



IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE HÁBITOS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN HOGARES

Johnny Alexander Arévalo López

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Maestría en Ingeniería Electrónica
Bogotá D.C., Colombia
31 de julio de 2020

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE HÁBITOS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN HOGARES

Johnny Alexander Arévalo López

**Trabajo de grado para optar al título de:
Magíster en Ingeniería Electrónica
con énfasis en control y automatización**

**Director:
Enrique Estupiñan Escalante.**

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Maestría en Ingeniería Electrónica
Bogotá D.C., Colombia
31 de julio de 2020**

Nota de aceptación:

La tesis de maestría titulada “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE HÁBITOS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN HOGARES”, presentada por Johnny Alexander Arévalo López, cumple los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Electrónica.

Director del trabajo de grado

Jurado

Jurado

Bogotá, D.C., 31 de julio de 2020

Agradecimientos

Son muchas las personas que apoyaron este trabajo, pero no puedo dejar de agradecer primero a Dios por las facultades que nos brinda a todos nosotros para que busquemos por medio de nuestro conocimiento, ayudar a los demás.

Después el agradecimiento es a mi familia, a mis padres, José Ramiro Arévalo Silva y Rosa María López Vargas, personas que siempre están ahí bajo la tormenta y durante la calma, siempre con una voz de aliento y un ¡sí se puede!; a mi hermana, Denis Andrea Arévalo López, que hace parte de este logro, ya que ella es mi ejemplo a seguir de disciplina y persistencia; a mi tío Wilson López Vargas le debo un agradecimiento profundo, él fue la persona que me apoyo para que estudiar la maestría no fuera un sueño sino una realidad; y como no hablar de mi compañera de batalla Myriam Catalina Garzón Jaramillo, siempre con palabras sabias que me impulsaban a hacer todo de la mejor manera.

Por otro lado, más allá de ser un director de Tesis, el ingeniero Enrique Estupiñan es una persona que siempre me alentó con nuevas ideas y me fortaleció con su conocimiento, gracias a él por aceptarme como su estudiante para este proyecto; también el ingeniero Alexander Pérez merece mi más grato agradecimiento, ya que me oriento en la estructura del proyecto para que el aporte fuese enfocado y relevante; y no puedo dejar de mencionar al ingeniero Hernán Paz Penagos, quien me abrió las puertas en la Escuela, al grupo de investigación Ectrónica y quien confió en mis capacidades en la academia; muchas gracias a los tres.

Un agradecimiento especial a los ingenieros Omar Parra, David Cano, Nicolás Mosquera, Marco Ortiz y Carlos Chavarro; quienes cada uno desde sus áreas de conocimiento me solucionaron dudas y me regalaron un poco de su tiempo para resolver problemas que se presentaron en el camino.

Finalmente, no puedo dejar de agradecer a los estudiantes Daniel Obando y Laura Fandiño, fueron ustedes quienes permitieron hacer las mediciones de energía en sus hogares sin importar que su información haría parte de un estudio que se publica a las comunidades científicas.

Resumen

El desconocimiento en nuestros hábitos de consumo nos lleva a derrochar y a pagar de más en facturas, lo que nos genera problemas en nuestra salud y economía. Cuando esto ocurre, sentimos esa necesidad de mejorar el consumo, pero no obtenemos resultados positivos debido a que hacemos esfuerzos en cosas que no marcan la diferencia. Al obtener información de nuestro consumo, podemos ser testigos de nuestros propios errores y nos brinda la posibilidad de corregirlos. Este documento presenta a manera de bitácora, como se desarrolla un sistema de medición de energía eléctrica para múltiples cargas utilizando tecnología *WIRELESS* y el desarrollo de un sistema de adquisición, almacenamiento y de análisis de datos para presentar a un usuario su comportamiento de consumo.

Abstract

Lack of knowledge in our consumption habits leads us to waste and overpay bills, which causes problems for our health and economy. When this happens, we feel that we need to improve consumption but we do not obtain positive results because we make efforts in things that do not make a difference. By obtaining information on our consumption, we can witness our own mistakes and give us the possibility to correct them. This document presents as a log, how an electrical energy measurement system for multiple loads is developed using WIRELESS technology and also the development of data acquisition, storage, and analysis system to present its consumption behavior to a user.

Contenido

Agradecimientos	v
Resumen	vii
Contenido	xi
Acrónimos	xiii
1. Introducción	1
1.1. Pregunta de investigación:	12
1.2. Justificación	12
2. Objetivos	13
2.1. Objetivo general	13
2.2. Objetivos específicos	13
3. Marco Teórico	14
3.1. Estimación de energía eléctrica	14
3.1.1. Medición de potencia	14
3.2. Microcontrolador	19
3.3. Telecomunicación	20
3.4. Redes de sensores inalámbricos	21
3.4.1. Topología de red	22
3.4.2. Protocolos de enrutamiento	23
3.4.3. Modos de integración de datos	23
3.5. Dispositivos de la red	23
3.5.1. Sistema de procesamiento	23
3.5.2. Punto de acceso	24
3.5.3. Estaciones terminales	25
3.6. Reconocimiento de patrones de consumo vs reconocimiento de hábitos de consumo	25

4. Metodología	26
4.1. Diseño y desarrollo de módulos prototipo para medición de voltaje, corriente y estimación de potencia activa en cargas monofásicas	28
4.1.1. Diseño del circuito de medición de voltaje	28
4.1.2. Diseño del circuito de medición de corriente	32
4.1.3. Diseño del circuito para el micro-controlador	35
4.1.4. Elección del modulo <i>WIFI</i> y diseño del circuito	37
4.1.5. Diseño de la fuente de alimentación	38
4.1.6. Diseño integrado	40
4.1.7. Diseño de la placa electrónica	41
4.1.8. Firmware del microcontrolador	42
4.1.9. Calibración	44
4.2. Diseño y desarrollo de la red WSN	46
4.2.1. Elección del equipo de procesamiento	46
4.2.2. Diseño e implementación	47
4.3. Diseño e implementación del control, almacenamiento y los enlaces de comunicación para el manejo de los módulos de medición desde el micro-servidor.	49
4.3.1. Configuración del módulo <i>WIFI</i> del equipo de medición SEM .	50
4.3.2. Configuración de computador Raspberry Pi como micro-servidor	51
4.3.3. Diseño e implementación de la base de datos	53
4.4. Diseño e implementación de los procedimientos de procesamiento de los datos para el reconocimiento de los hábitos de consumo de las cargas conectadas a los dispositivos SEM	56
4.4.1. Consulta	56
4.4.2. Análisis	57
5. Resultados y análisis	61
5.1. Resultados y análisis en medición de voltaje y corriente	61
5.2. Equipo SEM	63
5.3. Resultados del firmware del microcontrolador	65
5.4. Resultados de calibración	67
5.5. Resultados de la implementación de la red WSN	70
5.5.1. Conectividad	70
5.5.2. Micro-servidor	71
5.6. Resultados de los algoritmos de análisis	74
6. Conclusiones y recomendaciones	109
6.1. Conclusiones	109

6.2. Recomendaciones	112
Referencias Bibliográficas	116
A. Anexo: Lista de materiales usados en la construcción del circuito	124
B. Anexo: Protocolo de calibración de mediciones de voltaje, corriente y potencia	126
B.1. Proceso de calibración	126
C. Anexo: Resultados de calibración de los equipos SEM	129
D. Anexo: Algoritmo implementado en el micro-controlador del equipo SEM usando el software MPLAB[©]	150
E. Anexo: Algoritmo implementado en el micro-controlador del módulo WIFI usando el software ARDUINO	163
F. Anexo: Algoritmos implementados en los bloques de función usando el software NODE-RED	167
G. Anexo: Algoritmos implementados para las consultas y el análisis de los datos	172
H. Anexo: Resultados de mediciones de voltaje y corriente con los circuitos seleccionados	191
I. Anexo: Gráficas de potencia medida por el sistema desarrollado	212
J. Anexo: Gráficas de la respuesta en frecuencia de las medidas obtenidas por cada día en los dos hogares	232
K. Anexo: Gráficas de la segmentación de consumo por franjas horarias en cada día y en los dos hogares	252
L. Anexo: Gráficas de correlación entre datos promedio de cada día de la semana frente a los datos de todo el periodo de monitoreo en los dos hogares	272
M. Anexo: Gráficas de correlación entre datos promedio de cada día de la semana frente a los datos de todo el periodo de monitoreo en los dos hogares	278

Acrónimos

- AC** *Alternating Current* - Corriente Alterna. 15, 29, 31, 34, 39
- ARM** *Advanced RISC Machine* - Maquina RISC avanzada. 19, 51
- BIPM** Bureau International des Poids et Mesures. 126
- CMOS** *Complementary Metal-Oxide Semiconductor* - Semiconductor Complementario de Óxido Metálico. 17
- DC** *Direct Current* - Corriente Directa. 28–30, 33, 39, 62
- EBP** Equipo Bajo Pruebas. 45, 127
- FFT** *Fast Fourier Transform* - Transformada rápida de Fourier. 102
- IDE** *Integrated Development Environment* - Entorno de desarrollo integrado. 57
- IP** *Internet Protocol* - Protocolo de internet. 37, 47, 48, 51–55, 112
- IPC** *Institute for Printed Circuits, Actual: Association Connecting Electronics Industries* - Instituto de tarjetas impresas. En la actualidad: Asociación de conexión de industrias electronicas. 41
- KWh** Kilovatio / hora. 27
- LAN** *Local Area Network* - Red de área local. 52
- MAC** *Media Access Control* - Control de acceso de hardware. 55
- NIST** National Institute of Standards and Technology. 127
- PAN** *Personal Area Network* - Red de área local. 13
- PCB** *Printed Circuit Board* - Tarjeta de circuito impreso. 42
- RAM** *Random Access Memory* - Memoria de acceso aleatorio. 46
- RMS** *Root Media Square* - Raiz Media Cuadratica. 29, 35
- SEM** Smart Energy Meter. 38, 48, 49, 51, 55, 56, 63, 64, 67–69, 73, 74, 129
- SEMS** Smart Energy Measure System. 127
- SQL** *Structured Query Language* - Lenguaje de consulta estructurada. 53, 72
- SSH** *Secure Shell* - Protocolo encriptado de red. 72
- TCP** *Transmission Control Protocol* - Protocolo de control de transmisión. 37, 47
- UART** *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* - Transmisor-Receptor Asíncrono Universal. 35
- WIFI** *Wireless Fidelity* - Fidelidad inalámbrica. 21, 23, 37, 44, 46, 47, 49, 163
- WPA2** *Wi-Fi Protected Access 2* - Acceso Protegido a Wi-Fi version 2. 51
- WSN** *Wireless Sensor Network* - Red de sensores inalámbricos. 21, 23–25, 70

Lista de Tablas

1-1. Convención de siglas de la figura 1-1 [53].	2
3-1. Tipos de Fuentes de Señal Comunes versus configuraciones de medición recomendadas [31].	16
3-2. Tabla comparativa entre diferentes computadores de placa reducida [56]	24
4-1. Tabla de corrientes requeridas por módulo en el diseño	39
4-2. Especificaciones técnicas del multímetro FLUKE 289 [18].	45
4-3. Tabla de IP fijas asignadas a los equipos.	49
4-4. Franjas horarias para análisis de consumo	59
5-1. Cargas medidas por el sistema en cada hogar.	75
5-2. Tabla resumen de resultados	103
5-3. Comparación de los consumos de energía en los dos hogares	108
A-1. Lista de componentes	125
B-1. Tabla de resultados de calibración	127
C-1. Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM001	130
C-2. Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM002	132
C-3. Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM003	134
C-4. Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM004	136
C-5. Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM005	138
C-6. Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM006	140
C-7. Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM007	142

C-8. Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM008	144
C-9. Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM009	146
C-10. Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM010	148

Lista de Figuras

1-1. Participación del consumo final por energético y sectores: Colombia 2018. [53].	2
1-2. Participación en generación y consumo de energía en el sector residencial [42].	4
1-3. Clasificación de hogares según ingreso y número de personas por hogar [51].	6
1-4. Gráfica de ingresos versus gastos clasificada por deciles ordenados por ingreso monetario [51].	6
1-5. Histórico y proyecciones de consumo de energía en el sector residencial [9].	7
1-6. Relación entre consumo de electricidad por habitante y PIB por habitante en Colombia 1990 - 2007 (precios constantes de 1994) [1].	8
1-7. Interfaz de la calculadora de estimación de energía Elec-Quipu[57].	9
1-8. Módulos "Smart Plugs"	10
3-1. Diagrama esquemático de un sensor Rogowski [60].	17
3-2. Aplicación de medición de corriente usando un sensor magnético de efecto Hall de montaje superficial [60].	17
3-3. Medidores electromecánicos de energía eléctrica [33].	19
3-4. Topologías de red de sensores inalámbricos (WSN)	22
4-1. Circuito diseñado e implementado para medición de voltaje.	32
4-2. Empaquetado del sensor ACS770 y esquemático de conexiones recomendado por el fabricante [35]	32
4-3. Circuito diseñado e implementado para medición de corriente.	35
4-4. Circuito implementado para el funcionamiento del micro-controlador.	36
4-5. Módulo WIFI seleccionado y circuito implementado para la interconexión con el circuito de medición y control.	37
4-6. Circuito diseñado para la alimentación del equipo de medición.	39
4-7. Sistema modular del diseño generado.	40
4-8. Placa electrónica desarrollada en el software Altium Designer [®]	41
4-9. Vista superior de la placa.	42

4-10. Distribución de capas implementadas la construcción de la tarjeta. . .	42
4-11. Diagrama de flujo del algoritmo implementado en el micro-controlador.	43
4-12. Computador Raspberry Pi Zero W	47
4-13. Topología de red	48
4-14. Algoritmo implementado en el módulo WIFI.	50
4-15. Flujo de procesos implementados en el software Node-RED.	53
4-16. Diseño planteado para la base de datos.	54
4-17. Tabla para registro de redes.	55
4-18. Tabla para registro de nodos.	55
4-19. Tabla para registro de mediciones	55
4-20. Tabla IP con nodos SEM registrados.	56
5-1. Voltaje atenuado de la red eléctrica.	61
5-2. Rectificación de precisión de onda completa.	62
5-3. Voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente.	62
5-4. Rectificación de la señal de voltaje obtenida del sensor de corriente. .	63
5-5. Tarjeta SEM ensamblada y cableada.	64
5-6. Módulo medidor SEM001 en su fase final.	65
5-7. Gráficas de valores digitales entregadas por el microprocesador. . . .	66
5-8. Disposición de equipos y carga para proceso de calibración.	67
5-9. Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM001.	68
5-10. Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM001.	68
5-11. Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM001.	69
5-12. Errores de voltaje, corriente y potencia del equipo SEM001 frente al equipo patrón.	69
5-13. Resultados obtenidos de diagnostico de red para conectividad con equipo SEM008.	70
5-14. Conexión remota establecida con el micro servidor por medio del pro- tocolo SSH.	71
5-15. Indicadores visuales de conexión del sistema de gestión de los nodos con la base de datos.	72
5-16. Extracto de datos de la tabla medición.	73
5-17. Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/10. Hogar 1	75
5-18. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/02. Hogar 2. . . .	76
5-19. Curva del consumo de potencia de la nevera en el tiempo	77

5-20. Análisis en el dominio de la frecuencia para el consumo por carga en el día 2019/10/10. Hogar 1	79
5-21. Análisis en el dominio de la frecuencia para el consumo por carga en el día 2020/02/02. Hogar 2.	79
5-22. Consumos totales de energía por día y por carga en el hogar 1.	81
5-23. Consumos totales de energía por día y por carga en el hogar 2.	82
5-24. Consumos totales de energía por día (5 cargas). Hogar 1.	85
5-25. Consumos totales de energía por día (5 cargas). Hogar 2.	85
5-26. Consumos totales de energía por día segmentados por valor de consumo de cada carga (5 cargas). Hogar 1.	86
5-27. Consumos totales de energía por día segmentados por valor de consumo de cada carga (5 cargas). Hogar 2.	87
5-28. Consumos totales de energía por carga durante 14 días. Hogar 1.	88
5-29. Consumos totales de energía por carga durante 23 días. Hogar 2.	88
5-30. Consumo total de energía durante 14 días (5 cargas). Hogar 1.	89
5-31. Consumo total de energía durante 23 días (5 cargas). Hogar 2.	89
5-32. Consumo total de energía durante 14 días (5 cargas). Hogar 1.	90
5-33. Consumo total de energía durante 23 días (5 cargas). Hogar 2.	90
5-34. Análisis de consumo de energía segmentado por franjas horarias para el día 2019/10/10. Hogar 1.	91
5-35. Análisis de consumo de energía segmentado por franjas horarias para el día 2020/02/02. Hogar 2.	91
5-36. Curva de consumo de potencia en todo el periodo monitoreado. Hogar 1.	92
5-37. Curva de consumo de potencia en todo el periodo monitoreado. Hogar 2.	93
5-38. Respuesta en frecuencia del consumo de potencia en todo el periodo monitoreado. Hogar 1.	93
5-39. Respuesta en frecuencia del consumo de potencia en todo el periodo monitoreado. Hogar 2.	94
5-40. Curva de consumo con valores arriba del umbral estadístico "Media mas desviación estándar". Hogar 1.	95
5-41. Respuesta en frecuencia de los datos con valores arriba del umbral estadístico "Media mas desviación estándar". Hogar 1.	95
5-42. Curva de consumo con valores arriba del umbral estadístico "Media mas desviación estándar". Hogar 2.	96
5-43. Respuesta en frecuencia de los datos con valores arriba del umbral estadístico "Media mas desviación estándar". Hogar 2.	96

5-44. Curva de consumo con valores máximos cada 15 minutos. Hogar 1. . .	99
5-45. Curva de consumo con valores máximos cada 15 minutos. Hogar 2. . .	99
5-46. Respuesta en frecuencia de los datos obtenidos con el filtro de datos máximos cada 15 minutos. Hogar 1.	100
5-47. Respuesta en frecuencia de los datos obtenidos con el filtro de datos máximos cada 15 minutos. Hogar 2.	100
5-48. Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Plancha". Hogar 1	103
5-49. Valores promedio de consumo total de energía en cada día de la semana en el hogar 1	105
5-50. Valores promedio de consumo de energía por carga en cada día de la semana en el hogar 1	105
5-51. Valores promedio de consumo total de energía en cada día de la semana en el hogar 2	106
5-52. Valores promedio de consumo de energía por carga en cada día de la semana en el hogar 2	106
5-53. Valores promedio de consumo de energía por carga en cada día de la semana en el hogar 2	107
B-1. Plantilla de ficha técnica de calibración	128
C-1. Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM001.	130
C-2. Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM001.	130
C-3. Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM001.	131
C-4. Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM001.	131
C-5. Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM002.	132
C-6. Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM002.	132
C-7. Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM002.	133
C-8. Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM002.	133

C-9. Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM003.	134
C-10. Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM003.	134
C-11. Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM003.	135
C-12. Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM003.	135
C-13. Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM004.	136
C-14. Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM004.	136
C-15. Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM004.	137
C-16. Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM004.	137
C-17. Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM005.	138
C-18. Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM005.	138
C-19. Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM005.	139
C-20. Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM005.	139
C-21. Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM006.	140
C-22. Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM006.	140
C-23. Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM006.	141
C-24. Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM006.	141
C-25. Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM007.	142
C-26. Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM007.	142
C-27. Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM007.	143

C-28.Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM007.	143
C-29.Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM008.	144
C-30.Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM008.	144
C-31.Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM008.	145
C-32.Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM008.	145
C-33.Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM009.	146
C-34.Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM009.	146
C-35.Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM009.	147
C-36.Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM009.	147
C-37.Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM010.	148
C-38.Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM010.	148
C-39.Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM010.	149
C-40.Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM010.	149
H-1. Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM001. . .	192
H-2. Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM001.	192
H-3. Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM002. . .	193
H-4. Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM002.	193
H-5. Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM003. . .	194
H-6. Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM003.	194
H-7. Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM004. . .	195
H-8. Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM004.	195

H-9. Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM005. . .	196
H-10. Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM005.	196
H-11. Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM006. . .	197
H-12. Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM006.	197
H-13. Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM007. . .	198
H-14. Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM007.	198
H-15. Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM008. . .	199
H-16. Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM008.	199
H-17. Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM009. . .	200
H-18. Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM009.	200
H-19. Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM010. . .	201
H-20. Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM010.	201
H-21. Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM001.	202
H-22. Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM001.	202
H-23. Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM002.	203
H-24. Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM002.	203
H-25. Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM003.	204
H-26. Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM003.	204
H-27. Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM004.	205
H-28. Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM004.	205
H-29. Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM005.	206
H-30. Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM005.	206

H-31. Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM006.	207
H-32. Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM006.	207
H-33. Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM007.	208
H-34. Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM007.	208
H-35. Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM008.	209
H-36. Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM008.	209
H-37. Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM009.	210
H-38. Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM009.	210
H-39. Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM010.	211
H-40. Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM010.	211
I-1. Gráficas de consumo por carga en el día 2019/09/30. Hogar 1	213
I-2. Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/01. Hogar 1	213
I-3. Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/02. Hogar 1	214
I-4. Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/03. Hogar 1	214
I-5. Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/04. Hogar 1	215
I-6. Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/05. Hogar 1	215
I-7. Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/06. Hogar 1	216
I-8. Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/07. Hogar 1	216
I-9. Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/08. Hogar 1	217
I-10. Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/09. Hogar 1	217
I-11. Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/10. Hogar 1	218
I-12. Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/11. Hogar 1	218
I-13. Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/12. Hogar 1	219
I-14. Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/13. Hogar 1	219
I-15. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/21. Hogar 2. . . .	220
I-16. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/22. Hogar 2. . . .	220
I-17. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/23. Hogar 2. . . .	221
I-18. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/24. Hogar 2. . . .	221

I-19. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/25. Hogar 2.	222
I-20. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/26. Hogar 2.	222
I-21. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/27. Hogar 2.	223
I-22. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/28. Hogar 2.	223
I-23. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/29. Hogar 2.	224
I-24. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/30. Hogar 2.	224
I-25. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/31. Hogar 2.	225
I-26. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/01. Hogar 2.	225
I-27. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/02. Hogar 2.	226
I-28. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/03. Hogar 2.	226
I-29. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/04. Hogar 2.	227
I-30. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/05. Hogar 2.	227
I-31. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/06. Hogar 2.	228
I-32. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/07. Hogar 2.	228
I-33. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/08. Hogar 2.	229
I-34. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/09. Hogar 2.	229
I-35. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/10. Hogar 2.	230
I-36. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/11. Hogar 2.	230
I-37. Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/12. Hogar 2.	231
J-1. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/09/30. Hogar 1	233
J-2. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/01. Hogar 1	233
J-3. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/02. Hogar 1	234
J-4. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/03. Hogar 1	234
J-5. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/04. Hogar 1	235
J-6. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/05. Hogar 1	235
J-7. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/06. Hogar 1	236
J-8. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/07. Hogar 1	236
J-9. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/08. Hogar 1	237

J-10. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/09.	
Hogar 1	237
J-11. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/10.	
Hogar 1	238
J-12. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/11.	
Hogar 1	238
J-13. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/12.	
Hogar 1	239
J-14. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/13.	
Hogar 1	239
J-15. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/21.	
Hogar 2.	240
J-16. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/22.	
Hogar 2.	240
J-17. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/23.	
Hogar 2.	241
J-18. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/24.	
Hogar 2.	241
J-19. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/25.	
Hogar 2.	242
J-20. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/26.	
Hogar 2.	242
J-21. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/27.	
Hogar 2.	243
J-22. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/28.	
Hogar 2.	243
J-23. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/29.	
Hogar 2.	244
J-24. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/30.	
Hogar 2.	244
J-25. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/31.	
Hogar 2.	245
J-26. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/01.	
Hogar 2.	245
J-27. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/02.	
Hogar 2.	246
J-28. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/03.	
Hogar 2.	246

J-29. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/04. Hogar 2.	247
J-30. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/05. Hogar 2.	247
J-31. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/06. Hogar 2.	248
J-32. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/07. Hogar 2.	248
J-33. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/08. Hogar 2.	249
J-34. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/09. Hogar 2.	249
J-35. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/10. Hogar 2.	250
J-36. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/11. Hogar 2.	250
J-37. Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/12. Hogar 2.	251
K-1. Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/09/30. Hogar 1	253
K-2. Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/01. Hogar 1	253
K-3. Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/02. Hogar 1	254
K-4. Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/03. Hogar 1	254
K-5. Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/04. Hogar 1	255
K-6. Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/05. Hogar 1	255
K-7. Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/06. Hogar 1	256
K-8. Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/07. Hogar 1	256
K-9. Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/08. Hogar 1	257
K-10. Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/09. Hogar 1	257

K-11.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/10. Hogar 1	258
K-12.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/11. Hogar 1	258
K-13.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/12. Hogar 1	259
K-14.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/13. Hogar 1	259
K-15.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/21. Hogar 2.	260
K-16.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/22. Hogar 2.	260
K-17.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/23. Hogar 2.	261
K-18.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/24. Hogar 2.	261
K-19.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/25. Hogar 2.	262
K-20.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/26. Hogar 2.	262
K-21.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/27. Hogar 2.	263
K-22.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/28. Hogar 2.	263
K-23.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/29. Hogar 2.	264
K-24.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/30. Hogar 2.	264
K-25.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/31. Hogar 2.	265
K-26.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/01. Hogar 2.	265
K-27.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/02. Hogar 2.	266
K-28.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/03. Hogar 2.	266
K-29.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/04. Hogar 2.	267

K-30.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/05. Hogar 2.	267
K-31.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/06. Hogar 2.	268
K-32.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/07. Hogar 2.	268
K-33.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/08. Hogar 2.	269
K-34.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/09. Hogar 2.	269
K-35.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/10. Hogar 2.	270
K-36.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/11. Hogar 2.	270
K-37.Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/12. Hogar 2.	271
L-1. Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Plancha". Hogar 1	273
L-2. Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Nevera". Hogar 1	273
L-3. Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Licuadora". Hogar 1	274
L-4. Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "TV + Laptop + Router". Hogar 1	274
L-5. Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Lavadora". Hogar 1	275
L-6. Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Acuario". Hogar 2	275
L-7. Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Nevera". Hogar 2	276

L-8. Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Hidroponico". Hogar 2	276
L-9. Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "TV + Telefono + Router". Hogar 2	277
L-10. Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Lavadora". Hogar 2	277
M-1. Recibo de energía del periodo en el que se realizaron las mediciones de consumo en el hogar 1	279
M-2. Recibo de energía del periodo en el que se realizaron las mediciones de consumo en el hogar 2	280

1. Introducción

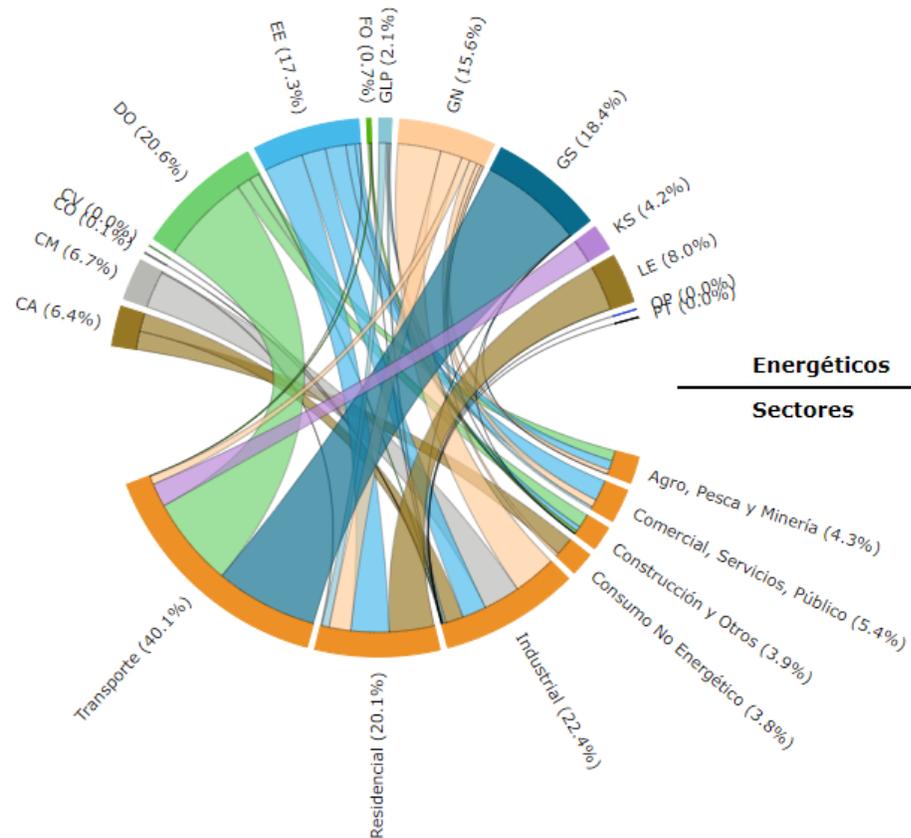
La organización de las naciones unidas (UN) en el año 2015 lanzó sus objetivos para el nuevo milenio y entre algunos de los objetivos planteados, está la necesidad de que la energía sea asequible y sea no contaminante, y que la producción y consumo sean responsables [54].

¿Por qué razón este objetivo hace parte de los objetivos planteados por la UN para el futuro de las naciones? Solo hay que analizar la gran cantidad de métodos de generación de energía eléctrica que son invasivos y contaminantes [59] y en cuanto al consumo, Algunos autores mencionan que en Costa Rica, el derroche de energía es significativo [45].

Para caracterizar la problemática se recurre a una serie de reportes de entidades gubernamentales e investigaciones que definen el porqué de la situación, por ejemplo, la organización latinoamericana de energía (OLADE) [53] presenta cada año una serie de gráficos que muestran la oferta y la demanda de energía en una región, para Colombia se puede observar en la figura 1-1 los resultados consultados para el año 2018. En la tabla 1-1 se aclara cual es el sector de generación según sus siglas correspondientes presentadas en la figura 1-1.

Tabla 1-1: Convención de siglas de la figura 1-1 [53].

CA	Caña de azúcar y derivados
CM	Carbón mineral
CO	Coque
CV	Carbón vegetal
DO	Diésel oil
EE	Electricidad
FO	Fuel oil
GLP	Gas licuado
GN	Gas Natural
GS	Gasolina/Alcohol
KS	Kerosene/Jet fuel
LE	Leña
OP	Otras prim
PT	Petróleo

**Figura 1-1:** Participación del consumo final por energético y sectores: Colombia 2018. [53].

Como se observa en la figura 1-1, son varias las fuentes de energía pero se puede notar que las de mayor presencia como diésel y gasolina son las más contaminantes[59], así mismo, se puede ver cómo está distribuido el consumo de energía, tres de los sectores de mayor demanda son el de transportes, el industrial y el residencial logrando más del 80 % en conjunto.

En el sector transportes, es donde se presenta la mayor concentración de demanda en cuanto a fuentes de energía derivados de los combustibles fósiles, en el sector residencial, las principales fuentes de energía son la energía eléctrica, el gas natural y con una porción significativa está la leña. También es importante mencionar que el sector residencial es el sector que más demanda energía eléctrica.

A partir de esta información se evidencia una necesidad, ¿Cómo generar más energías limpias y cómo mejorar en el consumo? Si se logra una mejora, se puede mejorar significativamente los indicadores de eficiencia energética y esto consecuentemente va a aliviar el impacto en el medio ambiente.

Pero pretender un alivio en el impacto ambiental es bastante ambicioso, más si se espera que toda una población se comprometa a mejorar en sus hábitos de consumo. Por tal razón no se pretende que un proyecto de grado entregue la fórmula del como acabar con la problemática, pero sí podría intervenir desde algún aspecto que aporte a la solución.

Hoy en día se han dedicado un gran número de investigaciones y desarrollos relacionados a producción sostenible de energía, tan solo en los dos últimos años se han invertido billones de dólares en el mundo en la implementación de estas tecnologías de energías renovables [55], pero en cuanto al consumo, las inversiones no reflejan avances y dejan al usuario final a un lado y es él quien puede mejorar en su consumo.

En este trabajo centraremos la atención en el consumo de energía eléctrica. Observando la gráfica de la figura 1-1, el sector residencial es el tercer sector de mayor consumo de energía. Además, presenta valores de consumo que se desconoce dónde se está usando, pero generan un gasto bastante alto frente a la energía útil y esto sin contar con la energía que se pierde totalmente [42]. En la figura 1-2 se puede observar que el indicador de ineficiencia energética alcanza uno de los mayores valores en el consumo, por tal razón, esta problemática de consumo se convierte en el eje de esta discusión.

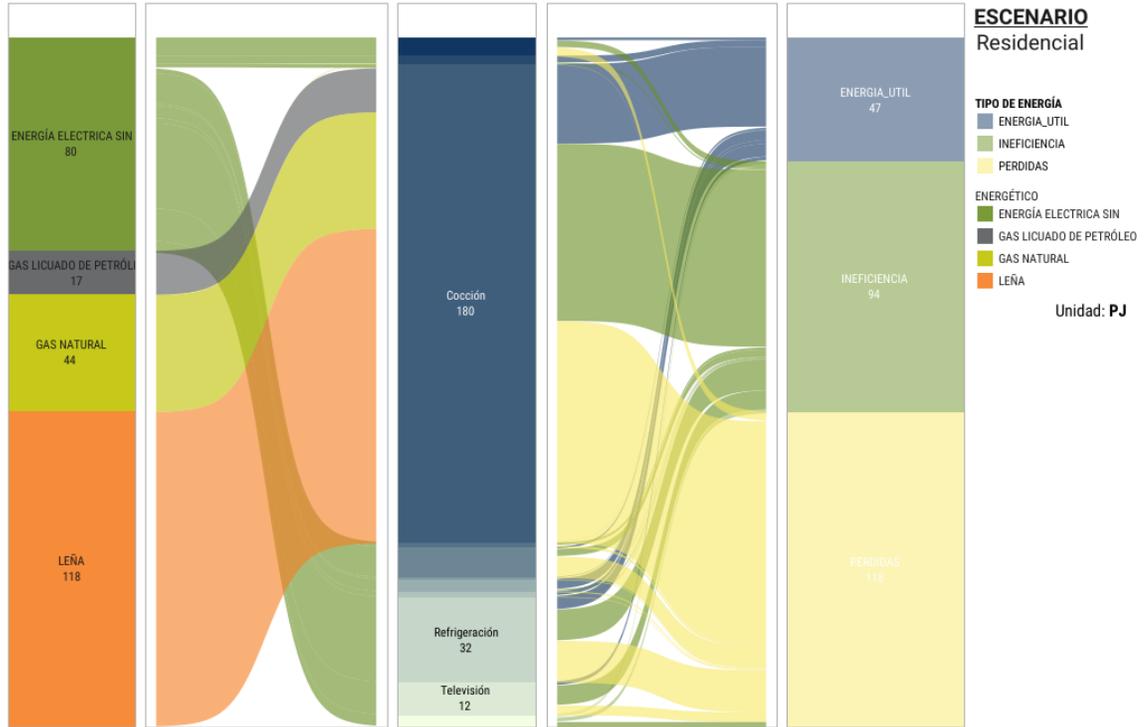


Figura 1-2: Participación en generación y consumo de energía en el sector residencial [42].

Se observa en la figura 1-2 que existe un desconocimiento del origen de las pérdidas de energía y de los bajos índices de eficiencia energética, las causas pueden ser, malos hábitos de consumo y bajos rendimientos de consumo por parte de los electrodomésticos por sus características.

Un análisis realizado por Sue Bowden y Avner Offer en su investigación, define la relación que existe entre el mejoramiento de la calidad de vida de las personas al obtener electrodomésticos [7]. Algunos casos que ejemplifican dicha relación son el uso de lavadoras automáticas que reducen el esfuerzo físico, así como también el uso de electrodomésticos en la cocina reducen el tiempo dedicado a la preparación de los alimentos de manera que puedan dedicar a actividades personales.

Establecida esta relación, es claro que entre más aparezcan electrodomésticos que ayuden a las personas en sus hogares, estos serán rápidamente adquiridos por ellas. De igual manera, hay tendencias culturales que también hacen que esta adquisición de electrodomésticos se incremente: En el momento que una persona adquiere un nuevo electrodoméstico con características de innovación y novedad, en su entorno las demás personas por gusto y por querer ser iguales o mejores, adquieren el mismo

o incluso un mejor equipo [75], de esta manera, se incrementa el consumo estimulado por comportamiento sociocultural. A esto se le puede agregar que los productores de electrodomésticos se han enfocado en lo mucho que sus productos reducen el esfuerzo humano y explotan este punto para motivar e inducir a que sean adquiridos esos productos en sus campañas publicitarias [74]. Además, se puede agregar que las personas les prestan poco interés a los temas de eficiencia energética y a la eficiencia de sus equipos.

En este escenario se plantea que, a mayor número de electrodomésticos, mayor será el consumo de energía eléctrica. Esta situación es compleja para la población de sectores de estratos socioeconómicos medio y bajo. Al aumentar el número de electrodomésticos, se incrementa proporcionalmente el cobro en el servicio de energía eléctrica y a su vez se pueden generar problemas de ansiedad y depresión en las personas. Un estudio realizado en Boston en 72 familias en el año 2016 arrojó que cuando no es posible pagar las facturas de los servicios, las personas terminan con estados de ansiedad y depresión [23].

En Colombia no existen estudios que relacionen directamente el no pago de servicios con problemas de ansiedad o depresión, pero se pueden revisar las cifras de ingresos y egresos y desde esa perspectiva se puede plantear una hipótesis que resulte en los mismos resultados hallados en los estudios de HealthDay [23].

Según cifras del DANE, en el territorio nacional la mayoría de habitantes ganan entre menos de uno a dos salarios mínimos y es en esta población donde el gasto monetario está por arriba del ingreso monetario [51]. En la figura 1-3 se observa que los mayores grupos de hogares se clasifican en ingresos menores a dos salarios mínimos y en la figura 1-4 se evidencia que son más de 6 deciles en los que el gasto es mayor al ingreso y están por debajo de los dos salarios mínimos.

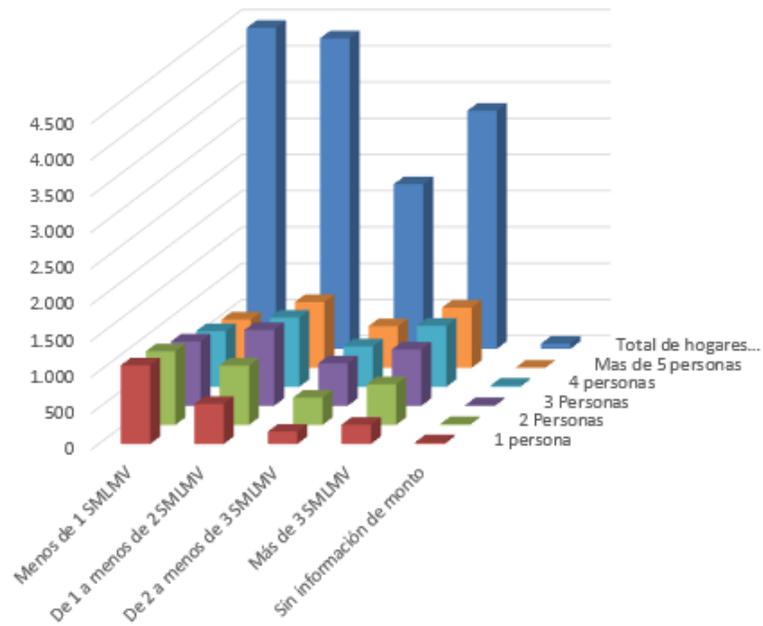


Figura 1-3: Clasificación de hogares según ingreso y número de personas por hogar [51].

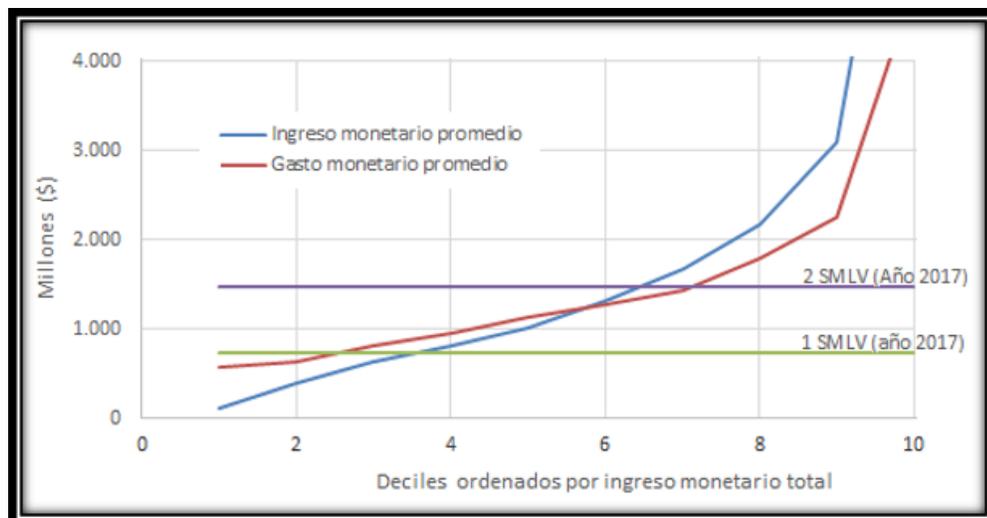


Figura 1-4: Gráfica de ingresos versus gastos clasificada por deciles ordenados por ingreso monetario [51].

Si bien de una u otra manera las personas logran satisfacer sus necesidades, el gasto en los servicios va en aumento, un gasto significativo en el presupuesto de un hogar es para cubrir los servicios públicos, ahora relacionando este consumo con la demanda nacional, el consumo de energía eléctrica proyecta un incremento. En la

figura 1-5 se refleja este crecimiento y se observan las proyecciones de consumo en el sector residencial que en el plan energético nacional lo aproximan al 4.3% por década [9]. También se prevé que el gas natural no se incrementará en su consumo y esto se relaciona con el hecho de que el consumo de los combustibles fósiles está decreciendo.

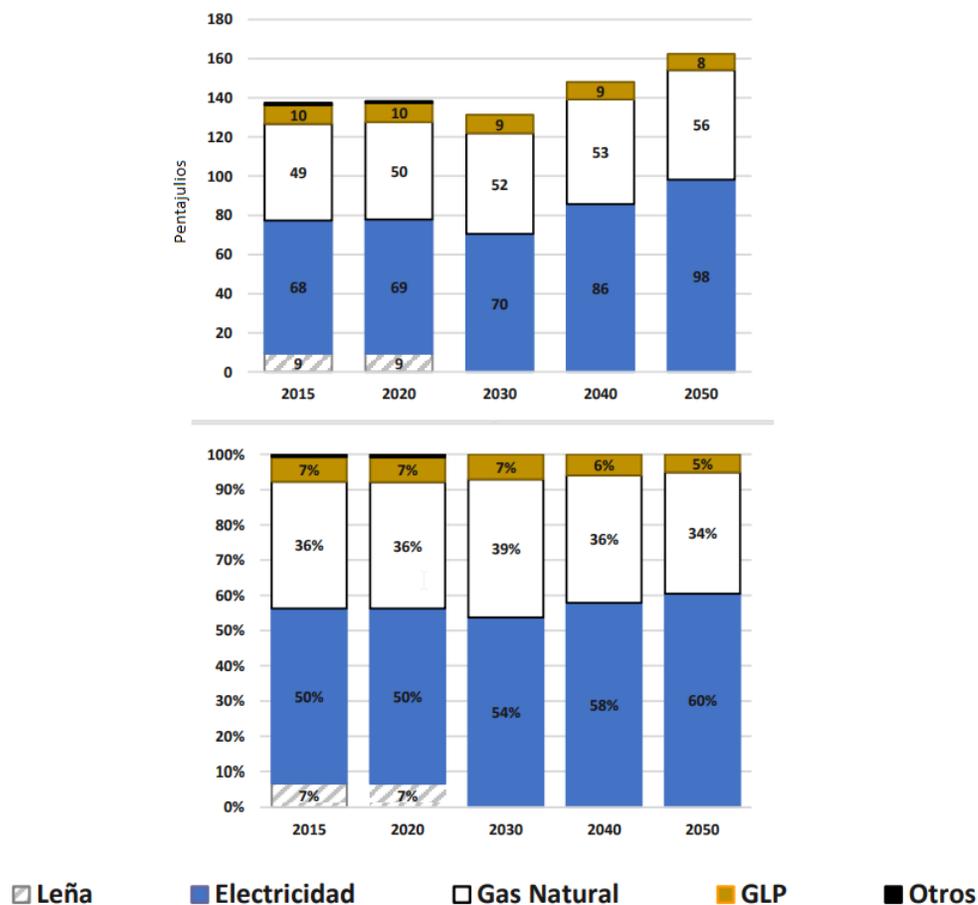


Figura 1-5: Histórico y proyecciones de consumo de energía en el sector residencial [9].

Este incremento en el consumo de energía eléctrica se debe a lo mismo que se ha expuesto, adquisición de nuevos electrodomésticos que día tras día salen al mercado.

Un segundo análisis, interesante por sus resultados, es el que presenta el estudio realizado por Fedesarrollo y Energía de Bogotá. En la figura 1-6 se observa una relación directa entre el consumo de energía eléctrica por habitante y su ingreso [1], en el reporte se concluye que a mayor valor del servicio se incentiva un menor consumo.

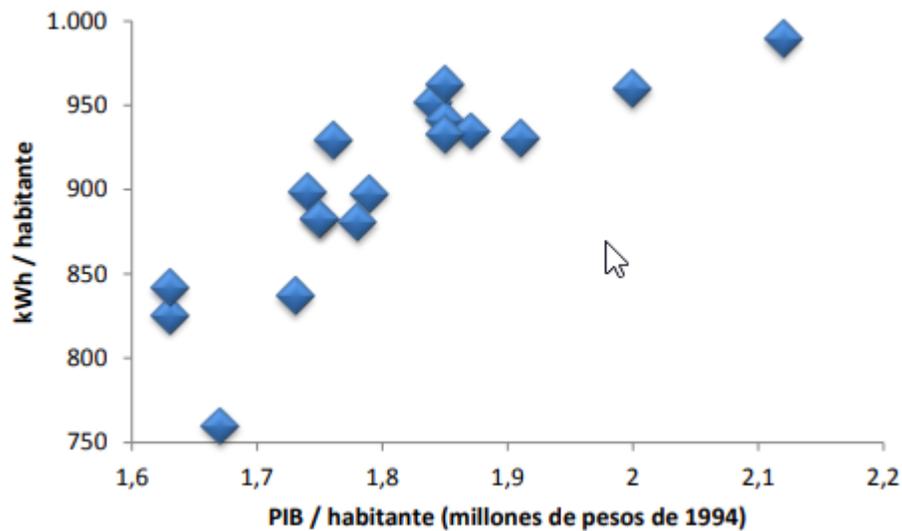


Figura 1-6: Relación entre consumo de electricidad por habitante y PIB por habitante en Colombia 1990 - 2007 (precios constantes de 1994) [1].

En la gráfica se encuentra el equivalente de *PIB/habitante* llevado al valor de la moneda en Colombia para el año 1994.

Con la investigación realizada por Sardianou en 2006 [62], también se puede soportar el argumento de que el comportamiento de consumo que se presenta en la figura 1-6 es porque las personas que tienen mayores ingresos consumen más pero tienen mayores recursos para invertir en sistemas de ahorro y conservación y por ello aumentan su cultura hacia el ahorro de energía. Otro argumento, que puede dar explicación a este comportamiento de consumo se basa en lo presentado por Seebauer y Wolf [64], quienes citando a Poortinga, muestran que un empleado dispone de menos tiempo en su hogar y por lo tanto consume menos energía mientras que un desempleado dispone de más tiempo de ocio y esto resulta en un gasto más elevado de energía, además, también se agrega que la carencia de ingresos, no le permita invertir en sistemas de ahorro de energía [62].

Dentro de las estrategias implementadas para aliviar la situación económica en los hogares y enfocadas al tema de consumo de energía eléctrica, se encuentran sistemas tecnológicos que le presentan al usuario cual será el consumo estimado final del mes en el hogar, este método innovador en su concepción, finalmente no resulta tan útil porque resulta meramente informativo, no determina oportunidades de mejora ni de comportamiento histórico. Un ejemplo de esta herramienta fue desarrollado en Perú,

donde el gobierno nacional desarrolló una calculadora llamada Elec Quipu [57], la cual recibe manualmente la información de voltaje, corriente y potencia que se entrega en las etiquetas de los diferentes electrodomésticos presentes en el hogar y hace un estimado del consumo del mes, no obstante, esta información como se dijo, tan solo es un estimado pues no tiene en cuenta los tiempos de encendido y pequeñas variaciones de voltaje y corriente de un equipo en diferentes procesos de su operación. En la figura 1-7 se observa la interfaz que maneja la plataforma de la calculadora Elec-Quipu.

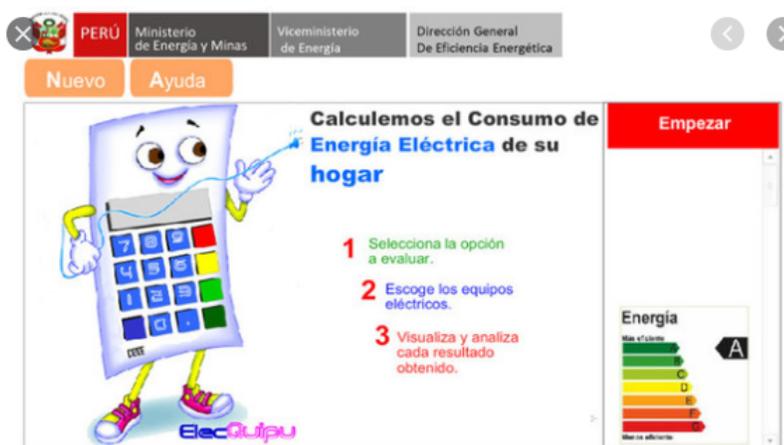


Figura 1-7: Interfaz de la calculadora de estimación de energía Elec-Quipu[57].

Por otra parte, existen los llamados conectores inteligentes "Smart Plugs", algunos realizan exclusivamente funciones de encendido y apagado de equipos conectados a ellos como el HS100 que ofrece la compañía *TP-LINK* [72]. Otros equipos como el *Smart Socket Air* de la compañía *LOXONE* [36] funciona como monitor de consumo eléctrico, este presenta al usuario en tiempo real los valores de energía consumidos y el historial de consumo además de otras aplicaciones secundarias, pero no realiza ningún análisis de consumo.

Este último dispositivo, se aproxima en gran medida a las necesidades de hardware que requiere el sistema que se implementa en este trabajo, no obstante, no realiza procedimientos de análisis de consumo.



Figura 1-8: Módulos "Smart Plugs"

En Colombia, la empresa de energía ENEL, "anteriormente CODENSA", recientemente ha iniciado un proceso de implementación de un medidor de energía inteligente en algunos hogares de Bogotá [12], en palabras de esta empresa la funcionalidad de este medidor es:

"Adicional a tu factura, te enviaremos un anexo que detallará el consumo promedio de energía por día de la semana y para el período facturado se discriminará por hora el día de mayor consumo. También tendrás un comparativo de tu consumo frente al de tus vecinos, especificando el menor consumo, cuál es tu ranking en el grupo y con cuántos vecinos te están comparando"

(CODENSA: 2020[12])

El alcance de este desarrollo está limitado a la información promedio y a comparativos frente a hogares vecinos por medio del cual no se puede reconocer un hábito de consumo, ni su variación frente a historiales de consumo previos. Por otro lado, este medidor está asociado con la medición de todo un hogar y no permite discriminar mediciones individuales de los diferentes electrodomésticos y cargas eléctricas que se encuentren dentro de un hogar.

Finalmente, en Colombia, desde el gobierno se han incentivado campañas de ahorro de energía, políticas de consumo racional, racionamientos voluntarios y otras estrategias que aporten a la disminución del consumo de energía eléctrica basado en hidroeléctricas y fuentes no limpias, como las térmicas de carbón [8].

Haciendo una revisión de tecnologías que puedan enfrentar esta problemática, se puede introducir el concepto de reconocimiento de hábitos de consumo, para ello, se

deben obtener datos representativos de la variable a analizar para luego procesarlos y obtener las características principales y finalmente entregar la información correspondiente a la interpretación de los datos [63].

A partir de la revisión bibliográfica, se puede afirmar que ninguno ha presentado análisis de caracterización de consumo, lo que genera una oportunidad por aprovechar, para generar información útil que ayude a la toma de decisiones en cuanto al consumo de la energía eléctrica.

En Colombia, en la Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, se está realizando una investigación sobre la eficiencia energética de electrodomésticos y se han planteado algoritmos para hacer el reconocimiento de hábitos de consumo por medio de cálculos estadísticos, hasta la fecha, las mediciones que se están trabajando son de corriente y se asumen los valores de voltaje constantes sin tener en cuenta factores como armónicos o cambios de voltaje en la red eléctrica [17].

Esta metodología de recibir información, analizarla y realimentarla al usuario aun no establece una posible mejoría en los hábitos de consumo, pero Naresh Malhotra desde hace más de treinta y cinco años, realizó estudios acerca del comportamiento de las personas en cuanto a consumo y en la toma de decisiones basadas en información recopilada previamente [39], en sus conclusiones cita textualmente a Streufert, Driver, y Haun los cuales argumentan lo siguiente:

“A medida que se incrementa la carga de información, las decisiones que se toman alcanzan un óptimo resultado ”

(Malhotra, Naresh K.: 1982)

Es importante dejar claro que Malhotra también argumenta que si la información que se recibe es de diferentes objetos, el usuario se saturará de información haciendo que las decisiones tomadas no sean las mejores[39].

Basándose en esta perspectiva, si se obtienen datos de consumo de energía y se presentan al usuario, se puede lograr que este, tenga la información y el poder para decidir si mejorar en su consumo. Tal vez no se logre un cambio notorio por usuario y por hogar, pero el impacto por cada hogar, por cada usuario, en conjunto puede ser significativo.

1.1. Pregunta de investigación:

¿Qué herramienta se requiere para caracterizar los hábitos de consumo de energía eléctrica en hogares bogotanos y que genere información relevante para que los usuarios tengan incentivos para consumir racionalmente la energía eléctrica?

1.2. Justificación

Una herramienta que reconoce hábitos de consumo de energía eléctrica en los hogares permite a los usuarios tener alta disponibilidad de su consumo y además predecir los costos finales relacionados con su consumo. De igual manera, podría programar actividades relacionadas con su consumo energético de manera que se convierta en un consumo organizado y planificado.

Un resultado que se puede lograr es alcanzar un uso racional de la energía.

Otra prestación de esta herramienta es la de detectar un funcionamiento anómalo de las cargas basándose en sus perfiles de consumo en operación. Eventualmente, un electrodoméstico puede presentar un funcionamiento diferente a su comportamiento habitual y esto se ve reflejado en sus corrientes y voltajes de operación.

Finalmente, se puede también aseverar, que al mejorar en los hábitos de consumo y reduciendo el derroche del recurso energético, se está reduciendo impacto ambiental producido por el malgasto de energía.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Implementar un sistema que reconozca hábitos de consumo de energía eléctrica de un hogar a partir de mediciones básicas de voltaje y corriente, y además que pueda detectar funcionamientos no habituales en los electrodomésticos.

2.2. Objetivos específicos

- Diseñar y construir módulos prototipo de medición de voltaje y corriente para cargas monofásicas.
- Establecer la red PAN para los sensores y el micro servidor.
- Implementar el software del módulo de control que integre los módulos de medición y sirva para la implementación de la plataforma de análisis.
- Elegir y evaluar dos algoritmos de reconocimiento de hábitos de consumo y establecer cuál de ellos presenta mejores resultados.
- Lograr el algoritmo de reconocimiento de hábitos de consumo en el computador de placa reducida.

3. Marco Teórico

3.1. Estimación de energía eléctrica

3.1.1. Medición de potencia

La medición de potencia eléctrica se basa en dos variables principales: voltaje y corriente, hacer las mediciones de estas variables no presenta ninguna dificultad en su medición cuando las cargas están bajo un ambiente controlado en laboratorio, pero cuando los sistemas de medición se enfrentan a entornos no controlados, los comportamientos de estas variables pueden ser bastante impredecibles. En ingeniería eléctrica y electrónica, algunos fenómenos como los armónicos y cargas inductivas hacen que las mediciones tengan un reto aún mayor para obtener resultados fiables.

El investigador Krzysztof Necka, hace una evaluación sobre la presencia de armónicos en las diferentes cargas habituales en un hogar, allí se observa como son muy comunes los armónicos y como su potencia equivalente es significativa como para no ser tenida en cuenta en una medición[48], se indica que se pueden presentar en un hogar armónicos significativos con frecuencias de hasta 660Hz[48], también se presentan armónicos en frecuencias más altas pero sus potencias no son significativas frente a las anteriores.

Es importante mencionar que no necesariamente se deben medir todas las variables que se presentan en el fenómeno eléctrico, en este caso lo más relevante que se busca es la medición de potencia activa y que las otras señales presentes que se pueden obtener no se requieren, por tal razón las investigaciones y diseños presentados en este proyecto están enfocados solo a la potencia activa.

En la sección 3.1.1.1 se establecen los métodos para medir voltaje y corriente, para realizar el proceso de estimación de potencia, en la sección 3.1.1.2 se entra en detalle sobre el proceso digital que se implementa para obtener el valor usando un microcontrolador.

3.1.1.1. Medición de voltaje y corriente

Esta es sin duda, una de las etapas más importantes de este proyecto, estas variables son la materia prima para hacer los cálculos de potencia y energía.

