

Diseño de prototipo para enchufe inteligente de propósito general

Prototype design for general-purpose smart socket

César Leandro Hernández Hernández¹ Andrés Alfaro Avalos^{1*} Dante Carrizo¹

Recibido 06 de enero de 2022, aceptado 02 de marzo de 2022

Received: January 06, 2022 Accepted: March 02, 2022

RESUMEN

Debido al constante crecimiento de la contaminación ambiental a nivel mundial, los sectores relacionados a la industria eléctrica han enfocado sus esfuerzos en la búsqueda de soluciones para alcanzar un consumo energético eficiente. Entre los dispositivos que se han incorporado para llevar a cabo mejoras en el consumo eléctrico se encuentran los enchufes inteligentes. En este trabajo se presenta una propuesta de prototipo para un enchufe inteligente de propósito general. Para su diseño se tuvieron en cuenta los componentes principales de un enchufe inteligente: Unidad de mediciones, unidad de control, unidad de procesamiento e interfaz de comunicación. El prototipo se basa en la utilización de hardware de fácil acceso y consumo. Este trabajo logró desarrollar un dispositivo capaz de medir, controlar y monitorear el comportamiento eléctrico de equipos conectados a la red eléctrica. El prototipo presentado brinda la posibilidad de desarrollar funcionalidades personalizadas y servicios orientados a la eficiencia energética enmarcado en el área del Internet de las Cosas (IoT).

Palabras clave: Enchufe inteligente, sistemas digitales, IoT, eficiencia energética.

ABSTRACT

Due to the constant growth of global environmental pollution, the sectors related to the electrical industry have focused on finding solutions to achieve efficient energy consumption. Among the devices that have been incorporated to carry out improvements in electricity consumption are smart sockets. This paper presents a prototype for a general-purpose smart socket. The design considers the main components of a smart plug: measurement unit, control unit, processing unit, and communication interface. The prototype is based on free hardware, with easy access, low cost, and consumption. This work successfully developed a device capable of measuring, controlling, and monitoring the electrical behavior of equipment connected to the power grid. Additionally, it incorporates temperature, light, and humidity sensors to complement the electrical measurements. The prototype presented offers the possibility of developing many functionalities and services aimed at energy efficiency on the topic of the Internet of Things (IoT).

Keywords: Smart socket, digital systems, IoT, energy efficiency.

¹ Universidad de Atacama. Departamento de Ingeniería en Informática y Cs. de la Computación. Copiapó, Chile.
E-mail: cesar.hernandez.19@alumnos.uda.cl; andres.alfaro@uda.cl; dante.carrizo@uda.cl

* Autor de correspondencia: andres.alfaro@uda.cl

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las consecuencias de la contaminación ambiental, arrojan un panorama que termina afectando notablemente a diversos ecosistemas incluyendo al ser humano. Esto principalmente a causa del consumo de carbón mineral y diésel para la generación de electricidad, siendo el sector energético el principal emisor de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera [1]. Por este motivo muchos gobiernos se han embarcado en la búsqueda de la eficiencia energética implementado diferentes alternativas que converjan al ahorro de energía [2].

En esta dirección, la industria eléctrica mundial busca mejorar las redes eléctricas con el fin de gestionar un gran número de dispositivos vinculados a la generación, consumo y almacenamiento eléctrico. Para ello, se recurre al apoyo de los Sistemas de Medición Inteligentes (*Smart Metering*), los cuales constituyen una de las tecnologías básicas para afrontar esta situación. En el año 2012, la Directiva de Eficiencia Energética del parlamento europeo definió un sistema de medición inteligente que consistía en medidores que además de realizar mediciones eléctricas, pudiesen transmitir y recibir datos utilizando una comunicación electrónica con el propósito de ser controlados y gestionados de forma remota. A este tipo de red eléctrica se le denomina Red Inteligente (*Smart Grid*) [3].

La necesidad de poner en práctica esta Red Inteligente dio paso a la aparición de dispositivos capaces de medir de forma celular y avanzada el consumo eléctrico de un establecimiento o residencia. Estos nuevos dispositivos llamados Medidores Inteligentes (*Smart Meters*), además son capaces de transmitir la información de sus mediciones con la finalidad de que sean procesadas y así obtener conocimiento útil que permita alcanzar la eficiencia energética [4].

El avance de la tecnología, las comunicaciones y el internet recortó la brecha del intercambio de información entre los humanos y los dispositivos, de donde nacen conceptos como el Internet de las Cosas (*Internet of things, IoT*) y el Internet de la Energía (*Internet of Energy, IoE*). En los últimos años, estos conceptos han apoyado considerablemente las estrategias e implementación de sistemas de medición inteligente [2, 5].

