



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DESARROLLO DE DISPOSITIVO DE MEDICIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL  
PARA SU USO EN PROYECCIÓN DE DEMANDA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO

FELIPE ERNESTO SANDOVAL AQUEA

PROFESOR GUÍA  
PATRICIO MENDOZA ARAYA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN  
ANDRÉS CABA RUTTE  
ALEJANDRO NAVARRO ESPINOSA

SANTIAGO DE CHILE  
2022

---

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL  
ELÉCTRICO  
POR: FELIPE ERNESTO SANDOVAL AQUEA  
FECHA: 2022  
PROFESOR GUÍA: PATRICIO MENDOZA  
ARAYA**

## **DESARROLLO DE DISPOSITIVO DE MEDICIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL PARA SU USO EN PROYECCIÓN DE DEMANDA**

El abastecimiento de la demanda de energía y potencia corresponde a la base de los sistemas eléctrico, dado que las redes no contemplan un vertimiento de energía, tener formas de modelar y proyectar demandas se vuelve crucial.

De esta manera, el proyecto nace de la necesidad de poder generar perfiles de demandas acorde al caso chileno, tomando como referencia el “High-resolution stochastic integrated thermal-electrical domestic model” , del Centro de Tecnología de Sistemas de Energía Renovable o más conocido como CREST (por sus siglas en Inglés Centre for Renewable Energy Systems Technology). Este modelo permite estimar de buena manera curvas de demanda residencial para domicilios en Gran Bretaña, pero el contexto de un país desarrollado difiere mucho de la realidad chilena, por lo cual este modelo no es directamente aplicable en nuestro país.

Así, se desarrolla un dispositivo de medición residencial utilizando la plataforma Arduino, que por medio de un sensor de corriente y otro de voltaje, procese la información para obtener la consigna de consumo en términos de corriente, voltaje, potencia aparente y potencia activa. Este proyecto esta enfocado en caracterizar el comportamiento de los residentes y utilizar esta información en el contexto de proyección de demanda.

Para complementar el dispositivo, se realiza una encuesta de uso energético mediante un formulario de Google, en el cual el usuario debe indicar cuando enciende o apaga una carga.

Con el dispositivo ensamblado y la encuesta de uso realizada, se procede a tomar mediciones en el domicilio del autor por un lapso de dos días, verificando el correcto funcionamiento del dispositivo y contrastando las mediciones de este con la consigna de encendido/apagado de las cargas entregado por la encuesta de uso. De esta manera, se logra caracterizar el comportamiento de los residentes del domicilio con una información concreta numérica y una información de comportamiento.

---

# Agradecimientos

Quiero dedicar esta memoria a todos y todas quienes han sido parte de mi vida.

A mi padre, que desde que tengo memoria despertó en mí las ganas de aprender, de manera didáctica me acercó al mundo de las matemáticas y me hizo ver a estas como el lenguaje que describe la vida, recordándome día a día que quién domina las matemáticas domina el mundo.

A mi madre, mujer guerrera que con todo su esfuerzo hace hasta lo imposible para sacar a su familia adelante, aunque a veces no me creas, cada día valoro el esfuerzo que haces por nosotros.

A mi hermano Christian, con quien comparto mi día a día y ha sido pieza fundamental en mi vida, incluso me acompañaste un año en Santiago, realmente no sé que sería de mí sin ti.

A mi hermana Javiera, quizás estuve un poco ausente en tu niñez, irme a estudiar a otra ciudad supuso dejar muchas cosas de lado, pero volver a vivir contigo estos dos últimos años de cuarentena me ha traído una gran felicidad, siempre podrás contar con tu hermano mayor.

A mis mascotas, nunca creí poder amar tanto a un animal como lo hago con mi Rengu, Arya, Sabueso, Ares e Igor.

A mis amigos de la infancia, Diego, Miguel y Sebastián, hermanos de toda la vida, pero particularmente a Diego, con quien nos fuimos a estudiar a Santiago y vivir por un año juntos.

A mis amigos del colegio, con quienes nunca he perdido contacto y sé que siempre puedo contar con ellos, los llevo en mi corazón a cada uno de ustedes pero debo realizar menciones honoríficas a Bastian, el negro, con quien siempre he podido ser sincero y buscar una palabra amiga cuando las cosas no andan bien, a Felipe y Sebastian, alegre y el pepe, amigos de casi 20 años que a día de hoy siguen presentes en mi vida, y a Giordano, Matias y Diego, el nano, Alquinta y Tapia, que son tres de las personas que más congenio y mis mejores amigos desde hace mucho tiempo.

A mis amigos de la universidad, que fueron y siguen siendo un gran apoyo, al Nico, un amigo confiable con el cual compartimos tantos partidos, guitarros y horas de estudio, a Rodrigo, el rey, inolvidables esas pausas en las noches de estudio donde fumando un cigarro conversábamos de la vida para desconectarnos un poco de las responsabilidades, a Felipe, frijolito, quien no es el más conversador pero siempre me he sentido cómodo con él, a Diland, el más grande, desde que te conocí no me aburrí ningún día en la U, eres un hermano más para mí, y a Moraga, que tanto tú como Diland me acogieron en el 1212 cada vez que lo necesitaba, cada vez que tuve una dificultad estabas ahí, realmente no tengo palabras para agradecerte todo lo que has hecho por mí.

También quiero agradecer a los profesores Marcelo Berríos, Raúl Moya y Gastón, mi paso tanto por la selección de fútbol de ingeniería como por la selección de fútbol de la universidad, fueron una de las etapas más lindas de mi vida, muchas gracias por el apoyo constante y la confianza.

---

De igual manera quiero agradecer a mi profesor guía, quien no solo me ayudó mucho con mi memoria, sino que tuve la oportunidad de trabajar durante cinco años con él en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica, dónde aprendí mucho y tuve la oportunidad de conocer muchas personas, en particular al Cote, un alumno que a día de hoy somos muy buenos amigos y resolvió cada una de mis dudas sobre Arduino.

En fin, muchas gracias a todos y todas por ser parte de mi vida, no sería nada sin ustedes.

---

# Tabla de contenido

1	Introducción .....	1
1.1	Objetivos .....	2
1.1.1	Objetivo general .....	2
1.1.2	Objetivos específicos .....	2
1.2	Alcance del proyecto .....	2
2	Marco teórico .....	3
2.1	Domótica.....	3
2.1.1	Aspectos de la Domótica .....	3
2.2	Home Energy Management Systems .....	5
2.2.1	HEMS Hardware.....	5
2.2.2	HEMS Software.....	5
2.2.3	Especificaciones requeridas de un HEMS .....	6
2.3	Hardware y Software .....	6
2.4	Microcontroladores .....	7
2.5	Single-Board Computer .....	7
2.6	Arduino.....	8
2.7	Modelo CREST.....	9
2.7.1	Requerimientos del modelo.....	9
2.8	Sensores de medición eléctrica.....	11
2.8.1	Sensor.....	11
2.8.2	Sensores de corriente .....	11
2.8.3	Sensores de voltaje .....	12
2.9	Estado del arte .....	13
2.9.1	Aplicaciones del modelo CREST.....	13
2.9.2	Dispositivos de medición eléctrica residencial .....	14
2.9.3	Dispositivos de medición eléctrica residencial, experiencia en memoria de título .....	16
2.9.4	Discusión.....	16
3	Metodología.....	17
3.1	Problema a resolver .....	17
3.2	Pasos para la resolución del problema .....	18
3.2.1	Definición de las variables eléctricas que medir y plataforma de desarrollo a utilizar .....	18

---

3.2.2	Diseño del dispositivo .....	18
3.2.3	Desarrollo del dispositivo.....	18
3.2.4	Desarrollo de la encuesta de uso .....	18
3.2.5	Pruebas del dispositivo y encuesta de uso .....	18
4	Desarrollo del proyecto .....	19
4.1	Diseño dispositivo de medición eléctrica residencial .....	19
4.1.1	Diagrama de bloques del sistema.....	19
4.1.2	Etapa de sensado .....	19
4.1.3	Adquisición de datos.....	22
4.1.4	Procesamiento de datos .....	24
4.1.5	Registro de datos .....	27
4.2	Diagrama de conexiones .....	28
4.2.1	Conexión sensor de corriente a Arduino.....	28
4.2.2	Conexión sensor de voltaje a Arduino.....	29
4.2.3	Filtro de adquisición de datos.....	29
4.2.4	Conexión módulo Data logging shield v1.0.....	30
4.3	Presupuesto.....	31
4.4	Librerías utilizadas .....	31
4.5	Encuesta de uso .....	32
5	Pruebas realizadas .....	34
6	Montaje Experimental.....	35
7	Resultados .....	38
7.1	Mediciones del 30 de Diciembre .....	39
7.1.1	Corriente.....	39
7.1.2	Voltaje.....	39
7.1.3	Potencia Aparente.....	40
7.1.4	Potencia Activa.....	40
7.1.5	Encuesta de uso .....	41
7.2	Mediciones del 31 de Diciembre .....	42
7.2.1	Corriente.....	42
7.2.2	Voltaje.....	43
7.2.3	Potencia Aparente.....	43
7.2.4	Potencia Activa.....	44
7.2.5	Encuesta de uso .....	44

---

---

8	Análisis de Resultados .....	45
8.1	30 de Diciembre.....	45
8.2	31 de Diciembre.....	46
9	Conclusiones.....	48
9.1	Trabajo Futuro.....	48
9.2	Precauciones.....	49
10	Bibliografía .....	50
Anexos	.....	54
Anexo A	Código de inicialización del programa y librerías .....	54
Anexo B	Detector de cruce por cero.....	54
Anexo C	Código de cálculo de corriente rms .....	54
Anexo D	Código de cálculo de voltaje rms.....	55
Anexo E	Código de cálculo de potencia activa.....	55
Anexo F	Código de visualización de resultados .....	55
Anexo G	Código de escritura archivo txt en tarjeta SD.....	56

---

# Índice de figuras

Placa arduino UNO [10] .....	8
PM3210 Power meter [19] .....	15
Contador monofásico de energía EMDX3. [20] .....	15
Metodología.....	17
Diagrama de bloques del sistema.....	19
Sensor de corriente YHDC SCT 013-30 [25].....	20
Sensor de voltaje Zmpt101b [26] .....	21
Arduino Mega R3 [28] .....	23
Interfaz Arduino IDE [30].....	24
Conexión sensor de corriente SCT 013 y LM358 [31].....	25
Data logging shield v1.0 [32] .....	28
Conexión sensor de corriente a Arduino .....	28
Conexión sensor de voltaje a Arduino .....	29
Conexión data logging shield v1.0 con Arduino .....	31
Encuesta de uso .....	33
Diagrama de conexión sensores a red eléctrica y Arduino.....	35
Conexión sensor de corriente a tablero.....	36
Conexión sensor de tensión a red eléctrica.....	36
Conexión sensores a placa Arduino y módulo data logger.....	37
Archivo txt de datos medidos, día 30/12.....	38
Corriente RMS del hogar, 30/12.....	39
Voltaje RMS del hogar, 30/12.....	39
Consumo de Potencia Aparente del hogar, 30/12.....	40
Consumo de Potencia Activa del hogar, 30/12 .....	40
Corriente RMS del hogar, 31/12.....	42
Voltaje RMS del hogar, 31/12.....	43
Consumo de Potencia Aparente del hogar, 31/12.....	43
Consumo de Potencia Activa del hogar, 31/12 .....	44
Consumo de Potencia Activa y consigna de cargas considerables, día 30/12.....	45
Consumo de Potencia Activa y consigna de cargas considerables, día 31/12.....	46

---

# Índice de tablas

Sensores de corriente .....	20
Características sensor YHDC SCT 013-30 [25] .....	21
Características sensor de voltaje Zmpt101b.....	22
Características Arduino Mega R3 .....	23
Características Data logging shield v1.0.....	28
Presupuesto .....	31
Datos Encuesta de uso 30/12. Generada automáticamente a través de encuestas de Google.....	41
Datos Encuesta de uso 31/12. Generada automáticamente a través de encuestas de Google.....	44

---

# 1 Introducción

El abastecimiento de la demanda de energía y potencia corresponde a la base sobre la que se desarrolla en gran medida el sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica, por lo que conocer sus valores actuales y proyectados es una tarea fundamental para el desarrollo de una planificación eficiente y anticipada del sistema de transmisión. [1]

De la misma manera, la creciente innovación y entrada de energías renovables, junto con el ingreso de nuevas tecnologías como por ejemplo los vehículos eléctricos traen consigo desafíos importantes a los sistemas eléctricos.

Es por esto que tener formas de proyectar y modelar demanda se vuelve crucial. En este conexto, basándonos en la experiencia internacional, vemos un programa de software libre que permite estimar demanda residencial considerando variables tanto eléctricas (iluminación, consumo, generación propia) como térmica (paneles termosolares, por ejemplo), nos referimos al “High-resolution stochastic integrated thermal-electrical domestic model” [2], del Centro de Tecnología de Sistemas de Energía Renovable o más conocido como CREST (por sus siglas en Inglés Centre for Renewable Energy Systems Technology). [2]

El modelo nace de la necesidad de saber como afrontar, de la mejor manera posible, el cambio que significa para las redes de baja tensión la aparición y adopción de tecnologías bajas en carbono, debido a que los métodos convencionales de análisis para expansión se basan sobre todo en la experiencia pasada.

Es un modelo complejo, con requerimientos específicos. Por ejemplo, si se piensa en una vivienda en particular, se tiene que su consumo de electricidad puede variar drásticamente de un momento a otro, dependiendo de como actúen los habitantes de esta, presentando así un comportamiento aleatorio e impredecible. Esta característica hace necesario el enfoque estocástico, el cual busca entregar datos que provengan de una simulación, pero posean las estadísticas correctas. [2]

Este modelo permite estimar de buena manera curvas de demanda residencial para domicilios en Gran Bretaña. Si bien para ciertas aplicaciones es posible utilizar dicho modelo para otros países (puesto que el modelo considera las coordenadas como input importante), estas mediciones no son del todo correctas debido al contexto particular de un país latinoamericano como es Chile a diferencia de un país desarrollado como lo es Inglaterra.

De esta manera, tomando como hoja de ruta al modelo CREST, se busca generar un aporte para la replicación de este para el caso chileno, enfocándonos en la forma de medir el consumo residencial por medio de un dispositivo y de integrar al modelo el comportamiento de los habitantes mediante una encuesta de uso. Por lo tanto, los objetivos del presente proyecto quedan definidos a continuación.

---

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo general

Diseño y desarrollo de un dispositivo de medición de consumo a nivel residencial, apoyado de una encuesta que permita al usuario llevar un registro del uso de las cargas en el domicilio para contribuir al desarrollo del modelo CREST para el caso chileno.

### 1.1.2 Objetivos específicos

1. Definir el software y hardware de desarrollo del dispositivo, basándose en experiencia según bibliografía, capacidad de adquisición y familiarización.
2. Definir las variables necesarias que medir y los sensores necesarios para esto.
3. Diseñar un dispositivo capaz de medir las variables antes definidas de un hogar, que sea transportable y desconectable para poder utilizarle en diversas viviendas.
4. Desarrollar el dispositivo, mediante el software y hardware escogidos.
5. Desarrollar una encuesta que abarque todas las cargas de un hogar donde el usuario pueda tener un registro de uso de dichas cargas.
6. Realizar un presupuesto del proyecto.
7. Generar un lazo entre el dispositivo y la encuesta de uso.

## 1.2 Alcance del proyecto

El presente proyecto nace como primera etapa para la replicación del modelo CREST para el caso chileno. Para ello, es necesario obtener información en forma de datos medidos de consumo eléctrico en distintos domicilios, con diferente cantidad de residentes, en distintas locaciones y estaciones del año, como también es necesaria información sobre el comportamiento de los residentes.

De esta forma, el presente proyecto se limita a generar un dispositivo de medición eléctrica residencial apoyado de una encuesta de uso de las cargas en el hogar que en un futuro sirva para generar las distintas mediciones necesarias que ayuden a replicar el modelo CREST para el caso chileno.

---

## 2 Marco teórico

### 2.1 Domótica

El término *domótica* proviene de la unión de las palabras *domus* (que significa “*casa*” en latín) y *tica* (de automática, del griego, “*que funciona por si sola*”). Por ende, se entiende por domótica al conjunto de sistemas capaces de automatizar una vivienda, aportando servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación, y que puedan estar integrados por medio de redes de comunicación pudiendo ser controlados desde dentro y fuera del hogar. [3]

Para definir una vivienda domótica hay que tener en cuenta al menos dos puntos de vista: del usuario y el punto de vista técnico.

Desde el punto de vista del usuario, una vivienda domótica es aquella que proporciona una mayor calidad de vida a través de las nuevas tecnologías, ofreciendo una reducción del trabajo doméstico, un aumento del bienestar y la seguridad de sus habitantes, y una racionalización de los distintos consumos. Todo ello teniendo en cuenta la facilidad de uso para los inquilinos.

Desde el punto de vista técnico, es aquella en la que se integran los distintos aparatos domésticos que tienen la capacidad de intercomunicarse entre ellos a través de un soporte de comunicaciones, de modo que puedan realizar tareas que hasta ahora se venían realizando de forma manual. [4]

Inicialmente, una instalación domótica usaba sensores y actuadores que se unían, con una arquitectura centralizada, a una autónoma o controlador que acaparaba toda la inteligencia que se exigía a la vivienda. Casi siempre eran sistemas propietarios, poco flexibles, que hacían difícil y muy costoso el aumento de las prestaciones. Desde hace pocos años, gracias a la disminución de los precios del hardware electrónico, es posible construir sensores y actuadores con inteligencia suficiente como para implementar “una red de área local” de control distribuido.