Medir voltaje y corriente no presenta mayor dificultad más allá de realizar las conexiones apropiadas. Pero al estudiar a fondo diferentes cargas en un hogar, se encuentra que las señales no son sinusoidales puras y que por el contrario son bastante “sucias” o con componentes armónicos y de ruido[48]. Por otro lado no solo se debe pensar en la medición, el proyecto abarca diferentes procesos que requieren de esta información por lo cual se debe usar el mejor método de medición que se adapte eléctricamente con los sistemas que realizarán la comunicación y el procesamiento de los datos[21].

Inicialmente se presentará un análisis de cada medición y cuál es el método más adecuado para el tipo de cargas que serán objeto de las mediciones.

Medición de Voltaje

Para realizar medición de voltaje, inicialmente se hace una búsqueda de circuitos y métodos electrónicos capaces de lograr medir la diferencia de potencial en dos nodos, adicionalmente, la medición realizada debe entregar información que sea eléctricamente compatible con el procesador.

National Instruments en su página de internet hace algunas recomendaciones relacionadas con la medición de voltaje [31] y específicamente en medición de voltaje AC, en la tabla 3-1 se presentan diferentes circuitos que se usan para hacer una medición de voltaje.

Tabla 3-1: Tipos de Fuentes de Señal Comunes versus configuraciones de medición recomendadas [31].

Entrada	Tipo de fuente de la señal	
	Fuentes de señal flotante (No conectar a tierra física)	Fuentes de señal con referencia en tierra
Ejemplos: -Termopar sin conexión a tierra -Acondicionadores de señal con salidas aisladas -Dispositivos con batería	Ejemplos: -Instrumentos enchufables con salidas aisladas	Ejemplos: -Instrumentos enchufables con salidas no aisladas
Diferencial		
Referencia a tierra de un solo extremo		
Referencia de un solo extremo sin conexión a tierra		

Medición de Corriente

Para hacer una buena medición de corriente, lo primordial es tener claro qué tipo de corriente se va a medir. Teniendo en cuenta lo declarado en las investigaciones preliminares, lo más conveniente es usar un sensor de corriente con un ancho de banda que abarque hasta los armónicos más altos que se presentan en un hogar [48]. También es importante que no sea compleja su conexión y que tenga compatibilidad

con el sistema de procesamiento.

Pavel Ripka hace un trabajo de investigación acerca de las diferentes tecnologías de sensores que existen para hacer medición de corriente, se encuentra que dos tipos de sensores son los más adecuados para las mediciones que se llevan a cabo en este proyecto. Por un lado se encuentran los sensores de corriente Rogowski y por el otro los de efecto Hall [60].

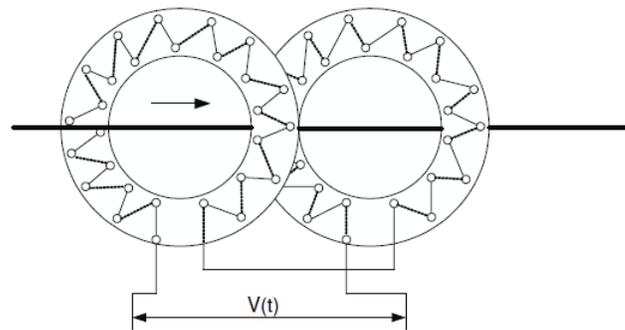


Figura 3-1: Diagrama esquemático de un sensor Rogowski [60].

Los sensores de medición de corriente Rogowski3-1 tienen muy buena linealidad para la medición de voltajes AC y muy buena respuesta para frecuencias entre 50 y 60 Hz. No obstante, se requiere de mucha precisión para su construcción. Así mismo, la temperatura afecta su coeficiente, lo cual genera errores en las mediciones[60].

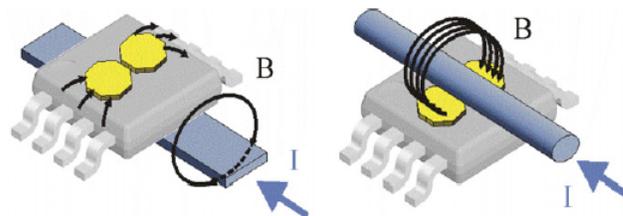


Figura 3-2: Aplicación de medición de corriente usando un sensor magnético de efecto Hall de montaje superficial [60].

Los sensores de efecto Hall, como los que se observan en la figura 3-2, son ampliamente usados en la industria. Su buena linealidad y su bajo porcentaje de error lo hacen bastante adecuado para mediciones de precisión, además los integrados con tecnología CMOS hacen que las desviaciones del valor medio frente a la temperatura

sean menores. Es importante mencionar que para el proyecto, es necesario contar con un sensor con un ancho de banda adecuado, ya que se espera que algunas mediciones de cargas en el hogar presenten armónicos en frecuencias arriba de los 600 Hz. Los sensores de efecto *HALL* pueden suplir esta necesidad gracias a su ancho de banda que cubre las frecuencias presentes en las mediciones que se realizan en el proyecto [60].

3.1.1.2. Cálculo de potencia activa

En los estudios de Huang, Hsieh, Kuo y otros, se observa la validez que tiene el proceso de realizar una medición de n valores en un periodo de las señales de voltaje y corriente y multiplicar los valores instantáneos para obtener el promedio [26]. Ese valor resultante es la potencia activa que se está consumiendo en la carga en el periodo observado. La ecuación que se plantea es la siguiente:

$$P_{avg} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} V(t)I(t)dt \quad (3-1)$$

Como los procesos matemáticos se hacen digitalmente en un microcontrolador, la integral no puede ser realizada literalmente, lo que sí se puede implementar es una sumatoria que realice esta operación de una manera aproximada. Entre mayor sea el número de muestras, menor será el error en el cálculo. La ecuación que se implementa en el algoritmo es:

$$P_{avg} = \frac{1}{T} \sum_{n=1}^k V(n)I(n) \quad (3-2)$$

Donde k es el número de muestras.

Este valor de k según la teoría de Nyquist-Shannon debe ser superior al doble de la frecuencia de la señal que se desea analizar [3].

3.2. Microcontrolador

Este circuito integrado es indispensable para realizar el procesamiento y envío de datos, anteriormente los medidores de energía eléctrica eran netamente analógicos y usaban sistemas electromecánicos para hacer el conteo de la potencia durante el tiempo [33], un ejemplo de estos se encuentra en la figura 3-3, es la imagen de un medidor de vatios/hora de la década de 1930 a 1940.

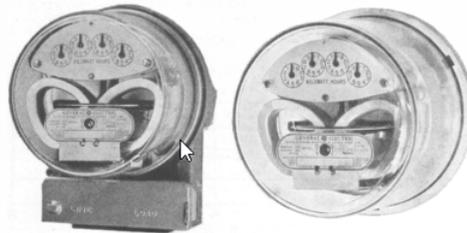


Figura 3-3: Medidores electromecánicos de energía eléctrica [33].

Hoy en día, aun encontramos este tipo de medidores en los hogares. Sin embargo, desde la década de los 80's se vienen presentando cambios generacionales de tecnología en cuanto a la medición de energía eléctrica. En una conferencia realizada en 1989 se presentan los investigadores Neghaban, Chen, White, Oullete y Germer para exponer el desarrollo de un medidor de vatios/hora basado en un DSP (*Digital Signal Processing*); en su procedimiento muestran que realizaron etapas analógicas para la transducción de las señales de voltaje y corriente y posteriormente realizan una conversión análogo-digital de las señales para que luego el DSP las procese y entregue los valores de energía consumidos [49].

En la actualidad existe gran variedad de microcontroladores y DSP en el mercado. En el caso de este proyecto, al tener pocas necesidades externas, existe un gran número de integrados que pueden satisfacer los procesos que el proyecto necesita, para filtrar y encontrar el más adecuado se tienen en cuenta los siguientes aspectos: costo, disponibilidad, tipo de encapsulado y las interfaces de hardware ya mencionadas. No obstante, se inclina la balanza hacia microcontroladores de Microchip debido a la experiencia en el manejo de estos integrados.

Dentro de la gran variedad de microcontroladores Microchip, la cantidad para elegir el adecuado es muy grande, siguiendo las recomendaciones que proporciona la comunidad ARM para elegir el microcontrolador indicado [14], se debe hacer un filtrado teniendo en cuenta los siguientes puntos:

1. Lista de requerimientos de interfaces de hardware
2. Examinar la arquitectura del software
3. Seleccionar la arquitectura
4. Identificar las necesidades de memoria
5. Iniciar la búsqueda de microcontroladores
6. Examinar costos y limitaciones de potencia
7. Verificar la disponibilidad en el mercado
8. Seleccionar un kit desarrollador
9. Investigar compiladores y herramientas
10. Iniciar con la experimentación

3.3. Telecomunicación

La medición de energía se hace de una manera local en la carga, y luego de realizar esta medición, se pretende hacer un análisis de esta información. En el diseño, esta labor se realiza por un sistema micro servidor que recibe los datos y hace su correspondiente procesamiento para entregar la información, en la sección 3.5.1 se profundiza sobre este elemento. Pero lo importante es como enviarle esta información, para esta labor se pueden usar dos medios principales que son cableado e inalámbrico.

Por un lado, el cableado es una forma bastante segura que permite establecer la comunicación de dos o más dispositivos pero la infraestructura requerida es compleja si se tiene en cuenta la cantidad de cable, así como el camino de estos en un hogar que es el lugar donde se pretende instalar el sistema. Esto deja consigo muchas dificultades que se pueden presentar, lo cual lo hace poco práctico, en cuanto al modo inalámbrico, es un medio flexible que permite establecer comunicación entre dos o más dispositivos por señales en radiofrecuencia y esto facilita en gran medida la implementación en un hogar [40].

Para establecer la comunicación entre el módulo de medición de energía y el micro servidor, se requiere de un módulo que logre esta comunicación en forma inalámbrica.

Así como existen variedad de microcontroladores en el mercado, existen diferentes módulos que hacen esta labor de transmisión de datos en modo inalámbrico, no obstante, no es tan grande la lista, pero si hay que evaluar de las diferentes posibilidades, la más adecuada.

En un estudio presentado por Mohamad y Mahmoud, se encuentra un método de evaluación de diferentes tecnologías *"wireless"* (sin cable) para su uso en Internet de las cosas, y el enfoque de su investigación es basado en el consumo de energía de estos módulos [38]. Tema importante en el proyecto. En sus conclusiones, luego de evaluar las tecnologías del mercado, se hace referencia en cómo los módulos WIFI con protocolo de comunicación TCP/IP son los más óptimos si el rango de conectividad es de área local. Esto determina que esta tecnología es la más adecuada para la aplicación en esta investigación y desarrollo.

3.4. Redes de sensores inalámbricos

En la actualidad, el desarrollo de redes inalámbricas de sensores o WSN es abundante y esto es debido a sus prestaciones en tamaño, bajo costo, operaciones de rastreo y bajo consumo de potencia [27], la necesidad de monitorear sin estar en contacto directo con la variable bajo observación, hace que esta tecnología cada día sea más atractiva en diferentes sectores industriales como telecomunicaciones, automatización, seguridad, entre otros.

Entre las grandes ventajas que tiene esta tecnología, está su implementación sin necesidad de una infraestructura compleja y la posibilidad de interconectar múltiples sensores a una misma central de sensores. Anteriormente, con los sistemas cableados, por cada línea se podían integrar no más de diez sensores debido a la cantidad de cableado y a las dificultades de comunicación. Con la tecnología WSN se pueden interconectar de uno a miles de sensores a una misma red [2].

Para establecer un diseño de red, se deben tener en cuenta tres aspectos principales que son a) la topología de red, b) los protocolos de enrutamiento y c) los modos de integración de datos. A continuación, se presenta una breve descripción de estos temas.

3.4.1. Topología de red

Existen principalmente dos topologías de red que son topología *mesh* y topología estrella; la topología estrella tiene un enlace directo con cada nodo o terminal logrando así una comunicación directa sin intermediarios y/o conflicto de direccionamiento, no obstante se pueden presentar conflictos por interferencia con diversidad de equipos que se encuentran relativamente cerca como celulares, *router* local, *routers* de otros hogares, enlaces *Bluetooth*, entre otros. Sus señales de radiofrecuencia tienen magnitudes similares de potencia.

Por otro lado está la topología *mesh*, la cual permite interconectar todos los actores de la red como posibles caminos o rutas de comunicación entre un dispositivo de la red con otro, esto trae consigo una ventaja de conectividad sobre terminales que estén fuera del alcance de comunicación con quien quiere establecerla e implícitamente esto permite tener mayor cobertura espacial de la red [27]. En hogares con espacios amplios o con varias plantas, los enlaces pueden verse afectados por distancias largas y obstáculos, con esta topología, los equipos hacen de puente para superar estas limitaciones.

Es importante mencionar que una ventaja de esta tecnología es que se pueden lograr topologías combinadas y realizar diferentes redes que en conjunto serían suficientes para cualquier aplicación [27].

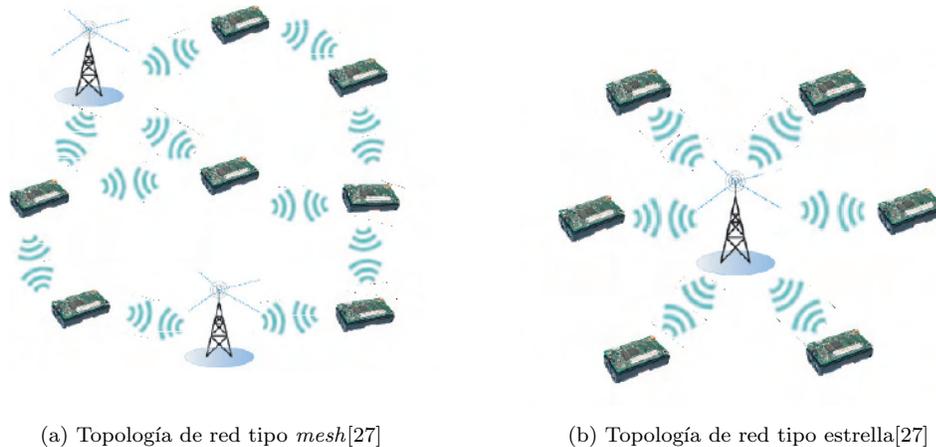


Figura 3-4: Topologías de red de sensores inalámbricos (WSN)

3.4.2. Protocolos de enrutamiento

Cuando se utilizan módulos de tecnología inalámbrica digital, se cuenta implícitamente con las rutinas de direccionamiento preestablecidas en los programas que traen los dispositivos. Estos protocolos se encargan de establecer por medio de encabezados de paquetes, las conexiones con los dispositivos de la red para que se establezca el direccionamiento por donde viajara el paquete. Es importante mencionar que en los protocolos de enrutamiento el encabezado debe ser lo más corto posible, esto con el fin de disminuir la cantidad de información, lo cual genera menor consumo de energía en la transmisión y recepción de datos [27].

3.4.3. Modos de integración de datos

Este aspecto de una red de sensores inalámbricos consiste en la manera en que los datos van a ser usados, se puede recolectar datos continuamente según se presenten, también se pueden enviar datos cada vez que el nodo central genere una señal de información para establecer alguna reacción en el nodo terminal o también se pueden establecer comunicaciones bidireccionales en las que el nodo central envía datos y el nodo terminal responde con datos [27].

3.5. Dispositivos de la red

Para implementar una red WSN se requieren tres elementos; un sistema de procesamiento o *Gateway*, un punto de acceso y los equipos de medición.

Como se mencionó en la sección 3.3, los módulos con tecnología WIFI son los más adecuados por sus características de funcionamiento para redes de área local [27][2].

3.5.1. Sistema de procesamiento

Se puede usar un computador personal o de escritorio para el procesamiento de la información de los sensores, almacenamiento y análisis de los datos, no obstante, conlleva algunas desventajas como un volumen grande y su costo, lo que hace que no sea eficiente para una labor que no requiere tantas prestaciones en procesamiento y en tamaño.

Dispositivos más pequeños como computadores de placa reducida, son ideales como sistema de procesamiento y almacenamiento para redes WSN. Para seleccionar un computador de placa reducida, es importante tener en cuenta, la capacidad de memoria que requiere la aplicación, las interfaces y las aplicaciones internas que puede soportar el equipo.

En la investigación realizada por Pankaj Pali, donde compara los computadores de placa reducida más utilizados en el mercado, se encuentran los siguientes resultados [56]:

Tabla 3-2: Tabla comparativa entre diferentes computadores de placa reducida [56]

	Arduino Uno	Raspberry Pi	BeagleBone Black
Procesador	ATMega 328	Arm11	AM335x
Velocidad	16 MHz	700 MHz	1 GHz
RAM	2 KB	512 MB	512 MB
USB	n/a	2	1
Audio	n/a	HDMI, Analógico	HDMI
Video	n/a	HDMI, Analógico	Mini-HDMI
Ethernet	n/a	10/100	10/100
I/O	14 GPIO, 6-10 bit analog	8 GPIO	69 GPIO, LCD, GPMC, MMC1, MMC2, 7 AIN, 4 temporizadores, 4 puertos seriales, CAN0
Tamaño	2.95" x 2.1"	3.37" x 2.125"	3.4" x 2.1"
Sistema Operativo	n/a	Linux	Android, Linux, Cloud9, Windows, CE, etc
Entorno	Arduino IDE	Linux, IDLE, OpenEmbedded, QEMU, Scratchbox, Eclipse	Python, Scratch, Linux, Eclipse, Android ADK
Costo	29.95 USD	35 USD	45 USD

En la tabla 3-2 se pueden observar las principales prestaciones que son útiles en un computador de placa reducida, y cuáles son las capacidades de cada una de ellas. Una primera conclusión es que la placa *Arduino Uno* trabaja a poca velocidad con respecto de las otras dos, de igual manera, su memoria es mucho menor, tampoco cuenta con interfaces de audio, vídeo y puerto Ethernet. Las tarjetas *Raspberry Pi* y *Beagle Bone Black* son muy similares en todas sus características, sus principales diferencias son: la cantidad de entradas/salidas y su costo.

3.5.2. Punto de acceso

En la mayoría de hogares bogotanos, se cuenta con una infraestructura de red de Internet [71], al interior de cada hogar a menudo se cuenta con una red WIFI, esta arquitectura permite integrar dispositivos con base en la arquitectura 802.11 [34], y todos estos enlaces de red se pueden establecer mediante un enrutamiento dirigido por un punto de acceso, para configurar este dispositivo tan solo es necesario establecer por medio de un enlace Ethernet, los permisos de acceso a la red fijando un nombre de usuario y una contraseña[65].

Este equipo también permite lograr distancias un poco mayores en alcance de

conectividad, por ejemplo, si los dispositivos se encuentran en espacios y/o pisos diferentes en el hogar.

3.5.3. Estaciones terminales

Cuando se va a realizar una implementación de red WSN, los equipos de medición son las estaciones terminales, esto quiere decir que los dispositivos terminales, deben realizar dos procesos fundamentales que son medición de las variables de interés y comunicación de las mediciones realizadas vía inalámbrica [2].

3.6. Reconocimiento de patrones de consumo vs reconocimiento de hábitos de consumo

El objetivo principal de realizar un proceso de reconocimiento de patrones de consumo es detectar comportamientos distintivos del consumo. Para el caso de la energía eléctrica este proceso puede derivar en una situación provechosa ya que posibilita al usuario para obtener beneficios económicos al tomar decisiones informadas en relación con los electrodomésticos del hogar así como permitir una planeación más ajustada de los gastos en el servicio [58].

La energía eléctrica es un servicio que ha sido objeto de varios estudios referentes al reconocimiento de patrones de consumo y algunos investigadores como Chen, Cao, y Wen [43], han establecido el algoritmo TMean para el reconocimiento de patrones de consumo de energía eléctrica. Los desarrollos de Zhou, Yang, y Shao [77], son mucho más aproximados al reconocimiento de patrones de consumo ya que lo realizaron con datos obtenidos en hogares de la provincia de Jiangsu en China.

Es importante mencionar que un análisis de consumo de una persona no se puede generalizar directamente a otras, con el tiempo podría establecerse alguna relación, pero difícilmente sería algo determinante como para clasificarlo como un patrón, además se debe tener en cuenta los factores socioeconómicos y culturales, la estratificación y ubicación geográfica del hogar en cuestión, lo cual reduce la posibilidad de establecer un patrón de consumo generalizado. Por esta razón, cuando se trata temas de consumo personal, es más adecuado realizar análisis a partir de sus propios consumos, tendencias y hábitos que si puedan entregar información relevante para esta persona [61].

4. Metodología

Como se ha establecido, el interés del presente trabajo está centrado en el consumo de energía eléctrica y una problemática de este consumo consiste en disminuir el “*derroche*”, entendido como el consumo que no contribuye a la satisfacción de las necesidades consideradas básicas, ni a las que contribuyen al bienestar del usuario. Este consumo adicional presenta impactos negativos en lo social, económico y ambiental. Esto hace que sea de interés encontrar alternativas para hacer que el consumo se transforme en sustentable al evitar el malgasto de este recurso eléctrico.

En la actualidad, normas internacionales como la ISO50001 e ISO50002, están enfocadas a la gestión y auditoría de la eficiencia energética y establecen límites para que las organizaciones puedan operar sin afectar en gran medida el medio ambiente [67][68], pero esto está enfocado principalmente a organizaciones industriales en donde se desea implementar una gestión de eficiencia energética en sus procesos operativos. Esto deja de lado el sector residencial.

Para cubrir el sector residencial, en Colombia existe la normativa RETIQ (Reglamento Técnico de etiquetado) y establece en sus parágrafos que fabricantes y proveedores de electrodomésticos deben incluir en las etiquetas de los equipos, sus indicadores de eficiencia energética [13]. Si bien, esto aporta en gran medida a que el usuario conozca de antemano los beneficios que se obtienen al adquirir el electrodoméstico, será el uso que le dé al equipo el que determine si el consumo que hace es el adecuado.

¿Cómo se le dice a una persona que está malgastando energía y que esto le ocasiona problemas a su economía y al medio ambiente? De hecho, es muy probable que ya sea del conocimiento de las personas que no consumen de una forma organizada y que esto les acarrea problemas, pero sin un medio que les permita conocer y tomar acciones de forma directa, hace que no tengan el enfoque en la solución y que sea un tema pasajero hasta que la situación los abruma de nuevo cuando llega el momento de hacer pagos elevados en sus facturas.

Bajo esta perspectiva, se puede hacer un supuesto o hipótesis que plantea lo si-

guiente: ¿Es posible informarle al usuario el modo en que está llevando a cabo su consumo y que, a partir de esta información suministrada, pueda decidir hacer su más sustentable consumo? Es claro que al final será decisión del usuario mejorar sus hábitos basados en la información recopilada, pero si esta información ya está almacenada y disponible, puede ser consultada en cualquier momento.

¿Se puede obtener esta información?, Hoy en día lo más cercano a obtener este tipo de información es gracias a los datos de consumo que llegan en la factura del servicio de energía mes a mes. Por medio de los contadores de energía eléctrica instalados en los hogares, se realiza una medición constante del consumo de todos los electrodomésticos y cargas conectadas a la red eléctrica en el hogar, al final del mes, se totaliza el consumo y se tarifica según el costo de un Kilovatio / hora (KWh). Con esta información se puede llevar un control de cuanto se ha incrementado o reducido el consumo de un mes a otro, pero ya se mencionó que esta información no discrimina entre las diferentes cargas conectadas. Esto no da la posibilidad de conocer cuánto se consume en cada carga y tampoco permite realizar acciones correctivas por electrodoméstico.

¿Se puede por medio de la electrónica y sistemas tecnológicos lograr esta captura de información? Sin duda, en la actualidad es posible lograr por medio de la tecnología realizar mediciones y almacenarlas en bases de datos, de igual manera, en temas de análisis de datos, también es posible encontrar información relevante y útil según la aplicación, si se integran estas tecnologías para atender esta problemática, se podría evaluar como un usuario con esta información, enfrentaría y decidiría sobre sus hábitos de consumo.

En consecuencia de lo anterior, se propone una solución tecnológica la cual se desarrolla alineada a los objetivos planteados en el capítulo 2.

Como paso siguiente, para iniciar la investigación y desarrollo, es importante concebir la metodología que se lleva a cabo. Dos conceptos fundamentales en metodologías de la investigación son expuestos por la compañía *Statistics Solutions* que resumen las investigaciones en experimentales y no experimentales. La primera describe un proceso de analizar los efectos de cambiar condiciones sobre una variable, por el otro lado, las investigaciones no experimentales, solo hacen un proceso de monitoreo y análisis sobre variables en su entorno natural y que no han sido estudiadas o que no se han realizado análisis de cierto tipo hasta ese momento [66].

Desarrollar un sistema de medición de energía eléctrica es un proceso que, si bien requiere de muchos procedimientos electrónicos desde la transducción de la variable hasta su digitalización y almacenamiento, no se están modificando las variables de consumo al ser monitoreadas, esto permite abordar la investigación de este proyecto con una metodología no experimental.

Con la metodología definida, el siguiente paso es diseñar un plan estratégico de actividades que permitan lograr los objetivos planteados. Para ello se plantea ejecutar el proyecto estableciendo un conjunto de etapas en donde cada una, entrega un resultado que cumple con los objetivos establecidos.

Para el proyecto se definen cuatro etapas estratégicas que son:

1. Diseño y desarrollo de módulos prototipo para medición de voltaje, corriente y estimación de potencia activa en cargas monofásicas.
2. Diseño y desarrollo de la red WSN.
3. Diseño e implementación del control, almacenamiento y los enlaces de comunicación para el manejo de los módulos de medición desde el micro - servidor.
4. Diseño e implementación de los procedimientos de procesamiento de los datos para el reconocimiento de los hábitos de consumo de las cargas conectadas a los equipos SEM.

A continuación, se presenta el desarrollo de cada etapa de la metodología establecida.

4.1. Diseño y desarrollo de módulos prototipo para medición de voltaje, corriente y estimación de potencia activa en cargas monofásicas

4.1.1. Diseño del circuito de medición de voltaje

Como parámetro inicial, el procesador requiere que las señales en sus entradas analógicas oscilen entre los $0V_{DC}$ y $3.3V_{DC}$ [29]. El valor a medir es el voltaje que alimenta una carga, la cual se conecta a la red eléctrica convencional. En Colombia

el valor nominal de voltaje en red eléctrica para el sector residencial es de $120V_{RMS}$ y esta señal es entregada con una frecuencia de $60Hz$.

En el reporte generado por ENEL- CODENSA en el año 2018, se encuentra que los valores máximos permitidos de desviación de los voltajes de la red eléctrica en el sector residencial pueden alcanzar el 10 % [10], Según lo anterior, el valor máximo de voltaje para el diseño del circuito es el valor nominal más un 6 %.

$$\begin{aligned} V_{max} &= 120V_{rms} * \sqrt{2} * 1.06 \\ &= 179.9V \end{aligned}$$

Como el valor deseado no debe superar los $3.3V_{DC}$ se debe atenuar el voltaje hasta que se ajuste al rango. para ello se usa un circuito resistivo el cual, por medio de un divisor de voltaje, se puede obtener el voltaje deseado.

$$\begin{aligned} V_m &= \frac{V_{in} * R_m}{R_m + R_d} \\ &= \frac{179.9 * 10K\Omega}{10K\Omega + 540K\Omega} \\ &= 3.27V \end{aligned}$$

Con las recomendaciones que se presentan en la tabla 3-1 se puede concluir que el mejor método para realizar una medición de voltaje AC es usando circuitos que puedan manejar una tierra flotante y que la medición se capture en un modo diferencial de manera que se mantenga un acople de impedancias adecuado entre el sistema de medición y los nodos de la carga, bajo ese criterio se utiliza un amplificador de instrumentación el cual está construido para realizar mediciones diferenciales, en esta medición, el usar un amplificador de instrumentación conlleva a una problemática y es que al obtener la medición de la carga en dos nodos del divisor de voltaje, si ese divisor de voltaje solo tiene dos resistencias, las tierras flotantes de la medición pueden quedar en la fase o en el neutro y esto al conectarlo a la tierra del circuito, desencadenaría en un corto entre el circuito electrónico de medición y las líneas eléctricas, para dar solución a este problema, no se usan dos resistencias para hacer el divisor de voltaje, se usan tres, la resistencia del sensor mantiene su magnitud y la otra resistencia se divide en dos, estas dos resistencias se conectan cada una desde

la resistencia sensora hasta la fase y hasta el neutro, de esta manera se logra un aislamiento de las dos líneas eléctricas con la resistencia sensora y la tierra flotante ya no tendría un punto directo con la fase o el neutro. Es importante anotar que las magnitudes de la resistencia equivalente en el divisor de voltaje, en total alcanzan un valor de $550K\Omega$ y esto al conectarlo al voltaje de la red eléctrica resulta en un consumo de corriente máximo de $330\mu A$.

Otro aspecto importante para tener en cuenta en la medición de voltaje es en cuanto a la frecuencia que tiene la señal de voltaje, se sabe que el valor de frecuencia es de $60Hz$ y además que se pueden presentar armónicos hasta en $600Hz$, también es importante ajustar esta señal de medida y asegurarse que no tenga niveles DC que puedan afectar la medición de la variable, para obtener la señal deseada en el rango de frecuencias que se menciona, se usan filtros pasivos con frecuencias de corte a más de una década de las frecuencias descritas.

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Para hacer el filtro pasa bajas, se toma una frecuencia de corte mucho más alta que las que se presentan en la red eléctrica de manera que se puedan obtener todos los fenómenos de distorsión armónica y sean tenidos en cuenta para los cálculos de potencia.

$$\begin{aligned} F_{c_{filtrapasabajas}} &= \frac{1}{2\pi * 9.81K\Omega * 150pF} \\ &= 108.1KHz \end{aligned}$$

Esta impedancia de $9.81K\Omega$ es la impedancia equivalente vista en los nodos de la resistencia sensora.

Para eliminar componentes DC en la señal de voltaje se usa un filtro pasa altas.

$$\begin{aligned} F_{c_{filtropasaaltas}} &= \frac{1}{2\pi * 1M\Omega * 15\mu F} \\ &= 10.6mHz \end{aligned}$$

Al incrementar el valor de la frecuencia de corte del filtro pasa altas en una década, se obtiene un valor de $106mHz$, esto garantiza que para valores de $60Hz$ que es donde se encuentra la fundamental de la señal eléctrica, no se generan pérdidas de información.

Otra ventaja de diseñar el filtro pasa altas en la entrada del amplificador de instrumentación es vincular por medio de una resistencia, los valores flotantes de la medición a la tierra electrónica del circuito de medición. Ver tabla 3-1.

Con el diseño anterior, en la salida del amplificador de instrumentación ya se tiene la señal de voltaje con las magnitudes de voltaje y frecuencia adecuadas y con referencia en la tierra electrónica del circuito de medición, sin embargo, esta señal es sinusoidal y tiene un semi ciclo positivo y uno negativo, su rango de voltajes se encuentra entre $\pm 3.27V$ y esto aún no es adecuado para conectar directamente al microcontrolador, se requiere que sus valores sean estrictamente positivos y para ello se recurre a un circuito rectificador de onda completa, en este caso, la rectificación que se realiza usa el método de precisión con el fin de no perder información a causa de los diodos y el voltaje retenido en su barrera de potencial [16].

Como resultado del diseño, se presenta en la figura 4-1 el plano esquemático del circuito medidor de voltaje en una carga AC.

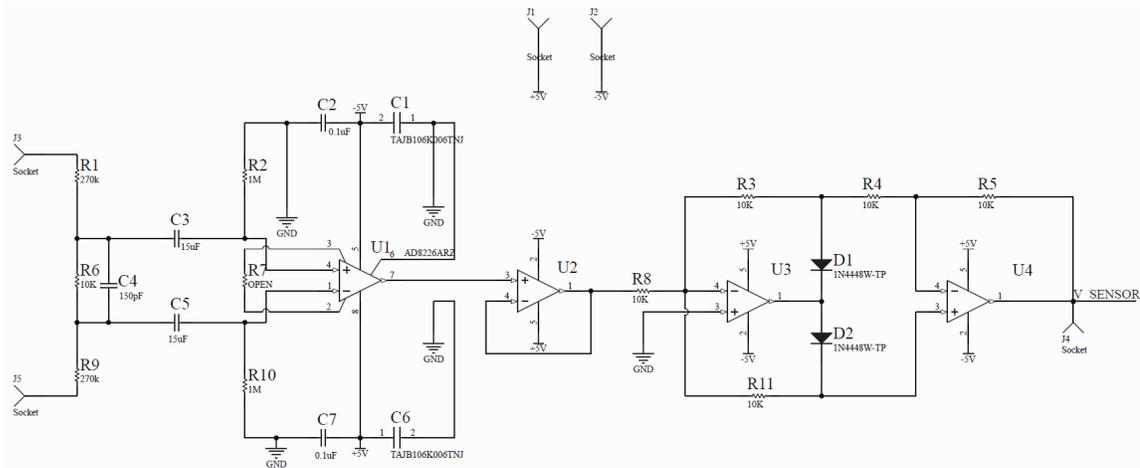


Figura 4-1: Circuito diseñado e implementado para medición de voltaje.

4.1.2. Diseño del circuito de medición de corriente

Para la elección del sensor de corriente, se reducen las opciones a sensores Rogowski y a sensores de efecto Hall. Teniendo en cuenta los diferentes distribuidores de componentes electrónicos como *MOUSER* o *DIGIKEY* [30] [15], se realiza una búsqueda en cada uno de ellos para conocer que disponibilidad de sensores hay en el mercado, de igual manera se tiene en cuenta que magnitudes de corriente se van a medir y a partir de esta información se elige al más adecuado. El ACS770 es un sensor de efecto Hall que satisface todas las necesidades del proyecto. [35].

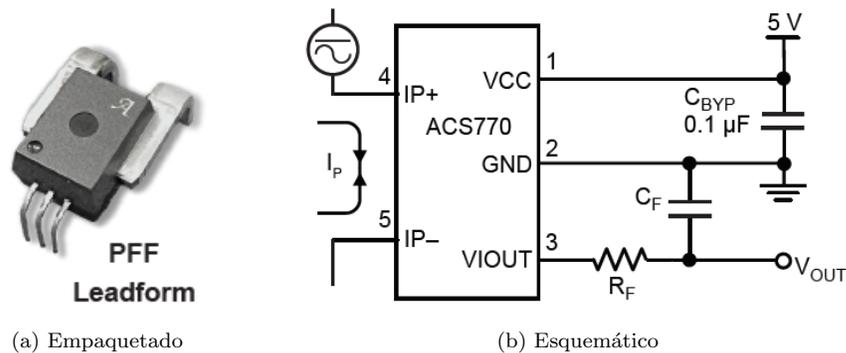


Figura 4-2: Empaquetado del sensor ACS770 y esquemático de conexiones recomendado por el fabricante [35]

Para diseñar el sistema de acondicionamiento de señal que requiere el sensor de efecto Hall, es conveniente conocer de antemano cuales son las magnitudes de co-

riente máxima y mínima a las que se enfrentará en equipo de medición, Krzysztof Necka, ha registrado en sus investigaciones que las magnitudes de las diferentes cargas habituales que se encuentran en una casa promedio van desde los $100mA$ hasta los $20A$ [48], esto acota y define cuales son los rangos que se trabajan en el proyecto, con esta información se diseña un sistema de acondicionamiento de señal que adecue la señal de salida del sensor para hacerla legible por el microcontrolador.

En el manual del sensor ACS770_X050U se encuentra que su respuesta de medida se entrega en una relación de $80mV$ por Amperio y adicionalmente, la señal en la salida del sensor está sobre un nivel DC de $VCC/2$ [35].

Gracias a la salida del sensor ACS770 que entrega la señal con referencia en la tierra del circuito, no se requiere de un elemento resistivo que vincule una tierra flotante a la tierra electrónica o una medición diferencial. Para este acondicionamiento se inicia con eliminar la señal DC presente en la salida del sensor, se hace tal como se realiza en la etapa de medición de voltaje, usando un filtro pasa altas.

$$\begin{aligned} F_{c_{filtropasaaltas}} &= \frac{1}{2\pi * 10K\Omega * 15\mu F} \\ &= 1.06Hz \end{aligned}$$

En este caso, la frecuencia de corte está alejada de la frecuencia fundamental de la señal a medir en más de una década.

Ahora en la salida del filtro, se obtiene una señal de voltaje sinusoidal proporcional a la señal de corriente que circula por el sensor sin el nivel DC, esto quiere decir que la señal tiene valores positivos y negativos, lo que significa que aún no es apta para ser conectada al microcontrolador, de la misma manera que se realiza para la medición de voltaje, se hace una rectificación de onda completa de precisión sobre esta señal.

Finalmente, la relación de valores que entrega el sensor es de $80mV/A$ y teniendo en cuenta la magnitud de corriente máxima que se puede consumir en un hogar que es de $15A$, se usa un amplificador que lleve ese valor máximo al límite superior del rango de la entrada del conversor análogo-digital del microcontrolador. Es importante resaltar que el amplificador debe ser no inversor, si lo fuera, la salida rectificadora quedaría completamente negativa, y aunque esa etapa de amplificación se realizara

antes de la rectificación, generaría problemas de desfase de más de 180 grados con respecto a la señal de voltaje y al calcular la potencia, se obtendrían datos erróneos.

$$I_{max} = 20A$$

Con la relación de salida del sensor se obtiene:

$$V_{max_{sensor}} = 80mV * 20A$$

$$V_{max_{sensor}} = 1.6V$$

El voltaje máximo para el conversor análogo-digital es de 3.3V, usando un amplificador operacional en modo no inversor se tiene:

$$V_{out} = V_{in} * \left(\frac{R_f}{R} + 1 \right)$$

$$V_{out} = 1.6V * \left(\frac{10K\Omega}{10K\Omega} + 1 \right)$$

$$V_{out} = 3.2V$$

El valor del voltaje de salida máximo después de la amplificación está dentro del rango de voltajes con los que opera el conversor análogo-digital del microcontrolador y se acepta para la implementación, un factor adicional que aporta en la decisión es que se diseña con resistencias de 10KΩ, un valor frecuente en el diseño y esto permite adquirir más resistencias del mismo valor por menor costo.

Como resultado del diseño, se presenta en la figura 4-3 el plano esquemático del circuito medidor de corriente en una carga AC.

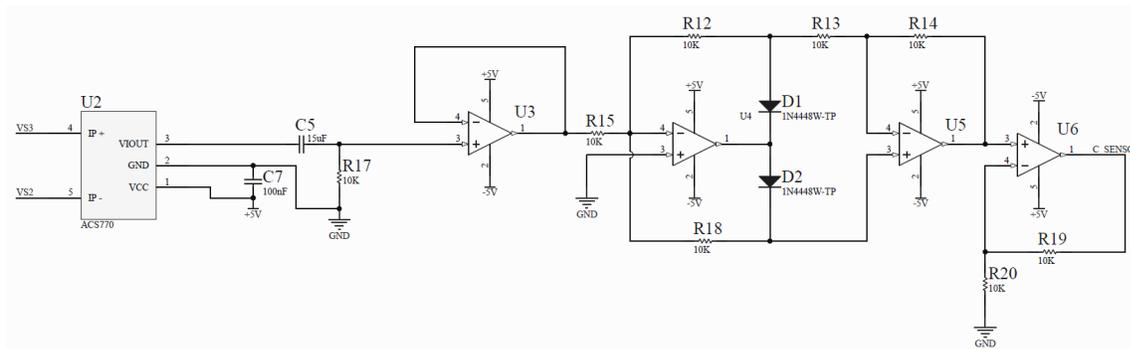


Figura 4-3: Circuito diseñado e implementado para medición de corriente.

4.1.3. Diseño del circuito para el micro-controlador

Básicamente se requiere que el dispositivo cuente interfaces de hardware como UART y Conversores analógico-digitales. Con él se realiza la adquisición de señales de voltaje y corriente y posteriormente se hacen procesamientos matemáticos para obtener los valores medios, RMS y las potencias instantáneas que al final resultarán en las requeridas para hacer la evaluación de consumo de energía.

Como se describe anteriormente, son claras las necesidades de hardware e interfaces que se trabajan en el proyecto, en cuanto a los criterios de selección del microcontrolador, los filtros que reducen la cantidad de posibilidades de elección de microcontroladores son los referentes a potencia, kit desarrollador y compiladores, se cuenta con un kit de trabajo que es la tarjeta diseñada para hacer el proceso de medición y por otro lado, se cuenta con compiladores de lenguaje C "XC8" para la programación de los procesos en el microcontrolador.

De acuerdo con la teoría concluyente que se encuentra en la sección 3.2, se elige al microcontrolador **PIC18F14K22-I_ML**.

En su manual de usuario [29], se indican cuáles son las conexiones eléctricas básicas para su funcionamiento, luego se hace el diseño de las conexiones de comunicación y medición. En la figura 4-4 se presenta el diseño obtenido.

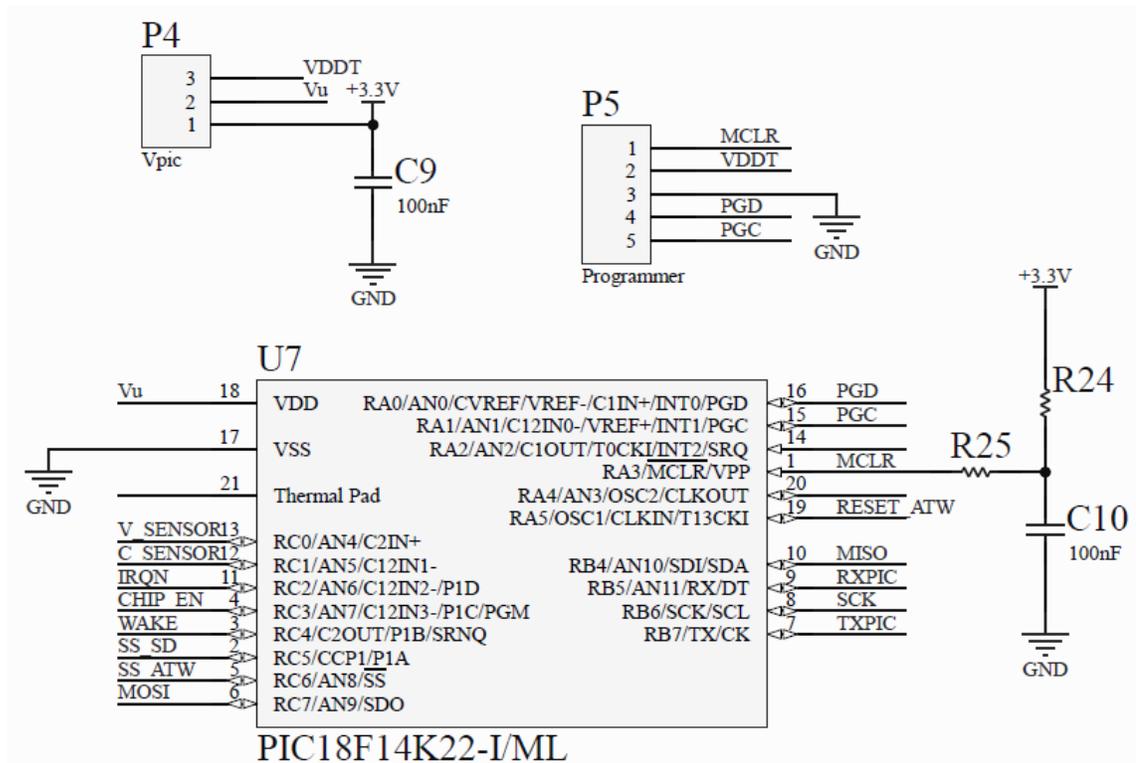


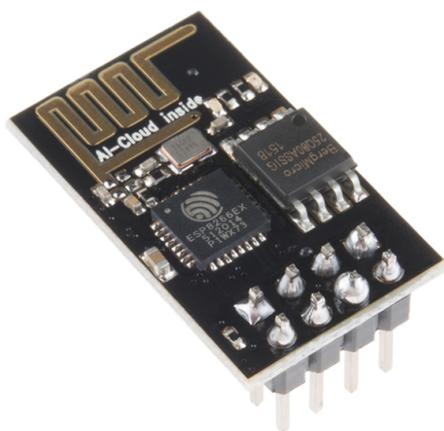
Figura 4-4: Circuito implementado para el funcionamiento del micro-controlador.

El circuito que se muestra en la figura 4-4 presenta sus conexiones eléctricas en forma de etiquetas, esto con el fin de no hacer complejo un plano a nivel de lectura, en cada uno de los pines del microcontrolador se observa una etiqueta y en el punto a donde se conecta ese pin, también se asigna el nombre de la etiqueta. Un ejemplo de esto se puede observar en relación con la figuras 4-1 y 4-3, obsérvese que en la salida de estos circuitos de las figuras mencionadas, están los nombres de las etiquetas V_SENSOR y C_SENSOR, de igual manera, estas etiquetas se encuentran en los pines doce y trece del microcontrolador que corresponden a entradas de conversión análogo-digital.

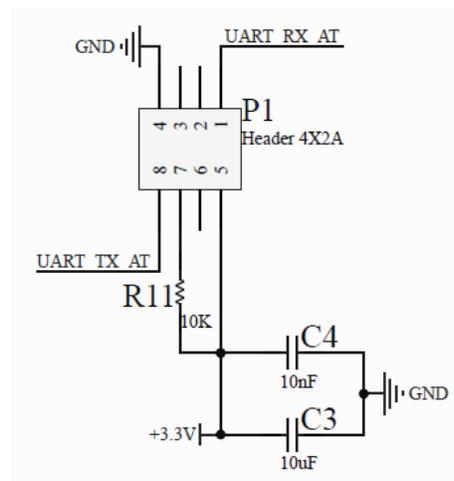
Los *HEADERS* o puertos P4 y P5 son para programación sobre la tarjeta de desarrollo.

4.1.4. Elección del módulo WIFI y diseño del circuito

Bajo las directrices de selección del módulo inalámbrico indicadas en la sección 3.3 y por los requerimientos del proyecto que especifican que se desea realizar un módulo de medición de tamaño reducido, se seleccionan unos módulos llamados ESP8266[22] que son fáciles de configurar [25], y trabajan con el protocolo TCP/IP el cual es una tecnología de comunicaciones presente en los hogares y esto resulta bastante pertinente ya que se aprovecha esta infraestructura para integrar el sistema a las redes de área local presentes en los hogares.



(a) Módulo WIFI [25]



(b) Esquemático

Figura 4-5: Módulo WIFI seleccionado y circuito implementado para la interconexión con el circuito de medición y control.

En la figura 4-5a se muestra una imagen del módulo WIFI seleccionado. Se observa que su modo de conexión es *through hole* (Atravesando el agujero), lo cual lo hace bastante sencillo de integrar en un circuito, en la parte b de la figura 4-5 se observan las conexiones realizadas para su alimentación y sus interfaces eléctricas y de comunicación con el micro controlador, y de la misma manera en que se detalla anteriormente, se usan etiquetas para indicar las conexiones eléctricas entre el módulo WIFI y el microcontrolador. La resistencia y condensadores presentes en el circuito son elementos recomendados por el fabricante del módulo WIFI.

4.1.5. Diseño de la fuente de alimentación

La fuente de alimentación se diseña al elegir los elementos principales de cada módulo que se requieren en el sistema, esto se hace así para lograr dimensionar de una manera correcta cual es la cantidad de corriente que consume todo el sistema. Desde un inicio, se escogen unos voltajes principales de funcionamiento que son los que determinan restricciones de tensión para el momento en el que se eligen componentes, pero al final, cuando ya son elegidos todos los elementos y diseñados sus circuitos de funcionamiento, es la cantidad de la corriente de cada módulo la que dimensiona en modo definitivo que componentes son necesarios para construir la fuente de alimentación.

Haciendo un repaso por las secciones 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3 y 4.1.4, los elementos principales escogidos trabajan con voltajes de 5V, -5V y 3.3V, de igual manera, para la medición de voltaje y de corriente en la carga bajo observación, se requiere que estos voltajes de alimentación se encuentren localmente en la tarjeta para evitar conexiones largas que puedan afectar la medición.

Teniendo en cuenta que los sistemas funcionan en hogares convencionales en la ciudad de Bogotá, se sabe que la fuente principal de alimentación para el sistema y para las cargas en hogares es la red eléctrica cuyos valores de voltaje y frecuencia son 120VAC y 60Hz respectivamente [11], con la magnitud de voltaje, se hacen conexiones internas en el equipo de manera que el voltaje de 120VAC se conecte directamente a la carga y así mismo, se conecte al equipo SEM para alimentar los circuitos de medición, de igual manera, sobre la fase, se interpone el sensor de corriente, al ser de efecto Hall, eléctricamente no afecta en ninguna medida la continuidad de corriente hacia la carga.

En la tabla 4-1, se puede observar cuales son las cantidades de corriente máximas que puede llegar a consumir cada módulo requerido en el diseño, esto obliga a que la fuente de alimentación tenga la capacidad de suministrar este total de corriente de manera que los módulos trabajen sin ningún inconveniente, un aspecto importante que también se debe tener en cuenta en el diseño es que trabajar en los límites de los componentes, puede reducir su ciclo de vida útil [69], para solventar esta situación, se diseña la fuente con una capacidad de corriente mayor lo cual permite alejarse del límite de consumo del sistema, en la tabla 4-1 se observa que el total de corriente, es aproximadamente $500[mA]$, un sobredimensionamiento adecuado ubica una fuente de corriente con capacidad máxima de $750mA$. Luego de definir la capacidad de corriente mínima que debe ser capaz de suministrar la fuente, se realiza una búsqueda de

componentes electrónicos en los distribuidores y que cumplan con los requerimientos de voltaje y corriente, en los resultados de la búsqueda se encuentran componentes que cumplen con exactitud los requerimientos pero sus costos son elevados debido a que los valores de corriente son poco frecuentes en comercio electrónico, esto conduce a elegir componentes que tengan capacidades de entrega de corriente mayores y que además sean más económicos, en la búsqueda se encuentra que los componentes que trabajan con corrientes de 1A llegan a ser más económicos que otros con capacidades de corriente diferentes pero cercanas a 1A.

Tabla 4-1: Tabla de corrientes requeridas por módulo en el diseño

Módulo	Corriente requerida (mA)
Medición de voltaje	10
Medición de corriente	10
Micro-controlador (Operando)	250
Comunicación (Transmisión)	100
Componentes secundarios	50
Total	420

Al finalizar la búsqueda, se elige un componente con capacidad de 1A, su capacidad de corriente supera en un 100 % lo requerido por el sistema, en otras palabras, la fuente trabaja como máximo a un 50 % de su capacidad total.

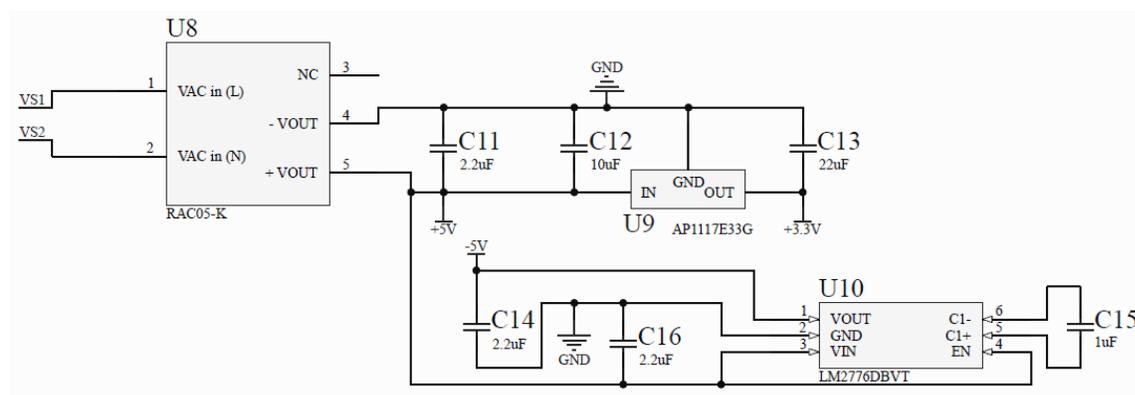


Figura 4-6: Circuito diseñado para la alimentación del equipo de medición.

En la figura 4-6 se observa un convertor AC-DC que se encarga de recibir 120 VAC y entregar un voltaje de 5V. Un regulador para lograr un voltaje de 3.3V y una

fuente conmutada tipo *inverted* para obtener el voltaje de $-5V$, los condensadores que se observan en el plano de la figura 4-6 son elegidos según recomendaciones de los fabricantes de los integrados U8, U9 y U10. Los elementos antes mencionados, tienen una capacidad de operación de 1A.

4.1.6. Diseño integrado

Luego de diseñar cada etapa del dispositivo electrónico, se hace una interconexión entre ellas y se logra un primer diseño integrado que pasa posteriormente a etapa de implementación, gracias a las funciones disponibles en el software *Altium Designer*®, se implementan de manera individual todos los módulos necesarios para el dispositivo en esquemáticos, al finalizar la implementación de cada módulo, se interconectan en un esquemático principal, en la figura 4-7 se encuentra el resultado de estas interconexiones entre los módulos diseñados.

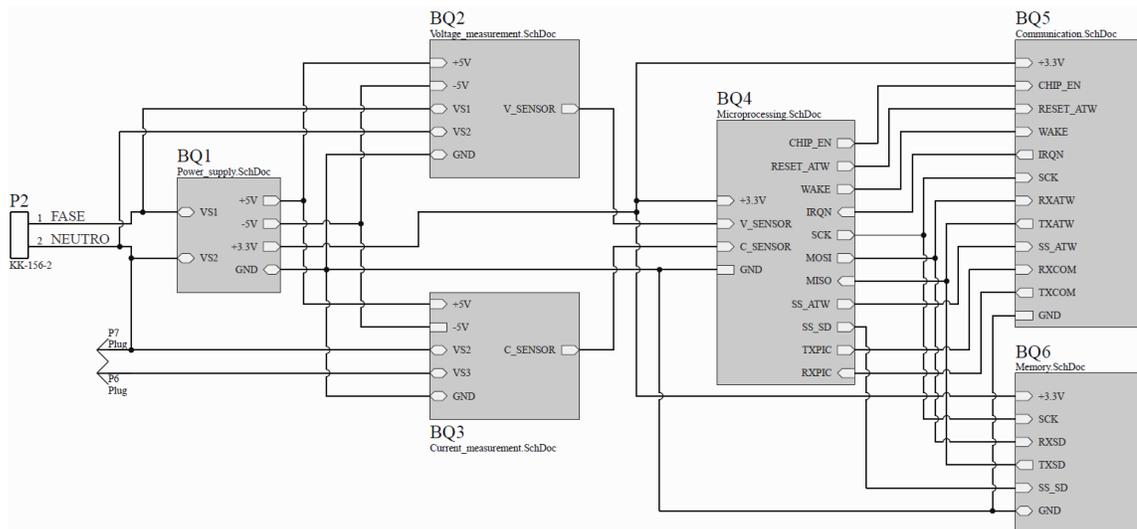


Figura 4-7: Sistema modular del diseño generado.

Una de las etapas que aparecen en el circuito de la figura 4-7 es la de memoria o almacenamiento (BQ6), en un inicio se plantea la posibilidad de almacenar información de manera local pero luego de evaluar el consumo de energía, tamaño, procesamiento y tiempo de implementación, se concluye que su desarrollo será postergado para una siguiente versión.

4.1.7. Diseño de la placa electrónica

Al tener un esquemático definido con todos los componentes seleccionados, se da el siguiente paso que es desarrollar la placa electrónica que soporta el funcionamiento diseñado, haciendo uso del software *Altium Designer*®, se realiza una ubicación espacial adecuada según el empaque que se establece y según las recomendaciones de los fabricantes de los circuitos integrados seleccionados. Después de ubicar los diferentes componentes, se hace el proceso de enrutamiento eléctrico de acuerdo con las conexiones requeridas en el diseño. Así mismo, se tiene en cuenta la normativa IPC la cual es a nivel mundial la norma que establece parámetros de diseño de tarjetas electrónicas [32].

En la figura 4-8 se presenta el resultado final de la placa diseñada en el software mencionado.

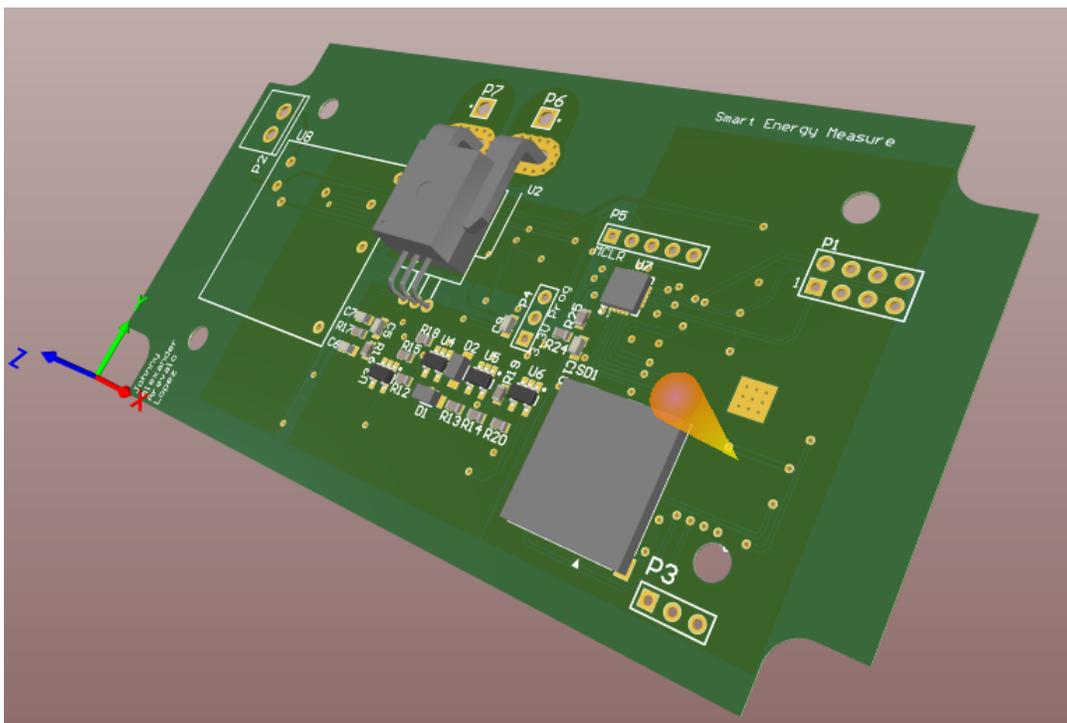


Figura 4-8: Placa electrónica desarrollada en el software Altium Designer®.

