

CONSTRUCCIÓN MÓDULO DE CARGA DINÁMICA PROGRAMABLE PARA
SIMULAR CURVA DE DEMANDA RESIDENCIAL

ERICK MENESES RAMÍREZ
JOHAN CAMILO VILLAMIZAR PABÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA EN ENERGÍA
BUCARAMANGA

2020

CONSTRUCCIÓN MÓDULO DE CARGA DINÁMICA PROGRAMABLE PARA
SIMULAR CURVA DE DEMANDA RESIDENCIAL

ERICK MENESES RAMÍREZ
JOHAN CAMILO VILLAMIZAR PABÓN

TRABAJO DE GRADO DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

DIRECTOR
PhD(c) ALVARO ALYAMANI TRIANA RAMÍREZ Eng.

CODIRECTOR
PhD. YESID A. MUÑOZ MALDONADO Eng.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA EN ENERGÍA
BUCARAMANGA

2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Director de Proyecto de Grado

Firma Codirector de Proyecto de Grado

Firma Evaluador

Firma Evaluador

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios por brindarme la sabiduría y paciencia con que se realizó este proyecto. A mi familia por su apoyo incondicional y acompañamiento en todo mi proceso de formación, así como por sus palabras reconfortantes en cada tropiezo del camino. A mi compañero de proyecto de grado y amigo Johan Villamizar por trabajar hombro a hombro junto a mi y por la responsabilidad y compromiso que demostró en cada instancia del desarrollo de este proyecto.

Extendiendo un especial agradecimiento a Carlos Meza y Marvin Torres, laboratoristas de la Universidad Autónoma de Bucaramanga y quienes de buena voluntad ejercieron como asesores en el desarrollo de este proyecto, de no ser por la gran labor que desempeñaron y la forma en que nos acompañaron todo esto un hubiese sido posible. Finalmente agradezco a nuestro director Álvaro Alyamani Triana y a nuestro codirector Yecid Alfonso Muñoz por guiarnos, apoyarnos y aportarnos sus conocimientos.

Erick Meneses Ramirez

Dentro de este apartado tan importante como es el poder expresar cada agradecimiento, queremos expresar la gratitud con muchas personas que han sido clave fundamental en nuestro proceso de formación en nuestro pregrado, primero que todo queremos resaltar el esfuerzo y la ayuda que recibimos de nuestro director de proyecto PhD(c) Alvaro Alyamani Triana Ramírez Eng., quien con sus conocimientos nos guío por cada etapa de este proyecto, pidiendo culminar con los objetivos que nos habíamos propuesto. De igual manera queremos de ante mano agradecer a la Universidad Autónoma de Bucaramanga por abrirnos sus puertas y permitirnos formarnos como ingenieros en energía, además por brindarnos todas las herramientas, los recursos, las instalaciones, los laboratorios y el acompañamiento con toda su planta de docentes, que cada semestre nos brindó todos sus conocimientos y que hicieron posible que este proceso tuviera un feliz término. Igualmente, a los trabajadores del laboratorio Carlos Meza y Marvin Torres, por su entrega y empatía con nosotros y con el proyecto, por último, pero no menos importante, nuestra familia, compañeros y allegados, gracias a cada uno de ellos y de los principios que inculcaron en nosotros nos permitieron llegar hasta este punto, demostrando que todo el esfuerzo fue mutuo, asimismo correspondiendo con cada una de sus ayudas.

Fue un proceso arduo, de bastante esfuerzo. Pero hoy podemos decir que lo logramos y que este logro es por todos los anteriormente mencionados que creyeron en nuestra capacidad y se esforzaron por sacar nuestro potencial.

Johan Camilo Villamizar Pabón

Resumen

El siguiente trabajo de grado se realizó como una alternativa de equipo de medición y prueba para obtener el comportamiento real de carga en procesos de distribución de energía eléctrica dentro de un entorno académico. Por este motivo se construyó un banco de carga dinámica programable, que permite simular una curva de carga residencial y obtener datos de campo para el diseño preciso de instalaciones de alimentación eléctrica. El dispositivo funciona mediante un control por sistema Arduino que le permite trabajar con autonomía durante el tiempo que el usuario desee una vez ingresa los valores de carga con que desea trabajar y cuantas variaciones de esta quiere realizar.

El dispositivo permite realizar hasta cuarenta variaciones de carga que se deben acotar a los ocho valores de carga disponibles (250W, 500W, 750W, 1000W, 1250W, 1500W, 1750W y 2000W), las cuales son de tipo resistivo y que evidentemente generan un calor considerable, es por esto que el interior del dispositivo se encuentra revestido con un aislante de fibra de vidrio y ventiladores encargados de la refrigeración. Este proyecto pasó por varias opciones de diseño tanto del componente estructural como de programación, pero a través del proceso se logró plantear la opción más eficiente, sencilla y económica.

Palabras clave: Arduino, carga, resistivo, diseño, refrigeración, distribución de energía eléctrica.

Abstract

The following degree work was done as an alternative measurement and testing equipment to obtain the real load behavior in electrical energy distribution processes within an academic environment. For this reason, a programmable dynamic load bank was built, which allows simulating a residential load curve and obtaining field data for the precise design of power supply installations. The device works by means of an Arduino system control that allows it to work with autonomy during the time that the user wants once he enters the load values with which he wants to work and how many variations of this one he wants to make.

The device allows up to forty load variations that must be limited to the eight available load values (250W, 500W, 750W, 1000W, 1250W, 1500W, 1750W and 2000W), which are of the resistive type and which obviously generate considerable heat, which is why the interior of the device is lined with fiberglass insulation and fans for cooling. This project went through several design options for both the structural component and programming, but through the process was able to raise the most efficient, simple and economical.

Keywords: Arduino, load, resistive, design, cooling, electrical power distribution.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. JUSTIFICACIÓN.....	13
4. ALCANCES.....	14
5. MARCO TEÓRICO	15
5.1 PLC:	15
5.2 LOGO SIEMENS	16
5.3 CARGA FANTASMA	16
5.4 RELÉS / CONTACTORES	17
5.5 TEMPORIZADOR	18
5.6 ARDUINO.....	19
5.7 ACTUADORES Y PERIFÉRICOS DE SALIDA	19
5.8 RESISTENCIAS TUBULARES	20
5.9 LEY DE WATT	21
6. ESTADO DEL ARTE.....	23
6.1 “SIMULADOR DE CONSUMO” DE CODENSA: HERRAMIENTA CLAVE PARA SABER CÓMO AHORRAR ENERGÍA.....	23
6.2 SIMULADOR DE CONSUMO RESIDENCIAL AES EL SALVADOR.....	25
6.3 SIMULADOR DE CONSUMO DE ELECTRODOMESTICOS EDENOR	28
6.5 MÓDULO PORTÁTIL DE CARGA VARIABLE UTILIZANDO PLC LOGO!	30
6.5.1 PROCESO DE PROGRAMACIÓN.....	30
7. DISEÑO DEL DISPOSITIVO	33
7.1 PROCESO DE PROGRAMACIÓN.....	33
7.2 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.....	38
8. ANÁLISIS DE RIESGOS SURGIDOS EN EL DISEÑO	39
9. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO	40
9.1 PROCESO DE PROGRAMACIÓN.....	41
9.2 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.....	51
9.3 ETAPA DE PRUEBAS	54
9.3.1 ETAPA DE VERIFICACIÓN CON MULTÍMETRO Y PINZA AMPERIMÉTRICA	54
9.3.2 ETAPA DE COMPARACIÓN CON SENSORES DE ARDUINO	55
9.3.3 ETAPA FINAL DE PRUEBAS	57
10. CONCLUSIONES.....	59
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	64
ANEXO A- DIAGRAMAS.....	64

ANEXO B- ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA PARA PROYECTAR LA DEMANDA DE ENERGÍA	66
ANEXO C- ILUSTRACIONES DEL PROTOTIPO TERMINADO	68

INDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Dispositivo PLC</i>	15
<i>Ilustración 2 Carga fantasma</i>	17
<i>Ilustración 3 Relé</i>	17
<i>Ilustración 4 Temporizador</i>	18
<i>Ilustración 5 Arduino Mega</i>	19
<i>Ilustración 6 Resistencia Tubular</i>	21
<i>Ilustración 7 Interfaz 1 de simulador de consumo Codensa</i>	24
<i>Ilustración 8 Interfaz 2 Simulador de consumo Codensa</i>	24
<i>Ilustración 9 Interfaz 3 Simulador de consumo Codensa</i>	24
<i>Ilustración 10 Interfaz Simulador de consumo residencial AES</i>	27
<i>Ilustración 11 Interfaz Simulador de consumo de Electrodomésticos EDENOR</i>	29
<i>Ilustración 12 Jerarquía de programación</i>	30
<i>Ilustración 13 Diagrama de activación de salidas en LOGO!</i>	31
<i>Ilustración 14 Diagrama de activación de pantalla PLC en LOGO!</i>	31
<i>Ilustración 15 Apariencia previa pantalla PLC en LOGO!</i>	31
<i>Ilustración 16 Esquema de programación pantalla web server en LOGO!</i>	32
<i>Ilustración 17 Esquema Cade Simu circuito en serie</i>	35
<i>Ilustración 18 Circuito equivalente conexión serie</i>	35
<i>Ilustración 19 Precio de relé de estado sólido Fotek SSR-25 DA</i>	36
<i>Ilustración 20 Esquema Cade Simu circuito en paralelo</i>	36
<i>Ilustración 21 Circuito equivalente conexión en paralelo</i>	37
<i>Ilustración 22 Plano de caja contenedora</i>	39
<i>Ilustración 23 Estructura del Switch Case</i>	42
<i>Ilustración 24 Conexión de Arduino con Módulo RTC</i>	43
<i>Ilustración 25 Módulo I2C</i>	44
<i>Ilustración 26 Conexión entre Arduino I2C y LCD</i>	45
<i>Ilustración 27 Módulo ACS712-30A</i>	45
<i>Ilustración 28 Conexión de Arduino con ACS712-30A</i>	47
<i>Ilustración 29 Sensor de voltaje ZMPT101B</i>	48
<i>Ilustración 30 Conexión de Arduino con HC-06</i>	49
<i>Ilustración 31 Tarjeta microSD</i>	49
<i>Ilustración 32 Conexión de Arduino con módulo microSD</i>	50
<i>Ilustración 33 Logo de Serial Bluetooth de Arduino</i>	50
<i>Ilustración 34 Capturas del funcionamiento del Serial Bluetooth de Arduino</i>	51
<i>Ilustración 35 Vistas Frontal del prototipo</i>	52
<i>Ilustración 36 Disipación de calor en relés</i>	53
<i>Ilustración 37 Diferencia de corriente mostrada por el amperímetro y el sensor</i> ...	56
<i>Ilustración 38 Diferencia de voltaje mostrada por el multímetro y el sensor</i>	57
<i>Ilustración 39 Diferencia entre potencia esperada y potencia real</i>	58
<i>Ilustración 40 Diagrama Ladder para el funcionamiento de un PLC</i>	64
<i>Ilustración 41 Diagrama de entradas y salidas del Arduino Mega</i>	64

<i>Ilustración 42 Reóstato, resistencia variable</i>	65
<i>Ilustración 43 Esquema de la metodología empleada para proyectar la demanda de energía</i>	66
<i>Ilustración 44 Prototipo finalizado</i>	68

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Valor de resistencias y tolerancia</i>	34
<i>Tabla 2 Conexión entre módulos RTC DS1317 y Arduino</i>	43
<i>Tabla 3 Conexión entre módulos I2C y Arduino</i>	44
<i>Tabla 4 Verificación con multímetros</i>	54
<i>Tabla 5 Datos medidos por sensores</i>	55
<i>Tabla 6 Comparación de datos tomados por multímetros y sensores</i>	55
<i>Tabla 7 Diferencia de datos tomados por multímetros y sensores</i>	56
<i>Tabla 8 Prueba del módulo por un periodo de 20 horas</i>	58

GLOSARIO

Arduino: Plataforma de hardware libre basada en una placa con un microcontrolador, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

Carga fantasma: Dispositivo que se utiliza para simular una carga eléctrica, generalmente para fines de pruebas y/o medidas.

Demanda Eléctrica: Cantidad de energía eléctrica que una serie de consumidores necesitan para satisfacer sus necesidades.

Microcontrolador: Circuito integrado programable, capaz de ejecutar ordenes previamente grabadas en su memoria.

PLC: Controlador lógico programable utilizado en la industria como computadora para automatizar procesos electromecánicos.

Potencia Eléctrica: Proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico, es decir, la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado.

Programación: Es el proceso de tomar un algoritmo y codificarlo en una notación, un lenguaje de programación, de modo que pueda ser ejecutado por una computadora.

Relé: Dispositivo electromagnético que, estimulado por una corriente eléctrica muy débil, abre o cierra un circuito en el cual se disipa una potencia mayor que en el circuito estimulador.

Resistencia: Oposición que presenta un conductor al paso de la corriente eléctrica.

Salida digital: Permite al autómata programable actuar sobre los pre accionadores y accionadores que admitan ordenes de tipo todo o nada.

Sensor: Dispositivo que capta magnitudes físicas u otras alteraciones de su entorno.

Switch case: Tipo de mecanismo de control de selección utilizado para permitir que el valor de una variable o expresión cambie el flujo de control de la ejecución del programa mediante búsqueda y mapa.

1. INTRODUCCIÓN

En la industria de la generación eléctrica como parte de su proceso de renovación y actualización tecnológica, se hace necesario probar el comportamiento de los nuevos dispositivos que surgen en el mercado para desarrollar cada vez mejores y más eficientes procesos, dentro de los análisis de demanda y oferta en el marco del Mercado Mayorista y un sistema cada vez más flexible y exigente tendiente a redes y subsistemas inteligentes.

Uno de los principales inconvenientes de esta práctica es el no poder simular el comportamiento dinámico de una curva de demanda, pues actualmente el mercado está lleno de bancos de carga fija para pruebas o carga estática. Ahora bien, el uso de simuladores de carga dinámica es prácticamente nulo, también debido, a que no hay desarrollos de esta tecnología más que algunos intentos experimentales y académicos de aplicación reducida.

En diversos escenarios y a través de la más avanzada tecnología, el software de simulación para predicción de fenómenos es la herramienta predilecta para evaluar impactos en primera instancia sobre un diseño determinado y de la proximidad que este tenga de los parámetros reales depende la validez de la aproximación tomada y la información procesada. Aun así, la matriz ambiental, tecnológica o de inteligencia, por cercana que se tenga siempre genera rangos de incertidumbre considerable en muchas ocasiones clasificados como datos por fuera del comportamiento habitual, y muy poco veraces para la predicción de fenómenos como insumo para la toma de decisiones.

Por todo lo anterior y aunque con los bancos de pruebas actuales es posible conocer el comportamiento de un generador frente a un valor de carga específico, la industria necesita recopilar datos y analizar el comportamiento de los dispositivos generadores frente a un dispositivo que brinde una curva de carga dinámica, y que sea capaz de trabajar bajo una programación previa para que no necesite de un operario variando los valores establecidos de carga, sino que simplemente se inicie la prueba, se deje establecida durante el tiempo que sea necesario y al finalizar únicamente se recopilen los datos guardados del comportamiento del generador, respetando en lo posible la naturaleza de la carga y su variabilidad.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Construir un módulo de carga dinámica programable para simular una curva de demanda residencial, desde un dispositivo Arduino y que permita realizar modificaciones en la programación durante la marcha a través de la interfaz, logrando así generar una carga fluctuante en un tiempo determinado para realizar distintas pruebas en dispositivos de generación eléctrica y de estimación de consumo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar la distribución de resistencias para llegar a un valor de carga de 2 kW contando con cuatro ramales de carga acordes a la arquitectura del microcontrolador *Arduino* y buscando brindar rangos mínimos de espacio entre los diferentes valores de carga suministrados.
- Analizar la viabilidad y flexibilidad en las combinaciones de las resistencias dentro de la industria disponible y los efectos diferenciados generados por la implementación de un tipo de resistencia.
- Programar el microcontrolador *Arduino* de forma que se pueda maximizar la utilidad del dispositivo y por ende del módulo de carga.
- Construir el dispositivo portátil de carga de forma que pueda ser fácilmente adaptado y monitoreado para la realización de pruebas con diferentes tipos de dispositivos de generación eléctrica.

3. JUSTIFICACIÓN

Frente a la necesidad de probar la capacidad y eficiencia de los diferentes dispositivos de generación eléctrica de una manera que realmente asemeje el comportamiento de la carga cuya demanda necesitan satisfacer (teniendo especial énfasis en los pequeños aplicativos de generación de energía renovable, microrredes e incluso Smart grids), surge el diseño de las comúnmente llamadas cargas fantasma programables o en este caso una carga dinámica programable mediante un micro controlador *Arduino* que simule una curva de carga residencial.