Bajo el paradigma de las tecnologías antes mencionadas y la necesidad de llevar a un nivel más específico los sistemas de medición inteligente, en busca de la eficiencia energética, aparecen los enchufes inteligentes (*Smart Socket*). Un enchufe inteligente es un dispositivo que además de permitir conectar a equipos a la red eléctrica, se comunica con un usuario u otro sistema través de una red o interfaz de comunicación. Estos dispositivos hacen uso de sensores eléctricos, actuadores y transceptores inalámbricos con el propósito de controlar, monitorear y supervisar de forma inteligente el consumo de equipos eléctricos al interior de un hogar u otro tipo de interior [2, 5]. En ocasiones estos dispositivos se encuentran formando parte de sistemas de gestión energética de hogares (*Home Energy Management Systems, HEMS*) [6].

Es amplia la diversidad de enchufes inteligentes existentes y las funcionalidades que estos pueden tener. Los más comerciales solo permiten accionar el encendido o apagado de los equipos conectados de forma remota, ya sea a través de una aplicación o de un control remoto convencional. Otros un poco más sofisticados brindan además la posibilidad de ser programados para que los equipos sean accionados en función de un temporizador o aleatoriamente para emular la presencia de personas. Luego se encuentran los que tienen un mayor alcance, más enfocado a la eficiencia energética; estos son capaces de realizar mediciones sobre el consumo de los dispositivos conectados y enviarlas a otro sistema para que puedan ser tratadas [6, 8]. Esta característica les da la posibilidad de sugerir información sobre el gasto energético del recinto y realizar estimaciones sobre el pago de facturas, habitaciones que más consumen, tipos de equipos que son conectados a la red, entre otras tareas [2].

Los enchufes inteligentes de mayor complejidad normalmente se encuentran formando parte de un HEMS, en el que cada enchufe envía, mediante comunicación inalámbrica, la información sobre las mediciones obtenidas a un coordinador que almacena, organiza y procesa los datos con la idea de reconocer e interpretar patrones [6]. Dichos patrones son relevantes para el trazado de estrategias en busca de la eficiencia energética, tanto a nivel de usuario como a nivel de central, para el caso de las empresas de distribución.

Implementar un sistema de gestión de energética inteligente se ha vuelto una meta común para muchas empresas de todo el mundo. Mientras tanto, son muchas

las investigaciones [2, 5, 6, 8 y 9] que se desarrollan con el fin de agregar aplicaciones, funcionalidades y servicios a las redes inteligentes a través de los medidores inteligentes; pero en ocasiones el hardware de estos dispositivos no es suficiente pues carecen de capacidades y sensores que complementen considerablemente la medición de variables eléctricas. Por otra parte, para llevar a cabo investigaciones relacionadas con el tema, se puede hacer difícil el acceso a enchufes inteligentes industriales o robustos debido a su alto costo económico y compleja personalización de sus tareas. Por lo que un prototipo que sea fácil de adquirir e intervenir haría más viable el desarrollo de nuevas tareas para enchufes inteligentes en busca de la eficiencia energética.

Es por estos motivos que el objetivo de este trabajo es diseñar y proponer un prototipo de enchufe inteligente de propósito general, utilizando hardware y software libre con el fin de desarrollar nuevas aplicaciones orientadas a la eficiencia energética.

A través de este diseño se busca que el prototipo resultante sea capaz de cumplir con las funcionalidades principales de un enchufe inteligente, es decir: Medir variables eléctricas y controlar el encendido / apagado del dispositivo conectado de forma remota. Además, se pretende incorporar sensores para medir variables ambientales e igualmente proporcionar una alta flexibilidad en su configuración.

Al mismo tiempo se desea que el prototipo diseñado sea funcional tanto independientemente como formando parte de un HEMS. También se espera que el prototipo pueda ser utilizado como material de estudio para investigaciones en distintas áreas de la ingeniería que intervienen en su construcción.

En la siguiente sección se exponen trabajos relacionados con el diseño de enchufes inteligentes, luego se presentan las bases del diseño. Posteriormente se muestra hardware propuesto, así como la descripción de cada componente y su funcionalidad dentro del diseño. A continuación de esto se exponen los resultados y por último, se plantean las conclusiones y trabajos futuros.

TRABAJOS RELACIONADOS

Varios autores e investigadores del entorno de las tecnologías y las comunicaciones han desarrollado

prototipos de enchufes inteligentes como alternativa a los sistemas comerciales. A continuación, pasaremos a describir algunos de ellos.

En el trabajo realizado por Óscar Blanco y otros[2] se presenta un sistema de medición inteligente de código abierto para pronosticar y conocer en tiempo real el consumo y costo del servicio eléctrico. Además, permite a los usuarios controlar de forma remota el encendido y apagado de equipos, así como planificar sus tiempos de operación en busca de minimizar el consumo. El sistema está basado en la jerarquía “Maestro / Esclavos”, donde cada enchufe inteligente (esclavo), envía información a un manejador (Maestro) que almacena la información de todos los enchufes para posteriormente enviarlos a internet a través de una red Wi-Fi. Cada enchufe cuenta con un Módulo ESP8266 que actúa como controlador del enchufe e interviene en la comunicación con la red, un sensor de corriente de ACS 712 es utilizado para medir el consumo y un módulo de *relay* de 10 amperes funciona como actuador para accionar el encendido y apagado de los equipos conectados. Sumado a esto un sistema web que permite controlar, configurar y visualizar de los datos de consumo y costo energético en tiempo real.