Otra vista entregada por el software es la que se muestra en la figura 4-9:

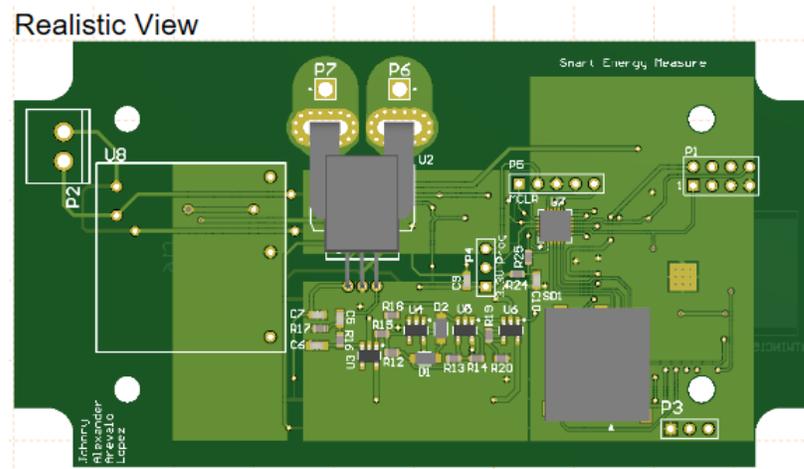


Figura 4-9: Vista superior de la placa.

La información de la distribución de las capas implementadas en la PCB aparecen relacionadas en la figura 4-10:

Layer Stack Legend		Material	Layer	Thickness	Dielectric Material	Type	Gerber
			Top Overlay			Legend	GTO
		Surface Material	Top Solder	0.01mm	Solder Resist	Solder Mask	GTS
		Copper	Top Layer	0.04mm		Signal	GTL
				0.32mm	FR-4	Dielectric	
		Copper	Bottom Layer	0.04mm		Signal	GBL
		Surface Material	Bottom Solder	0.01mm	Solder Resist	Solder Mask	GBS
			Bottom Overlay			Legend	GBO
Total thickness: 0.41mm							

Figura 4-10: Distribución de capas implementadas la construcción de la tarjeta.

Finalmente se presenta en el anexo A la tabla que contiene el listado de componentes principales y secundarios seleccionados para implementar el diseño planteado.

4.1.8. Firmware del microcontrolador

Como en este punto ya se tiene implementado y ensamblado el circuito electrónico, lo siguiente es establecer su funcionamiento a nivel de procesamiento. Para ello se

deben implementar rutinas o algoritmos que serán gestionados por el microcontrolador. Las rutinas a implementar antes deben ser diseñadas de manera que los procesos sean los más adecuados según la aplicación a desarrollar.

Para este proyecto, se desea realizar medición de voltaje y corriente y calcular la potencia activa, así mismo se debe enviar esta información a una base de datos para su almacenamiento y posterior análisis.

Para ello se realiza un diseño del algoritmo por medio de un diagrama de flujo que se presenta a continuación:

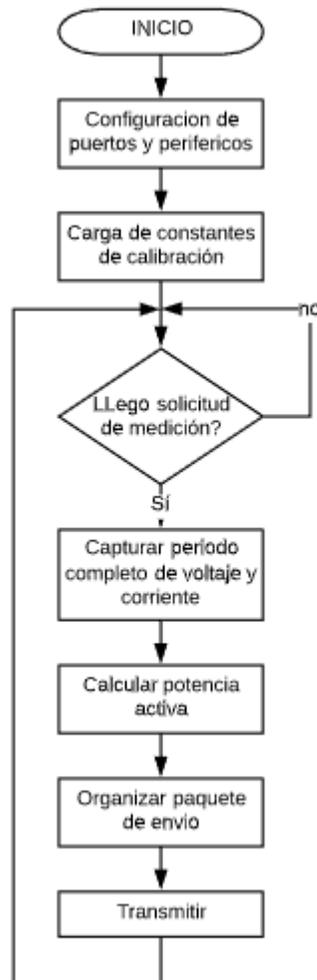


Figura 4-11: Diagrama de flujo del algoritmo implementado en el micro-controlador.

El proceso presentado en la figura 4-11 es implementado usando el software *MPLAB*®, el algoritmo desarrollado se puede encontrar en el anexo D, es importante resaltar que la comunicación con el equipo de procesamiento se realiza por medio una interfaz de radiofrecuencia, en este caso es el módulo WIFI ESP8266 (Véase sección 4.1.4), como consecuencia, la información de la medición antes de ser enviada de manera inalámbrica, es enviada por medio del periférico UART del microcontrolador al módulo WIFI.

4.1.8.1. Selección de parámetros para conversión análogo - digital

La frecuencia fundamental de las señales que se van a medir es de $60Hz$, pero dado que existe distorsión armónica habitualmente en las redes eléctricas, esto hace que se puedan presentar valores en frecuencias más altas. Si se observan los estudios de Alexandre Nassif y Jing Yong de la universidad de Alberta se puede encontrar que en un hogar, se pueden alcanzar armónicos significativos hasta en $660Hz$ e incluso hasta los $1140Hz$ [47], en vista de lo anterior, si se toma el valor de $1140Hz$ como la mayor de las frecuencias presentes en las señales a analizar, se podría establecer una frecuencia de muestreo de mínimo $2280Hz$, esto equivale a tomar muestras cada $438.5\mu S$. Aunque este valor sea suficiente para lograr satisfacer la teoría, las capacidades y velocidades con las que se puede operar en el microcontrolador son mucho mayores. Aprovechando estas capacidades, se logra obtener mediciones de voltaje y corriente cada $65\mu S$ lo que equivale a una frecuencia de muestreo de $15360Hz$. Esto significa que en un periodo se logran obtener 256 muestras.

4.1.9. Calibración

El proceso de calibración de los equipos desarrollados se basa en procesos estandarizados. En este caso específico, la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO-IEC_17025 establece los procedimientos apropiados para lograr una calibración satisfactoria en las variables de trabajo [28].

Sin embargo, se debe aclarar que por limitaciones presupuestales y por el enfoque del proyecto, no se realizará la calibración en un laboratorio certificado. No obstante, sí se realizara una calibración acorde a la norma teniendo en cuenta algunas limitaciones de laboratorio y de equipos certificados para tal fin.

Para este proceso, de igual manera, se usó un equipo de alta fidelidad en su medición y sus errores de medida bastante aceptables para este trabajo.

El equipo utilizado es un multímetro de la marca FLUKE ©. A continuación se presenta su ficha técnica:

Tabla 4-2: Especificaciones técnicas del multímetro FLUKE 289 [18].

Función	Exactitud básica
Voltaje AC	0.4 %
Corriente AC	0.7 %

Basándose en la norma, se establece que un equipo de medida se puede certificar en un error con una potencia de 10 mayor al error del equipo de calibración. En este caso, en voltaje, el error del equipo de calibración presenta un error del 0.4 % lo que significa que los equipos calibrados podrán satisfacer errores no mayores a 4 %. En forma similar, en corriente, el patrón de calibración presenta errores de 0.7 %. Esto significa que los equipos calibrados podrán alcanzar mediciones con errores de hasta 7 %.

Para la calibración, el proceso debe contar con un parámetro en el Equipo Bajo Pruebas EBP que pudiese ser modificable sin necesidad de afectar el hardware implementado. Para ello se dejó en el algoritmo programado en el microcontrolador, un factor multiplicador. Luego de realizar la medición digital y tener un valor binario, se multiplica por el factor de calibración para obtener un valor flotante aproximado al valor presentado por el patrón, al realizar una primera medición, se obtiene un porcentaje de error y con base en este error, se reajusta matemáticamente el factor hasta lograr un porcentaje de error que de conformidad a la medición.

En el anexo B se puede encontrar el protocolo de calibración que se implementa, de igual manera, en el anexo C se podrán encontrar las tablas de calibración de los equipos desarrollados.

4.2. Diseño y desarrollo de la red WSN

4.2.1. Elección del equipo de procesamiento

Se observa en la tabla 3-2 que los computadores de Arduino son los menos indicados para el trabajo del proyecto. Su velocidad y memoria RAM son muy bajas para realizar múltiples tareas que son indispensables en este proyecto. De igual manera, en la investigación se argumenta, que este computador es usado principalmente para temas de aprendizaje en el manejo de computadores de placa reducida [56]. Ahora, evaluando las tarjetas Raspberry Pi y Beagle Bone, se observan algunas similitudes como en memoria RAM, audio, vídeo y Ethernet, pero se destacan como diferencias, el costo y la velocidad de procesamiento.

Para elegir el computador más adecuado se recurre a las necesidades del proyecto. El sistema debe contar con un software que solicite la información de los diferentes módulos de medición, debe almacenar en una base de datos esta información y debe soportar un software que permita hacer consultas en la base de datos para luego hacer los análisis de estos. Con estas necesidades planteadas se podría argumentar que los dos pueden hacer sin ningún problema estos procesos. Para seleccionar alguno de los dos, se reduce la elección a un único factor que es el costo, este sistema está diseñado para ser implementado en hogares y según las investigaciones preliminares, entre menos costoso sea el sistema, mejor acogida podría tener. Por tal razón se elige al computador Raspberry Pi Zero W, este computador tiene lo necesario para satisfacer las necesidades de la aplicación y además cuenta con un módulo WIFI incorporado que brinda las prestaciones de comunicación inalámbricas seleccionadas para la implementación, por otra parte, es importante mencionar que se debe usar una tarjeta microSD para ejecutar el sistema operativo y almacenar la información proveniente de los sensores.

En la figura 4-12 se presenta el equipo más adecuado para la aplicación.



Figura 4-12: Computador Raspberry Pi Zero W

4.2.2. Diseño e implementación

Para iniciar el diseño se debe tener en cuenta la cantidad de dispositivos que podrían estar conectados a la red y cada cuanto se transmitiría información. De igual manera hay que definir la arquitectura y la programación que requieren los dispositivos que se comunican [34].

Para este proyecto se parte desde los siguientes criterios:

- El sistema es diseñado con módulos WIFI con protocolo TCP/IP.
- Se desea solicitar información desde el sistema de procesamiento.
- Los equipos estarán localmente cercanos dentro de un hogar.
- Para este proyecto, el sistema cuenta con 5 nodos de medición.

Teniendo en cuenta estos requerimientos, se establece que la mejor arquitectura es Cliente-Servidor [34]. Según lo anterior, se configuran los nodos de medición como los clientes y el computador de tarjeta reducida como el servidor, aprovechando el tamaño reducido del computador de placa reducida, lo llamaremos micro servidor.

Basándose en los requerimientos del sistema y en las prestaciones de la arquitectura 802.11 [34], se realiza el diseño de la red. A continuación se presenta la topología

de red y el direccionamiento establecido:

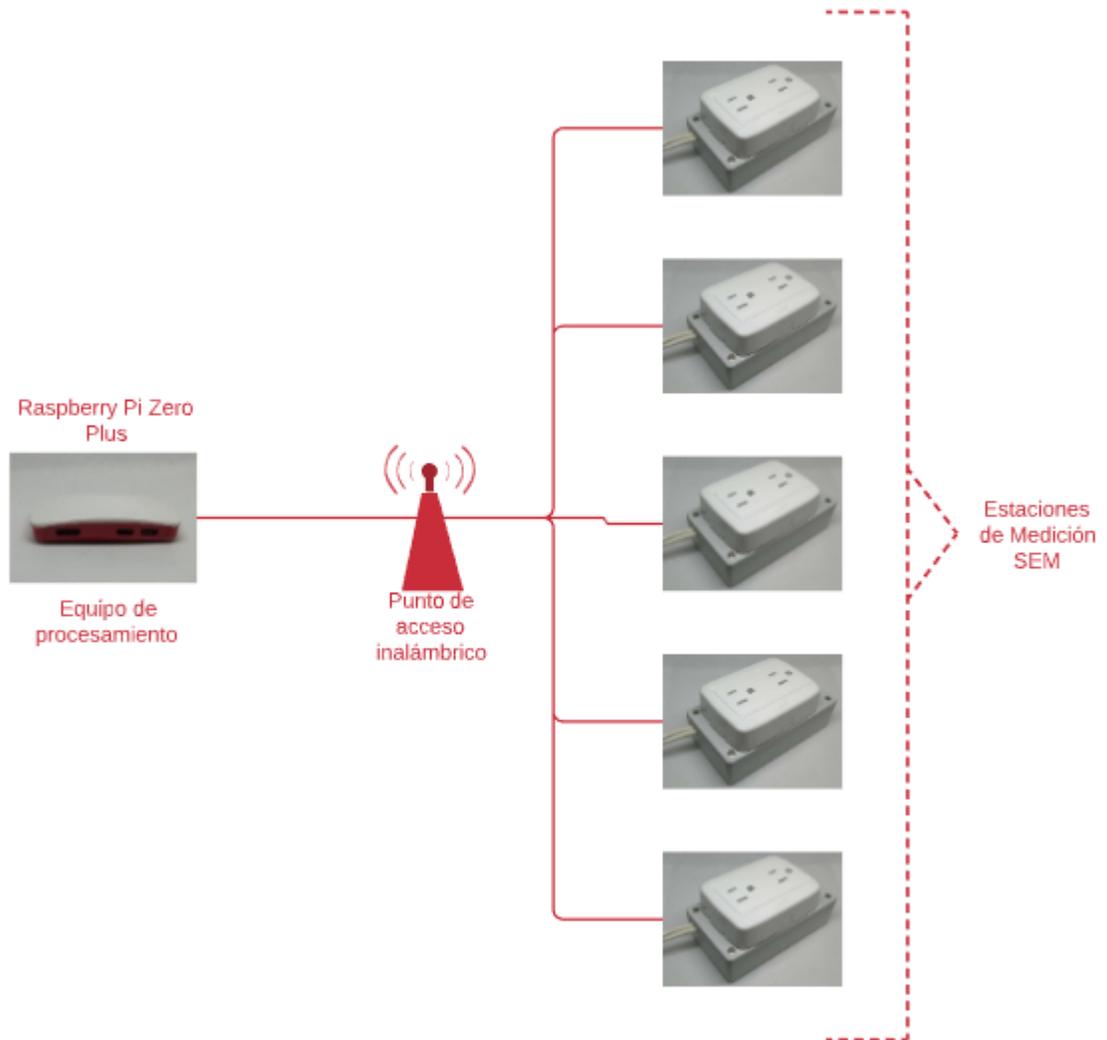


Figura 4-13: Topología de red

Se implementan diez módulos de medición SEM, en la siguiente tabla se presentan las direcciones IP fijas que se asignan a cada SEM, de igual manera la IP fija asignada al micro servidor:

Tabla 4-3: Tabla de IP fijas asignadas a los equipos.

Equipo	IP FIJA
SEM001	172.16.0.11
SEM002	172.16.0.12
SEM003	172.16.0.13
SEM004	172.16.0.14
SEM005	172.16.0.15
SEM006	172.16.0.16
SEM007	172.16.0.17
SEM008	172.16.0.18
SEM009	172.16.0.19
SEM010	172.16.0.20
Micro-servidor	172.16.0.100

4.3. Diseño e implementación del control, almacenamiento y los enlaces de comunicación para el manejo de los módulos de medición desde el micro-servidor.

Para establecer el enlace entre el micro servidor y los SEM, se debe realizar un proceso coordinado de configuración y programación en estos equipos. Por un lado, el módulo WIFI incluido en el SEM, cuenta con un microprocesador integrado que bajo una programación particular se puede configurar para trabajar como cliente o servidor y además, se puede programar con procesos adicionales según se requiera. En el caso de la Raspberry Pi, se cuenta con algunos software preinstalados en su sistema operativo y entre ellos se encuentra Node-RED; este software permite realizar programación tipo *Scratch* [44] e incluye entre sus capacidades, la manipulación de bases de datos, hacer solicitudes a enlaces web y realizar procesamiento de datos.

4.3.1. Configuración del módulo WIFI del equipo de medición SEM

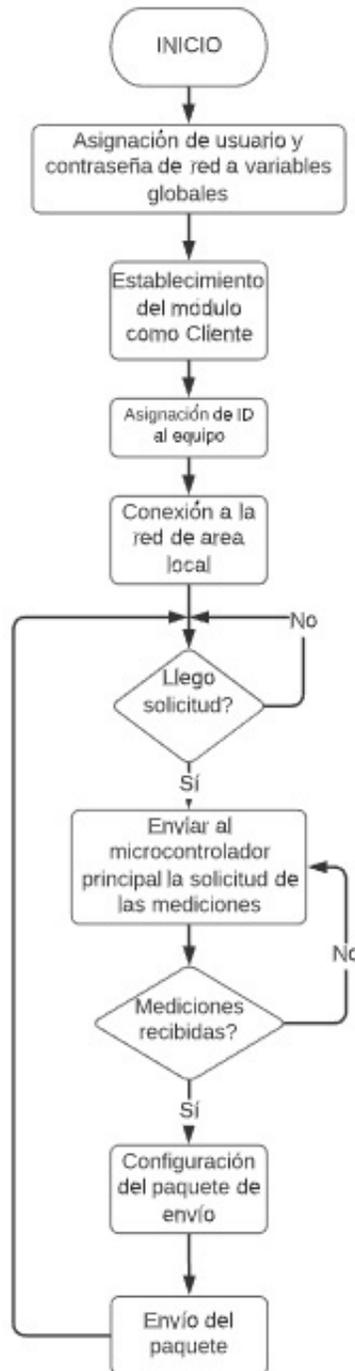


Figura 4-14: Algoritmo implementado en el módulo WIFI.

En la sección 3.3 se habló del módulo de comunicación seleccionado para el equipo SEM, principalmente de sus prestaciones en hardware. Ahora, para establecer el enlace de comunicación con el micro servidor, se debe realizar una programación. Para ello se revisa el manual del dispositivo y se encuentra que contiene un micro-procesador integrado ARM. Este tipo de procesadores se pueden programar usando el software de programación de *ARDUINO*.

Como paso siguiente, se diseña el flujo de procesos que realiza el dispositivo. Se tiene en cuenta la interacción que tiene con el microcontrolador principal del SEM(revisar sección 4.1.8) y la comunicación que se realiza con el micro servidor.

En la figura 4-14 se presenta el diagrama de flujo del algoritmo que se implementa en el microcontrolador *ARDUINO*. Para más detalles de este algoritmo, se puede revisar en el anexo E cada rutina y subrutina desarrollada.

4.3.2. Configuración de computador Raspberry Pi como micro-servidor

Al adquirir una tarjeta *Raspberry Pi Zero W*, se cuenta con una placa electrónica que contiene principalmente un procesador integrado el cual puede soportar la ejecución de un sistema operativo.

Basándose en esta capacidad, se usa un sistema operativo llamado *Raspbian* diseñado específicamente para tarjetas *Raspberry* y con él, se ejecuta todo el proceso de instalación de paquetes que requiere la tarjeta para entrar en funcionamiento.

En la página web de los creadores de estas tarjetas, se encuentran estos procedimientos detallados [20].

Ya operando la tarjeta, como primer paso se realiza la configuración de la red, según se explica en la sección 4.2, las direcciones IP serian asignadas en modo fijas, por tal razón, se establece la dirección del micro servidor según se indica en la tabla 4-3. Adicional a este proceso, se establece una red de área local que se implementa con el protocolo de seguridad WPA2 el cual está considerado como el protocolo más seguro [50]. No obstante, también se debe mencionar que la seguridad de la red recae directamente en la calidad de la contraseña [50].

El paso siguiente es establecer la tarjeta *Raspberry Pi* como micro-servidor y para ello se usa el software *NODE-RED*, este programa puede ejecutar tareas de comunicación, almacenamiento y procesamiento.

Para hacer este paso es necesario diseñar el algoritmo de procesos que requiere la aplicación que se desea realizar.

En síntesis, el proceso que debe realizar el micro servidor es: Consultar en la base de datos la dirección IP del equipo de medición, enviar la solicitud de la información de ese equipo y recibirla para almacenarla en la base de datos, esto se realiza automáticamente para los cinco equipos de medición y además, este proceso se ejecuta cada minuto.

La implementación de este flujo de procesos se realiza por medio de un enlace web que conecta el programa de ejecución a cualquier equipo conectado a la red LAN. En la figura 4-15 se presenta el diagrama de flujo diseñado. A continuación se explica en detalle el funcionamiento de este flujo de procesos:

El bloque superior de color azul es el encargado de iniciar la ejecución del flujo en intervalos de tiempo. Luego el bloque llamado **AskQtyNodes** (Preguntar por cantidad de nodos) se encarga de consultar en la base de datos llamada **User** (Base de datos de usuario), cuantos nodos están registrados en la red. El bloque **Select IP** (Seleccionar dirección IP) consulta la dirección IP de cada nodo registrado y en el bloque **Text to URL** (Convertir el dato de texto a formato URL) convierte la cadena de caracteres en la que está la dirección IP a un formato tipo webpage. Esta cadena se envía al bloque **http request** (Solicitud vía http) el cual se encarga de hacer la solicitud de la medición por medio de la red WSN al equipo SEM asociado a la dirección IP consultada. El resultado de esta solicitud llega al micro servidor vía WIFI y pasa por los bloques **Receive and format data** (Recibir y dar formato al dato), **String to Float** (Convertir de cadena de caracteres a número flotante), **Grouping** (Agrupar) y **Separate data** (Separar datos). Estos últimos, en conjunto, realizan la labor de decodificar el paquete recibido para luego almacenarlo en la base de datos del usuario. Los bloques de color verde son elementos de visualización que permiten evaluar la salida de cada proceso y monitorear si los resultados son los esperados en cada etapa del proceso. En el anexo F se encuentran los algoritmos implementados en los bloques de función.

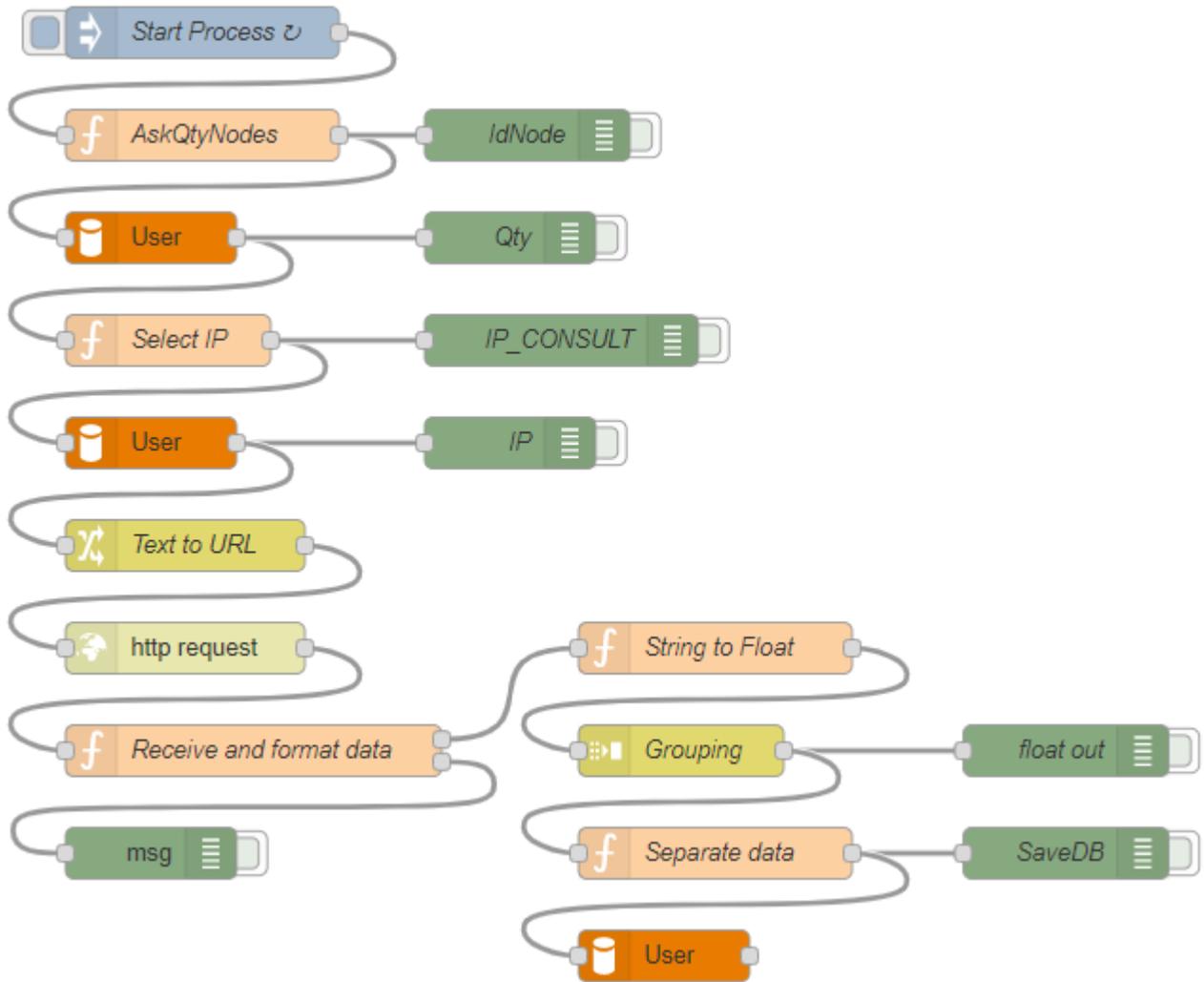


Figura 4-15: Flujo de procesos implementados en el software Node-RED.

4.3.3. Diseño e implementación de la base de datos

Se ha mencionado a lo largo del planteamiento metodológico, como una base de datos debe ser integrada en el sistema para el almacenamiento de las mediciones obtenidas. Para, hacerlo, se recurre a *MariaDB server*, el cual es un sistema de manejo de bases de datos relacionales que permite dar un control a la información usando lenguaje de consulta estructurada SQL [19].

Realizando un análisis detallado de las condiciones que requiere el proyecto, se diseña una base de datos en un modelo relacional que por un lado, debe almacenar la direcciones IP de los equipos registrados en un sistema, y por el otro, almacenar

los datos de la medición de cada nodo según su dirección IP. En vista de lo anterior, se debe relacionar esta dirección IP en dos tablas para lograr un control de consulta según dirección IP y así, obtener los datos medidos del nodo asociados a cada dirección. De igual manera, la tabla de las mediciones debe almacenar los valores y almacenarlos junto con el tiempo en el que se solicita la medición. Así, se puede analizar tanto en tiempo como en frecuencia, las variaciones de consumo realizadas durante el rango de tiempo que se desee consultar. En la figura 4-16 se puede observar el modelo relacional diseñado para el sistema planteado.

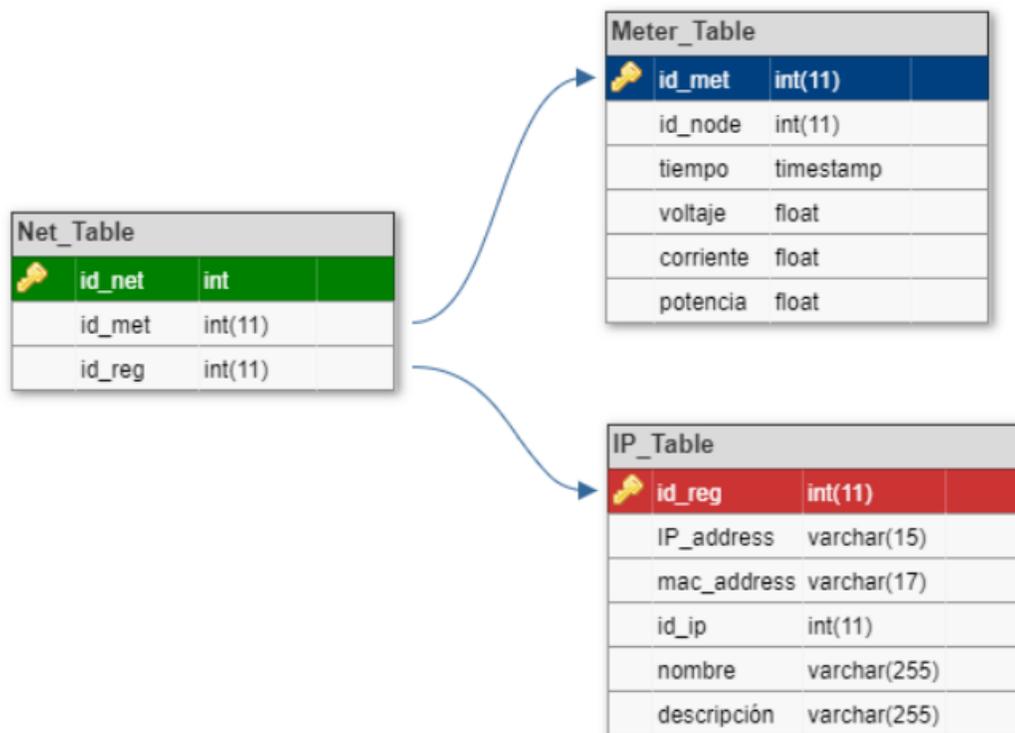


Figura 4-16: Diseño planteado para la base de datos.

Se observa en la figura 4-16 una tercera tabla llamada net_table, la cual se vincula con llaves foráneas a las llaves primarias de las tablas ip_table y meter_table. De esta manera se completa el modelo relacional de la base de datos.

Usando *MariaDB server* se crea la base de datos con las tablas y los campos diseñados. En las figuras 4-17, 4-18 y 4-19 se observan las tablas visualizadas desde consola.

4.3 Diseño e implementación del control, almacenamiento y los enlaces de comunicación para el manejo de los módulos de medición desde el micro-servidor.55

```
MariaDB [usuario2]> show columns from net_table;
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Field | Type   | Null | Key | Default | Extra           |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| id_net | int(11) | NO   | PRI | NULL    | auto_increment |
| id_met | int(11) | NO   | MUL | NULL    |                 |
| id_reg | int(11) | NO   | MUL | NULL    |                 |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
```

Figura 4-17: Tabla para registro de redes.

```
MariaDB [usuario2]> show columns from ip_table;
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Field      | Type          | Null | Key | Default | Extra           |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| id_reg     | int(11)       | NO   | PRI | NULL    | auto_increment |
| ip_address | varchar(15)   | NO   |     | NULL    |                 |
| mac_address | varchar(17)   | NO   |     | NULL    |                 |
| id_ip      | int(11)       | NO   |     | NULL    |                 |
| nombre     | varchar(255)  | YES  |     | NULL    |                 |
| descripcion | varchar(255) | YES  |     | NULL    |                 |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
```

Figura 4-18: Tabla para registro de nodos.

```
MariaDB [usuario2]> show columns from meter_table;
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Field      | Type          | Null | Key | Default          | Extra           |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| id_met     | int(11)       | NO   | PRI | NULL            | auto_increment |
| id_node    | int(11)       | NO   |     | NULL            |                 |
| tiempo     | timestamp     | NO   |     | current_timestamp() | on update current_timestamp() |
| voltaje    | float         | NO   |     | NULL            |                 |
| corriente  | float         | NO   |     | NULL            |                 |
| potencia   | float         | NO   |     | NULL            |                 |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
```

Figura 4-19: Tabla para registro de mediciones

Para iniciar el proceso de almacenamiento de las mediciones, previamente se deben registrar los nodos SEM incluyendo sus direcciones IP. De esta manera, cuando el sistema establecido en *NODE-RED* inicie su flujo de procesos automático, realice una consulta de la tabla que ya contiene las direcciones y la use para su proceso de solicitud al nodo.

En la figura 4-20 se observan los registros de cada nodo en los que se incluyen direcciones IP y direcciones MAC.

```
Registros ingresados en tabla IP_Table

MariaDB [usuario2]> SELECT * FROM ip_table;
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| id_reg | ip_address | mac_address | id_ip | nombre | descripcion |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | 172.16.0.16 | 84:F3:EB:E0:6C:9B | 6 | NULL | NULL |
| 2 | 172.16.0.17 | 84:F3:EB:E0:6C:8F | 7 | NULL | NULL |
| 3 | 172.16.0.18 | 84:F3:EB:E0:6C:0F | 8 | NULL | NULL |
| 4 | 172.16.0.19 | 84:F3:EB:E0:6C:25 | 9 | NULL | NULL |
| 5 | 172.16.0.20 | 84:F3:EB:E0:6C:86 | 10 | NULL | NULL |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
```

Figura 4-20: Tabla IP con nodos SEM registrados.

En la tabla también se observan dos campos con información nula, esto se debe a las posibilidades que se le brindan al usuario para que registre: tipo de carga que se conecta al nodo SEM, ubicación en el hogar, fecha de instalación y otros valores personales, al momento de ingresar un nuevo nodo al sistema.

4.4. Diseño e implementación de los procedimientos de procesamiento de los datos para el reconocimiento de los hábitos de consumo de las cargas conectadas a los dispositivos SEM

La estructura de los datos que se reciben y almacenan, se observa en la figura 4-19. Luego de almacenados, los datos deben ser consultados y analizados para luego ser presentados en modo numérico y/o gráfico. En resumen, son dos los procesos que se llevan a cabo en esta etapa; consulta y análisis.

4.4.1. Consulta

Para la consulta, hay que tener en cuenta los datos de interés. Para este caso se requiere principalmente el dato de potencia, la hora de la medición y el identificador del nodo. Así mismo, es importante indicar cuál es la cantidad de datos que se consultan.

Como estrategia de consulta, en un principio, se solicitan todos los datos, luego se separan los datos recibidos por nodo, y luego se separan por día. Hacerlo por rangos de tiempo menores, incrementaría el consumo de memoria y dificultaría el acceso a

cada arreglo de datos separados.

Teniendo los datos en esta forma, se puede observar por día el consumo y también contrastar el consumo con otros días registrados.

Para este procedimiento se requiere de un sistema computacional que brinde esta posibilidad de conectarse a las bases de datos y acceder a su información para luego ser analizada. Como bien se establece en la sección 3.5.1, el equipo de procesamiento es la tarjeta Raspberry Pi Zero Plus y su sistema operativo es Raspbian. Revisando sus programas instalados por defecto, se encuentran algunos como NODE-RED que ya fue descrito en la sección 4.3.2 en donde se indica, la forma en que fue usado para este proyecto, de igual manera, se encuentra un programa llamado Thonny, el cual es un entorno de desarrollo integrado IDE en el que se puede realizar programación interpretada como lo es python [70].

En el anexo G se encuentra el algoritmo titulado: Consulta y separación de datos.

Finalmente, se encuentra que una consulta de catorce días se tarda aproximadamente ocho minutos. Para disminuir el tiempo de consulta y separación, se establece una consulta al final del día, de esta manera, la consulta demora menos de un minuto y no interfiere en los procesos de análisis que se realizan según las solicitudes de un usuario, esta información obtenida por día, se almacena en archivos planos con la información relevante para el análisis, acceder a estos archivos no toma más de un segundo, en el algoritmo de Consulta y separación de datos, se realiza este proceso de escritura en los archivos temporales.

4.4.2. Análisis

El análisis de los datos es el objetivo principal de este proyecto. Se busca analizar los datos para presentarle al usuario los hábitos de consumo de energía eléctrica durante un periodo de tiempo determinado.

Este análisis es desarrollado al igual que la consulta con el software Thonny. Por medio de algoritmos implementados en Python, se hace una lectura de los archivos almacenados para su análisis. Este proceso parte de los estudios que se presentan a continuación.

En china, se ha hecho un estudio de cómo hacer procesos de análisis de consumo de energía eléctrica [76]. En su primer acercamiento al análisis es realizar una visualización gráfica de la energía consumida en una fecha determinada. Para este proyecto, se realiza este primer análisis visual para observar las curvas de consumo por día y por medidor de las diferentes cargas bajo observación. De igual manera, estas gráficas se pueden mezclar para obtener totales de consumo por día y de igual manera por carga durante el periodo de muestreo.

Otro tipo de análisis importante a realizar es cuando se observa el consumo en el dominio de la frecuencia. Por un lado, se pueden evaluar la calidad de la energía suministrada por el productor de energía local y, por otro lado, analizar periodicidad en consumos por parte de los usuarios. Esto presenta un primer acercamiento a detectar hábitos de consumo en un hogar[5].

También se pueden hacer análisis de tipo estadístico. Sin embargo, el tamaño reducido en la cantidad de las muestras no es significativo para presentar resultados concluyentes.

En el anexo G se encuentra un ejemplo del algoritmo implementado para el análisis de un día. Se titula: Gráfica de potencia, estimación de energía y análisis de Fourier.

Aprovechando los procesos que se realizan en este algoritmo, se implementan subprocesos que estiman la energía consumida por la carga bajo observación. Esta estimación también se hace por día y por carga, de esta manera, se pueden hacer comparativos de consumo frente a otros días. Estos valores obtenidos, se manejan en otros algoritmos para no sobrecargar de procesos al dispositivo. Por esta razón, también se generan archivos planos con esos valores para ser usados únicamente en procesos de análisis de energía.

Para estimar la energía, basta con usar la ecuación 4-1 la cual requiere de la potencia y del tiempo [4]:

$$E = \int_{t_0}^{t_0+T} P(t)dt \quad (4-1)$$

Es importante obtener los resultados en kWh y para lograrlo antes de hacer los cálculos, se divide por 1000 la potencia obtenida para pasarla a unidades de kW y

se divide por 3600 para pasar de segundos a horas.

Como ya se explicó en la sección 3.1.1.2, el proceso matemático de una integral, se realiza por medio de una sumatoria en un sistema de procesamiento digital. Para el cálculo de energía se tendría la siguiente ecuación:

$$E = \sum_{n=1}^k P(n)(t_n - t_{n-1}) \tag{4-2}$$

Luego de obtener las estimaciones de energía por día y por carga, se pueden obtener los totales equivalentes por día sumando todas las cargas, los totales por carga durante los días de monitoreo y los totales definitivos acumulados por todas las cargas en el periodo de observación. El algoritmo implementado para este proceso se titula: Estimaciones de energía y se encuentra en el anexo G.

Finalmente se realizan otros procesos adicionales para observar el comportamiento del consumo en franjas del día. Se sobreentiende que el consumo de energía se realiza principalmente en horas del día en el que los usuarios están presentes en el hogar en forma activa, debido a esto, se hace una clasificación de los datos por franjas horarias para visualizar estos comportamientos y entender cuáles son los consumos en cada franja. Las franjas establecidas se ajustan según los horarios habituales de actividad en un hogar. En la tabla 4-4 se encuentran estos horarios:

Tabla 4-4: Franjas horarias para análisis de consumo

Franja	Rango de horas
1	11:00pm - 5:00am
2	5:00am - 9:00am
3	9:00am - 5:00pm
4	5:00pm - 11:00pm

En las investigaciones citadas en esta sección, se realizan algunos otros análisis como *wavelet* y *clustering* [5][76]. Esto es posible gracias a la inmensa cantidad de datos con los que se cuentan, de igual manera en estas investigaciones, se realizan mediciones en más de mil hogares y esto permite obtener una base estadística bastante confiable, en este trabajo, el objetivo es implementar un sistema que pueda reconocer hábitos de consumo y hasta este punto de la implementación se logra mediante los

procesos descritos previamente, sin embargo no es parte de ningún objetivo llegar a ese tipo de resultados pues obtener esa cantidad de información tardaría meses y no se contempla desde el inicio. Esto fue tema de discusión en el inicio del proyecto debido a la confusión que se presentaba con las definiciones de reconocimiento de hábitos y reconocimiento de patrones, pues detectar un hábito requiere no más de dos semanas para encontrar una periodicidad en el consumo y/o en la carga, pero un patrón requiere de miles de muestras y en este análisis se hablaría de miles de días para entregar conclusiones aproximadas.

Aunque esta limitación de tiempo no permita lograr tantos datos durante este proyecto, si se puede lograr reunir muchos más datos posteriormente a este proyecto, pues los sistemas ya funcionales podrían recaudar información constantemente y cuando se logren cantidades considerables de información, se podrán desarrollar nuevos estudios y obtener conclusiones sobre patrones de consumo en hogares bogotanos.

5. Resultados y análisis

En este capítulo, se pueden encontrar los resultados y análisis de cada etapa del proyecto. Los resultados obtenidos se presentan en la misma secuencia en la que se presentan las etapas de diseño e implementación.

5.1. Resultados y análisis en medición de voltaje y corriente

En las figuras 5-1 y 5-2 se observan las gráficas obtenidas por medio de un osciloscopio. La medición se realiza en las dos etapas principales de la medición que son: Después de la atenuación de la señal de 120VAC y después de la rectificación de onda completa de precisión.

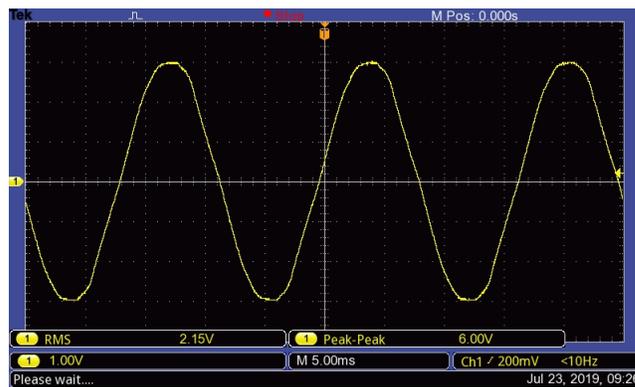


Figura 5-1: Voltaje atenuado de la red eléctrica.

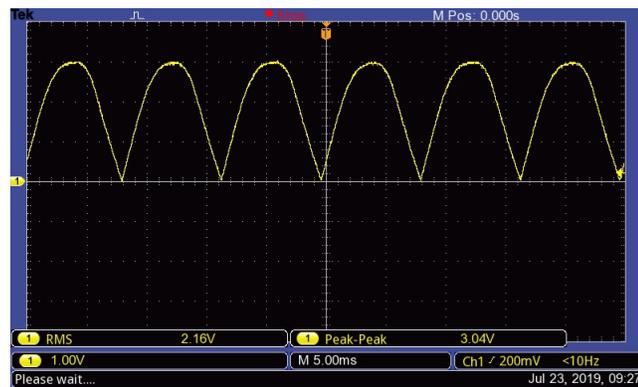


Figura 5-2: Rectificación de precisión de onda completa.

Se observa que según los cálculos presentados en la sección 4.1.1, se espera que para cuando se mide un voltaje de 120VAC, se obtenga un voltaje pico en la señal rectificadora de 3.07V, el valor de la medida que se obtiene en la figura 5-2 es de 3.04V_p logrando así un error de medida del 1.1 %.

Para la medición de corriente y para la estimación del error de medida, se debe tener en cuenta el valor de la resistencia que se usa para la medición, en este caso se usa una resistencia de 50Ω, aunque al realizar la medida de impedancia su valor real es de 45,72Ω.

En la figura 5-3 se observa la señal de salida del sensor de corriente.

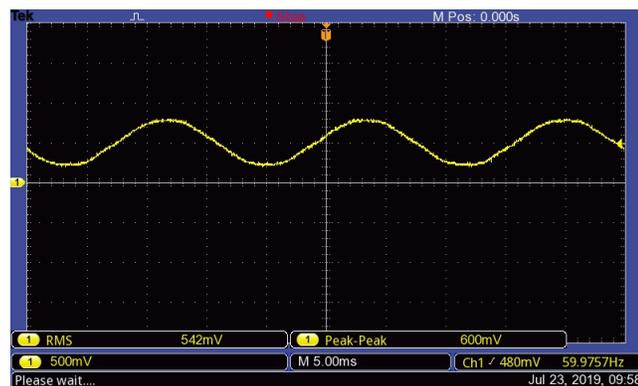


Figura 5-3: Voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente.

Para enviar la señal de corriente al microcontrolador, se hace una rectificación de precisión y además, se elimina el nivel DC que tiene la salida de la señal del sensor de corriente, de igual manera, en la etapa final del circuito de medición de corriente

se realiza una amplificación de 2 unidades (Véase sección 4.1.2). En la figura 5-4 se presenta el resultado de la medición después de las tres etapas del circuito.

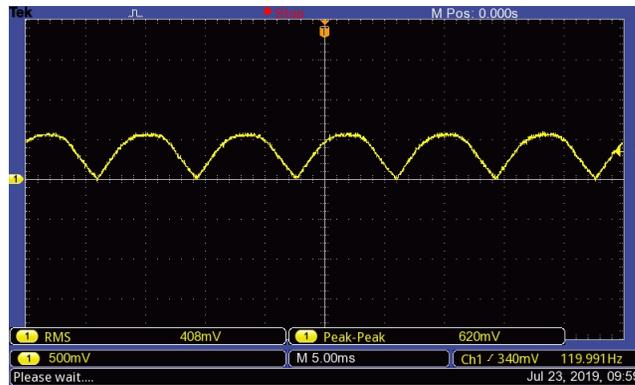


Figura 5-4: Rectificación de la señal de voltaje obtenida del sensor de corriente.

La corriente que pasa por el sensor y genera las mediciones presentadas en las figuras 5-3 y 5-4 se mide con multímetro y este arroja un valor de $2.58A_{RMS}$, con este valor y con los cálculos formulados en la etapa de diseño se obtiene un valor esperado de $412mV_{RMS}$, en la gráfica de la figura 5-4 se observa un valor RMS de $408mV_{RMS}$, al final de la etapa se obtiene un error de 0.97% en la medición.

Las mediciones que se muestran en las figuras 5-1, 5-2, 5-3 y 5-4 corresponden a mediciones realizadas en el equipo SEM001. Para observar las mediciones de los 10 equipos desarrollados, diríjase al anexo H.

5.2. Equipo SEM

Para presentar los resultados de ensamble, se presenta en la figura 5-5 una fotografía de la placa electrónica con todos sus componentes y con el cableado que requiere para su correcto funcionamiento.



Figura 5-5: Tarjeta SEM ensamblada y cableada.

Debido a la necesidad de hacer mediciones de voltaje y corriente en ambientes no controlados, es necesario que los equipos SEM estén protegidos bajo un cerramiento eléctrico. Se utiliza una caja con un cerramiento eléctrico IP64, así mismo se requiere que para el usuario no exista dificultad alguna en la conexión de sus electrodomésticos al sistema, por tal razón, se adapta a la caja principal, una multitoma que permite usar las clavijas estandarizadas de Colombia para conexiones monofásicas. En la figura 5-6 se encuentra el módulo SEM en su fase final de ensamble.

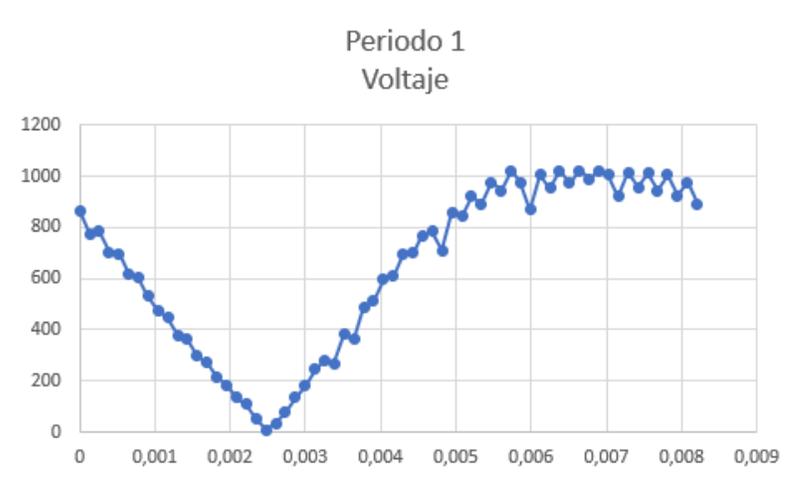


Figura 5-6: Módulo medidor SEM001 en su fase final.

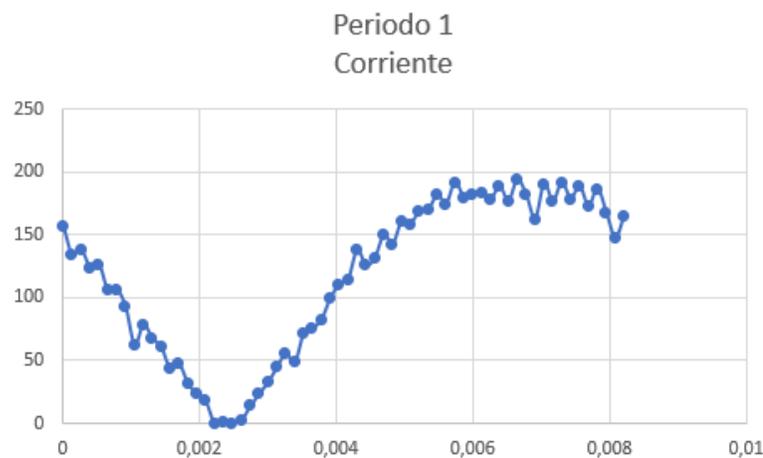
5.3. Resultados del firmware del microcontrolador

Para observar los resultados del funcionamiento del microcontrolador y de los algoritmos implementados es necesario realizar procesos que permitan obtener elementos visuales y/o datos de medida en tablas o en interfaz gráfica de manera que se pueda dar conformidad al funcionamiento, para ello se construyen algoritmos temporales que solo realizan procesos de captura y envío de datos, no obstante es importante mencionar que hasta que se reciben los datos en forma correcta por el micro servidor, se puede dar una conformidad definitiva a todo el sistema y esto incluye al equipo de medición y sus elementos de hardware y firmware.

Se observa en la figura 5-7 las gráficas de voltaje y corriente digitalizadas por el microcontrolador después de realizar el procesamiento de conversión análogo-digital, para obtener este resultado, se usa una tarjeta de comunicación serial y los datos se reciben en una terminal, luego se llevan a una tabla y posteriormente se realiza la gráfica de los valores recibidos; se observa un ciclo de la señal rectificadas tanto de voltaje como de corriente.



(a) Captura digital de un periodo de la señal rectificada de onda completa de voltaje



(b) Captura digital de un periodo de la señal rectificada de onda completa de corriente

Figura 5-7: Gráficas de valores digitales entregadas por el microprocesador.

Estas gráficas se obtienen luego de hacer un algoritmo temporal que transmite los valores medidos durante un periodo, en el transcurso de la implementación se realiza este proceso para evaluar las formas de onda y determinar si se capturan los 128 datos de un periodo completo de la señal de onda completa rectificada. Por medio de los datos obtenidos también se encuentran cuáles fueron los valores pico de las señales y con ellos establecer un primer factor multiplicador que convierta el dato digital en un valor flotante para indicar magnitud de voltaje o corriente.

Luego de dar conformidad a las formas de onda y a la cantidad de datos captu-

rados, se omite el envío de estos datos, los tiempos de transmisión son de más de $100mS$ y esto imposibilita hacer lectura de nuevos periodos, solo se almacenan los datos en la memoria interna del microcontrolador para ser usados en el cálculo de la potencia activa.

5.4. Resultados de calibración

En la figura 5-7 se puede observar que en las gráficas 5-7a y 5-7b, el eje Y está comprendido en un rango de valores binarios entre 0 y 1023 tal como lo indica el manual del microcontrolador en sus especificaciones para la conversión análogo-digital [29], estos valores binarios se ajustan matemáticamente para lograr los valores esperados de medida, para ello, se establece un factor multiplicador que acondiciona el resultado y posteriormente, se comparan los valores obtenidos con el patrón de medición, con esta información, se reajusta de forma iterativa este valor hasta que el error de la medición este por debajo de un error aceptable. El proceso anteriormente descrito, habla en resumen del proceso de calibración que se realiza para cada equipo SEM. La figura 5-8 es una imagen tomada del proceso de calibración realizado bajo un ambiente controlado.



Figura 5-8: Disposición de equipos y carga para proceso de calibración.

La calibración se realiza con una serie de resistencias de potencia que permiten el paso de diferentes magnitudes de corriente en el sensor, esto con el fin de observar cual es el mejor comportamiento del sensor en cargas bajas medias y altas y de cuál

es la escala para su operación en campo. En las figuras 5-9, 5-10, 5-11 y 5-12 se pueden observar las medidas obtenidas del equipo SEM001 para voltaje, corriente, potencia y el error de cada variable frente al patrón utilizado para la calibración.

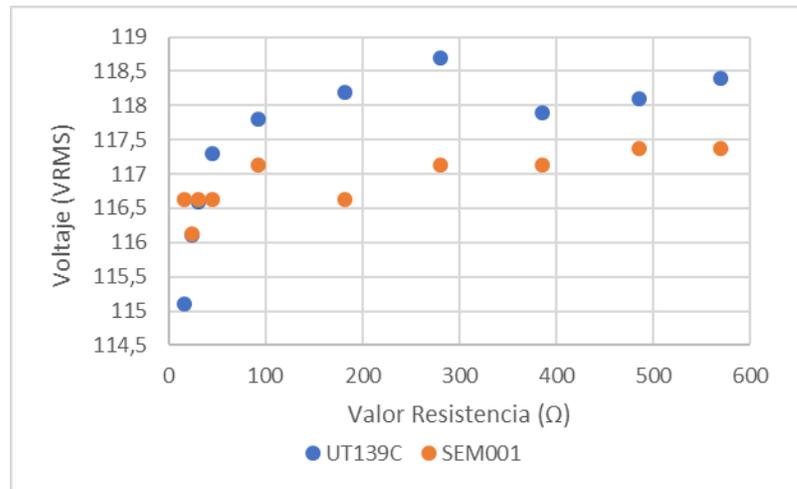


Figura 5-9: Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM001.

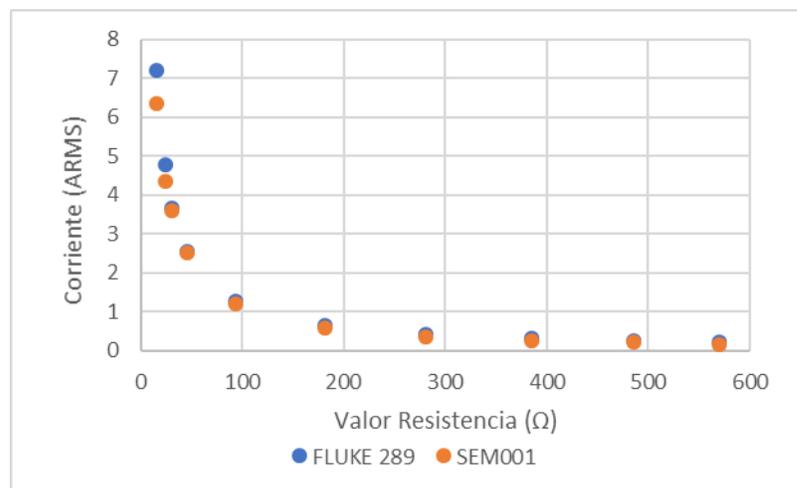


Figura 5-10: Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM001.

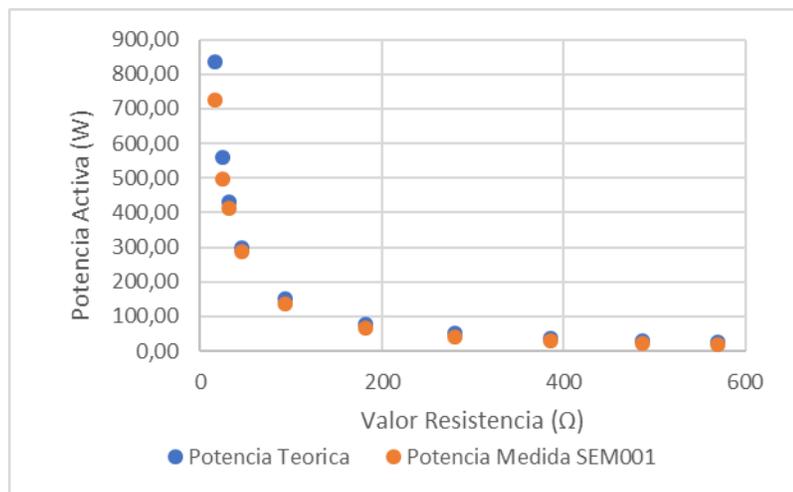


Figura 5-11: Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM001.