Este tipo de dispositivos o equipos permitirán el desarrollo de investigaciones y pruebas de clase con base en predicción de consumo y demanda para estimar costos y comportamientos encaminados a la predicción de fenómenos de carga en la red eléctrica, además de establecer diferentes estimadores que el mercado de energía y su bolsa requieren para conocer a fondo el impacto de un usuario en el sistema.

El uso de un dispositivo que sea capaz de simular una curva de carga industrial o como en el caso de este proyecto una curva de carga residencial, dirigida específicamente al desarrollo de prácticas académicas, resulta de gran aplicabilidad por ser una necesidad esencial del laboratorio para poder predecir comportamientos de carga consumida en mercados de energía o en el tema de URE, que a la vez permita a los estudiantes de carreras afines al área de generación de energía, entender el comportamiento de las nuevas tecnologías renovables que surgen como alternativas de la generación en la matriz energética actual, brindando además un plus en el área de formación profesional fundamentando valiosas experiencias de desarrollo laboral.

4. ALCANCES

Los alcances del presente proyecto se pueden dar en términos de:

- Modificar la forma en que actualmente se realiza el dimensionamiento de instalación de los sistemas de generación eléctrica residencial, que hasta el momento es llevado a cabo mediante software diseñado con diferentes coeficientes y parámetros de cálculo no adaptables a las condiciones del ámbito nacional colombiano (clima por estaciones, rotación de la tierra, etc.). Por lo tanto, un módulo de carga variable puede ofrecer pruebas en tiempo real que permitan diseñar un dimensionamiento aplicable a necesidades específicas.
- Innovar en el sector energético colombiano a través de un dispositivo que brinde la posibilidad de simular el comportamiento de la demanda de energía eléctrica y que salga al mercado como herramienta de predicción y toma de decisiones para suplir la demanda energética principalmente del sector residencial.

5. MARCO TEÓRICO

Este proyecto estuvo sujeto a varios cambios durante sus etapas de diseño, dichos cambios de diseño se encuentran consignados en páginas posteriores dentro de lo que comprende el estado del arte, es por esto por lo que en el marco teórico se han tomado en cuenta conceptos concernientes tanto a los componentes que hoy configuran el proyecto como a aquellos componentes que fueron descartados.

5.1 PLC:

El "PLC" (Programmable Logic Controller, por sus siglas en inglés) es un dispositivo electrónico que se programa para realizar acciones de control automáticamente. Un PLC es un cerebro que activa componentes de maquinarias para que ejecuten tareas que pudieran ser peligrosas para el ser humano o muy lentas o imperfectas. Los PLC se usan en la actualidad en todo tipo de aplicaciones industriales, resolviendo requerimientos en control de procesos y secuencias de la maquinaria, dentro del sector industrial y ha penetrado las aplicaciones domésticas y comerciales con mayor auge en la última década.¹[1]



Ilustración 1 Dispositivo PLC²

¹ ("¿Qué es un PLC y para qué sirve?", 2015)

² Tomado de: ("LOGO! Micro PLC | Automation24", 2019)

5.2 LOGO SIEMENS

(LOGO)* Micro PLC es una familia de módulos lógicos para la automatización de los procesos de control fabricado por Siemens. El sistema se presta sobre todo para pequeñas tareas de control.

Base de cada sistema (LOGO)* es el relé lógico (LOGO)* Las aplicaciones deseadas se pueden programar fácilmente con el software (LOGO Soft Comfort)*. como interfaz de programación y para la transferencia de datos se puede utilizar cualquiera de sus interfaces USB o Ethernet. En cuanto a los módulos de ampliación de la familia (LOGO)*, se puede adaptar los componentes existentes de la instalación para ampliar según la necesidad. Para la conmutación sin zumbidos de grandes cargas del módulo lógico o micro PLC, Siemens ofrece el módulo de conmutación (LOGO Contact!)*³[2]

5.3 CARGA FANTASMA

Carga artificial, carga fantasma, antena fantasma o dummy load, son los distintos nombres que recibe el dispositivo objeto del presente artículo. Se trata de un elemento conectado en lugar de una antena para prueba y ajuste de transmisores, de tal manera que no se producen interferencias innecesarias durante los ajustes. Si un transmisor se prueba sin una carga, una antena o una carga artificial, puede resultar dañado. También, si un transmisor se ajusta sin estar conectado a una carga, funcionará de forma diferente cuando se conecte a la antena y los ajustes realizados serán incorrectos.

Una antena fantasma debe ser una resistencia pura, del mismo valor que la impedancia de salida del transmisor, normalmente 50 ohmios. La energía de radiofrecuencia disipada por la carga se transforma en calor, por lo que esta carga debe ser capaz de disipar toda la potencia que sea capaz de entregar el transmisor. Además, una carga fantasma ideal debe dar una Relación de Ondas Estacionarias de 1:1.⁴[3]

³ ("LOGO! Micro PLC | Automation24", 2019)

⁴ ("CARGA ARTIFICIAL", 2015)

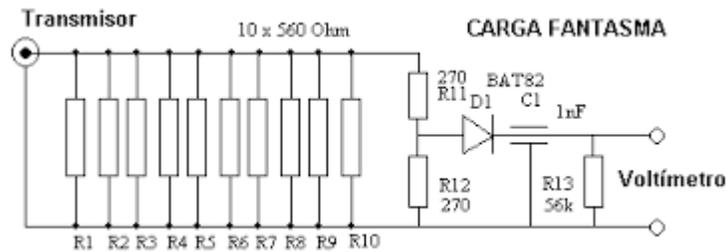


Ilustración 2 Carga fantasma⁵

5.4 RELÉS / CONTACTORES

Esos son interruptores que son controlados eléctricamente. Básicamente, su funcionamiento depende de una bobina por la que circula una corriente; ésta genera un campo magnético que mueve un elemento ferromagnético el cual a su vez abre o cierra un interruptor eléctrico. Los Relés y Contactores están presentes en todos los automatismos eléctricos.⁶[4]

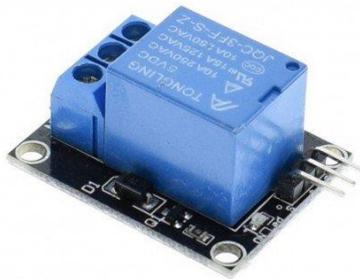


Ilustración 3 Relé⁷

⁵ Tomada de: ("CARGA ARTIFICIAL", 2015)

⁶ Morillo, J. (2014). *Investigacion: uso de los y bobinas en el campo de la ingenieria*. Cabudare, p.15.

⁷ Tomado de: tiendatec.es

5.5 TEMPORIZADOR

Un relé normal es un aparato eléctrico que funciona como un interruptor accionado eléctricamente, cuando le llega corriente a la bobina del relé los contactos abiertos se cierran y los cerrados se abren. Al dejar de llegarle corriente a la bobina del relé los contactos vuelven a su posición normal, estado inicial o de reposo. Para saber más visita: Relé.

Ahora bien, cuando la apertura o el cierre de los contactos de un relé dependen de un tiempo determinado después de activar o desactivar la bobina del relé, se llaman "Relés Temporizados" o Temporizadores Eléctricos o Timer Relays.

Con un relé temporizador podemos establecer el tiempo de conexión de cualquier elemento de salida de un circuito eléctrico, como por ejemplo una lámpara, un contactor, etc. El ejemplo más claro es el encendido y apagado automático de las luces de una escalera. En los automatismos se utilizan para programar la alimentación de los contactores que luego arrancarán los motores eléctricos.⁸ [4]

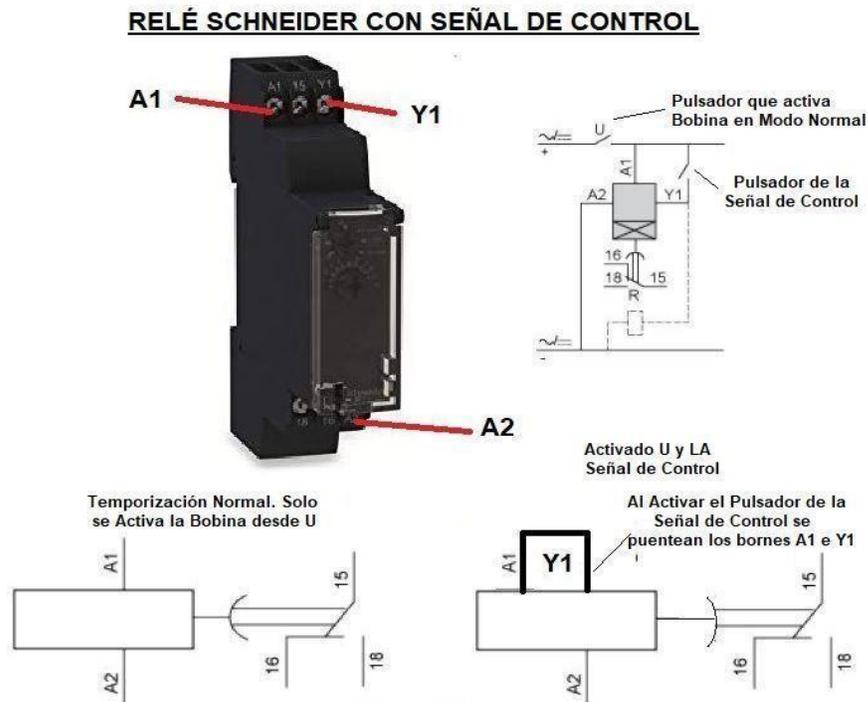


Ilustración 4 Temporizador⁹

⁸ "Relé Temporizador o Temporizado", *Areatecnologia.com*, 2016. [Online]

⁹ Tomado de: "Relé Temporizador o Temporizado", *Areatecnologia.com*, 2016. [Online]

5.6 ARDUINO

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso. También es una placa con todos los elementos necesarios para conectar periféricos a las entradas y salidas de un microcontrolador, y que puede ser programada tanto en Windows como macOS y GNU/Linux. Un proyecto que promueve la filosofía 'learning by doing', que viene a querer decir que la mejor manera de aprender es haciendo o como se dice en nuestro medio cacharreando.

“El Arduino Mega 2560 es una placa de microcontrolador basada en el ATmega2560 . Tiene 54 pines de entrada / salida digital (de los cuales 15 se pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP, y un botón de reinicio.”¹⁰[7]



Ilustración 5 Arduino Mega¹¹

5.7 ACTUADORES Y PERIFÉRICOS DE SALIDA

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre elemento externo. Este recibe la orden de un regulador, controlador o en nuestro

¹⁰ Arduino.cc. Arduino mega. [online]

¹¹ Arduino.cc. Arduino mega. [online]

caso un Arduino y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula.

Existen varios tipos de actuadores como son:

- Electrónicos
- Hidráulicos
- Neumáticos
- Eléctricos
- Motores
- Bombas

Periférico es la denominación genérica para designar al aparato o dispositivo auxiliar e independiente conectado a la unidad central de procesamiento o en este caso a Arduino. Se consideran periféricos a las unidades o dispositivos de hardware a través de los cuales Arduino se comunica con el exterior, y también a los sistemas que almacenan o archivan la información, sirviendo de memoria auxiliar de la memoria principal.

Ejemplos de periféricos:

- Pantallas LCD
- Teclados
- Memorias externas
- Cámaras
- Micrófonos
- Impresoras
- Pantalla táctil
- Displays numéricos
- Zumbadores
- Indicadores luminosos, etc...¹²[8]

5.8 RESISTENCIAS TUBULARES

Las resistencias tubulares ofrecen buenas características térmicas, eléctricas y mecánicas. Están compuestas de una funda o tubo de acero inoxidable con una masa aislante altamente comprimida en la cual está incrustada una resistencia de

¹² Arduino.cc. Arduino mega. [online]

hilo. Todos los materiales utilizados ofrecen máxima protección contra la corrosión.¹³



Ilustración 6 Resistencia Tubular¹⁴

5.9 LEY DE WATT

La Ley de Watt hace referencia a la potencia eléctrica de un componente electrónico o un aparato y se define como la potencia consumida por la carga es directamente proporcional al voltaje suministrado y a la corriente que circula por este. La unidad de la potencia es el Watt. El símbolo para representar la potencia es "P". Para encontrar la potencia eléctrica (P) podemos emplear las siguientes formulas:¹⁵[10]

Conociendo el voltaje y corriente:

$$P = V \times I$$

Donde:

P = potencia

V = voltaje

I = corriente

Conociendo la resistencia eléctrica y corriente:

$$P = R \times I^2$$

¹³ Electroequipos.co. Resistencias tubulares [online]

¹⁴ Electroequipos.co. Resistencias tubulares [online]

¹⁵ "Ley de Watt", *Mecatrónica LATAM*, 2015. [Online].

Donde:

P = potencia

R = resistencia

I = corriente

Conociendo el voltaje y la resistencia eléctrica:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Donde:

P = potencia

R = resistencia

V = voltaje

En las anteriores fórmulas únicamente se sustituyeron las incógnitas correspondientes empleando la fórmula de la ley de Ohm. Si la potencia eléctrica es positiva (+P) quiere decir que el componente electrónico está consumiendo energía. Si la potencia eléctrica es negativa (-P) quiere decir que el componente electrónico produce o genera energía (Baterías, generadores...). En la industria se expresa la potencia eléctrica mediante hp(E) que corresponde a caballos de fuerza eléctrico (Eléctrica horsepower). La equivalencia de esta unidad con el watt es:

$$1 \text{ HP} = 745.69987158227022 \text{ W}$$

Es común redondear a:

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$$

6. ESTADO DEL ARTE

6.1 “SIMULADOR DE CONSUMO” DE CODENSA: HERRAMIENTA CLAVE PARA SABER CÓMO AHORRAR ENERGÍA

- Esta herramienta digital les permite a los clientes tener una guía del consumo de energía por electrodoméstico y saber cuánto ahorrarían disminuyendo el uso de los mismos.
- El ‘simulador de consumo’ tiene en cuenta parámetros como el estrato, la cantidad de personas que habitan en cada hogar y el número de electrodomésticos que usan.

CODENSA, empresa del Grupo Enel, presenta una novedosa aplicación Web que le permite a los clientes simular el consumo de energía de los hogares en total o por electrodoméstico, teniendo en cuenta parámetros como el estrato, la cantidad de personas que habitan en la vivienda y el número de artefactos que se utilizan.

Esta aplicación, que fue creada en 2013, se convierte en una herramienta de gran utilidad ante la necesidad nacional de ahorro por la crisis energética actual. Con ella, las personas podrán tomar decisiones de ahorro, pues les permite saber cuánta energía están utilizando y cuánta estarían ahorrando, eliminando o disminuyendo el uso de ciertos electrodomésticos.

Para usarla, lo primero que se debe hacer es ingresar al siguiente link “https://www.enel.com.co/es/personas/servicio-al-cliente/calcula-gasto-electrica-con-el-simulador-de-consumo.html?ic_source=comunicado_simulador_consumo&ic_medium=link&ic_campaign=consumo_invisible” y una vez allí, escoger el estrato al igual que la cantidad de personas que viven en el hogar, entre otros datos necesarios para el cálculo. Una vez validados estos parámetros, se seleccionan los electrodomésticos que se tengan en cada vivienda, la cantidad estimada de tiempo de uso y la cantidad de aparatos. A medida que se agregan los electrodomésticos y los datos, la aplicación va calculando de manera inmediata el consumo total en kilowatios y el precio de este consumo.¹⁶

¹⁶ “Simulador de Consumo de Codensa: herramienta clave para saber cómo ahorrar energía”, Enel.com.co, 2016



Ilustración 7 Interfaz 1 de simulador de consumo Codensa¹⁷



Ilustración 8 Interfaz 2 Simulador de consumo Codensa¹⁸



Ilustración 9 Interfaz 3 Simulador de consumo Codensa¹⁹

¹⁷ Tomada de: Enel.com.co, 2016

¹⁸ Tomada de: Enel.com.co, 2016

¹⁹ Tomada de: Enel.com.co, 2016

Una vez conocido el consumo de cada electrodoméstico de la casa, dependiendo del tiempo que se utilice, las personas podrán tomar decisiones de ahorro más efectivas, restringiendo la utilización de los que más consumen energía o de los que no son tan necesarios.

El 'simulador de consumo' de CODENSA es fácil de usar, gratuito y se encuentra a disposición de todos sus clientes, el cual puede ser consultado en la siguiente dirección web "https://www.enel.com.co/es/personas/servicio-al-cliente/calcula-gasto-electrica-con-el-simulador-de-consumo.html?ic_source=comunicado_simulador_consumo&ic_medium=link&ic_campaign=consumo_invisible".