Del mismo modo, Jingyi y Xin[10], diseñan e implementan un enchufe inteligente basado en NB IoT. Esta tecnología se centra en conectar objetos cotidianos a internet utilizando la red móvil existente. Para ello utilizan un Cortex M3 como procesador principal, el cual fue desarrollado para un alto desempeño con un bajo costo. Las mediciones de las variables eléctricas estarán a cargo de la placa HLW8032, la cual además de tener un bajo consumo y no necesitar alimentación auxiliar de referencia, es capaz de medir magnitudes eléctricas como voltaje, corriente, potencia consumida, pulsos entre otras. Este dispositivo envía sus datos al controlador principal mediante el protocolo UART. Los autores incorporan un reloj de tiempo real (RTC) para llevar una referencia horaria de la toma de mediciones. Un módulo NB-IoT es el encargado de la comunicación con el resto de los dispositivos que forman parte de una red inteligente. Mediante el protocolo UDP/COAP envía a una plataforma online las mediciones realizadas a los electrodomésticos conectados al enchufe. El diseño de este prototipo cuenta además con un módulo de *relay* para el control de encendido y apagado de los equipos conectados y un módulo de visualización.

En el caso de Wahyudi, Saripudin y Budi [8], se diseña un enchufe inteligente para medir el consumo de hasta 4 dispositivos, con el objetivo de controlar el gasto energético en una vivienda. El sistema de medición está compuesto por sensores de corriente ACS-712 que miden el consumo de cada una de las conexiones. Un módulo ESP-12E trabaja como controlador principal adquiriendo las mediciones por su entrada analógica desde un 74HCT4052, el cual multiplexa las distintas mediciones de los ACS-712 y además envía los datos vía Wi-Fi utilizando el protocolo TCP/IP hacia un almacén en la nube. El prototipo diseñado permite el control de encendido y apagado de los equipos conectados mediante un *relay* de 30 amperes que el sistema puede accionar desde una aplicación Android.

De igual manera, Ulloa y otros [6] presentan un sistema de gestión energética a nivel de hogar mediante enchufes inteligentes. Estos enchufes envían la información de las mediciones adquiridas hacia un coordinador que será el encargado de subirla posteriormente a una plataforma de gestión en la nube, para formar parte de un sistema de lectura automática de medidores inteligentes. Cada enchufe utiliza como controlador principal un microcontrolador ATmega328P el cuál se comunica mediante una interfaz serie con un medidor ADE7753. Este chip es capaz de medir variables eléctricas como corriente, voltaje y los distintos tipos de potencia, a través de un sensor no invasivo. La comunicación con el coordinador se realiza por medio de un módulo Xbee utilizando el protocolo ZigBee. El sistema propuesto por los autores permite por gestión del coordinador conocer en tiempo real las mediciones de variables eléctricas y consumos referentes a los dispositivos conectados a los enchufes inteligentes, así como controlarlos mediante *relays* que trabajan como actuadores.

Por último, Al-Hassan y otros [7] proponen un prototipo similar a la anterior donde se utiliza ZigBee como protocolo para la red de hogar controlados por un coordinador. Además, los autores agregan sensores de temperatura específicos para controlar el funcionamiento de dispositivos como neveras y aire acondicionados mediante un algoritmo de eficiencia energética. De igual forma incorporan sensores de luz para llevar un control eficiente de iluminación a través de luces leds con reguladores de intensidad.

A pesar, que los trabajos antes mencionados son funcionales y cumplen con su objetivo, se pueden encontrar en los diseños algunas limitaciones como la cantidad de variables que se pueden medir, la ausencia de un sistema de visualización local y la dependencia de coordinadores físicos como controlador de los enchufes.

DISEÑO DE LA PROPUESTA

De acuerdo con las funcionalidades y tareas que debe desarrollar un enchufe inteligente, su hardware debe estar compuesto por diferentes componentes que le permita cumplir con los requerimientos básicos de trabajo. La Figura 1 muestra la arquitectura general de los componentes de un enchufe inteligente, basada en lo expuesto por [6-10].