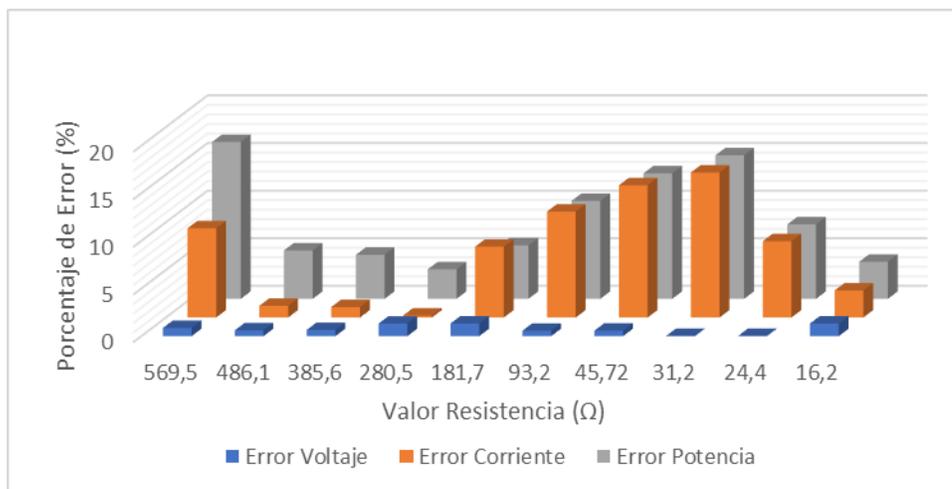


Figura 5-12: Errores de voltaje, corriente y potencia del equipo SEM001 frente al equipo patrón.

Los valores de las resistencias que se observan en las gráficas corresponden a los valores medidos por el equipo patrón. En cada una de ellas se realiza la medición de las variables respectivas y se registran tanto las del equipo patrón como las del equipo SEM. En el anexo C se encuentran las tablas y las gráficas de calibración de los diez equipos SEM.

También se observa en la gráfica de los errores, como en unos intervalos de resistencias, se presentan menores errores que en otros, esto es debido a las limitaciones de rango que requiere la medición de corriente, según lo anterior se debe ajustar el equipo de medición SEM en alguno de los intervalos en donde se presenta mejor com-

portamiento. En el anexo I se pueden observar los intervalos de medición en donde se ajusta mejor el error de cada equipo SEM.

5.5. Resultados de la implementación de la red WSN

5.5.1. Conectividad

Tal como se menciona en los resultados de firmware del microcontrolador, en la implementación de la red WSN son pocos los aspectos visuales que pueden dar evidencia del correcto funcionamiento de la red de sensores. Para observar resultados de red, se recurre a elementos de software que ayudan a dar visibilidad a los procesos transparentes que no son perceptibles pero que hacen parte fundamental del sistema, en este caso, para presentar resultados de red, se recurre básicamente a la conectividad entre equipos y se utiliza una herramienta de diagnóstico de red que se llama *ping*. En la prueba, se conecta el equipo SEM008 y se hace *ping* a la dirección IP que se configura según se establece en el diseño de red. (Véase tabla 4-3).

El comando ingresado es el siguiente:

```
ping 172.16.0.18 -t -w 250 -l 1400
```

El parámetro $-t$ hace que el proceso se realice constantemente y solo se puede salir del proceso cuando se cancele manualmente, el comando $-w$ junto con el valor de 250 establece el tiempo de espera que se da para recibir un indicador del paquete recibido y el parámetro $-l$ junto con el 1400, define el tamaño del paquete de 1400 bytes.

El resultado de ingresar el comando y dejarlo bajo prueba durante dos horas se observa en la figura 5-13.

```
Ping statistics for 172.16.0.18:
Packets: Sent = 11993, Received = 11849, Lost = 144 (1% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
Minimum = 3ms, Maximum = 136ms, Average = 6ms
```

Figura 5-13: Resultados obtenidos de diagnóstico de red para conectividad con equipo SEM008.

El resultado que arroja el comando indica una pérdida de datos de menos del 1%

del total de datos enviados, para cuando el tamaño del paquete es de 1400 bytes, en el caso del proyecto, la cantidad de datos enviados en el paquete es de 32 bytes y se hace un envío cada minuto. En contraste, el paquete de datos del proyecto al ser 40 veces más pequeño que el paquete de prueba y al ser un envío con un periodo más prolongado, aumenta la probabilidad de perder menos datos.

5.5.2. Micro-servidor

```
login as: pi
pi@172.16.0.100's password:
Linux raspberrypi 4.19.66+ #1253 Thu Aug 15 11:37:30 BST 2019 armv6l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Thu Feb 13 09:19:51 2020 from 172.16.0.250
pi@raspberrypi:~ $ mysql -u root -p
Enter password:
Welcome to the MariaDB monitor.  Commands end with ; or \g.
Your MariaDB connection id is 13
Server version: 10.3.17-MariaDB-0+deb10u1 Raspbian 10

Copyright (c) 2000, 2018, Oracle, MariaDB Corporation Ab and others.

Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the current input statement.

MariaDB [(none)]> USE usuario2;
Reading table information for completion of table and column names
You can turn off this feature to get a quicker startup with -A

Database changed
MariaDB [usuario2]> SHOW TABLES;
+-----+
| Tables_in_usuario2 |
+-----+
| ip_table            |
| meter_table        |
| net_table           |
+-----+
3 rows in set (0.003 sec)

MariaDB [usuario2]>
```

Figura 5-14: Conexión remota establecida con el micro servidor por medio del protocolo SSH.

Para dar evidencia del funcionamiento del computador de placa reducida como micro servidor, se puede usar el mismo método de conectividad que se usó para demostrar la conectividad con el equipo SEM008 (Véase figura 5-13). No obstante, eso solo daría constancia de comunicación. Para determinar el funcionamiento del micro

servidor, se deben dar pruebas de captura de datos y almacenamiento, para ello, se realiza una prueba de conexión por medio del protocolo SSH, el cual por medio remoto, se enlaza directamente al procesador del micro servidor y por medio de una consola se comanda el sistema operativo. En la figura 5-14 se presenta una captura de pantalla de la conexión establecida.

En la figura 5-14 también se observan los comandos ingresados para establecer la conexión con la base de datos que se implementa para el almacenamiento de los valores medidos de consumo de potencia, se observan los nombres de las tablas que se plantean en la etapa de diseño e implementación de la base de datos (Ver sección 4.3.3).

Ya con este soporte, se da por funcional tanto la conectividad como el almacenamiento. Hace falta presentar la evidencia del funcionamiento del proceso de solicitud de la información a los nodos y su recepción para su posterior almacenamiento, en el software Node-RED, en su interfaz gráfica, al hacer uso de nodos SQL, se indica con un recuadro pequeño junto al bloque, el estado de la conexión con la base de datos, si el recuadro se establece en color verde y además, aparece la palabra conectado, se da por hecho que la conexión está establecida. En la figura 5-15 se observa este indicador.

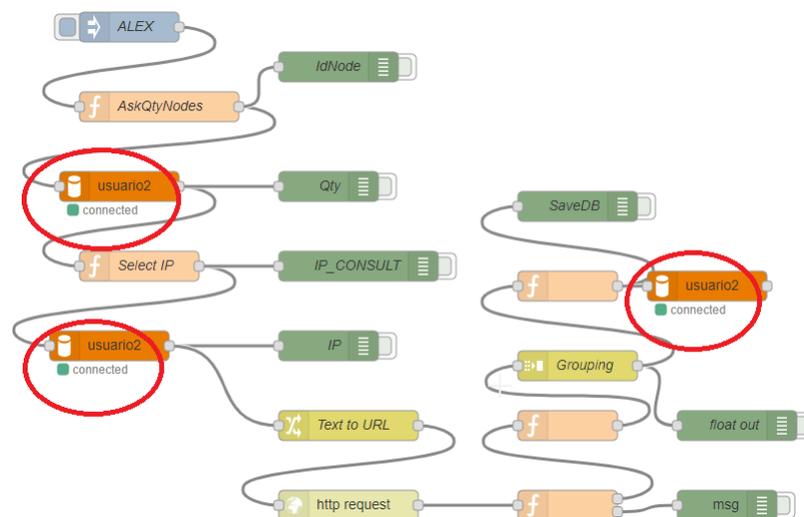


Figura 5-15: Indicadores visuales de conexión del sistema de gestión de los nodos con la base de datos.

Nótese que en la figura 5-15 aparece en los bloques de SQL (De color naranja), el nombre de la base de datos a la cual está conectado el flujo de procesos, es el mismo

nombre que aparece en la figura 5-14 donde se establece la conexión con la base de datos llamada **usuario2**.

Finalmente, se hace una solicitud de datos generales para dar por definitivo un correcto funcionamiento. La figura 5-16 muestra un extracto de una tabla que resulta luego de hacer una consulta de las mediciones que se realizan en un hogar bogotano.

```

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| id_met | id_node | tiempo | voltaje | corriente | potencia |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 167971 | 7 | 2020-02-13 02:58:18 | 121.384 | 0.0191263 | 0.807885 |
| 167972 | 8 | 2020-02-13 02:58:18 | 121.133 | 0.0350945 | 1.68558 |
| 167973 | 6 | 2020-02-13 02:58:18 | 121.384 | 0.0337368 | 1.97569 |
| 167974 | 10 | 2020-02-13 02:58:19 | 121.384 | 0.0215751 | 0.948268 |
| 167975 | 9 | 2020-02-13 02:58:19 | 121.134 | 0.0488885 | 3.1603 |
| 167976 | 9 | 2020-02-13 02:59:18 | 121.134 | 0.0396112 | 2.37124 |
| 167977 | 10 | 2020-02-13 02:59:18 | 121.134 | 0.027633 | 1.32571 |
| 167978 | 8 | 2020-02-13 02:59:18 | 121.134 | 0.0363 | 1.4166 |
| 167979 | 6 | 2020-02-13 02:59:18 | 120.884 | 0.0237115 | 1.1231 |
| 167980 | 7 | 2020-02-13 02:59:18 | 121.384 | 0.0312951 | 1.28079 |
| 167981 | 6 | 2020-02-13 03:00:18 | 120.634 | 0.0281059 | 1.40825 |
| 167982 | 7 | 2020-02-13 03:00:19 | 121.134 | 0.0188213 | 0.802275 |
| 167983 | 9 | 2020-02-13 03:00:19 | 120.884 | 0.0509636 | 3.33422 |
| 167984 | 8 | 2020-02-13 03:00:19 | 120.634 | 0.0305018 | 1.36137 |
| 167985 | 10 | 2020-02-13 03:00:19 | 120.634 | 0.0331874 | 1.83507 |
| 167986 | 8 | 2020-02-13 03:01:18 | 120.634 | 0.0326991 | 1.68807 |
| 167987 | 7 | 2020-02-13 03:01:18 | 121.134 | 0.0281059 | 1.34575 |
| 167988 | 6 | 2020-02-13 03:01:18 | 121.384 | 0.0329434 | 1.89757 |
| 167989 | 9 | 2020-02-13 03:01:18 | 121.134 | 0.0438835 | 2.64468 |
| 167990 | 10 | 2020-02-13 03:01:18 | 121.133 | 0.0277553 | 1.22807 |
| 167991 | 6 | 2020-02-13 03:02:18 | 121.634 | 0.0352624 | 1.36138 |
| 167992 | 8 | 2020-02-13 03:02:18 | 121.134 | 0.0319668 | 1.59432 |
| 167993 | 7 | 2020-02-13 03:02:18 | 121.634 | 0.0269463 | 1.22076 |
| 167994 | 9 | 2020-02-13 03:02:18 | 121.634 | 0.0511164 | 3.13784 |
| 167995 | 10 | 2020-02-13 03:02:18 | 121.384 | 0.0245201 | 1.06205 |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
167995 rows in set (7.829 sec)

```

Figura 5-16: Extracto de datos de la tabla medición.

Se observa en la figura 5-16 que aparecen ciento sesenta y siete mil novecientos noventa y cinco (167995) registros de medida, lo que corresponde a veintitrés días en los que el sistema estuvo operando con cinco equipos SEM.

5.6. Resultados de los algoritmos de análisis

Antes de presentar los resultados en esta sección, se hace una aclaración bastante importante en cuanto a las cargas seleccionadas para realizar las mediciones. Como se ha mencionado, este sistema prototipo para un hogar cuenta con cinco equipos SEM. Esto indiscutiblemente limita la posibilidad de medir el cien por ciento de las cargas presentes en un hogar, por lo tanto, para hacer una medición que resulte significativa, se deben realizar las mediciones de las cargas que se destaquen y sean de consumo más regular en un hogar, para hacer esta selección, es necesario identificar técnicamente cuales de las cargas en los hogares presenta mayores consumos y que están constantemente conectadas.

La universidad Distrital financiada por Colciencias, realizó un estudio de consumo de energía de las diferentes cargas en hogares bogotanos de estrato cuatro[24], se encuentra en los resultados de su investigación que las cargas con más consumo son la nevera, la lavadora, la licuadora y el televisor, existen más cargas asociadas a altos consumos de energía pero su presencia en hogares de otros estratos es menos frecuente [37]. Por otro lado, las Empresas Públicas de Medellín, también emitieron un boletín en donde se hace hincapié sobre un mejoramiento en el consumo de energía [46], en su contenido, también se encuentra una clasificación de electrodomésticos según la cantidad de potencia que requieren para su correcto funcionamiento, en ese caso particular clasifican en consumos bajos, medios y altos. En el boletín se encuentra el televisor, la nevera, la lavadora, la licuadora, entre otros, como electrodomésticos de alto consumo.

Con base en estos hallazgos, se decide por tomar las mediciones en nevera, lavadora, licuadora y televisor y además incluir las mediciones de algunas cargas particulares que fueron solicitadas por los usuarios que aceptaron el monitoreo de su consumo.

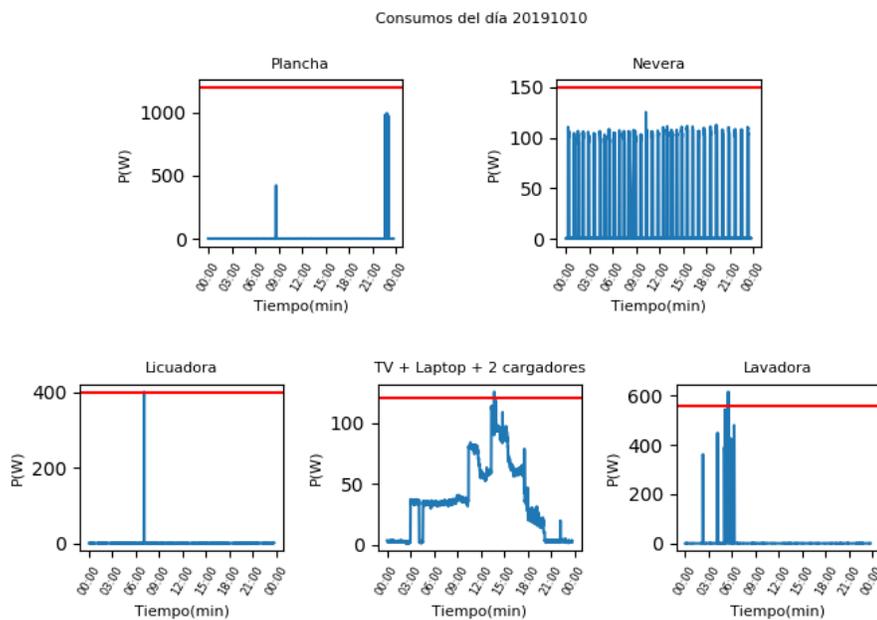
En la tabla 5-1 se relaciona las cargas conectadas en los dos hogares.

Tabla 5-1: Cargas medidas por el sistema en cada hogar.

Hogar 1	Hogar 2
Plancha	Acuario
Nevera	Nevera
Licudadora	Cultivo hidropónico
Televisor + router + laptop + 2 cargadores	Televisor + router + teléfono + decodificador Tv
Lavadora	Lavadora

Las gráficas que se encuentran en esta sección hacen parte de la colección de imágenes obtenidas durante el proyecto usando los algoritmos de análisis, se seleccionaron algunas que son representativas de cada proceso y algunas que se obtienen por día.

Las figuras I-11 y I-27 presentan los consumos de un día en el dominio del tiempo:

**Figura 5-17:** Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/10. Hogar 1

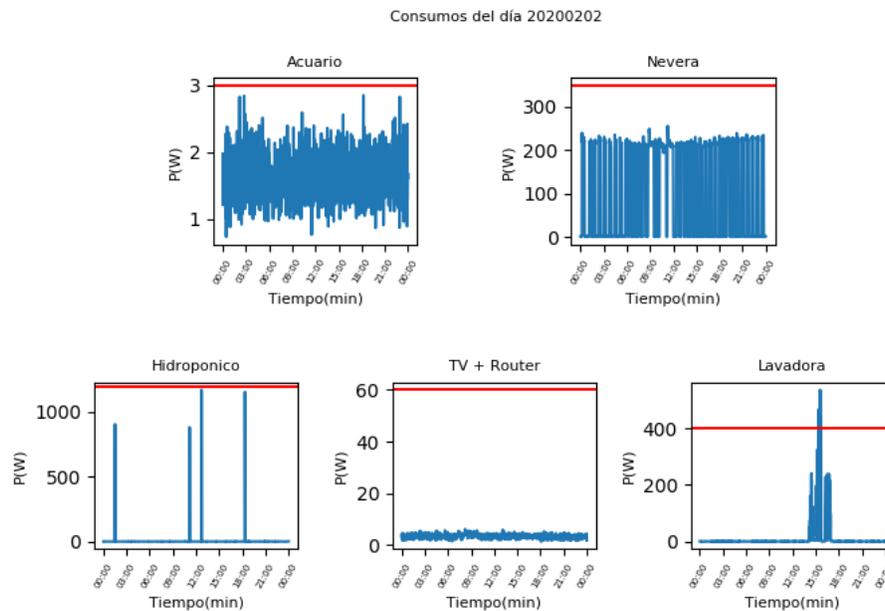


Figura 5-18: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/02. Hogar 2.

Se observa para cada hogar, en una sola imagen, las cinco gráficas de los consumos de potencia de las cargas que fueron monitoreadas. Así mismo, se hace una marca en rojo, la cual indica según la etiqueta del electrodoméstico, cuál es la potencia nominal.

Las gráficas que se observan en las figuras I-11 y I-27 corresponden a mediciones realizadas cada minuto. Durante un día se obtienen mil cuatrocientos cuarenta (1440) datos.

Los primeros análisis que se pueden realizar sobre los resultados obtenidos en consumo de potencia en el tiempo consiste en mostrar las curvas de comportamiento de cada carga, para la plancha del hogar uno por ejemplo, se tiene que en el día 10 de octubre del 2019 usaron la plancha dos veces y no se usó por más de 5 minutos, también se observa que la plancha no supera el valor nominal de la etiqueta e incluso se observan diferentes picos de distintas potencias, significa que pueden estar haciendo un buen uso de ajuste del nivel de calor según la tela que se va a planchar, así mismo, se puede plantear la suposición de que planchan cerca de la media noche para alistar la ropa del siguiente día.

Las curvas de consumo de las neveras presentan en las gráficas de las figuras I-11 y I-27 un comportamiento bastante general en cuanto a la forma en la que funcionan,

sus ciclos de activación de compresor, enfriamiento, descongelación y reactivación del compresor; están presentes en la curva obtenida, al comparar los ciclos que se observan en la gráfica con los presentados por el Departamento de Energía del registro federal de los Estados Unidos [73], se evidencia una semejanza en las curvas de consumo de potencia, sin embargo es importante aclarar que las curvas pueden diferir por el tipo de nevera, ubicación geográfica y cantidad de alimentos y al propio uso que el usuario le dé a su electrodoméstico. En la figura 5-19 se observa una gráfica presentando los ciclos de la nevera de forma aumentada.

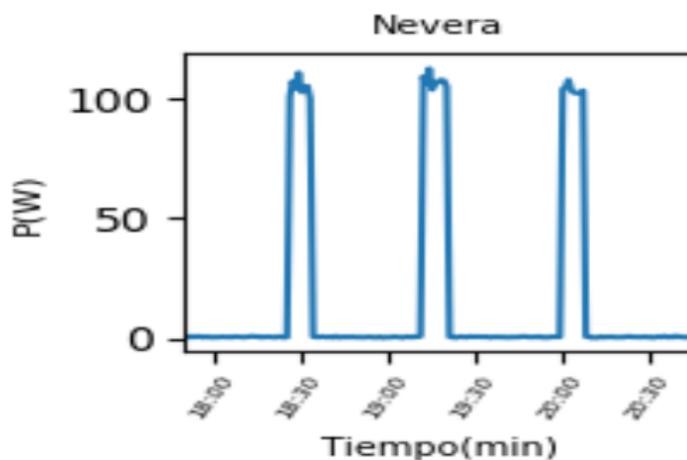


Figura 5-19: Curva del consumo de potencia de la nevera en el tiempo

Revisando ahora la licuadora, en la figura I-11 se observa que apenas la usaron una sola vez durante el día 10 de octubre de 2019, fue en las horas de la mañana y es posible que la usaran para preparar algún alimento para el desayuno.

Para realizar el análisis del comportamiento de consumo en la gráfica del televisor más el *router* y los cargadores de los portátiles, se requiere conocer de antemano el comportamiento de cada carga de manera individual, sin embargo esta medición no se realiza ya que se esperaba que el equipo solo estuviese conectado al televisor, luego de la instalación del sistema, los usuarios del hogar realizaron más conexiones a la multitoma de medición y ocasionaron una agrupación de cargas en el sistema lo que resultó en una medición equivalente de todas las cargas mencionadas, sin embargo, si se revisan todas las imágenes que presentan el consumo de potencia del hogar uno, se evidencia un comportamiento habitual en los encendidos, aumentos, bajadas y apagados de los equipos conectados a la multitoma.

En cuanto a la lavadora, se observa en las figuras I-11 y I-27 los ciclos de activación de la electroválvula para llenado, ciclos de enjuague, extracción de agua y centrifugado. Más allá de la normalidad de los ciclos de la lavadora, revisando la totalidad de las gráficas presentes en el anexo I se observa que es habitual usar la lavadora los fines de semana.

La gráfica de consumo de potencia del acuario que se observa en la figura I-27, presenta un comportamiento de poca variación ya que se mide el consumo de la bomba de aire del acuario, el calentador controlado de agua y las luces que tiene instalado, cargas que a pesar de sus cambios en el funcionamiento no generan variaciones significativas. Esta medición se realiza por solicitud del usuario para conocer cuál es el consumo total de energía de todo el sistema del acuario, de igual manera, se realiza la medición del consumo de un bombillo y un termostato ubicado en un cultivo hidropónico de una planta medicinal que tiene el usuario en su hogar. Cuando la temperatura desciende de los 10 grados centígrados el bombillo se activa para recalentar el ambiente, los picos de activación del bombillo que se observan en la gráfica se presentan cuando la temperatura disminuye hasta pasar a un valor abajo del umbral.

El segundo análisis que se realiza con los datos consiste en los comportamientos de consumo en el dominio de la frecuencia, esto con el fin de observar si se obtienen comportamientos periódicos y detectar posibles hábitos de uso en los electrodomésticos, de igual manera, se pueden hallar frecuencias regulares naturales de funcionamiento del electrodoméstico, en las figuras J-11 y J-27 se obtienen estas gráficas para cada hogar.

Al observar las gráficas que muestran el comportamiento del consumo en el dominio de la frecuencia, se observa que, para el caso de la nevera, televisor más *router* y lavadora, algunas frecuencias están bastante marcadas, las otras cargas, al estar conectadas pero no presentar variaciones en su consumo, se observa en sus gráficas de frecuencia resultados con ruido plano y amplitudes poco considerables.

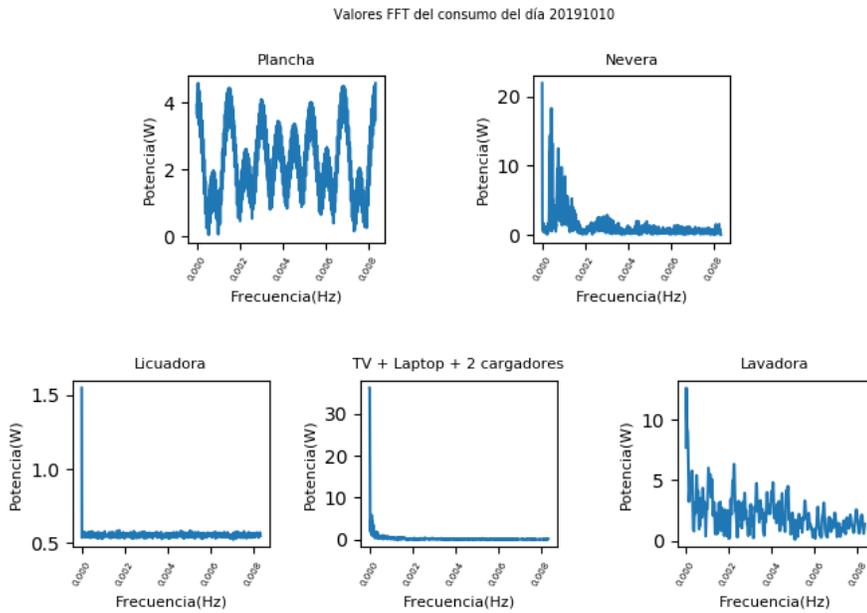


Figura 5-20: Análisis en el dominio de la frecuencia para el consumo por carga en el día 2019/10/10. Hogar 1

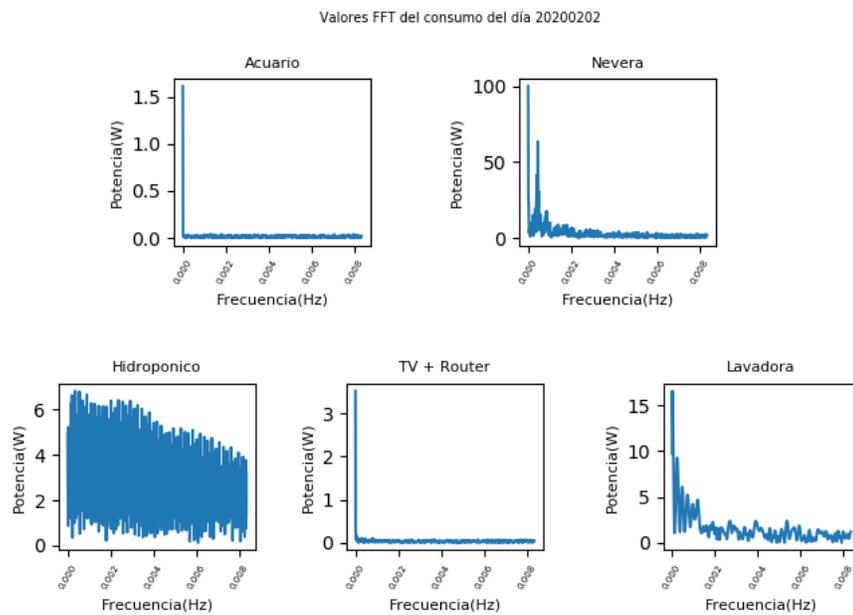


Figura 5-21: Análisis en el dominio de la frecuencia para el consumo por carga en el día 2020/02/02. Hogar 2.

Para hacer el análisis frecuencial, se debe relacionar la figura I-11 con la figura J-11, ya que corresponden a un mismo día en el hogar uno, solo que una presenta el consumo en el dominio del tiempo y la otra en el dominio de la frecuencia. De igual manera, las figuras I-27 y J-27 corresponden al mismo día y muestran los resultados en tiempo y en frecuencia para el hogar dos.

En los anexos I y J están los resultados obtenidos para cada día en los dominios de tiempo y de frecuencia para los dos hogares.

Haciendo el análisis de la gráfica de la plancha en el dominio de la frecuencia, se observa un comportamiento casi sinusoidal y este resultado solo permite mencionar dos cosas, primero es que no hay una frecuencia dominante o un componente frecuencial que deje establecer un comportamiento periódico en el uso de la plancha, y lo segundo es que el resultado, a pesar de ser peculiar, resulta muy relativo al comportamiento de la curva de consumo en el tiempo. Así como se obtienen impulsos en el dominio de la frecuencia cuando la señal es sinusoidal en el dominio del tiempo, de forma similar, cuando hay una curva con un impulso en el dominio del tiempo, la transformada de Fourier entregará una curva sinusoidal en el dominio de la frecuencia. En este caso, revisando la gráfica de la plancha en la figura I-11 se observan dos impulsos que generan la señal casi sinusoidal que se presenta en la gráfica de la plancha en la figura J-11, esto está asociado con periodos de encendido.

Para el caso de la nevera, en el dominio de la frecuencia, si se encuentra un valor de frecuencia fundamental que está cercano a los $450\mu Hz$, este valor indica que hay un ciclo de operación que tarda aproximadamente 40 minutos en repetirse, esa frecuencia está relacionada directamente con el ciclo de operación de una nevera tal como se mencionó previamente.

En el caso de la licuadora, se obtiene un resultado similar al de la plancha, el uso de corta duración y de un solo uso en el día, hace que se obtenga una curva en el dominio del tiempo con un impulso y en la transformación de los datos al dominio de la frecuencia, se obtiene una señal con forma casi sinusoidal.

Observando ahora la gráfica del televisor, computador portátil y los dos cargadores, se encuentra una frecuencia muy baja que está aproximadamente en los $600\mu Hz$ y eso entrega un periodo de aproximadamente 30 minutos, esto puede estar relacionado con los ciclos de carga y descarga de la batería del portátil y en los cargadores de los celulares. No obstante, el valor que tiene una magnitud más significativa es

el nivel DC presente en $0Hz$, este puede estar relacionado al punto de acceso de Internet que es una carga que no se presentó en la gráfica en un inicio debido a que se desconocía que fue conectado en el mismo punto, lo cual fue mencionado por el usuario del hogar 1. Esta nueva conexión hace que se dificulte realizar un análisis puntual sobre una carga, de modo contrario se tiene un conjunto de cargas y a menos que se conozca de antemano el comportamiento de cada una, no se puede discriminar una por una sobre el conjunto de datos obtenidos.

Analizando los resultados de la lavadora en el dominio de la frecuencia, se encuentra que también está presente una frecuencia fundamental cerca de los $783\mu Hz$, se puede constatar esta periodicidad en los ciclos de funcionamiento de la lavadora que tardan aproximadamente 20 minutos en presentarse durante los ciclos de lavado.

En seguida, se exponen los resultados de consumos de energía parciales y totales que se presentaron durante el tiempo de monitoreo en los dos hogares. Inicialmente se presentan los consumos totales por cada día y por cada carga en las figuras 5-22 y 5-23.

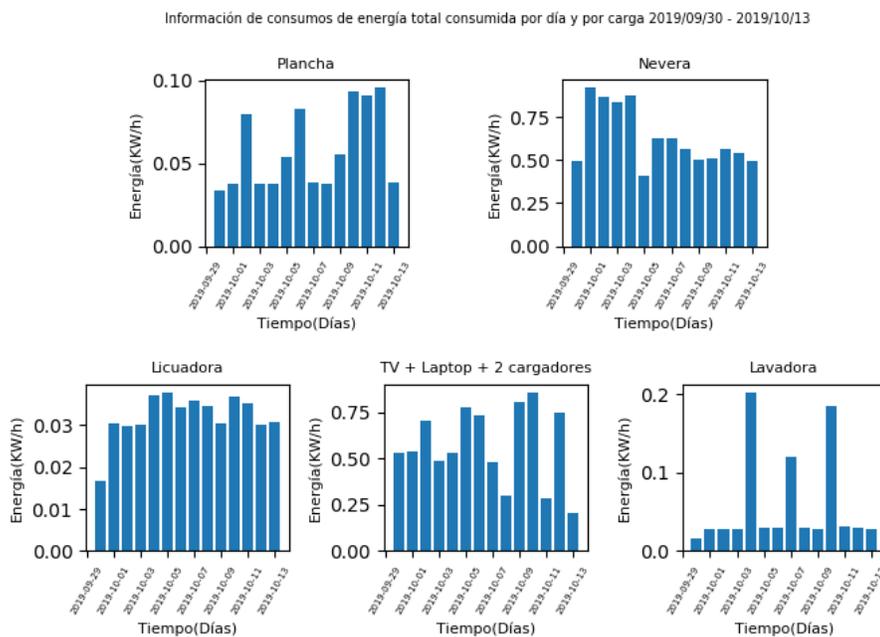


Figura 5-22: Consumos totales de energía por día y por carga en el hogar 1.

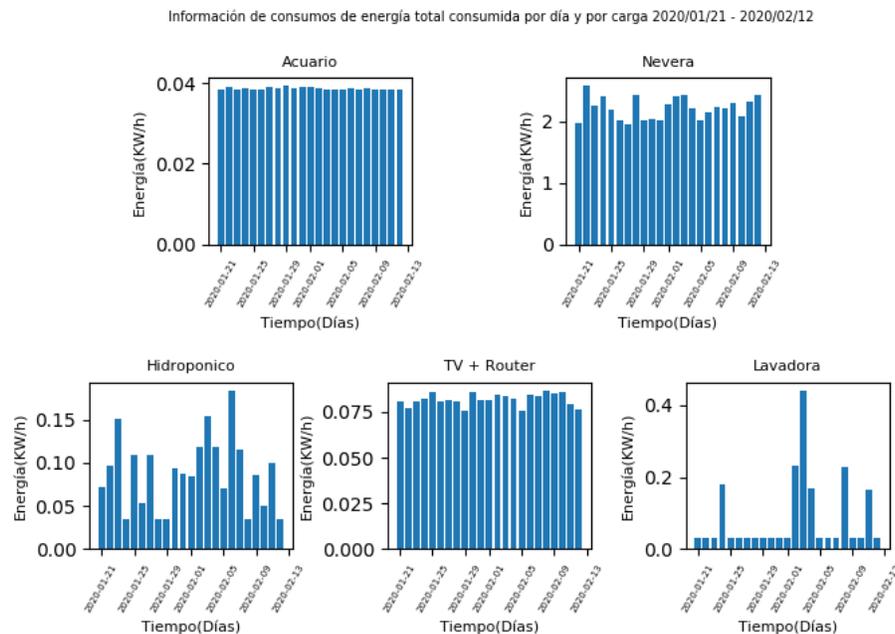


Figura 5-23: Consumos totales de energía por día y por carga en el hogar 2.

Nuevamente observando el comportamiento de la plancha, se puede notar un valor promedio abajo de los $0.05kWh$ y esto es debido a que se solicitó que el usuario mantuviese la plancha conectada pero que cuando no se estuviese usando, que giraran la perilla hasta el apagado. Sin embargo, según el resultado, existe un consumo que no es representativo, pero está presente. De igual manera se puede observar que la plancha cuando es usada, si genera picos de consumo mayores al valor en *stand by*, pero que no llegan a valores de más de $1kWh$ y esto es porque la plancha no es usada durante periodos prolongados de tiempo.

En la nevera se observa un consumo que no es constante a nivel de valor total acumulado y es debido a una situación peculiar. Al instalar los equipos para el monitoreo, se realiza la conexión de la nevera y al terminar de conectar, el bombillo indicador de apertura de la nevera no enciende, en ese momento se giró la perilla de enfriamiento para revisar si con un valor de cambio de temperatura prendía el bombillo pero no fue así, en ese instante la persona del hogar indica que el bombillo no funciona y luego de un par de minutos, la nevera inició el compresor para el ciclo de enfriamiento, no obstante la perilla quedó en una posición de temperatura muy baja. Cuatro días después la persona a cargo del apartamento llama y pregunta si puede subir la temperatura de la nevera pues está congelando mucho y se le confirma que no existía inconveniente alguno, el usuario pensó que el cambio de la temperatu-

ra tenía algún propósito para la medición. En resumen, en los cuatro primeros días, se observa en la gráfica como la nevera realiza un consumo mayor que en los días posteriores y se puede notar que ese cambio logra disminuir más de $0.25kWh$ por día.

Similarmente al comportamiento de consumo de energía de la plancha, la licuadora permanece conectada, pero con la perilla en la posición de apagado, no obstante, se presenta un consumo constante bastante bajo y se puede relacionar con el circuito que mantiene un led rojo indicando precisamente su estado de apagado. Además, se presenta el mismo comportamiento de elevación en el consumo cuando se usa, pero el consumo acumulado no logra ser significativo ya que cuando se usa, es por menos de un minuto.

Como se comentó anteriormente, en el hogar uno, en el equipo donde estaba conectado el televisor, el *router*, los cargadores y el computador portátil, no se puede discriminar el consumo por cada carga a menos que se conociera de antemano el comportamiento de cada equipo. Sin embargo, el análisis que se puede realizar en esta gráfica es que es el segundo consumo más elevado en el hogar dos después de la nevera, quiere decir esto que a pesar de que las cargas conectadas al equipo son relativamente bajas, su uso es constante y el acumulado de energía consumida eleva este total.

En la lavadora también se presenta el fenómeno de un consumo constante sin que esta esté operando, su valor equivalente en el tiempo no alcanza el $0.05kWh$ por día y en un cálculo para un mes equivaldría aproximadamente a $1.5kWh$ mes. Otro aspecto del comportamiento de consumo en la lavadora que, si se aleja del comportamiento de la plancha y la licuadora, es en que los picos de consumo de energía de la lavadora si elevan significativamente el total acumulado cuando está en operación. Claramente se puede asociar esta elevación a la cantidad de energía que requiere el motor de la lavadora para realizar los ciclos de lavado.

En el hogar dos, también se realizan los análisis de consumos de energía totales por carga en los veintitrés días y los hallazgos principales se resumen a continuación.

En el acuario se observa un consumo constante durante los veintitrés días que el sistema estuvo en monitoreo, adicionalmente se observa que el valor de consumo por día no supera los $0.04kWh$ día y el equivalente a un mes llegaría aproximadamente a un poco más de $1kWh$, durante los veintitrés días el consumo total es de $0.92kWh$.

La nevera presenta un consumo no muy regular, pero si mantiene una media en los $2kWh$ día, sus fluctuaciones se pueden asociar a que en momentos en que se hace el mercado y se almacenan alimentos, la nevera recibe elementos que están a temperaturas más altas y el enfriamiento toma más tiempo, lo que se traduce en un mayor consumo de energía. Caso contrario, cuando la nevera esta sin alimentos, su ciclo de enfriamiento se hace más rápido.

En cuanto al bombillo del cultivo hidropónico, se sabe que se activa cuando las plantas requieren ciertas condiciones de luz y temperatura, pero en realidad, este encendido y apagado no fue controlado enteramente por un sistema automatizado, según el usuario del hogar dos, el bombillo se encendía manualmente por algunos minutos y luego se desconectaba, de ahí su variabilidad de consumo según la gráfica la cual no presenta un comportamiento habitual durante los veintitrés días.

También se obtienen las gráficas de los consumos totales equivalentes de las 5 cargas por día. En las figuras 5-24 y 5-25 se observan estos resultados.

En el hogar dos también se hace un monitoreo de una toma que tiene un TV, un *router* y el cargador del codificador de televisión. Ya se ha mencionado y visto en las gráficas de consumo que el televisor se encendió pocas veces y durante periodos cortos de tiempo, lo cual no generó consumos significativos llevados a la gráfica de valores totales. Sin embargo, las cargas del *router* y del decodificador si hacen un consumo constante y su equivalente promedio alcanza los $0.075kWh$ día.

Observando el comportamiento de energía total consumida de la lavadora en el hogar dos, no se encuentra un comportamiento habitual de lavado, pero si un valor cercano a los $0.2kWh$ cada vez que se usa. Adicionalmente se puede ver que el día 3 de febrero de 2020 usaron la lavadora en dos ocasiones y eso resulta en el doble de consumo en este día. En el anexo I se puede corroborar esta información sí se observa la gráfica de consumo en ese día. Las variaciones de consumo de energía en días de un único uso están asociadas a las posibles variaciones en las cantidades de ropa con la que se carga la lavadora.

Para continuar con los análisis, se hace una consulta sobre las cantidades de energía total por día que se consumen en las 5 cargas en cada hogar. En las figuras 5-24 y 5-25 se encuentran estos valores totales.

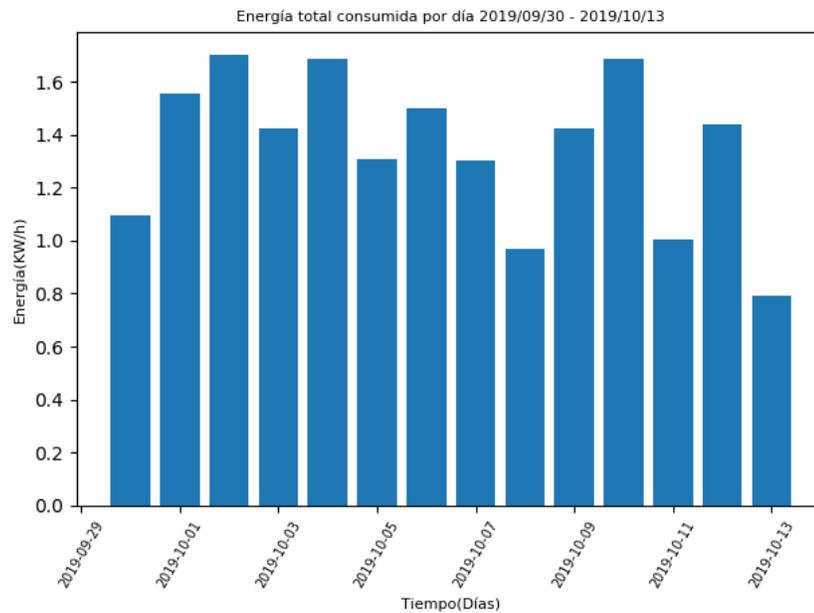


Figura 5-24: Consumos totales de energía por día (5 cargas). Hogar 1.

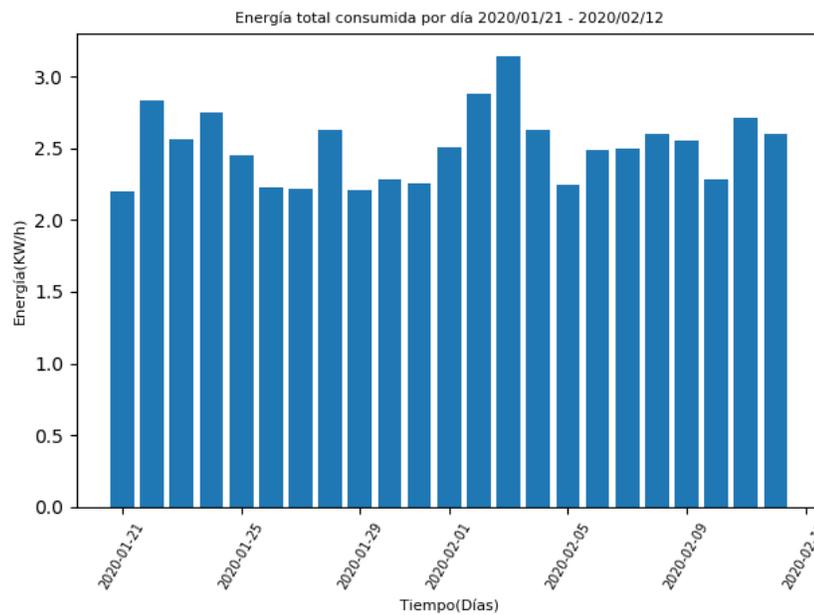


Figura 5-25: Consumos totales de energía por día (5 cargas). Hogar 2.

Para estos resultados, se debe tener en cuenta que en el hogar dos fue posible realizar el monitoreo de las cargas durante veintitrés días. En el hogar uno el monitoreo

duró catorce días.

La variabilidad resultante en estas gráficas solo refleja la variabilidad en el consumo de cada carga, no obstante, el resultado más significativo de este análisis es el consumo total por día y esto es importante para hacer desde esta gráfica, proyecciones de consumo de un mes y conocer de antemano los valores aproximados que deben ser presupuestados para el posterior pago. Hay que tener en cuenta que este análisis no se puede llevar a cabo en su totalidad debido a que el número de cargas monitoreadas no cubre con la totalidad de las cargas presentes en el hogar.

Para analizar el conjunto de todas las cargas se construye una segunda gráfica que muestra lo que aporta cada carga en el consumo total del día. En las figuras 5-26 y 5-27 se observa por medio de colores, el consumo que representa cada carga en un día.

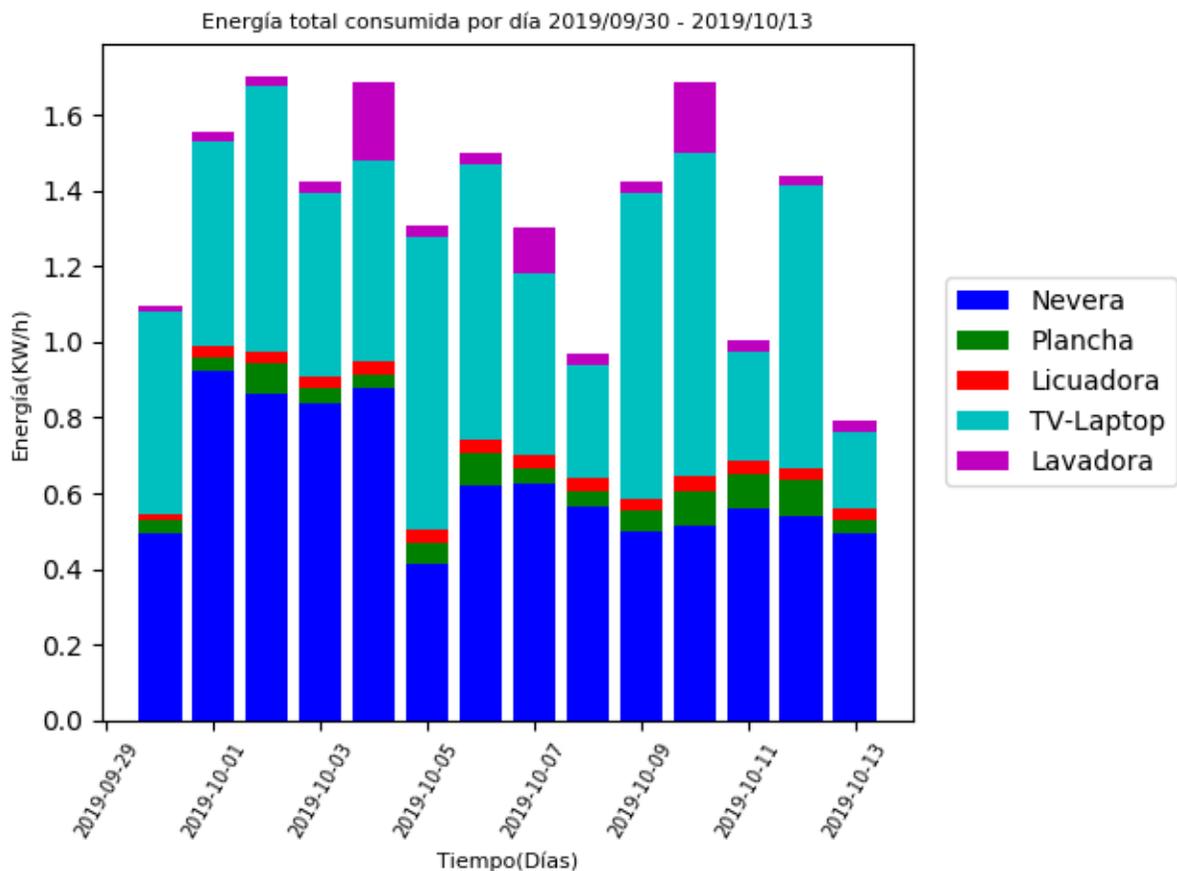


Figura 5-26: Consumos totales de energía por día segmentados por valor de consumo de cada carga (5 cargas). Hogar 1.

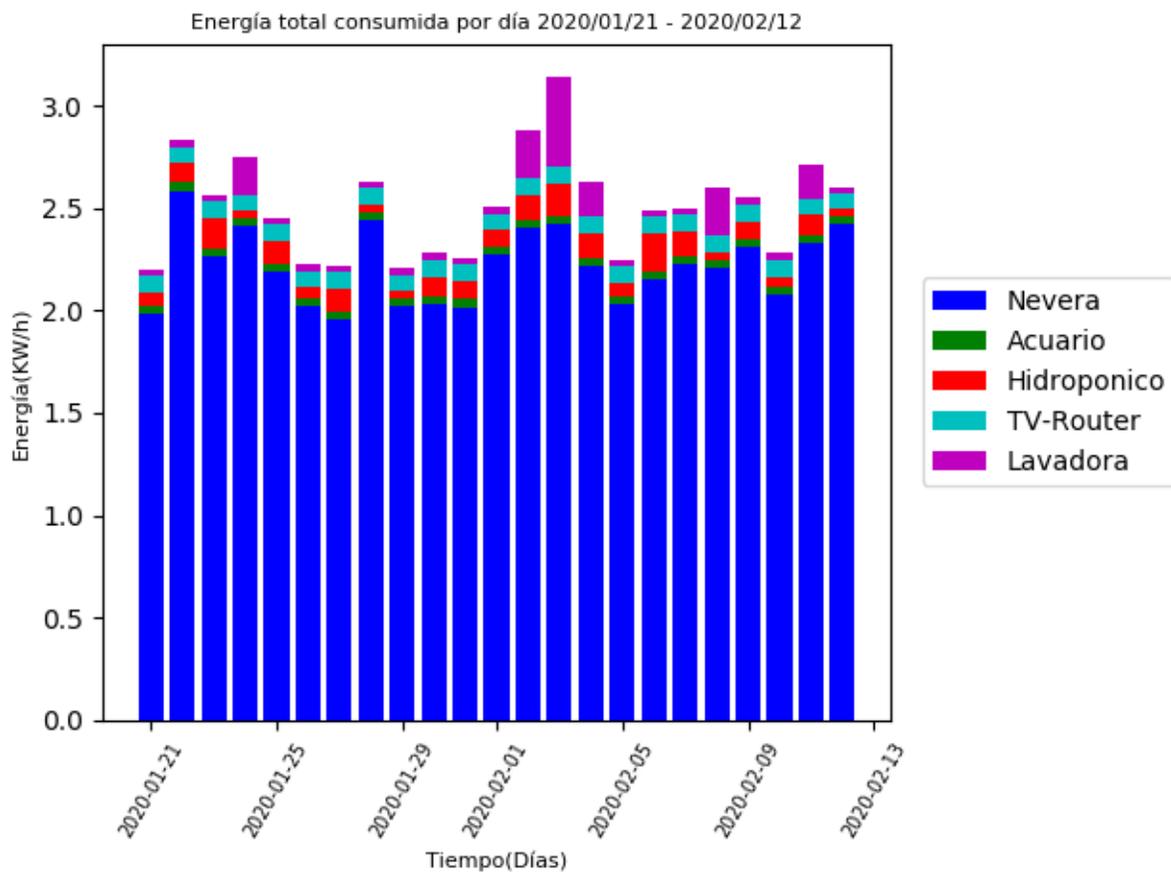


Figura 5-27: Consumos totales de energía por día segmentados por valor de consumo de cada carga (5 cargas). Hogar 2.

Tanto en el hogar uno como en el hogar dos se puede observar que la nevera es la carga que mayor consumo presenta con respecto a las demás, no obstante, se observa que en el hogar uno, el sistema que estaba conectado al TV, los cargadores de los portátiles y el *router*, entrega un valor igual de significativo al de la nevera. Caso contrario al hogar dos, el sistema que estaba conectado al TV, *router* y codificador, no presenta el mismo comportamiento y esto está relacionado con el hecho de que ese TV era el de la sala y tenían 3 televisores más en cada habitación, diferente al hogar uno que era el único televisor de la casa. También se puede observar como la nevera del hogar dos consume mucho más que la nevera del hogar uno y esto está relacionado con la diferencia socioeconómica de los dos hogares, más adelante, en los resultados comparativos entre los dos hogares, se encuentra la justificación.

Ahora, en las figuras 5-28 y 5-29 se presentan los consumos totales por carga durante la totalidad del tiempo que los sistemas hicieron el monitoreo.

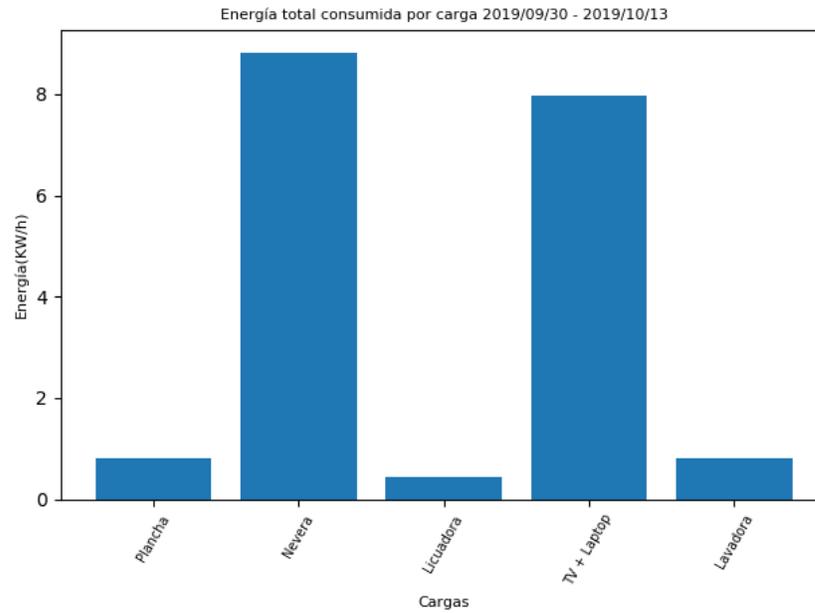


Figura 5-28: Consumos totales de energía por carga durante 14 días. Hogar 1.

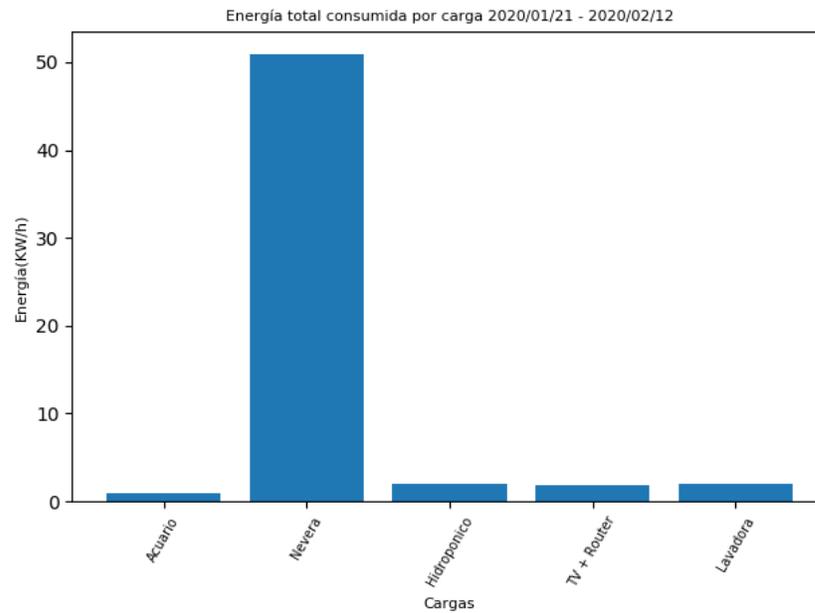


Figura 5-29: Consumos totales de energía por carga durante 23 días. Hogar 2.

El total equivalente por carga presentado en las gráficas 5-28 y 5-29 es información relevante para el usuario ya que le puede dar reporte de cuánto equivale el consumo

de cada carga monetariamente, esto durante un periodo determinado por la consulta.

Finalmente, para los análisis de consumo de energía, se presentan en las figuras 5-28 y 5-29 las gráficas de consumo total equivalente por las 5 cargas durante todo el periodo de monitoreo.

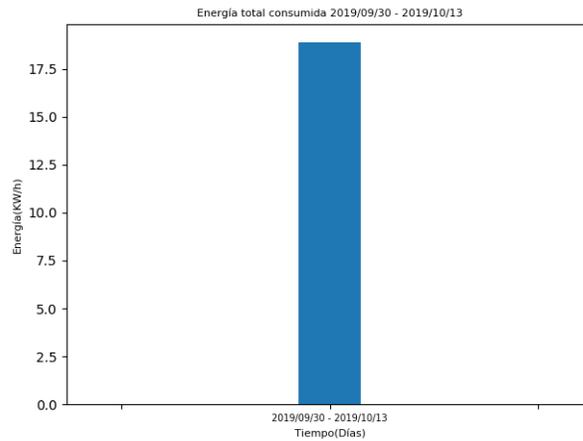


Figura 5-30: Consumo total de energía durante 14 días (5 cargas). Hogar 1.

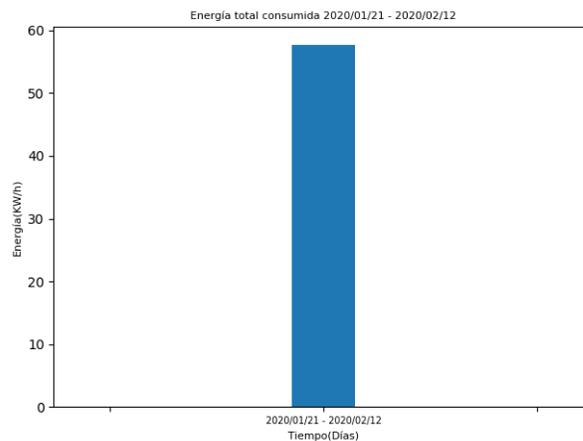


Figura 5-31: Consumo total de energía durante 23 días (5 cargas). Hogar 2.

Estos valores totales también dan al usuario información del consumo total que se está consumiendo en un periodo de tiempo, junto con esa información, se puede hacer un comparativo con el valor facturado en un mes. Esto no se lleva a cabo en este proyecto ya que no se alcanzó el periodo de medición de un mes y adicionalmente,

no se está midiendo la totalidad de cargas en los hogares.

También se hace una gráfica que presenta ilustrativamente el porcentaje de consumo de cada carga en el total del periodo consultado. En las gráficas 5-32 y 5-33 puede encontrar este resultado.