#### 2.1.1 Aspectos de la Domótica

El conjunto de servicios que ofrece la domótica dentro del hogar están dirigidos a la gestión de cuatro funciones básicas: *confort*, *seguridad*, *energía* y *telecomunicaciones*, aunque en muchos aspectos estas funciones se pueden solapar. Al realizar una instalación, la proporción de la inversión realizada en cada uno de los apartados dependerá de cuál vaya a ser la finalidad del edificio o residencia. [4]

##### 2.1.1.1 Confort

El concepto de confort va principalmente dirigido a las instalaciones de climatización, ventilación y calefacción (Instalaciones CVC de ahora en adelante), aunque se incluyen en este campos todos los sistemas que contribuyen al bienestar, la comodidad y a la reducción del trabajo doméstico.

---

Entre los sistemas destinados al confort se destacan los siguientes ejemplos:

- Control inalámbrico de distintos automatismos.
- Control local y remoto de la iluminación.
- Automatización de riego y jardín.
- Apertura automática de puertas.
- Centralización y supervisión de todos los sistemas de la vivienda.
- Información de presencia de corre en buzón.
- Encendido y apagado remoto de electrodomésticos

#### 2.1.1.2 Control Energético

El aprovechamiento de la energía y reducción de su consumo, es uno de los apartados más importante en la instalación de un sistema domótico. Las acciones destinadas a reducir el consumo son por ejemplo:

- Aprovechamiento de las franjas de tarificación bajas para hacer trabajar aquellos equipos que lo permitan. Por ejemplo, lavadoras y secadoras.
- Detección de fuentes de pérdidas en sistemas de climatización (suspensión del funcionamiento en estancias donde se detectan ventanas abiertas)
- Reducción del consumo para climatización en ausencia de individuos en las estancias mediante la detección automática de presencia.
- Actuación sobre automatismo de persianas para el aprovechamiento de la luz solar.

#### 2.1.1.3 Seguridad

Con respecto al aspecto de seguridad se incluyen tareas como por ejemplo:

- Alumbrado automático en zonas de riesgo por detección de personas.
- Desactivación de enchufes de corriente para evitar contactos.
- Manipulación a distancia de interruptores en zonas húmedas.
- Detectores de fugas de gas o agua que cierren las válvulas de paso .

#### 2.1.1.4 Telecomunicaciones

Entre las posibilidades de telecomunicaciones destacaremos:

- Sistemas de comunicación interior.
- Red de área local doméstica
- Control de instalaciones domóticas mediante conexión a internet.

---

## 2.2 Home Energy Management Systems

Un *Home Energy Management System (HEMS)* es una Plataforma tecnológica compuesto por un software y hardware que permite al usuario monitorear el uso y la producción de energía, y controlar manualmente y/o automatizar el uso de energía dentro del hogar. [5]

### 2.2.1 HEMS Hardware

El hardware de un HEMS suele consistir en un dispositivo "*concentrador*" que transmite las comunicaciones entre lo que sucede dentro de la casa, el usuario y, en algunos casos, el servicio público local o la empresa de distribución. Este *concentrador* generalmente se instala en el tablero eléctrico de la casa, pero también se puede instalar "virtualmente" en los casos en que el HEMS funciona únicamente en una red inalámbrica. Otros componentes menos esenciales pueden incluir "enchufes inteligentes", sensores de luz y temperatura y dispositivos inteligentes dentro del hogar. [5]

### 2.2.2 HEMS Software

El software utilizado en un HEMS es el que modera los datos y las comunicaciones entrantes y salientes. Desde la perspectiva del usuario, el software es la interfaz que permite el acceso a los datos de monitoreo y las funciones de control del sistema. La interfaz suele adoptar la forma de una aplicación o un portal web. El software de algunos HEMS tiene el objetivo expreso de aumentar la eficacia o eficiencia energética del hogar, mientras que el objetivo de otros es simplemente controlar los dispositivos de forma remota o automática por motivos de conveniencia o seguridad.

En cuanto al monitoreo, la sofisticación de la forma en que se muestran los datos variará, pero generalmente incluirá alguna variación de lo siguiente: [5]

- **Información de dispositivos y aparatos:** ¿Qué dispositivos están encendidos y apagados? ¿Cuánta energía está usando cada uno?
- **Granularidad de los datos de tiempo:** ¿cuál es el incremento de tiempo más pequeño del que el sistema realiza un seguimiento? ¿Ve datos en vivo de su consumo de electricidad o ve intervalos?, por ejemplo, datos de cada hora.
- **Información entregada:** ¿El sistema envía notificaciones para alertar al usuario sobre tendencias y problemas que es posible que no detecten sin analizar los datos por sí mismos?

En cuanto al control, un HEMS puede permitir que un usuario haga una variedad de cosas, que incluyen:

- Encendido y apagado de los dispositivos en forma remota.
- Configurar los dispositivos para que funcionen según los horarios.

- 
- Configurar reglas condicionales para el funcionamiento del dispositivo.
  - Administrar el flujo de energía de los paneles solares (y otros generadores) a través del hogar o dentro y fuera de las baterías.
  - Permitir que técnicas de machine learning se hagan cargo y ejecute el sistema de forma semiautomática.

### 2.2.3 Especificaciones requeridas de un HEMS

El principal objetivo de un HEMS es mejorar la eficiencia energética en hogares y edificios. Los objetivos adicionales pueden incluir beneficios de servicios eléctricos, como controlar el uso de energía para reducir la demanda máxima. Para lograr estos objetivos, HEMS debe admitir capacidades y características específicas explicadas a continuación: [6]

1. **Monitoreo y control de dispositivos:** Un HEMS necesita poder monitorear y controlar diferentes dispositivos y electrodomésticos en un hogar. La información del dispositivo puede estar disponible para el usuario a través de un sitio web, interfaz o aplicación de teléfono. En su forma más simple, el control del dispositivo debe estar disponible para el usuario manualmente. Si el sistema de gestión admite la programación inteligente, el control puede ser automático. Además, el control de dispositivos puede ser remoto o local.
2. **Comunicación fluida entre dispositivos:** Un HEMS proporciona comunicación entre diferentes dispositivos. Cada dispositivo puede funcionar con una tecnología de comunicación diferente, como Wi-fi, ZigBee, Z-Wave, entre otros. El sistema debe ser capaz de proporcionar una forma de apoyar la comunicación entre diferentes dispositivos.
3. **Inteligencia:** La mayoría de los jefes o jefas de hogar no tienen una comprensión cabal de su uso de energía, por lo que es posible que no tomen las decisiones adecuadas para reducir su consumo. Podría ser beneficioso para el HEMS proporcionar retroalimentación al usuario y realizar algunos ajustes automáticos, permitidos por el usuario. Para lograr el objetivo de ahorro de energía deben ser incorporados en el sistemas programación inteligente y algoritmos de optimización.
4. **Gestión de datos:** En la era de las redes inteligentes, la información sobre el uso de energía se puede proporcionar en diferentes granularidades de una amplia variedad de dispositivos. Un HEMS debe ser capaz de manejar grandes cantidades de datos de manera eficiente.
5. **Seguridad y Privacidad:** Un HEMS contiene mucha información sobre el uso de energía de los residentes, patrones y horarios diarios. Toda esta información debe estar cifrada y segura, al igual que la comunicación entre varios dispositivos y el HEMS.

## 2.3 Hardware y Software

El Hardware es la estructura física de un equipo. Comprende a todos los elementos electrónicos y mecánicos que componen al equipo, independiente de la ubicación de los mismos. Para el caso de un computador, podemos considerar como hardware a todo los elementos mecánicos, electrónicos y eléctricos tales como el teclado, monitor, microprocesadores, unidades de disco, ratón, escáner entre otros.

---

Por su parte, se entiende por Software al conjunto de datos que necesita el equipo para poder trabajar. También se puede decir que el Software es el conjunto de programas y utilidades que se encargan de explicar al Hardware lo que tiene que hacer. [7]

Dentro del Software es necesaria la presencia de un sistema operativo, cuya principal función es la de traducir nuestras ordenes al equipo de modo tal que pueda entenderlas. El sistema operativo más popular entre computadores es **Windows**, pero podemos destacar otros sistemas operativos tales como **Unix, Mac OS, Linux, Chrome OS**.

## 2.4 Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado que en su interior contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), puertos de entrada y salida y periféricos. Estas partes están interconectadas dentro del microcontrolador, y en conjunto forman lo que se conoce como microcomputadora. Se puede decir con toda propiedad que un microcontrolador es una microcomputadora completa encapsulada en un circuito integrado. [8]

El microcontrolador es un computador dedicado a diversas aplicaciones. En su memoria solo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada/salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar, y todos los recursos complementarios disponibles tienen como única finalidad atender sus requerimientos.

Toda microcomputadora requiere de un programa para que realice una función específica. Ese se almacena en la memoria ROM. Cabe destacar que sin un programa, los microcontroladores carecen de utilizar.

El propósito fundamental de los microcontroladores es el de leer y ejecutar los programas que el usuario le escribe, es por esto que la programación es una actividad básica e indispensables cuando se diseñan circuitos y sistemas que lo incluyan. El carácter programable de los microcontroladores simplifica el diseño de circuitos electrónicos. Permiten modularidad y flexibilidad ya que un mismo circuito se puede utilizar para que realice diferentes funciones con solo cambiar el programa del microcontrolador. [8]

## 2.5 Single-Board Computer

Un Single-Board Computer (SBC), es una computadora completa de una sola placa, con microprocesadores, memorias y cualquier componente requerido para que un computador funcione. Todos estos componentes están soldados a la placa y forman parte de una pieza única que no necesita de elementos externos de expansión (aunque algunos modelos permiten la conexión de otros componentes mediante puertos de expansión). [9]

Los SBC suelen ser de tamaño muy compacto y tienen una capacidad de cómputo moderada. Es por ello que son usados generalmente como sistemas embebidos, ya que dichos sistemas no suelen

---

requerir mucha capacidad. Como ejemplo de uso, estas SBC se pueden encontrar en máquinas recreativas, quioscos interactivos, estaciones metereológicas, etc.

Debido a que las SBC pueden ser usadas también en los hogares para realizar diferentes funciones tales como montar un servidor web, un servidor multimedia o controlar aspectos de la casa (casa domótica); se ha popularizado la compra de estos componentes y es por ello que hay varios modelos en el mercado.

Entre las SBC más populares se destacan:

- Raspberri Pi
- Pandaboard
- Cubieboard
- Banana Pi
- Pine 64

## 2.6 Arduino

Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador re-programable y una serie de pines hembra. Estos permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla (principalmente con cables dupont). [10]



Figura 1. Placa arduino UNO [10]

---

Una placa electrónica o mas conocida por sus siglas *PCB* (“Printed Circuit Board”). Las PCBs son superficiales planas fabricadas en un material no conductor, la cual consta de distintas capas de material conductor. Una PCB es la forma más compacta y estable de construir un circuito electrónico. Por lo tanto, la placa Arduino no es más que una PCB que implementa un determinado diseño de circuitería interna. De esta forma, el usuario final no se debe preocupar por las conexiones eléctricas que necesita el microcontrolador para funcionar, y puede empezar directamente a desarrollar las diferentes aplicaciones electrónicas que necesite. [10]

## 2.7 Modelo CREST

El “High-resolution stochastic integrated thermal-electrical domestic model” [2], del Centro de Tecnología de Sistemas de Energía Renovable o más conocido como CREST (por sus siglas en Inglés Centre for Renewable Energy Systems Technology) es un modelo estocástico de alta resolución capaz de generar perfiles de carga que incluyen variados factores, orientado a un consumo residencial. Además, al igual que Python, se tiene que su desarrollo es de tipo Open-Source, por lo que puede ser modificado o mejorado por quien lo desee.

El modelo nace de la necesidad de saber como afrontar, de la mejor manera posible, el cambio que significa para las redes de baja tensión la aparición y adopción de tecnologías bajas en carbono, debido a que los métodos convencionales de análisis para expansión se basan sobre todo en la experiencia pasada. En este marco, el modelo integra tanto la componente eléctrica (iluminación, consumo, generación propia) como la térmica (paneles termosolares, por ejemplo).

Es un modelo complejo, con requerimientos específicos. Por ejemplo, si se piensa en una vivienda en particular, se tiene que su consumo de electricidad puede variar drásticamente de un momento a otro, dependiendo de como actúen los habitantes de esta, presentando así un comportamiento aleatorio e impredecible. Esta característica hace necesario el enfoque estocástico, el cual busca entregar datos que provengan de una simulación, pero posean las estadísticas correctas. Pero existe un problema en qué estadísticas mantener en valores adecuados y qué valores aproximar si es necesario, llevando así al modelo a un equilibrio entre la capacidad computacional requerida y el detalle buscado.

### 2.7.1 Requerimientos del modelo

El propósito del modelo CREST reside principalmente para aplicaciones de análisis en redes de baja tensión.

Un aspecto crítico de la modelación de demanda para este propósito es tener una apropiada representación del tiempo de la demanda. Es natural que el consumo de la demanda varíe de un momento a otro debido a la dificultad de predecir el comportamiento de los habitantes de la

---

vivienda. Este comportamiento random e impredecible debe ser considerado por el modelo puesto que tienes grandes implicancias particularmente en las redes de baja tensión.

Reconociendo que no es posible predecir el comportamiento exacto de los habitantes, el foco del modelo estocástico de la demanda es el de proveer una simulación de este comportamiento basada en actividad, recopilando datos de uso de cargas en el hogar y contrastando con una medición eléctrica del consumo.

Así, para la replicación del modelo CREST este debe cumplir con la siguientes exigencias:

- **Alta Resolución Temporal:** Se deben representar fielmente los *peaks* de consumo que aparecen de vez en cuando en un día típico, por lo que es necesario usar una alta resolución temporal, que minimice a su vez los errores que puedan aparecer debido a un *paso* de tiempo muy grande en las simulaciones. Por otro lado, es necesario que esta resolución permita una cantidad de datos no prohibitiva. Entonces, se debe tener en cuenta que los datos medidos generalmente tienen una resolución de 10 minutos.
- **Diversidad en la demanda:** Si bien en el modelo se simulan viviendas individuales, en realidad se desea observar el comportamiento de, por ejemplo, un alimentador de distribución particular que alimenta muchas viviendas. El planificador de la red generalmente mira el ADMD (*After Diversity Maximum Demand*) que corresponde a la máxima demanda esperada después de aplicar el factor de diversidad. Si se busca un buen modelo, este indicador debe ser representado de manera precisa, siendo una medida de cuan *ajustado* está el modelo.
- **Dependencia dentro de las viviendas:** Dentro de las viviendas, existe una dependencia entre las cargas debido al comportamiento de los residentes, ya que muchas de estas (luz, por ejemplo) dependen de si los residentes están despiertos. Por esto, el modelo está *basado en actividad*.
- **Modelación estocástica:** Dada la naturaleza aleatoria del comportamiento de los residentes en una vivienda, se hace necesario utilizar técnicas de modelación de tipo estocásticas que produzcan datos de salida con distribuciones de probabilidad similares a lo observado en el mundo real.
- **Modelación basada en actividad:** La energía es usada para satisfacer diferentes necesidades que son distintas según el usuario. Esta *influencia humana* es clave en cómo resultan los distintos perfiles, por lo que ha de ser considerada en el modelo. Por tanto, el modelo integra esta característica mediante encuestas de gran escala que midieron el comportamiento de los individuos con una resolución de diez minutos en un periodo de un día.

Además, debe incluirse una variación estacional en la demanda que refleje los cambios que sufre esta en las distintas estaciones, la capacidad de ser usado junto a otros modelos y, por último, que los datos que se requieren puedan ser accesibles por el modelo mismo de modo que sea autocontenido.

---

## 2.8 Sensores de medición eléctrica

### 2.8.1 Sensor

Un sensor es un dispositivo que detecta el cambio en el entorno y responde a alguna salida en otro sistema. Un sensor convierte un fenómeno físico en un voltaje análogo medible(o, a veces, una señal digital) convertido en una pantalla legible para humanos o transmitida para lectura o procesamiento adicional. [11]

### 2.8.2 Sensores de corriente

Los sensores de corriente son dispositivos utilizados para medir el flujo de corriente en un circuito eléctrico. También se denominan transductores de corriente o transformadores de detección de corriente. Están disponibles en una variedad de tipos para medir flujos corriente CA y CC, incluido: efecto Hall, bobinas de Rogowski y transformadores. Los sensores de corriente no tienen una conexión eléctrica directa a la corriente que está siendo controlada para permitir el aislamiento galvánico al circuito de medida.

Los sensores de corriente funcionan en circuitos de lazo abierto o cerrado. Los circuitos de sensores de lazo abierto suelen ser más económicos que las alternativas de lazo cerrado, pero menos precisos. Los sensores de lazo abierto utilizan la tensión de detección para obtener directamente el flujo de corriente. Esto puede conducir a inexactitudes causadas por la no linealidad en el sensor y efectos de saturación. Los sensores de lazo cerrado utilizan la tensión de detección de la bobina primaria para alimentar una corriente opuesta en la bobina secundaria enrollada sobre el mismo núcleo. La corriente se ajusta mediante el bucle de respuesta con el fin de equilibrar el flujo generado por la corriente del lazo primario. Equilibrar de esta manera elimina los efectos de la saturación y deriva térmica, y permite realizar mediciones más precisas a través del monitoreo de la corriente secundaria. La complejidad agregada conduce a un mayor costo. Los detectores de lazo cerrado también se conocen como sensores de flujo cero o detectores de valor nulo.