Codensa S.A. ESP, es una empresa dedicada a la distribución y comercialización de energía eléctrica, líder en el mercado, con más de dos millones de clientes en Bogotá, en 97 municipios de Cundinamarca, 8 en Boyacá y 1 en Tolima. Constituida en 1997, Codensa tiene una potencia instalada superior a 8.303 MVA (megavoltiamperios) a lo largo de 43.754 kilómetros de red de alta, media y baja tensión. La compañía genera cerca de 8.000 empleos directos e indirectos en el país.²⁰[11]

6.2 SIMULADOR DE CONSUMO RESIDENCIAL AES EL SALVADOR

Reducir el consumo de energía eléctrica es una de las necesidades más importantes de la población, en cuanto a la búsqueda del ahorro a través de la disminución del valor económico de este servicio en el hogar. En este sentido, impera el disponer de métodos e instrumentos prácticos que permitan determinar un cálculo objetivo del consumo de energía en una vivienda común.

El simulador de consumo residencial de las distribuidoras de energía eléctrica de AES El Salvador, CAESS, CLESA, EEO y DEUSEM, es una novedosa alternativa para que sus clientes residenciales sepan cómo hacer un uso eficiente de la electricidad y sean capaces de administrar su consumo de energía mediante la simulación gráfica del uso de aparatos eléctricos.

Asimismo, ofrece una noción del monto aproximado de la factura de energía de acuerdo a la conducta de consumo que se registra en el simulador. Para determinar este cálculo, la herramienta toma en cuenta la cantidad de kilovatios consumidos,

²⁰ "Simulador de Consumo de Codensa: herramienta clave para saber cómo ahorrar energía", Enel.com.co, 2016. [Online].

según los electrodomésticos utilizados en el simulador y la tarifa que rige el mercado eléctrico nacional, a través de las distribuidoras de energía.

El simulador de consumo residencial es un servicio práctico, que contribuye a fortalecer la cultura de consumo energético de los clientes de las empresas de AES El Salvador. Esta herramienta está disponible de forma gratuita en su página web: www.aeselsalvador.com

Los electrodomésticos que más consumen energía por usos finales y todo lo que puedes hacer para evitarlo

Según el Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética en El Salvador presentado por el CNE en el año 2016 con apoyo de CEPAL; especifica que el uso de los equipos y aparatos electrodomésticos han venido en aumento año con año debido al incremento de hogares y vivienda en las principales ciudades del País. Para el año 2013, los electrodomésticos que presentan mayor consumo específico (Kwh/año) en el sector Residencial son: las refrigeradoras, el televisor, y los ventiladores, esto es debido a su uso cotidiano y función que desempeña; las lavadoras, el microondas y el aire acondicionado presentan en los últimos años una tendencia de incrementado en su uso.

Otro dato que destaca el informe es que en el sector residencial las refrigeradoras presentan una tendencia en disminución por consumo específico en los últimos años, debido a varios factores, el primero hay mayor conocimiento de los usuarios de los equipos con mayor eficiencia, otro punto es el funcionamiento de reglamentos técnicos que limitan la entrada de equipos con poca eficiencia.

A la vista del panorama, ubicaremos a continuación el ranking de los aparatos de uso doméstico que más se utilizan en el hogar, los cuales son también los mayores consumidores de este sector; te brindamos además consejos útiles para ahorrar energía en tu hogar.²¹

²¹ "Un simulador para lograr ahorro energía | AES El Salvador", Aes-elsalvador.com, 2020. [Online].



Ilustración 10 Interfaz Simulador de consumo residencial AES²²

Porcentajes de Participación de los electrodomésticos que más se utilizan en los hogares. Fuente: DIGESTYC

TV LED de 37" | Potencia promedio: 90 watts

En un 38.4% es utilizado este equipo en los hogares. Ya sabrás que apagar el botón del televisor antes de ir a dormir (el dichoso «stand by») eleva el consumo de forma importante, pero aún hay muchos hogares que olvidan esta económica costumbre. Reúne a los miembros de la familia ante un mismo televisor cuando deseen ver el mismo programa.

Refrigerador tradicional (14-16 pies cúbicos) | Potencia promedio: 290 watts

Luego con un 29.4% son utilizadas las refrigeradoras en los hogares, resulta casi imposible ahorrar en un electrodoméstico de primera necesidad como este, pero podemos hacerlo, y de manera sencilla. En primer lugar, debemos asegurarnos de que la refrigeradora está en buenas condiciones de funcionamiento, ya que su estado nos puede suponer hasta el 25% de la energía consumida. Acciones tan simples como no dejar la puerta abierta más tiempo del necesario, asegurarnos de que hemos cerrado bien la nevera o controlar que la temperatura es la adecuada aliviarán nuestro bolsillo. Además, debes saber que introducir alimentos excesivamente calientes incrementa el «esfuerzo» del frigorífico por enfriar y consume más.

²² Tomado de: Aes-elsalvador.com, 2020.

Ventilador de 16" | Potencia promedio: 50 watts

El 17.7% es asociado al uso de este equipo por los usuarios residenciales. Los ventiladores son también importantes cuando se requiere una temperatura agradable. Por lo que es necesario darles un buen uso, limpiar las aspa del ventilador mejorara la circulación del aire, y si deseas invertir de ser posible es preferible que adquieras un ventilador de techo ya que son los de menor consumo energético.

Lavadora de 20-25 lb | Potencia promedio: 1200 watts

Es uno de los electrodomésticos que alivian una importante carga de trabajo en el hogar, es importante que conozcas algunos consejos que te ayudarán a hacer un uso eficiente de la lavadora y ahorrar tanto en la factura eléctrica, primero debes de comprar una lavadora con etiquetado energético de la clase más eficiente, aprovecha al máximo la capacidad de tu lavadora, procurando que trabaje a carga completa, además podrás ahorrar agua. Elige correctamente el mejor ciclo de lavado y muy importante todos los equipos requieren un buen mantenimiento. Un 7.1% hacen uso de estos equipos en las casas.²³[12]

6.3 SIMULADOR DE CONSUMO DE ELECTRODOMESTICOS EDENOR

El simulador de consumo de electrodomésticos es una herramienta digital para que los clientes residenciales de Edenor puedan hacer uso eficiente de la electricidad, administrando su consumo de energía mediante la simulación gráfica del uso de aparatos eléctricos.

Asimismo, ofrece una noción del cálculo aproximado del monto de la factura de energía de acuerdo con la conducta de consumo que se registra en el simulador.

Para ello toma en cuenta la estimación en base al consumo de electrodomésticos indicado por el usuario. Los valores indicados son estimativos en base a la tarifa 1 residencial, según el cuadro tarifario vigente (Resolución ENRE N° 208/2018).

La estimación del valor de la factura incluye impuestos: I.V.A. (21 %), contribución municipal (6,424 %) y contribución provincial (0,6424 %) en Gran Buenos Aires.

Los cálculos no incluyen descuentos por ahorro, tarifa social, saldos pendientes, tasa de alumbrado público, costos ocasionales y otros. El simulador no aplica a clientes con MIDE.

El simulador de consumo contempla los electrodomésticos típicos del mercado. El nivel de consumo de los mismos puede variar en base a la marca, el modelo, la

²³ "Un simulador para lograr ahorro energía | AES El Salvador", Aes-elsalvador.com, 2020. [Online].

antigüedad, la eficiencia y la tecnología del dispositivo; así como el ambiente en el cual se encuentra, su hábito de uso y el empleo de termostatos, relés u otros dispositivos de control.

El simulador de consumo de electrodomésticos es un servicio práctico, que contribuye a fortalecer la cultura de consumo eficiente de los clientes residenciales. Es un método e instrumento sencillo que permite determinar un cálculo objetivo del consumo de energía en una vivienda residencial, facilitando información respecto de los electrodomésticos que registran un mayor consumo energético en relación con otros.²⁴[13]



Ilustración 11 Interfaz Simulador de consumo de Electrodomésticos EDENOR²⁵

²⁴ "Calculá tu consumo eléctrico", www.grupoelectro.com, 2018. [Online]. Disponible en: <https://www.electroinstalador.com/calcula-tu-consumo-electrico-n193>.

²⁵ Tomado de: www.grupoelectro.com, 2018

6.5 MÓDULO PORTÁTIL DE CARGA VARIABLE UTILIZANDO PLC LOGO!

En el desarrollo del presente proyecto se elaboró la programación para el comportamiento de un simulador de curva de carga dinámica mediante la aplicación LOGO V8. Esta programación finalmente fue descartada debido a los altos costos que representaba trabajar con componentes PLC y la poca flexibilidad de su código. El proceso de diseño de programación para PLC permitió definir la jerarquía y estructura para las variables a programar, este tipo de implementación fue utilizado posteriormente en la etapa de programación en Arduino lo cual permitió resultados consistentes.

6.5.1 PROCESO DE PROGRAMACIÓN

El proceso llevado a cabo en LOGO V8 fue desarrollado con el objetivo de programar un PLC que operará como mente principal del prototipo funcional de simulación de carga, para poder realizar la programación primero fue necesario definir la lógica a utilizar y la jerarquía de variables que permitiese llegar a la implementación de un sistema temporizado capaz de activar las salidas de carga en unos rangos de tiempo de funcionamiento y reposo predeterminados. Llegando así a la conclusión de mantener el día de la semana como variable principal seguido del rango de tiempo en que se va a mantener la prueba y finalmente los intervalos de tiempo en que se está en funcionamiento o reposo dentro del tiempo global de la prueba, esta jerarquía se puede observar a continuación:



Ilustración 12 Jerarquía de programación

Tras haber definido la jerarquía de programación fue posible llevar a cabo el desarrollo de la programación de forma que cumpliera con los objetivos establecidos de funcionamiento para el ensamblaje del simulador de carga. En primer lugar, se llevó a cabo la programación de la activación de cargas contando con un temporizador semanal, un generador de impulsos asíncrono y la salida que se activaría en el PLC que en este caso sería la activación de un ramal de carga.

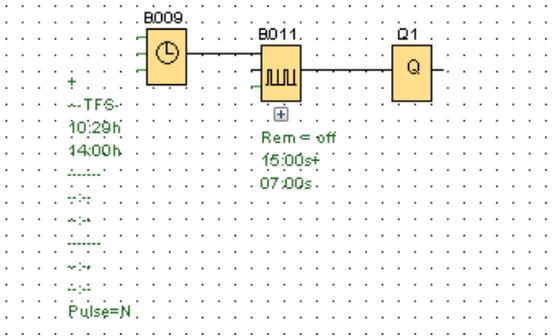


Ilustración 13 Diagrama de activación de salidas en LOGO!

Una vez establecida la activación de las diferentes salidas a utilizarse se realizó la programación de la información visible en la pantalla exterior del dispositivo PLC.

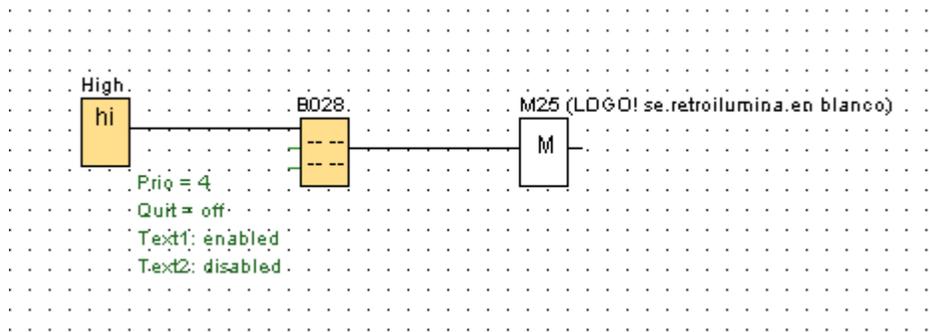


Ilustración 14 Diagrama de activación de pantalla PLC en LOGO!

Texto de aviso												
°C		AI		ON/OFF		Símbolo		00:00		Editar manualmente		
S	A	L	I	D	A	S	D	E	R	E	S	
S	A	L	I	D	A	1	:	Q1	0:	OFF		
									1:	ON		
S	A	L	I	D	A	2	:	Q2	0:	OFF		
									1:	ON		
S	A	L	I	D	A	3	:	Q3	0:	OFF		
									1:	ON		
S	A	L	I	D	A	4	:	Q4	0:	OFF		
									1:	ON		

Ilustración 15 Apariencia previa pantalla PLC en LOGO!

El paso siguiente, teniendo en cuenta que se quería elaborar un sistema que pudiera tener un método de modificación de parámetros aislado sin necesidad de reprogramar completamente el PLC, fue, realizar la programación de la pantalla extra conocida como web server desde la cual se puede realizar el cambio de parámetros accediendo a la misma desde un dispositivo móvil o en el computador

usado en la programación únicamente con la dirección IP que brinda el mismo dispositivo PLC. Además, fue necesario realizar la programación de un sistema de pantalla dinámica en el webserver de forma que los parámetros de cada salida independiente pudieran ser modificados en una pantalla diferente accediendo a las misma mediante un scroll de manera sencilla.

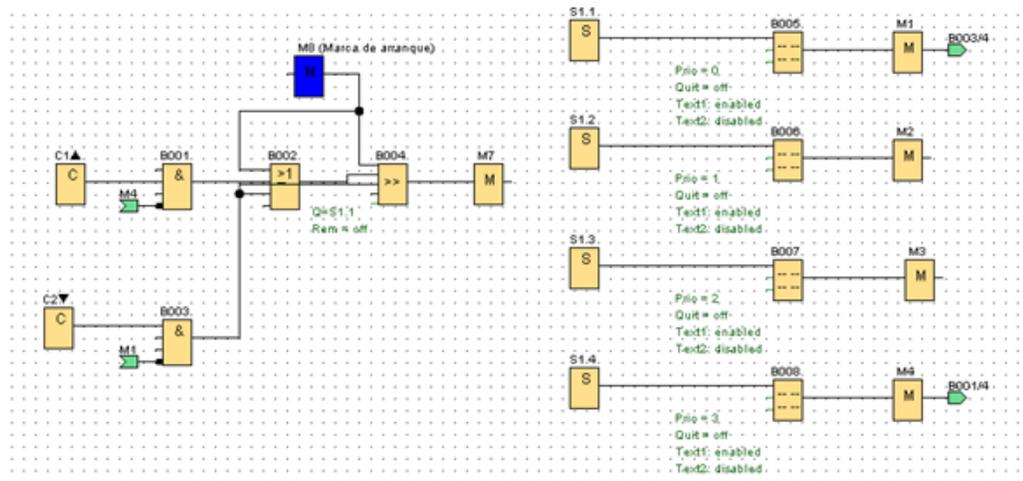


Ilustración 16 Esquema de programación pantalla web server en LOGO!

Llegados a este punto era necesario perfeccionar el sistema de programación para llegar a tener en lo máximo posible un sistema completamente automatizado que no necesitara de hacer cambios de parámetros en cada salida utilizada, sino que permita hacer un cambio general estableciendo el comportamiento de la curva de carga que se quería en un determinado tiempo y el sistema fuera capaz de asimilar dicho comportamiento y aplicarlo de principio a fin sin ningún tipo de intermitencia. Pero la poca flexibilidad aplicable a la programación no permitió que está fuera perfeccionada y finalmente terminó por descartar el uso de PLC como parte del proyecto.

7. DISEÑO DEL DISPOSITIVO

El diseño final del dispositivo está centrado en Arduino como matriz fundamental de control dado a que es un microcontrolador sofisticado el cual permite a través de sus líneas de código realizar procesos complejos de una manera sencilla y práctica sin contar con que brinda flexibilidad de personalización de cada función que se desea aplicar. En esta etapa también fue definida la forma en que sería ensamblado el dispositivo de manera que permitiera el flujo del calor producido por las resistencias sin llegar a ser demasiado protuberante.

7.1 PROCESO DE PROGRAMACIÓN

El proceso llevado a cabo para programar el sistema *Arduino* es desarrollado con el objetivo de instaurar el control automatizado del prototipo funcional de simulación de carga que se pretende realizar, con la capacidad de hacer variaciones de carga previamente programadas y de ejecutar cambios de carga de aplicación en tiempo real. Adicionalmente, se cuenta con sensores que permiten conocer el voltaje, la corriente y la potencia consumida por el simulador de carga. Cabe resaltar que la relación del usuario con el dispositivo se establece mediante un módulo bluetooth que permite enlazar un dispositivo externo tal como un teléfono desde el cual se preestablecen las condiciones de funcionamiento del módulo.