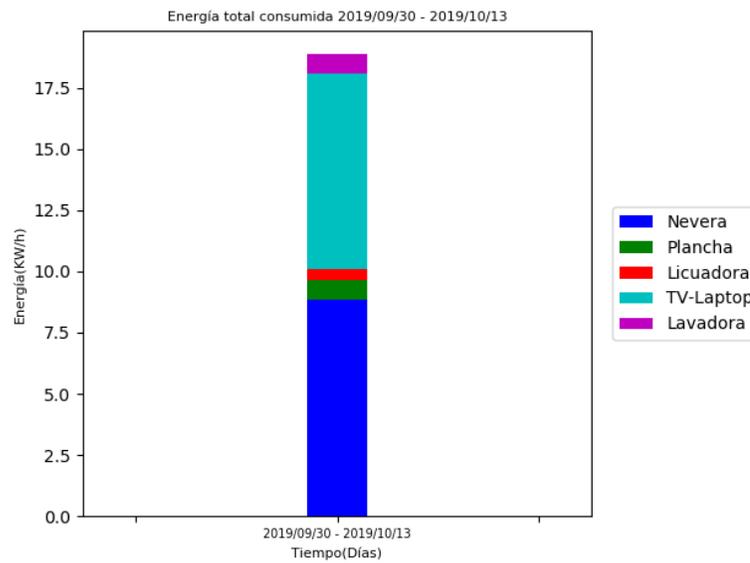


Figura 5-32: Consumo total de energía durante 14 días (5 cargas). Hogar 1.

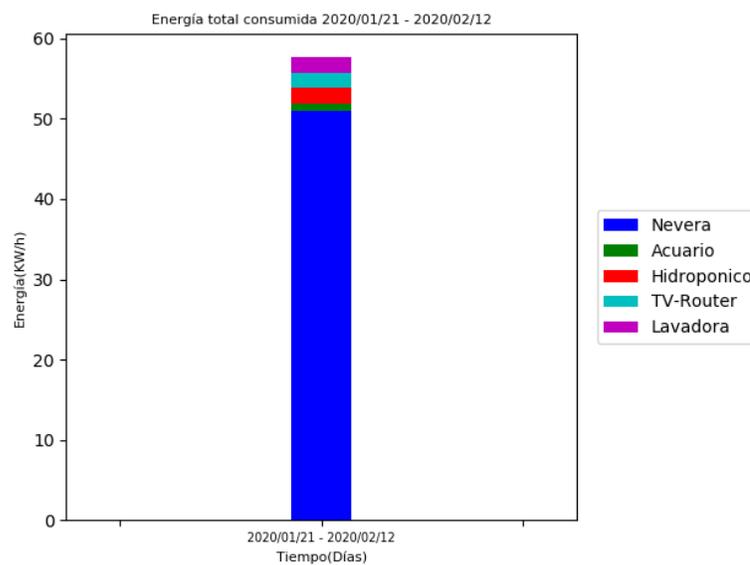


Figura 5-33: Consumo total de energía durante 23 días (5 cargas). Hogar 2.

En la sección 5.6 se referencia el estudio de universidad Distrital donde se analiza el consumo por franjas horarias [24]. En su contenido, se hacen análisis de los consumos en franjas horarias. Haciendo el mismo procedimiento, se segmentan los días por franjas horarias según el estudio. En las figuras 5-28 y 5-29 se presentan los resultados que resultan del algoritmo desarrollado para este análisis.

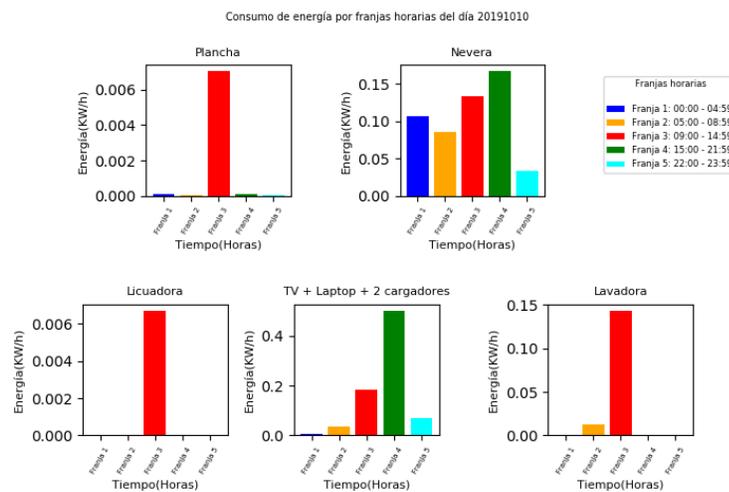


Figura 5-34: Análisis de consumo de energía segmentado por franjas horarias para el día 2019/10/10. Hogar 1.

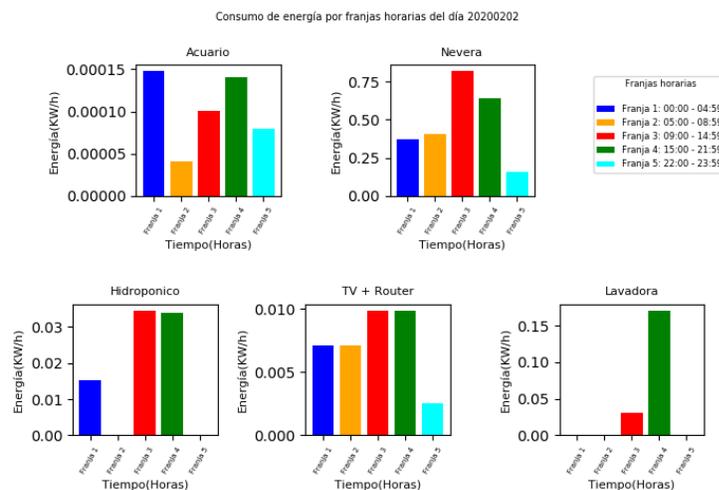


Figura 5-35: Análisis de consumo de energía segmentado por franjas horarias para el día 2020/02/02. Hogar 2.

Tenga en cuenta que para hacer una revisión de las gráficas 5-28 y 5-29 se debe contemplar desde un inicio, que las franjas horarias abarcan periodos iguales. No es correcto revisar las gráficas asumiendo que las franjas tienen la misma duración de horas. Puede encontrar estas gráficas de los consumos segmentados en franjas horarias por cada día de los dos hogares en el anexo K.

Ahora, lo que se pretende hacer es encontrar hábitos de consumo en cada carga, para ello se hace un supuesto sobre el uso por parte de los usuarios, es posible que los periodos que se presenten en el uso por parte del usuario no sean menores en tiempo a un día, lo cual limita el análisis presentado previamente cuando se hace la transformada de Fourier para los datos de un día. Por esta razón se hace necesario usar el conjunto de datos del tiempo total del periodo de monitoreo para hacer el mismo análisis en el dominio de la frecuencia. En las figuras 5-36 y 5-37 están las curvas de consumo de potencia en todo el periodo monitoreado para las cinco cargas en los dos hogares, posteriormente, se encuentran las gráficas de los comportamientos de consumo en el dominio de la frecuencia de todos los datos obtenidos

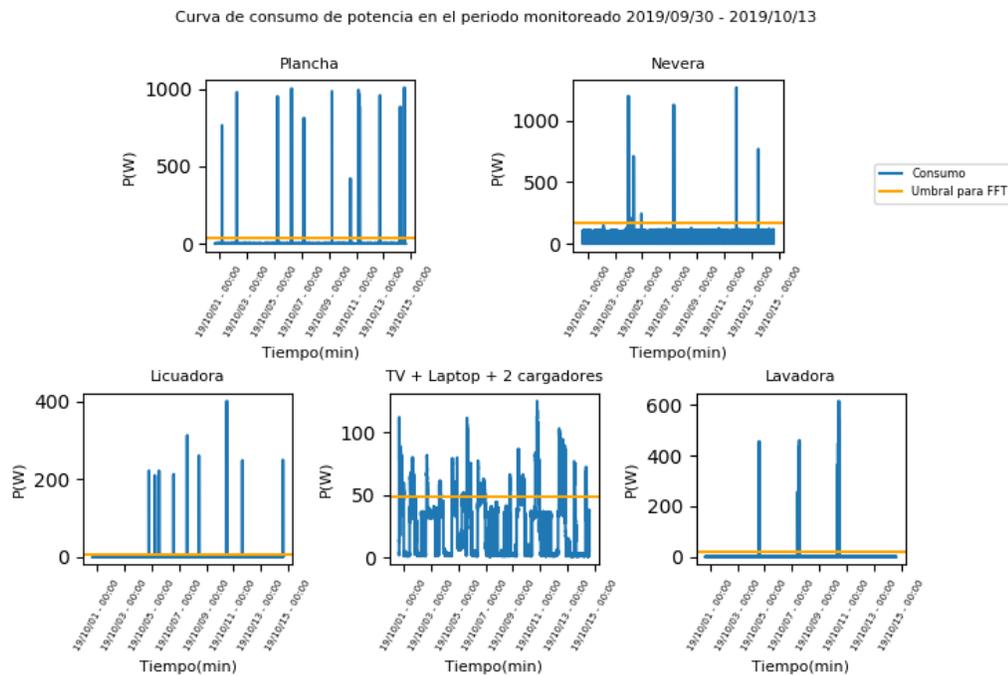


Figura 5-36: Curva de consumo de potencia en todo el periodo monitoreado. Hogar 1.

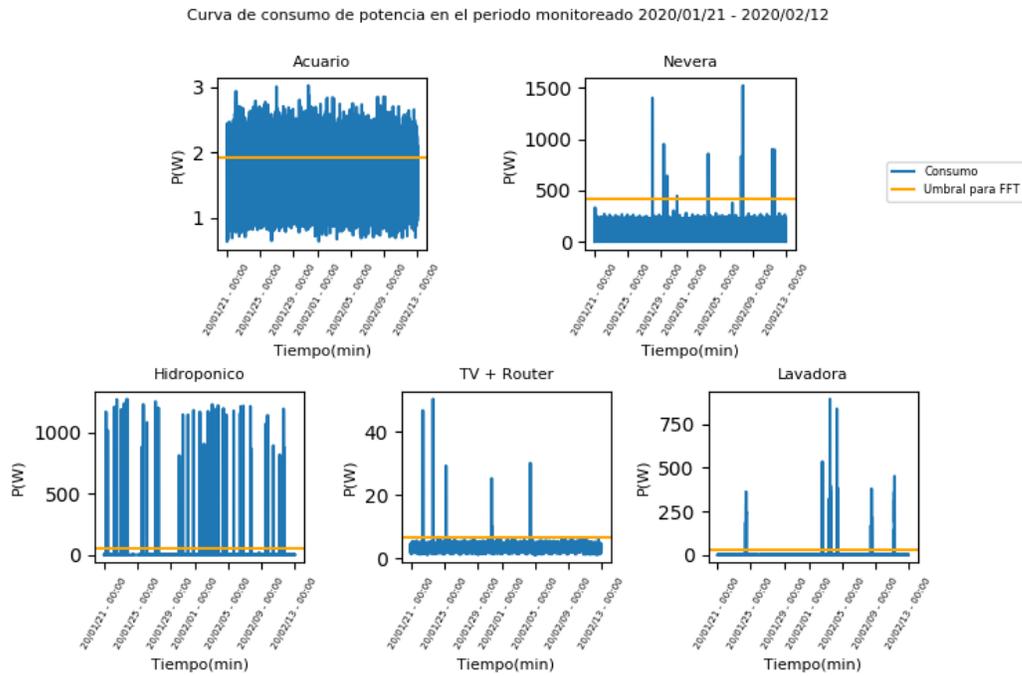


Figura 5-37: Curva de consumo de potencia en todo el periodo monitoreado. Hogar 2.

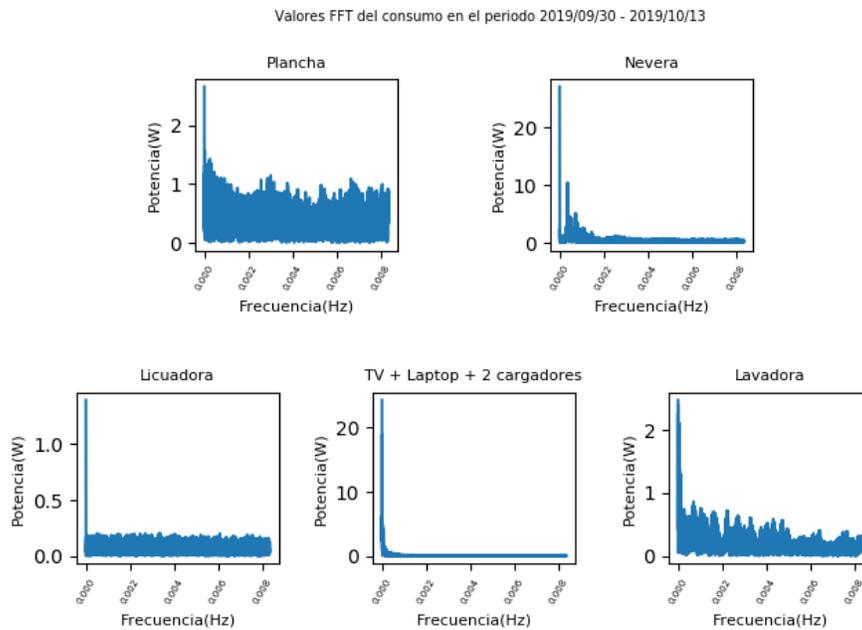


Figura 5-38: Respuesta en frecuencia del consumo de potencia en todo el periodo monitoreado. Hogar 1.

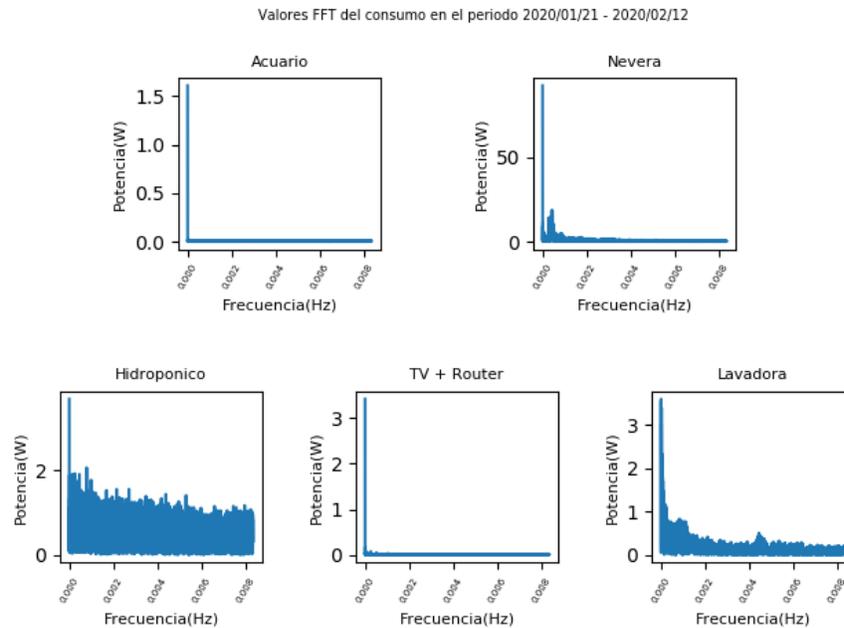


Figura 5-39: Respuesta en frecuencia del consumo de potencia en todo el periodo monitoreado. Hogar 2.

En cada carga se encuentra una frecuencia muy cercana a $0Hz$ con valor de potencia significativa y esto obedece a consumos con una periodicidad de ocurrencia alrededor de las 60 horas. Por ejemplo, para la nevera en ambos hogares, se encuentra una frecuencia cerca de los a $3.84\mu Hz$ y otra cercana a los $500\mu Hz$, valores relacionados con tiempos de ocurrencia que rondan las 72 horas y los 30 minutos respectivamente. Si embargo para este caso particular de la nevera, se sabe de antemano que su ciclo de operación obedece a un comportamiento periódico en su funcionamiento lo cual se refleja en estas frecuencias obtenidas. No obstante, no se observan valores que presenten un comportamiento que sea propiamente del usuario o no se perciben esas frecuencias de uso del equipo frente a las frecuencias dominantes del funcionamiento del equipo en sí.

Debido a esta dificultad, se hace un segundo análisis que usa los datos de medición de todo el periodo y se estima la media y la desviación estándar de las señales para obtener umbrales que puedan usarse como filtros para evaluar si en los comportamientos que son superiores a esa media obtenida más la desviación estándar, marcan algún comportamiento periódico diferente a los obtenidos hasta el momento. En las figuras 5-36 y 5-37 se marcan unas líneas horizontales de color amarillo que muestran cuál es ese valor de umbral obtenido por la media más la desviación estándar. En

las figuras 5-40 y 5-42 se presenta la curva de consumo luego del filtro estadístico y posteriormente las figuras 5-41 y 5-43 presentan el análisis en el dominio de la frecuencia de las señales filtradas.

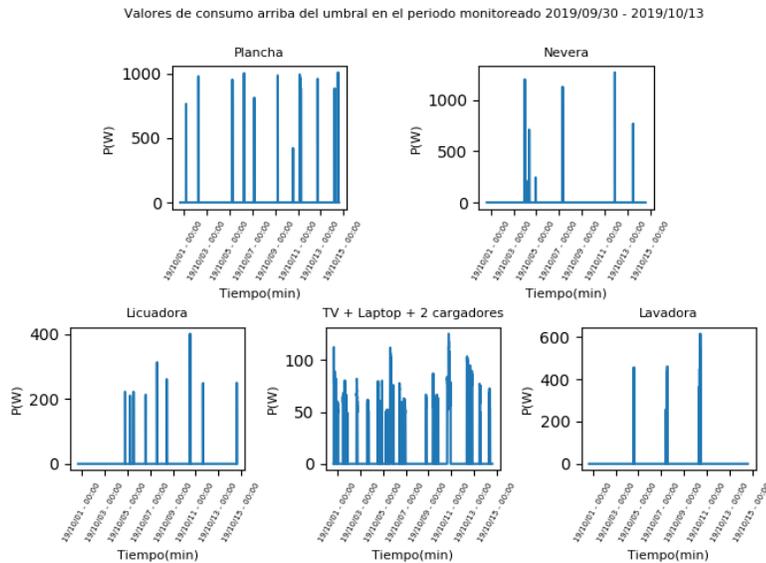


Figura 5-40: Curva de consumo con valores arriba del umbral estadístico “Media mas desviación estándar”. Hogar 1.

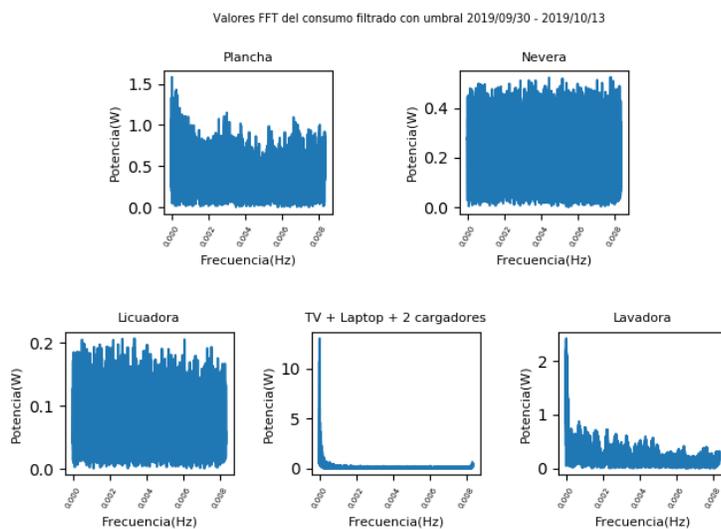


Figura 5-41: Respuesta en frecuencia de los datos con valores arriba del umbral estadístico “Media mas desviación estándar”. Hogar 1.

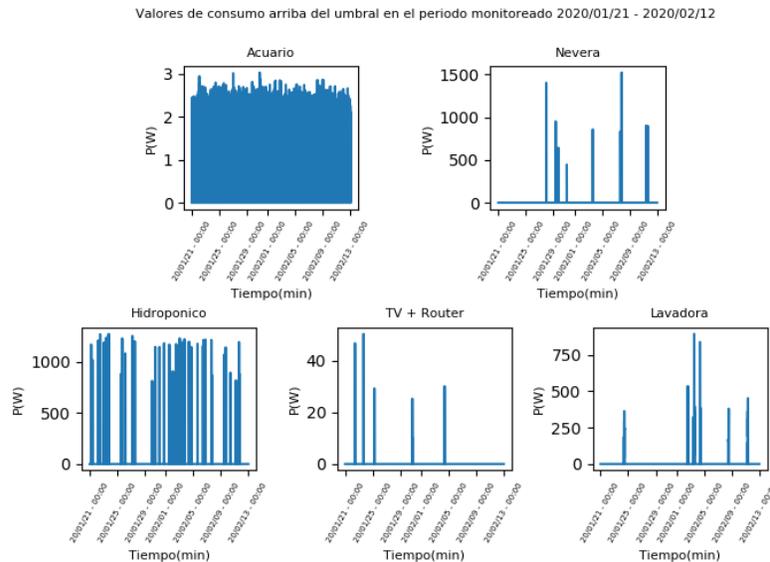


Figura 5-42: Curva de consumo con valores arriba del umbral estadístico "Media mas desviación estándar". Hogar 2.

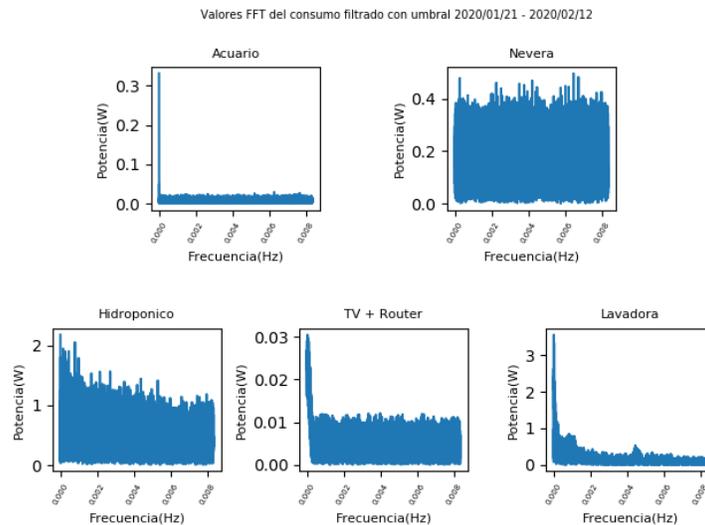


Figura 5-43: Respuesta en frecuencia de los datos con valores arriba del umbral estadístico "Media mas desviación estándar". Hogar 2.

En estas gráficas se buscan comportamientos que presenten ocurrencias casi periódicas lo que significaría encontrar un hábito de consumo, pasando por el filtro estadístico, nuevamente se hace el análisis en el dominio de la frecuencia, se encuentran los siguientes resultados.

En el hogar uno, en la plancha se encuentra una frecuencia cerca de los $200\mu Hz$ lo que significa que hay un consumo que se da aproximadamente cada 90 minutos, esta frecuencia no presenta una potencia significativa y esto obedece a que la presencia de consumos que tienen como diferencia de tiempo 90 minutos, no es frecuente a lo largo de todo el tiempo de monitoreo.

En la nevera del hogar uno no se encuentra una frecuencia destacable que brinde información sobre un hábito en su uso, en este caso se puede argumentar que, por medio del análisis de Fourier, solo se pueden observar los ciclos naturales del funcionamiento de la nevera más no ciclos de uso relacionados con el usuario.

En la licuadora tenemos el mismo resultado de la nevera, los consumos durante el periodo de monitoreo no son lo suficientemente periódicos para presentar una frecuencia destacable en la gráfica.

El televisor, el laptop, el *router* y los cargadores del hogar uno, presentan en el análisis de Fourier una frecuencia cerca de los $90\mu Hz$ con una potencia cerca de los 15W, en el dominio del tiempo se traduce esta frecuencia en un periodo cerca de las 3 horas lo cual significa que si se encuentra una periodicidad en el uso de estos equipos.

El uso de la lavadora visualmente si presenta unos picos de consumo con un tiempo aproximadamente similar en la diferencia de tiempo que existe entre cada uso, revisando los resultados en el dominio de la frecuencia, se encuentra que la frecuencia con la mayor potencia está cerca de los $4.5\mu Hz$ lo que significa que en tiempo hay una periodicidad cercana a los 2.5 días, lo que soporta el hallazgo visual de la gráfica en el dominio del tiempo.

Realizando el análisis en el hogar dos se encuentra lo siguiente: Para la carga del acuario se tiene la potencia más alta con el componente frecuencial muy cerca de $0Hz$ que está asociado a la componente DC del calentador resistivo, así como a las componentes de ruido de baja frecuencia. Durante el tiempo de monitoreo no se registró que el usuario realice las tareas de la limpieza del acuario, que se registraría como una componente frecuencial.

Al igual que lo sucedido con la nevera en el hogar uno, los resultados en el dominio de la frecuencia en el hogar dos, luego de pasar por el filtro estadístico, no presentan resultados concluyentes sobre alguna periodicidad que esté relacionada con el uso del equipo por parte del usuario.

En el bombillo del cultivo hidropónico se observan dos frecuencias que están relacionadas con un comportamiento periódico de su funcionamiento, una cerca de los $10\mu Hz$ y otra alrededor de los $800\mu Hz$, frecuencias que en tiempo presentan periodos de 27 horas y de 20 minutos respectivamente, tiempos periódicos que indican un uso con condiciones similares en consumo de potencia.

Observando ahora el equipo de medición que tenía conectado el TV, *router*, decodificador y teléfono, se encuentra una frecuencia de $0Hz$ con una potencia de $30mW$ lo cual significa un consumo constante durante el periodo de monitoreo, asociado probablemente al ruido, y este consumo presenta una potencia poco significativa frente a lo que llega a ser el mayor consumo que se observa en el dominio del tiempo que es de más de $50W$. La conclusión del análisis de esta gráfica es que no se presenta un comportamiento periódico en el uso de los sistemas conectados al equipo de medición.

Por último, se realiza el análisis del consumo de la lavadora del hogar dos en el dominio de la frecuencia, se encuentra una frecuencia cerca de los $70\mu Hz$ que pasando a valores de tiempo indican una periodicidad aproximada de 4 horas. Sin embargo, esta frecuencia no tiene una potencia tan significativa como la potencia que consume la lavadora en el dominio del tiempo. Quiere decir esto que esa periodicidad de uso no se presentó constantemente durante el tiempo de monitoreo.

Los valores de frecuencia y periodo presentados anteriormente hacen parte de los valores obtenidos por los algoritmos implementados para el análisis en el dominio de la frecuencia. Las tablas correspondientes son muy grandes para ser incluidas en este documento.

Se puede evidenciar que en algunas ocasiones si se puede encontrar comportamientos de uso habitual como por ejemplo el uso del televisor y equipos conectados a este medidor en el hogar uno y de igual manera al bombillo del cultivo hidropónico del hogar dos. No obstante, el análisis no presenta un procedimiento general para todas las cargas lo que desestima su uso para el objetivo de formular un método eficaz para encontrar hábitos de consumo, también se debe agregar que los datos apenas muestran un período de monitoreo menor a un mes y esto limita los hallazgos de periodos más prolongados y que podrían aparecer en los análisis en el dominio de la frecuencia.

Antes de cerrar los análisis de los datos en el dominio de la frecuencia, se hace una variación en la escala de tiempo en las cargas conectadas. Se hace un filtro que

toma cada 15 minutos el valor máximo de consumo para posteriormente hacer un análisis en el dominio de la frecuencia. En las figuras 5-44 y 5-45 se observa la curva resultante del filtro en el dominio del tiempo.

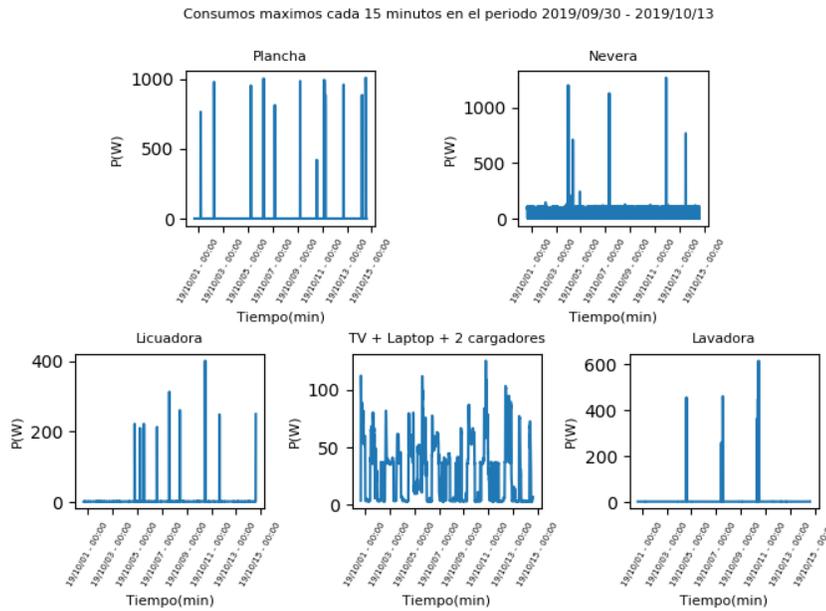


Figura 5-44: Curva de consumo con valores máximos cada 15 minutos. Hogar 1.

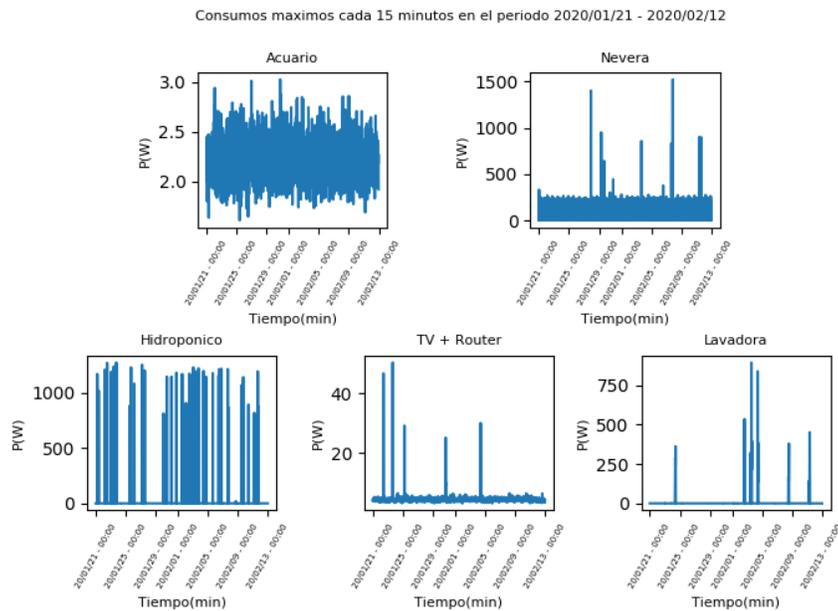


Figura 5-45: Curva de consumo con valores máximos cada 15 minutos. Hogar 2.

Las gráficas de figuras 5-44 y 5-45 no presentan gran diferencia frente a las gráficas de las figuras 5-36 y 5-37, a continuación se presenta el resultado de la transformada de Fourier de los datos filtrados con el valor máximo cada 15 minutos para hacer el análisis en el dominio de la frecuencia.

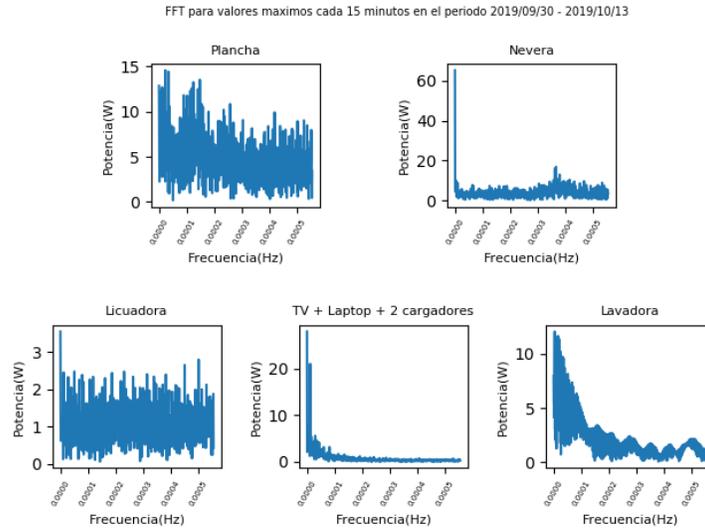


Figura 5-46: Respuesta en frecuencia de los datos obtenidos con el filtro de datos máximos cada 15 minutos. Hogar 1.

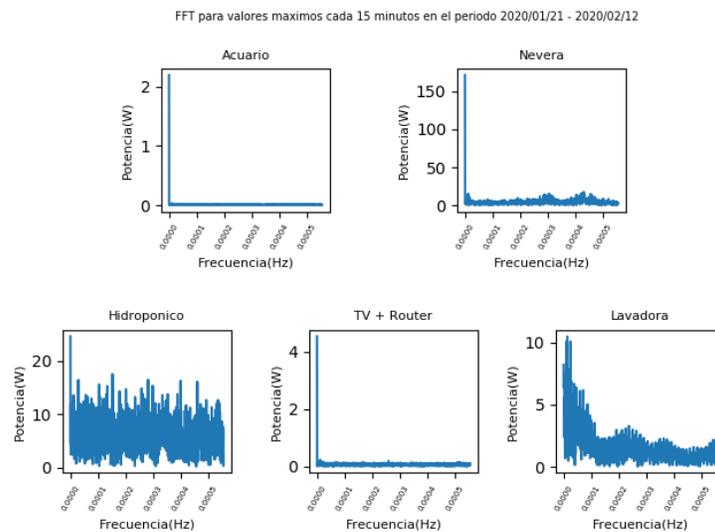


Figura 5-47: Respuesta en frecuencia de los datos obtenidos con el filtro de datos máximos cada 15 minutos. Hogar 2.

En estas gráficas se encuentran algunas frecuencias que no se hallaron previamente en los otros análisis de frecuencia realizados, se revisa cada gráfica una a una para determinar su validez.

En la plancha, en el hogar uno, se observan dos frecuencias que indican cierta periodicidad en el uso de la carga, se encuentran frecuencias en los $20\mu Hz$ y los $140\mu Hz$. Frecuencias que indican periodos de 13.8 horas y 2 horas respectivamente, lo cual indica que en algunas ocasiones durante el periodo de monitoreo se realizan consumos de energía con la plancha con esta periodicidad.

En la nevera del hogar uno, se encuentran dos frecuencias notorias; una que tiene una potencia de más de 60W y es de $10\mu Hz$ y la segunda que en potencia no alcanza a superar los 20W y es de $360\mu Hz$. En el dominio del tiempo equivalen a periodos de tiempo de 27 horas y 46 minutos aproximadamente. En la nevera es más complejo determinar encontrar frecuencias diferentes a las propias de la carga por su funcionamiento las cuales se presentaron previamente y marcaron periodos de 30 minutos. Ahora se encuentran frecuencias que indican otros periodos y se podrían asociar con hábitos de uso del electrodoméstico.

En la licuadora se encuentra una frecuencia que presenta más relevancia que en la totalidad del espectro y es en los $9\mu Hz$, su potencia alcanza casi los 4W. En tiempo, marca un periodo cerca de 30 horas. Significa entonces que durante los 14 días de monitoreo se presentó un consumo cada 30 horas que pudo no presentarse constantemente pero que se presentó en varias ocasiones y se reflejó en este resultado.

En el equipo que realizó las mediciones del televisor, *router*, laptop y cargadores ya se había encontrado una frecuencia particular en análisis previos que ya encontraban una periodicidad en su consumo, en los $90\mu Hz$ se encontró una periodicidad en el uso de alguno de los elementos conectados. En este análisis luego del filtro, se encuentra una frecuencia de $20\mu Hz$, en tiempo, el periodo asociado corresponde a 13.8 horas. Es complejo hacer una afirmación asociando este periodo de uso sobre alguno de los elementos conectados al equipo de medición, puede ser una frecuencia encontrada por el hábito de uso de una de las cargas o también podría ser de la totalidad de ellas, lo cierto es su relevancia ya que marca más de 20 W en su potencia.

En la lavadora del hogar uno, luego de hacer el filtro se obtiene una gráfica en el dominio de la frecuencia que presenta una frecuencia principal cerca de los $8\mu Hz$. El periodo asociado a esta frecuencia es de más de 30 horas y corresponde a lavados

que fueron realizados con esta diferencia de tiempo.

En las gráficas de la figura 5-47 correspondientes a la transformada de Fourier de los datos luego del filtro de valores máximos cada 15 minutos, se encuentra lo siguiente:

En la carga del acuario, en las tablas de resultados, aparece que su única frecuencia en donde la potencia es significativa está cerca de los $0Hz$ lo cual está relacionado con una no periodicidad en el funcionamiento o uso de esta carga. Se ha mencionado previamente que es un calentador resistivo para agua más una motobomba y una luz led. Estas cargas del acuario de por si funcionan independientes del usuario por lo que los hábitos estarían asociados al funcionamiento de los equipos, cuya potencia no resultó notoria en este análisis.

En la nevera del hogar dos se presenta una frecuencia con una potencia bastante significativa en todo el espectro y es en los $8\mu Hz$. Se relaciona esta frecuencia con un periodo de más de 34 horas y marca esto una periodicidad en el consumo de la nevera diferente a las frecuencias halladas durante los análisis de la carga previamente que mostraban frecuencias del ciclo de funcionamiento cerca de los $550\mu Hz$. Al igual aparecen unas pequeñas potencias que no alcanzan los $10W$ en frecuencias alrededor de los $300\mu Hz$ y $425\mu Hz$, en tiempo corresponden a 55 minutos y 40 minutos respectivamente, estos periodos que presentan un consumo poco significativo frente a los consumos de valores altos relacionados con los ciclos propios del funcionamiento de la nevera pueden estar asociados al uso del electrodoméstico por parte del usuario.

En cuanto al bombillo del cultivo hidropónico, se encuentra una frecuencia en los $10\mu Hz$ en donde la potencia asciende a más de $25W$, el periodo correspondiente a esa frecuencia es de 27 horas. Ya en esta carga se habían detectado frecuencias relacionadas con el uso, a esto se le suma esta nueva periodicidad en el uso de esta carga.

La siguiente gráfica correspondiente al televisor con el *router* y el teléfono, se encuentra una única frecuencia significativa cerca de los $9.5\mu Hz$, corresponde a 29 horas en el dominio del tiempo y esto supone un uso periódico de estos elementos con esta diferencia de tiempo.

Finalmente, observando la gráfica de los datos resultantes de la FFT de los datos filtrados con consumos máximos cada 15 minutos en la lavadora del hogar dos, se encuentra una frecuencia en $20\mu Hz$, su valor en periodo es de 13.8 horas y se debe

a un uso que se presenta con esta diferencia de tiempo.

Este procedimiento con el filtro de valores máximos cada 15 minutos empleado para el análisis, arroja mejores resultados en hallazgos de periodicidad en el comportamiento de consumo del usuario, la relación directa que existe entre las diferencias de tiempo en donde se presenta un consumo y su componente frecuencial en el dominio de la frecuencia, determina que este método si permitió encontrar hábitos de consumo del usuario. En la tabla 5-2 se observa un resumen de los resultados obtenidos según los filtros aplicados.

Tabla 5-2: Tabla resumen de resultados

Hogar	Carga	Con filtro (Media + desviación estándar)	Con filtro (Valores máximos en intervalos cada 15 minutos)
Hogar 1	Plancha	83,3 min	13,88 h; 1,98 h
	Nevera	No concluyente	27,77 h; 46,29 min
	Licnadora	No concluyente	30,86 h
	TV+Laptop+Router+22 cargadores	3,08 h	13,88 h
	Lavadora	2,57 días	34,72 h
	Acuario	Nivel DC	Nivel DC
Hogar 2	Nevera	No concluyente	34,72 h; 55,5 min; 39,21 min
	Hidropónico	1,15 días, 20,83 min	27,77 h
	Tv + Teléfono + Router + Decodificador TV	No concluyente	29,23 h
	Lavadora	3,96 h	13,88 h

Un último análisis que se realiza para encontrar hábitos de consumo es usando procedimientos de correlación, a continuación, se presentan los resultados de estos procedimientos.

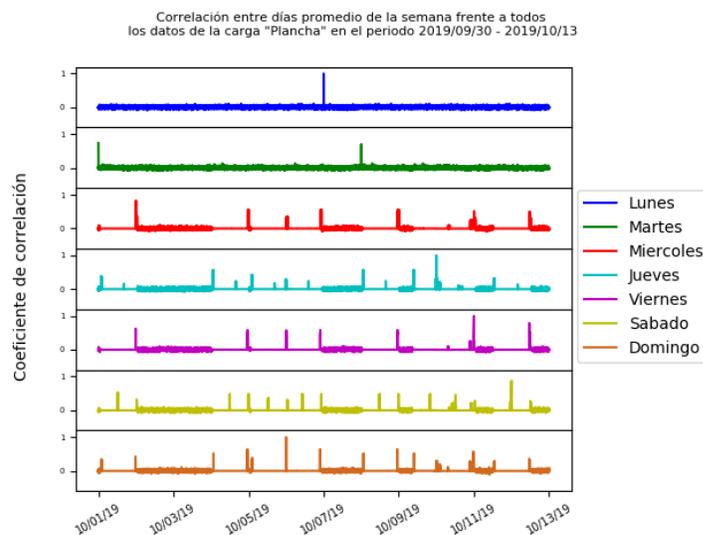


Figura 5-48: Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Plancha". Hogar 1

En la figura 5-48 se encuentran las gráficas de correlación entre los datos de consumo de la plancha durante todo el periodo de monitoreo y los datos de consumo de cada día de la semana promediado. En cada una de las correlaciones por cada día, se encuentra el máximo valor de correlación perfectamente ubicado precisamente en el día de la semana asociado, Por ejemplo, el promedio de los lunes logra la máxima correlación con los datos de todo el periodo de monitoreo el día 10/07/19 el cual es un lunes. No obstante, no se presenta ningún otro valor que presente un comportamiento con correlación significativa que arroje un consumo similar en otra fecha de todo el periodo de muestreo. De igual manera, el martes promedio solo aparece con correlaciones significativas en los días correspondientes por fecha al martes.

En el caso del miércoles promedio, la correlación es significativa en varios días en todo el periodo de muestreo, esto indica que el comportamiento de uso que se realiza el miércoles es similar al comportamiento en otros días de la semana. Por ejemplo, el día 10/05/2019 que es un miércoles presenta una alta correlación con el miércoles promedio lo que indica un comportamiento de consumo similar que puede presentarse como un hábito. A su vez, observando la correlación del sábado promedio frente a todos los datos, se encuentra que en las fechas que son de miércoles, se presenta un coeficiente de correlación significativo.

En el anexo L se encuentran las correlaciones realizadas de las 5 cargas en los dos hogares.

Adicional a los resultados y análisis presentados, se aprovecha el hecho de haber obtenido datos de dos hogares diferentes, para enfrentar los resultados de cada hogar y observar a modo general una comparación de consumo relacionada con el estrato socioeconómico de cada hogar. Para ello se realiza un promedio de cada día de la semana debido a que los periodos de muestreo fueron de diferente duración. Además, no es una relación enteramente balanceada debido a que en los dos hogares no se midieron las mismas cargas. Pero haciendo una evaluación en las cargas que, si están relacionadas, se pueden hacer las comparaciones mencionadas. En las figuras 5-49 y 5-51 se observan las semanas promedio de cada hogar y en las figuras 5-50 y 5-52 las gráficas de la semana promedio de cada carga.

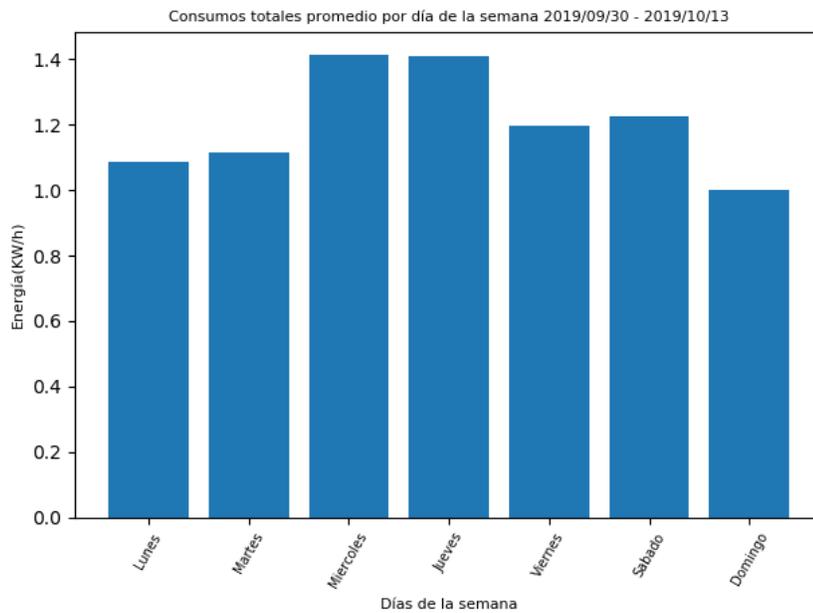


Figura 5-49: Valores promedio de consumo total de energía en cada día de la semana en el hogar 1

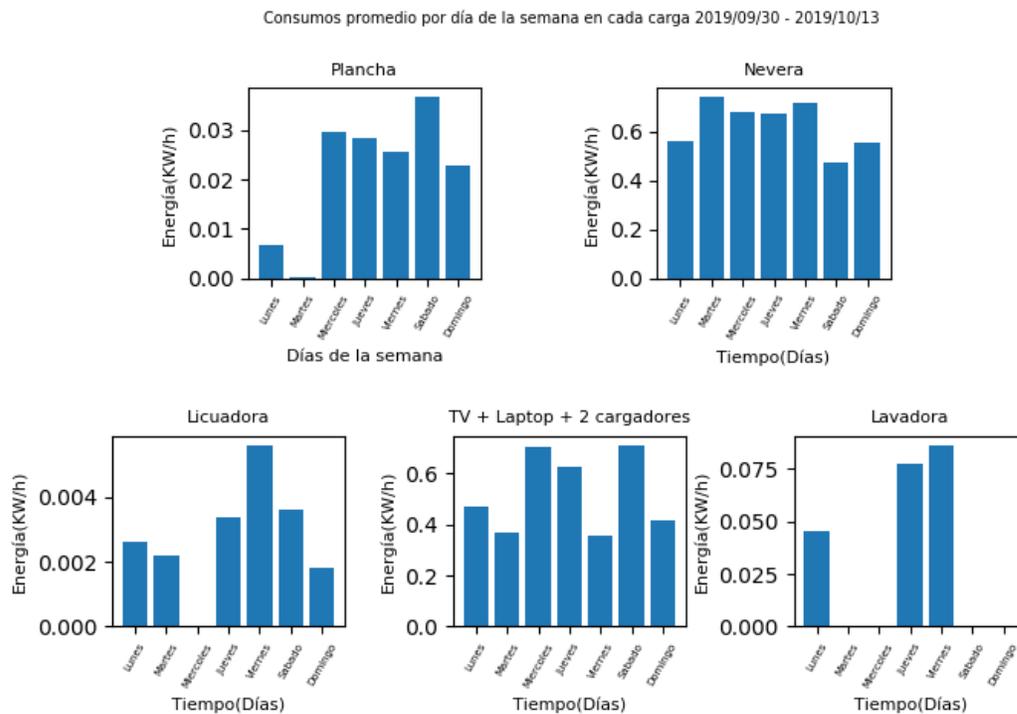


Figura 5-50: Valores promedio de consumo de energía por carga en cada día de la semana en el hogar 1

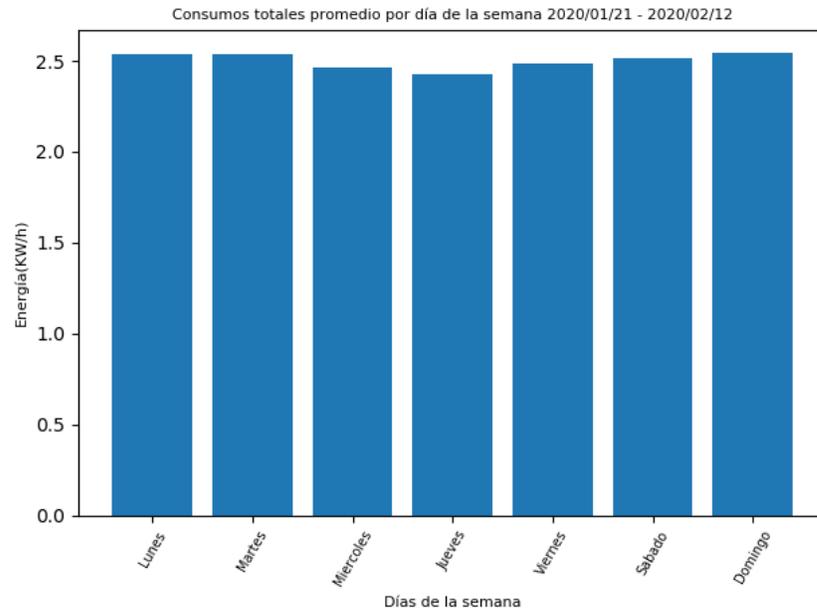


Figura 5-51: Valores promedio de consumo total de energía en cada día de la semana en el hogar 2

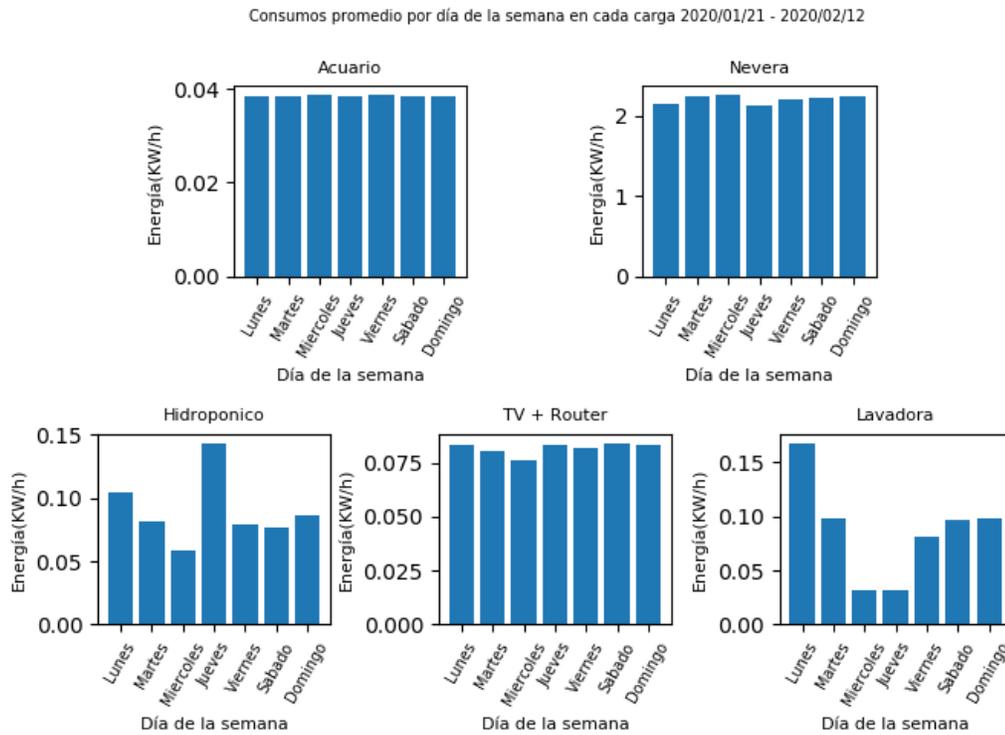


Figura 5-52: Valores promedio de consumo de energía por carga en cada día de la semana en el hogar 2

Enfocando la perspectiva en cuanto a niveles totales, se observa que en el hogar 1 se consume entre $1kWh$ y $1.4kWh$ en promedio en cada día de la semana, mientras que en el hogar dos, el consumo es más estable y está alrededor de los $2.5kWh$. Pero, teniendo en cuenta lo que se mencionó acerca de que las cargas medidas no son las mismas, se hace una comparación únicamente de las cargas que si están directamente relacionadas. En la figura 5-53 se presenta esta gráfica comparativa.

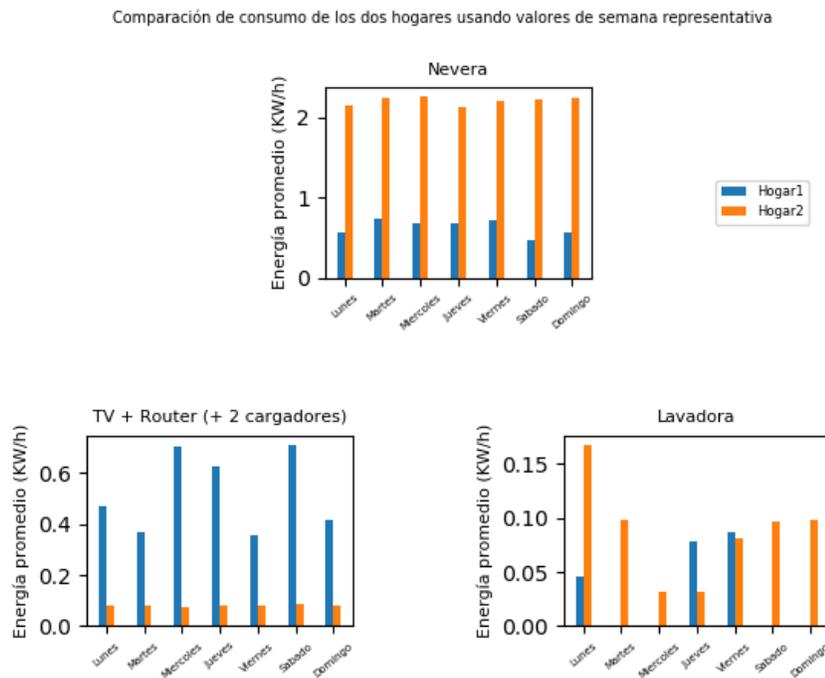


Figura 5-53: Valores promedio de consumo de energía por carga en cada día de la semana en el hogar 2

Una de las cargas que permite hacer una comparación directa es la nevera, se observa en la figura 5-53 que en el hogar dos, la nevera hace un consumo mucho mayor que la nevera del hogar 1.

En el equipo de medición donde se conectan el televisor y el *router*, también se puede hacer una gráfica comparativa, no obstante, se ha explicado que en los dos hogares hay más cargas conectadas a la medición y, además, diferentes en este punto, lo cual limita una comparación directa. Sin embargo, se presenta la gráfica y se observa que en el hogar 1 se realiza un consumo mucho mayor que en el hogar dos y esto está relacionado con el hecho de que en el hogar 2 no se usó tanto el televisor

como en el hogar 1.

Otra de las cargas que también permite hacer una comparación directa es la lavadora, se puede observar que en algunas ocasiones la lavadora del hogar 1 y del hogar 2 presentan casi las mismas magnitudes de consumo. No obstante, se ve que la lavadora en el hogar 2 se usa más días en la semana.

Para hacer un análisis de esta comparación de consumo en los hogares, también es importante conocer en sí, los valores reales de consumo de los hogares, en el anexo M se encuentran las imágenes de las facturas de energía de los dos hogares.

Con la información que se proporciona en las facturas, se construye la tabla 5-3 la cual presenta los valores totales así como los porcentajes de medida proyectados en un mes.

Tabla 5-3: Comparación de los consumos de energía en los dos hogares

	Consumo promedio por día	Proyección de consumo en un mes	Consumo facturado	Porcentaje de consumo medido en consumo facturado
Hogar 1	1.2 kWh	36 kWh	43 kWh	83.7 %
Hogar 2	2.5 kWh	75 kWh	146 kWh	51.3 %

Lo que más se resalta en esta tabla es el hecho de que en el hogar 1, el sistema de medición casi abarca en su totalidad la medición del consumo de energía de todo el hogar, mientras en el hogar 2, la medición solo refleja un poco más del 50 % de lo que es el consumo total.

Otros aspectos interesantes a mencionar en esta comparación son los estratos de los hogares, el hogar 1 es estrato 4 y el hogar 2 es estrato 3. A primera vista no tiene relación el consumo de energía de cada hogar con el estrato socio-económico, no obstante, si se añade más información como que los usuarios del hogar 1 viven en arriendo y los del hogar 2 viven en casa propia y además, el hogar uno es un apartamento y el hogar 2 es una casa de 3 pisos, entonces si se ajustarían los resultados obtenidos a las características de cada hogar.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

Por medio de los circuitos diseñados e implementados para la medición de voltaje y corriente, se logra obtener las señales de estas variables con magnitudes aptas para la lectura del microcontrolador.

Las formas de onda de las señales sinusoidales rectificadas se almacenan adecuadamente en el microcontrolador luego de su conversión análogo-digital, bajo la observación de estas señales en formato digital, se verifica el correcto almacenamiento ya que la forma de onda como el periodo de la misma son aproximadamente comparables con los resultados obtenidos en los procedimientos matemáticos de diseño y con las mediciones físicas, los errores luego de obtener las señales están por debajo de un 5 % lo cual es un umbral aceptable para este proyecto.