Un sensor de efecto Hall detecta el flujo magnético causado por la corriente en el conductor que está siendo medido induciendo un flujo de corriente en una bobina de detección. El dispositivo se coloca en un hueco en el núcleo de la bobina detectora y emite una tensión Hall proporcional al flujo de la corriente de la bobina en la siguiente relación:

$$V_h = R_h * \left(\frac{I}{t * B}\right) \quad (1)$$

Donde:

$V_h$  es la tensión Hall en voltios

---

$R_h$  es el coeficiente del efecto Hall

$I$  es el flujo de corriente a través del sensor en amperios

$t$  es el espesor del sensor en mm

$B$  es la densidad del flujo magnético en Teslas

La señal de salida para los sensores lineales (analógicos) se toma directamente de la salida de un amplificador operacional conectado al sensor. Un sistema de lazo abierto usa la salida de tensión del efecto Hall para medir directamente la corriente. Un sistema de lazo cerrado convertirá la tensión del efecto Hall en una corriente de conduce la bobina secundaria para crear un equilibrio de flujo como se describió anteriormente.

Una bobina de Rogowski es una bobina helicoidal sin núcleo especial envuelta alrededor de un conductor de alambre recto que regresa desde el extremo de la bobina misma que rodea el conductor que lleva corriente. La corriente se deriva mediante la integración de la tensión inducida en los extremos de los cables del montaje. Son una manera de bajo costo para medir corriente alterna. Pueden medir pulsos de corriente de alta velocidad gracias a su baja inductancia. También son capaces de medir corrientes altas debido a que no tienen un núcleo que podría saturarse. Los convertidores análogos digital especiales están disponibles con integradores para medir este valor. Los sensores de bobina de Rogowski se utilizan en aplicaciones como: sistemas de soldadura de alto rendimiento, pruebas de cortocircuito y metrología a altas corrientes.

Los resistores de derivación pueden colocarse en serie con un suministro de energía para detectar el flujo de corriente. La corriente que fluye a través de una desviación creará un potencial de tensión directamente proporcional al producto de la corriente y la resistencia de derivación. Esto se puede aprovechar y medir mediante un convertidor analógico a digital (ADC). Los resistores de derivación de baja impedancia (mOhms) y precisión especial están disponibles para esta función.

Los sensores de corriente del transformador (también llamados medidores de abrazadera de corriente) se utilizan para detectar y medir la corriente alterna. Se suelen usar en aplicaciones como equipos de prueba, donde un anillo de hierro blando o ferrita dividida rodea a un conductor con una corriente a medir. Un alambre se enrolla alrededor del material del núcleo creando un transformador de corriente con el cable individual que lo rodea. Estos son excelentes para las corrientes altas, pero no son muy buenos para medir corrientes alternas pequeñas. [12]

### 2.8.3 Sensores de voltaje

Los sensores de voltaje son ideales para situaciones en las que la calidad de energía es un problema, facilitan el seguimiento de los niveles de voltaje. Identifican problemas de subvoltaje o sobrevoltaje. Dependiendo del modelo de sensor, son acoplables a registradores de datos, medidores de panel o PLC para el seguimiento y la presentación de informes en tiempo real. Los sensores de voltaje

---

más comunes en el mercado corresponde a transformadores de tensión, los cuales se conectan directamente a la red de consumo eléctrico y reducen el voltaje dependiendo de la cantidad de espiras que posea el transformador.

## 2.9 Estado del arte

### 2.9.1 Aplicaciones del modelo CREST

El modelo CREST, tal como se ha mencionado con anterioridad, cumple con la función de generar perfiles de demanda residencial por medio de un algoritmo computacional basado en datos medidos y encuesta de uso a residentes. De esta manera, se destacan las siguientes aplicaciones del modelo CREST.

#### 2.9.1.1 Aplicaciones para Tesis y Memorias

En cuanto a tesis y memorias refiere, el modelo CREST es una ayuda en la generación de perfiles de demanda residencial para realizar análisis en redes de distribución, de esta manera se destacan tres trabajos de memoria de título de la Universidad de Chile.

- Estudios de impacto en la red de distribución de la adopción residencial masiva de paneles fotovoltaicos y vehículos eléctricos [13]: Esta memoria cumple con el objetivo de evaluar la magnitud y probabilidad de ocurrencia de problemas de tensión y capacidad térmica en la red de distribución de Media Tensión, causados por la generación masiva de energía fotovoltaica y vehículos eléctricos. En este marco, se utiliza el modelo CREST para generar perfiles de demanda residencial.
- Aporte de las redes inteligentes comunitarias al aumento de la generación distribuida [14]: El objetivo de esta memoria consiste en el análisis de una red inteligente comunitaria, compuesta por paneles solares y baterías, para lo cual se utiliza el modelo CREST para generar los perfiles de carga necesarios para la simulación.
- Electrificación del transporte – Buses eléctricos y el sistema de distribución [15]: El objetivo de esta memoria es determinar el perfil de demanda eléctrica producto de la adopción de buses eléctricos en el transporte público de Santiago y cuantificar los impactos en el sistema de distribución, a nivel de media tensión. Se ha utilizado el modelo CREST para obtener perfiles de carga genéricos con lo cual se simula la demanda de la red a evaluar.

#### 2.9.1.2 Aplicaciones docentes

El modelo CREST, dada su característica *Open Source*, puede ser utilizado y modificado a voluntad, siendo de gran ayuda en cuanto a términos educacionales, puesto que este libre uso sumado al fácil manejo del programa, lo han convertido en una herramienta didáctica para el estudio de perfiles de demanda. Para un caso concreto, en el curso *EL7055 Modelos Avanzados de Sistemas de Distribución y Redes Inteligentes*, dictado por el profesor Alejandro Navarro en la Universidad de Chile, se utiliza el modelo CREST con el fin de brindarle a los alumnos el conocimiento y la importancia de las técnicas de predicción de demanda.

---

## 2.9.2 Dispositivos de medición eléctrica residencial

### 2.9.2.1.1 Sonoff Pow

Sonoff Pow R2 es un interruptor inteligente WiFi, que permite administrar y controlar dispositivos de forma remota y de igual manera controlar el consumo de energía en el hogar. Funciona como un monitores de alimentación, que permite realizar un seguimiento del 99% de la corriente, el voltaje y la potencia en tiempo real desde la aplicación.

El Sonoff Pow R2 puede monitorear la potencia, corriente y voltaje en tiempo real del dispositivo conectado, medir el uso de energía durante el período especificado, establecer valores de umbral para protegerse de la sobrecarga y comprobar el uso de energía diario/mensual. Es compatible con la entrada de CA de 90x 250V, el máximo de corriente es 16A y el máximo de potencia es de 3500W. [16]

Características:

- Encendido/apagado remoto del dispositivo conectado a través de la APP eWeLink.
- Permite mantener un registro de la corriente, el voltaje y la potencia en tiempo real.
- Establece valores de umbral para proteger sus dispositivos contra sobrecarga, configurando los valores de potencia, corriente y voltaje para que los dispositivos se apaguen automáticamente.
- Mide el consumo de energía de sus dispositivos durante un tiempo específico.
- Permite ver y exportar datos de consumo de energía de 100 días.
- Permite ver el estado del dispositivo en tiempo real en la aplicación eWeLink.
- Admite 8 temporizadores de programación o cuenta regresiva.
- Permite que otros usuarios de eWeLink controlen sus dispositivos.
- Funciona con Amazon Alexa, Google Home y IFTTT.
- Sistema de proección ante sobrecargas, OPS (Over Load Protection) [17]
- Precio: \$19.980 pesos chilenos

### 2.9.2.2 Power meter de Schneider Electric

Este analizador de energía de la marca Schneider Electric está diseñado para contar los vatios-hora que se consumen por circuito eléctrico, monofásico y trifásico.

Cuenta con pantalla digital, medidor parcial, un cableado sencillo sin CT (Transformador de corriente) y un tamaño perfecto para colocar en cualquier parte de la casa, además de con medición directa de hasta 63 A o medición a través de CT( Transformador de corriente). [18]

Precio aproximado: 609.709 pesos chilenos.



Figura 2. PM3210 Power meter [19]

### 2.9.2.3 Contadores de energía EMDX3 de Legrand

Se trata de un medidor trifásico con un cableado exclusivo para este sistema con conexión directa para 6 módulos. Mide la energía eléctrica consumida por un circuito trifásico y también monofásico. [18]

Mide la energía consumida por un circuito monofásico o trifásico situado aguas abajo del contador de energía. Muestra el consumo de energía en kWh, así como otros valores tales como la corriente, potencia activa y reactiva.

Precio aproximado: \$81.969 pesos chilenos



Figura 3. Contador monofásico de energía EMDX3. [20]

---

### 2.9.3 Dispositivos de medición eléctrica residencial, experiencia en memoria de título

En la literatura, se han encontrado diversas memorias de título que han trabajado en el desarrollo de dispositivos de medición eléctrica residencial basado en plataformas de desarrollo, se destacan las siguientes:

- Monitor de corriente basado en Arduino [21]: Este trabajo consiste en el desarrollo de un sistema que proporcione información acerca del consumo eléctrica de una máquina del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Sevilla.
- Diseño y construcción de un equipo de medida de energía eléctrica de bajo coste [22]: El objetivo de este proyecto consiste en diseñar un equipo de medición de consumo en el edificio de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Madrid (ICAI).
- Sistema electrónico de monitoreo y control para la distribución de energía eléctrica en los hogares [23]: Este trabajo consiste en el desarrollo de un sistema de medición de consumo eléctrico residencial en tiempo real anexo a un sistema de control de cargas por medio de un sistema de relés.
- Sistema digital de medidas de potencia eléctrica mediante el procesador DSC-28377S con interconexión a distancia [24]: El objetivo de este trabajo consiste en desarrollar un sistema digital para medir potencia eléctrica en sistema trifásicos y monitorizado desde la web por un portal http-

La plataforma de desarrollo escogida por cada autor se presentan a continuación en el orden respectivo:

- Arduino UNO SMD edition
- Arduino Due
- Arduino UNO R3
- Raspberri Pi 3

### 2.9.4 Discusión

A pesar de los variados equipos existentes de medición energética residencial, no hay una solución tecnológica que permita realizar en conjunto una encuesta de uso enérgico y la medición de consumo que requiere una modelación óptima para la generación de perfiles de demanda residencial. Es motivo de este trabajo de título utilizar la información disponible junto con la experiencia previa para generar este enlace entre la caracterización del comportamiento de los residentes de un hogar (encuesta de uso) y la medición de consumo (dispositivo de medición).

---

## 3 Metodología

A continuación, se presenta de forma gráfica la metodología a implementar.



Figura 4. Metodología.

Con el fin de explicitar la forma de trabajo propuesta a implementar para el desarrollo del presente trabajo, a continuación, se define cuál será el problema a abordar.

### 3.1 Problema a resolver

Con el fin de generar un aporte a la replicación del modelo CREST para el caso chileno, se propone diseñar y desarrollar un dispositivo de medición de consumo a nivel residencial, apoyado de una encuesta que permita al usuario llevar un registro de uso de las cargas en el domicilio.

---

## **3.2 Pasos para la resolución del problema**

Para llevar a cabo el proyecto de trabajo de título antes planteado, se procederá de la siguiente manera:

### **3.2.1 Definición de las variables eléctricas que medir y plataforma de desarrollo a utilizar**

Por medio de revisión bibliográfica, se debe definir que variables eléctricas se deben medir y que plataforma de desarrollo se utilizará, junto con el lenguaje de programación pertinente.

### **3.2.2 Diseño del dispositivo**

Una vez se tenga la plataforma de desarrollo definida y las variables a medir, se procede al diseño del dispositivo, generando un esquema de conexión donde se detallan todos los elementos necesarios (placa de desarrollo, sensores de corriente y voltaje según corresponda, etc.). Posterior a esto, se deben efectuar la compra de todos los elementos detallados en el diseño.

### **3.2.3 Desarrollo del dispositivo**

Ya con todos los elementos adquiridos, se procede al ensamblaje del Hardware del dispositivo y la programación del software de este.

### **3.2.4 Desarrollo de la encuesta de uso**

Una vez finalizado el desarrollo del dispositivo, se debe realizar el desarrollo de la encuesta de uso, esta tiene como finalidad llevar un registro de todas las cargas de un hogar, en la cual el usuario debe indicar cada vez que enciende o apaga una carga.

### **3.2.5 Pruebas del dispositivo y encuesta de uso**

En un ambiente controlado, se deben realizar las pruebas del dispositivo y encuesta de uso, conectando el dispositivo a la red domiciliaria y conectando/desconectando cargas controlables para así confirmar el correcto funcionamiento del dispositivo.

---

# 4 Desarrollo del proyecto

## 4.1 Diseño dispositivo de medición eléctrica residencial

### 4.1.1 Diagrama de bloques del sistema

Para poder llevar a cabo el propósito del proyecto, se propone que el dispositivo cumpla con cada una de las etapas del diagramas de bloques presentado a continuación.



Figura 5. Diagrama de bloques del sistema

### 4.1.2 Etapa de sensado

Esta etapa corresponde a la adquisición de los parámetros eléctricos que buscamos medir. Dado que el propósito del proyecto está en monitorear el consumo eléctrico de un domicilio, será necesario el uso de sensores de corriente y voltaje con el fin de obtener una lectura de estas variables y por consiguiente realizar los cálculos para obtener el consumo de potencia aparente, potencia activa y el factor de potencia.

---

#### 4.1.2.1 Selección del sensor de corriente

Se cotizó diversos tipos de sensores de corriente mediante una búsqueda exhaustiva en internet, se consideraron diversos factores a la hora de seleccionar este sensor siendo enfocados principalmente a la corriente máxima, el rango de salida, la conectividad con plataformas de desarrollo, el precio y la localización de la tienda.

A continuación, se muestra en la Tabla 1 las características de tres sensores cotizados.

Tabla 1. Sensores de corriente

Sensor	Corriente	Rango de	Tipo de Sensor	Precio (pesos chilenos)
Sensor De Corriente 30a Acs712 - Arduino	30	66-185 mV	Efecto hall	\$4.534
Sensor de corriente CA ZMCT103C	5 ±5mA		Transformador de corriente	\$1.379
Sensor de corriente SCT - 013	100 ±1V		Transformador de corriente no invasivo	\$10.930

De esta manera, ha sido escogido el sensor de corriente YHDC SCT-013 en su versión de 30 amperes. La selección de este sensor de debió principalmente a su manera de adquirir datos, siendo de forma no invasiva encerrando un cable y por medio de ley de Ampere calcular la corriente encerrada, tal como se indica en la sección 2.8.2. Por otra parte, la salida de este sensor se encuentra en un rango que es compatible con la gran mayoría de placas de adquisición de datos, característica que confirma a este sensor como la mejor elección disponible en el mercado.



Figura 6. Sensor de corriente YHDC SCT 013-30 [25]

A continuación, se presentan las características del sensor YHDC SCT 013-30.

Tabla 2. Características sensor YHDC SCT 013-30 [25]

Corriente de salida	0-30 [A]
Modo de salida	±1V
No linealidad	±1%
Resistencia Grado	Grado B
Temperatura de Trabajo	[-25°C a 70°C]
Rigidez dieléctrica entre la cáscara y la salida	1000 VAC/ 1min 5mA
Longitud del cable	150cm
Plug	3.5mm
Tamaño	13mm x 13mm
Precio	\$10.930 pesos chilenos

#### 4.1.2.2 Selección del sensor de voltaje

De igual manera que para el sensor de corriente, se realizó una cotización de sensores de voltaje en el mercado vía internet, tomando en consideración para la selección al voltaje de operación, teniendo que soportar los 220 volts de la red eléctrica y también que la salida sea compatible con las placas de adquisición de datos.

A diferencia del sensor de corriente, existe menos oferta en el mercado para sensores de voltaje, por lo cual se escogió el sensor Zmpt101b, el cual es un transformador 250V/5V que mediante un enchufe tradicional se conecta a la red eléctrica y entrega una salida en un rango de [0 – 5 V], lo cual lo hace una opción idónea para los requerimientos del proyecto.