El sistema controlado por Arduino anteriormente mencionado se encargará de ejecutar mediante tiempos preestablecidos un sistema de alimentación eléctrica para resistencias tubulares mediante la utilización de relés de estado sólido, de esta manera se realiza un consumo de energía variable en el tiempo de acuerdo con las condiciones previamente establecidas por el usuario que se encuentra operando el dispositivo.

El primer paso es hacer un diseño de resistencias tubulares de manera que se establezca la forma más accesible para que las diferentes configuraciones abarquen la mayor variedad de consumos de carga. El diseño se planteó con un máximo de siete resistencias y de esta manera se llevó a cabo el cálculo para obtener la configuración óptima, llegando a la conclusión que se necesitaban los siguientes valores de resistencias: 25W 50W 100W 200W 400W 800W y 1600W, dado que con estos valores de resistencias era posible tener consumos de carga desde 25W hasta 3175W en intervalos de 25W. Posteriormente el diseño se vio sometido a cambios debido a la necesidad de reducir costos y paso a un diseño más modesto, optando solo por cuatro resistencias que permitieran ir hasta un máximo de 2000W. El cambio realizado en el diseño, si bien, causa que se tenga menos valores de carga y en rangos más distantes, sigue siendo un prototipo

aplicable como punto de referencia frente a la curva de demanda residencial en una zona aislada.

Para lograr la meta de los 2000W se utilizaron 4 resistencias tubulares de 250w, 500W, 1000 y finalmente otra de 250W. En la tabla 1 se muestra el valor de resistencia en ohmios así como la tolerancia de estas

Tabla 1 Valor de resistencias y tolerancia

Potencia (W)	Resistencia (Ω)	Tolerancia (Ω)
250	46,48	± 5
500	25,26	± 5
1000	12,09	± 5

Habiendo establecido la cantidad de resistencias que se utilizarían, sus valores y las combinaciones necesarias entre ellas para alcanzar los valores de carga deseados, el siguiente paso es establecer una configuración de alimentación eléctrica a las resistencias, llevada a cabo por relés. Para realizar el primer diseño se planteó un sistema en serie que necesitaba tres relés por cada carga que se quería activar, específicamente uno para alimentar la carga, otro para generar retorno tras tomar la carga y finalmente para saltar dicha carga en caso de ser necesario como se puede apreciar en la ilustración 17. Aun así, este diseño contaba con graves errores, por ejemplo, al momento de resolver el circuito nos daba una resistencia equivalente de 130 Ω como lo muestra la ilustración 18 y por ley de ohm donde:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{110 V}{130 \Omega} = 0,844 A$$

Donde:

I = corriente

V = Voltaje

R = Resistencia

Teniendo en cuenta que la corriente de circuito equivalente es menos de un amperio entonces:

$$P = V * I = 110V * 0,844 A = 92,85 W$$

Donde:

I = corriente

V = Voltaje

P = potencia

Dádonos como resultado que la potencia equivalente es menor a los 100 W.

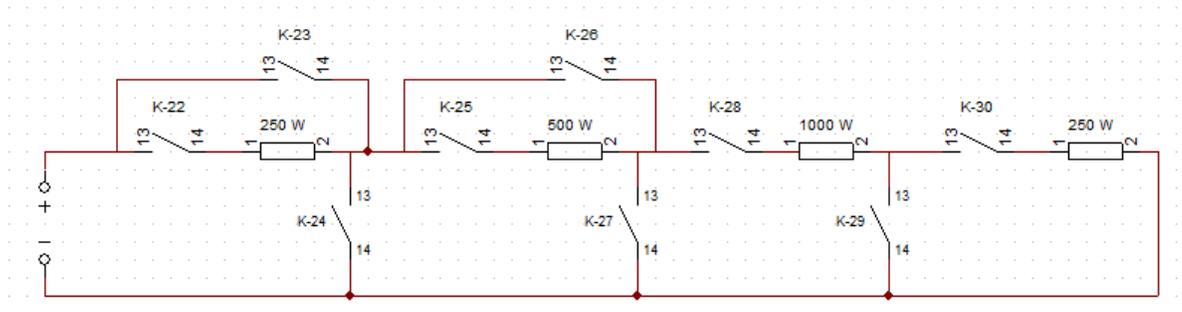


Ilustración 17 Esquema Cade Simu circuito en serie

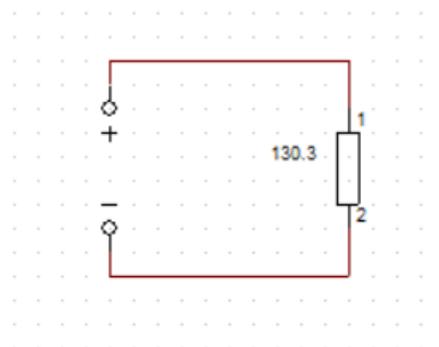


Ilustración 18 Circuito equivalente conexion serie

El segundo diseño que se planteó, esta vez en paralelo, logró solucionar el problema que se había presentado en el caso anterior, además, solucionó también otro problema de orden económico dado que en el diseño anterior se necesitaba un número elevado de relés como se parecía en la ilustración 18 cada relé cuenta con un precio de \$26000 pesos. El número de relés disminuyó de doce a cuatro, generando alivio tanto económico como de facilidad de conexión y uso del espacio como se puede ver en la ilustración 19.



Rele De Estado Solido Ssr-25 Da 25a 24-380vac
Fotek Arduino

★★★★★ 1 opinión

\$ 26.000

Stock disponible

36 cuotas de \$ 722



[Ver los medios de pago](#)

Envío a nivel nacional

Conoce los tiempos y las formas de envío

[Calcular cuándo llega](#)

Ilustración 19 Precio de relé de estado sólido Fotek SSR-25 DA²⁶

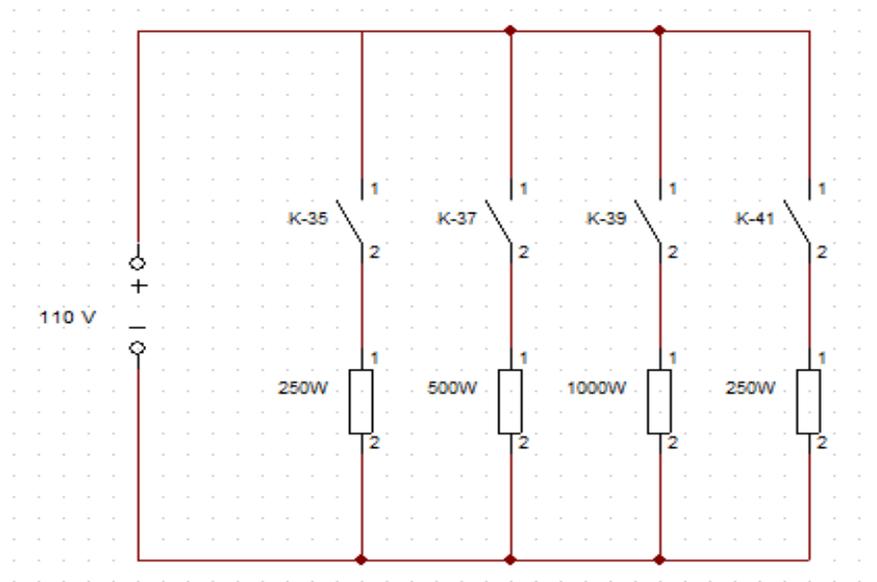


Ilustración 20 Esquema Cade Simu circuito en paralelo

Como en el caso anterior se procedió a hacer el circuito equivalente de la conexión en paralelo como se muestra en la ilustración 20 donde dio una resistencia equivalente de $6,22 \Omega$.

²⁶ Tomado de: Mercadolibre.com.co

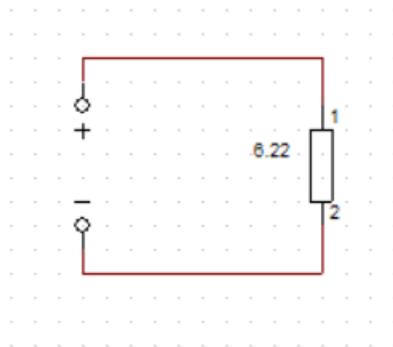


Ilustración 21 Circuito equivalente conexión en paralelo

Con la resistencia equivalente se procedió al calculo de la potencia total de modulo donde:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{110 V}{6.22 \Omega} = 17,68 A$$

Donde:

I = corriente

V = Voltaje

R = Resistencia

Teniendo en cuenta que la corriente de circuito equivalente se procede a calcular la potencia con la ley de watt:

$$P = V * I = 110V * 17,68 A = 1945,33 W$$

Donde:

I = corriente

V = Voltaje

P = potencia

Dándonos como resultado que la potencia equivalente de 1945,33 W, esta muy cerca de los 2000 W pero debido a la tolerancia de las resistencias (Tabla 1) el valor se cae un poco.

Una vez se finaliza y se tiene claro el diseño de conexión se procede a modificar la programación identificando cada relé como una salida digital del Arduino. Se hace una programación de todas las combinaciones posibles y se crea una base de datos donde se dan unos parámetros de activación establecidos de relés para cada valor de carga ingresado, el siguiente paso en la programación se hace con el módulo reloj de Arduino que será el protagonista de la programación debido a que si no se cumplen las fechas y horas estipuladas por el usuario el banco simulador de carga no se activará. Adicionalmente, se realiza el acople de programación a los sistemas periféricos tales como pantallas, módulos de Bluetooth y demás componentes de instrumentación tales como medidores de voltaje y corriente.

Finalmente se construye una interfaz que sea fácil de entender para el usuario y mediante la cual se integre el sistema de activación del dispositivo y la lectura de los datos que brindan los dispositivos de instrumentación; de esta manera se tendrá un manejo estable y libre de contratiempos del prototipo.

7.2 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

Para la etapa de construcción se ha diseñado un montaje en compartimiento metálico equipado de aislamiento térmico y un sistema de extracción de calor que consta de tres ventiladores, de manera que permita la interacción del usuario a bajo riesgo de quemadura debido a las altas temperaturas alcanzadas por las resistencias. En un compartimento adjunto se encontrarán el área de control automático del sistema que como anteriormente se ha mencionado está compuesto por el sistema *Arduino*. El montaje se realizará en una caja de acero galvanizado de 80 cm de alto 50 cm de ancho y 40 cm de profundidad, en un espacio de 20 cm en la parte inferior se almacenará todo el sistema de control de Arduino y en los 60 cm restantes se encontrarán las resistencias aisladas térmicamente como se muestra en la ilustración 20. El dispositivo será de fácil movilidad gracias a que cuenta con una base con ruedas ajustable a su tamaño, además, el dispositivo será adaptable a diferentes tecnologías para no sesgar la flexibilidad de este en diferentes implementaciones de generación eléctrica, cabe resaltar que estas conexiones son de estilo monofásico así que no se le pueden acoplar generaciones trifásicas.

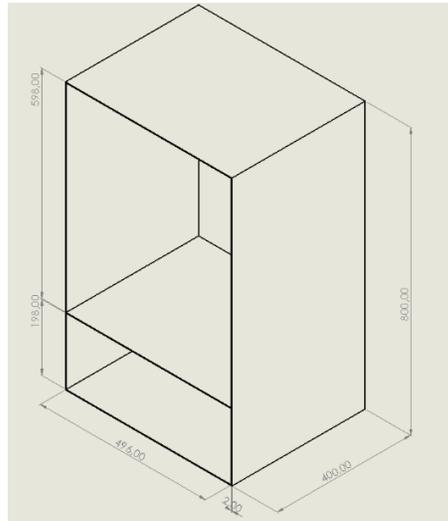


Ilustración 22 Plano de caja contenedora

8. ANÁLISIS DE RIESGOS SURGIDOS EN EL DISEÑO

El desarrollo del módulo de carga variable se puede dividir en dos etapas fundamentales, centradas en el área de programación y la construcción del componente físico. Por lo tanto, en el momento en que se establece un diseño es posible que surjan inconvenientes que deben ser abordados y solucionados en el proceso de construcción de un prototipo final, en este caso en particular los principales riesgos a abordar fueron:

1. En la etapa de programación existe la necesidad de desarrollar una interfaz que permita al usuario establecer una comunicación sencilla y eficiente con el sistema Arduino. El riesgo presente en este periodo del desarrollo se centra en la dificultad comprendida en el desarrollo de la interfaz mencionada anteriormente dado que esta requiere un extenso tiempo de trabajo y elevadas habilidades de programación en Arduino. Aun así, existe la posibilidad de sobrellevar este inconveniente planteando el uso de una interfaz básica ya existente pero que siga brindando las mismas ventajas al usuario.

Esta interfaz es “Serial Bluetooth Terminal” y permite controlar de manera remota el Arduino brindando al usuario de forma cómoda el control total sobre el dispositivo, además, esta interfaz se usa únicamente como medio de comunicación pues todo su funcionamiento sigue siendo programado desde el código principal realizado para todo el dispositivo y de esta manera que cumpla su función sin extralimitar las funciones del simulador.

2. Por otra parte, en la etapa de construcción, el riesgo latente consistió en la incertidumbre frente al espacio utilizado por los componentes del prototipo y

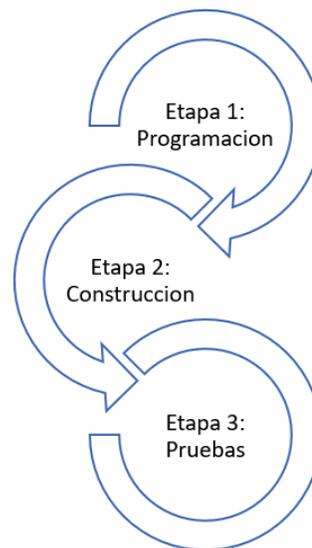
la elección del correcto aislante para disminuir la transferencia de calor al exterior del dispositivo, en este caso un error sobre el manejo del equilibrio térmico podría estropear el desarrollo completo del sistema y poner en riesgo también la integridad de los componentes del sistema Arduino. Por lo tanto, fue necesario realizar un correcto estudio de las posibilidades presentes que permitan tomar las mejores decisiones sobre la etapa de construcción del dispositivo.

Para solucionar estos inconvenientes se solicitaron al fabricante de las resistencias las medidas exactas con que contarían las mismas, en base a la carga para la cual están diseñadas, de esta forma se pudo realizar el dimensionamiento del espacio necesario para albergarlas.

En el caso del aislamiento térmico se seleccionó lana de vidrio que, debido a su baja conductividad, de específicamente 0.035 W/m.K permite mantener a bajas temperaturas las paredes metálicas exteriores del dispositivo, adicionalmente, se diseñó un flujo de aire constante impulsado por tres ventiladores que permiten refrigerar el interior del dispositivo.

9. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO

La metodología que se desarrolló para llevar a cabo el desarrollo del presente proyecto consta de tres etapas, en las cuales se gestiona la programación, construcción y etapa de pruebas para corregir errores del dispositivo.

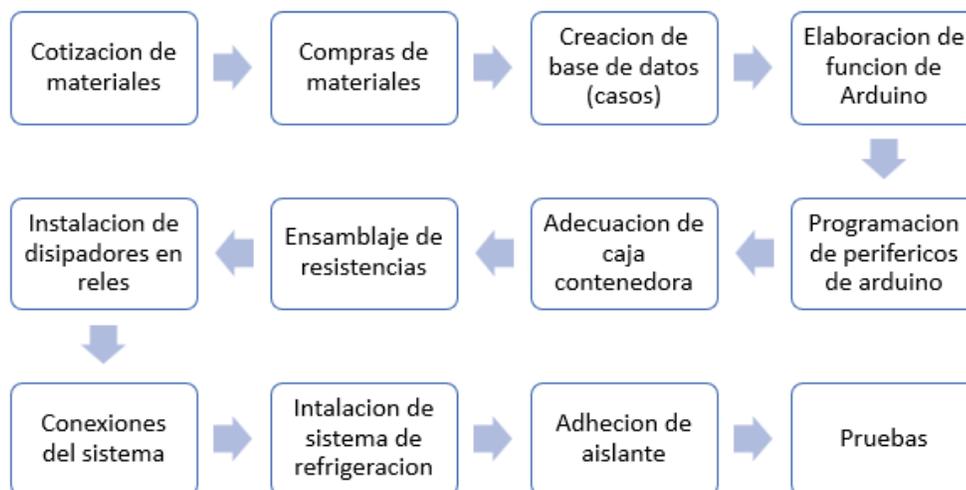


Las etapas de la metodología únicamente pueden ser cumplidas de manera exitosa si se sigue un conjunto de actividades necesarias para albergar todas las necesidades en los diferentes procesos comprendidos por el dispositivo, dicho compendio de actividades se ve a continuación.