Los osciladores internos que usa el microcontrolador para realizar la conversión análogo-digital permiten lograr la cantidad de muestras suficientes para detectar hasta el onceavo armónico de las señales de voltaje y corriente cubriendo así los armónicos presentes en hogares. Al capturar 256 mediciones por periodo de la señal, se logra cubrir frecuencias de hasta 7680Hz, valor 11.63 veces más grande que los 660Hz del onceavo armónico.

El proceso de calibración que se realiza a cada equipo logra satisfacer los umbrales de aceptabilidad para este proyecto. En medición de voltaje se logra en todos los equipos errores menores al 5 %. En cuanto a la corriente, los errores oscilan entre 0.1 % y el 40 %, no obstante se aclara que, tal como se hizo en el planteamiento del diseño, al no contar con un sistema de auto escala, el equipo se calibra según su comportamiento inicial en la precisión de su respuesta, luego de clasificar y calibrar bajo esa premisa, los equipos en su rango no superan errores mayores al 5 %.

La adaptación de la multitoma de dos entradas para cargas AC en la caja principal del dispositivo es exitosa, se logra con este ajuste, evitar cablear una extensión por

un orificio haciendo que se tengan no dos sino un cable saliente del equipo. De la manera en la que queda dispuesta la multitoma, hace más práctico el uso por parte de los usuarios que lo reconocen a primera vista como un multitoma convencional.

Los diez equipos implementados logran hacer las mediciones de voltaje, corriente y potencia con errores aceptables. Adicionalmente, sus pruebas de comunicación y envío de información a la base de datos son satisfactorias.

Durante los catorce días que estuvo el sistema implementado en el hogar uno y los veintitrés días que el sistema estuvo en operación en el hogar dos e incluyendo todos los días de trabajo en laboratorio, el envío de datos entre dispositivos siempre fue exitoso, más allá de las pruebas de conectividad que mostraron pérdidas del 1 %, en cuanto a datos de medición, siempre fueron capturados y almacenados logrando así una tasa de pérdida de datos del 0 % en campo.

Al realizar la integración de todos los equipos de medición y el micro servidor en la red de sensores, se obtiene comunicación con cada uno de ellos. Los procesos que realiza el micro servidor al consultar las tablas donde se almacenan las direcciones IP y luego solicitar a cada dirección el resultado de la medición, se recibe en forma inmediata. Se realizan pruebas de distancia y hasta los quince metros y una pared como obstáculo, se logra la transmisión de datos.

El procedimiento para establecer la tarjeta *Raspberry Pi Zero Plus B* como micro servidor no requiere de elaborados procesos de hardware más si de firmware, desde la instalación del sistema operativo *Raspbian* hasta el desarrollo de los flujos de proceso para la solicitud, recepción y almacenamiento de los datos de medida, se realiza por medio de herramientas de programación como *MariaDB*, *Thonny*, *NODE-RED* y la consola del sistema, entre otros. En estas herramientas se trabaja con lenguajes de programación como *Python*, *Javascript*, *MySQL* y comandos de consola. Al realizar toda la ejecución de algoritmos que se presentan en los anexos F y G, finalmente la información logra recorrer su camino desde la lectura del sensor hasta el almacenamiento en la base de datos.

En el micro servidor también fue posible establecer los algoritmos para el análisis de los datos, por medio de la herramienta *Thonny* y usando *Python* como lenguaje de programación, se logra establecer conexión desde el algoritmo con la base de datos para solicitar la información y procesarla según sea conveniente. A partir del establecimiento de este vínculo entre los datos y el procesamiento, el sistema quedó

funcionalmente óptimo para el procedimiento de análisis de datos.

Basándose en los resultados obtenidos, se puede hacer una comparación visual entre la curva de consumo de potencia en una nevera con los datos obtenidos en esta carga, se observa una forma de onda aproximadamente equivalente lo que evidencia una correcta lectura de consumo en el electrodoméstico. Se desearía realizar una comprobación correlacional de semejanza entre lo obtenido y lo publicado por los fabricantes del electrodoméstico, pero esos datos no están modelados y dispuestos para el público y construir la gráfica, podría sesgar e invalidar el procedimiento.

Durante la ejecución del proyecto, se evaluaron diferentes métodos para el análisis de los datos, por ejemplo máquinas de soporte vectorial, redes neuronales, clustering entre otros, no obstante para implementar estos algoritmos, debe ser considerable la cantidad de datos y además deben ser datos correspondientes a una referencia ya establecida como patrón para evaluar la equivalencia con los nuevos datos. En la revisión bibliográfica realizada, no se encuentran este tipo de datos de consumo de energía eléctrica por carga en hogares, una posible razón de no hallar información de este tipo es debido a la aleatoriedad de características socio-económicas, de ubicación geográfica, de número de personas y de tipos de electrodomésticos de un hogar.

Luego de caracterizar a la persona promedio en Colombia según las estadísticas del DANE presentadas en capítulos anteriores, se concluye que el usuario objetivo que usará el sistema, no requiere de información elaborada más allá de la que le informe sobre totales de consumo y la periodicidad con la que realiza sus consumos, variables de interés porque puede compararlas con los consumos facturados en el mes. Por tal razón, los análisis de consumos parciales y totales y los realizados en el dominio de la frecuencia son suficientes para realimentar al usuario sus hábitos de consumo. La evaluación de los resultados obtenidos por los algoritmos debe ser realizada propiamente por el usuario, la interpretación que le de el usuario a la información cae dentro de la libertad y la toma de decisiones que tiene el individuo.

Se concluye que usando el algoritmo de análisis del consumo en el dominio de la frecuencia con el filtro de valores máximos cada 15 minutos, se hacen los mejores hallazgos en cuanto a periodicidad asociada al uso por parte del usuario, de igual manera, los algoritmos de análisis de consumos totales también presentan resultados satisfactorios para estimar el consumo de cada carga en el hogar. Algoritmos de análisis como el de correlación o el del análisis en el dominio de la frecuencia con el filtro de valor medio más desviación estándar, presentan resultados parciales satis-

factorios, pero no aplicables para todas las cargas. Se plantea la hipótesis de hacer un estudio más profundo sobre estos procedimientos refinando los algoritmos y con una cantidad de datos mayor para que valide estadísticamente los resultados.

Todos los algoritmos implementados, así como los resultados obtenidos, fueron trabajados, ejecutados y presentados usando el computador *Raspberry Pi Zero W*.

6.2. Recomendaciones

En el procedimiento de diseño e implementación, se plantea el desarrollo de dos sistemas que se logran sin inconvenientes. Hay un tercer hogar en donde se hace el respectivo monitoreo, al momento de retirar el sistema y revisar la base de datos, se encuentra que la información está dañada o mal almacenada, se descarta esta medición y después de un proceso de diagnóstico y detección del problema, se encuentra que la tabla de direcciones IP esta con las direcciones correctas pero con comas en lugar de puntos.

Atenuar la señal de voltaje es un proceso que requiere de cuidados con las tierras flotantes, en un inicio se diseña la atenuación con un transformador lo cual es ideal para disminuir la magnitud de la señal pero su tamaño no es adecuado para el sistema, luego se diseña la atenuación con un divisor de tensión usando dos resistencias de precisión y con valores que entreguen una magnitud aceptable por el circuito electrónico, no obstante al realizar este procedimiento es necesario usar un amplificador de instrumentación para tomar la diferencia de potencial de la resistencia sensora. Al realizar este proceso se analiza que no es posible hacer la medición directamente ya que el neutro o la fase de la señal AC quedaría conectado directamente a uno de los pines de entrada del amplificador y ocasionaría daños irreparables, finalmente se usa un divisor de tensión con tres resistencias, dos de ellas aíslan los pines de entrada del amplificador del instrumentación y permite dar referencia a esa señal flotante con la tierra del circuito sin peligro alguno.

Para la medición de corriente se realiza una única escala y esto trae como consecuencia intervalos en donde el error es bajo y aceptable e intervalos en donde se eleva el valor del error, se utilizó el resultado de las tablas de error para clasificar a los equipos SEM y determinar que cargas eran apropiadas para ser conectadas a cada uno. Se recomienda en un trabajo posterior implementar un sistema de auto escala que permita un ajuste automático en los parámetros de la medición y entregar

resultados de error aceptables en todo el rango de medida.

El enfoque de este proyecto se basa en la construcción de un sistema que recopile datos para su análisis, pero indiscutiblemente existen múltiples procesos que requieren de alta fidelidad en su desarrollo, un ejemplo de ello es la seguridad de la red y otro es la precisión de la medición, en este último aspecto se realiza un trabajo alineado con normas nacionales de calibración pero por limitaciones de presupuesto no se llega a una certificación, se propone para nuevos trabajos sobre el proyecto la inclusión de mecanismos de mejoramiento en la medición para lograr la certificación de los sistemas.

Todos los resultados obedecen solo a la medición de cinco cargas y esto limita una comparación de resultados con los costos totales facturados en los recibos de energía, la cantidad de cargas en un hogar varía de acuerdo con el estrato y a la estructura de un hogar, en promedio se necesitarían más de 20 nodos para cubrir la totalidad de las cargas.

Cuando se realizan los primeros avances en el firmware del microcontrolador, se observa que los datos a enviar son de tipo flotante y se envían los valores de potencia activa calculados en dos periodos de las señales de voltaje y corriente. para este cálculo se requiere que la totalidad de los datos de dos periodos de las señales rectificadas de voltaje y corriente se encuentren localmente en el microcontrolador de manera que al terminar el ciclo de muestreo, se ejecute el algoritmo del cálculo de la potencia, mientras se ejecuta este proceso, el consumo por parte de la carga continua y será un consumo que no es medido, por tal razón se recomienda que en los trabajos que se enfoquen en este tipo de desarrollos, trabaje con microcontroladores que puedan ejecutar múltiples procesos de manera que mientras realiza los muestreos de las señales, simultáneamente pueda hacer los cálculos sobre las señales de los periodos anteriores.

Con los microcontroladores que ejecutan múltiples procesos también se pueden implementar mediciones de energía reactiva y de variables que no se pueden determinar con un algoritmo de sumatoria y promedio de potencias instantáneas, los microcontroladores que realizan estas múltiples tareas, cuentan con motores DSP que son capaces de realizar cálculos complejos como las transformaciones de los datos al dominio de la frecuencia sin requerir más tiempo del que se necesita para realizar el procedimiento para el siguiente periodo.

Lo anterior conlleva a otra situación que debe ser tomada en cuenta para aumen-

tar la cantidad de mediciones. El almacenamiento de los datos en este proyecto se hace en una *Raspberry Pi Zero Plus B* y como se explica en la sección 4.2, se usa una tarjeta SD para el almacenamiento de los archivos de arranque y ejecución del sistema operativo. Además, ese uso de memoria no es el único que se realiza en la tarjeta SD, los datos entrantes de las mediciones, así como los datos temporales y archivos de ejecución de los algoritmos de análisis, también empiezan a almacenarse en esa memoria y después de realizar mediciones en aproximadamente un mes, se puede llegar fácilmente al límite de capacidad de una memoria de 16GiB. En este punto se recomienda establecer un servidor de mayor capacidad o establecer en este caso servidores web de manera que se pueda incrementar la capacidad de almacenamiento y tener la posibilidad de contar con datos de medida por un año o incluso más.

El cerramiento eléctrico se elige de acuerdo con el tamaño de la tarjeta, a sus componentes internos y aún más importante, de acuerdo con el entorno en el que opera el equipo. En un inicio la tarjeta se adapta correctamente a la caja seleccionada pero luego, al necesitar de las conexiones con la multitoma y con la red eléctrica, se hacen agujeros a la medida de los cables, pero se pierden las características de cerramiento eléctrico. Se sugiere realizar un diseño industrial que permita incluir estas interfaces cableadas desde la concepción dimensional del equipo para lograr un cerramiento eléctrico certificable.

Una de las recomendaciones más importantes para trabajos futuros está relacionada con mejorar y aumentar la cantidad de datos de consumo de energía, pero para ello es indispensable aumentar la cantidad de tiempo de monitoreo en un hogar. Si se logrará medir durante un mes incluso durante un año o más, el banco de datos obtenidos podría ser bastante enriquecedor para hacer procesos de análisis más complejos y determinar si en alguna medida pueden establecerse patrones de consumo en un hogar.

Es importante mencionar que el cálculo de potencia reactiva y de algunas otras variables como factor de potencia, distorsión armónica, entre otros. No se hace en este proyecto debido a la ausencia de estas variables en grandes magnitudes en el sector residencial. No obstante, Las empresas públicas de Medellín ya publican en sus reportes que en los próximos años, en el sector residencial se podrán instalar autogeneradores a pequeña escala y para que estos se puedan sincronizar con la red eléctrica principal, deberán satisfacer los límites establecidos de estas variables [41]. Por tal razón se recomienda hacer una segunda versión del equipo de medición en donde se puedan hacer las mediciones de las variables mencionadas. Así mismo,

también se recomienda que estos dispositivos sean certificados en metrología para todas las variables de medición involucradas.

El desarrollo del proyecto no hace un estudio que evalúe el costo beneficio del sistema en operación, para hacer esto se requiere una toma de datos en un tiempo más prolongado y adicionalmente, un estudio del comportamiento de las personas y su toma de decisiones con esta información, esto presenta una oportunidad de estudio que se puede abordar en un proyecto de investigación posterior.

Bibliografía

- [1] AFANADOR, E. ; ZAPATA, J. ; NUÑEZ, J. ; RAMIREZ, R. ; YEPES, T ; GARZÓN, J.: Análisis de la situación energética de Bogotá y Cundinamarca / FEDESARROLLO y ENERGÍA DE BOGOTÁ. 2013. – Informe de Investigación. – 330 p.
- [2] In: AHSAN, M.: *Comprehensive Materials Processing — Review of the Reliability and Connectivity of Wireless Sensor Technology*. 2014. – ISBN 9780080965338
- [3] ALVARADO, J. ; STERN, F.: Un complemento al teorema de Nyquist. En: *REVISTA MEXICANA DE FÍSICA* (2010), p. 165–171
- [4] DEPARTAMENTO DE FÍSICA APLICADA, Universidad de S.: *Potencia eléctrica (GIE)*. [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Potencia_el%C3%A9ctrica_\(GIE\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Potencia_el%C3%A9ctrica_(GIE)). 2016. – [Online; accessed 27-Enero-2019]
- [5] BARROS, J ; M., De A. ; RAMON, I.: A virtual measurement instrument for electrical power quality analysis using wavelets. En: *Measurement* 42 (2009), p. 298–307
- [6] BIPM: *Base Units*. <https://www.bipm.org/en/measurement-units/base-units.html>. 2018. – [Online; accessed 21-Enero-2019]
- [7] BOWDEN, Avner: *Household Appliances and the Use of Time: The United States and Britain Since the 1920s*. Vol. 47. John Wiley and Sons, 11 1994. – 725 p.
- [8] CADENA, A.: Guía para el consumo consciente, racional y eficiente de la energía. Sector residencial. / Unidad de Planeación Minero Energética-UPME. 2014. – Informe de Investigación
- [9] CARRERO, R.: PLAN ENERGÉTICO NACIONAL 2020 - 2050 / Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). 2019. – Informe de Investigación
- [10] ENEL CODENSA: ANEXO 1. AL FORMATO ESTUDIO DE CONEXIÓN SIMPLIFICADO PARA GD-AGPE YAGGE HASTA 5MW / enel CODENSA. 2018. – Informe de Investigación. – 1 – 22 p.

-
- [11] ENEL CODENSA: *Acometidas eléctricas y medidores*. https://likinormas.micodensa.com/Norma/acometidas_medidores/generalidades_ae/generalidades_7_1_actualizacion_generalidades. 2020. – [Online; accessed 29-Abril-2020]
- [12] ENEL CODENSA: *Medición inteligente*. <https://www.enel.com.co/es/medicion-inteligente.html>. 2020. – [Online; accessed 13-Abril-2020]
- [13]
- [14] COMMUNITY, ARM: *10 Steps to Selecting a Microcontroller*. <https://community.arm.com/developer/ip-products/system/b/embedded-blog/posts/10-steps-to-selecting-a-microcontroller>. 2019. – [Online; accessed 31-Mayo-2019]
- [15] CORPORATION, DIGI-KEY: *Current Sensors*. <https://www.digikey.com/products/en/sensors-transducers/current-sensors/525?k=&pkeyword=&sv=0&sf=0&FV=ffe0020d&quantity=&ColumnSort=0&page=1&stock=1&pageSize=25>. 2019. – [Online; accessed 13-Marzo-2019]
- [16] COUGHLIN, R. F. (Ed.) ; DRISCOLL, F. F. (Ed.): *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Naucalpan : Prentice Hall, 1993. – ISBN 968–880–284–0
- [17] ESTUPIÑAN, E.: *Sistema de Medición de Hábitos de Uso de los Electrodomésticos / Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*. 2016. – Informe de Investigación
- [18] FLUKE: *Multímetro de registro y verdadero valor eficaz con TrendCapture para componentes industriales / FLUKE*. 2007. – Informe de Investigación. – 1 – 2 p.
- [19] FOUNDATION, MariaDB: *MariaDB Server: The open source relational database*. <https://mariadb.org/>. 2020. – [Online; accessed 17-Enero-2020]
- [20] FOUNDATION, RASPBERRY P.: *Installation*. <https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/>. 2020. – [Online; accessed 15-Enero-2020]
- [21] In: FRADEN, Jacob: *Handbook of Modern Sensors* ——. Vol. 10.1007/978-1-4419-6466-3. 2010. – ISBN 978–1–4419–6465–6,978–1–4419–6466–3

- [22] GROKHOTKOV, I: *ESP8266 Arduino Core Documentation*. <https://readthedocs.org/projects/esp8266-arduino-spanish/downloads/pdf/latest/>. 2019. – [Online; accessed 7-Enero-2019]
- [23] HEALTHDAY: *High utility bills strain more than the budget*. <https://consumer.healthday.com/public-health-information-30/economic-status-health-news-224/high-utility-bills-strain-more-than-the-budget-714611.html>. 2016. – [Online; accessed 15-Enero-2019]
- [24] HERNANDEZ, K. ; CARRILLO, J.: *ANÁLISIS DE LA CURVA DE DEMANDA ELÉCTRICA PARA USUARIOS RESIDENCIALES ESTRATO 4 EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ ANTE DIFERENTES ESCENARIOS DE LOS HáBITOS DE CONSUMO*, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Tesis de pregrado para título en ingeniería electrónica, 2017
- [25] HERNANDEZ, L: *105 Guía para configurar un ESP-01, el módulo WiFi basado en ESP8266*. <https://programarfacil.com/podcast/como-configurar-esp01-wifi-esp8266/>. 2019. – [Online; accessed 16-Diciembre-2019]
- [26] HUANG, C. T. ; Kuo L. C. ; Lin C. W. ; Chang C. W. ; Fang S. A.: Classification of Home Appliance Electricity Consumption Using Power Signature and Harmonic Features. En: *2011 IEEE Ninth International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS 2011)* (2011), p. 596–599. ISBN 9781612849997
- [27] HUANG, M. ; Snadnes F.: *Sensors: Advancements in Modeling, Design Issues, Fabrication and Practical Applications*. Springer, 2008 (Lecture Notes in Electrical Engineering)
- [28] ICONTEC: Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración / Instituto colombiano de normas técnicas y certificación. 2005. – Informe de Investigación. – 49 p.
- [29] INC, Microchip T.: *20-Pin Flash Microcontrollers with XLP Technology* / Microchip. 2016. – Informe de Investigación. – 1 – 387 p.
- [30] INC, MOUSER E.: *Current Sensors*. https://www.mouser.com/Sensors/Current-Sensors/_/N-7gqeu/. 2019. – [Online; accessed 13-Marzo-2019]

- [31] INSTRUMENTS, National: *Cómo Realizar una Medición de Voltaje*. <http://www.ni.com/tutorial/7113/es/>. 2013. – [Online; accessed 18-Febrero-2019]
- [32] IPC: *IPC-2221B Generic Standard on Printed Board Design*. IPC, 2012
- [33] KINNARD, I. F. ; TREKELL, H. E.: Development of a modern watt-hour meter. En: *Electrical Engineering* 56 (1937)
- [34] KUROSE, J. ; ROSS, K.: *Computer Networking. A Top-Down Approach*. 6th ed. Pearson Education Inc., 2013. – ISBN 978-0-13-285620-1
- [35] LLC, Allegro M.: High-Precision Linear Current Sensor IC with 100 uOHM Current Conductor / Allegro MicroSystems LLC. 2017. – Informe de Investigación. – 1 – 29 p.
- [36] LOXONE: *Smart Socket Air*. <https://www.enel.com.co/es/medicion-inteligente.html>. 2020. – [Online; accessed 13-Abril-2020]
- [37] LOZANO, J. ; GUZMÁN, W.: *EVALUACIÓN DE DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SEGÚN HÁBITOS DE CONSUMO ACTUALES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ*, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Tesis de pregrado para título en ingeniería eléctrica, 2016
- [38] MAHMOUD, Mahmoud S. ; MOHAMAD, Auday A. H.: A Study of Efficient Power Consumption Wireless Communication Techniques/ Modules for Internet of Things (IoT) Applications. En: *Advances in Internet of Things* 9 (2019), p. 19–29. – ISSN 2161–6817
- [39] MALHOTRA, Naresh K.: Information Load and Consumer Decision Making. En: *Journal of Consumer Research* 8 (1982)
- [40] MALHOTRA, V. ; Bansal R.: Simulation and Performance Analysis of Wired and Wireless Computer Networks. En: *Global Journal of Computer Science and Technology* 14 (2011), p. 11–17
- [41] MEDELLÍN, EMPRESAS PUBLICAS D.: *Conexión Autogeneradores a Pequeña Escala y Generadores Distribuidos*. https://www.epm.com.co/site/clientes_usuarios/clientes-y-usuarios/hogares-y-personas/energia/tramites/autogeneradores-a-peque%C3%B1a-escala-agpe-y-generadores-distribuidos-gd. 2020. – [Online; accessed 30-Julio-2020]

- [42] MINENERGÍA, UPME: *Participación del consumo final por energético y sectores*. <http://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Paginas/modelos-analiticos.aspx>. 2020. – [Online; accessed 10-Abril-2020]
- [43] In: MING, C.; Yan W.: *Cloud-Based Massive Electricity Data Mining and Consumption Pattern Discovery*. Vol. 8182. Springer, 2014
- [44] MIT: *Acerca de Scratch*. <https://scratch.mit.edu/about>. 2020. – [Online; accessed 15-Enero-2020]
- [45] MORA, E.: Dilapidación energética. En: *Ambientico* 135 (2004), p. 3
- [46] MUÑOZ, C. ; García J. ; Vásquez M. ; PALENCIA, C.: Uso inteligente de la energía eléctrica. Banco de recomendaciones / Empresas Publicas de Medellín (EPM). 2012. – Informe de Investigación
- [47] NASSIF, A. ; YONG, J.: Harmonic Characteristics of Home Appliances.
- [48] NECKA, Krzysztof: Analysis of higher harmonics generation by non-linear loads. En: *COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE* 12 (2012), p. 169–173
- [49] NEGAHBAN, C.-S.; White B.; Ouellette M.; Germer W.: [IEEE IEEE International Solid-State Circuits Conference - New York, NY, USA (15-17 Feb. 1989)] IEEE International Solid-State Circuits Conference - A DSP-based watt-hour meter, 1989
- [50] NETSPORT: *Protocolos de seguridad inalámbrica: WEP, WPA, WPA2, y WPA3*. <https://www.netspotapp.com/es/wifi-encryption-and-security.html#:~:text=Los%20routers%20WiFi%20soportan%20una,Wi%2DFi%20Protected%20Access>). 2017. – [Online; accessed 08-Julio-2020]
- [51] NIETO, R.: Encuesta Nacional de Presupuestos de los Hogares. / Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). 2018. – Informe de Investigación
- [52] NIST: *Electromagnetic Measurements Calibrations*. <https://www.nist.gov/calibrations/electromagnetic-measurements-calibrations>. 2019. – [Online; accessed 25-Enero-2019]
- [53] OLADE, SIELAC: *Participación del consumo final por energético y sectores*. <http://sier.olade.org/consultas/>

- tablero-participacion-consumo-energertico-sectores.aspx?or=603&ss=2&v=3. 2010. – [Online; accessed 13-Noviembre-2018]
- [54] ONU: *Objetivos de desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>. 2015. – [Online; accessed 19-Noviembre-2018]
- [55] PARIS: REN21, Secretariat: Renewables 2019 Global Status Report / REN21 2019. 2019. – Informe de Investigación. – ISBN 978-3-9818911-7-1
- [56] PATIL, P: A comparative analysis of Raspberry pi Hardware with Arduino, Phidgets, Beaglebone black and Udoo. En: *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 3 (2016), p. 1595 – 1600
- [57] DE MINAS Y ENERGÍA DEL PERÚ, Ministerio: *MEM recomienda usar “ElecQui-pu” para conocer el consumo eléctrico en el hogar*. http://www.minem.gob.pe/_detallenoticia.php?idSector=12&idTitular=7165. 2016. – [Online; accessed 13-Abril-2020]
- [58] In: DE QUEIROZ, H.; Costa J.; Barreto G.: *Behavior Pattern Recognition in Electric Power Consumption Series Using Data Mining Tools*. Vol. 7435. Springer, 2012
- [59] RAHMAN, S. ; CASTRO, A.: Environmental Impacts of Electricity Generation: A Global Perspective. En: *IEEE Transactions on Energy Conversion* 10 (1995), p. 307–314
- [60] RIPKA, P.: Electric current sensors: a review. En: *Measurement Science and Technology* 21 (2010), p. 1–23
- [61] RIVAS, J.; Grande I.: *Comportamiento del consumidor: decisiones y estrategia de marketing*. ESIC Editorial, 01 2004. – 1–509 p.
- [62] SARDIANOU, E.: Estimating energy conservation patterns of Greek households. En: *Energy Policy* 35 (2007)
- [63] SCANTAMBURLO, T.: *Philosophical Aspects in Pattern Recognition Research*, Universita Ca’ Foscari di Venezia, Tesis de Doctorado, 2013
- [64] SEEBAUER, S. ; WOLF, A.: Disentangling household and individual actors in explaining private electricity consumption. En: *Energy Efficiency* 10 (2017)

- [65] SOLUTIONS, NEXXT: *Kronos301: Configuración Repetidor*. <https://support.nexxtsolutions.com/369688-Kronos301-Configuracion-Repetidor>. 2020. – [Online; accessed 20-Abril-2020]
- [66] SOLUTIONS, STATISTICS: *Research Designs: Non-Experimental vs. Experimental*. <https://www.statisticssolutions.com/research-designs-non-experimental-vs-experimental/>. 2020. – [Online; accessed 8-Abril-2020]
- [67] STANDARDS, POPULAR: *ISO 50001 ENERGY MANAGEMENT*. <https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html>. 2020. – [Online; accessed 30-Julio-2020]
- [68] STANDARDS, POPULAR: *ISO 50002:2014 Energy audits — Requirements with guidance for use*. <https://www.iso.org/standard/60088.html>. 2020. – [Online; accessed 30-Julio-2020]
- [69] SUEKER, Keith H.: *Power Electronics Design: A Practitioner's Guide*. Newnes, 2005. – ISBN 0750679271,9780750679275
- [70] OF TARTU, University: *Thonny, Python IDE for beginners*. <https://thonny.org/>. 2020. – [Online; accessed 23-Enero-2020]
- [71] TECNÓSFERA: *¿Qué buscan los bogotanos en internet?* <https://www.eltiempo.com/tecnosfera/novedades-tecnologia/numero-de-hogares-conectados-a-internet-en-bogota-306542>. 2018. – [Online; accessed 14-Enero-2020]
- [72] TP-LINK: *Kasa Smart Wi-Fi Plug HS100*. <https://www.tp-link.com/uk/home-networking/smart-plug/hs100/>. 2020. – [Online; accessed 13-Abril-2020]
- [73] WAGLEY, S.: *Energy Conservation Program for Consumer Products: Test Procedures for Refrigerators, Refrigerator-Freezers, and Freezers* / U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. 2016. – Informe de Investigación
- [74] WOERSDOFER, J.S. (Ed.): *The evolution of householder technology and consumer behavior*. 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN : Routledge, 2017

-
- [75] WOERSDORFER, J.: *The Evolution of Household Technology and Consumer Behavior, 1800–2000*. Routledge, 2017
- [76] ZHOU, K. ; C., Yang ; J., Shen: Discovering residential electricity consumption patterns through smart-meter data mining: A case study from China. En: *Utilities Policy* 44 (2017), p. 73–84
- [77] ZHOU, S.; Shao Z.: Household monthly electricity consumption pattern mining: A fuzzy clustering-based model and a case study. En: *Journal of Cleaner Production* 141 (2016), 09

A. Anexo: Lista de materiales usados en la construcción del circuito

Tabla A-1: Lista de componentes

Item #	Designator	Description	Comment	Quantity
1	C1, C2, C3, C4	CAP 10nF 16V ±20% 0603 (1608 Metric) Thickness 1mm SMD	CAP 10nF 16V 0603(1608)	4
2	C5	CAP 15nF 16V ±5% 0603 (1608 Metric) Thickness 1mm SMD	CAP 15nF 16V 0603(1608)	1
3	C6	CAP 220nF 16V ±10% 0603 (1608 Metric) Thickness 1mm SMD	CAP 220nF 16V 0603(1608)	1
4	C7, C9, C10	CAP 100nF 16V ±20% 0603 (1608 Metric) Thickness 1mm SMD	CAP 100nF 16V 0603(1608)	3
5	C8	CAP 100nF 16V ±5% 0603 (1608 Metric) Thickness 1mm SMD	CAP 100nF 16V 0603(1608)	1
6	C11, C14, C16	CAP 2.2uF 10V ±10% 0603 (1608 Metric) Thickness 1mm SMD	CAP 2.2uF 10V 0603(1608)	3
7	C12	CAP 10uF 10V ±1% 0603 (1608 Metric) Thickness 1mm SMD	CAP 10uF 10V 0603(1608)	1
8	C13	CAP 22uF 6.3V ±10% 0603 (1608 Metric) Thickness 1mm SMD	CAP 22uF 6.3V 0603(1608)	1
9	C15	CAP 1uF 10V ±1% 0603 (1608 Metric) Thickness 1mm SMD	CAP 1uF 10V 0603(1608)	1
10	D1, D2, D3, D4	Switching Diode, 500 mW, 100 V, -55 to 150 degC, SOD123, RoHS, Tape and Reel	1N4448W-TP	4
11	P1	Header, 4-Pin, Dual row	Header 4X2A	1
12	P2	Molex 2 pin port	KK-156-2	1
13	P3	Header, 3-Pin	Header 3	1
14	P4	Header, 3-Pin	Vpic	1
15	P5	Header, 5-Pin	Programmer	1
16	P6, P7	Plug	Plug	2
17	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R9, R10, R11	1R5 0.1W 1% 0603 (1608 Metric) SMD	1R5 1% 0603(1608)	10
18	R8	1M 0.1W 1% 0603 (1608 Metric) SMD	1M 1% 0603(1608)	1
19	R12, R13, R14, R15, R17, R18, R19, R20, R24, R26, R27, R28, R30, R31, R32	10K 0.1W 1% 0603 (1608 Metric) SMD	10K 1% 0603(1608)	15
20	R16	4K75 0.1W 1% 0603 (1608 Metric) SMD	4K75 1% 0603(1608)	1
21	R21, R22, R23	4K7 0.1W 1% 0603 (1608 Metric) SMD	4K7 1% 0603(1608)	3
22	R25	4K7 0.1W 1% 0603 (1608 Metric) SMD	4K7 1% 0603(1608)	1
23	R29	523K 0.1W 1% 0603 (1608 Metric) SMD	523K 1% 0603(1608)	1
24	SD1	Card Connector Micro-SD, 500 VAC, 100 mOhm Min, 0.5 A, RoHS, Tape and Reel	2908-05WB-MG	1
25	U1	WIFI MODULE	ATWINC1500	1
26	U2	Current sensor	ACS770	1
27	U3, U4, U5, U6, U12, U13	Low Cost, CMOS, Rail-to-Rail I/O, Operational Amplifier, 4 to 12 V, -40 to 85 degC, 5-pin SOT23 (DBV5), Green (RoHS & no Sb/Br)	OPA705NA/3K	6
28	U7	Flash Microcontroller with nanoWatt XLP Technology, 20-pin QFN, Industrial Temperature	PIC18F14K22-I/ML	1
29	U8	AC/DC POWER SUPPLY	RAC05-K	1
30	U9	3.3V LDO regulator	AP1117E33G	1
31	U10	LM2776 Switched Capacitor Inverter	LM2776DBVT	1
32	U11	Wide Supply Range, Rail-to-Rail Output Instrumentation Amplifier, 2.2 to 36 V, -40 to 125 degC, 8-Pin SOIC (R-8), RoHS, Tube	AD8226ARZ	1

B. Anexo: Protocolo de calibración de mediciones de voltaje, corriente y potencia

Este documento es un instructivo que presenta el proceso de calibración de las mediciones de voltaje, corriente y potencia del sistema de medición **Smart Energy Measure system**.

Para tal fin, se basaron los procedimientos en la norma técnica colombiana NTC-ISO/IEC 17025 la cual establece los requisitos generales de calibración de equipos de laboratorio [28].

La calibración de una medida principalmente se basa en un proceso iterativo que culmina en el momento en que la medida se encuentra por debajo de los umbrales de error establecidos por la entidad que certificara el equipo. Para ello se requiere de una medida patrón que esta 10 veces por debajo en su error según patrones internacionales que certifican dicho equipo. Realizando una trazabilidad de los equipos de medición patrones, podemos llegar a la Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). La cual es una entidad internacional que desde hace mas de 60 años mantiene bajo condiciones extremadamente controladas, patrones de medición basados en fenómenos físicos altamente precisos en su naturaleza [6].

Para este proyecto en particular es importante aclarar que el equipo patrón tiene un certificado internacional garantizado por su fabricante, y se espera que al final del proceso, los equipos que sigan este protocolo, logren umbrales de error menores al 1 % en las medidas. No obstante, esto no significa que a partir de su conformidad en el proceso de calibración planteado, el equipo bajo prueba pueda certificarse. Para este fin es obligatorio acudir directamente a laboratorios especializados y avalados por el gobierno nacional y/o a las entidades internacionales correspondientes.

B.1. Proceso de calibración

Antes de iniciar el proceso de calibración, se debe tener un resultado de conformidad del equipo que indique un aval de funcionamiento de 100 % para entrar en el

proceso de calibración

El siguiente proceso esta basado en los estándares internacionales de la National Institute of Standards and Technology (NIST) [52].

1. Realizar las conexiones según la medida a calibrar.
2. Encender los equipos (Patrón y EBP)
3. Realizar la medición en los dos equipos y evaluar el error en la medida del EBP.
4. Si el error es de no conformidad se deben ajustar parámetros establecidos por el fabricante del equipo para disminuir el porcentaje de error en la medición. Para el caso del SEMS, se tiene una constante de ajuste en firmware.
5. Volver al paso 3 y repetir hasta lograr conformidad

Como las mediciones a calibrar son de voltaje y corriente se realizaran de forma individual y en procesos diferentes pero bajo el mismo protocolo.

Los resultados de la calibración se registraran en una tabla que indicara cuales fueron los valores de voltaje y corriente arrojados en cada medida y los porcentajes de error obtenidos en cada iteración. La tabla que se usara es la siguiente:

Tabla B-1: Tabla de resultados de calibración

Número de proceso	Medida Patrón	Medida EBP	Porcentaje de error	Estado de conformidad

Las mediciones realizadas deberán contener el número de cifras significativas adecuadas para demostrar que el valor de error obtenido por el EBP es conforme a lo esperado.

Finalmente se debe tener claridad sobre los equipos que fueron usados para llevar a cabo el proceso de calibración. La siguiente es una ficha técnica que recibe la información de las referencias y parámetros técnicos de los equipos, responsables del proceso y un espacio que indica la conformidad:

12B Anexo: Protocolo de calibración de mediciones de voltaje, corriente y potencia

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito		FICHA TECNICA DE CALIBRACION						Cód. Rev.: Pág.:	
CODIGO:		INSTRUMENTO:		MARCA:		MODELO:			
N° SERIE:		PROVEEDOR:		FECHA COMPRA:		UBICACION:			
SUBCOD.	MAGNITUD	ESCALA	DIVISION ESCALA	TIPO CAL. (EXT/INT)	PROCEDIMIENTO CALIBRACION	PERIODO CALIBRACION	PATRONES (CODIGO)	I	Criterios Aceptación
Nombre de quien realiza el procedimiento:					Firma		Nombre de quien aprueba el procedimiento		
							Vº Bº <input type="checkbox"/> FECHA:		

Figura B-1: Plantilla de ficha técnica de calibración

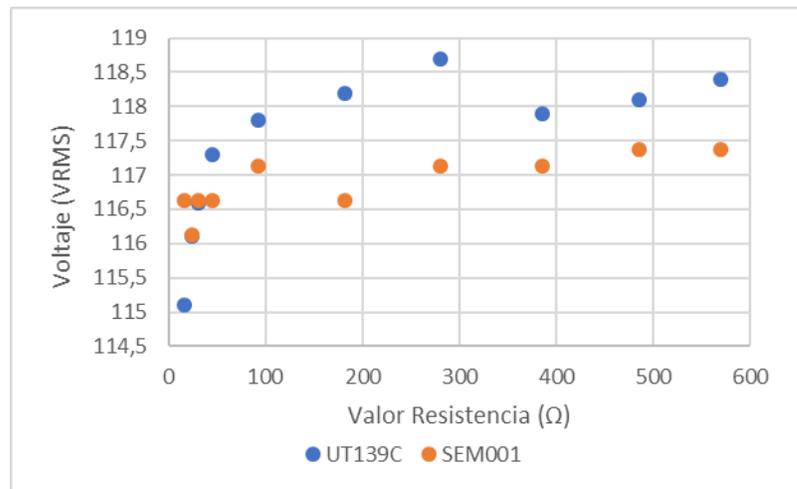
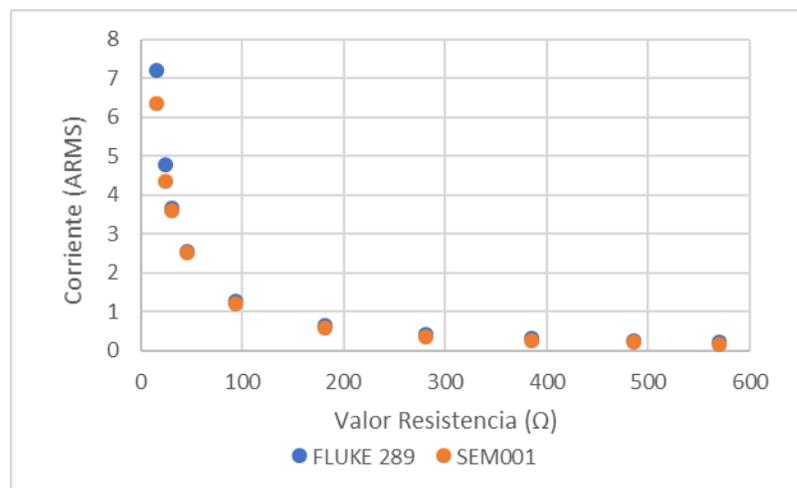
C. Anexo: Resultados de calibración de los equipos SEM

Para el proceso de calibración son empleados dos equipos de medición; Uno para voltaje y otro para corriente. La ficha técnica del equipo patrón para la medición de corriente se puede observar en la figura 4-2

A continuación, se presentan los resultados de medición de los diez equipos SEM desarrollados después de su última etapa de calibración. Posteriormente, las gráficas de los errores finales de voltaje, corriente y potencia frente al equipo patrón.

Tabla C-1: Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM001

Medición Patrón			Medición SEM001			% error		
Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	% EV	% EI	% EP
118,4	0,2082	24,65	117,38	0,1887	20,59	0,861486486	9,365994236	16,47357011
118,1	0,2439	28,80	117,38	0,2409	27,34	0,609652837	1,2300123	5,084571591
117,9	0,3085	36,37	117,13	0,3051	34,69	0,653095844	1,102106969	4,624829712
118,7	0,4222	50,12	117,13	0,4213	48,56	1,322662174	0,213169114	3,103134103
118,2	0,6499	76,82	116,63	0,6982	81,13	1,328257191	7,431912602	5,613020251
117,8	1,2567	148,04	117,13	1,3965	163,27	0,568760611	11,12437336	10,28831136
117,3	2,5349	297,34	116,63	2,8868	336,53	0,571184996	13,88220443	13,17876275
116,6	3,6412	424,56	116,63	4,1955	488,54	0,025728988	15,22300341	15,0686568
116,1	4,7379	550,07	116,13	5,1174	593,09	0,025839793	8,009877794	7,820785562
115,1	7,134	821,12	116,63	7,3362	853,1	1,329278888	2,83431455	3,894250243

**Figura C-1:** Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM001.**Figura C-2:** Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM001.

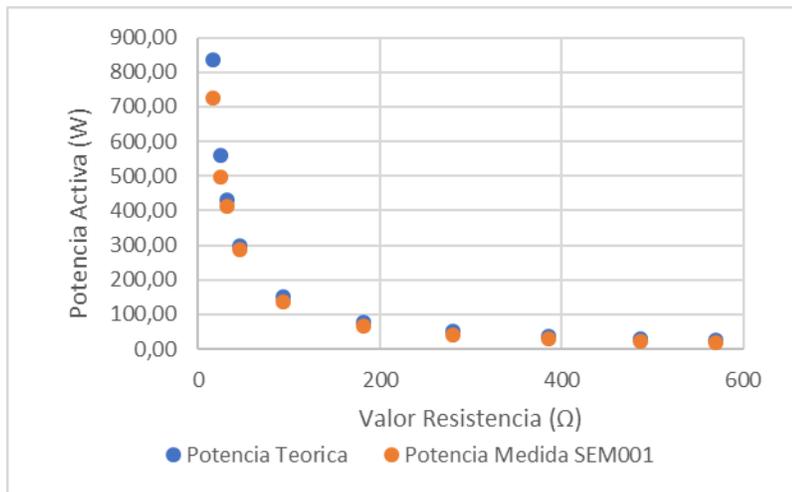


Figura C-3: Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM001.

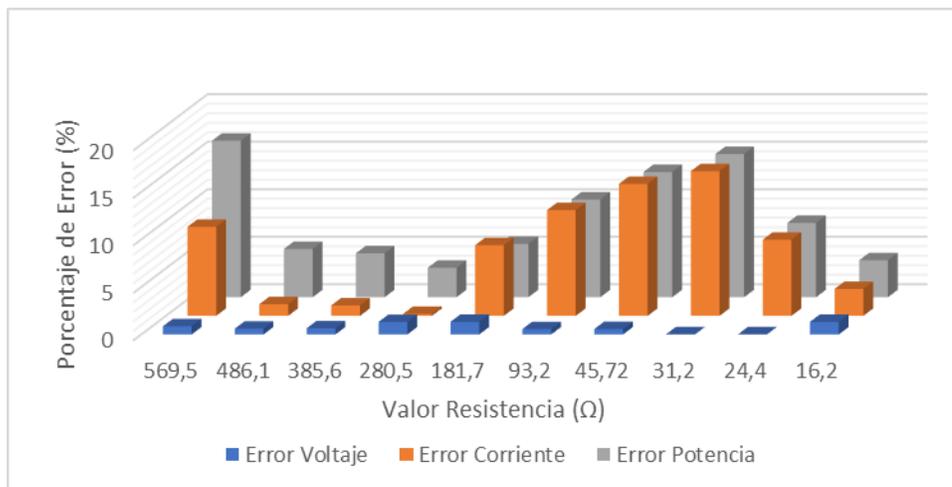
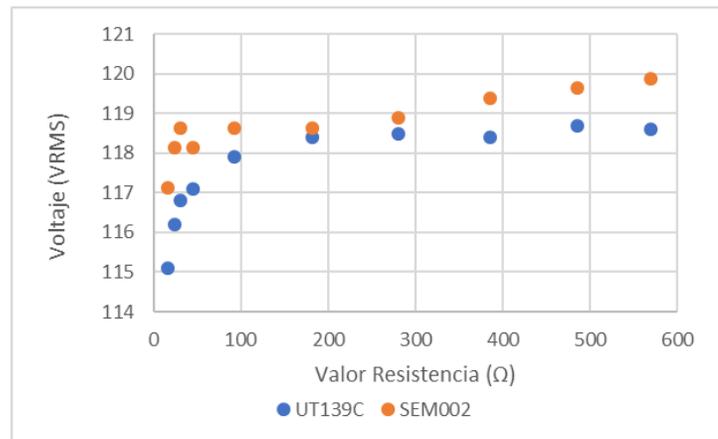
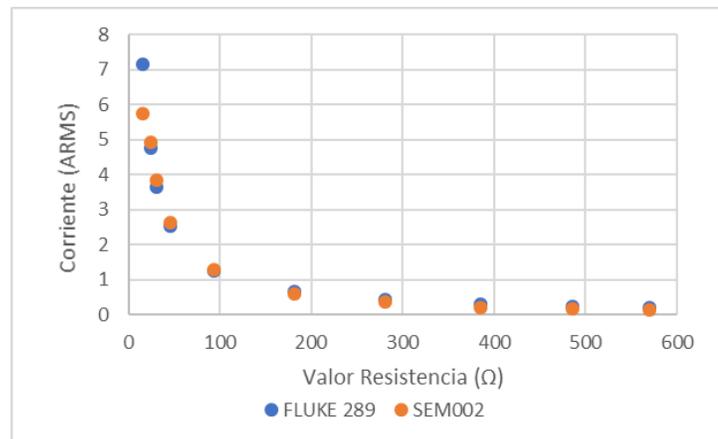


Figura C-4: Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM001.

Tabla C-2: Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM002

Medición Patrón			Medición SEM002			% error		
Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	% EV	% EI	% EP
118,6	0,2069	24,54	119,88	0,1374	15,18	1,07925801	33,59110681	38,13762463
118,7	0,243	28,84	119,63	0,1486	16,05	0,783487784	38,84773663	44,35603815
118,4	0,307	36,35	119,38	0,2087	23,47	0,827702703	32,01954397	35,43115591
118,5	0,417	49,41	118,88	0,3559	41,56	0,320675105	14,65227818	15,895132
118,4	0,6462	76,51	118,63	0,5947	70,13	0,194256757	7,969668833	8,338875087
117,9	1,2545	147,91	118,63	1,2637	149,77	0,619168787	0,733359904	1,260567977
117,1	2,526	295,79	118,13	2,6134	308,54	0,879590094	3,460015835	4,308868384
116,8	3,632	424,22	118,63	3,8399	455,54	1,566780822	5,724118943	7,383569187
116,2	4,7452	551,39	118,13	4,93	583,09	1,660929432	3,894461772	5,748677203
115,1	7,145	822,39	117,13	5,7424	659,09	1,763683753	19,63051085	19,85671023

**Figura C-5:** Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM002.**Figura C-6:** Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM002.

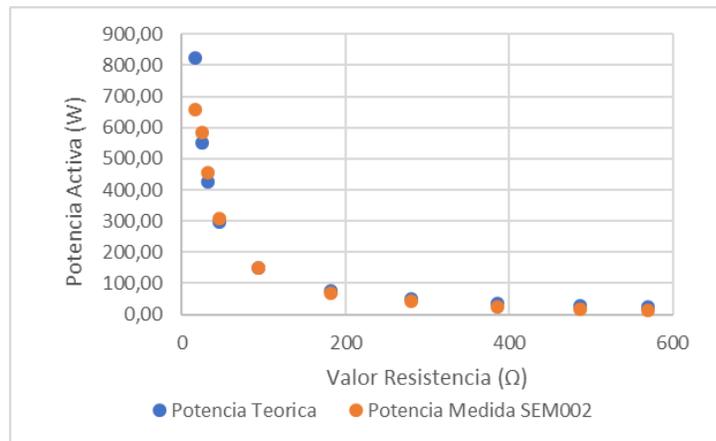


Figura C-7: Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM002.

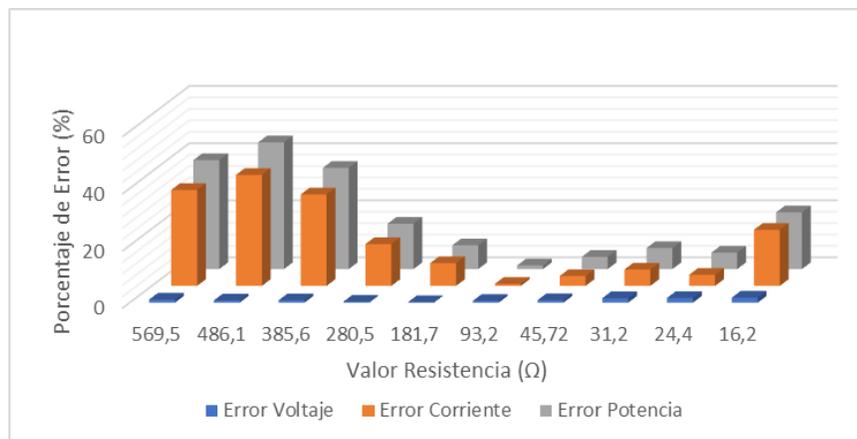
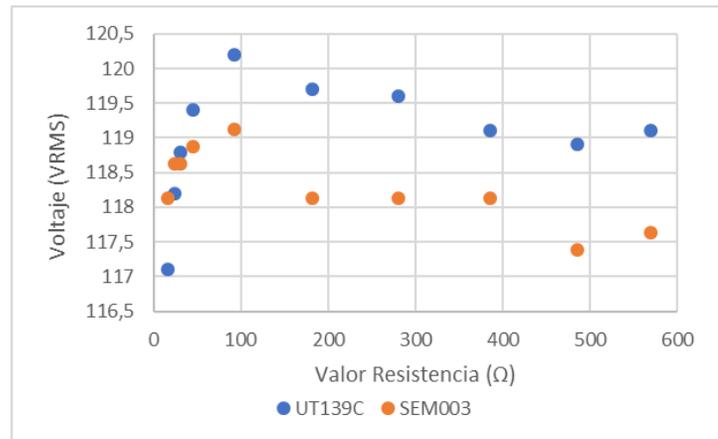
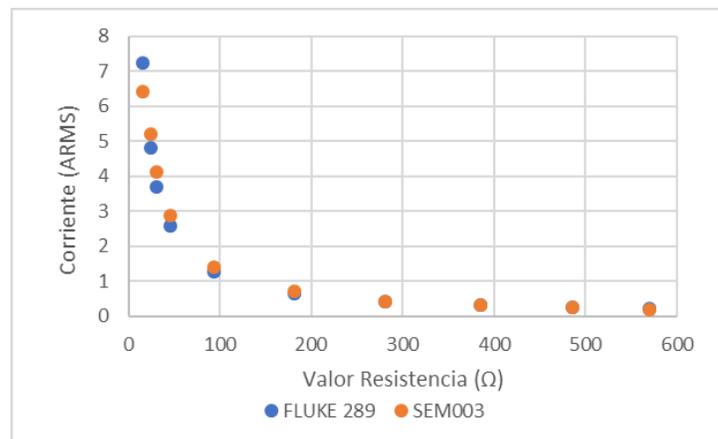


Figura C-8: Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM002.

Tabla C-3: Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM003

Medición Patrón			Medición SEM003			% error		
Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	% EV	% EI	% EP
119,1	0,2087	24,86	117,63	0,1862	20,28	1,234256927	10,7810254	18,41059986
118,9	0,2447	29,09	117,38	0,2469	27,72	1,278385198	0,899060074	4,725341238
119,1	0,3104	36,97	118,13	0,3042	34,69	0,814441646	1,99742268	6,163710648
119,6	0,4236	50,66	118,13	0,4194	48,56	1,22909699	0,991501416	4,150125852
119,7	0,6552	78,43	118,13	0,6963	81,63	1,311612364	6,272893773	4,083468745
120,2	1,2727	152,98	119,13	1,3887	165,27	0,890183028	9,114481025	8,034760954
119,4	2,5747	307,42	118,88	2,8712	340,54	0,435510888	11,51590477	10,77383005
118,8	3,6785	437,01	118,63	4,1331	492,54	0,143097643	12,35829822	12,70788626
118,2	4,8169	569,36	118,63	5,2111	617,09	0,363790186	8,183686603	8,383557482
117,1	7,254	849,44	118,13	6,4143	735,1	0,879590094	11,57568238	13,46097927

**Figura C-9:** Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM003.**Figura C-10:** Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM003.

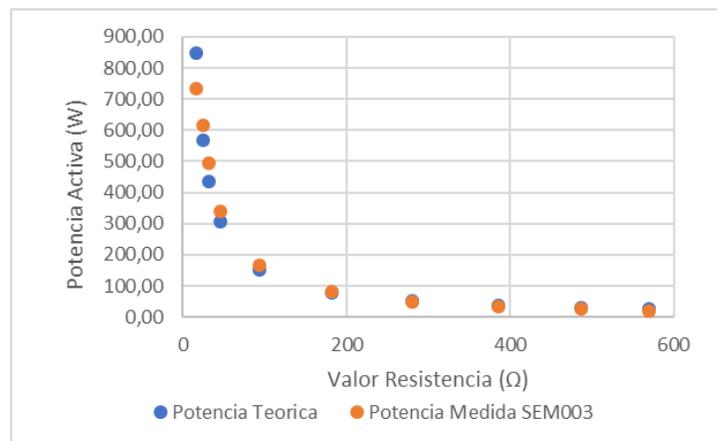


Figura C-11: Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM003.

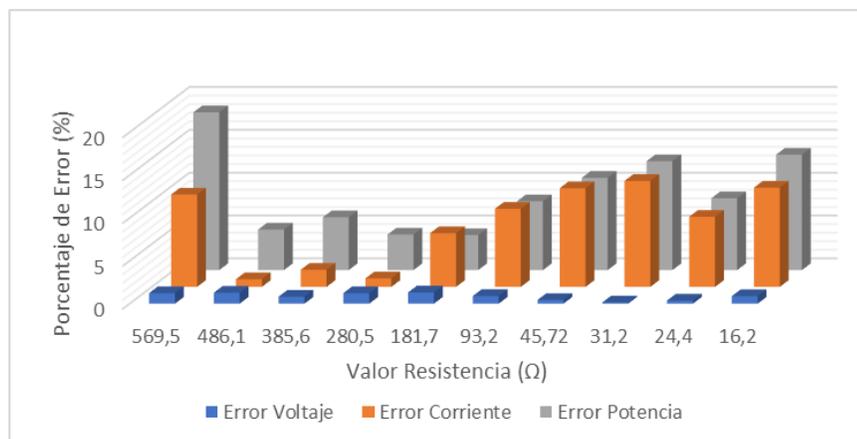
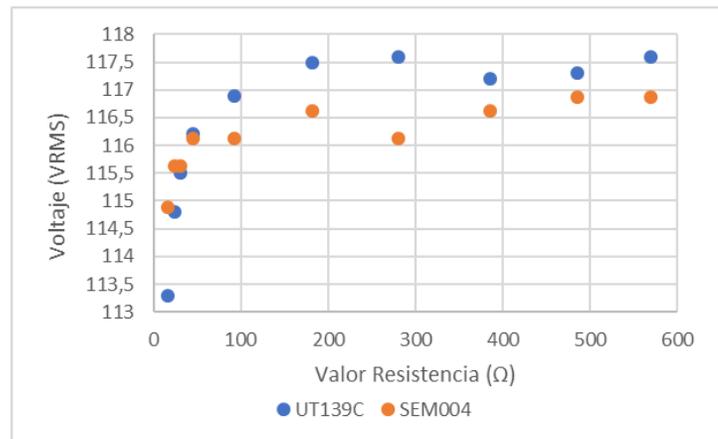
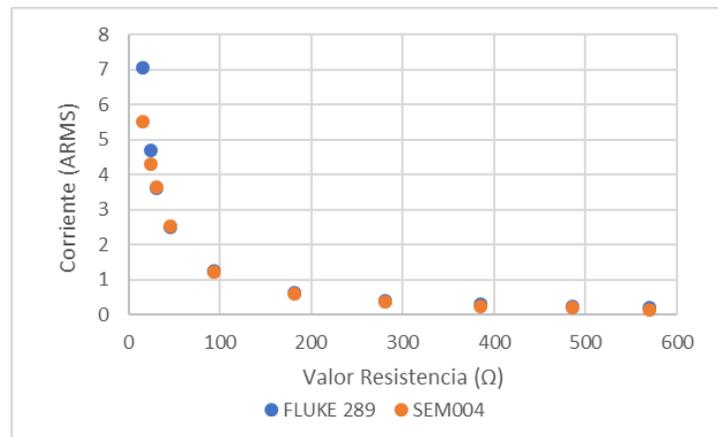


Figura C-12: Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM003.

Tabla C-4: Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM004

Medición Patrón			Medición SEM004			% error		
Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	% EV	% EI	% EP
117,6	0,2065	24,28	116,88	0,1481	15,93	0,612244898	28,28087167	34,40233236
117,3	0,2425	28,45	116,88	0,1994	21,97	0,358056266	17,77319588	22,7639061
117,2	0,3065	35,92	116,63	0,2484	28,22	0,486348123	18,95595432	21,44046234
117,6	0,4165	48,98	116,13	0,3667	41,94	1,25	11,95678271	14,37391283
117,5	0,6447	75,75	116,63	0,5986	69,38	0,740425532	7,150612688	8,411961361
116,9	1,2538	146,57	116,13	1,2207	141,27	0,658682635	2,639974478	3,615506721
116,2	2,5138	292,10	116,13	2,5353	294,54	0,060240964	0,855278861	0,83410144
115,5	3,6036	416,22	115,63	3,6603	422,54	0,112554113	1,573426573	1,519452169
114,8	4,6981	539,34	115,63	4,3205	497,54	0,722996516	8,037291671	7,750534781
113,3	7,056	799,44	114,88	5,5237	621,1	1,394527802	21,71626984	22,30858216

**Figura C-13:** Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM004.**Figura C-14:** Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM004.