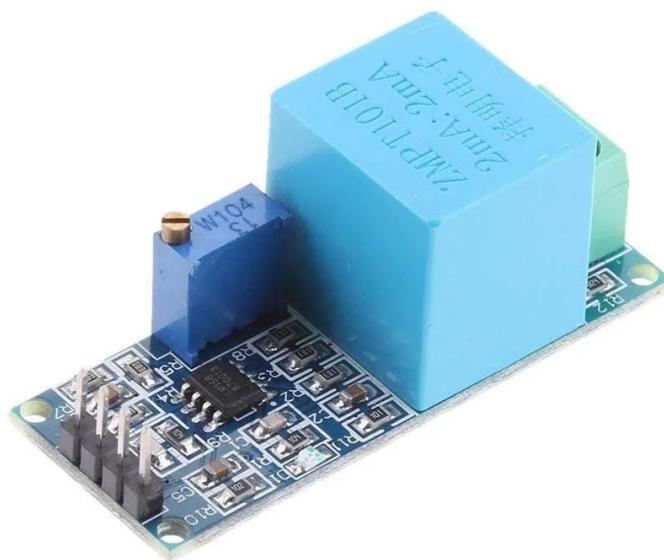


Figura 7. Sensor de voltaje Zmpt101b [26]

---

A continuación, se presentan las características principales del sensor Zmpt101b:

Tabla 3. Características sensor de voltaje Zmpt101b

Tensión de alimentación	3.3 - 5VDC
Tensión AC de entrada	250VAC máx
Tensión AC de salida	Senoidal %VAC máx
Señal de salida	Analógica senoidal
Corriente nominal de entrada/salida	2mA
Ratio entrada/salida	1000:1000
Diferencia de fase	<30° (a 50 O)
Rango lineal	0-3mA (a 50 O)
Linealidad	aprox. 1%
Precisión	0.2%
Aislamiento eléctrico entrada	hasta 3000V
Dimensiones	51.75 x 21.65 x 23.15 mm
Peso	20gramos
Precio	\$5.990 pesos chilenos

### 4.1.3 Adquisición de datos

Los sistemas de adquisición de datos, abreviados comúnmente por las siglas DAQ, normalmente convierten las formas de onda analógicas en valores digitales para su procesamiento. Entre los componentes principales de los sistemas de adquisición de datos destacan: 1) sensores, para convertir los parámetros físicos en señales eléctricas; 2) circuito de acondicionamiento de señal, para convertir las señales del sensor en una forma capaz de convertirse en valores digitales; 3) convertidores analógicos-digitales (ADC desde ahora), encargados de convertir las señales de los sensores acondicionados en valores digitales. [27]

De esta manera, ya habiendo definido los sensores necesarios para la realización del proyecto, el bloque de adquisición de datos se enfoca principalmente en el trabajo del ADC.

Así, para la selección de la tarjeta de adquisición de datos se cotizó en el mercado diversas opciones, basando la decisión en la cantidad de entradas/salidas digitales, entradas analógicas, costo, capacidad de adquisición y familiarización con el lenguaje de programación.

Finalmente, la tarjeta de adquisición de datos escogida fue el Arduino Mega 2560 R3.

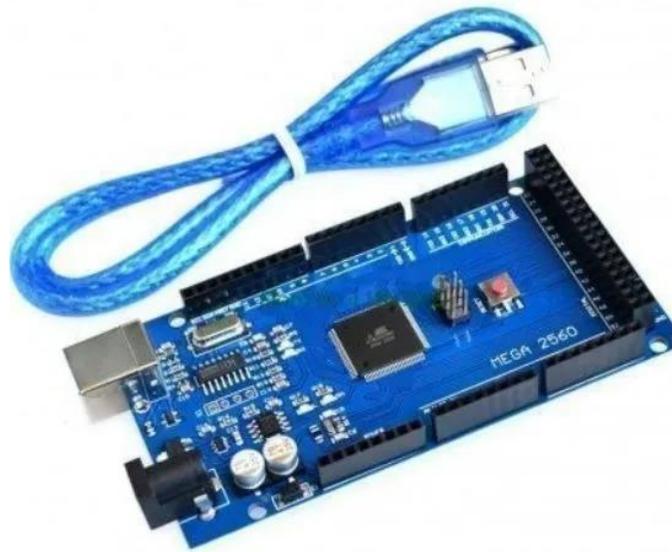


Figura 8. Arduino Mega R3 [28]

A continuación se muestran las características principales del Arduino Mega R3:

Tabla 4. Características Arduino Mega R3

Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada recomendado	7-12V
Voltaje de entrada mínimo y máximo	6-20V
Pines de E/S digital	54 (15 de los cuales son
Pines de entrada analógica	16 u
Corriente CC por cada pin E/S	20mA
Corriente CC para el pin de 3.3V	50mA
Memoria flash	256KB
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Frecuencia de reloj	16MHz
Longitud	101.52mm
Ancho	53.3mm
Peso	37gramos
Precio	\$14.990 pesos chilenos

---

La importante cantidad de pines digitales y analógicos, así como los voltajes de operación se ajustan a las necesidades que el proyecto exige, esto sumado a su módico precio lo convierten en la opción ideal.

#### 4.1.4 Procesamiento de datos

El bloque de procesamiento de datos comprende a la programación realizada para obtener los resultados de la medición de los sensores. Dado que estamos trabajando con Arduino, la programación será realizada mediante el software Arduino IDE, el cual es un conjunto de herramientas de software que permiten a los programadores desarrollar y grabar todo el código necesario para que la placa Arduino funcione como se desea. El IDE de Arduino permite escribir, depurar, editar y grabar nuestro programa (llamados “sketches”) de una manera sumamente sencilla. [29]

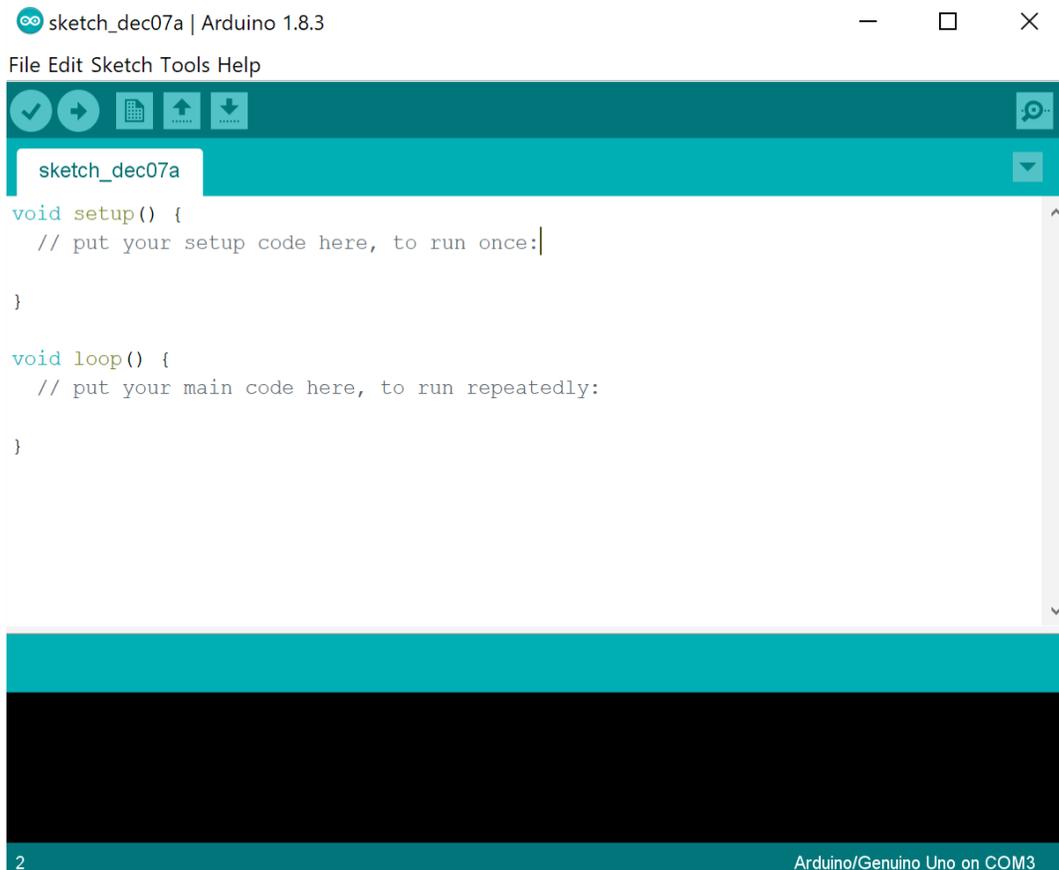


Figura 9. Interfaz Arduino IDE [30]

---

#### 4.1.4.1 Cálculo de parámetros

Para el proceso de cálculo de parámetros se debe tener en consideración que la placa Arduino Mega 2560 R3 cuenta con una resolución del convertidor de 10 bits, lo cual indica que la cuantificación de la señal analógica podrá representarse en valores de 0 a 1023. Estos valores vienen representados por la ecuación 2.

$$V_c = 2^{bits} \quad (2)$$

##### 4.1.4.1.1 Corriente

Dado que el sensor de corriente tiene una salida de  $\pm 1V$  no se aprovechan completamente la resolución de 10 bits del convertidos, por lo tanto por medio de un amplificador operacional conectado en modo seguidor de voltaje, obteniendo una señal del salida en el rango de  $[0 - 5V]$ . El amplificador operacional utilizado fue el LM358 y su conexión con el sensor de corriente es la siguiente:

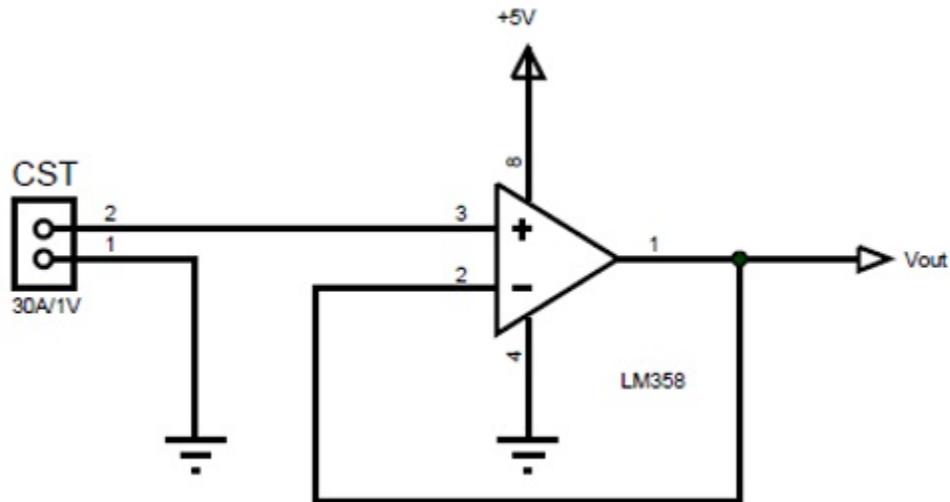


Figura 10. Conexión sensor de corriente SCT 013 y LM358 [31]

De esta manera, para obtener el valor real de la corriente se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_{real} = A_0 * \frac{V_{m\acute{a}x}}{1023} * I_{m\acute{a}xsensor} \quad (3)$$

---

Donde:

$A_0$ : Valor del pin análogo asociado a la lectura del sensor de corriente

$V_{m\acute{a}x}$ : Voltaje máximo de salida del sensor de corriente (5V)

$I_{m\acute{a}xsensor}$ : Corriente máxima del sensor (30A)

#### 4.1.4.1.2 Voltaje

El sensor de voltaje entrega señales de salida en el rango de [0 – 5V], por lo cual su conexión es directa a los pines del Arduino.

Para obtener el valor real del voltaje se realiza un procedimiento similar al de corriente, de esta manera el valor real de voltaje viene dado por:

$$V_{real} = A_1 * \frac{V_{m\acute{a}x}}{1023} * V_{m\acute{a}xsensor} \quad (4)$$

Donde:

$A_1$ : Valor del pin análogo asociado a la lectura del sensor de voltaje

$V_{m\acute{a}x}$ : Voltaje máximo de salida del sensor de voltaje (5V)

$V_{m\acute{a}xsensor}$ : Voltaje máximo del sensor (250V)

#### 4.1.4.1.3 Potencia Aparente

Para la potencia aparente es necesario realizar el cálculo de los valores cuadráticos medio tanto de la corriente y voltaje, de esta manera la potencia aparente "S" viene dada por:

$$S = I_{RMS} * V_{RMS} \quad (5)$$

---

#### 4.1.4.1.4 Potencia Activa

La potencia activa "P" será calculada de la siguiente manera:

$$P = \frac{\sum I*V}{N} \quad (6)$$

Donde:

*I*: Corriente

*V*: Voltaje

*N*: Número de muestras

#### 4.1.4.1.5 Factor de Potencia

El factor de potencia viene dado por:

$$F.P = \frac{P}{S} \quad (7)$$

### 4.1.5 Registro de datos

Para el registro de datos se optó por un almacenamiento en tarjeta SD, lo cual le entrega al proyecto la autonomía de ejecutarlo por un periodo de tiempo prolongado y cada cierta periodicidad obtener los datos en una memoria portátil.

Para este proceso se cuenta con el módulo Data logging shield v1.0, el cual es completamente compatible con Arduino y permitirá guardar la información que deseemos en una tarjeta SD.



Figura 11. Data logging shield v1.0 [32]

A continuación, se presentan las características principales de este módulo:

Tabla 5. Características Data logging shield v1.0

Voltaje de operación	5VDC
Interfaz RTC	I2C
Interfaz SD Card	SPI
RTC	DS1307
Precio	\$5289 pesos chilenos

## 4.2 Diagrama de conexiones

### 4.2.1 Conexión sensor de corriente a Arduino

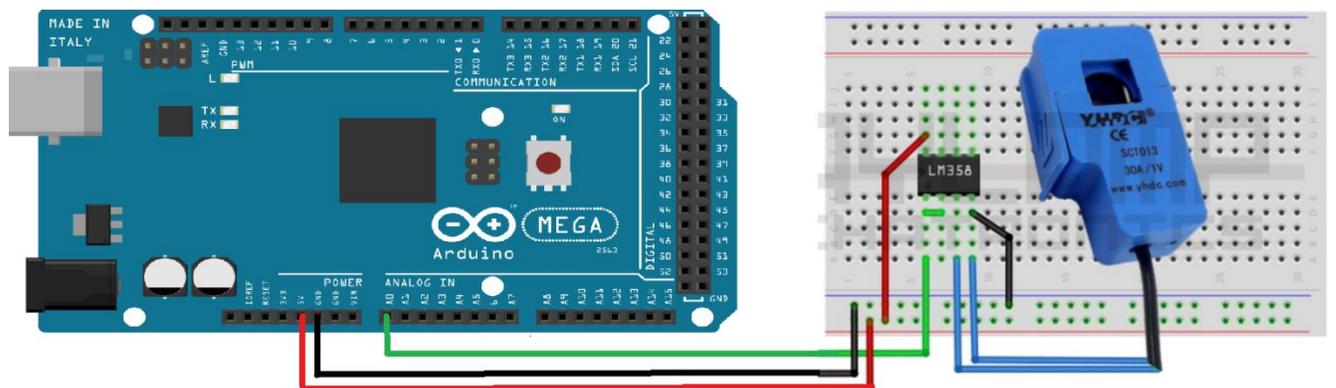


Figura 12. Conexión sensor de corriente a Arduino

---

## 4.2.2 Conexión sensor de voltaje a Arduino

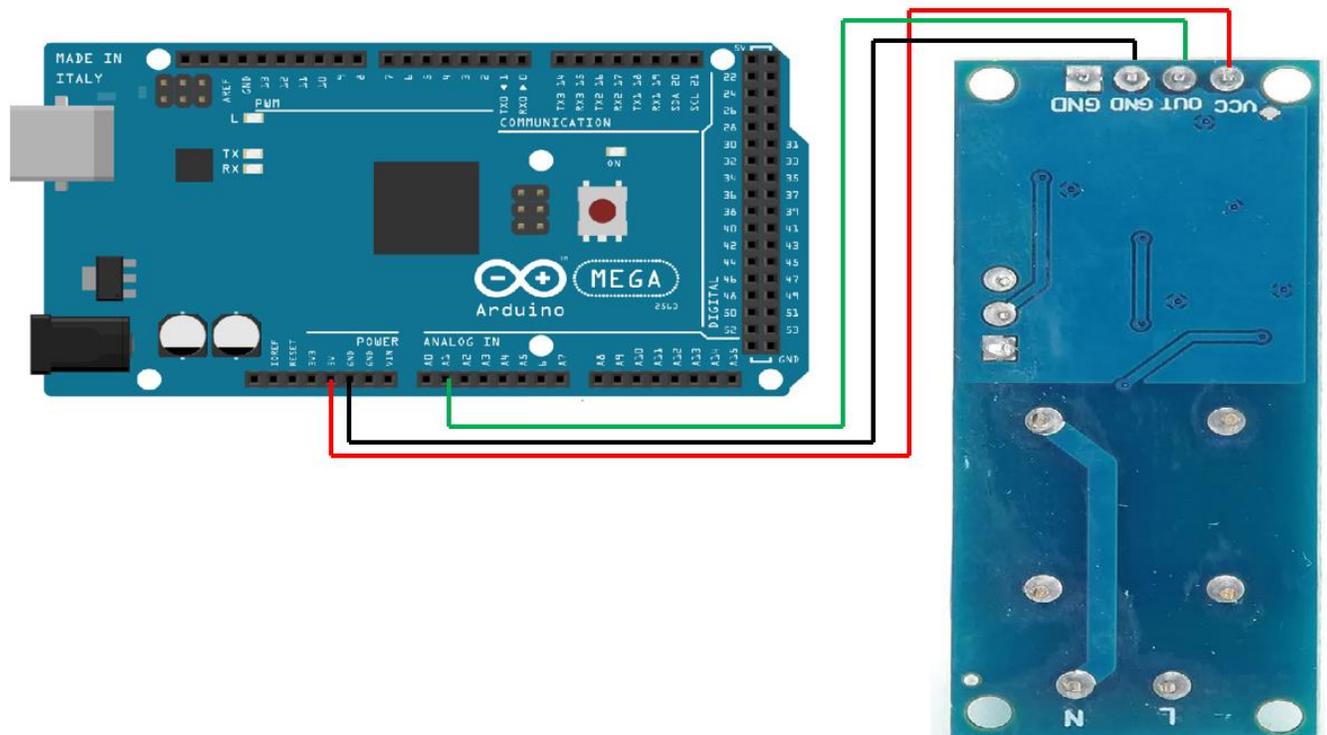


Figura 13. Conexión sensor de voltaje a Arduino

## 4.2.3 Filtro de adquisición de datos

Para una correcta lectura de los datos se debe realizar un filtro digital a la entrada del ADC, este filtro tendrá su frecuencia de corte dado por el teorema de Nyquist, el cual indica que la frecuencia de muestreo debe ser el doble de la frecuencia máxima. Este teorema se representa con la siguiente ecuación:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (5)$$

Donde:

$f_c$ : Frecuencia de corte del filtro [Hz]

$R$ : Resistencia del filtro [ $\Omega$ ]

$C$ : Capacitancia del filtro [F]

---

De esta manera, el tiempo de conversión de datos del microcontrolador ATMEGA 2560 es de 13 [us], utilizando la ecuación 6 podemos obtener la frecuencia máxima de muestreo del microcontrolador:

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{1}{t_{microcontrolador}} \quad (5)$$

Así, la frecuencia máxima de muestreo del microcontrolador es de 76.9 [kHz]

Reemplazando valores en la ecuación 5 obtenemos:

$$RC = \frac{1}{2\pi f_c} = 4.138 \text{ [us]}$$

Asignando un valor de capacitor comercial de 82nF obtenemos un valor de resistencia de 50 Ω. Este filtro debe ser aplicado a corriente y voltaje, conectándose a la entrada de los pines analógicos respectivos.