9.1 PROCESO DE PROGRAMACIÓN

La lógica de programación parte de la necesidad de un código que sea capaz de leer un determinado valor de entrada y compararlo de inmediato con un parámetro de tiempo para generar la correspondiente activación o cierre de salidas digitales hacia periféricos externos. En otros términos, la necesidad principal es asimilar el valor de entrada correspondiente a la carga resistiva que se desea activar, compararlo con los parámetros de tiempo en que se mantendrá activo y posteriormente se activará una salida digital dirigida a un relé que alimentará la carga.

Para generar una programación impecable, fue necesario crear una función, dicha función llamada “Void carga” está diseñada para leer el valor de entrada suministrado por el usuario e ingresarlo en una herramienta de programación conocida como switch case (ilustración 23), cada vez que dicha función sea llamada. El switch case concretamente es una base de datos que contiene cada valor de carga que se puede activar y en cada ocasión que la función Void carga recibe un valor de entrada genera una comparación de dicho valor con cada uno de los valores almacenados en el switch case. Cuando se encuentra el valor espejo dentro de la base de datos se realiza la activación de salida digital, aunque claro está, primero se debe realizar la verificación de fecha y hora.



```

switch (var) {
  case label1:
    // statements
    break;
  case label2:
    // statements
    break;
  default:
    // statements
    break;
}

```

Ilustración 23 Estructura del Switch Case

Para el siguiente paso en la programación se hace indispensable el módulo reloj de Arduino que será el actor principal debido a que, si no se cumplen las fechas y horas estipuladas por el usuario, el banco simulador de carga no se activará. La forma para corroborar el cumplimiento de los parámetros de fecha y hora se genera dentro de cada caso del switch case mencionado anteriormente, por lo tanto, aunque el valor espejo sea encontrado la salida digital no será activado hasta que se cumpla el condicional de fecha y hora. Para que el módulo reloj funcione correctamente primero se debe agregar la librería Time que contiene dos archivos de dependencia para el correcto funcionamiento del módulo, para esto se utilizó el Módulo RTC (Real Time Clock) DS1307.

Agregar el módulo El RTC al Arduino es como proporcionarle un reloj y un calendario para incluirlo dentro del código, con el DS1307 el Arduino sabrá la hora exacta en horas, minutos y segundos. También es posible saber el día, mes, y año. EL DS1307 tiene implementado su calendario hasta el año 2100 y tiene en cuenta también los años bisiestos. La comunicación entre el Arduino y el Módulo RTC es por I2C (pines SDA y SCL), además, cuenta con un pin (SQ) que envía un pulso cada segundo (1 Hz), el cual permite sincronizar otros componentes o realizar un contador de segundos.

Al reverso del módulo reloj se encuentra un socket para insertar una batería de 3V, que le permite al RTC mantener en funcionamiento la hora y fecha cuando se apague el Arduino o se le quite la alimentación principal. Esta batería dependiendo de la marca y del tiempo apagado, puede durar desde los 3 hasta los 10 años aproximadamente. Este módulo cuenta con una memoria no volátil, una EEPROM AT24C32 con capacidad para 32Kbit o 4Kbytes la cual se comunica con el Arduino a través del bus I2C, bus que comparte con el DS1307, de esta forma sólo son necesarios dos pines del Arduino para controlar el RTC y EEPROM del módulo.

Tabla 2 Conexión entre módulos RTC DS1317 y Arduino

Adaptador LCD a I2C	Arduino Uno, Nano, Mini.	Arduino Mega , DUE	Arduino Leonardo
SCL	A5	21	3
SDA	A4	20	2
VCC	5V	5V	5V
GND	GND	GND	GND
SCL	A5	21	3

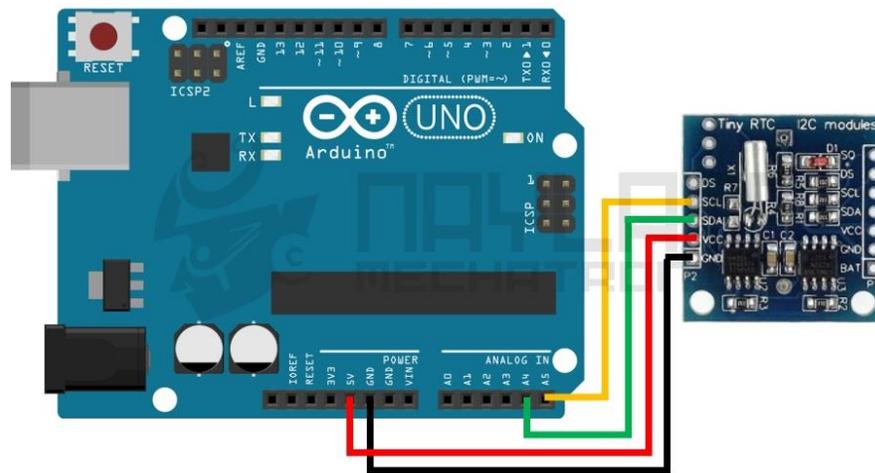


Ilustración 24 Conexión de Arduino con Módulo RTC

Posteriormente, se programan los demás periféricos como la pantalla que se conectará a Arduino mediante el módulo I2C que está basado en el controlador I2C PCF8574, el cual es un expansor de entradas y salidas digitales. Por el diseño del PCB este módulo se usa especialmente para controlar un LCD Alfanumérico. La dirección I2C por defecto del módulo puede ser 0x3F o en otros casos 0x27. es muy importante identificar correctamente la dirección I2C del módulo, pues de otra forma nuestro programa no funcionará correctamente. Para identificar la dirección específica del módulo se utilizó el sketch de prueba llamado I2C Scanner, el cual permite identificar la dirección I2C del dispositivo conectado a Arduino.



Ilustración 25 Modulo I2C

Para controlar el contraste de los dígitos en el LCD sólo se necesita girar el potenciómetro que se encuentra en el módulo, hasta quedar conformes con el contraste que este mostrará.

La luz de fondo se controla principalmente por software desde el Arduino, pero el módulo también permite desconectar el Led de la luz de fondo removiendo un jumper LED. El adaptador LCD a I2C cuenta con los pines ordenados para conectar directamente al LCD, esto se puede hacer a través de un protoboard o soldando directamente al LCD. Para conectar el módulo con el Arduino únicamente es necesario usar los pines I2C del Arduino (SDA y SCL) y alimentación (GND y 5V).

Tabla 3 Conexión entre módulos I2C y Arduino

Adaptador LCD a I2C	Arduino Uno, Nano, Mini.	Arduino Mega , DUE	Arduino Leonardo
GND	GND	GND	GND
VCC	5V	5V	5V
SDA	A4	20	2
SCL	A5	21	3

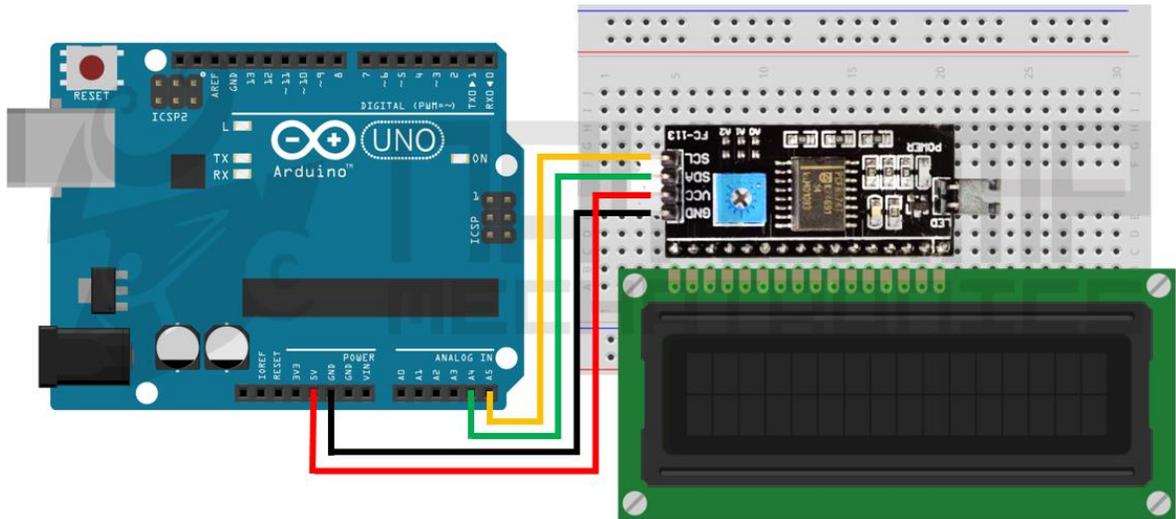


Ilustración 26 Conexión entre Arduino I2C y LCD

Adicionalmente el dispositivo cuenta con un sensor de corriente ACS712, el cual internamente trabaja con un sensor de efecto hall que detecta el campo magnético producido inducción de la corriente que circula por la línea que se está midiendo; el sensor entrega una salida de voltaje como método de comunicación con el sistema Arduino proporcional a la corriente que está midiendo. Se utilizó el sensor ACS712-30A dado a que como su nombre lo indica soporta un rango de 30 amperios, lo cual es ideal teniendo en cuenta las altas corrientes que puede generar esta aplicación. El ACS712 se puede encontrar en módulos, que facilitan su conexión y a su vez traen una bornera para conectar la línea que se quiere medir y 3 pines, dos para conectar la alimentación y un pin para la salida analógica.

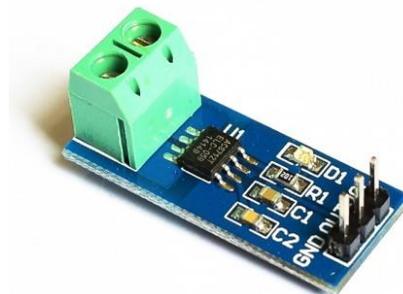


Ilustración 27 Módulo ACS712-30A

El rango de corriente que se puede medir y la sensibilidad varían dependiendo del modelo integrado, en este caso el rango es desde -30A hasta 30A con una sensibilidad de 66 mV/A.

El sensor entrega un valor de 2.5 voltios para una corriente de 0A y a partir de allí se incrementa proporcionalmente de acuerdo con la sensibilidad, teniendo una relación lineal entre la salida de voltaje del sensor y la corriente. Dicha relación es una línea recta en una gráfica Voltaje vs Corriente donde la pendiente es la sensibilidad y la intersección o cruce con el eje Y se da en 2.5 voltios. La ecuación de la recta sería la siguiente:

$$V = mI + 2,5$$

Donde:

M= sensibilidad

V = voltaje

I = corriente

Donde la pendiente es m y equivale a la sensibilidad, luego despejando se tendrá la ecuación para hallar la corriente a partir de la lectura del sensor:

$$I = \frac{V - 2,5}{Sensibilidad}$$

Donde:

Sensibilidad = sensibilidad

V = voltaje

I = corriente



Ilustración 28 Conexión de Arduino con ACS712-30A

Aparte del sensor mencionado anteriormente, el dispositivo también cuenta con un sensor de voltaje, el módulo transformador de voltaje alterno ZMPT101B permite medir voltaje alterno como el que se tiene en cualquier hogar, este voltaje AC no puede ser medido directamente por el ADC de Arduino pues escapa al rango de entrada (0V a 5V). El módulo ZMPT101B soluciona el problema reduciendo el voltaje AC de entrada a un voltaje menor que pueda ser leído por el Arduino o cualquier otro microcontrolador.

El módulo está integrado por un transformador que cumple la función de aislamiento galvánico para mayor seguridad en el uso. El lado primario del transformador se conecta al voltaje alterno que se desea medir. En el lado secundario del transformador se encuentra un divisor de tensión y un circuito con amplificador operacional (OPAMP LM358) para adicionar un desplazamiento (offset) a la salida análoga.

Soporta voltajes de entrada de hasta 250VAC y entrega una onda senoidal de amplitud regulable por un potenciómetro en placa. La onda senoidal de salida está desplazada positivamente para que la onda no tenga voltajes negativos y así poder leer la onda completamente con el ADC. El desplazamiento depende del voltaje con el que se alimente el módulo: si el voltaje de alimentación es de 5V el desplazamiento será de 2.5V y si el módulo es alimentado con 3.3V el desplazamiento será de 1.65V. El circuito de acondicionamiento de señal permite que el voltaje de salida del módulo pueda ser leído por cualquier microcontrolador con entrada analógica (ADC), de esta forma es posible leer el voltaje instantáneo y realizar cálculos de energía, como: voltaje pico a pico (V_{pp}) y voltaje eficaz (V_{rms}).

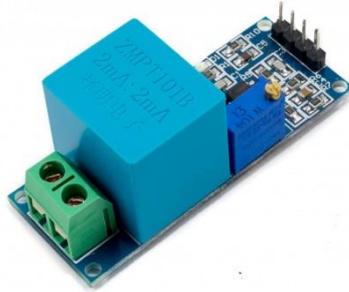


Ilustración 29 Sensor de voltaje ZMPT101B

Para la comunicación inalámbrica se optó por un módulo bluetooth HC-05, este módulo se comporta como un esclavo, esperando particiones de conexión, si algún dispositivo se conecta el HC-05 transmite a éste todos los datos que recibe del Arduino y viceversa.

De igual forma el HC-05 cuenta con 4 pines que son:

- Vcc, Voltaje positivo de alimentación, en este caso es necesario tener cuidado porque hay módulos que solo soportan voltajes de 3.3V, aun así, la mayoría de ocasiones ya vienen acondicionados para que trabajen en el rango de 3.3V a 6V, es por esto que es recomendable revisar los datos técnicos del módulo antes de hacer las conexiones
- GND, Voltaje negativo de alimentación, se tienen que conectar al GND del Arduino o al GND de la placa que se esté usando.
- TX, Pin de Transmisión de datos, por este pin el HC-06 transmite los datos que le llegan desde la PC o Móvil mediante bluetooth, este pin debe ir conectado al pin RX del Arduino
- RX, pin de Recepción, a través de este pin el HC-06 recibirá los datos del Arduino los cuales se transmitirán por Bluetooth, este pin va conectado al Pin TX del Arduino

Para cargar el programa al Arduino, se desconectan los pines RX0 y TX0 del mismo, pues internamente su arquitectura trabaja con los mismos pines para cargar el programa y estando conectados al módulo Bluetooth, no los dejará cargar (para evitar este inconveniente se puede usar el software serial y usar otros pines).

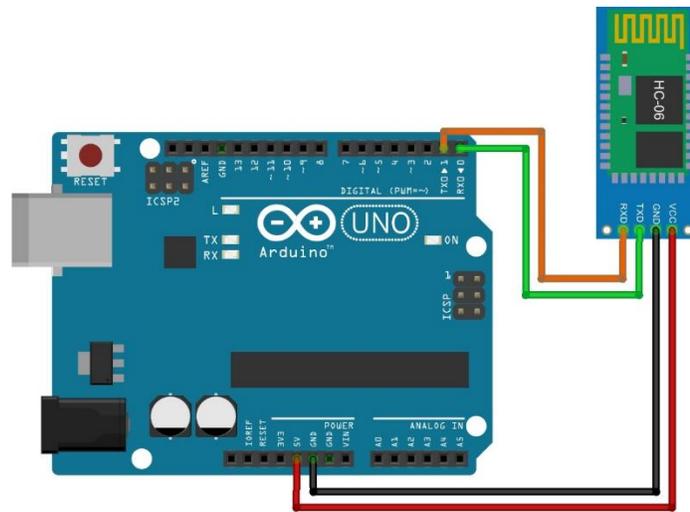


Ilustración 30 Conexión de Arduino con HC-06

Para el fácil almacenamiento de la información proporcionada por el Arduino proveniente de la compilación de datos como la corriente, el voltaje y la potencia en un momento específico de tiempo, se utilizó el módulo de memoria microSD. Las memorias microSD son las más usadas por dispositivos portátiles, por su gran capacidad y su reducido tamaño, debido a su gran demanda son fáciles de conseguir en diferentes capacidades y precios. Estas características brindan una buena alternativa de almacenamiento para usarlo en Arduino, sobre todo cuando es necesario guardar gran cantidad de información, por ejemplo, en este caso el módulo está programado para guardar lecturas de datos cada treinta segundos.

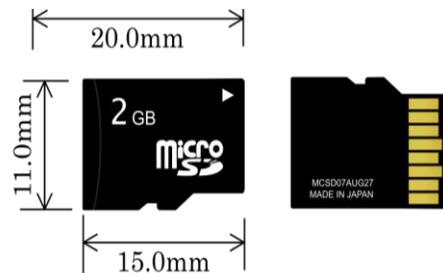


Ilustración 31 Tarjeta microSD

Con respecto al formato es posible encontrar 4 tipos, las tarjetas SD o SDSC (Standard Capacity), SDHC (High Capacity), SDXC (Extended Capacity) y las SDIO (Input/Output), en el caso de Arduino es posible trabajar con los dos primeros tipos. La comunicación de la memoria es por SPI, sin embargo trabajan con 3.3V, de manera que para utilizarlo con Arduino se hacen necesarios módulos externos que aparte de tener el socket cuentan con los componentes necesarios para adaptar los voltajes a TTL y poder realizar la conexión de forma fácil al Arduino.

