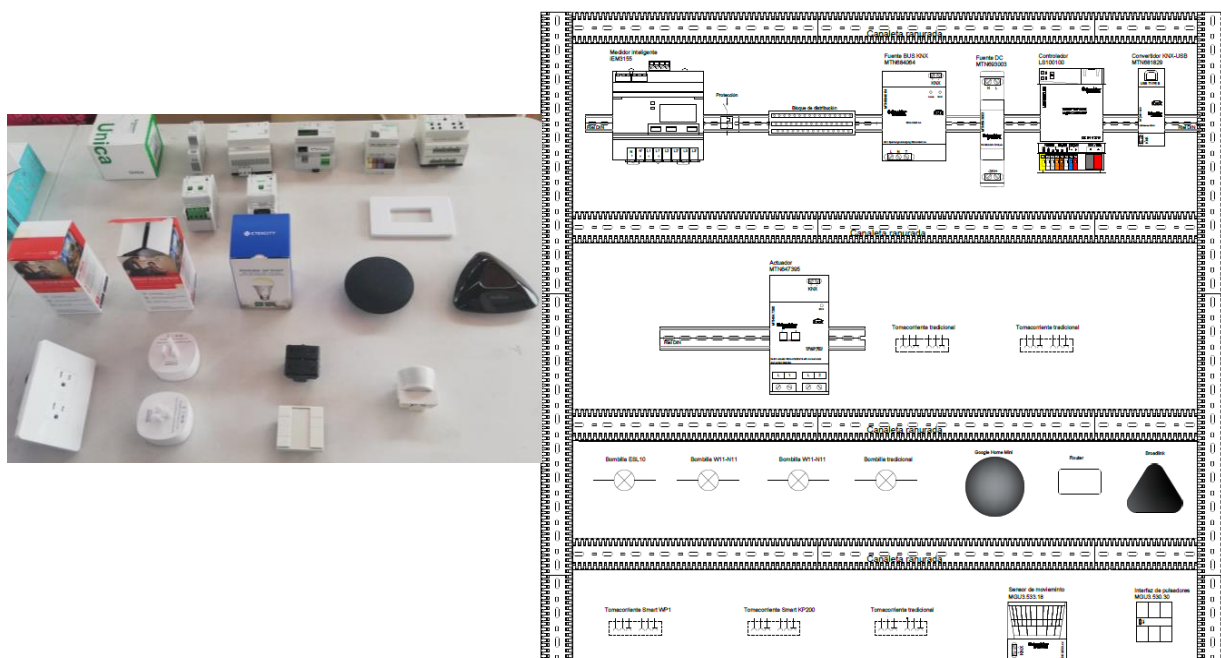


Figura 8. Ubicación espacial de los equipos del prototipo de la RID.

Con base al diseño presentado en el desarrollo del proyecto de investigación se recomienda tener en cuenta el cumplimiento de al menos las siguientes funcionalidades para la segunda fase:

- Medición de energía bidireccional, registro y entrega de los datos de energía eléctrica en una plataforma web, para ser analizados de manera sencilla por el usuario residencial permitiendo que el usuario conozca su consumo y generación en cualquier intervalo de tiempo.
- La programación central en el controlador LS100100 debe estar compuesta por rutinas que obedezcan a cambios en la tarifa de energía eléctrica y horarios para tareas domésticas, esta programación debe ser capaz de comunicarse con el asistente de voz.
- Tener control sobre cada equipo instalado en el prototipo por independiente.
- Configurar el asistente de voz para controlar los equipos conectados al bus KNX y por medio inalámbrico WI-fi.

Bibliografía

- ALVARADO BRITO, J. M. (noviembre de 2011). *Repositorio Institucional Universidad de Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2550>
- AMIN, M., & WOLLENBERG. (septiembre de 2005). Toward a smart grid: power delivery for the 21st century. *IEEE Power and Energy Magazine*, 3(5), 34-41.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CALIDAD. (5 de julio de 2020). *QAEC*. Obtenido de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/smart-grid>
- BOUZAS MILLARES, M. J. (s.f.). *PANORÁMICA DE LOS SISTEMAS DOMÓTICOS E INMÓTICOS*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- CAÑADAS GONZÁLES, D. (2017). *Proyecto de domotización de un edificio basado en KNX*. Sevilla: Unviersidad de Sevilla.
- CEDILLO MÉNDEZ, J. L., RAFAEL ESTEBAN, F., & RAMÍREZ SALAS LINARES, L. O. (2012). *Optimización de ancho de banda para sistemas GSM*. Ciudad de México: Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería - UNAM.
- Comisión de Regulación de Energáa y Gas. (2018). Resolucion CREG 030 de 2018. Bogotá, Colombia.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2015). Resolucion CREG 281 de 2015. Bogotá, Colombia.
- Comisión de Regulacón de Energía y Gas. (2016). Resolucion CREG 039 DE 2016. Bogotá, Colombia.
- Congreso de la Republica de Colombia. (octubre de 2001). Ley 697 de 2001. Bogotá, Colombia.
- Congreso de la Republica de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014. Bogotá, Colombia.

- CRUZ GÓMEZ, W. F. (2018). *Diseño del sistema de seguridad y de control de iluminación para el Conjunto Cerrado el Portal del Bosque en la ciudad de Tunja*. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- DÍAZ ANDRADE, C. A., & DELGADO HERNÁNDEZ, J. C. (2011). S&T Sistemas y Telemática. *Smart Grid: ICT and electric energy network upgrading – State of art*, 53-81.
- GALEANO GÓMEZ, J. (2005). *Diseño de un sistema domótico de altas prestaciones destinado a viviendas residenciales*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- GASENSIO. (10 de noviembre de 2018). *e micronica*. Obtenido de <http://www.micronica.es/2014/11/05/sihd-sya/>
- GÓMEZ, V., HERNÁNDEZ, C., & RIVAS, E. (03 de 2018). *SCIELO*. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000200089&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- GUILLEMIN, P. (1999). PROTOCOLO DE SISTEMAS HOGAR EUROPEO:.. *Informes de la Construcción*, 30-34.
- Ministerio de Minas y Energía. (2017). Decreto 348 de 2017. Bogotá, Colombia.
- PÉREZ PEREIRA, M. R., & SALINAS, A. S. (2017). Control de sistemas de iluminación DMX (digital multiplex) basado en señales audibles. *Revista Vínculos*, 45-54.
- RASHED MOHASSEL, R., FUNG, A., MOHAMMADI, F., & RAAHEMIFAR, K. (2014). A survey on Advanced Metering Infrastructure. *Electrical Power and Energy Systems*, 473-484.
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2017). Resolución UPME 121 de 2017. Bogotá, Colombia.

Anexos

Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en base de datos de la Biblioteca UIS, y, por consiguiente, irían en una carpeta llamada “anexo” adjunta en el CD.

Anexo A. Análisis de mercado.

Anexo B. Planos del prototipo.

Anexo C. Memoria de cálculo.