#### 4.2.4 Conexión módulo Data logging shield v1.0

La conexión del módulo Data logging shield v1.0 al Arduino es simple, tan solo se deben conectar todos los pines del módulo a la placa Arduino, como se muestra la siguiente imagen.

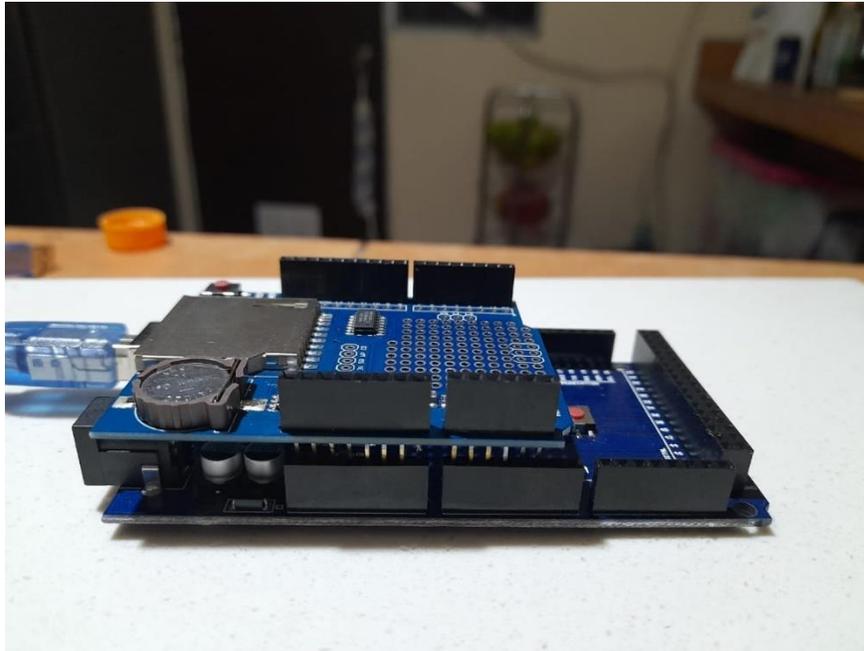


Figura 14. Conexión data logging shield v1.0 con Arduino

## 4.3 Presupuesto

A continuación, se presenta una tabla con todos los elementos utilizados para el proyecto y su precio unitario sin considerar costo de envío.

Tabla 6. Presupuesto

Elemento	Precio (pesos chilenos)
Sensor De Corriente Tenazas 30a Sct-013	\$10.930
Zmpt101b Sensor Tensión	\$5.990
Cable Jumper / Dupont Macho-macho	\$1.700
Cable Jumper / Dupont Macho-hembra	\$1.700
Protoboard	\$3.000
Circuito Integrado Lm358	\$2.500
Shield Data Logger Arduino Uno Mega	\$5.289
Arduino Mega 2560 R3	\$14.990
Cable y enchufe red eléctrica	\$2.500
Resistencias y Capacitancias	\$1.000
Tarjeta SD 5GB	\$5.000
Total	\$54.599

## 4.4 Librerías utilizadas

Para el presente proyecto se utilizaron dos librerías para la programación en Arduino IDE. Estas son:

- 
1. Librería “SD”: para acceder a la tarjeta SD y poder almacenar la información. [33]
  2. Librería “SPI”: librería que permite la comunicación para el almacenamiento de la información en la tarjeta SD. [34]

## 4.5 Encuesta de uso

La encuesta de uso cumple con obtener datos del comportamiento de los individuos en los hogares, busca caracterizar el comportamiento de estos con respecto al uso de las cargas eléctricas. De esta manera, la encuesta de uso debe cumplir las siguientes necesidades:

1. Debe ser sencilla de utilizar.
2. Debe ser “transportable”, donde quiera que el usuario este debe poder tener acceso a ella.
3. Debe darle al usuario la posibilidad de marcar cuando cierta carga se conecta o desconecta.
4. Debe registrar la fecha y hora de cuando se cambia la consigna de uso de cierta carga.

De esta manera, se consideró diversas opciones para realizar la encuesta de uso, siendo la mejor el crear una aplicación móvil para el teléfono que cumpla las exigencias antes planteadas. Lamentablemente una app requería un complejo desarrollo, lo cual hizo decantarnos por otra solución: realizar la encuesta con un formulario de Google.

Un formulario de Google cumple todos los requerimientos de la encuesta de uso, es sencilla de utilizar, quien tenga el enlace puede contestarla desde cualquier dispositivo con conexión a internet, el usuario puede marcar de forma separada y con opciones múltiples que cargas esta encendiendo/apagando y la visualización de las respuestas de este tipo de formulario puede descargarse en una plantilla Excel donde se indica la fecha y hora de cuando fue contestada. En resumen, un formulario de Google funciona perfectamente para nuestros propósitos.

A continuación, en la Figura 15, se presenta la interfaz con la que interacciona el usuario de la encuesta de uso.

---

## Formulario sin título

Encuesta de uso energético domiciliario, en caso de no encontrar la carga a conectar/desconectar favor de responder en el apartado "otro" indicando la/s carga/s y las cantidades de esta/s

 fesa.sandoval.a@gmail.com (no compartidos)  
[Cambiar de cuenta](#)  Borrador guardado

**\*Obligatorio**

Identificar domicilio a medir \*

Tu respuesta \_\_\_\_\_

Enciende

- Televisor 1
- Televisor 2
- Televisor 3
- Microondas
- Lavadora
- Secadora
- Refrigerador
- Luces 1
- Luces 2
- Luces 3
- . . .

Figura 15. Encuesta de uso

El usuario en primera instancia debe identificar su domicilio, posteriormente se despliegan dos listas con cargas presentes en el hogar, una lista corresponde al encendido de las cargas, la siguiente lista al apagado, el usuario debe marcar cada consumo que conecte/desconecte. Si bien la encuesta de uso tiene una opción para agregar a la lista cargas que no están numeradas mediante la opción “Otra respuesta”, para el uso óptimo de esta encuesta se deben modificar las lista de cargas antes de aplicar la encuesta en diferentes hogares, de esta manera el usuario verá facilitado el trabajo.

Para efectos del proyecto, la encuesta de uso comprende todas las cargas presentes en el domicilio del autor.

---

## 5 Pruebas realizadas

Con la finalidad de comprobar el correcto funcionamiento tanto del dispositivo como de la encuesta de uso, se procede a realizar el montaje del proyecto. Para ello, se realizaron mediciones en el domicilio del autor, conectando el sensor de corriente al tablero principal de alimentación eléctrica y el sensor de voltaje conectado en un enchufe domiciliario.

Así, se realizaron medidas de un día completo, comenzando el Jueves 30 de Diciembre de 2021 a las 00:30 horas, tomando mediciones cada 10 minutos y guardando esta información en un archivo txt en una tarjeta SD. De igual manera, se repite el proceso de mediciones para el día Viernes 31, comenzando a las 00:45 horas y adquiriendo datos cada 15 minutos.

Durante estos dos días de medición, cada vez que se encienda o apague una carga, se anotará dicha consigna en la encuesta de uso, al finalizar las pruebas se contrastará la información obtenida por el dispositivo y la encuesta.

Estas pruebas tienen como objetivo verificar la correcta toma de mediciones del dispositivo, para lo cual, con la ayuda de un amperímetro de tenazas, se estará constantemente confirmando que las mediciones del dispositivo es la correcta. De igual manera, se debe generar un lazo entre el dispositivo y la encuesta de uso, buscando contrastar la consigna de consumo con la información acerca del uso de las cargas en el hogar. Finalmente, se espera responder cuánto debe ser la memoria de una tarjeta SD para que el dispositivo tenga la capacidad de tomar mediciones en un mes completo, esto debe ser realizado tanto para las mediciones tomadas cada 15 minutos como para 10 minutos.

---

# 6 Montaje Experimental

A continuación, se muestra en las Figuras 16, 17,18 y 19, el montaje utilizado para realizar las mediciones.

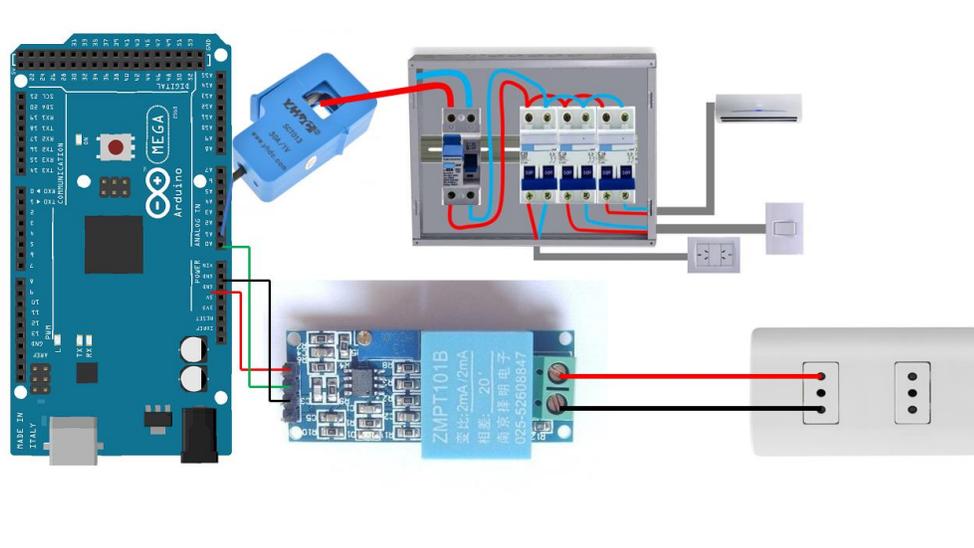


Figura 16. Diagrama de conexión sensores a red eléctrica y Arduino.

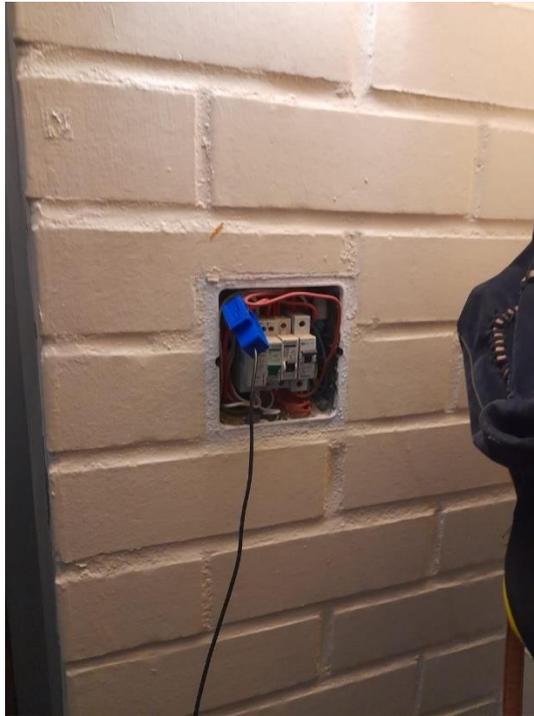


Figura 17. Conexión sensor de corriente a tablero



Figura 18. Conexión sensor de tensión a red eléctrica

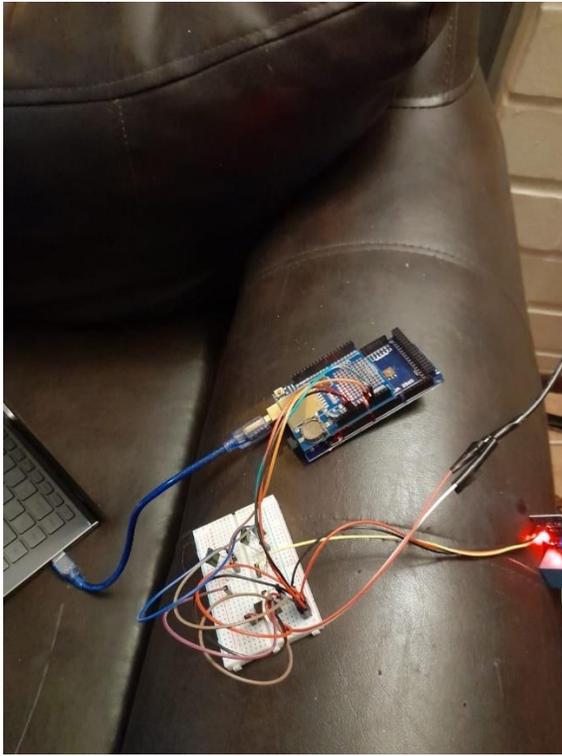
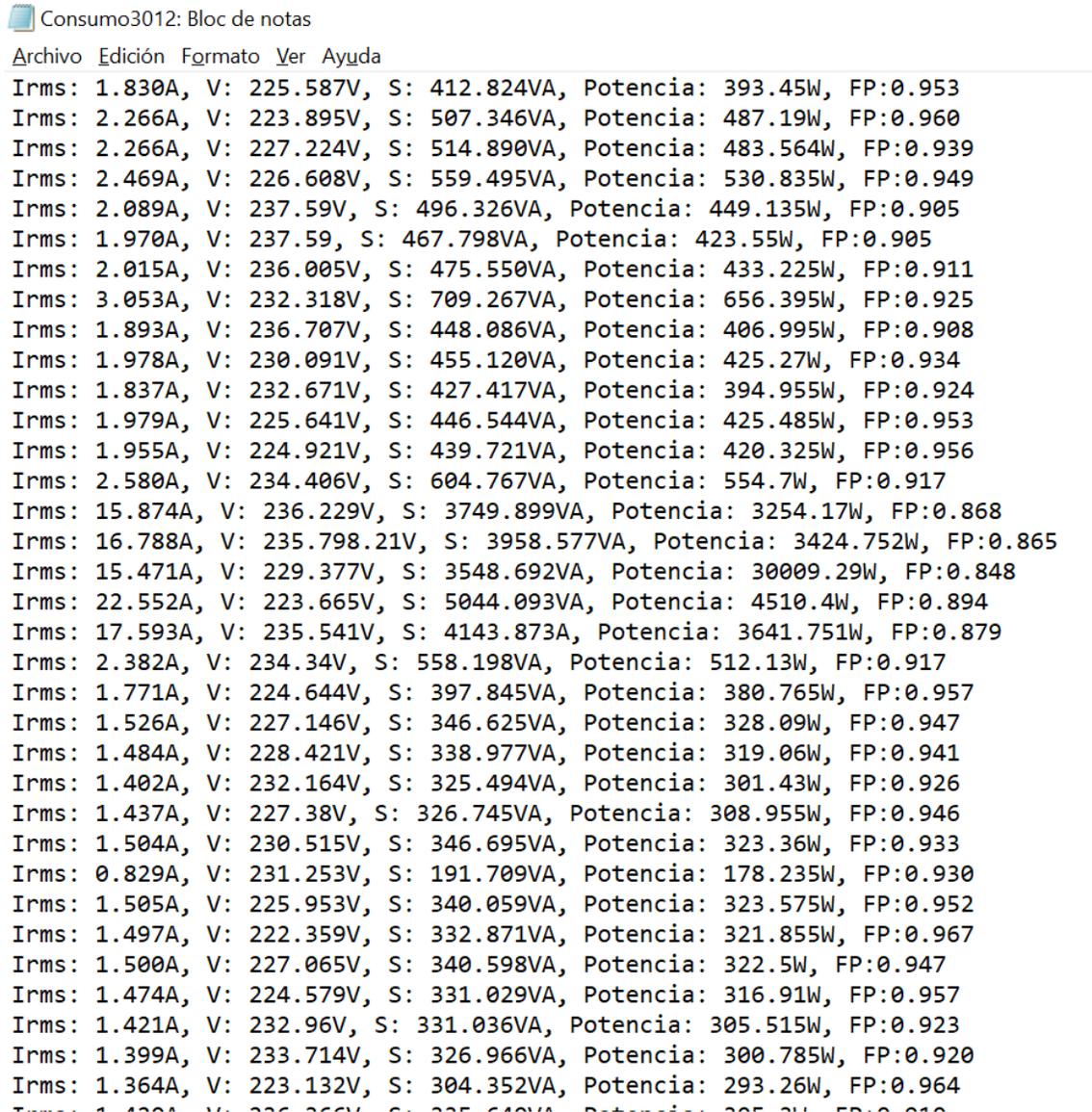