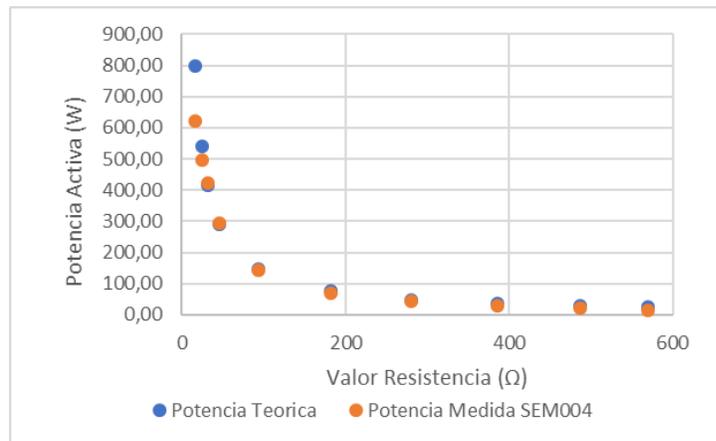


Figura C-15: Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM004.

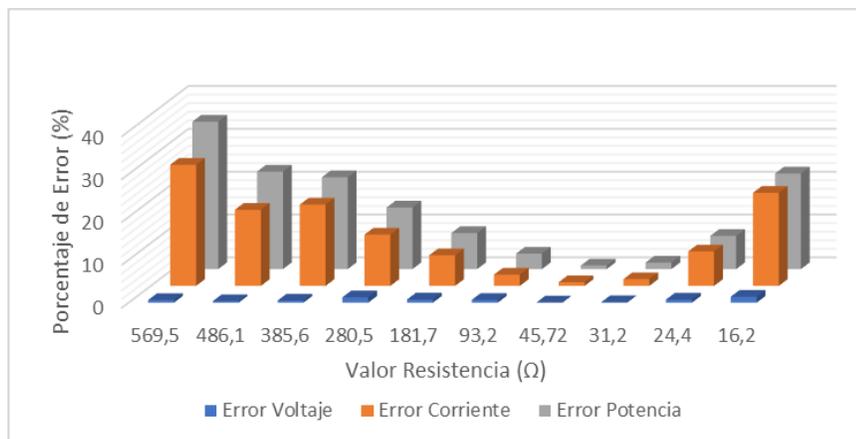
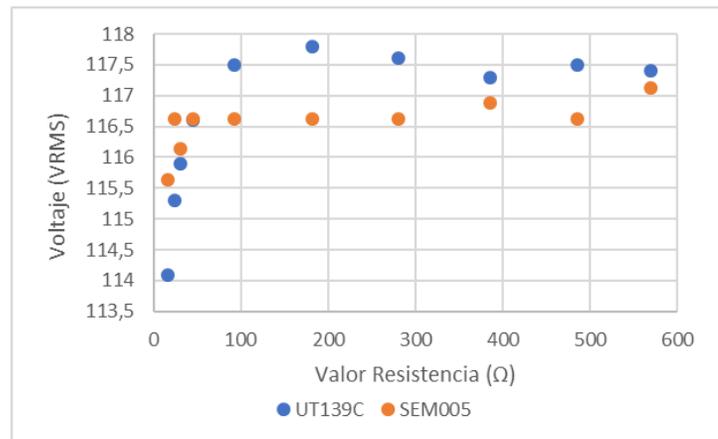
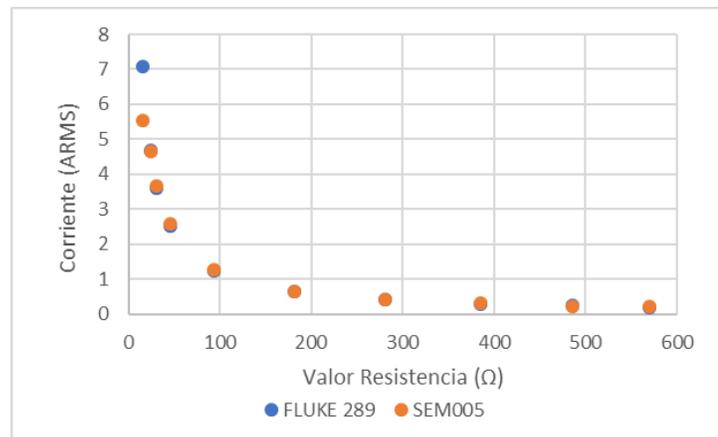


Figura C-16: Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM004.

Tabla C-5: Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM005

Medición Patrón			Medición SEM005			% error		
Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	% EV	% EI	% EP
117,4	0,2049	24,06	117,13	0,215	24,15	0,229982964	4,929233773	0,393843176
117,5	0,2406	28,27	116,63	0,2385	26,84	0,740425532	0,872817955	5,060044923
117,3	0,3042	35,68	116,88	0,3159	36,06	0,358056266	3,846153846	1,057488427
117,6	0,4148	48,78	116,63	0,4174	48,06	0,824829932	0,6268081	1,476984236
117,8	0,6428	75,72	116,63	0,6338	73,38	0,993208829	1,400124456	3,092687658
117,5	1,2452	146,31	116,63	1,2715	148,77	0,740425532	2,112110504	1,680666525
116,6	2,5135	293,07	116,63	2,59	302,54	0,025728988	3,04356475	3,229865757
115,9	3,6081	418,18	116,13	3,6603	425,54	0,198446937	1,446744824	1,760302095
115,3	4,7008	542,00	116,63	4,6643	545,1	1,153512576	0,776463581	0,571540073
114,1	7,074	807,14	115,63	5,5237	627,1	1,34092901	21,91546508	22,30624694

**Figura C-17:** Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM005.**Figura C-18:** Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM005.

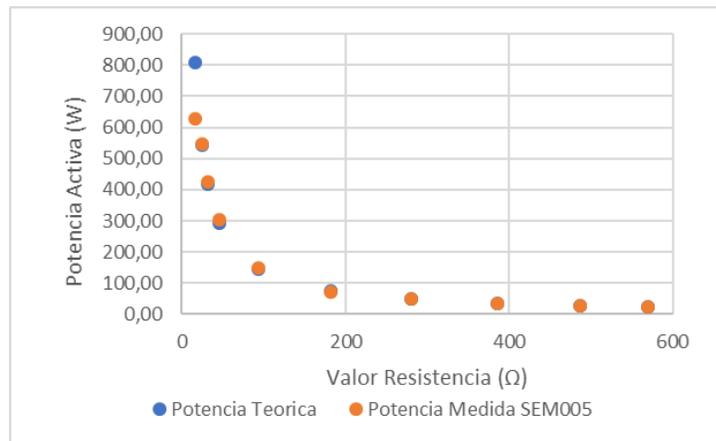


Figura C-19: Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM005.

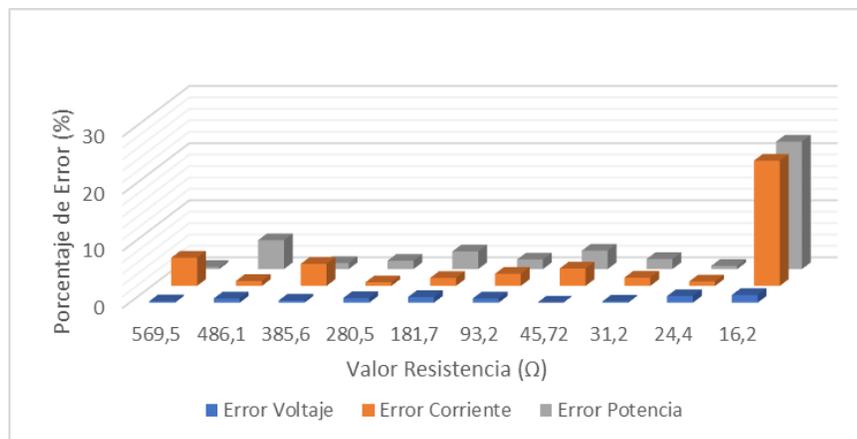
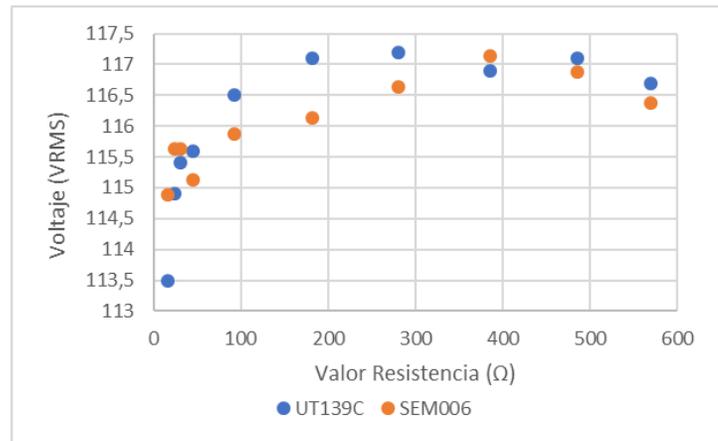
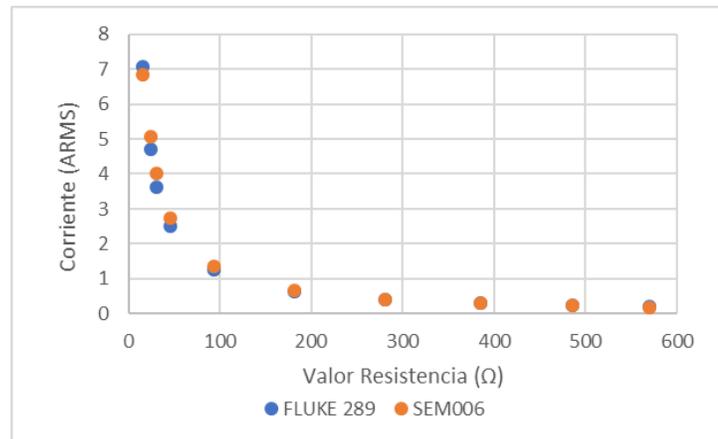


Figura C-20: Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM005.

Tabla C-6: Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM006

Medición Patrón			Medición SEM006			% error		
Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	% EV	% EI	% EP
116,7	0,205	23,92	116,38	0,1906	21,15	0,274207369	7,024390244	11,59320334
117,1	0,2414	28,27	116,88	0,2292	25,28	0,187873612	5,053852527	10,5700663
116,9	0,3052	35,68	117,13	0,2954	33,69	0,196749358	3,211009174	5,571743613
117,2	0,4177	48,95	116,63	0,4184	48,19	0,486348123	0,167584391	1,56153354
117,1	0,643	75,30	116,13	0,6787	78,63	0,828351836	5,552099533	4,428828891
116,5	1,2451	145,05	115,88	1,3457	156,27	0,532188841	8,079672315	7,732181396
115,6	2,5015	289,17	115,13	2,7462	315,54	0,406574394	9,782130722	9,117920251
115,4	3,6172	417,42	115,63	4,0081	462,54	0,199306759	10,80670132	10,80796142
114,9	4,7058	540,70	115,63	5,07	585,1	0,635335074	7,739385439	8,212294063
113,5	7,063	801,65	114,88	6,8362	777,09	1,215859031	3,211100099	3,063741618

**Figura C-21:** Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM006.**Figura C-22:** Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM006.

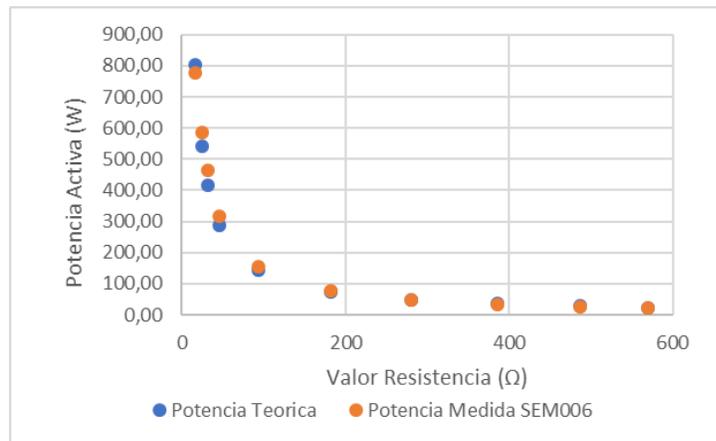


Figura C-23: Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM006.

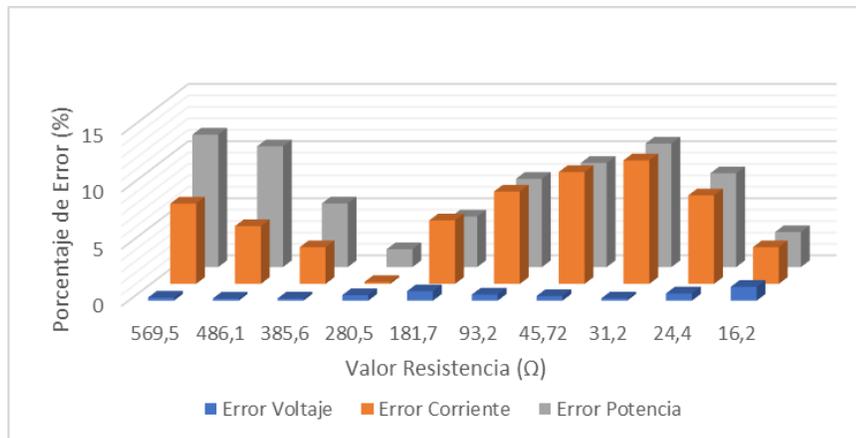
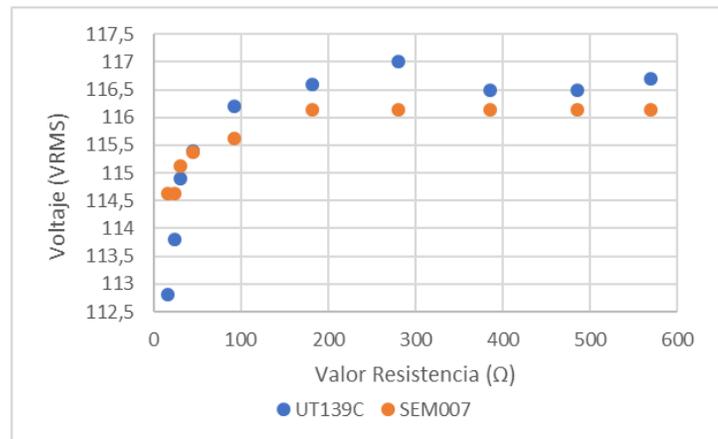
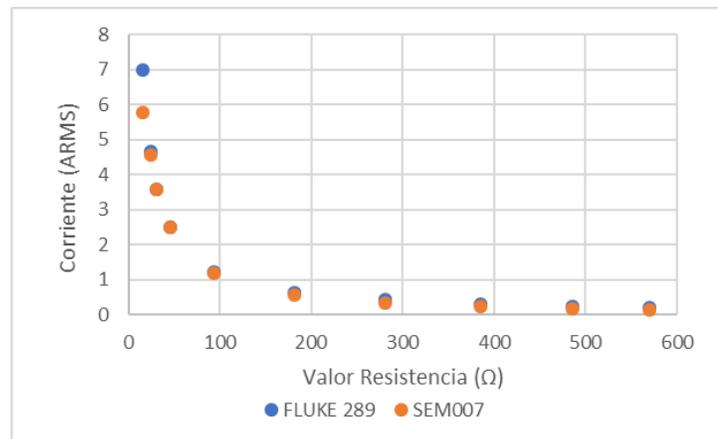


Figura C-24: Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM006.

Tabla C-7: Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM007

Medición Patrón			Medición SEM007			% error		
Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	% EV	% EI	% EP
116,7	0,2035	23,75	116,13	0,1197	12,42	0,488431877	41,17936118	47,70185002
116,5	0,2391	27,86	116,13	0,1667	18,15	0,317596567	30,28021748	34,84149251
116,5	0,3015	35,12	116,13	0,2243	25,03	0,317596567	25,6053068	28,73970633
117	0,4115	48,15	116,13	0,3276	37,31	0,743589744	20,38882139	22,50573782
116,6	0,6371	74,29	116,13	0,5732	65,88	0,403087479	10,02982263	11,31555857
116,2	1,2304	142,97	115,63	1,1894	137,77	0,490533563	3,332249675	3,63879818
115,4	2,4913	287,50	115,38	2,4806	286,54	0,017331023	0,429494641	0,332533299
114,9	3,57	410,19	115,13	3,5665	410,54	0,200174064	0,098039216	0,084594325
113,8	4,644	528,49	114,63	4,5549	523,1	0,729349736	1,918604651	1,019362437
112,8	6,993	788,81	114,63	5,7893	653,1	1,622340426	17,21292721	17,20443848

**Figura C-25:** Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM007.**Figura C-26:** Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM007.

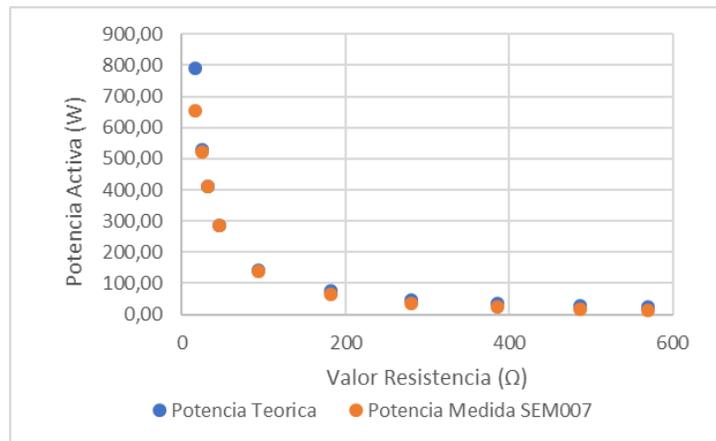


Figura C-27: Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM007.

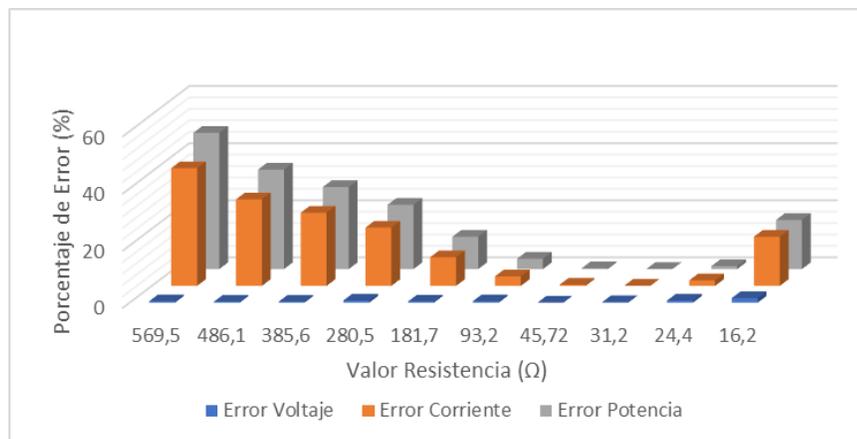
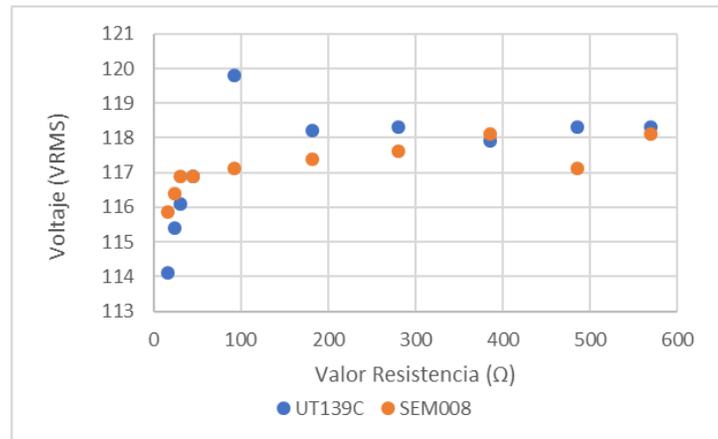
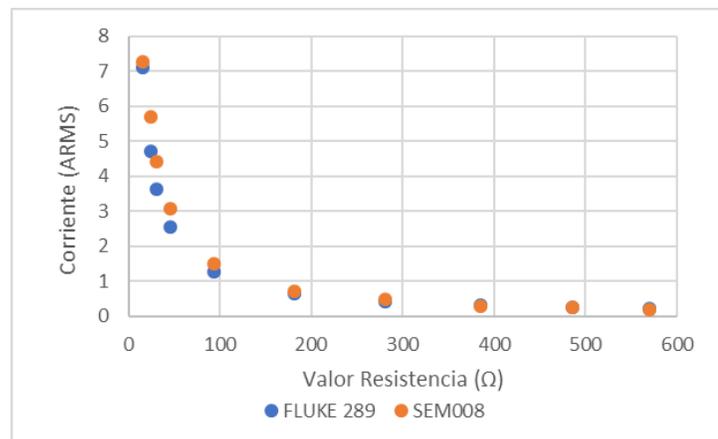


Figura C-28: Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM007.

Tabla C-8: Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM008

Medición Patrón			Medición SEM008			% error		
Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	% EV	% EI	% EP
118,3	0,2079	24,59	118,13	0,1955	23,97	0,143702451	5,964405964	2,539462979
118,3	0,244	28,87	117,13	0,2567	28,65	0,989010989	5,204918033	0,745534415
117,9	0,3079	36,30	118,13	0,2875	32,73	0,195080577	6,625527769	9,838212896
118,3	0,421	49,80	117,63	0,4672	54,06	0,56635672	10,97387173	8,544844521
118,2	0,6494	76,76	117,38	0,7002	81,63	0,693739425	7,822605482	6,345724832
119,8	1,2536	150,18	117,13	1,5098	176,77	2,228714524	20,43714103	17,70441696
116,9	2,5323	296,03	116,9	3,0743	359,54	0	21,4034672	21,45560116
116,1	3,6293	421,36	116,88	4,4143	517,09	0,671834625	21,62951533	22,71878607
115,4	4,7184	544,50	116,38	5,68	661,1	0,849220104	20,37978976	21,4133922
114,1	7,093	809,31	115,88	7,258	829,1	1,560035057	2,326237135	2,445128346

**Figura C-29:** Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM008.**Figura C-30:** Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM008.

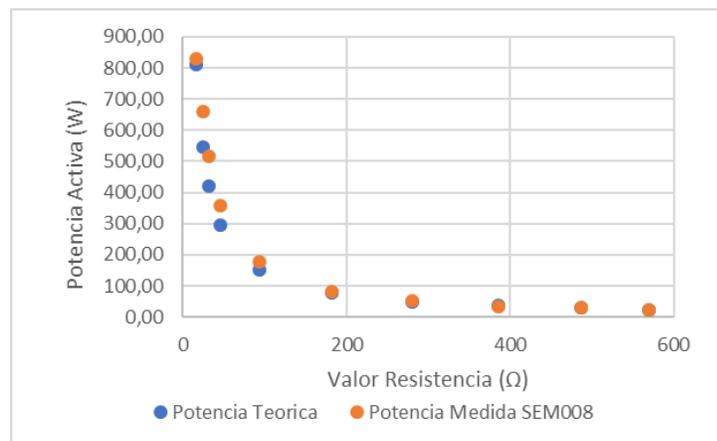


Figura C-31: Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM008.

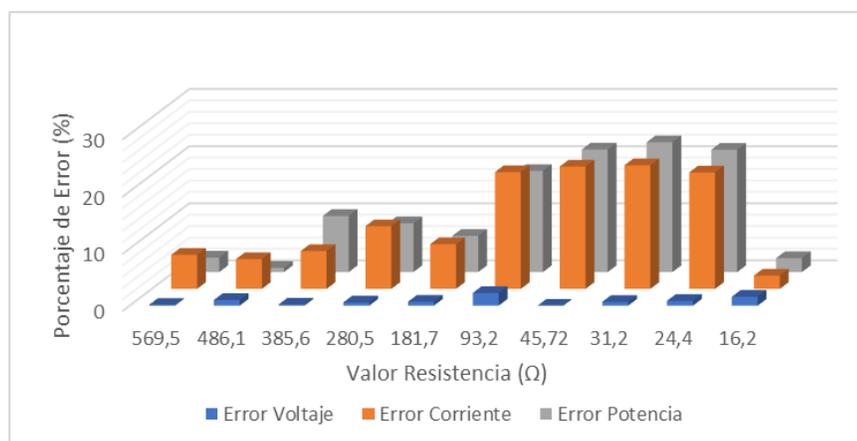
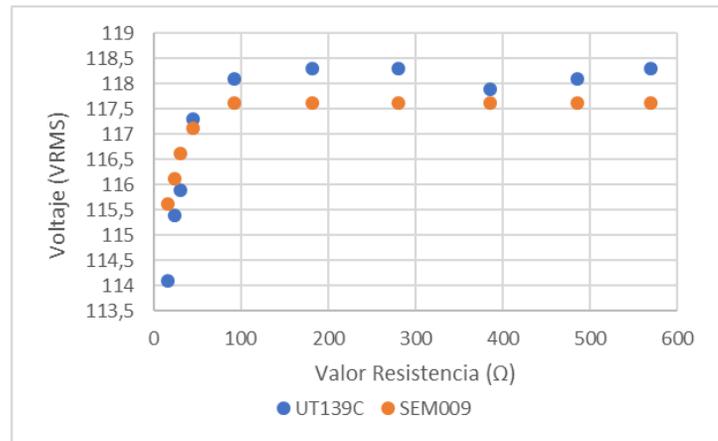
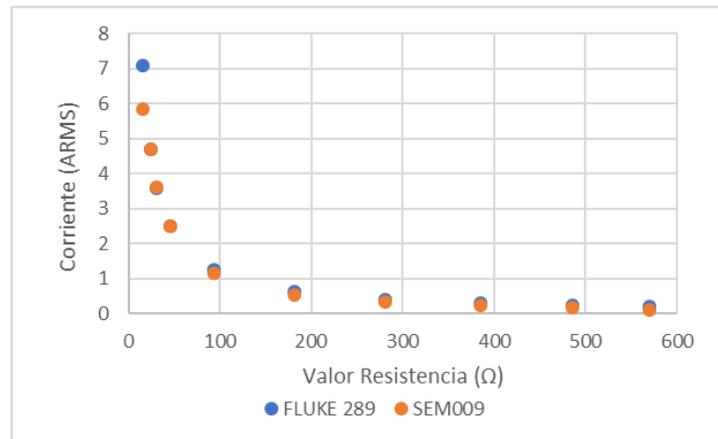


Figura C-32: Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM008.

Tabla C-9: Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM009

Medición Patrón			Medición SEM009			% error		
Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	% EV	% EI	% EP
118,3	0,2064	24,42	117,63	0,1176	11,89	0,56635672	43,02325581	51,30465837
118,1	0,2416	28,53	117,63	0,1735	19,15	0,397967824	28,18708609	32,88463587
117,9	0,3055	36,02	117,63	0,2434	27,72	0,229007634	20,32733224	23,03944229
118,3	0,416	49,21	117,63	0,3422	39,31	0,56635672	17,74038462	20,12240718
118,3	0,6439	76,17	117,63	0,5361	62,69	0,56635672	16,74173008	17,70089731
118,1	1,2448	147,01	117,63	1,1504	135,27	0,397967824	7,583547558	7,986402095
117,3	2,5114	294,59	117,13	2,4962	292,54	0,144927536	0,605240105	0,694945286
115,9	3,5795	414,86	116,63	3,6134	421,54	0,629853322	0,947059645	1,609189806
115,4	4,7104	543,58	116,13	4,7112	547,09	0,632582322	0,016983696	0,645689497
114,1	7,084	808,28	115,63	5,8362	665,1	1,34092901	17,61434218	17,71460639

**Figura C-33:** Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM009.**Figura C-34:** Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM009.

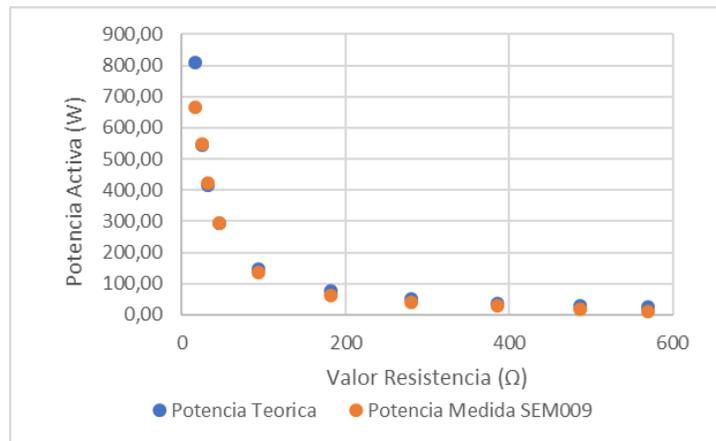


Figura C-35: Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM009.

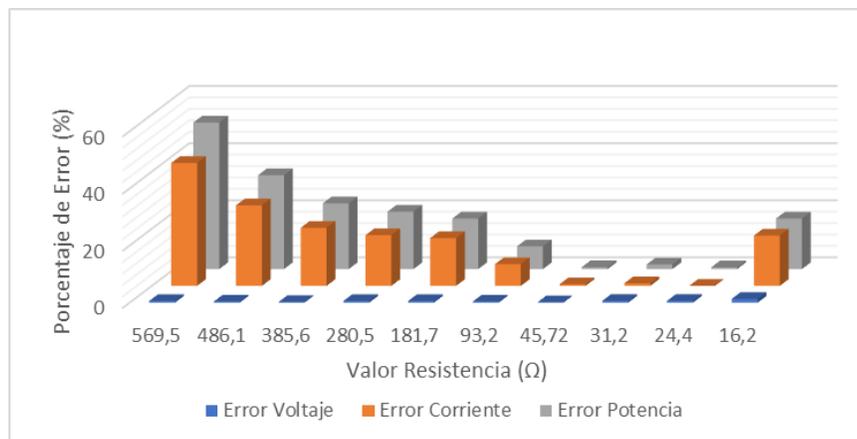


Figura C-36: Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM009.

Tabla C-10: Resultados de medición para el proceso de calibración para el equipo SEM010

Medición Patrón			Medición SEM010			% error		
Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	% EV	% EI	% EP
119,6	0,2096	25,07	118,63	0,1774	19,53	0,811036789	15,36259542	22,09240726
119,2	0,2461	29,34	118,63	0,2121	24,15	0,478187919	13,81552215	17,67546886
119,2	0,3115	37,13	119,13	0,2641	30,34	0,058724832	15,21669342	18,28885992
119,8	0,4265	51,09	119,13	0,3911	45,81	0,559265442	8,300117233	10,34295142
119,4	0,6536	78,04	118,63	0,6474	76,63	0,644891122	0,948592411	1,806564442
119,5	1,2721	152,02	119,13	1,2754	151,27	0,309623431	0,259413568	0,490705087
118,6	2,563	303,97	118,63	2,6056	308,54	0,02529511	1,662114709	1,502836776
117,9	3,6823	434,14	118,63	3,8009	450,54	0,619168787	3,220813079	3,776825511
117,3	4,8099	564,20	118,63	4,8206	573,1	1,133844842	0,222457847	1,577226155
116,2	7,221	839,08	117,63	5,8831	675,1	1,230636833	18,52790472	19,5428518

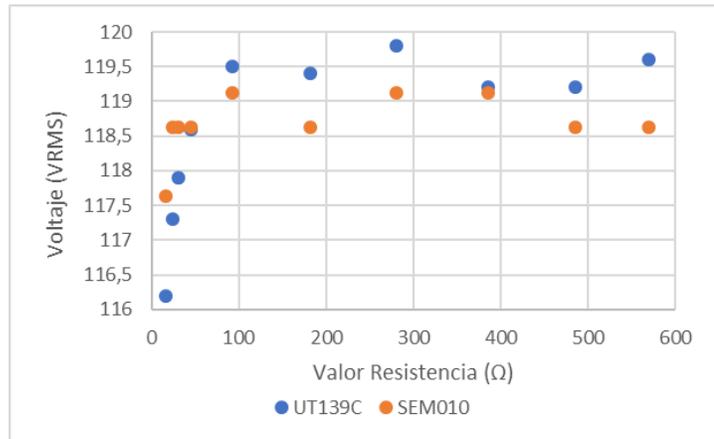


Figura C-37: Valores de medición de voltaje obtenidos del patrón y del equipo SEM010.

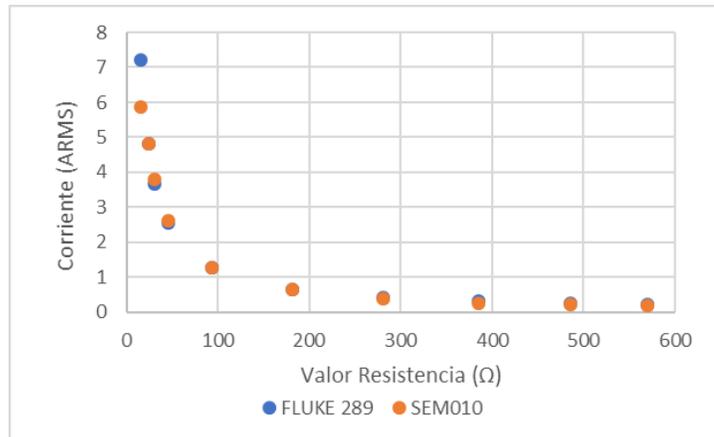


Figura C-38: Valores de medición de corriente obtenidos del patrón y del equipo SEM010.

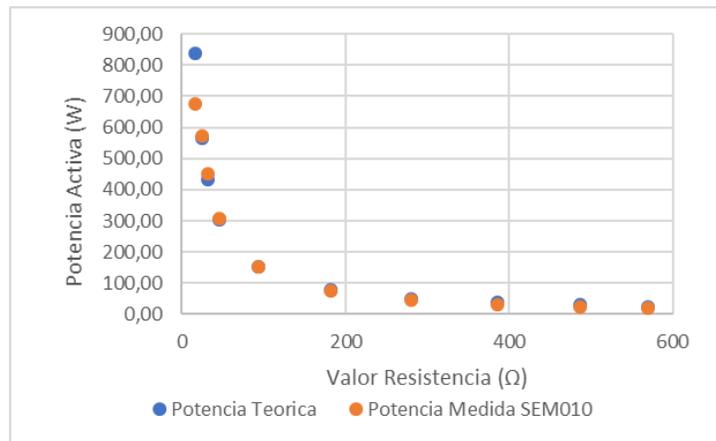


Figura C-39: Valores de medición de potencia obtenidos del patrón y del equipo SEM010.

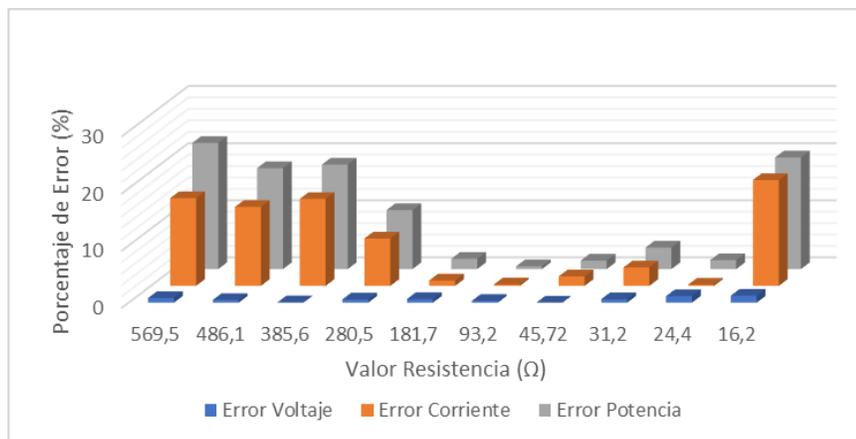


Figura C-40: Valores de error de voltaje, corriente y potencia obtenidos del equipo SEM010.

D. Anexo: Algoritmo implementado en el micro-controlador del equipo SEM usando el software MPLAB[©]

En el siguiente algoritmo se encuentra cada proceso y sub-proceso implementado en el micro-controlador **PIC18F14K22-I_ML**.

```

1  /*
2  * File:    start.c
3  * Author: Alexander Arevalo
4  *
5  * Created on 12 de julio de 2018, 02:08 PM
6  */
7
8  // PIC18F14K22 Configuration Bit Settings
9
10 // 'C' source line config statements
11
12 // CONFIG1H
13 #pragma config FOSC = IRC    // Oscillator Selection bits->Internal RC oscillator
14 #pragma config PLEN = OFF    // 4 X PLL Enable bit->PLL is under software control
15 #pragma config PCLKEN = OFF  // Primary Clock Enable bit->Primary clock is under
16 // software control
17 #pragma config FCMEN = OFF   // Fail-Safe Clock Monitor Enable->Fail-Safe Clock
18 // Monitor disabled
19 #pragma config IESO = OFF    // Internal/External Oscillator Switchover
20 // bit->Oscillator Switchover mode disabled
21
22 // CONFIG2L
23 #pragma config PWRTEN = ON   // Power-up Timer Enable bit->PWRT enabled
24 #pragma config BOREN = SBORDIS // Brown-out Reset Enable bits->Brown-out Reset
25 // enabled in hardware only (SBOREN is disabled)
26 #pragma config BORV = 22    // Brown Out Reset Voltage bits->VBOR set to 2.2 V
27 // nominal
28
29 // CONFIG2H
30 #pragma config WDTEN = OFF   // Watchdog Timer Enable bit->WDT is controlled by
31 // SWDTEN bit of the WDTCON register
32 #pragma config WDTPS = 32768 // Watchdog Timer Postscale Select bits->1:32768
33
34 // CONFIG3H
35 #pragma config HFOFST = ON   // HFINTOSC Fast Start-up bit->HFINTOSC starts
36 // clocking the CPU without waiting for the oscillator to stabilize.
37 #pragma config MCLRE = OFF   // MCLR Pin Enable bit->RA3 input pin enabled; MCLR
38 // disabled
39
40 // CONFIG4L
41 #pragma config STVREN = ON   // Stack Full/Underflow Reset Enable bit->Stack
42 // full/underflow will cause Reset
43 #pragma config LVP = OFF    // Single-Supply ICSP Enable bit->Single-Supply ICSP
44 // disabled
45 #pragma config BBSIZ = OFF   // Boot Block Size Select bit->1kW boot block size
46 #pragma config XINST = OFF   // Extended Instruction Set Enable bit->Instruction
47 // set extension and Indexed Addressing mode disabled (Legacy mode)
48 #pragma config DEBUG = OFF   // Background Debugger Enable bit->Background
49 // debugger disabled, RA0 and RA1 configured as general purpose I/O pins
50
51 // CONFIG5L
52 #pragma config CP0 = OFF    // Code Protection bit->Block 0 not code-protected
53 #pragma config CP1 = OFF    // Code Protection bit->Block 1 not code-protected
54
55 // CONFIG5H
56 #pragma config CPB = OFF    // Boot Block Code Protection bit->Boot block not
57 // code-protected
58 #pragma config CPD = OFF    // Data EEPROM Code Protection bit->Data EEPROM not
59 // code-protected
60
61 // CONFIG6L
62 #pragma config WRT0 = OFF   // Write Protection bit->Block 0 not write-protected
63 #pragma config WRT1 = OFF   // Write Protection bit->Block 1 not write-protected
64
65 // CONFIG6H
66 #pragma config WRTC = OFF   // Configuration Register Write Protection
67 // bit->Configuration registers not write-protected
68 #pragma config WRTB = OFF   // Boot Block Write Protection bit->Boot block not
69 // write-protected

```

```

54 #pragma config WRTD = OFF // Data EEPROM Write Protection bit->Data EEPROM not
write-protected
55
56 // CONFIG7L
57 #pragma config EBTR0 = OFF // Table Read Protection bit->Block 0 not protected
from table reads executed in other blocks
58 #pragma config EBTR1 = OFF // Table Read Protection bit->Block 1 not protected
from table reads executed in other blocks
59
60 // CONFIG7H
61 #pragma config EBTRB = OFF // Boot Block Table Read Protection bit->Boot block
not protected from table reads executed in other blocks
62
63 // #pragma config statements should precede project file includes.
64 // Use project enums instead of #define for ON and OFF.
65
66 // Include libraries
67 #include <xc.h>
68 #include <stdio.h>
69 #include <stdint.h>
70 #include <stdlib.h>
71 #include <stdbool.h>
72 #include <math.h>
73
74 // #include <eeprom_routines.h>
75
76 // Crystal Frequency
77 #define _XTAL_FREQ 6400000
78 /*Transformada Park*/
79 // Name define variables
80 #define NUM_INST (2083) //si cambia cosas del adc volver a ver cuantas
son
81 #define SAMPLES (128)
82 #define STEPS (NUM_INST/_XTAL_FREQ/4)
83 #define PASO 0.0001301875f
84 #define PERIOD 0.016664f
85
86 // initial K Voltage value (0.1697)
87 // #define V_scaling 0.1697f
88 //SEM01
89 // #define V_scaling 0.1744860119357f
90 //SEM02
91 // #define V_scaling 0.1762797548511f
92 //SEM03
93 // #define V_scaling 0.1715760358758f
94 //SEM04
95 // #define V_scaling 0.176409035196f
96 //SEM05
97 // #define V_scaling 0.177822037155f
98 //SEM06
99 // #define V_scaling 0.1764862023679f
100 //SEM07
101 // #define V_scaling 0.1775658011855f
102 //SEM08
103 // #define V_scaling 0.1790490560596f
104 //SEM09
105 // #define V_scaling 0.1788827178166f
106 //SEM10
107 #define V_scaling 0.1777398555178f
108
109 // initial K Current value (0.01995)
110 // #define I_scaling 0.01995f
111 //SEM01
112 // #define I_scaling 0.02336275191705f
113 //SEM02
114 // #define I_scaling 0.0218537363709f
115 //SEM03
116 // #define I_scaling 0.02257368173655f
117 //SEM04

```



```

185 ////////////////////////////////////////////////// main function 1 //////////////////////////////////////
186
187 //void main(void)
188 //{
189 //    unsigned int signal[SAMPLES];
190 //    //unsigned int binCurrent[SAMPLES];
191 //    float Power, Power_Factor;
192 //    uint8_t data_received = 0;
193 //
194 //    SYSTEM_Initialize();
195 //    //Ten_Seconds();
196 //    __delay_ms(2000);
197 //
198 //    while(1)
199 //    {
200 //        data_received = EUSART_Read();
201 //        EUSART_Write(data_received);
202 //
203 //        if(data_received == 0x33)
204 //        {
205 //            //        Signal_Measure(signal, 4);
206 //            //        send_packages_V3(signal);
207 //            //        __delay_us(223.895);
208 //            //        Signal_Measure(signal, 5);
209 //            //        send_packages_V3(signal);
210 //            //
211 //            //        //Scaling_and_Power_Estimation_V2(signal, &Power,
212 //            //        //        &Power_Factor);
213 //            //        data_received = 0;
214 //            //        }
215 //            //
216 //            //        Voltage_and_Current_Measure(binVoltage, binCurrent);
217 //            //        //Scaling_and_Power_Estimation(binVoltage, binCurrent, &Power,
218 //            //        //        &Power_Factor);
219 //            //        //        send_packages(binVoltage, binCurrent);
220 //            //        }
221 //        }
222 //    }
223 //}
224
225 ////////////////////////////////////////////////// main function 2 //////////////////////////////////////
226 //////////////////////////////////////////////////
227
228 void main(void)
229 {
230     unsigned int binVoltage[SAMPLES/2];
231     unsigned int binCurrent[SAMPLES/2];
232     float Power, Power_Factor, Vrms, Irms;
233     uint8_t data_received = 0;
234
235     SYSTEM_Initialize();
236     __delay_ms(2000);
237
238     while(1)
239     {
240         data_received = EUSART_Read();
241         //EUSART_Write(data_received);
242         //data_received = 0x33;
243         if(data_received == 0x33)
244         {
245             Voltage_and_Current_Measure(binVoltage, binCurrent);
246             Scaling_and_Power_Estimation(binVoltage, binCurrent, &Power, &
247             Power_Factor, &Vrms, &Irms);
248             //send_packages(binVoltage, binCurrent);
249             send_secondary_data(&Power, &Power_Factor);
250             send_secondary_data(&Vrms, &Irms);
251
252             __delay_us(10266);
253
254             Voltage_and_Current_Measure(binVoltage, binCurrent);
255             Scaling_and_Power_Estimation(binVoltage, binCurrent, &Power, &

```

```

251         Power_Factor, &Vrms, &Irms);
252         //send_packages(binVoltage, binCurrent);
253         send_secondary_data(&Power, &Power_Factor);
254         send_secondary_data(&Vrms, &Irms);
255
256         data_received = 0;
257     }
258 }
259
260 void SYSTEM_Initialize(void)
261 {
262     OSCILLATOR_Initialize();
263     config_IO();
264     ADC_Config();
265     EUSART_Initialize();
266 }
267
268 void OSCILLATOR_Initialize(void)
269 {
270     OSCCON = 0x70;        // SCS FOSC; IRCF 16MHz_HFINTOSC; IDLEN disabled;
271     OSCCON2 = 0x00;      // PRI_SD disabled; HFIOFL not stable;
272     OSCTUNE = 0x40;      // INTSRC disabled; PLLLEN enabled; TUN 0;
273 }
274
275 void config_IO()
276 {
277     /* 1 -> input      0 -> output */
278     /*RC0 and RC1 analog inputs -> AN4 and AN5 -> Voltage and Current*/
279     /*RB5 and RB7 USART -> RX and TX*/
280
281     TRISA = 0x1F;        // 00011111
282     WPUA = 0x00;        // 0x02
283     TRISB = 0x30;        // 00110000
284     WPUB = 0x00;        // 0x40
285     TRISC = 0x07;        // 00000111
286     ANSEL = 0x30;        // 00110000 ; 1 -> digital disabled 0 -> digital enabled ;
287     RC0 and RC1 as an analog inputs
288     ANSELH = 0x00;
289 }
290
291 void ADC_Config()
292 {
293     ADCON1 = 0x00;      // internal positive and negative references
294     ADCON2 = 0xB5;      // FOSC / 8 ; 16 TAD ; right justified
295     ADRESL = 0x00;      // ADRESL 0;
296     ADRESH = 0x00;      // ADRESH 0;
297 }
298
299 uint16_t start_ADC_conversion(uint8_t ch)
300 {
301     uint16_t result = 0x0000;
302     ADCON0bits.CHS = ch;    // select the A/D channel
303     ADCON0bits.ADON = 1;    // Turn on the ADC module
304     ADCON0bits.GO_nDONE = 1; // Start the conversion
305     while(ADCON0bits.GO_nDONE); // Wait for the conversion to finish
306     result = ((ADRESH << 8) + ADRESL);
307     return result;
308 }
309
310 void EUSART_Initialize(void)
311 {
312     BAUDCON = 0x08;        // CKTXP async_non inverted_sync_falling edge; BRG16
313     16bit_generator; WUE disabled; ABDEN disabled; DTRXP not_inverted;
314     RCSTA = 0x90;          // SPEN enabled; RX9 8-bit; CREN enabled; ADDEN disabled;
315     SREN disabled;
316     TXSTA = 0x24;          // TX9 8-bit; TX9D 0; SENDB sync_break_complete; TXEN
317     enabled; SYNC asynchronous; BRGH hi_speed; CSRC slave_mode;
318     SPBRG = 0x8A;          // SPBRG 138;

```

```

315     SPBRGH = 0x00;        // SPBRGH 0;
316 }
317
318 bool EUSART_is_tx_ready(void)
319 {
320     return (bool) (PIR1bits.TXIF && TXSTAbits.TXEN);
321 }
322
323 bool EUSART_is_rx_ready(void)
324 {
325     return PIR1bits.RCIF;
326 }
327
328 bool EUSART_is_tx_done(void)
329 {
330     return TXSTAbits.TRMT;
331 }
332
333 uint8_t EUSART_Read(void)
334 {
335     while(!PIR1bits.RCIF)
336     {
337     }
338     if(1 == RCSTAbits.OERR)        // EUSART error - restart
339     {
340         RCSTAbits.CREN = 0;
341         RCSTAbits.CREN = 1;
342     }
343     return RCREG;
344 }
345
346 void EUSART_Write(uint8_t txData)
347 {
348     while(0 == PIR1bits.TXIF)
349     {
350     }
351     TXREG = txData;        // Write the data byte to the USART.
352 }
353
354 void SET_Communication_with_ATWINC(void)
355 {
356     power_up_sequence();
357     start_at_command();
358     connect_to_WIFI_NET();
359     DHCP_Client();
360 }
361
362 void power_up_sequence(void)
363 {
364     CHIP_EN = 0;
365     RESET_ATW = 0;
366     __delay_ms(100);
367     CHIP_EN = 1;
368     __delay_ms(10);
369     RESET_ATW = 1;
370     __delay_ms(100);
371 }
372
373 void start_at_command(void)
374 {
375     //     int i = 0, cont = 0, band = 0;
376     //     while(~i)
377     //     {
378         //         EUSART_Write(0xA5);
379         //         EUSART_Write(0x01);
380         //         EUSART_Write(0xF2);
381         //         EUSART_Write(0x00);
382         //         EUSART_Write(0x00);
383         //         EUSART_Write(0x0C);

```

```

384         //      EUSART_Write(0x00);
385         //      EUSART_Write(0x0C);
386         //      EUSART_Write(0x00);
387         //      EUSART_Write(0x61);
388         //      EUSART_Write(0x2F);
389         //      EUSART_Write(0x52);
390         //      EUSART_Write(0xEF);
391         //
392         //      i = receive_OK_from_ATWINC();
393         //
394         //      if(i == 0)
395         //      {
396             //          cont++;
397             //      }
398         //      if(cont == 3)
399         //      {
400             //          i = 1;
401             //          band = 1;
402             //      }
403         //      }
404     }
405
406 void connect_to_WIFI_NET(void)
407 {
408     //      int i = 0, j = 0, cont = 0, band = 0;
409     //
410     //      while(~j)
411     //      {
412         //          // AT+CONN=NetA,2,abcd1234
413         //          // 41 54 2b 43 4f 4e 4e 3d 4e 65 74 41 2c 32 2c 61 62 63 64 31 32
414         //          // 33 34
415         //          while(ssid_password[i] != NULL)
416         //          {
417             //              EUSART_Write(ssid_password[i++]);
418             //          }
419         //          j = receive_OK_from_ATWINC();
420         //
421         //          if(j == 0)
422         //          {
423             //              cont++;
424             //          }
425         //          if(cont == 3)
426         //          {
427             //              j = 1;
428             //              band = 1;
429             //          }
430         //      }
431     }
432
433 void DHCP_Client(void)
434 {
435     //      int i = 0, j = 0, cont = 0, band = 0;
436     //
437     //      while(~j)
438     //      {
439         //          // AT+DHCP=1
440         //          // 41 54 2b 44 48 43 50 3d 31
441         //          while(DHCP[i] != NULL)
442         //          {
443             //              EUSART_Write(DHCP[i++]);
444             //          }
445         //
446         //          j = receive_OK_from_ATWINC();
447         //
448         //          if(j == 0)
449         //          {
450             //              cont++;
451             //          }

```

```

452         //         if(cont == 3)
453         //         {
454             //             j = 1;
455             //             band = 1;
456             //         }
457         //     }
458     }
459
460 int receive_OK_from_ATWINC(void)
461 {
462     //     int i = 0;
463     //     uint8_t response[2];
464     //
465     //     while(i <= 2)
466     //     {
467         //         response[i] = EUSART_Read();
468         //         PIR1bits.RCIF = 0;
469         //         i++;
470         //     }
471     //     __delay_ms(10);
472     //     if(response[0] == 0x2B && response[1] == 0x4F && response[2] == 0x4B)
473         //         return 1;
474     //     else
475         //         return 0;
476 }
477
478 void Voltage_and_Current_Measure(uint16_t *V, uint16_t *I)
479 {
480     uint8_t cont;
481
482     for(cont = 0 ; cont < (SAMPLES/2) ; cont++)
483     {
484         *(V + cont) = start_ADC_conversion(4);
485         *(I + cont) = start_ADC_conversion(5);
486         __delay_us(110);
487     }
488 }
489
490 void Signal_Measure(uint16_t *X, uint8_t ch)
491 {
492     uint8_t cont;
493
494     for(cont = 0 ; cont < SAMPLES ; cont++)
495     {
496         *(X + cont) = start_ADC_conversion(ch);
497         __delay_us(120);
498     }
499 }
500
501 void Scaling_and_Power_Estimation(uint16_t *Vin, uint16_t *Iin, float *P_act, float
*Power_Factor, float *Vrms, float *Irms)
502 {
503     uint8_t i;
504     float P_apar;
505     float acum = 0;
506
507     // Cálculo de Potencia activa
508     for (i = 0 ; i < (SAMPLES/2) ; i++)
509     {
510         acum += (((float)(Vin[i])) * V_scaling) * (((float)(Iin[i])) * I_scaling) *
(PASO);
511         //acum += ((*Vin + i) * V_scaling) * ((*Iin + i) * I_scaling) * (STEPS);
512         //acum += get_V(Vin,i) * get_I(Iin,i) * (STEPS);
513     }
514     *P_act = acum / (PERIOD/2);
515
516     // Cálculo RMS
517     acum = 0;
518     for(i = 0 ; i < (SAMPLES/2) ; i++)

```

```

519     {
520         acum += (((float)(Vin[i])) * V_scaling) * (((float)(Vin[i])) * V_scaling) *
            (PASO);
521     }
522     *Vrms = sqrt(acum / (PERIOD/2));
523
524     acum = 0;
525     for(i = 0 ; i < (SAMPLES/2) ; i++)
526     {
527         acum += (((float)(Iin[i])) * I_scaling) * (((float)(Iin[i])) * I_scaling) *
            (PASO);
528     }
529
530     *Irms = sqrt(acum / (PERIOD/2));
531
532     //I = sqrt(acum / (PERIOD/2));
533
534     // Cálculo de Potencia aparente
535     P_apar = (*Vrms) * (*Irms);
536
537     *Power_Factor = *P_act / P_apar;
538 }
539
540 void Scaling_and_Power_Estimation_V2(uint16_t *Iin, float *P_act, float *
Power_Factor)
541 {
542     uint8_t i;
543     uint16_t vtemp;
544     float V, I, P_apar;
545     float acum = 0;
546
547     // Cálculo de Potencia activa
548     for (i = 0 ; i < SAMPLES ; i++)
549     {
550         vtemp = 0x0000;
551         vtemp = vtemp | (read_EEPROM_memory(2*i));
552         vtemp = vtemp << 8;
553         vtemp = vtemp & 0xFF00;
554         vtemp = vtemp | read_EEPROM_memory((2*i)+1);
555         acum += (vtemp * V_scaling) * get_I(Iin,i);
556     }
557     *P_act = acum / (PERIOD);
558
559     // Cálculo RMS
560     acum = 0;
561     for(i = 0 ; i < SAMPLES ; i++)
562     {
563         vtemp = 0x0000;
564         vtemp = vtemp | read_EEPROM_memory(2*i);
565         vtemp = vtemp << 8;
566         vtemp = vtemp & 0xFF00;
567         vtemp = vtemp | read_EEPROM_memory((2*i)+1);
568         acum += (vtemp * V_scaling) * (vtemp * V_scaling) * (STEPS);
569     }
570     V = (sqrt(acum / PERIOD));
571
572     acum = 0;
573     for(i = 0 ; i < SAMPLES ; i++)
574     {
575         acum += get_I(Iin,i) * get_I(Iin,i) * (STEPS);
576     }
577     I = (sqrt(acum / PERIOD));
578
579     // Cálculo de Potencia aparente
580     P_apar = V * I;
581
582     *Power_Factor = *P_act / P_apar;
583 }
584

```

```

585 uint8_t Ask_to_Send(void)
586 {
587     //     uint8_t response = 0;
588     //
589     //     return response;
590 }
591
592 void Wait_one_Minute(void)
593 {
594     uint8_t i;
595     for(i=0;i<60;i++) __delay_ms(1000);
596 }
597
598 void Ten_Seconds(void)
599 {
600     uint8_t i;
601     for(i=0;i<10;i++) __delay_ms(1000);
602 }
603
604 void send_packages(uint16_t *V, uint16_t *I)
605 {
606     uint8_t tempvh, tempvl, tempih, tempil;
607     uint8_t i;
608     uint16_t acum;
609
610     for (i = 0 ; i < (SAMPLES/2) ; i++)
611     {
612         acum = V[i] & 0xFF00;
613         tempvh = acum >> 8;
614         EUSART_Write(tempvh);
615         __delay_us(44);
616         acum = V[i] & 0x00FF;
617         tempvl = acum;
618         EUSART_Write(tempvl);
619         __delay_us(44);
620     }
621     for (i = 0 ; i < (SAMPLES/2) ; i++)
622     {
623         acum = I[i] & 0xFF00;
624         tempih = acum >> 8;
625         EUSART_Write(tempih);
626         __delay_us(44);
627         acum = I[i] & 0x00FF;
628         tempil = acum;
629         EUSART_Write(tempil);
630         __delay_us(44);
631     }
632 }
633
634 void send_packages_V2(uint16_t *X)
635 {
636     uint8_t tempvh, tempvl, tempih, tempil;
637     uint8_t i;
638     uint16_t acum;
639
640     for (i = 0 ; i < SAMPLES ; i++)
641     {
642         EUSART_Write(read_EEPROM_memory(2*i));
643         EUSART_Write(read_EEPROM_memory((2*i)+1));
644     }
645
646     for (i = 0 ; i < SAMPLES ; i++)
647     {
648         acum = X[i] & 0xFF00;
649         tempih = acum >> 8;
650         EUSART_Write(tempih);
651         acum = X[i] & 0x00FF;
652         tempil = acum;
653         EUSART_Write(tempil);