La **Unidad de Mediciones** es la encargada de llevar a cabo la adquisición de valores de las variables eléctricas para que posteriormente sean procesadas. Para seleccionar qué componentes usar en esta unidad, se debe conocer las funcionalidades que se pretenden desarrollar con el dispositivo, para así definir las variables a medir y seleccionar sensores y medidores. Las variables eléctricas que

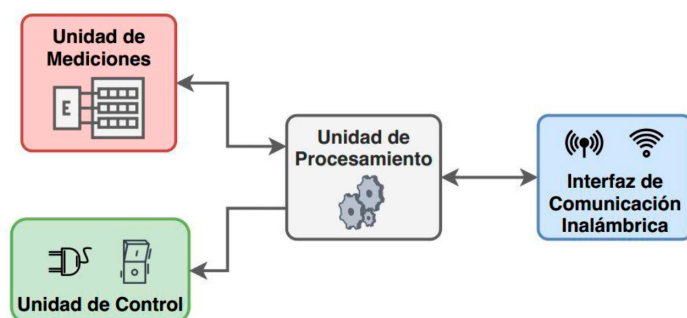


Figura 1. Arquitectura general de un enchufe inteligente.

se pueden medir en un enchufe inteligente son voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia y frecuencia de señal [6, 10]. En algunos casos como [2, 8], en los que solo se necesita conocer el consumo, resuelven su unidad de medición solamente con un sensor de corriente. Como el enchufe propuesto en este trabajo tiene un propósito general y pretende ser utilizados en aplicaciones complejas orientadas a la eficiencia energética, el diseño procura un módulo de mediciones que abarque todas las variables antes mencionadas.

La unidad encargada del accionamiento de los equipos conectados al enchufe inteligentes es la **Unidad de Control y Automatización**. Esta unidad funciona de acuerdo a las instrucciones que puede recibir desde la unidad de procesamiento. Comúnmente está constituida por un *relay* como actuador y algunos otros elementos de protección eléctrica.

Otro elemento importante es la **Unidad de Procesamiento**, siendo el cerebro y nexo de todos los subsistemas que lo rodean, en otras palabras, es la encargada de supervisar, controlar, procesar e interactuar con el resto del sistema mediante una serie de instrucciones con un fin de aplicación específico. Los criterios de selección de un microcontrolador como unidad de procesamiento dependen del objetivo para el cual será utilizando. Entre los parámetros más importantes a tener en cuenta están: La cantidad de entradas/salidas digitales y analógicas, frecuencia de trabajo, interfaces de comunicación, capacidad de memorias RAM y ROM, entre otras [11].

Entendiendo que el objetivo principal es proponer un prototipo de enchufe inteligente basado en software y hardware libre, se seleccionaron las placas de desarrollo libre Arduino y NodeMCU ESP8266, formando parte esta última, de la interfaz de comunicación inalámbrica. Vale destacar que estas placas se han vuelto muy populares en la implantación de dispositivos orientados a IoT, y utilizadas específicamente en este tipo de enchufes inteligentes [2, 5-7, 9].

Por último, la **Interfaz de Comunicación** Inalámbrica es el punto principal de interacción entre el enchufe inteligente y otros sistemas externos, como una base de datos o una interfaz de control de usuario. Varios son los protocolos de comunicación

inalámbrica que se pueden utilizar para proponer un enchufe inteligente, entre estos encontramos ZigBee, Wi-Fi, RFID, Bluetooth y GPRS entre otras [12]. Los más utilizados en las áreas al nivel de los enchufes inteligentes son ZigBee, Wi-Fi y Bluetooth. En los diseños propuestos por [6, 7] utilizan ZigBee como protocolo de comunicación inalámbrica, por su alcance, bajo costo y consumo, pero en ambos casos estos dispositivos requieren de un coordinador físico que almacene y luego envía los datos un sitio en la nube. De acuerdo a los objetivos de este prototipo, se pretende utilizar Wi-Fi como protocolo de comunicación, pues además de brindar flexibilidad en el alcance, proporciona al dispositivo una independencia de una red de coordinación. Además permite enviar los datos directamente a la nube y facilita la integración a redes que utilicen el mismo protocolo. Utilizar Wi-Fi para la comunicación puede demandar un mayor consumo eléctrico dentro del prototipo por lo que en el diseño propuesto se tendrá en cuenta que el consumo que demande sea el mínimo.

PROTOTIPO DE ENCHUFE INTELIGENTE

En esta sección se presentan las características de cada uno de los componentes principales y sus tareas dentro del diseño.

En la última década se han comenzado a incorporar a los sistemas inteligentes de mediciones eléctricas, sensores que muestren las características del ambiente. Esto debido a que se ha demostrado que el consumo eléctrico puede tener directa relación con variables como la temperatura, la humedad y la luz [4, 7]. Complementar las mediciones eléctricas con datos climáticos del entorno puede brindar un pronóstico de generación o consumo más robusto. Por este motivo se decide incorporar en este prototipo, dentro de la unidad de mediciones, un conjunto de sensores de fácil alcance y bajo costo que adquieran del ambiente las variables antes mencionadas.

Aprovechando la condición de prototipo y el objetivo del mismo de ser utilizado para diferentes aplicaciones enfocadas a la eficiencia energética, el diseño se realiza de forma tal, que el usuario pueda intervenir en su funcionamiento de la manera más manejable posible. Esto nos lleva a la utilización de hardware y software libre cumpliendo con una estructura modular para facilitar la construcción

del enchufe y la implementación de las diferentes funcionalidades y servicios.