Figura 19. Conexión sensores a placa Arduino y módulo data logger

---

# 7 Resultados

Los resultados obtenidos han sido generados en un archivo txt llamado “ConsumoDDMM.txt”, en los cuales se reemplaza DDMM por el día y el mes de la medición, de esta manera el archivo resultante se ve como muestra la Figura 20.



```
Consumo3012: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
Irms: 1.830A, V: 225.587V, S: 412.824VA, Potencia: 393.45W, FP:0.953
Irms: 2.266A, V: 223.895V, S: 507.346VA, Potencia: 487.19W, FP:0.960
Irms: 2.266A, V: 227.224V, S: 514.890VA, Potencia: 483.564W, FP:0.939
Irms: 2.469A, V: 226.608V, S: 559.495VA, Potencia: 530.835W, FP:0.949
Irms: 2.089A, V: 237.59V, S: 496.326VA, Potencia: 449.135W, FP:0.905
Irms: 1.970A, V: 237.59, S: 467.798VA, Potencia: 423.55W, FP:0.905
Irms: 2.015A, V: 236.005V, S: 475.550VA, Potencia: 433.225W, FP:0.911
Irms: 3.053A, V: 232.318V, S: 709.267VA, Potencia: 656.395W, FP:0.925
Irms: 1.893A, V: 236.707V, S: 448.086VA, Potencia: 406.995W, FP:0.908
Irms: 1.978A, V: 230.091V, S: 455.120VA, Potencia: 425.27W, FP:0.934
Irms: 1.837A, V: 232.671V, S: 427.417VA, Potencia: 394.955W, FP:0.924
Irms: 1.979A, V: 225.641V, S: 446.544VA, Potencia: 425.485W, FP:0.953
Irms: 1.955A, V: 224.921V, S: 439.721VA, Potencia: 420.325W, FP:0.956
Irms: 2.580A, V: 234.406V, S: 604.767VA, Potencia: 554.7W, FP:0.917
Irms: 15.874A, V: 236.229V, S: 3749.899VA, Potencia: 3254.17W, FP:0.868
Irms: 16.788A, V: 235.798.21V, S: 3958.577VA, Potencia: 3424.752W, FP:0.865
Irms: 15.471A, V: 229.377V, S: 3548.692VA, Potencia: 30009.29W, FP:0.848
Irms: 22.552A, V: 223.665V, S: 5044.093VA, Potencia: 4510.4W, FP:0.894
Irms: 17.593A, V: 235.541V, S: 4143.873A, Potencia: 3641.751W, FP:0.879
Irms: 2.382A, V: 234.34V, S: 558.198VA, Potencia: 512.13W, FP:0.917
Irms: 1.771A, V: 224.644V, S: 397.845VA, Potencia: 380.765W, FP:0.957
Irms: 1.526A, V: 227.146V, S: 346.625VA, Potencia: 328.09W, FP:0.947
Irms: 1.484A, V: 228.421V, S: 338.977VA, Potencia: 319.06W, FP:0.941
Irms: 1.402A, V: 232.164V, S: 325.494VA, Potencia: 301.43W, FP:0.926
Irms: 1.437A, V: 227.38V, S: 326.745VA, Potencia: 308.955W, FP:0.946
Irms: 1.504A, V: 230.515V, S: 346.695VA, Potencia: 323.36W, FP:0.933
Irms: 0.829A, V: 231.253V, S: 191.709VA, Potencia: 178.235W, FP:0.930
Irms: 1.505A, V: 225.953V, S: 340.059VA, Potencia: 323.575W, FP:0.952
Irms: 1.497A, V: 222.359V, S: 332.871VA, Potencia: 321.855W, FP:0.967
Irms: 1.500A, V: 227.065V, S: 340.598VA, Potencia: 322.5W, FP:0.947
Irms: 1.474A, V: 224.579V, S: 331.029VA, Potencia: 316.91W, FP:0.957
Irms: 1.421A, V: 232.96V, S: 331.036VA, Potencia: 305.515W, FP:0.923
Irms: 1.399A, V: 233.714V, S: 326.966VA, Potencia: 300.785W, FP:0.920
Irms: 1.364A, V: 223.132V, S: 304.352VA, Potencia: 293.26W, FP:0.964
```

Figura 20. Archivo txt de datos medidos, día 30/12

Dada la gran cantidad de datos, se presentarán estos de forma gráfica.

---

## 7.1 Mediciones del 30 de Diciembre

### 7.1.1 Corriente

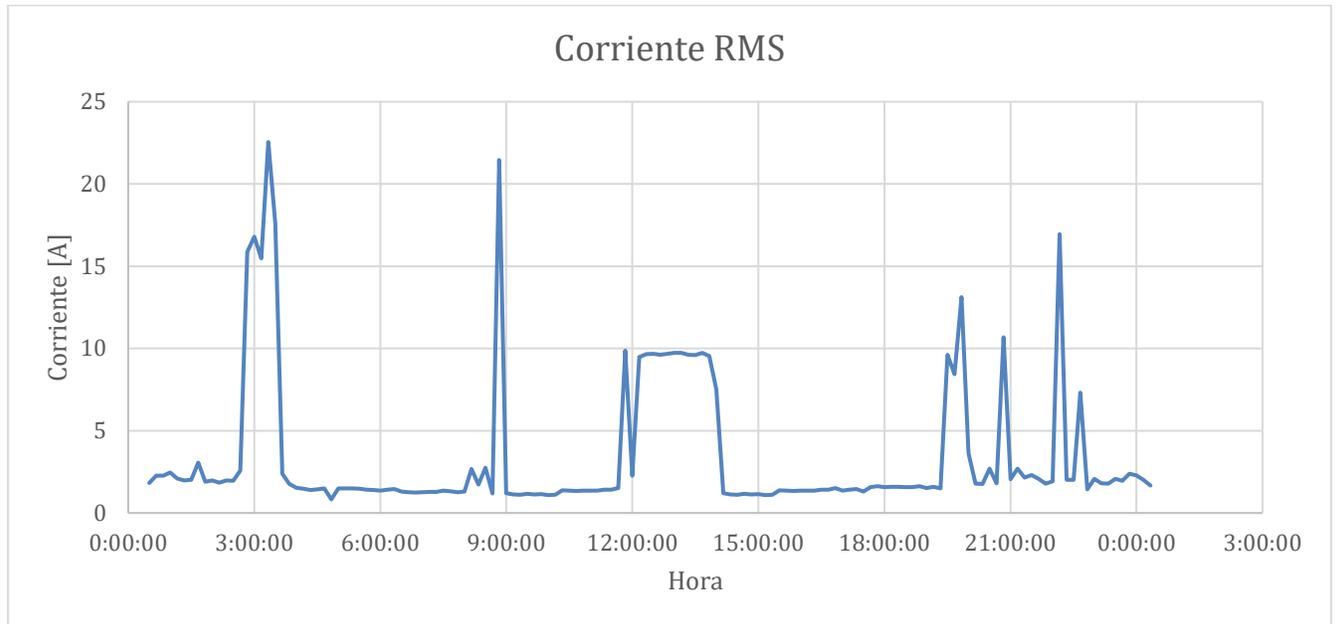


Figura 21. Corriente RMS del hogar, 30/12

### 7.1.2 Voltaje

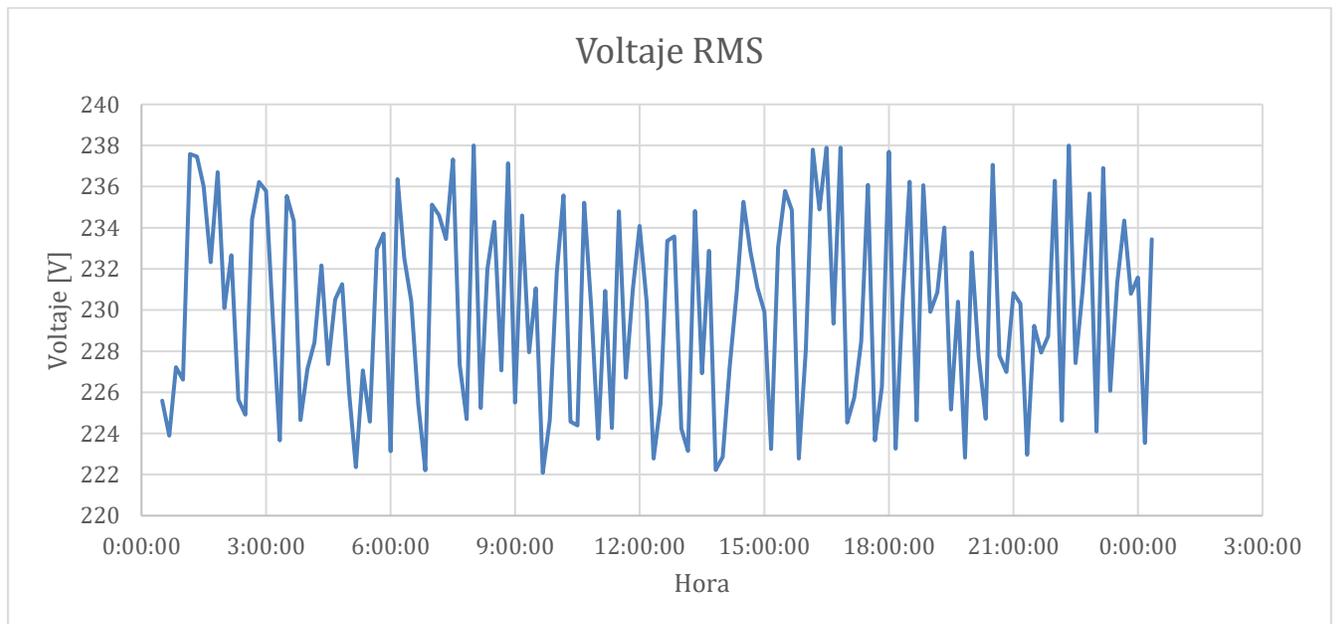


Figura 22. Voltaje RMS del hogar, 30/12

### 7.1.3 Potencia Aparente

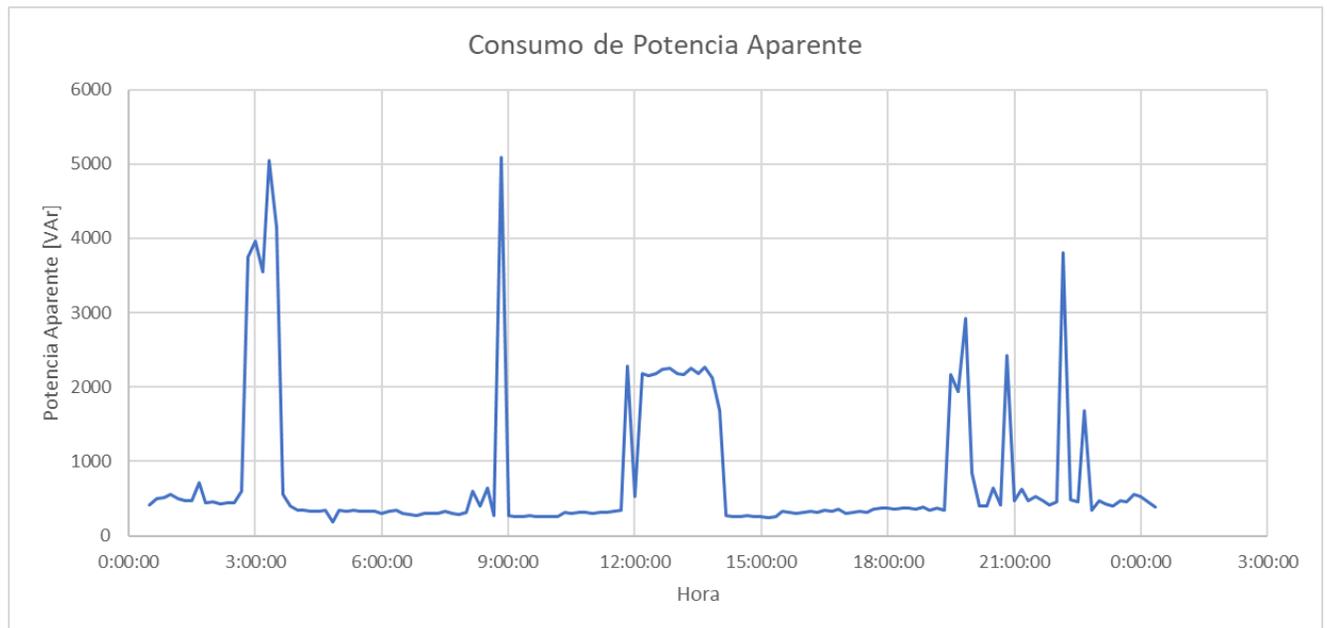


Figura 23. Consumo de Potencia Aparente del hogar, 30/12

### 7.1.4 Potencia Activa

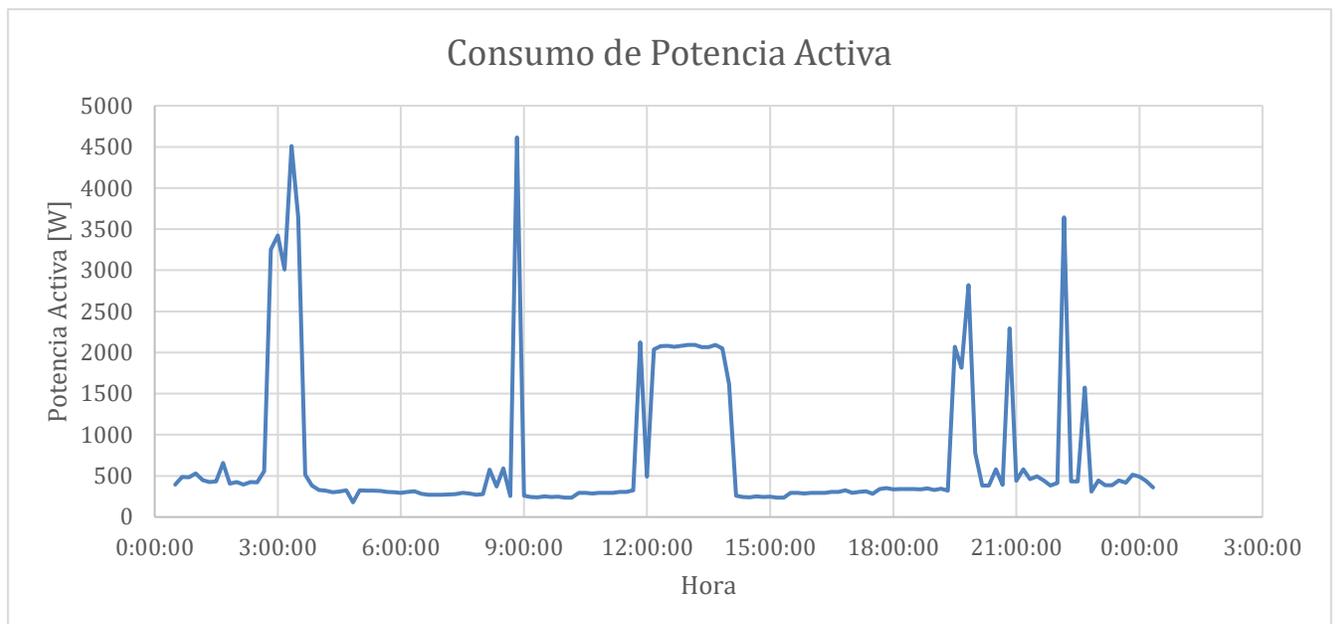


Figura 24. Consumo de Potencia Activa del hogar, 30/12

## 7.1.5 Encuesta de uso

Tabla 7. Datos Encuesta de uso 30/12. Generada automáticamente a través de encuestas de Google.