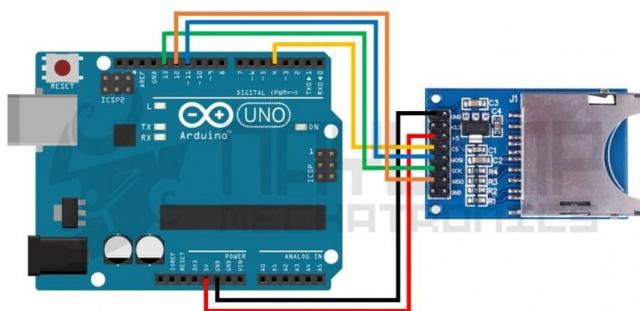


Ilustración 32 Conexión de Arduino con módulo microSD

Finalmente se implementa una interfaz que sea fácil de entender para el usuario y mediante la cual se integre el sistema de activación del dispositivo y la lectura correspondiente al estado de funcionamiento en tiempo real. La aplicación utilizada es Serial Bluetooth Terminal, esta es una aplicación que brinda la oportunidad de realiza una conexión directa con el modulo HC-05 de Bluetooth y establecer un medio de comunicación entre el usuario y el Arduino. La forma de implementar esta herramienta es programando en el código principal del sistema un protocolo de comunicación que solicite al usuario datos de activación de cargas, una vez recibidos dichos datos la programación reescribe la función Void carga con los caracteres obtenidos y genera la comparación dentro del switch case. Posteriormente el sistema solicita el valor de fecha y hora y verifica los condicionales regidos por el módulo de reloj para poder realizar la activación de salidas digitales.

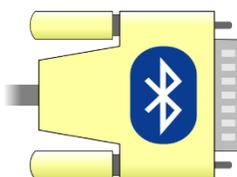


Ilustración 33 Logo de Serial Bluetooth de Arduino²⁷

La interfaz permite observar que carga se encuentra activa y en qué hora exacta realizó su activación, en caso de que el usuario se encuentre retirado de la pantalla existente en el dispositivo podrá llevar un control básico de la operación desde el dispositivo móvil siempre y cuando no se pierda la conexión vía Bluetooth. La visualización de la interfaz y el modo de comunicación con el usuario se observa a continuación:

²⁷ Tomado de: Play Store

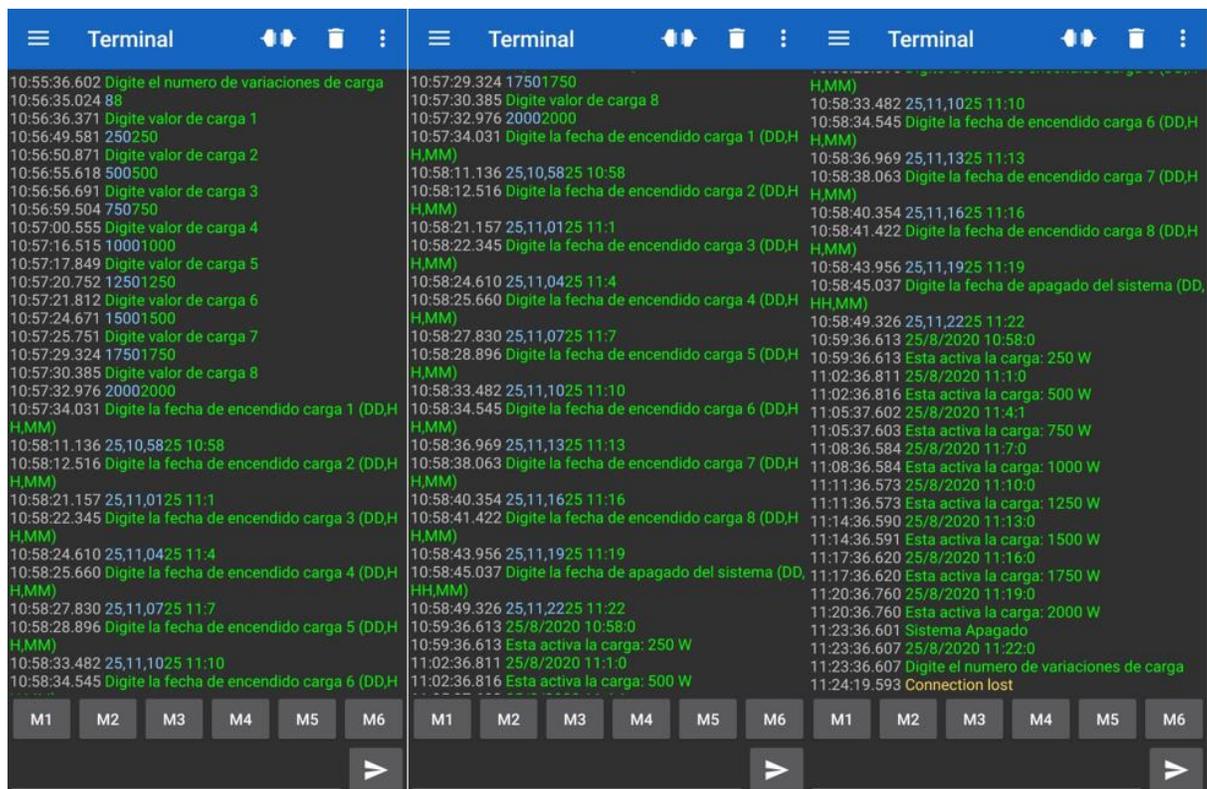


Ilustración 34 Capturas del funcionamiento del Serial Bluetooth de Arduino

La aplicación de serial bluetooth se puede descargar a dispositivos móviles desde la PlayStore de Google esta representada por el icono de la ilustración 33. Al momento de iniciar la aplicación muestra es estado del modulo reloj y el módulo bluetooth si están bien conectados o si hay un fallo en estos, seguidamente pregunta el numero de cargas que se desee activar de 1 carga hasta 40 cargas que es el máximo posible debido a la capacidad de almacenamiento de Arduino, después pedirá datos como el valor de la cargas que se van a activar, la hora de hacerlo y el momento de apagado del módulo, finalmente automáticamente muestra que carga esta activa y a que hora fue activada como se muestra en la ilustración 34.

9.2 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

El montaje del prototipo está centrado en una estructura principal constituida por una caja metálica, cuyas propiedades de conductividad térmica puedan ser aprovechadas acorde con las altas temperaturas que pueden generar las resistencias en un lapso considerable de tiempo. Las dimensiones de la caja son: 80 cm de alto, 50 cm de ancho y 40 cm de profundidad, adicionalmente, cuenta con una división horizontal a 20 cm de altura que separa la sección inferior que alberga la parte de control del sistema y una sección superior donde están las resistencias.

La sección superior, es decir, el compartimiento de las resistencias está recubierto por aislante, que es lana mineral de fibras de vidrio aglomeradas con resina

termorresistente, biosoluble, rígida, preformada y es apta para aislamiento térmico y acústico como se muestra en la ilustración 35, que impedirá la transferencia de calor y evitará posibles accidentes de personas que toquen las paredes del módulo.



Ilustración 35 Vistas Frontal del prototipo

Por su parte, en el compartimiento de control, se sitúa el Arduino con todos los accesorios necesarios para la ejecución de la programación, así como los relés de estado sólido, estos últimos instalados en disipadores de calor debido a que la corriente de trabajo conducida por estos es cercana a su corriente nominal y así es posible evitar altas temperaturas. Cabe resaltar que el Arduino y sus accesorios mencionados anteriormente se encuentran en un compartimiento adicional especial debido a que son componentes de extremo cuidado.



Ilustración 36 Disipación de calor en relés

La caja cuenta con tres orificios ocupados por ventiladores que proporcionan un importante flujo de aire con funciones de refrigeración de los compartimientos interiores. El flujo de aire ingresa por la parte posterior del dispositivo en la sección inferior impulsado por el primer ventilador, a continuación, pasa a la sección superior a través del segundo ventilador ubicado en la división de compartimentos; en esta sección el aire ayuda a fluir el calor producido por las resistencias y es expulsado del dispositivo por la parte superior donde se encuentra el tercer ventilador. En la parte superior también se encuentra la pantalla de 4X20 donde muestra la hora y el estado del sistema como por ejemplo la corriente, el voltaje y la potencia que esté consumiendo el módulo. Finalmente hay una sección acrílica que cumple la importante tarea de aislar el módulo metálico con cualquier tipo de conexión que se haga, esta consta de 2 bornes tipo hembra que facilitan el acople de cables tipo banana, argolla y horquilla. El último accesorio externo con el que cuenta el dispositivo es un módulo de inserción de tarjeta microSD en la cual el dispositivo guarda lecturas cada treinta segundos de las condiciones de operación del dispositivo mientras esté en funcionamiento.

Profundizando en la construcción del dispositivo, las resistencias fueron atornilladas a la división de compartimentos dejando pasar los cables hacia la sección inferior donde son alimentados por los relés. Los disipadores en los cuales se encuentran los relés están levemente suspendidos (ilustración 36) sobre el suelo de la caja gracias a unas láminas metálicas en forma de L que se encuentran en la parte inferior de cada disipador, este tipo de instalación permite un mejor flujo de aire por las aletas de los disipadores. Para alimentar el sistema se hizo una instalación de las resistencias en paralelo, cada una de estas alimentadas por un relé de estado sólido, debido a dicha disposición se conectaron entre sí las salidas de las resistencias para crear un nodo común de retorno, de igual manera se creó un nodo

común de alimentación y desde allí surgen cuatro ramificaciones que alimentan cada relé y por ende cada resistencia. Los nodos comunes mencionados anteriormente son llevados a los bornes de alimentación a través de una regleta que permite realizar puentes y conexiones. Finalmente, en el espacio entre el aislante y las paredes del dispositivo se encuentran varios cables encargados de alimentar los ventiladores, la pantalla y el módulo microSD.

9.3 ETAPA DE PRUEBAS

Una vez terminadas por completo las dos etapas anteriores, se inició la etapa de pruebas para comprobar que el dispositivo está funcionando correctamente y que el error obtenido en los datos que proporciona corresponda al mínimo posible, de esta manera es posible garantizar el éxito del diseño y construcción realizados. La fase de pruebas se divide en 3 partes:

9.3.1 ETAPA DE VERIFICACIÓN CON MULTÍMETRO Y PINZA AMPERIMÉTRICA

Se realizaron un conjunto de pruebas midiendo el voltaje y la corriente mediante el uso de multímetro y pinza amperimétrica respectivamente (Tabla 4). Por medio de la ley de Watt se hizo la estimación de la potencia, de igual manera se comparó con la potencia que en teoría estaba activa, obteniendo así el error que el módulo presentaba.

Tabla 4 Verificación con multímetros

Potencia Esperada [W]	Datos Medidos			
	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia Real [W]	Desviacion [%]
250	2,34	114,8	268,632	7,5%
500	4,56	113,7	518,472	3,7%
750	6,68	112,9	754,172	0,6%
1000	9,41	112,1	1054,861	5,5%
1250	11,51	111,2	1279,912	2,4%
1500	13,5	110,4	1490,4	-0,6%
1750	15,6	110,4	1722,24	-1,6%
2000	17,74	109,4	1940,756	-3,0%

Como se evidencia en los datos experimentales el porcentaje de desviación no es sumamente representativo, salvo en el caso de 250 W en él se observa una desviación bastante alta cercana del 8%.

9.3.2 ETAPA DE COMPARACIÓN CON SENSORES DE ARDUINO

En la segunda etapa se hicieron las mismas pruebas que en la primera etapa excepto que en este caso los encargados de tomar las mediciones fueron el sensor de corriente ACS712-30A y el sensor de voltaje ZMPT101B ambos periféricos de Arduino. Estos valores, así como el cálculo de la potencia serán mostrados automáticamente en la pantalla LCD de Arduino como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5 Datos medidos por sensores

Potencia Esperada [W]	Datos Mostrados en Pantalla LCD			
	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia Real [W]	Desviacion [%]
250	2,37	115	272,55	9,0%
500	4,54	113,9	517,106	3,4%
750	6,88	112,6	774,688	3,3%
1000	9,45	111,8	1056,51	5,7%
1250	11,48	111,5	1280,02	2,4%
1500	13,35	110,9	1480,515	-1,3%
1750	15,84	110,4	1748,736	-0,1%
2000	17,91	109,9	1968,309	-1,6%

En este caso el error aumenta cuando la potencia es 250W debido a que el sensor de corriente está diseñado principalmente para hacer mediciones de alta corriente, cuando la corriente es muy baja el sensor disminuye su precisión. Finalmente se procedió a comparar la calibración de los sensores y que tanto se diferencias de dispositivos externos como son el multímetro y la pinza amperimétrica (Tabla 7).

Tabla 6 Comparación de datos tomados por multímetros y sensores

Potencia Esperada [W]	Datos Tomado de Multímetros			Datos Mostrados en la Pantalla LCD de Arduino		
	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia Real [W]	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia Real [W]
250	2,34	114,8	268,632	2,37	115,01	272,5737
500	4,56	113,7	518,472	4,54	113,9	517,106
750	6,86	112,9	774,494	6,88	112,6	774,688
1000	9,41	112,1	1054,861	9,45	111,8	1056,51
1250	11,51	111,2	1279,912	11,48	111,5	1280,02
1500	13,5	110,4	1491,5	13,35	110,9	1480,515
1750	15,6	110,4	1722,24	15,84	110,6	1751,904
2000	17,74	109,4	1940,756	17,91	109,9	1968,309

En la tabla 7 se esta comparando los resultados que se tomaron

Tabla 7 Diferencia de datos tomados por multímetros y sensores

Diferencia		
Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia Real [W]
-0,03	-0,21	-3,9417
0,02	-0,2	1,366
-0,02	0,3	-0,194
-0,04	0,3	-1,649
0,03	-0,3	-0,108
0,15	-0,5	10,985
-0,24	-0,2	-29,664
-0,17	-0,5	-27,553

La tabla 7 muestra la diferencia de amperios, voltios y watts que han respecto a los medidores como el multímetro y la pinza amperimétrica con los sensores de Arduino, el valor negativo quiere decir que los sensores de Arduino deben bajar esta cantidad ya sea de voltios, amperios o watts para ser iguales a las del multímetro y pinza amperimétrica.

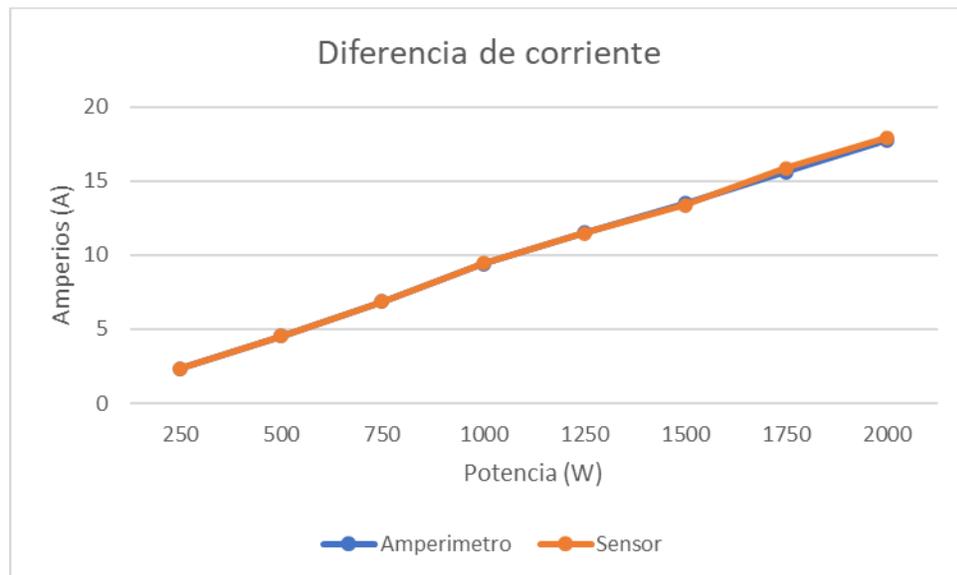


Ilustración 37 Diferencia de corriente mostrada por el amperímetro y el sensor

Como se muestra en la ilustración 37 el sensor de Arduino está muy bien calibrado y no hay mayor desviación con respecto a la pinza amperimétrica.