En la Figura 2 se muestra un esquema del diseño de la propuesta de prototipo de enchufe inteligente, esta contiene sus componentes principales, además de las conexiones y protocolos de comunicación de los mismos utilizados en el prototipo.

A continuación, se expone con más detalles cada una de los elementos que componen este prototipo.

NodeMCU ESP8266:

Es una placa de desarrollo de software y hardware libre que contiene un módulo Wi-Fi basado en un SoC ESP8266. Entre las características principales de esta placa se destaca: La incorporación de un MCU de 32 bits de bajo consumo, un módulo Wi-Fi de 2.4GHz, memoria RAM de 50kB, una entrada analógica, 17 pines digitales de propósito general, diferentes interfaces de comunicación serial como I²C, SPI, UART y la posibilidad de energizarse y cargar programas mediante USB, lo que la hace adecuada para su utilización en aplicaciones IoT [13, 14].

Para este prototipo el NodeMCU ESP8266 es la unidad encargada de realizar las tareas relacionadas con la conexión Wi-Fi que pueden variar según el objetivo de uso del enchufe inteligente. Estas tareas pueden ser la gestión, control y presentación de

información de forma remota del dispositivo de medición a través de un sistema web o el envío de los datos a una base de datos mediante una red Wi-Fi. Otra de las tareas destinadas a la placa es la visualización y control local mediante una pantalla LCD y un panel de dos botones. A través de NodeMCU se realiza toda la comunicación entre las diferentes unidades del enchufe y el usuario o sistema con el que interactúe. Para ello intercambia información con el Arduino UNO mediante el protocolo de comunicación serial-síncrono-dúplex I²C [15].

Arduino UNO:

Arduino una plataforma de prototipos electrónicos de software y hardware libre. El modelo Arduino UNO es una placa basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 pines digitales de propósito general, 6 de los cuales pueden ser usados como salidas de PWM, 6 entradas analógicas, un oscilador de 16 MHz, conector para alimentación y un botón de reinicio. La programación del microcontrolador se realiza por medio de una interfaz USB. De igual forma esta placa posee las interfaces para implementar comunicación serial mediante protocolos como I²C, SPI, UART entre otros. Arduino presenta, además, una amplia gama de circuitos externos diseñados para extender sus funcionalidades. Estas placas son conocidas como *shields* y se caracterizan por tener una distribución de conectores dispuestos de forma tal que la conexión

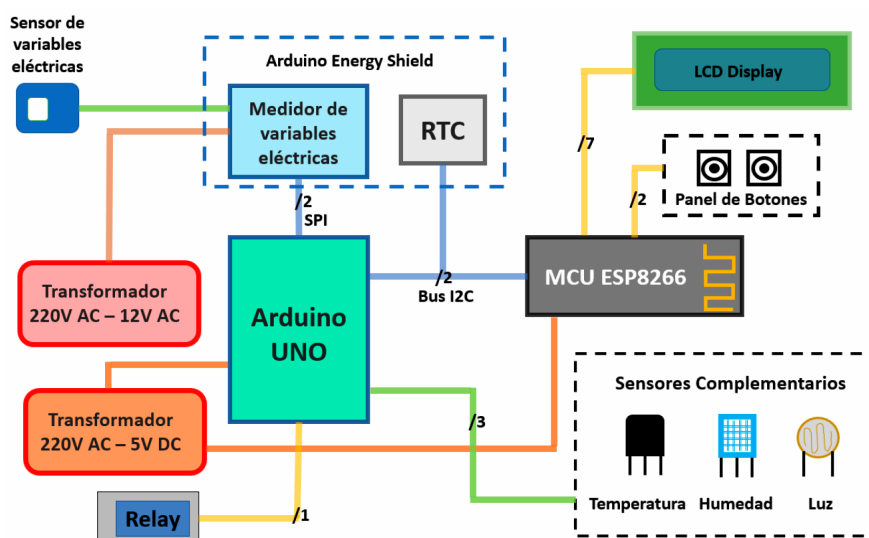


Figura 2. Diseño del prototipo para enchufe inteligente.

con la respectiva placa Arduino pueda realizarse sin soldaduras ni cables [16].

Para este prototipo, el Arduino cumple con varias funciones: i) adquirir las mediciones correspondientes a las variables eléctricas que son adquiridas mediante un *Energy shield* de Arduino con componentes ideales para la medición de variables de este tipo; ii) accionamiento del *relay* como actuador del enchufe; y por último iii) La obtención de las mediciones de los sensores de temperatura, humedad y luz, aprovechando su capacidad de proveer varias entradas analógicas y un conversor A/D. Las instrucciones del Arduino UNO serán siempre realizadas bajo la demanda del NodeMCU ESP8266.