Marca temporal	Identificar domicilio a medir	Enciende	Apaga
30/12/2021 0:21:26	Casa	Televisor 1, Luces 1, Luces 2, Luces 3, Computador, Cargador telefónico 1, Router wifi, Modem televisión	
30/12/2021 0:36:24	Casa	Microondas, Luces 3	
30/12/2021 2:40:51	Casa	Secadora	
30/12/2021 2:41:19	Casa	Lavadora	
30/12/2021 4:18:07	Casa		Lavadora, Secadora
30/12/2021 5:30:08	Casa	Luces 3	
30/12/2021 5:30:22	Casa		Luces 3
30/12/2021 8:50:49	Casa	Lavadora, Horno eléctrico, Secadora	
30/12/2021 10:22:38	Casa	Luces 2, Computador	
30/12/2021 18:53:54	Casa	Televisor 2	Lavadora
30/12/2021 19:44:13	Casa	Microondas, Lavadora, horno eléctrico	
30/12/2021 19:44:52	Casa	hervidor	
30/12/2021 19:57:27	Casa		horno eléctrico
30/12/2021 20:33:09	Casa	Lavadora	
30/12/2021 20:55:34	Casa	Secadora	
30/12/2021 21:15:42	Casa	Luces 1, Luces 2, Luces 3, Luces 4, Luces 5	Lavadora
30/12/2021 22:13:41	Casa		Secadora, Luces 3, Luces 4
30/12/2021 22:45:13	Casa	Microondas	
30/12/2021 23:45:37	Casa	Computador	
30/12/2021 23:45:52	Casa	Luces 2, Luces 3, Luces 4, Luces 5, Luces 6	

---

30/12/2021 23:58:04	Casa	Televisor 2, Modem televisión	
------------------------	------	-------------------------------	--

## 7.2 Mediciones del 31 de Diciembre

### 7.2.1 Corriente

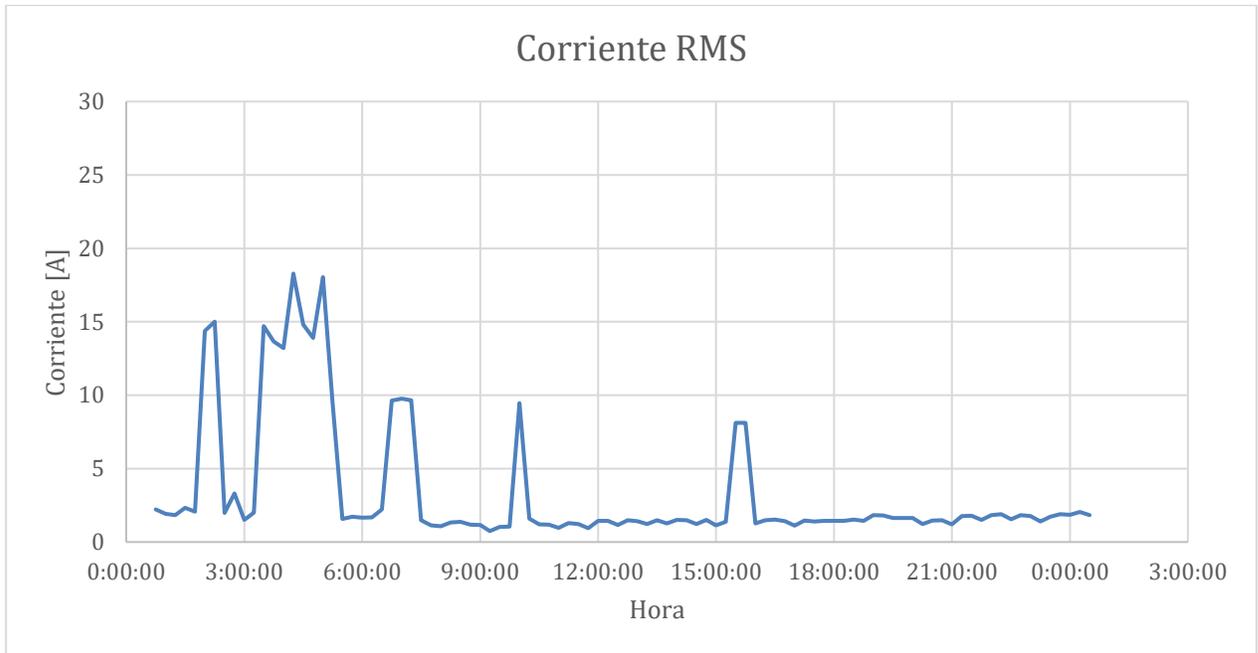


Figura 25. Corriente RMS del hogar, 31/12

## 7.2.2 Voltaje

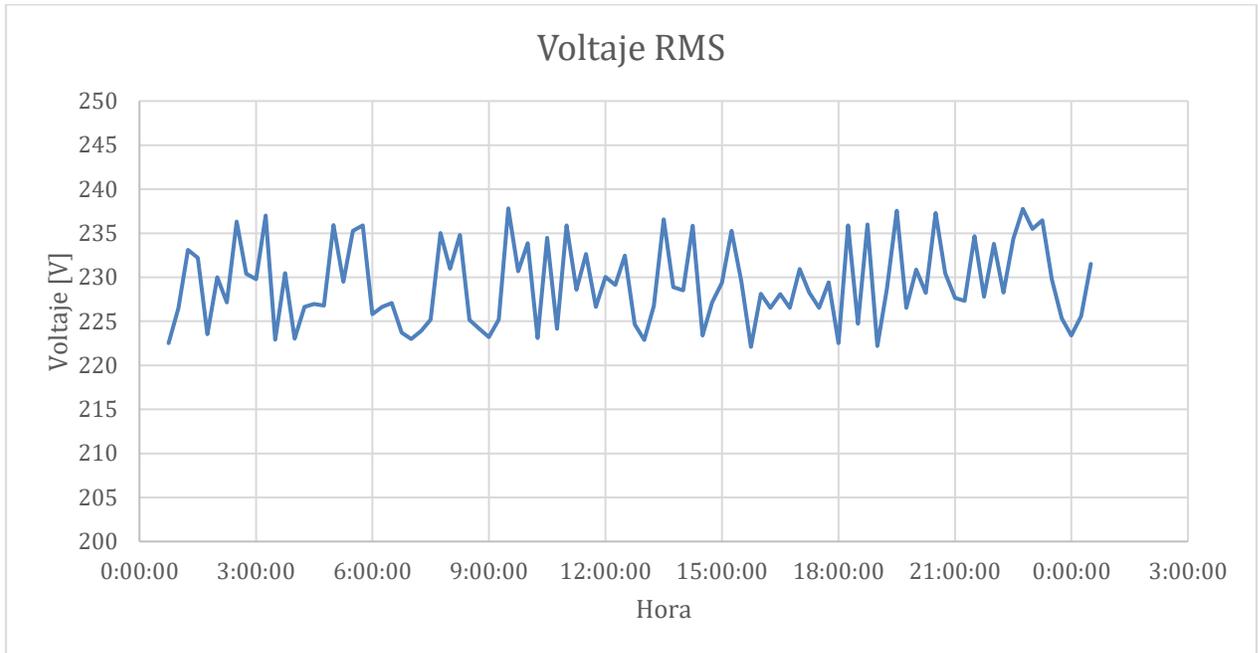


Figura 26. Voltaje RMS del hogar, 31/12

## 7.2.3 Potencia Aparente

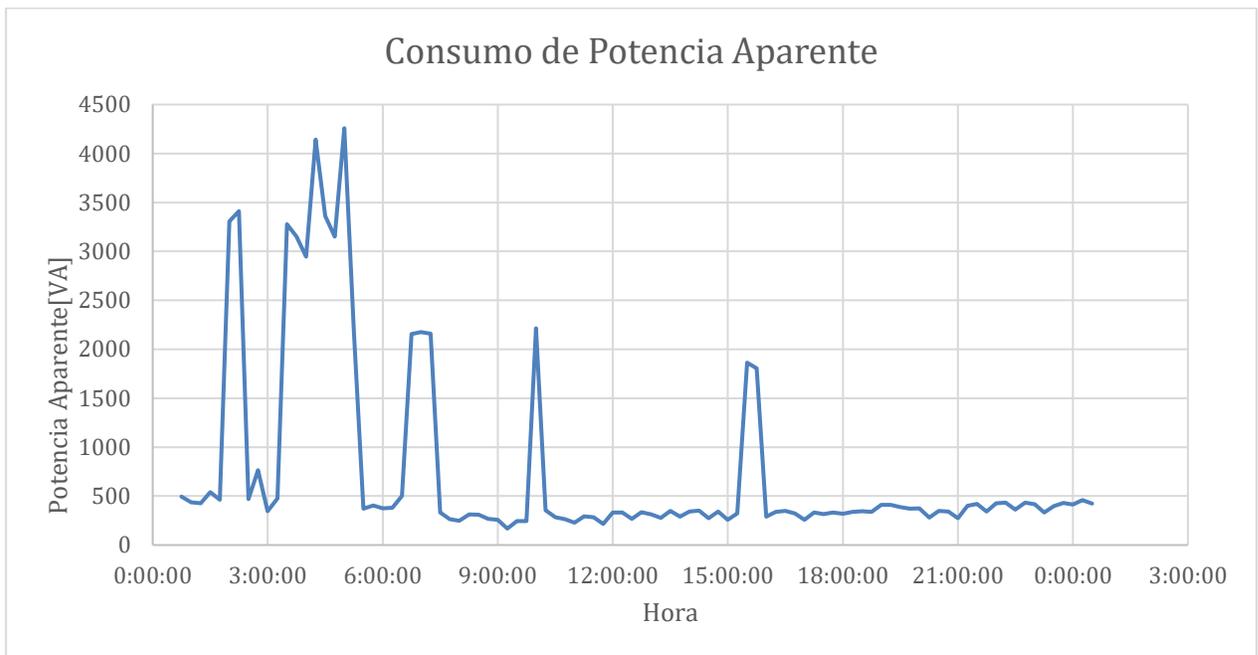


Figura 27. Consumo de Potencia Aparente del hogar, 31/12

## 7.2.4 Potencia Activa

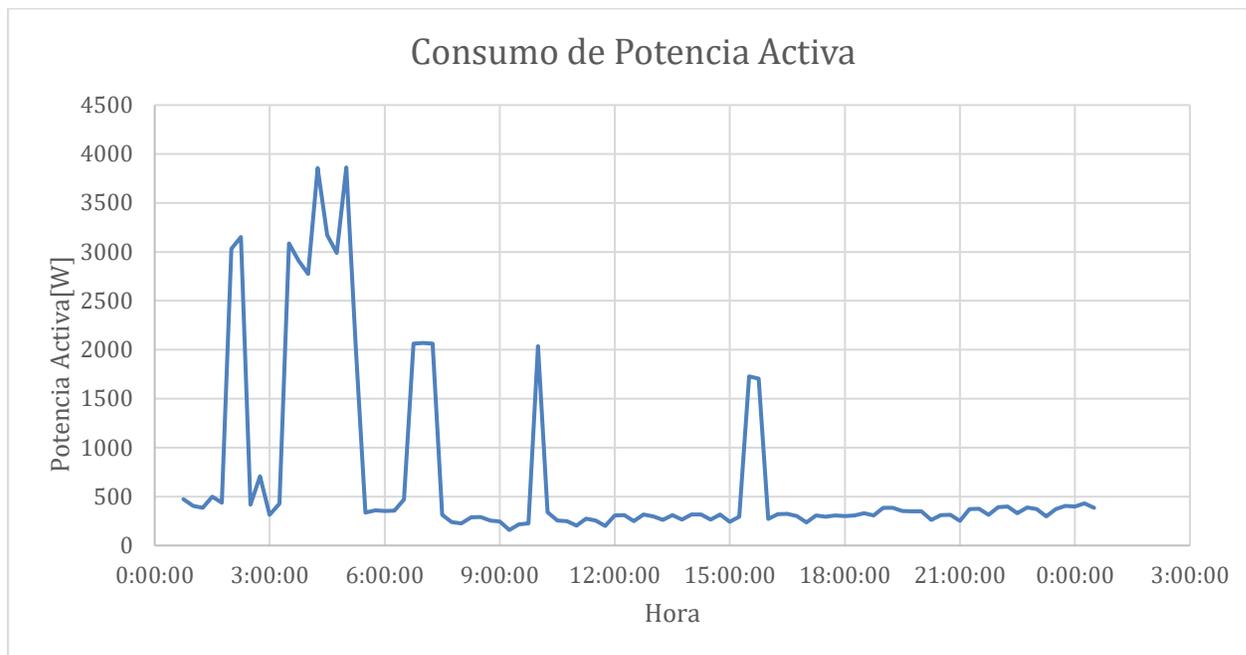


Figura 28. Consumo de Potencia Activa del hogar, 31/12

## 7.2.5 Encuesta de uso

Tabla 8. Datos Encuesta de uso 31/12. Generada automáticamente a través de encuestas de Google.

Marca temporal	Identificar domicilio a medir	Enciende	Apaga
31/12/2021 1:34:07	Casa	Lavadora	
31/12/2021 2:50:20	Casa	Secadora	Lavadora
31/12/2021 3:11:30	Casa	Lavadora	Luces 2, Luces 3, Luces 4, Luces 5
31/12/2021 4:14:46	Casa	Secadora	Lavadora
31/12/2021 6:13:46	Casa		Secadora
31/12/2021 15:05:09	Casa	horno eléctrico	
31/12/2021 15:20:18	Casa		horno eléctrico

---

# 8 Análisis de Resultados

## 8.1 30 de Diciembre

A continuación, se presenta un gráfico de consumo de Potencia Activa donde se indica además la consigna de uso de las cargas del hogar. Para simplificación del gráfico, se han destacado las cargas eléctricas que mayor impacto tienen en el consumo eléctrico y se ha fijado un nivel de 500[W] como equivalencia a un “1” lógico, es decir, cuando se encuentra conectado el Microondas, por ejemplo, en el gráfico marcará un consumo constante de 500 [W] durante el tiempo que permanezca conectado, y marcando 0 cuando se desconecte.

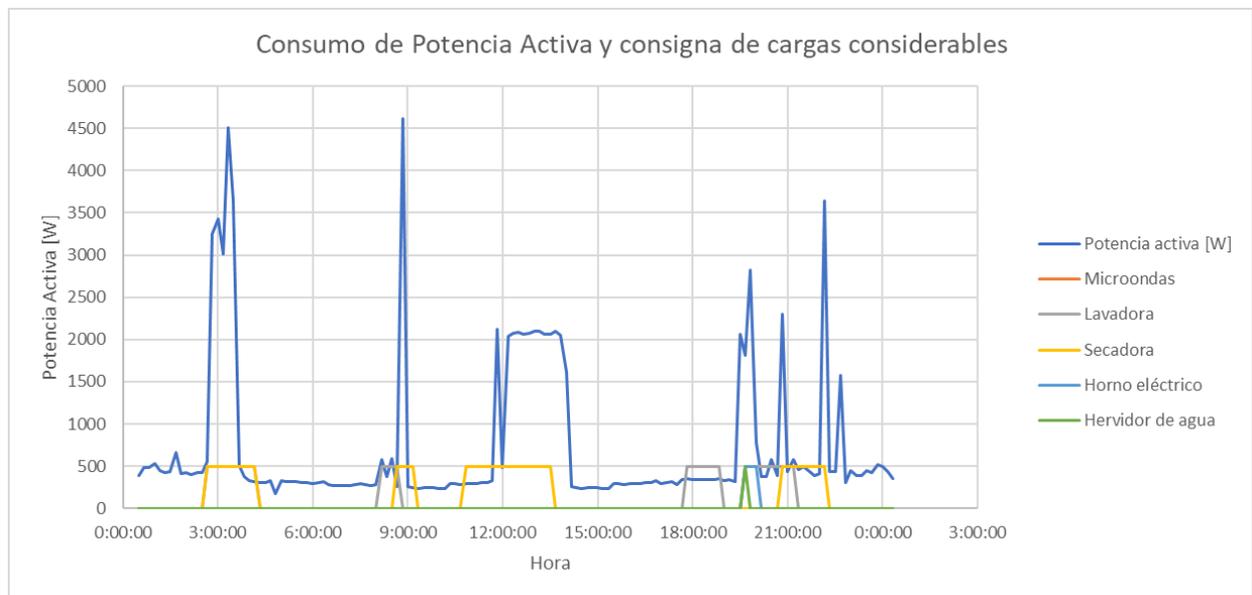


Figura 29. Consumo de Potencia Activa y consigna de cargas considerables, día 30/12.

De los resultados expuestos en la sección 7.1 se puede afirmar que:

- El consumo de corriente mantiene una estrecha relación con la conexión/desconexión de cargas, esto corresponde a lo esperado teóricamente, puesto que los artefactos eléctricos necesitan corriente para su funcionamiento.
- El voltaje se mantiene en un rango de [222 – 238]V, lo cual se acerca bastante a lo esperado teóricamente (220 [V]) y contrastando con las mediciones realizadas con un multímetro (~230 [V]), se confirma una aceptable medición de esta variable. Además, tal como se esperaba, al haber un cambio en el consumo de cargas, el voltaje es invariable frente a este.

- El consumo tanto de potencia aparente como potencia activa se relacionan principalmente con el consumo de corriente, esto es apreciable en las formas de los gráficos presentes en las Figuras 21, 23 y 24.
- Contrastando la información expuesta por la encuesta de uso en la Tabla 6, se puede inferir que el consumo base de la vivienda medida se basa principalmente en el refrigerador, el modem wifi, modem de televisión y televisores, los cuales permaneces conectados la mayor parte del día. Por otra parte, cuando visualizamos peaks de consumo, como por ejemplo a las 03:00, 09:00 y 22:00 horas, vemos que en dichos horarios la encuesta de uso marca como encendidas la lavadora, horno eléctrico y/o la secadora, siendo estas cargas las que representan un mayor consumo en el hogar obteniendo un peak de corriente alto de 21.464 [A] a las 09:00, momento en el cual se encontraban encendidas estas importantes cargas antes mencionadas.
- Se realizó un total de 144 mediciones, lo cual corresponde a un día completo separado en bloques de 10 minutos. De esta manera, se obtiene un archivo txt de 9.65 KB, por lo cual se estima que para poder medir de forma autónoma un mes de datos, se requiere una tarjeta SD con capacidad mayor a 299.15 KB, lo cual no representa problema puesto que en el mercado es barato y sencillo encontrar tarjetas SD sobre los 5GB, como la que fue utilizada para este proyecto.

## 8.2 31 de Diciembre

De igual manera que el gráfico expuesto en la Figura 29, a continuación, se presenta un gráfico de consumo de Potencia Activa donde se indica además la consigna de uso de las cargas del hogar. Para simplificación del gráfico, se han destacado las cargas eléctricas que mayor impacto tienen en el consumo eléctrico y se ha fijado un nivel de 500[W] como equivalencia a un “1” lógico.