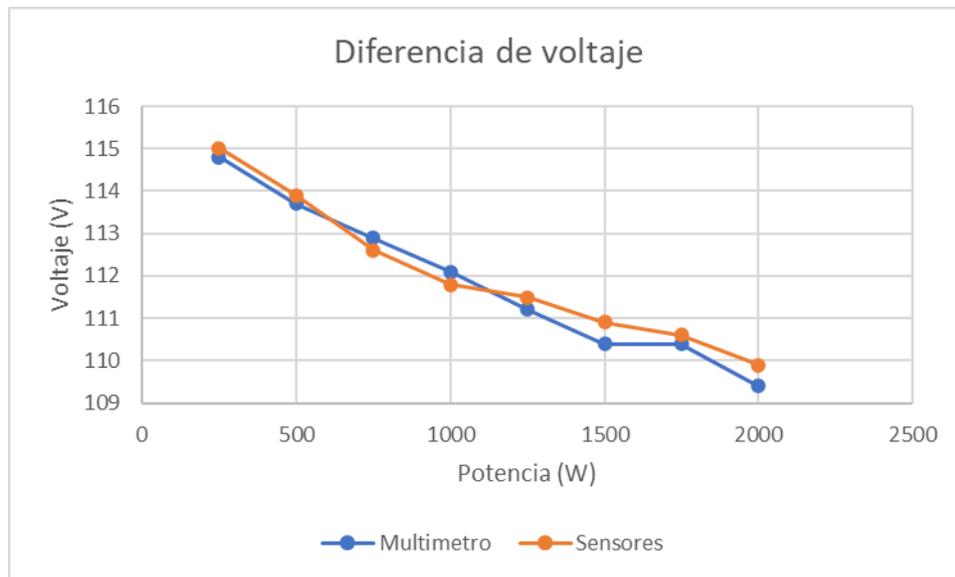


Ilustración 38 Diferencia de voltaje mostrada por el multímetro y el sensor

Por otro lado la ilustración 38 nos muestra un desfase mucho más amplio esto es debido a que la calidad del sensor de voltaje de Arduino no es tal alta.

9.3.3 ETAPA FINAL DE PRUEBAS

Para la última etapa de pruebas se programó el módulo para que trabajara un total de 20 continuas, para esto se hicieron 20 intervalos de 1 hora alternando la carga desde 250 W hasta 2000 W (Tabla 8). el módulo microSD almacena todos los datos relevantes tales como fecha, hora, corriente, voltaje y potencia. Los datos son tomados cada 30 segundos para registrar la mayor cantidad posible de fluctuaciones presentes en el sistema.

Tabla 8 Prueba del módulo por un periodo de 20 horas

Fecha	Hora	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia Esperada [W]	Potencia Real [W]
21/08/2020	12:48:37	2,31	115,00	250	265,65
21/08/2020	13:48:37	11,55	111,00	1250	1282,05
21/08/2020	14:48:37	18,00	109,60	2000	1972,80
21/08/2020	15:48:37	4,58	113,80	500	521,20
21/08/2020	16:48:37	6,78	112,70	750	764,11
21/08/2020	17:48:37	13,52	110,30	1500	1491,26
21/08/2020	18:48:37	9,40	111,80	1000	1050,92
21/08/2020	19:48:37	15,66	109,60	1750	1716,34
21/08/2020	20:48:37	2,34	114,90	250	268,87
21/08/2020	21:48:37	11,52	111,00	1250	1278,72
21/08/2020	22:48:37	4,56	113,90	500	519,38
21/08/2020	23:48:37	15,63	110,00	1750	1719,30
22/08/2020	0:48:37	17,98	110,00	2000	1977,80
22/08/2020	1:48:37	9,38	111,70	1000	1047,75
22/08/2020	2:48:37	11,50	111,30	1250	1279,95
22/08/2020	3:48:37	2,40	114,90	250	275,76
22/08/2020	4:48:37	6,79	112,60	750	764,55
22/08/2020	5:48:37	13,55	110,40	1500	1495,92
23/08/2020	6:48:37	11,57	111,20	1250	1286,58
24/08/2020	7:48:37	15,68	109,70	1750	1720,10
25/08/2020	8:48:37	0	0	Apagado	Apagado

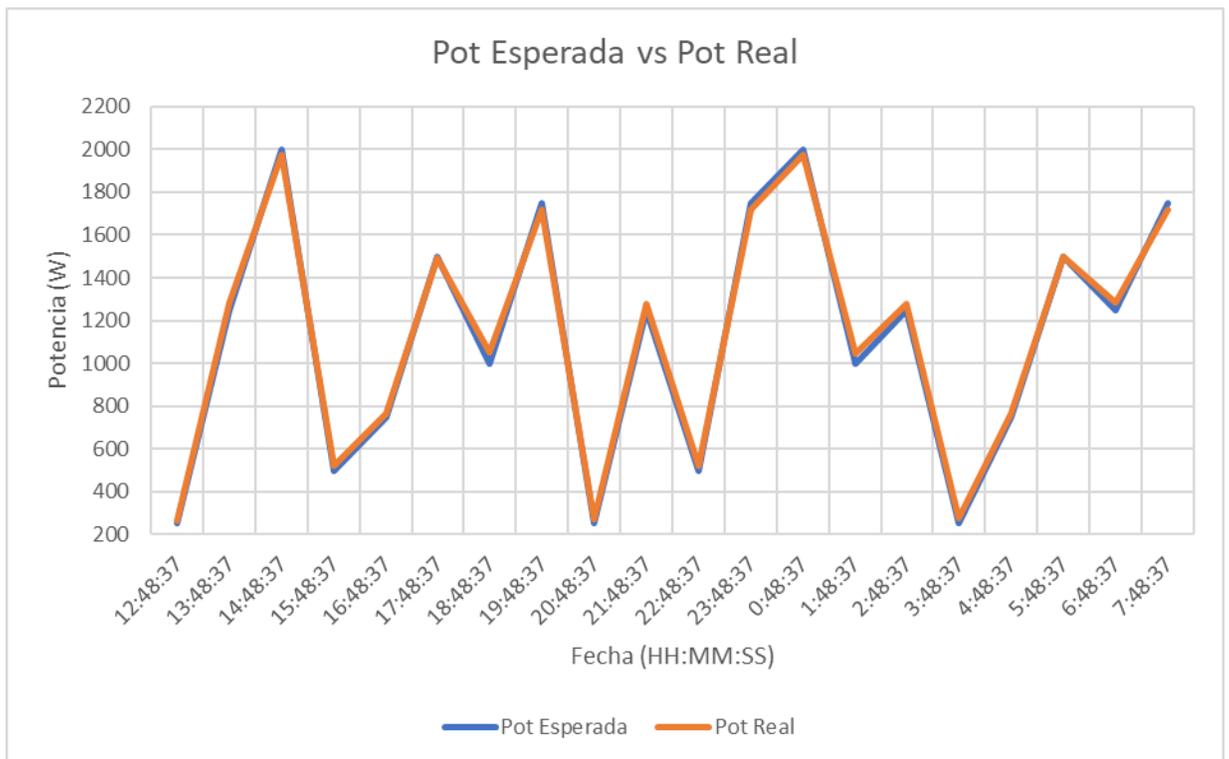


Ilustración 39 Diferencia entre potencia esperada y potencia real

10. CONCLUSIONES

Tras haber finalizado la construcción del módulo de carga dinámica es posible identificar tanto limitaciones existentes como virtudes funcionales, pues mediante el diseño del prototipo se ha demostrado la flexibilidad brindada por el sistema de un microcontrolador como lo es Arduino para el desarrollo de un control complejo y acorde a las necesidades presentadas.

A partir del desarrollo de este módulo se ha logrado mejorar la programación para aprovechar el mayor potencial de la desafortunadamente corta memoria de la tarjeta Arduino Mega mediante el diseño de funciones y agrupación de datos.

Por otra parte, los periféricos concernientes al funcionamiento total de la sección de control han probado su eficiencia sobre las pruebas de campo, pues herramientas tales como sensores de voltaje y corriente no presentan desfases significativos que atrofien las pruebas realizadas con el dispositivo, por el contrario, generan un alto nivel de confianza basado en su eficiencia de medición.

Aun así, existen limitaciones, el sistema únicamente se puede permitir cuarenta variaciones del valor de carga por cada simulación realizada, aunque a grandes rasgos sigue siendo un rango operable que proporciona datos de valor frente a pruebas de generadores de energía eléctrica.

Dentro del marco del desarrollo del proyecto se pudo observar que se hace notoria la pérdida en la oportunidad de simular pruebas de mayor durabilidad en el tiempo, específicamente, lapsos de semanas en adelante debido a la capacidad de programación del dispositivo.

En cuanto al componente físico, el dispositivo cuenta con una orientación espacial correspondiente al tamaño de los componentes que contiene, así como a la necesidad de generar flujos de calor y así evitar acumulaciones de energía térmica que puedan causar accidentes.

Específicamente en materia de aislamiento térmico y refrigeración, el dispositivo a través de pruebas de operación continua en amplios lapsos de tiempo

demonstró no representar peligro inminente a quemaduras cutáneas, pues su superficie no sobrepasa los 45°C durante la operación.

El dispositivo se verá limitado frente a opciones de expansión en capacidad de simulación de carga pues su interior está especialmente diseñado para su montaje actual y no es modificable, salvo el desarrollo de un diseño diferente con otra capacidad y flexibilidad.

Frente a la necesidad de acoplar diferentes tipos de tecnologías de generación eléctrica para realizar pruebas con el banco simulador de carga, este cuenta con una entrada de alimentación adaptable, adicionada a lo relativamente fácil que es movilizarlo, permite que sea un dispositivo semi portátil y de amplio espectro de uso.

Además de lo anterior el plus que brinda la recopilación de datos para aterrizarlos en cada prueba a un diseño de generación real, hace que el dispositivo se coloque como una importante herramienta en el campo del dimensionamiento de generación eléctrica o su proyección de demanda.

Con este proyecto se pretende dar luz y apertura a una gama de diseños y prototipos que soporten el área de energías renovables guiadas hacia la existencia de generación distribuida y microrredes.

Finalmente este tipo de proyectos rescata la esencia fundamental de la ingeniería cuyo objetivo principal consiste en el desarrollo de equipos para el soporte y solución de problemas del entorno industrial, comercial y residencial.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Intrave.com Industrial Automation. 2020. ¿Qué Es Un PLC Y Para Qué Sirve? [online] Disponible en: <<https://intrave.wordpress.com/2015/02/20/para-que-sirve-un-plc/>>.

[2] Automation24.es. 2020. LOGO! Micro PLC | Automation24. [online] Disponible en: <<https://www.automation24.es/logo-micro-plc>>.

[3] EA4HN. 2015. Carga Artificial. [online] Disponible en: <<https://www.ea4nh.com/articulos/cargaartificial/cargaartificial.htm>>.

[4] Areatecnologia.com. 2020. Relé Temporizador O Temporizado. [online] Disponible en: <<https://areatecnologia.com/electricidad/rele-temporizador.html>>

[5] MORILLO, J. Investigación: uso de los y bobinas en el campo de la ingeniería. Cabudare, p.15. 2014.

[6] FM, Y., 2016. Qué Es Arduino, Cómo Funciona Y Qué Puedes Hacer Con Uno. [online] Xataka.com. Disponible en: <<https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>>.

[7] Arduino Mega 2560 Rev3 | "Arduino Official Store", Store.arduino.cc, 2017. [Online]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>.

[8] Aprendiendo Arduino. 2016. Actuadores Y Periféricos De Salida. [online] Disponible en: <<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/07/02/actuadores-y-perifericos-de-salida-2/>>.

[9] Electricquipos. 2013. Resistencias Tubulares. [online] Disponible en: <<http://electricquipos.co/producto/resistencias-tubulares/>>

[10] "Ley de Watt", Mecatrónica LATAM, 2015. [Online]. Disponible en: <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/teoria/ley-de-watt/>.

[11] "Simulador de Consumo de Codensa: herramienta clave para saber cómo ahorrar energía", Enel.com.co, 2016. [Online]. Disponible en: <https://www.enel.com.co/es/prensa/news/d201611-simulador-de-consumo-de-codensa-herramienta-clave-para-saber-cmo-ahorrar-energa.html>.

[12]"Un simulador para lograr ahorro energía | AES El Salvador", Aes-elsalvador.com, 2020. [Online]. Disponible en: <http://www.aes-elsalvador.com/comunidad/noticias/2018-04/simulador-de-consumo-ahorro-energetico/>.

[13] "Calculá tu consumo eléctrico", www.grupoelectro.com, 2018. [Online]. Disponible en: <https://www.electroinstalador.com/calcula-tu-consumo-electrico-n193>.

Tutorial Básico de "Uso del Módulo Bluetooth HC-06 y HC-05", Naylampmechatronics.com, 2017. [Online]. Disponible en: https://www.naylampmechatronics.com/blog/12_Tutorial-B%C3%A1sico-de-Uso-del-M%C3%B3dulo-Bluetooth-H.html.

Tutorial LCD con I2C, "Controla un LCD con solo dos pines", Naylampmechatronics.com, 2017. [Online]. Disponible en: https://naylampmechatronics.com/blog/35_Tutorial--LCD-con-I2C-controla-un-LCD-con-so.html.

Tutorial "RTC DS1307 y EEPROM AT24C", Naylampmechatronics.com, 2017. [Online]. Disponible en: https://naylampmechatronics.com/blog/52_tutorial-rtc-ds1307-y-eprom-at24c32.html.

C. Alexander and M. Sadiku, Fundamentos de circuitos eléctricos, 3rd ed. México: McGraw-Hill, 2018.

"Instrumentación y comunicaciones industriales", Educacionurbana.com, 2014. [Online]. Disponible en: <https://www.educacionurbana.com/apuntes/ladder.pdf>.

A. Limited, "Reostato es una resistencia variable que se usa para controlar la corriente, línea vintage de dibujo o ilustración de grabado Imagen Vector de stock - Alamy", Alamy, 2017. [Online]. Disponible en: <https://www.alamy.es/reostato-es-una-resistencia-variable-que-se-usa-para-controlar-la-corriente-linea-vintage-de-dibujo-o-ilustracion-de-grabado-image244610921.html>.

ANEXOS

ANEXO A- DIAGRAMAS

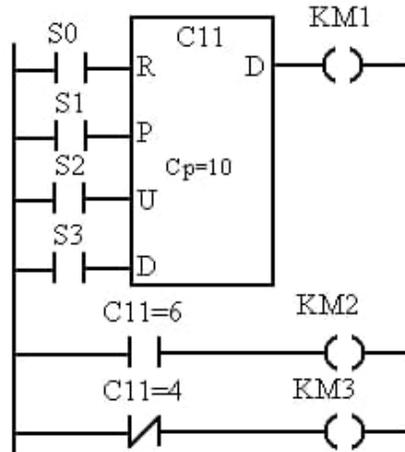


Ilustración 40 Diagrama Ladder para el funcionamiento de un PLC²⁸

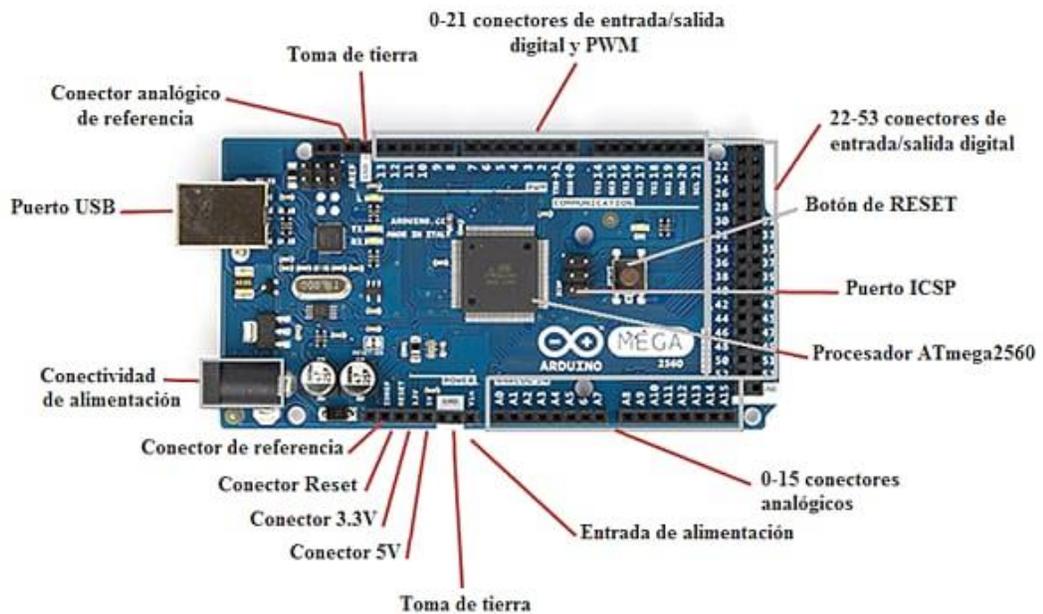


Ilustración 41 Diagrama de entradas y salidas del Arduino Mega²⁹

²⁸ Tomado de: <https://www.educacionurbana.com/apuntes/ladder.pdf>.