Energy Shield:

Es una tarjeta de que permite monitorear el consumo de energía eléctrica con una tarjeta Arduino. Este *Shield* incorpora un chip ADE7753 que permite medir variables eléctricas como potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, voltaje y corriente RMS, frecuencia y factor de potencia. Cuenta además con un reloj de tiempo real (RTC) DS1307 y un *socket* para baterías de 12mm como alimentación de respaldo para dicho reloj. Esta placa está calibrada para trabajar con el Sensor de Corriente AC no invasivo (MCI00783) y un transformador 220-12VAC, de manera que todas las conexiones al *shield* están aisladas galvánicamente de la red eléctrica. Para calibración y monitoreo desde otros equipos, *Arduino Energy Shield* dispone de una salida de pulsos optoacoplada proporcional al consumo de energía activa. Además, posee un *socket* para la conexión de un módulo Xbee para implementar comunicación inalámbrica por dicha vía [17]. El trabajo de esta placa en nuestro prototipo es obtener registros de las variables eléctricas acompañados de una marca temporal de fecha y hora obtenida por el RTC. La comunicación del Arduino con el chip ADE7753 de dicha placa se realiza utilizando el protocolo SPI y con el DS1307 mediante I²C.

Sensor MCI00783:

Este es un sensor no invasivo de corriente alterna que puede medir de 0 a 10A entregando a la salida de 0 a 1V con un factor de no linealidad de $\pm 3\%$. Su núcleo es de ferrita, puede trabajar entre -25 y 70 °C y su resistencia dieléctrica 1000 VAC / 1min. El MCI00783 se puede acoplar al medidor de

corriente del Energy Shield mediante una conexión Jack de 3.5mm. Este sensor cumplirá la función de transductor principal del enchufe inteligente, pues es el encargado de lidiar con la corriente alterna para que esta pueda ser procesada.

Sensores Ambientales Complementarios:

Este prototipo incorpora diferentes sensores complementarios, que proporcionarán mayor información del entorno donde se encuentre instalados, permitiendo un mejor control y en consecuencia mejor eficiencia energética. A continuación, se describen los sensores utilizados.

- El LM35 es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1 °C. Su rango de medición abarca desde -55 °C hasta 150 °C. Presenta una salida lineal de 10 mV por cada grado Celsius, bajo consumo de corriente (60 μ A) y baja impedancia a la salida.
- El DHT11 es un módulo que incluye un sensor de temperatura y un sensor de humedad relativa. Utiliza una alimentación de 3.5 a 5V, su consumo es de 2,5 mA y su salida es digital. En particular el sensor de temperatura tiene un rango de medición de 0 a 50 °C resolución de 1 °C y una precisión de ± 2 °C. Por otra parte, el sensor de humedad mide en un rango de 20 a 90% RH con una resolución de 1% y una precisión de 5%.
- Como sensor de luz se utiliza un fotorresistor común, componente cuya resistencia disminuye con el aumento de la luz incidente. Está conformado por una célula fotorreceptora y dos pastillas. Su tiempo de respuesta a cambios de luz es del orden de la décima de segundo. Utilizando un divisor de tensión se puede tener una señal de voltaje proporcional a la luz incidente.

La incorporación de sensores meteorológicos (como temperatura, luz y humedad) a los medidores eléctricos que forman parte de una red inteligente se ha convertido más que en una tendencia en una pauta a seguir en los últimos años debido a que se ha comprobado, que obtener estas mediciones proporciona mayores ventajas [4, 7].

Módulo de Visualización:

El display LCD 16 x 2 para la visualización es una pantalla de cristal líquido que permite mostrar dos filas de 16 caracteres cada una. Este periférico de salida cuenta con luz de fondo y control de brillo.

Su comunicación se tratará con transferencias de 4 bits mediante la placa NodeMCU ESP8266, de esta forma se le incorpora al enchufe un sistema de visualización local para la muestra de datos de interés como algunas mediciones importantes. Contar con un sistema de visualización local puede indicar de manera fiel al usuario el estado del enchufe inteligente, así como otros datos de interés.

Actuador/Interruptor:

El *relay* (módulo) tiene una tensión de alimentación y accionamiento de 5V y un consumo aproximado de 75mA. Soporta tensiones de 250 V de AC y 10 A. Presenta además un led indicador de estado de alimentación y pines publicados para una fácil conexión. Dentro del prototipo es parte de la unidad de automatización y control para regular el paso de corriente hacia los dispositivos conectados al enchufe inteligente.

Transformadores:

Para alimentar los diferentes componentes electrónicos como placas y sensores, se requiere de una alimentación de DC de 5V por lo que un transformador USB de 2A sería suficiente para energizar a todo el sistema. Además, el chip ADE7753 ubicado en la placa *Energy Shield* requiere de una señal de 12V de AC para que las conexiones al sistema estén aisladas galvánicamente de la red eléctrica por lo que se hace necesario utilizar un transformador 220-12V AC.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El prototipo diseñado cuenta con el hardware para que se puedan implementar varias funcionalidades en dependencia del objetivo de operación. Estas funcionalidades están asociadas a posibles servicios que harían el enchufe inteligente práctico para el usuario. La Tabla 1 muestra una relación entre los componentes, sus funcionalidades y servicios en lo que intervienen.