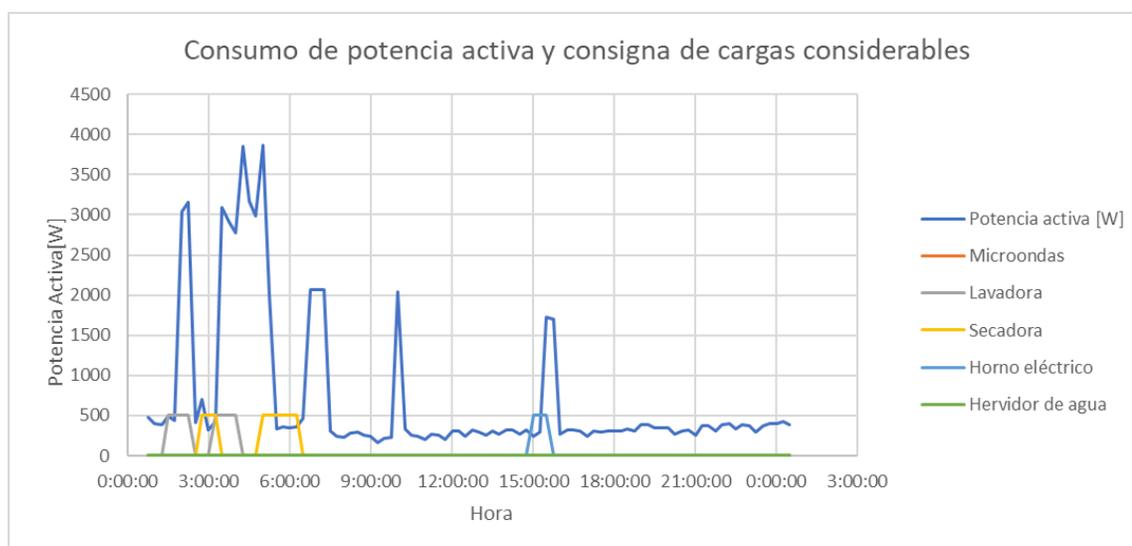


Figura 30. Consumo de Potencia Activa y consigna de cargas considerables, día 31/12.

---

De los resultados expuestos en la sección 7.2 se puede afirmar que:

- De igual manera que el día anterior, el comportamiento tanto de la corriente como el voltaje se corresponde con lo esperado teóricamente, esto es, la corriente varía según la conexión de las cargas y el voltaje se mueve dentro de un rango aceptable cercano a los 220 [V] entregados por la red eléctrica.
- El consumo tanto de potencia aparente como potencia activa se relacionan principalmente con el consumo de corriente, esto es apreciable en las formas de los gráficos presentes en las Figuras 25, 27 y 28.
- Contrastando la información expuesta por la encuesta de uso en la Tabla 7 con los gráficos de las Figuras 25, 27 y 28, se puede inferir que la vivienda estuvo inhabitada a partir de las 16:00 horas, debido a las celebraciones de fin de año, por lo cual excepcionalmente se mantuvo un consumo elevado en altas horas de la madrugada, viéndose un peak de corriente de 18.281 [A] cercano a las 04:15 horas, momento en el cual se encontraba la lavadora y la secadora conectadas, cargas que representan el mayor consumo del hogar. A partir de las 16:00 horas, el consumo presente en la vivienda corresponde al refrigerador, modem de televisor, modem wifi y el computador utilizado para ejecutar el proyecto.
- Se realizó un total de 96 mediciones, lo cual corresponde a un día completo separado en bloques de 15 minutos. De esta manera, se obtiene un archivo txt de 6.52 KB, por lo cual se estima que para poder medir de forma autónoma un mes de datos, se requiere una tarjeta SD con capacidad mayor a 202.12 KB, lo cual no representa problema puesto que en el mercado es barato y sencillo encontrar tarjetas SD sobre los 5GB, como la que fue utilizada para este proyecto.

---

# 9 Conclusiones

El proyecto desarrolla de forma confiable y exitosa tanto el dispositivo de medición eléctrica residencial como la encuesta de uso. Según lo expuesto en las secciones 4, 5,6,7 y 8 del presente informe se puede concluir que:

1. Como resultado de una extensa revisión bibliográfica y cotización en el mercado, se decidió realizar mediciones de corriente y voltaje, optando por utilizar el sensor de corriente YHDC SCT -013-30, el sensor de voltaje ZMPT101B y una placa Arduino Mega 2560. Cumplíndose de esta manera los objetivos específicos 1 y 2.
2. Se diseñó un dispositivo de medición eléctrica residencial, el cual es desconectable y puede ser utilizado para medir cualquier domicilio al que se tenga acceso al tablero principal. Cumplíndose por consiguiente el objetivo específico 3.
3. El dispositivo fue desarrollado sin mayor complicaciones en una protoboard, se utilizan los elementos detallados en la Tabla 6 y programado por medio del software Arduino IDE. Por tanto, se cumple el objetivo específico 4.
4. Como se aprecia en la sección 4.5, se desarrolló una encuesta de uso por medio de formularios de Google, cumpliendo todas las exigencias planteada para esta. Se cumple el objetivo específico 5.
5. Como se puede apreciar en la Tabla 6 de la sección 4.3, se presenta el presupuesto en detalle del proyecto, por lo cual, se cumple el objetivo específico 6.
6. En la sección 8 – Análisis de Resultados, se realizó un contraste de los resultados medidos con lo obtenido de la encuesta de uso, generando un lazo entre estos y demostrando la importancia de la encuesta de uso para caracterizar el comportamiento de los residentes y su influencia en el consumo eléctrico residencial. Así, se cumple el último objetivo específico.

De esta manera, habiéndose cumplido cada objetivo específico planteado, se logra realizar el diseño y desarrollo de un dispositivo de medición eléctrica residencial apoyado de una encuesta que lleve registro del uso de las cargas en el domicilio, y por tanto, se cumple el objetivo principal del presente trabajo de título.

## 9.1 Trabajo Futuro

Esperando que lo expuesto en esta memoria de título pueda ser utilizado para realizar proyecciones de demanda, en particular, para la replicación del modelo CREST para el caso chileno, se entregan los siguientes comentarios y consideraciones.

- Si bien no fue expuesto en el presente informe, se trató de dotar al dispositivo de medición una comunicación Wifi, lamentablemente no fue posible debido a la incompatibilidad del módulo Esp8266 [35] con los sensores utilizados.
- La capacidad de procesamientos de datos del ADC de Arduino Mega 2560 puede soportar hasta cuatro sensores de corriente YHDF SCT 013-00, se recomienda en caso de conectar

---

múltiples sensores a la placa Arduino que todos sean de corriente y dejar la medición de voltaje en una placa aparte, esto para simplificar la programación y reducir posibles errores.

- Se recomienda la creación de una base datos a la cual integrar tanto los resultados obtenidos por la medición del dispositivo como los datos de la encuesta de uso, de igual manera se recomienda la utilización de un módulo RTC para almacenar los datos con fecha y hora, esto con foco a tomar mediciones por tiempos prolongados. Cabe destacar que el módulo data logging shield v1.0 cuenta con este módulo RTC interno y puede ser usado para este propósito.
- Para comenzar la replicación del modelo CREST para el caso chileno se recomienda utilizar múltiples copias del dispositivo conectadas en distintas viviendas, con diferentes cantidades de habitantes, en distintas localidades del país y en variadas fechas del año, apoyado por supuesto de una constante utilización de la encuesta de uso, para así obtener una cantidad sólida de información y que el modelo resultante sea confiable.

## 9.2 Precauciones

Para evitar complicaciones que puedan dañar el dispositivo, se recomienda seguir las siguientes precauciones:

- Soldar las conexiones a una placa para evitar desconexiones.
- Utilizar cables gruesos para la conexión del sensor de voltaje a la toma de corriente.
- No dejar cables expuestos ni sueltos.
- No realizar mediciones que sobrepasen la corriente nominal del sensor de corriente.
- Mantener el dispositivo en un lugar limpio, seco y seguro.

---

## 10 Bibliografía

- [1] Coordinador Eléctrico Nacional, Proyección de demanda eléctrica 2019-2039, 2020.
- [2] Eoghan McKenna, Murray Thomson, High-resolution stochastic integrated thermal-electrical domestic demand model, Applied Energy, 2016.
- [3] R. Hernandez, Tecnología domótica para el control de una vivienda., Cartagena, 2012.
- [4] Vinicio Gotor de Astorza, Introducción a la domótica.
- [5] CarbonTRACK, «carbontrack,» Intelligent energy managment, [En línea]. Available: <https://carbontrack.com.au/guides/energy-efficiency-guide/home-energy-management-systems/>.
- [6] Helia Zandi, Teja Kuruganti, Edward A Vineyard, David Fugate, Home Energy Management Systems: An Overview.
- [7] Instituto de Formación Docente Continua Villa Mercedes, Hardware y Software.
- [8] D. N. Peña, Microcontroladores: Arquitectura, programación y aplicación, 2008.
- [9] S. L. Ortiz, Construcción de un cluster de bajo consumo empleando tecnología SBC, 2016.
- [10] Arduino, «Arduino,» [En línea]. Available: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>.

---

[11] Dewesoft, «Dewesoft,» [En línea]. Available: <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-un-sensor#what-do-sensors-do>.

[12] Arrow, «[www.arrow.com](http://www.arrow.com),» [En línea]. Available: <https://www.arrow.com/es-mx/categories/sensors/current-sensors>.

[13] M. Apablaza, Estudios de impacto en la red de distribución de la adopción masiva de paneles fotovoltaicos y vehículos eléctricos..

[14] V. Escobar, Aporte de las redes inteligentes comunitarias al aumento de la generación distribuida..

[15] A. Braga, Electrificación del transporte- Buses eléctricos y el sistema de distribución..

[16] Sonoff, Sonoff Pow R2, Guía de usuario..

[17] mcielectronics, «[mcielectronics.cl](http://mcielectronics.cl),» [En línea]. Available: <https://www.mcielectronics.cl/shop/product/interruptor-diy-sonoff-pow-r2-sonoff-25359>.

[18] gruponovelec, «[gruponovelec.com](http://gruponovelec.com),» [En línea]. Available: <https://blog.gruponovelec.com/electricidad/medidores-de-consumo-electrico-guia-de-compra/>.

[19] PowerLogic, Hoja de datos del producto PM3210 Power meter.

[20] grupolegrand, Catálogo contadores de energía EMDX3.

[21] A. Hermosín, Monitor de corriente basado en arduino.

---

[22] D. Egado, Diseño y construcción de un equipo de medida de energía eléctrica de bajo coste..

[23] A. Salazar, Sistema electrónico de monitoreo y control para la distribución de energía eléctrica en los hogares..

[24] A. Escribá, Sistema digital de medidas de potencia eléctrica mediante el procesador DSC-28377S con interconexión a distancia..

[25] Mercadolibre. [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-500596405-sensor-de-corriente-tenazas-30a-sct-013-\\_JM?matt\\_tool=97233417&matt\\_word=&matt\\_source=google&matt\\_campaign\\_id=14571116316&matt\\_ad\\_group\\_id=127448630112&matt\\_match\\_type=&matt\\_network=g&matt\\_device=c&matt\\_creat](https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-500596405-sensor-de-corriente-tenazas-30a-sct-013-_JM?matt_tool=97233417&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14571116316&matt_ad_group_id=127448630112&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creat).

[26] Mercadolibre. [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-501397395-zmpt101b-sensor-tension-ac-transformador-monofasico-max-\\_JM?matt\\_tool=32030062&matt\\_word=&matt\\_source=google&matt\\_campaign\\_id=14571116283&matt\\_ad\\_group\\_id=127448627752&matt\\_match\\_type=&matt\\_network=g&matt\\_de](https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-501397395-zmpt101b-sensor-tension-ac-transformador-monofasico-max-_JM?matt_tool=32030062&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14571116283&matt_ad_group_id=127448627752&matt_match_type=&matt_network=g&matt_de)

[27] JMIndustrial. [En línea]. Available: <https://www.jmi.com.mx/literatura/blog/item/32-que-es-la-adquisicion-de-datos-y-porque-es-importante.html>.

[28] Mercadolibre. [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-452944696-arduino-mega-2560-r3-usb-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-452944696-arduino-mega-2560-r3-usb-_JM).

[29] <https://arduino.cl/programacion/>. [En línea]. Available: <https://arduino.cl/programacion/>.

[30] Microsoft. [En línea]. Available: <https://support.microsoft.com/es-es/topic/cargar-código-de-placa-e-ide-de-arduino-a9723765-1314-49e0-a69b-bb5c3e1f628d>.

[31] naylampmechatronics. [En línea]. Available: [https://naylampmechatronics.com/blog/51\\_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html](https://naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html).

---

[32] Mercadolibre. [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-448414794-shield-data-logger-arduino-uno-mega-\\_JM?matt\\_tool=97233417&matt\\_word=&matt\\_source=google&matt\\_campaign\\_id=14571116316&matt\\_ad\\_group\\_id=127448630112&matt\\_match\\_type=&matt\\_network=g&matt\\_device=c&matt\\_creative=](https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-448414794-shield-data-logger-arduino-uno-mega-_JM?matt_tool=97233417&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14571116316&matt_ad_group_id=127448630112&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=).

[33] [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/reference/SD>.

[34] [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/reference/SPI>.

[35] Programarfacil.com. [En línea]. Available: <https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>.

[36] R. Ranjith, N. Krishna Prakash, D. Prasanna Vadana, Anju S. Pillai, Smart Home Energy System.

[37] J. G. Solorio, Arquitectura de las tics.

---

# Anexos

## Anexo A Código de inicialización del programa y librerías

```
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include "Wire.h"
void setup() {

    Serial.begin(9600);

}
```

## Anexo B Detector de cruce por cero

```
while(evaltime == false) {
    Voltaje = analogRead(A1);
    if ((Voltaje < 500) && (Voltaje > 540)) evaltime=true;
    if ((millis()-startTime)>timeEnd) evaltime = true; }
while ((cruces < 12) && ((millis()-startTime)<timeEnd))
{ }
```

## Anexo C Código de cálculo de corriente rms

```
float get_corriente()
{
    float voltajeSensor;
    float corriente=0;
    float Sumatoria=0;
    long tiempo=millis();
    int N=0;
    while(millis()-tiempo<500)//Duración 0.5 segundos(Aprox. 25 ciclos de 50Hz)
    {
        voltajeSensor = analogRead(A0) * (5 / 1023.0);////voltaje del sensor
        corriente=voltajeSensor*30.0; //corriente=VoltajeSensor*(30A/1V)
        Sumatoria=Sumatoria+sq(corriente);//Sumatoria de Cuadrados
        N=N+1;
        delay(1);
    }
    Sumatoria=Sumatoria*2;//Para compensar los cuadrados de los semiciclos negativos.
    corriente=sqrt((Sumatoria)/N); //ecuación del RMS
    return(corriente);
}
```

---

## Anexo D Código de cálculo de voltaje rms

```
float get_voltaje()
{
    float voltajeSensorV;
    float voltaje=0;
    float SumatoriaV=0;
    long tiempo=millis();
    int NV=0;
    while(millis()-tiempo<500)//Duración 0.5 segundos(Aprox. 25 ciclos de 50Hz)
    {
        voltajeSensorV = analogRead(A1) * (5 / 1023.0);////voltaje del sensor
        voltaje=voltajeSensorV*250.0; //voltaje=VoltajeSensor*(250V/5V)
        SumatoriaV=SumatoriaV+sq(voltaje);//Sumatoria de Cuadrados
        NV=NV+1;
        delay(1);
    }
    SumatoriaV=SumatoriaV*2;//Para compensar los cuadrados de los semiciclos
    negativos.
    voltaje=sqrt((SumatoriaV)/NV); //ecuación del RMS
    return(voltaje);
}
```

## Anexo E Código de cálculo de potencia activa

```
float get_potencia()
{
    float potenciasensor;
    float potencia=0;
    float Sumatoria=0;
    long tiempo=millis();
    int N=0;
    while(millis()-tiempo<500)//
    {
        potenciasensor = analogRead(A1) * (5 / 1023.0)*analogRead(A0) * (5 / 1023.0);
        potencia=potenciaSensor*30.0*250.0;
        Sumatoria=Sumatoria+sq(potencia);
        N=N+1;
        delay(1);
    }
    Sumatoria=Sumatoria*2;//
    potencia=sqrt((Sumatoria)/N);
    return(potencia);
}
```

## Anexo F Código de visualización de resultados

```
float Irms=get_corriente(); //Corriente eficaz (A)
float Vrms=get_voltaje(); //Voltaje eficaz (V)
float P=get_potencia(); //Potencia Activa (W)
float S=Irms*Vrms; // Potencia Aparente (VA)
float FP= P/S;
```

---

```

Serial.print("Irms: ");
Serial.print(Irms,3);
Serial.print("A, ");
Serial.print("V: 220V, ");
Serial.print("S: ");
Serial.print(S,3);
Serial.print("VA, Potencia: ");
Serial.print(P,3);
Serial.print("W, ");
Serial.print("FP:");
Serial.println(FP,3);
delay(900000); // 15 minutos, para medición de 10 minutos reemplazar por
600000
}

```

## Anexo G Código de escritura archivo txt en tarjeta SD

```

void loop{
int chipSelect=4;
File Datosensados;

pin mode(10, output);
SD.begin(chipselect);

Datosensados=SD.open(ConsumoDDMM.txt, FILE_WRITE);

If(Datosensados){
  Datosensados.print("Irms: ");
  Datosensados.print(Irms,3);
  Datosensados.print("A, ");
  Datosensados.print("V: 220V, ");
  Datosensados.print("S: ");
  Datosensados.print(S,3);
  Datosensados.print("VA, Potencia: ");
  Datosensados.print(P,3);
  Datosensados.print("W, ");
  Datosensados.print("FP:");
  Datosensados.println(FP,3);
  Datosensados.close();
}
}

```