²⁹ Tomado de: <https://www.ediciones-eni.com/open/mediabook.aspx?idR=8d182e726219b5c89e24125beb9c5494>

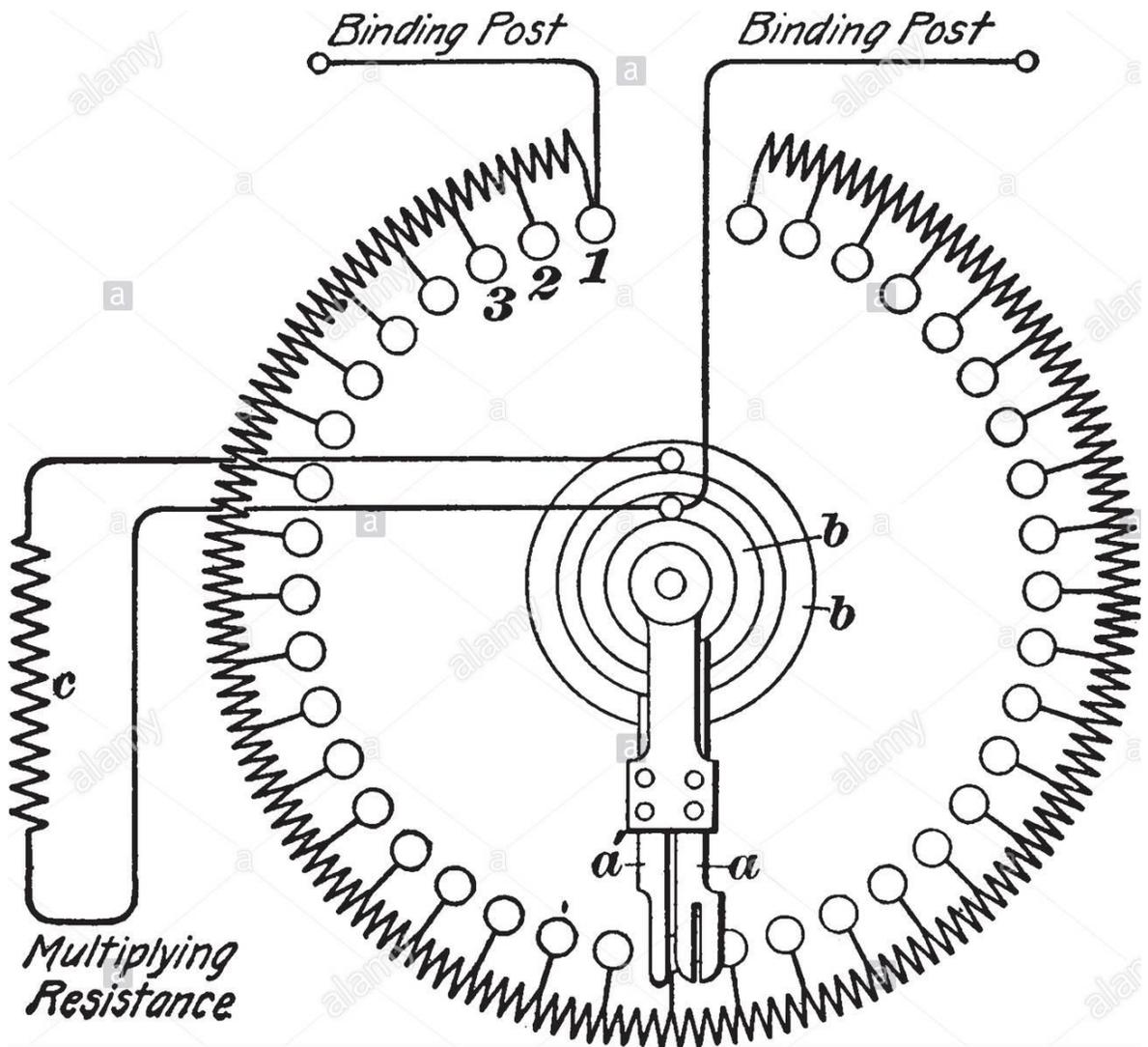


Ilustración 42 Reóstato, resistencia variable³⁰

³⁰ Tomado de: <https://www.alamy.es/reostato-es-una-resistencia-variable-que-se-usa-para-controlar-la-corriente-linea-vintage-de-dibujo-o-ilustracion-de-grabado-image244610921.html>.

ANEXO B- ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA PARA PROYECTAR LA DEMANDA DE ENERGÍA

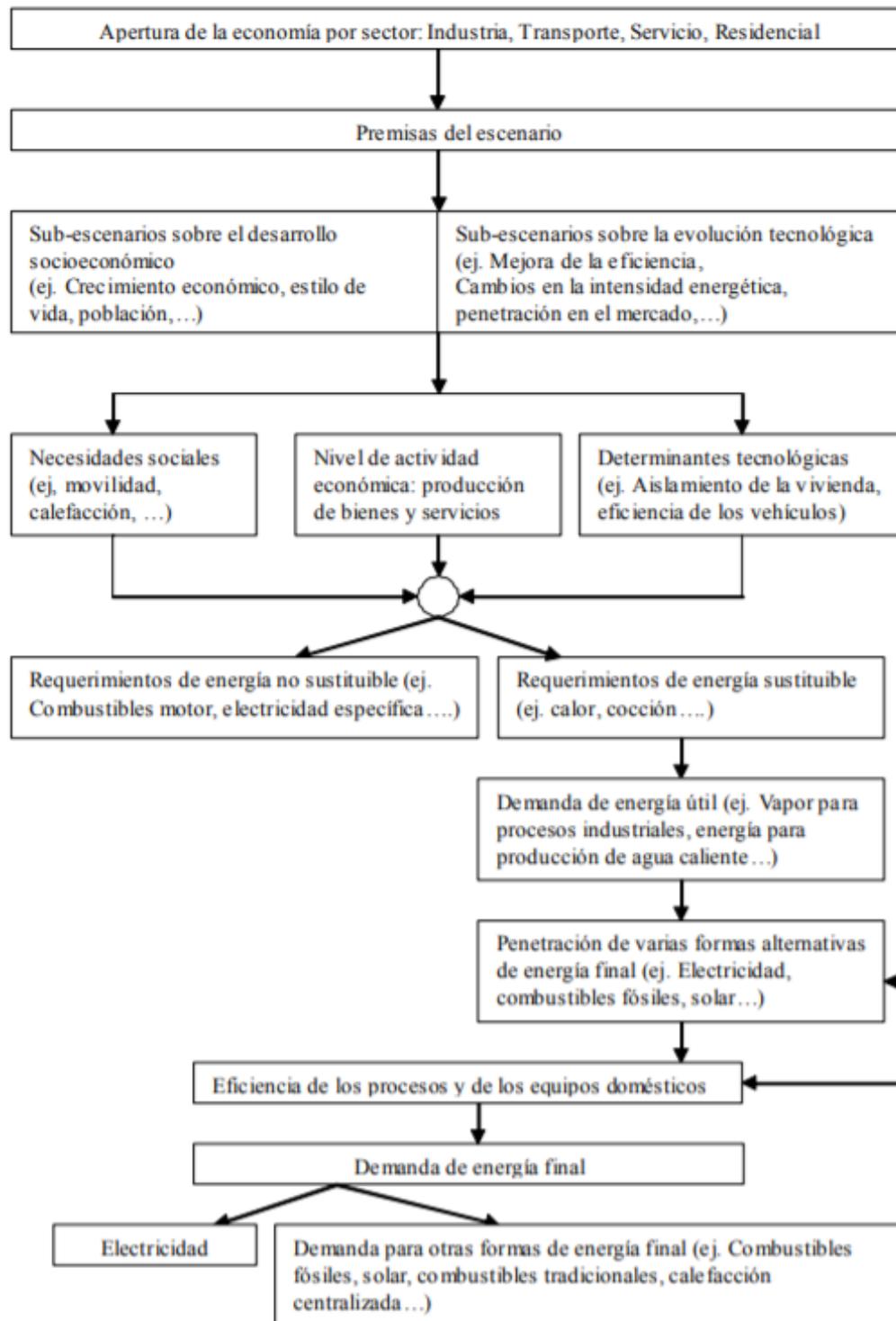


Ilustración 43 Esquema de la metodología empleada para proyectar la demanda de energía³¹

Lenguaje de programación C++

El lenguaje de programación de Arduino está basado en C++ y aunque la referencia para el lenguaje de programación de Arduino está en <http://arduino.cc/en/Reference/HomePage>, también es posible usar comandos estándar de C++ en la programación de Arduino.

Características de C:

- Es el lenguaje de programación de propósito general asociado al sistema operativo UNIX.
- Es un lenguaje de medio nivel. Trata con objetos básicos como caracteres, números, etc... también con bits y direcciones de memoria.
- Posee una gran portabilidad
- Se utiliza para la programación de sistemas: construcción de intérpretes, compiladores, editores de texto, etc.³²

³¹ Tomado de: VIENA, O. Modelo para el Análisis de la Demanda de Energía (MAED-2). 1st ed. Sección de Estudios Económicos y Planificación Internacional Atomic Energy Agency. Viena, 2007

³² Tomado de: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/26/lenguaje-de-programacion-c/>.

ANEXO C- ILUSTRACIONES DEL PROTOTIPO TERMINADO

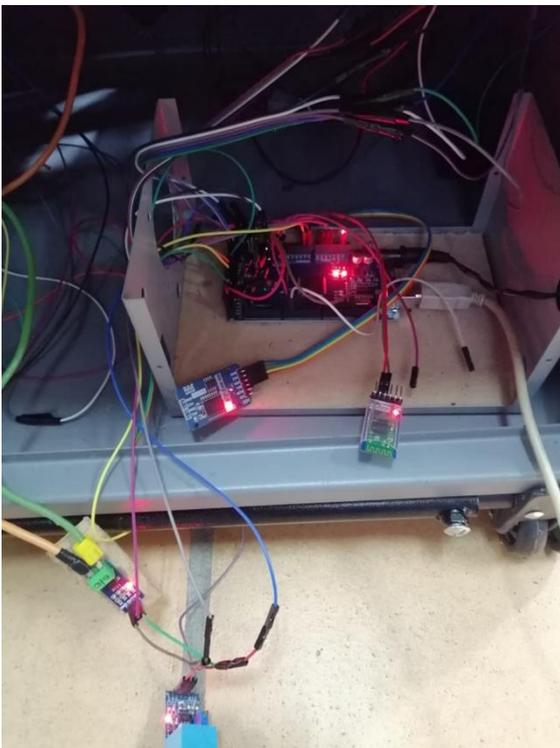


Ilustración 44 Prototipo finalizado

ANEXO D- CODIGO DE PROGRAMACION

```
void microSD()
{
    archivo = SD.open("DATOS.txt", FILE_WRITE); // apertura para lectura/escritura
de archivo prueba.txt

    if (archivo) {

        DateTime fecha = rtc.now();

        if(fecha.day()<10)
        {
            archivo.print("0");
            archivo.print(fecha.day());
        }
        else archivo.print(fecha.day());
        archivo.print("/");
        if(fecha.month()<10)
        {
            archivo.print("0");
            archivo.print(fecha.month());
        }
        else archivo.print(fecha.month());
        archivo.print("/");
        archivo.print(fecha.year());
        archivo.print(";");
        archivo.print(" ");
        if(fecha.hour()<10)
```

```

{
    archivo.print("0");
    archivo.print(fecha.hour());
}
else archivo.print(fecha.hour());
archivo.print(":");
if(fecha.minute()<10)
{
    archivo.print("0");
    archivo.print(fecha.minute());
}
else archivo.print(fecha.minute());
archivo.print(":");
if(fecha.second()<10)
{
    archivo.print("0");
    archivo.print(fecha.second());
}
else archivo.print(fecha.second());

archivo.print(";");
archivo.print(" ");
archivo.print("Corriente;");
archivo.print(valorCorrente);
archivo.print(";");
archivo.print(" A");
archivo.print(";");
archivo.print(" ");

```

```

    archivo.print("Voltaje;");
    archivo.print(tensao);
    archivo.print(";");
    archivo.print(" V");
    archivo.print(";");
    archivo.print(" ");
    archivo.print("Potencia;");
    archivo.print(potencia);
    archivo.print(";");
    archivo.print(" Watts");

    archivo.println(" ");
    archivo.close();    // cierre del archivo
}
}
void imprimir()
{
    DateTime fecha = rtc.now();
    lcd.setCursor(0,0);
    if(fecha.day()<10)
    {
        lcd.print("0");
        lcd.print(fecha.day());
    }
    else lcd.print(fecha.day());
    lcd.print("/");
    if(fecha.month()<10)
    {

```

```

    lcd.print("0");
    lcd.print(fecha.month());
}
else lcd.print(fecha.month());
lcd.print("/");
lcd.print(fecha.year());
lcd.print(" ");
if(fecha.hour()<10)
{
    lcd.print("0");
    lcd.print(fecha.hour());
}
else lcd.print(fecha.hour());
lcd.print(":");
if(fecha.minute()<10)
{
    lcd.print("0");
    lcd.print(fecha.minute());
}
else lcd.print(fecha.minute());
lcd.print(":");
if(fecha.second()<10)
{
    lcd.print("0");
    lcd.print(fecha.second());
}
else lcd.print(fecha.second());
}

```

```

void loop() {

    while (cont == 0 ){

        DateTime fecha = rtc.now();

        Serial.print(fecha.day());
        Serial.print("/");
        Serial.print(fecha.month());
        Serial.print("/");
        Serial.print(fecha.year());
        Serial.print(" ");
        Serial.print(fecha.hour());
        Serial.print(":");
        Serial.print(fecha.minute());
        Serial.print(":");
        Serial.println(fecha.second());

        lcd.setCursor(11,2);
        lcd.print(potencia);
        lcd.print("W");
        lcd.setCursor(3,3);
        lcd.print(valorCorrente);
        lcd.print("A");
        lcd.setCursor(12,3);
        lcd.print(tensao);
        lcd.print("V");
    }
}

```

```

Serial.println("Digite el numero de variaciones de carga");
while(Serial.available()== 0) {imprimir();}

numcar = Serial.parseInt();
Serial.println(numcar);

while (numcar == 1)
{
    DateTime fecha = rtc.now();

    Serial.println("Digite valor de carga 1");
    while(Serial.available()== 0) {imprimir();}
    val1 = Serial.parseInt();
    Serial.println(val1);

    Serial.println("Digite la fecha de encendido carga 1 (DD,HH,MM)");
    while(Serial.available()== 0) {imprimir();}
    Dia1 = Serial.parseInt();
    Hora1 = Serial.parseInt();
    Minuto1 = Serial.parseInt();

    Serial.print(Dia1);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(Hora1);
    Serial.print(":");
    Serial.println(Minuto1);
    Serial.println("Digite la fecha de apagado del sistema (DD,HH,MM)");
    while(Serial.available()== 0) {imprimir();}

```

```

Dia0 = Serial.parseInt();
Hora0 = Serial.parseInt();
Minuto0 = Serial.parseInt();

Serial.print(Dia0);
Serial.print(" ");
Serial.print(Hora0);
Serial.print(":");
Serial.println(Minuto0);
  cont = 1;
  numcar=0;
}
while (cont == 1)
{
  imprimir();
  lectura();
  cont32++;

if(cont32==27)
{
  microSD();
  cont32=0;
}

DateTime fecha = rtc.now();
int Dia = (fecha.day());
int Hora = (fecha.hour());
int Minuto = (fecha.minute());

```

```

if ( Dia== Dia1 && Hora == Hora1 && Minuto == Minuto1 ){
carga(val1);
imprimir();
if(cont2==0)
{
Serial.print(fechar.day());
Serial.print("/");
Serial.print(fechar.month());
Serial.print("/");
Serial.print(fechar.year());
Serial.print(" ");
Serial.print(fechar.hour());
Serial.print(":");
Serial.print(fechar.minute());
Serial.print(":");
Serial.println(fechar.second());

Serial.print("Esta activa la carga:" " ");
Serial.print(val1);
Serial.println( " " "W");

lcd.setCursor(13,1);
lcd.print(" ");
lcd.print(val1);
lcd.print(" W ");
cont2=1;
}
}

```