De acuerdo con lo visto en los trabajos relacionados y otros citados en este documento, que de alguna forma muestran el diseño de un enchufe inteligente, el prototipo propuesto cumple con las características esenciales de un enchufe inteligente. En la Tabla 2 se muestra una comparación entre dichos trabajos y nuestra propuesta en cuanto a protocolos de comunicación que se utilizan, necesidad de coordinador

físico, incorporación de sistema de visualización, variables eléctricas que se pueden medir y/o calcular, y si incorpora sensores ambientales.

Esto muestra que el prototipo expuesto en este trabajo presenta una alta funcionalidad para el cumplimiento de diversas tareas. Entre las potencialidades del prototipo propuesto, se puede destacar algunas como la incorporación de sensores ambientales y sistema de visualización local, que pueden ser un complemento relevante para el desarrollo de nuevas aplicaciones sobre enchufes inteligentes, y otras como la flexibilidad de configuración que otorgan las placas de desarrollo.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El prototipo creado cuenta con el hardware para implementar un enchufe inteligente que permite su control y programación de forma remota. Además ofrece la posibilidad de monitorear tanto variables eléctricas como ambientales, con lo que se puede desarrollar servicios de cálculo de precio de factura eléctrica, identificación de equipos, control energético, permitiendo así desarrollar sistemas de gestión y control de energía destinados a reducir el consumo y beneficiar tanto a instituciones como a los usuarios. Además, su comunicación inalámbrica la realiza mediante protocolos Wi-Fi lo cual le permite trabajar tanto de forma independiente como integrado a un sistema de red doméstica.

Con este prototipo se abren las puertas a diferentes líneas de investigación en disciplinas como: Control e instrumentación, sistemas digitales, sistemas de energía y en el área de informática otras como programación, minería de datos, inteligencia artificial, desarrollo web, etc., por lo que puede ser considerado una herramienta educativa.

Contar con el prototipo diseñado puede potenciar el desarrollo de aplicaciones enfocadas a la eficiencia energética, lo cual tiene un impacto significativo en los sistemas de gestión y control de energía eléctrica y en la mejora de hábitos de consumo residencial.

Como trabajos futuros se espera implementar y perfeccionar el sistema y agregar otras funcionalidades con el fin de que pueda ser utilizado en nuevas problemáticas e incluso extrapoladas a otros contextos, como uso de agua, gas, entre otros.

Tabla 1. Funcionalidad y servicios de los componentes.

Componente	Funcionalidad	Servicios
Sensor de variables eléctricas	– Transductor de las variables eléctricas	– Medición de las variables eléctricas.
Sensores Complementarios	– Transductor de las variables ambientales (Temperatura, humedad, luz).	– Medición de variables ambientales.
Sistemas de visualización.	– Mostrar datos de interés en tiempo real.	– Visualización y control local.
Relay	– Accionamiento de equipos	– Control de encendido y apagado.
Arduino Energy Shield	– Medición de las variables eléctricas. – RTC: Adquisición de la fecha y hora.	– Monitoreo de variables eléctricas. – Referencia de tiempo de las mediciones (RTC)
Arduino UNO	– Control y gestión de subsistemas y periféricos. – (Energy Shield, Relay, sensores de ambiente)	– Control energético de equipos. – Control y programación de equipos. – Cálculo de variables eléctricas. – Cálculo y pronóstico de consumo. – Cálculo y pronóstico de precio de factura. – Monitoreo de variables eléctricas y ambientales.
Node MCU ESP8266	– Control y gestión de subsistemas y periféricos. – (Arduino Uno, Sistema de visualización) – Comunicación inalámbrica.	– Comunicación inalámbrica y transferencia de datos con otros equipos y sistemas. – Visualización y control local. – Visualización, programación y control remoto. – Cálculo y pronóstico de consumo. – Cálculo y pronóstico de precio de factura. – Monitoreo de variables eléctricas y ambientales. – Identificación de dispositivos conectados.

Tabla 2. Comparación de diseños de enchufes inteligentes.

Trabajo (Ref)	Accionamiento Remoto	Variables Eléctricas	Comunicación Inalámbrica	Necesidades de Coordinador Físico	Sistema de Visualización Local	Sensores de ambiente
[2]	Si	Corriente, Potencia Activa.	Wi-Fi	No	No	No
[5]	Si	Voltaje, Corriente, Potencia Activa	Wi-Fi	No	No	No
[6]	Si	Voltaje, Corriente, Potencias Activa, Reactiva y Aparente, Factor de Potencia y Frecuencia.	ZigBee	Si	No	No
[7]	Si	Voltaje, Corriente, Potencia Activa, Aparente, Factor de Potencia.	ZigBee	Si	No	Si
[8]	Si	Corriente, Potencia Activa.	Wi-Fi	No	No	No
[9]	Si	Voltaje, Corriente, Potencia Activa	Wi-Fi	No	No	No
[10]	Si	Voltaje, Corriente, Potencia Activa, Reactiva, Factor de Potencia.	Wi-Fi	No	Si	No
Propuesta	Si	Voltaje, Corriente, Potencias Activa, Reactiva y Aparente, Factor de Potencia y Frecuencia.	Wi-Fi	No	Si	Si

REFERENCIAS

- [1] Ministerio del Medio Ambiente. “Tercera comunicación nacional de Chile ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”. 2016. URL: [https://](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/TCN-2016b1.pdf)

- [2] Ó. Blanco-Novoa, T. Fernández-Caramés, P. Fraga-Lamas and L. Castedo. “An Electricity Price-Aware Open-Source Smart Socket for the Internet of Energy”. *Sensors*. Vol. 17 Issue 3. 2017. DOI: 10.3390/s17030643.

- [3] N. Uribe-Pérez, L. Hernández, D. la Vega and I. Angulo. "State of the art and trends review of smart metering in electricity grids". *Applied Sciences*. Vol. 6 Issue 3. 2016. DOI: 10.3390/app6030068.
- [4] M. Marcu and C. Cernazanu. "Applications of smart metering and home appliances' power signatures". 2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings, pp. 331-335. Montevideo, Uruguay. 2014. DOI: 10.1109/I2MTC.2014.6860762.
- [5] O.S. Omole, D. Akpobasah and A.A. Atayero. "Development of a smart, low-cost and IoT-enabled system for energy management". 3rd International Conference on African Development Issues (CU-ICADI 2016). Ota, Nigeria. 2016. DOI: 10.13140/RG.2.1.3234.2643.
- [6] F. Ulloa, L. García-Santander, D. Carrizo and C. Hurtado. "Towards a Home Energy Management Model Through a Coordinator of Smart Sockets". *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. Vol. 55 Issue4, pp. 35-43. 2018. DOI: 10.2478/lpts-2018-0027.
- [7] E. Al-Hassan, H. Shareef, M.M. Islam, A. Wahyudie and A.A. Abdrabou. "Improved smart power socket for monitoring and controlling electrical home appliances". *IEEE Access*. Vol. 6, pp. 49292-49305. 2018. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2868788.
- [8] R.A.Wahyudi, A. Saripudin and A.H.S. Budi. "Simulation of Design and Implementation of Smart Socket Prototype Controlled by Android Application". *IOP Conference Series, Materials Science and Engineering* .Vol. 384, pp. 12060. 2018. DOI: 10.1088/1757-899X/384/1/012060.
- [9] M.M. Krishan, T.M. Younes and F.M. Al-Taweel. "New design of socket modules for smart home applications". *I2M. Instrumentation Mesure Métrologie*. Vol.18 N° 1, pp. 151-156. 2019. DOI: 10.18280/i2m.180107.
- [10] J. Du and X. Liu. "Design and implementation of smart socket based on NB-IoT". 2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), pp. 1033-1037. 2019. DOI: 10.1109/ITNEC.2019.8729284.
- [11] D.S. Dawoud and R. Peplow. "Digital System Design: Use of Microcontroller". River Publishers. Vol. 2, pp. 113-159. Aalborg, Denmark. ISBN: 978-87-92329-40-0. 2010.
- [12] A. Hafeez, N.H. Kandil, B. Al-Omar, T. Landolsi and A.R. Al-Ali. "Smart home area networks protocols within the smart grid context". *Journal of Communications*. Vol. 9 N° 9, pp. 665-671. 2014. DOI: 10.12720/jcm.9.9.665-671.
- [13] E. Datasheet. "ESP8266EX Datasheet". Espressif System, pp. 1-31. 2015. Fecha de consulta: 15 de julio de 2021. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1148030/ESPRESSIF/ESP8266EX.html>
- [14] Y.S. Parihar. "Internet of Things and Nodemcu A review of use of Nodemcu ESP8266 in IoT products". *JETIR* 2019. Vol. 6. 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.34456.75525.
- [15] E.J. Carletti. "Comunicación-Bus I2C". Robots Argentina 2007. Fecha de consulta: 14 de julio de 2021. URL: <https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/ComunicacionBusI2C.pdf>
- [16] R.E. Herrador. "Guía de usuario de Arduino". Universidad de Córdoba. 2009. Fecha de consulta: 15 de julio 2021. URL: https://www.uco.es/aulasoftwarelibre/wp-content/uploads/2010/05/Arduino_user_manual_es.pdf
- [17] L.T. Ojeda. "Arduino Energy Shield User Manual". MCI Ltda. 2011. Fecha de consulta: 13 de julio del 2021. URL: <https://cupdf.com/document/arduino-energy-shield-user-manual.html?page=1>