```

```

654     }
655 }
656
657 void send_packages_V3(uint16_t *X)
658 {
659     uint8_t tempxh, tempxl;
660     uint8_t i;
661     uint16_t acum;
662
663     for (i = 0 ; i < SAMPLES ; i++)
664     {
665         acum = X[i] & 0xFF00;
666         tempxh = acum >> 8;
667         EUSART_Write(tempxh);
668         __delay_us(62);
669         acum = X[i] & 0x00FF;
670         tempxl = acum;
671         EUSART_Write(tempxl);
672         __delay_us(62);
673     }
674 }
675
676 void send_secondary_data(float *a, float *b)
677 {
678     uint8_t bytes[3];
679     __delay_us(44);
680     *(float*)(bytes) = *a;
681     EUSART_Write(bytes[3]);
682     __delay_us(44);
683     EUSART_Write(bytes[2]);
684     __delay_us(44);
685     EUSART_Write(bytes[1]);
686     __delay_us(44);
687     EUSART_Write(bytes[0]);
688     __delay_us(44);
689     *(float*)(bytes) = *b;
690     EUSART_Write(bytes[3]);
691     __delay_us(44);
692     EUSART_Write(bytes[2]);
693     __delay_us(44);
694     EUSART_Write(bytes[1]);
695     __delay_us(44);
696     EUSART_Write(bytes[0]);
697     __delay_us(44);
698 }
699
700 uint8_t read_EEPROM_memory(uint8_t address)
701 {
702     EEADR = address;
703     EECON1bits.EEPGD = 0;
704     EECON1bits.CFGS = 0;
705     EECON1bits.RD = 1;
706     return EEDATA;
707 }
708
709 void write_EEPROM_memory(uint8_t data, uint8_t address)
710 {
711     EEADR = address;
712     EEDATA = data;
713     EECON1bits.EEPGD = 0;
714     EECON1bits.CFGS = 0;
715     EECON1bits.WREN = 1;
716     INTCONbits.GIE = 0;
717     EECON2 = 0x55;
718     EECON2 = 0x0AA;
719     EECON1bits.WR = 1;
720     INTCONbits.GIE = 1;
721     EECON1bits.WREN = 0;
722 }

```

```
723 void Storage_Voltage(uint16_t *X)
724 {
725     uint8_t i = 0;
726     uint16_t acum;
727     uint8_t tempvh, tempvl ;
728
729     for (i = 0; i < SAMPLES ; i++)
730     {
731         tempvh = 0x00;
732         tempvl = 0x00;
733         acum = X[i] & 0xFF00;
734         tempvh = acum >> 8;
735         write_EEPROM_memory(tempvh, 2*i);
736         acum = X[i] & 0x00FF;
737         tempvl = acum;
738         write_EEPROM_memory(tempvl, (2*i)+1);
739     }
740 }
741
```

E. Anexo: Algoritmo implementado en el micro-controlador del módulo WIFI usando el software ARDUINO

En el siguiente algoritmo se encuentra cada proceso y sub-proceso implementado en el micro-controlador del módulo WIFI **ESP8266**.

```

1  #include <Boards.h>
2  #include <Firmata.h>
3  #include <FirmataConstants.h>
4  #include <FirmataDefines.h>
5  #include <FirmataMarshaller.h>
6  #include <FirmataParser.h>
7
8  #include <ESP8266WiFi.h>
9  #include <WiFiClient.h>
10 #include <ESP8266WebServer.h>
11 #include <ESP8266mDNS.h>
12
13
14 #ifndef STASSID
15
16 // #define STASSID "eB-ofThings"
17 // #define STAPSK  "Jo!&PGNDiL+leCN/Y-k+raUTa"
18
19 #define STASSID "Vaikunta"
20 #define STAPSK  "AlExWiFi"
21
22 // #define STASSID "Movistar_LTEC65"
23 // #define STAPSK  "d765ZTZC3t"
24
25 // #define STASSID "DEMENTES"
26 // #define STAPSK  "114491071070942646"
27
28 #endif
29
30 const char* ssid = STASSID;
31 const char* password = STAPSK;
32
33 ESP8266WebServer server(80);
34
35 const int led = 13;
36
37 /////////////////////////////////////////////////////////////////// Numeracion de sensor para incluir en red
38 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
39 String SENSOR_ID = "SEM002";
40 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
41
42 uint8_t i;
43 //char Data2[32] = {0x42, 0xF6, 0X62, 0X57, 0x42, 0xEC, 0x32, 0x0E, 0x42, 0xF6, 0X62,
44 //0X57, 0x42, 0xEC, 0x32, 0x0E, 0x42, 0xF6, 0X62, 0X57, 0x42, 0xEC, 0x32, 0x0E, 0x42,
45 //0xF6, 0X62, 0X57, 0x42, 0xEC, 0x32, 0x0E};
46 char Data2[32];
47 float PotAct1, PowerFact1, Vrms1, Irms1, PotAct2, PowerFact2, Vrms2, Irms2 = 0;
48 //float test = 0x42F66257;
49 uint8_t bytes[3];
50
51 void handleRoot() {
52     digitalWrite(led, 1);
53     //Serial.print("LLego el Get");
54     Serial.write(0x33);
55     // Esperar del serial los datos de medición
56     for(i = 0 ; i < 32 ; i++) {
57         while(Serial.available() == 0){}
58         // read the incoming byte:
59         Data2[i] = Serial.read();
60         //Serial.write(0x35);
61     }
62
63     Data2[4] = 0x40;
64     Data2[5] = 0x00;
65     Data2[6] = 0x00;

```

```

66 Data2[7] = 0x00;
67 Data2[20] = 0x40;
68 Data2[21] = 0x00;
69 Data2[22] = 0x00;
70 Data2[23] = 0x00;
71
72 server.send_P(200, "image/png", (Data2), 32);
73 //server.send(200, "text/plain", "hello from esp8266!");
74 digitalWrite(led, 0);
75 }
76
77 void handleNotFound() {
78 digitalWrite(led, 1);
79 String message = "File Not Found\n\n";
80 message += "URI: ";
81 message += server.uri();
82 message += "\nMethod: ";
83 message += (server.method() == HTTP_GET) ? "GET" : "POST";
84 message += "\nArguments: ";
85 message += server.args();
86 message += "\n";
87 for (uint8_t i = 0; i < server.args(); i++) {
88 message += " " + server.argName(i) + ": " + server.arg(i) + "\n";
89 }
90 server.send(404, "text/plain", message);
91 digitalWrite(led, 0);
92 }
93
94 void setup(void) {
95 pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
96 pinMode(led, OUTPUT);
97 digitalWrite(led, 0);
98 delay(2000);
99 Serial.begin(115200);
100 WiFi.mode(WIFI_STA);
101 WiFi.begin(ssid, password);
102 IPAddress ip(172,16,0,12);
103 IPAddress gateway(172,16,0,5);
104 IPAddress subnet(255,255,255,0);
105 WiFi.config(ip, gateway, subnet);
106
107 Serial.println("");
108
109 // Wait for connection
110 while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
111 digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
112 delay(250);
113 //Serial.print(".");
114 digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
115 delay(250);
116 }
117 digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
118 //Serial.println("");
119 //Serial.print("Connected to ");
120 //Serial.println(ssid);
121 //Serial.print("IP address: ");
122 //Serial.println(WiFi.localIP());
123
124 if (MDNS.begin("esp8266")) {
125 //Serial.println("MDNS responder started");
126 }
127
128 server.on("/", handleRoot);
129 //server.on("/"+SENSOR_ID, handleRoot); // Se habla a un sensor de la
red
130
131 server.on("/inline", []() {
132 server.send(200, "text/plain", "this works as well");
133 });

```

```
134
135     server.onNotFound(handleNotFound);
136
137     server.begin();
138     //Serial.println("HTTP server started");
139 }
140
141 void loop(void) {
142     server.handleClient();
143     MDNS.update();
144 }
```

F. Anexo: Algoritmos implementados en los bloques de función usando el software NODE-RED

Los procesos que se presentan a continuación, son elaborados en el software NODE-RED. En este programa, al usar bloques de función, se debe programar en lenguaje JAVASCRIPT. De igual manera se puede encontrar sintaxis relacionada con SQL. Para mas información sobre la base de datos desarrollada, remitirse a la sección 4.3.3

```

1 // Bloque "AskQtyNodes"
2
3 var msga = { topic:""};
4 msga.topic = "SELECT MAX(id_reg) FROM ip_table;";
5 return msga;
6
7 // Bloque "Select IP"
8
9 var i = flow.get('i') || 0;
10 var x = msg.payload[0]["MAX(id_reg)"];
11 var msg4 = { topic:""};
12 for (i = 0; i < x; i++) {
13     msg4.topic = "SELECT ip_address FROM ip_table WHERE id_reg = " + (i+1).toString() +
14     " ";
15     flow.set('i',i);
16     node.send([msg4]);
17 }
18 if(i == x) {
19     i = 0;
20 }
21 // Bloque "Receive and format data"
22
23 var i,j;
24 var w, x, y, z;
25 var msg2 = { payload:"" };
26 for (i = 0; i < 8; i++) {
27     switch (i){
28         case 0:
29             //msg.PotAct1 = msg.payload[(4*i)+3] ^ msg.payload[(4*i) + 2]<<8 ^
30             msg.payload[(4*i) + 1]<<16 ^ msg.payload[(4*i)]<<24;
31             w = (+msg.payload[(4*i)]).toString(16);
32             if(w.length < 2) {
33                 w = '0' + w;
34             }
35             x = (+msg.payload[(4*i)+1]).toString(16);
36             if(x.length < 2) {
37                 x = '0' + x;
38             }
39             y = (+msg.payload[(4*i)]+2).toString(16);
40             if(y.length < 2) {
41                 y = '0' + y;
42             }
43             z = (+msg.payload[(4*i)+3]).toString(16);
44             if(z.length < 2) {
45                 z = '0' + z;
46             }
47             msg2.payload = msg.PotAct1 = w + x + y + z;
48             break;
49         case 1:
50             w = (+msg.payload[(4*i)]).toString(16);
51             if(w.length < 2) {
52                 w = '0' + w;
53             }
54             x = (+msg.payload[(4*i)+1]).toString(16);
55             if(x.length < 2) {
56                 x = '0' + x;
57             }
58             y = (+msg.payload[(4*i)]+2).toString(16);
59             if(y.length < 2) {
60                 y = '0' + y;
61             }
62             z = (+msg.payload[(4*i)+3]).toString(16);
63             if(z.length < 2) {
64                 z = '0' + z;
65             }
66             msg2.payload = msg.PowerFact1 = w + x + y + z;
67             break;
68         case 2:

```

```

68     w = (+msg.payload[(4*i)]).toString(16);
69     if(w.length < 2) {
70         w = '0' + w;
71     }
72     x = (+msg.payload[(4*i)+1]).toString(16);
73     if(x.length < 2) {
74         x = '0' + x;
75     }
76     y = (+msg.payload[(4*i)]+2).toString(16);
77     if(y.length < 2) {
78         y = '0' + y;
79     }
80     z = (+msg.payload[(4*i)+3]).toString(16);
81     if(z.length < 2) {
82         z = '0' + z;
83     }
84     msg2.payload = msg.Vrms1 = w + x + y + z;
85     break;
86 case 3:
87     w = (+msg.payload[(4*i)]).toString(16);
88     if(w.length < 2) {
89         w = '0' + w;
90     }
91     x = (+msg.payload[(4*i)+1]).toString(16);
92     if(x.length < 2) {
93         x = '0' + x;
94     }
95     y = (+msg.payload[(4*i)]+2).toString(16);
96     if(y.length < 2) {
97         y = '0' + y;
98     }
99     z = (+msg.payload[(4*i)+3]).toString(16);
100    if(z.length < 2) {
101        z = '0' + z;
102    }
103    msg2.payload = msg.Irms1 = w + x + y + z;
104    break;
105 case 4:
106     w = (+msg.payload[(4*i)]).toString(16);
107     if(w.length < 2) {
108         w = '0' + w;
109     }
110     x = (+msg.payload[(4*i)+1]).toString(16);
111     if(x.length < 2) {
112         x = '0' + x;
113     }
114     y = (+msg.payload[(4*i)]+2).toString(16);
115     if(y.length < 2) {
116         y = '0' + y;
117     }
118     z = (+msg.payload[(4*i)+3]).toString(16);
119     if(z.length < 2) {
120         z = '0' + z;
121     }
122     msg2.payload = msg.PotAct2 = w + x + y + z;
123     break;
124 case 5:
125     w = (+msg.payload[(4*i)]).toString(16);
126     if(w.length < 2) {
127         w = '0' + w;
128     }
129     x = (+msg.payload[(4*i)+1]).toString(16);
130     if(x.length < 2) {
131         x = '0' + x;
132     }
133     y = (+msg.payload[(4*i)]+2).toString(16);
134     if(y.length < 2) {
135         y = '0' + y;
136     }

```

```

137         z = (+msg.payload[(4*i)+3]).toString(16);
138         if(z.length < 2) {
139             z = '0' + z;
140         }
141         msg2.payload = msg.PowerFact2 = w + x + y + z;
142         break;
143     case 6:
144         w = (+msg.payload[(4*i)]).toString(16);
145         if(w.length < 2) {
146             w = '0' + w;
147         }
148         x = (+msg.payload[(4*i)+1]).toString(16);
149         if(x.length < 2) {
150             x = '0' + x;
151         }
152         y = (+msg.payload[(4*i)]+2).toString(16);
153         if(y.length < 2) {
154             y = '0' + y;
155         }
156         z = (+msg.payload[(4*i)+3]).toString(16);
157         if(z.length < 2) {
158             z = '0' + z;
159         }
160         msg2.payload = msg.Vrms2 = w + x + y + z;
161         break;
162     case 7:
163         w = (+msg.payload[(4*i)]).toString(16);
164         if(w.length < 2) {
165             w = '0' + w;
166         }
167         x = (+msg.payload[(4*i)+1]).toString(16);
168         if(x.length < 2) {
169             x = '0' + x;
170         }
171         y = (+msg.payload[(4*i)]+2).toString(16);
172         if(y.length < 2) {
173             y = '0' + y;
174         }
175         z = (+msg.payload[(4*i)+3]).toString(16);
176         if(z.length < 2) {
177             z = '0' + z;
178         }
179         msg2.payload = msg.Irms2 = w + x + y + z;
180         break;
181     }
182     node.send([[msg2],null]);
183     // msg2.payload = {};
184 }
185 return [null,msg];
186
187
188 // Bloque "String to Float"
189
190 var str = msg.payload;
191 var int = parseInt(str, 16);
192 if (int > 0 || int < 0) {
193     var sign = (int >>> 31) ? -1 : 1;
194     var exp = (int >>> 23 & 0xff) - 127;
195     var mantissa = ((int & 0x7fffff) + 0x800000).toString(2);
196     var float32 = 0;
197     for (i = 0; i < mantissa.length; i += 1) { float32 += parseInt(mantissa[i]) ? Math.
198         pow(2, exp) : 0; exp--}
199     msg.result = float32 * sign;
200     return msg;
201 } else return 0;
202
203 // Bloque "Separate data"
204

```

```
205  var Datos = msg.result;
206  var FBD0 = (Datos[0] + Datos[4])/2;
207  var FBD1 = (Datos[1] + Datos[5])/2;
208  var FBD2 = (Datos[2] + Datos[6])/2;
209  var FBD3 = (Datos[3] + Datos[7])/2;
210  var temp = Math.floor(FBD1);
211  var clock = Math.floor((Date.now())/1000);
212  var msg3 = { topic:""};
213  msg3.topic = "INSERT INTO meter_table (id_node, tiempo, voltaje, corriente, potencia)
VALUES (" + temp + ", CURRENT_TIMESTAMP, " + FBD2 + ", " + FBD3 + ", " + FBD0 + ")";
214  return msg3;
215
216
```

G. Anexo: Algoritmos implementados para las consultas y el análisis de los datos

En este anexo se encuentran los diferentes algoritmos implementados en Thonny. Cada uno está relacionado a una de las etapas del proceso de consulta y análisis mencionados en la sección 4.4 y se pueden estudiar con base en su título. En el documento encontrará el título a revisar según sea el caso.

```

1
2
3
4 #####
5 #
6 # Consulta y separación de datos #
7 #
8 #####
9
10
11
12 import numpy as np
13 import time
14 import pickle
15 import mysql.connector
16 mydb = mysql.connector.connect(host="localhost", user="root", passwd="AlEx98100",
17 database="laura")
18 mycursor = mydb.cursor()
19
20 sqlday1 = "SELECT * FROM meter_table WHERE tiempo LIKE '%2019-09-30%' AND id_node = %s"
21 sqlday2 = "SELECT * FROM meter_table WHERE tiempo LIKE '%2019-10-01%' AND id_node = %s"
22 sqlday3 = "SELECT * FROM meter_table WHERE tiempo LIKE '%2019-10-02%' AND id_node = %s"
23 sqlday4 = "SELECT * FROM meter_table WHERE tiempo LIKE '%2019-10-03%' AND id_node = %s"
24 sqlday5 = "SELECT * FROM meter_table WHERE tiempo LIKE '%2019-10-04%' AND id_node = %s"
25 sqlday6 = "SELECT * FROM meter_table WHERE tiempo LIKE '%2019-10-05%' AND id_node = %s"
26 sqlday7 = "SELECT * FROM meter_table WHERE tiempo LIKE '%2019-10-06%' AND id_node = %s"
27 sqlday8 = "SELECT * FROM meter_table WHERE tiempo LIKE '%2019-10-07%' AND id_node = %s"
28 sqlday9 = "SELECT * FROM meter_table WHERE tiempo LIKE '%2019-10-08%' AND id_node = %s"
29 sqlday10 = "SELECT * FROM meter_table WHERE tiempo LIKE '%2019-10-09%' AND id_node = %s"
30 sqlday11 = "SELECT * FROM meter_table WHERE tiempo LIKE '%2019-10-10%' AND id_node = %s"
31 sqlday12 = "SELECT * FROM meter_table WHERE tiempo LIKE '%2019-10-11%' AND id_node = %s"
32 sqlday13 = "SELECT * FROM meter_table WHERE tiempo LIKE '%2019-10-12%' AND id_node = %s"
33 sqlday14 = "SELECT * FROM meter_table WHERE tiempo LIKE '%2019-10-13%' AND id_node = %s"
34
35 Day20190930 = np.zeros([5,790,2])
36 for x in range(5):
37     y = x+6
38     #node = str(y)
39     node = (str(y),)
40     mycursor.execute(sqlday1, node)
41     myconsult = mycursor.fetchall()
42     for j in range(790):
43         d = myconsult[j][2]
44         dtt = d.timetuple()
45         Day20190930[x][j][0] = time.mktime(dtt)
46         Day20190930[x][j][1] = myconsult[j][5]
47
48 pickle.dump([Day20190930], open("Day20190930.p", "wb"))
49
50 Day20191001 = np.zeros([5,1439,2])
51 for x in range(5):
52     y = x+6
53     #node = str(y)
54     node = (str(y),)
55     mycursor.execute(sqlday2, node)
56     myconsult = mycursor.fetchall()
57     for j in range(1439):
58         d = myconsult[j][2]
59         dtt = d.timetuple()
60         Day20191001[x][j][0] = time.mktime(dtt)
61         Day20191001[x][j][1] = myconsult[j][5]
62
63 pickle.dump([Day20191001], open("Day20191001.p", "wb"))
64
65 Day20191002 = np.zeros([5,1439,2])
66 for x in range(5):
67     y = x+6

```

```

67     #node = str(y)
68     node = (str(y),)
69     mycursor.execute(sqlday3, node)
70     myconsult = mycursor.fetchall()
71     for j in range(1439):
72         d = myconsult[j][2]
73         dtt = d.timetuple()
74         Day20191002[x][j][0] = time.mktime(dtt)
75         Day20191002[x][j][1] = myconsult[j][5]
76
77 pickle.dump([Day20191002], open("Day20191002.p", "wb"))
78
79 Day20191003 = np.zeros([5,1439,2])
80 for x in range(5):
81     y = x+6
82     #node = str(y)
83     node = (str(y),)
84     mycursor.execute(sqlday4, node)
85     myconsult = mycursor.fetchall()
86     for j in range(1439):
87         d = myconsult[j][2]
88         dtt = d.timetuple()
89         Day20191003[x][j][0] = time.mktime(dtt)
90         Day20191003[x][j][1] = myconsult[j][5]
91
92 pickle.dump([Day20191003], open("Day20191003.p", "wb"))
93
94 Day20191004 = np.zeros([5,1439,2])
95 for x in range(5):
96     y = x+6
97     #node = str(y)
98     node = (str(y),)
99     mycursor.execute(sqlday5, node)
100    myconsult = mycursor.fetchall()
101    for j in range(1439):
102        d = myconsult[j][2]
103        dtt = d.timetuple()
104        Day20191004[x][j][0] = time.mktime(dtt)
105        Day20191004[x][j][1] = myconsult[j][5]
106
107 pickle.dump([Day20191004], open("Day20191004.p", "wb"))
108
109 Day20191005 = np.zeros([5,1439,2])
110 for x in range(5):
111     y = x+6
112     #node = str(y)
113     node = (str(y),)
114     mycursor.execute(sqlday6, node)
115     myconsult = mycursor.fetchall()
116     for j in range(1439):
117         d = myconsult[j][2]
118         dtt = d.timetuple()
119         Day20191005[x][j][0] = time.mktime(dtt)
120         Day20191005[x][j][1] = myconsult[j][5]
121
122 pickle.dump([Day20191005], open("Day20191005.p", "wb"))
123
124 Day20191006 = np.zeros([5,1439,2])
125 for x in range(5):
126     y = x+6
127     #node = str(y)
128     node = (str(y),)
129     mycursor.execute(sqlday7, node)
130     myconsult = mycursor.fetchall()
131     for j in range(1439):
132         d = myconsult[j][2]
133         dtt = d.timetuple()

```

```

134         Day20191006[x][j][0] = time.mktime(dtt)
135         Day20191006[x][j][1] = myconsult[j][5]
136
137 pickle.dump([Day20191006], open("Day20191006.p", "wb"))
138
139 Day20191007 = np.zeros([5,1439,2])
140 for x in range(5):
141     y = x+6
142     #node = str(y)
143     node = (str(y),)
144     mycursor.execute(sqlday8, node)
145     myconsult = mycursor.fetchall()
146     for j in range(1439):
147         d = myconsult[j][2]
148         dtt = d.timetuple()
149         Day20191007[x][j][0] = time.mktime(dtt)
150         Day20191007[x][j][1] = myconsult[j][5]
151
152 pickle.dump([Day20191007], open("Day20191007.p", "wb"))
153
154 Day20191008 = np.zeros([5,1439,2])
155 for x in range(5):
156     y = x+6
157     #node = str(y)
158     node = (str(y),)
159     mycursor.execute(sqlday9, node)
160     myconsult = mycursor.fetchall()
161     for j in range(1439):
162         d = myconsult[j][2]
163         dtt = d.timetuple()
164         Day20191008[x][j][0] = time.mktime(dtt)
165         Day20191008[x][j][1] = myconsult[j][5]
166
167 pickle.dump([Day20191008], open("Day20191008.p", "wb"))
168
169 Day20191009 = np.zeros([5,1439,2])
170 for x in range(5):
171     y = x+6
172     #node = str(y)
173     node = (str(y),)
174     mycursor.execute(sqlday10, node)
175     myconsult = mycursor.fetchall()
176     for j in range(1439):
177         d = myconsult[j][2]
178         dtt = d.timetuple()
179         Day20191009[x][j][0] = time.mktime(dtt)
180         Day20191009[x][j][1] = myconsult[j][5]
181
182 pickle.dump([Day20191009], open("Day20191009.p", "wb"))
183
184 Day20191010 = np.zeros([5,1439,2])
185 for x in range(5):
186     y = x+6
187     #node = str(y)
188     node = (str(y),)
189     mycursor.execute(sqlday11, node)
190     myconsult = mycursor.fetchall()
191     for j in range(1439):
192         d = myconsult[j][2]
193         dtt = d.timetuple()
194         Day20191010[x][j][0] = time.mktime(dtt)
195         Day20191010[x][j][1] = myconsult[j][5]
196
197 pickle.dump([Day20191010], open("Day20191010.p", "wb"))
198
199 Day20191011 = np.zeros([5,1439,2])
200 for x in range(5):

```

```
201     y = x+6
202     #node = str(y)
203     node = (str(y),)
204     mycursor.execute(sqlday12, node)
205     myconsult = mycursor.fetchall()
206     for j in range(1439):
207         d = myconsult[j][2]
208         dtt = d.timetuple()
209         Day20191011[x][j][0] = time.mktime(dtt)
210         Day20191011[x][j][1] = myconsult[j][5]
211
212 pickle.dump([Day20191011], open("Day20191011.p", "wb"))
213
214 Day20191012 = np.zeros([5,1439,2])
215 for x in range(5):
216     y = x+6
217     #node = str(y)
218     node = (str(y),)
219     mycursor.execute(sqlday13, node)
220     myconsult = mycursor.fetchall()
221     for j in range(1439):
222         d = myconsult[j][2]
223         dtt = d.timetuple()
224         Day20191012[x][j][0] = time.mktime(dtt)
225         Day20191012[x][j][1] = myconsult[j][5]
226
227 pickle.dump([Day20191012], open("Day20191012.p", "wb"))
228
229 Day20191013 = np.zeros([5,1439,2])
230 for x in range(5):
231     y = x+6
232     #node = str(y)
233     node = (str(y),)
234     mycursor.execute(sqlday14, node)
235     myconsult = mycursor.fetchall()
236     for j in range(1439):
237         d = myconsult[j][2]
238         dtt = d.timetuple()
239         Day20191013[x][j][0] = time.mktime(dtt)
240         Day20191013[x][j][1] = myconsult[j][5]
241
242 pickle.dump([Day20191013], open("Day20191013.p", "wb"))
243
244
245
246
```

```

1
2
3
4 #####
5 #
6 # Gráfica de potencia, estimación de energía y análisis de Fourier #
7 #
8 #####
9
10
11
12 import matplotlib.pyplot as plt
13 import matplotlib.gridspec as gridspec
14 import matplotlib.dates as mdates
15 import numpy as np
16 import pickle
17
18 from matplotlib.ticker import FuncFormatter
19 from datetime import datetime, timedelta, date, time
20
21 x1 = pickle.load(open("20190930.p", "rb"))
22 Variable = np.array(x1)
23 x2 = pickle.load(open("20191001.p", "rb"))
24 Day20191001 = np.array(x2)
25 x3 = pickle.load(open("20191002.p", "rb"))
26 Day20191002 = np.array(x3)
27 x4 = pickle.load(open("20191003.p", "rb"))
28 Day20191003 = np.array(x4)
29 x5 = pickle.load(open("20191004.p", "rb"))
30 Day20191004 = np.array(x5)
31 x6 = pickle.load(open("20191005.p", "rb"))
32 Day20191005 = np.array(x6)
33 x7 = pickle.load(open("20191006.p", "rb"))
34 Day20191006 = np.array(x7)
35 x8 = pickle.load(open("20191007.p", "rb"))
36 Day20191007 = np.array(x8)
37 x9 = pickle.load(open("20191008.p", "rb"))
38 Day20191008 = np.array(x9)
39 x10 = pickle.load(open("20191009.p", "rb"))
40 Day20191009 = np.array(x10)
41 x11 = pickle.load(open("20191010.p", "rb"))
42 Day20191010 = np.array(x11)
43 x12 = pickle.load(open("20191011.p", "rb"))
44 Day20191010 = np.array(x12)
45 x13 = pickle.load(open("20191012.p", "rb"))
46 Day20191012 = np.array(x13)
47 x14 = pickle.load(open("20191013.p", "rb"))
48 Day20191013 = np.array(x14)
49 x15 = pickle.load(open("20191014.p", "rb"))
50 Day20191014 = np.array(x15)
51
52
53 ED1N=[0,0,0,0,0]
54
55 time0 = time(0,0,0)
56 time1 = time(5,0,0)
57 time2 = time(9,0,0)
58 time3 = time(15,0,0)
59 time4 = time(22,0,0)
60 time5 = time(23,59,59)
61
62 from datetime import datetime, timedelta, time, date
63
64
65 D1NOT = Variable[0,0,:]
66 D1NOP = Variable[1,0,:]
67

```

```

68 kw = D1N0P/1000
69 ED1N[0] = 0
70 cont = 0
71 FRENPL = []
72 for z in range(np.shape(D1N0T)[0]-1):
73     temp = (kw[z]+kw[z+1])/2
74     deltaT = ((np.timedelta64(D1N0T[z+1]-D1N0T[z])).astype(int))/1000000/3600
75     area = temp * deltaT
76     ED1N[0] = ED1N[0] + area
77     if((datetime.time(D1N0T[z]) > time1) and cont == 0):
78         FRENPL.append(ED1N[0])
79         cont += 1
80     if((datetime.time(D1N0T[z]) > time2) and cont == 1):
81         FRENPL.append(ED1N[0])
82         cont += 1
83     if((datetime.time(D1N0T[z]) > time3) and cont == 2):
84         FRENPL.append(ED1N[0])
85         cont += 1
86     if((datetime.time(D1N0T[z]) > time4) and cont == 3):
87         FRENPL.append(ED1N[0])
88         cont += 1
89 FRENPL.append(ED1N[0])
90
91 FRENPL[4] = FRENPL[4] - FRENPL[3]
92 FRENPL[3] = FRENPL[3] - FRENPL[2]
93 FRENPL[2] = FRENPL[2] - FRENPL[1]
94 FRENPL[1] = FRENPL[1] - FRENPL[0]
95
96
97 D1N1T = Variable[0,1,: ]
98 D1N1P = Variable[1,1,: ]
99
100 kw = D1N1P/1000
101 ED1N[1] = 0
102 cont = 0
103 FRENNE = []
104 for z in range(np.shape(D1N1T)[0]-1):
105     temp = (kw[z]+kw[z+1])/2
106     deltaT = ((np.timedelta64(D1N1T[z+1]-D1N1T[z])).astype(int))/1000000/3600
107     area = temp * deltaT
108     ED1N[1] = ED1N[1] + area
109     if((datetime.time(D1N1T[z]) > time1) and cont == 0):
110         FRENNE.append(ED1N[1])
111         cont += 1
112     if((datetime.time(D1N1T[z]) > time2) and cont == 1):
113         FRENNE.append(ED1N[1])
114         cont += 1
115     if((datetime.time(D1N1T[z]) > time3) and cont == 2):
116         FRENNE.append(ED1N[1])
117         cont += 1
118     if((datetime.time(D1N1T[z]) > time4) and cont == 3):
119         FRENNE.append(ED1N[1])
120         cont += 1
121 FRENNE.append(ED1N[1])
122
123 FRENNE[4] = FRENNE[4] - FRENNE[3]
124 FRENNE[3] = FRENNE[3] - FRENNE[2]
125 FRENNE[2] = FRENNE[2] - FRENNE[1]
126 FRENNE[1] = FRENNE[1] - FRENNE[0]
127
128 #####
129 #####
130
131 D1N2T = Variable[0,2,: ]
132 D1N2P = Variable[1,2,: ]
133
134 kw = D1N2P/1000

```

```

135 ED1N[2] = 0
136 cont = 0
137 FRENLI = []
138 for z in range(np.shape(D1N2T)[0]-1):
139     temp = (kw[z]+kw[z+1])/2
140     deltaT = ((np.timedelta64(D1N2T[z+1]-D1N2T[z])).astype(int))/1000000/3600
141     area = temp * deltaT
142     ED1N[2] = ED1N[2] + area
143     if((datetime.time(D1N2T[z]) > time1) and cont == 0):
144         FRENLI.append(ED1N[2])
145         cont += 1
146     if((datetime.time(D1N2T[z]) > time2) and cont == 1):
147         FRENLI.append(ED1N[2])
148         cont += 1
149     if((datetime.time(D1N2T[z]) > time3) and cont == 2):
150         FRENLI.append(ED1N[2])
151         cont += 1
152     if((datetime.time(D1N2T[z]) > time4) and cont == 3):
153         FRENLI.append(ED1N[2])
154         cont += 1
155 FRENLI.append(ED1N[2])
156
157 FRENLI[4] = FRENLI[4] - FRENLI[3]
158 FRENLI[3] = FRENLI[3] - FRENLI[2]
159 FRENLI[2] = FRENLI[2] - FRENLI[1]
160 FRENLI[1] = FRENLI[1] - FRENLI[0]
161
162 #####
163 #####
164
165 D1N3T = Variable[0,3,:]
166 D1N3P = Variable[1,3,:]
167
168 kw = D1N3P/1000
169 ED1N[3] = 0
170 cont = 0
171 FRENTV = []
172 for z in range(np.shape(D1N3T)[0]-1):
173     temp = (kw[z]+kw[z+1])/2
174     deltaT = ((np.timedelta64(D1N3T[z+1]-D1N3T[z])).astype(int))/1000000/3600
175     area = temp * deltaT
176     ED1N[3] = ED1N[3] + area
177     if((datetime.time(D1N3T[z]) > time1) and cont == 0):
178         FRENTV.append(ED1N[3])
179         cont += 1
180     if((datetime.time(D1N3T[z]) > time2) and cont == 1):
181         FRENTV.append(ED1N[3])
182         cont += 1
183     if((datetime.time(D1N3T[z]) > time3) and cont == 2):
184         FRENTV.append(ED1N[3])
185         cont += 1
186     if((datetime.time(D1N3T[z]) > time4) and cont == 3):
187         FRENTV.append(ED1N[3])
188         cont += 1
189 FRENTV.append(ED1N[3])
190
191 FRENTV[4] = FRENTV[4] - FRENTV[3]
192 FRENTV[3] = FRENTV[3] - FRENTV[2]
193 FRENTV[2] = FRENTV[2] - FRENTV[1]
194 FRENTV[1] = FRENTV[1] - FRENTV[0]
195
196 #####
197 #####
198
199 D1N4T = Variable[0,4,:]
200 D1N4P = Variable[1,4,:]
201

```

```

202 kw = D1N4P/1000
203 ED1N[4] = 0
204 cont = 0
205 FRENLA = []
206 for z in range(np.shape(D1N4T)[0]-1):
207     temp = (kw[z]+kw[z+1])/2
208     deltaT = ((np.timedelta64(D1N4T[z+1]-D1N4T[z])).astype(int))/1000000/3600
209     area = temp * deltaT
210     ED1N[4] = ED1N[4] + area
211     if((datetime.time(D1N4T[z]) > time1) and cont == 0):
212         FRENLA.append(ED1N[4])
213         cont += 1
214     if((datetime.time(D1N4T[z]) > time2) and cont == 1):
215         FRENLA.append(ED1N[4])
216         cont += 1
217     if((datetime.time(D1N4T[z]) > time3) and cont == 2):
218         FRENLA.append(ED1N[4])
219         cont += 1
220     if((datetime.time(D1N4T[z]) > time4) and cont == 3):
221         FRENLA.append(ED1N[4])
222         cont += 1
223 FRENLA.append(ED1N[4])
224
225 FRENLA[4] = FRENLA[4] - FRENLA[3]
226 FRENLA[3] = FRENLA[3] - FRENLA[2]
227 FRENLA[2] = FRENLA[2] - FRENLA[1]
228 FRENLA[1] = FRENLA[1] - FRENLA[0]
229
230 #pickle.dump(ED1N, open("EF20190930.p", "wb"))
231
232 Franjas = ['Franja 1','Franja 2','Franja 3','Franja 4','Franja 5']
233
234 FRD1 = [FRENPL, FRENNE, FRENLI, FRENTV, FRENLA]
235
236 pickle.dump(FRD1, open("FRD1.p", "wb"))
237
238 #####
239 #####
240
241 fig = plt.figure(figsize=(8,5))
242
243 gs0 = fig.add_gridspec(12,1)
244
245 gs1 = gs0[0:4].subgridspec(1,31)
246 gs2 = gs0[7:11].subgridspec(1,31)
247
248 ax0 = fig.add_subplot(gs1[4:11])
249 p0 = ax0.bar(0,0, color='blue')
250 p1 = ax0.bar(0,0, color='orange')
251 p2 = ax0.bar(0,0, color='red')
252 p3 = ax0.bar(0,0, color='green')
253 p4 = ax0.bar(0,0, color='cyan')
254 ax0.bar(Franjas, FRENPL, color=['blue', 'orange', 'red', 'green', 'cyan'])
255 ax0.set_title('Plancha', fontsize=8)
256 ax0.set_ylabel('Energía (KW/h)', fontsize=8)
257 ax0.set_xlabel('Tiempo (Horas)', fontsize=8)
258 ax0.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 5)
259 #ax0.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))
260
261 ax1 = fig.add_subplot(gs1[16:23])
262 #p1 = ax1.bar(0,0, color='orange')
263 ax1.bar(Franjas, FRENNE, color=['blue', 'orange', 'red', 'green', 'cyan'])
264 ax1.set_title('Nevera', fontsize=8)
265 ax1.set_ylabel('Energía (KW/h)', fontsize=8)
266 ax1.set_xlabel('Tiempo (Horas)', fontsize=8)
267 ax1.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 5)
268 #ax1.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))

```

```

269
270 ax2 = fig.add_subplot(gs2[1:8])
271 #p2 = ax2.bar(0,0, color='red')
272 ax2.bar(Franjas, FRENLI, color=['blue', 'orange', 'red', 'green', 'cyan'])
273 ax2.set_title('Licuadora', fontsize=8)
274 ax2.set_ylabel('Energía (KW/h)', fontsize=8)
275 ax2.set_xlabel('Tiempo (Horas)', fontsize=8)
276 ax2.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 5)
277 #ax2.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))
278
279 ax3 = fig.add_subplot(gs2[11:18])
280 #p3 = ax3.bar(0,0, color='green')
281 ax3.bar(Franjas, FRENTV, color=['blue', 'orange', 'red', 'green', 'cyan'])
282 ax3.set_title('TV + Laptop + 2 cargadores', fontsize=8)
283 ax3.set_ylabel('Energía (KW/h)', fontsize=8)
284 ax3.set_xlabel('Tiempo (Horas)', fontsize=8)
285 ax3.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 5)
286 #ax3.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))
287
288 ax4 = fig.add_subplot(gs2[23:30])
289 #p4 = ax4.bar(0,0, color='cyan')
290 ax4.bar(Franjas, FRENLA, color=['blue', 'orange', 'red', 'green', 'cyan'])
291 ax4.set_title('Lavadora', fontsize=8)
292 ax4.set_ylabel('Energía (KW/h)', fontsize=8)
293 ax4.set_xlabel('Tiempo (Horas)', fontsize=8)
294 ax4.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 5)
295 #ax4.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))
296
297 fig.suptitle('Consumo de energía por franjas horarias 2019/09/30', fontsize=7)
298 fig.canvas.set_window_title('Consumo de energía por franjas horarias 2019/09/30')
299
300 color=['blue', 'orange', 'red', 'green', 'cyan']
301
302 figura = fig.legend(
303     labels = ['Franja 1: 00:00 - 04:59', 'Franja 2: 05:00 - 08:59', 'Franja 3:
304     09:00 - 14:59', 'Franja 4: 15:00 - 21:59', 'Franja 5: 22:00 - 23:59:'],
305     bbox_to_anchor=(0.93,0.86),
306     #loc = 'center right',
307     borderaxespad=0.1,
308     title = "Franjas horarias\n",
309     fontsize = 6)
310
311 figura.get_title().set_fontsize('6')
312
313 now=datetime.now()
314
315 anio=now.strftime("%Y")
316 mes=now.strftime("%m")
317 dia=now.strftime("%d")
318 hora=now.strftime("%H")
319 minuto=now.strftime("%M")
320 segundo=now.strftime("%S")
321 ruta='/home/pi/Pictures/FinalesLaura/'
322
323 nombre=ruta+anio+mes+dia+'_'+hora+minuto+segundo
324
325 fig.savefig(nombre)
326 plt.show()
327
328 #####
329 #                                     #
330 #                               Fast Fourier Transform                               #
331 #                                     #
332 #####
333
334 # from numpy.fft import fft, fftfreq, ifft
335 #

```

```

335 # ## Setup for domain
336 # # number of points
337 # n = np.shape(temptime)[0]
338 #
339 # # Distance (in meters) or time period (in seconds)
340 # # D1N0T[789]-D1N0T[0] = 47361
341 # Lx = 47361
342 #
343 # ## Creating individual signals
344 # x = np.linspace(0, Lx, n)
345 #
346 # ## Preparatory steps
347 # # Creates all the necessary frequencies
348 # freqs = fftfreq(n)
349 #
350 # # Mask array to be used for power spectra.
351 # # ignoring half the values, as they are complex conjugates of the other
352 # mask = freqs > 0
353 #
354 # ## FFT and power spectra calculations
355 # #fft values
356 # fft_vals0 = fft(D1N0P)
357 #
358 # # true theoretical fft
359 # fft_theo0 = 2.0*np.abs(fft_vals0/n)
360 # #fft values
361 # fft_vals1 = fft(D1N1P)
362 # # true theoretical fft
363 # fft_theo1 = 2.0*np.abs(fft_vals1/n)
364 # #fft values
365 # fft_vals2 = fft(D1N2P)
366 # # true theoretical fft
367 # fft_theo2 = 2.0*np.abs(fft_vals2/n)
368 # #fft values
369 # fft_vals3 = fft(D1N3P)
370 # # true theoretical fft
371 # fft_theo3 = 2.0*np.abs(fft_vals3/n)
372 # #fft values
373 # fft_vals4 = fft(D1N4P)
374 # # true theoretical fft
375 # fft_theo4 = 2.0*np.abs(fft_vals4/n)
376 #
377 # #####
378 #
379 # fig = plt.figure(figsize=(8,5))
380 #
381 # gs0 = fig.add_gridspec(12,1)
382 #
383 # gs1 = gs0[0:4].subgridspec(1,29)
384 # gs2 = gs0[7:11].subgridspec(1,29)
385 #
386 # ax0 = fig.add_subplot(gs1[4:11])
387 #
388 # ax0.plot(freqs[mask], fft_theo0[mask], label = "Valores FFT")
389 # ax0.set_title('Plancha', fontsize=8)
390 # ax0.set_ylabel('Potencia(W)', fontsize=8)
391 # ax0.set_xlabel('Frecuencia(Hz)', fontsize=8)
392 # ax0.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 5)
393 # # ax0.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))
394 #
395 # ax1 = fig.add_subplot(gs1[16:23])
396 #
397 # ax1.plot(freqs[mask], fft_theo1[mask], label = "Valores FFT")
398 # ax1.set_title('Nevera', fontsize=8)
399 # ax1.set_ylabel('Potencia(W)', fontsize=8)
400 # ax1.set_xlabel('Frecuencia(Hz)', fontsize=8)
401 # ax1.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 5)

```

```
402 # # ax1.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))
403 #
404 # ax2 = fig.add_subplot(gs2[0:7])
405 #
406 # ax2.plot(freqs[mask], fft_theo2[mask], label = "Valores FFT")
407 # ax2.set_title('Licuadora', fontsize=8)
408 # ax2.set_ylabel('Potencia(W)', fontsize=8)
409 # ax2.set_xlabel('Frecuencia(Hz)', fontsize=8)
410 # ax2.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 5)
411 # # ax2.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))
412 #
413 # ax3 = fig.add_subplot(gs2[10:17])
414 #
415 # ax3.plot(freqs[mask], fft_theo3[mask], label = "Valores FFT")
416 # ax3.set_title('TV + Laptop + 2 cargadores', fontsize=8)
417 # ax3.set_ylabel('Potencia(W)', fontsize=8)
418 # ax3.set_xlabel('Frecuencia(Hz)', fontsize=8)
419 # ax3.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 5)
420 # # ax3.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))
421 #
422 # ax4 = fig.add_subplot(gs2[21:28])
423 #
424 # ax4.plot(freqs[mask], fft_theo4[mask], label = "Valores FFT")
425 # ax4.set_title('Lavadora', fontsize=8)
426 # ax4.set_ylabel('Potencia(W)', fontsize=8)
427 # ax4.set_xlabel('Frecuencia(Hz)', fontsize=8)
428 # ax4.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 5)
429 # # ax4.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))
430 #
431 # fig.suptitle('Valores FFT del consumo 2019/09/30', fontsize=7)
432 # fig.canvas.set_window_title('Valores FFT del consumo 2019/09/30')
433 #
434 #
435 # now=datetime.now()
436 #
437 # anio=now.strftime("%Y")
438 # mes=now.strftime("%m")
439 # dia=now.strftime("%d")
440 # hora=now.strftime("%H")
441 # minuto=now.strftime("%M")
442 # segundo=now.strftime("%S")
443 # ruta='/home/pi/Pictures/FinalesLaura/'
444 #
445 # nombre=ruta+anio+mes+dia+'_'+hora+minuto+segundo
446 #
447 # fig.savefig(nombre)
448 #
449 # plt.show()
```

```

1
2
3
4 #####
5 #
6 #           Estimaciones de energía           #
7 #
8 #####
9
10
11
12 import matplotlib.pyplot as plt
13 import matplotlib.gridspec as gridspec
14 import matplotlib.dates as mdates
15 import numpy as np
16 import pickle
17 import statistics as st
18
19 from matplotlib.ticker import FuncFormatter
20 from datetime import datetime, timedelta
21
22 E = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]
23 x1 = pickle.load(open("EnergyDay01.p", "rb"))
24 E[0] = np.array(x1)
25 x2 = pickle.load(open("EnergyDay02.p", "rb"))
26 E[1] = np.array(x2)
27 x3 = pickle.load(open("EnergyDay03.p", "rb"))
28 E[2] = np.array(x3)
29 x4 = pickle.load(open("EnergyDay04.p", "rb"))
30 E[3] = np.array(x4)
31 x5 = pickle.load(open("EnergyDay05.p", "rb"))
32 E[4] = np.array(x5)
33 x6 = pickle.load(open("EnergyDay06.p", "rb"))
34 E[5] = np.array(x6)
35 x7 = pickle.load(open("EnergyDay07.p", "rb"))
36 E[6] = np.array(x7)
37 x8 = pickle.load(open("EnergyDay08.p", "rb"))
38 E[7] = np.array(x8)
39 x9 = pickle.load(open("EnergyDay09.p", "rb"))
40 E[8] = np.array(x9)
41 x10 = pickle.load(open("EnergyDay10.p", "rb"))
42 E[9] = np.array(x10)
43 x11 = pickle.load(open("EnergyDay11.p", "rb"))
44 E[10] = np.array(x11)
45 x12 = pickle.load(open("EnergyDay12.p", "rb"))
46 E[11] = np.array(x12)
47 x13 = pickle.load(open("EnergyDay13.p", "rb"))
48 E[12] = np.array(x13)
49 x14 = pickle.load(open("EnergyDay14.p", "rb"))
50 E[13] = np.array(x14)
51
52
53 Plancha = []
54 Nevera = []
55 Licuadora = []
56 TVLaptop = []
57 Lavadora = []
58 for z in range(14):
59     Plancha.append(E[z][0])
60     Nevera.append(E[z][1])
61     Licuadora.append(E[z][2])
62     TVLaptop.append(E[z][3])
63     Lavadora.append(E[z][4])
64
65 Day = datetime(2019, 9, 30, 00, 00, 00)
66 datelist = [Day + timedelta(days = x) for x in range(14)]
67

```

```

68 TotalByLoad = [sum(Plancha),sum(Nevera),sum(Licuadora),sum(TVLaptop),sum(Lavadora)]
69
70 Total = [0,sum(TotalByLoad),0]
71
72 TotalByDay = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]
73 for z in range(14):
74     TotalByDay[z] = Plancha[z]+Nevera[z]+Licuadora[z]+TVLaptop[z]+Lavadora[z]
75
76 weekday = []
77
78 for z in range(np.shape(datelist)[0]):
79     weekday.append(datetime.weekday(datelist[z]))
80
81 weekdayp11 = np.zeros([2,5])
82 weekdaynel = np.zeros([2,5])
83 weekdaylil = np.zeros([2,5])
84 weekdaytvl = np.zeros([2,5])
85 weekdaylal = np.zeros([2,5])
86
87 weekendp11 = np.zeros([2,2])
88 weekendnel = np.zeros([2,2])
89 weekendlil = np.zeros([2,2])
90 weekendtvl = np.zeros([2,2])
91 weekendlal = np.zeros([2,2])
92
93 cont = 0
94 week = 0
95 countinweek = 0
96 countweekend = 0
97
98 for z in range(np.shape(datelist)[0]):
99     if(cont == 7):
100         cont = 0
101         week += 1
102         countinweek = 0
103         countweekend = 0
104         if(datetime.weekday(datelist[z]) == 0 or datetime.weekday(datelist[z]) == 1 or
datetime.weekday(datelist[z]) == 2 or datetime.weekday(datelist[z]) == 3 or datetime
.weekday(datelist[z]) == 4):
105             weekdayp11[week][countinweek] = Plancha[z]
106             weekdaynel[week][countinweek] = Nevera[z]
107             weekdaylil[week][countinweek] = Licuadora[z]
108             weekdaytvl[week][countinweek] = TVLaptop[z]
109             weekdaylal[week][countinweek] = Lavadora[z]
110             countinweek +=1
111         if(datetime.weekday(datelist[z]) == 5 or datetime.weekday(datelist[z]) == 6):
112             weekendp11[week][countweekend] = Plancha[z]
113             weekendnel[week][countweekend] = Nevera[z]
114             weekendlil[week][countweekend] = Licuadora[z]
115             weekendtvl[week][countweekend] = TVLaptop[z]
116             weekendlal[week][countweekend] = Lavadora[z]
117             countweekend += 1
118         cont += 1
119
120 weekmeanplancha0 = [st.mean(weekdayp11[0]),st.mean(weekdayp11[1])]
121 weekmeannevera0 = [st.mean(weekdaynel[0]),st.mean(weekdaynel[1])]
122 weekmeanlicuadora0 = [st.mean(weekdaylil[0]),st.mean(weekdaylil[1])]
123 weekmeantvlaptop0 = [st.mean(weekdaytvl[0]),st.mean(weekdaytvl[1])]
124 weekmeanlavadora0 = [st.mean(weekdaylal[0]),st.mean(weekdaylal[1])]
125
126 weekmeanplancha1 = [st.mean(weekendp11[0]),st.mean(weekendp11[1])]
127 weekmeannevera1 = [st.mean(weekendnel[0]),st.mean(weekendnel[1])]
128 weekmeanlicuadora1 = [st.mean(weekendlil[0]),st.mean(weekendlil[1])]
129 weekmeantvlaptop1 = [st.mean(weekendtvl[0]),st.mean(weekendtvl[1])]
130 weekmeanlavadora1 = [st.mean(weekendlal[0]),st.mean(weekendlal[1])]
131
132

```

```

133 #####
134 #####
135 #####
136
137 # fig = plt.figure(figsize=(8,5))
138 #
139 # gs0 = fig.add_gridspec(12,1)
140 #
141 # gs1 = gs0[0:4].subgridspec(1,28)
142 # gs2 = gs0[7:11].subgridspec(1,28)
143 #
144 # ax0 = fig.add_subplot(gs1[4:11])
145 #
146 # ax0.bar(datelist, Plancha)
147 # ax0.set_title('Plancha', fontsize=8)
148 # ax0.set_ylabel('Energía (KW/h)', fontsize=8)
149 # ax0.set_xlabel('Tiempo (Días)', fontsize=8)
150 # ax0.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 5)
151 # ax0.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))
152 #
153 # ax1 = fig.add_subplot(gs1[16:23])
154 #
155 # ax1.bar(datelist, Nevera)
156 # ax1.set_title('Nevera', fontsize=8)
157 # ax1.set_ylabel('Energía (KW/h)', fontsize=8)
158 # ax1.set_xlabel('Tiempo (Días)', fontsize=8)
159 # ax1.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 5)
160 # ax1.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))
161 #
162 # ax2 = fig.add_subplot(gs2[0:7])
163 #
164 # ax2.bar(datelist, Licuadora)
165 # ax2.set_title('Licuadora', fontsize=8)
166 # ax2.set_ylabel('Energía (KW/h)', fontsize=8)
167 # ax2.set_xlabel('Tiempo (Días)', fontsize=8)
168 # ax2.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 5)
169 # ax2.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))
170 #
171 # ax3 = fig.add_subplot(gs2[10:17])
172 #
173 # ax3.bar(datelist, TVLaptop)
174 # ax3.set_title('TV + Laptop + 2 cargadores', fontsize=8)
175 # ax3.set_ylabel('Energía (KW/h)', fontsize=8)
176 # ax3.set_xlabel('Tiempo (Días)', fontsize=8)
177 # ax3.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 5)
178 # ax3.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))
179 #
180 # ax4 = fig.add_subplot(gs2[20:27])
181 #
182 # ax4.bar(datelist, Lavadora)
183 # ax4.set_title('Lavadora', fontsize=8)
184 # ax4.set_ylabel('Energía (KW/h)', fontsize=8)
185 # ax4.set_xlabel('Tiempo (Días)', fontsize=8)
186 # ax4.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 5)
187 # ax4.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))
188 #
189 # fig.suptitle('Información de consumos de energía 2019/09/30 - 2019/10/13',fontsize=7)
190 # fig.canvas.set_window_title('Información de consumos de energía 2019/09/30 -
2019/10/13')
191 #
192 #
193 # now=datetime.now()
194 #
195 # anio=now.strftime("%Y")
196 # mes=now.strftime("%m")
197 # dia=now.strftime("%d")
198 # hora=now.strftime("%H")

```

```

199 # minuto=now.strftime("%M")
200 # segundo=now.strftime("%S")
201 # ruta='/home/pi/Pictures/FinalesLaura/'
202 #
203 # nombre=ruta+anio+mes+dia+'_'+hora+minuto+segundo
204 #
205 # #fig.savefig(nombre)
206 # #plt.show()
207
208 #####
209
210 # loads = np.arange(5)
211 # fig, ax = plt.subplots()
212 # plt.bar(loads, TotalByLoad)
213 # ax.set_title('Energía total consumida por carga 2019/09/30 - 2019/10/13', fontsize=8)
214 # ax.set_ylabel('Energía(KW/h)', fontsize=8)
215 # ax.set_xlabel('Cargas', fontsize=8)
216 # ax.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 7)
217 # plt.xticks(loads, ('Plancha', 'Nevera', 'Licuadora', 'TV + Laptop', 'Lavadora'))
218 # fig.canvas.set_window_title('Energía total consumida por carga 2019/09/30 -
2019/10/13')
219 # plt.tight_layout()
220 # fig.tight_layout()
221 #
222 # now=datetime.now()
223 #
224 # anio=now.strftime("%Y")
225 # mes=now.strftime("%m")
226 # dia=now.strftime("%d")
227 # hora=now.strftime("%H")
228 # minuto=now.strftime("%M")
229 # segundo=now.strftime("%S")
230 # ruta='/home/pi/Pictures/FinalesLaura/'
231 #
232 # nombre=ruta+anio+mes+dia+'_'+hora+minuto+segundo
233 #
234 # #fig.savefig(nombre)
235 #
236 # #plt.show()
237
238 #####
239
240 # fig, ax = plt.subplots()
241 # plt.bar(datelist, TotalByDay)
242 # ax.set_title('Energía total consumida por día 2019/09/30 - 2019/10/13', fontsize=8)
243 # ax.set_ylabel('Energía(KW/h)', fontsize=8)
244 # ax.set_xlabel('Tiempo(Días)', fontsize=8)
245 # ax.xaxis.set_tick_params(rotation = 60, labelsiz = 7)
246 # ax.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%Y-%m-%d'))
247 # fig.canvas.set_window_title('Energía total consumida por día 2019/09/30 - 2019/10/13')
248 # plt.tight_layout()
249 # fig.tight_layout()
250 #
251 # now=datetime.now()
252 #
253 # anio=now.strftime("%Y")
254 # mes=now.strftime("%m")
255 # dia=now.strftime("%d")
256 # hora=now.strftime("%H")
257 # minuto=now.strftime("%M")
258 # segundo=now.strftime("%S")
259 # ruta='/home/pi/Pictures/FinalesLaura/'
260 #
261 # nombre=ruta+anio+mes+dia+'_'+hora+minuto+segundo
262 #
263 # #fig.savefig(nombre)
264 # #plt.show()

```

```

265
266 #####
267
268 # Resultado = np.arange(3)
269 # fig, ax = plt.subplots()
270 # width = 0.3
271 # plt.bar(Resultado, Total, width)
272 # ax.set_title('Energía total consumida 2019/09/30 - 2019/10/13', fontsize=8)
273 # ax.set_ylabel('Energía(KW/h)', fontsize=8)
274 # ax.set_xlabel('Tiempo(Días)', fontsize=8)
275 # ax.xaxis.set_tick_params(rotation = 0, labelsiz = 7)
276 # plt.xticks(Resultado, (' ', '2019/09/30 - 2019/10/13', ' '))
277 # fig.canvas.set_window_title('Energía total consumida 2019/09/30 - 2019/10/13')
278 # plt.tight_layout()
279 # fig.tight_layout()
280 #
281 # now=datetime.now()
282 #
283 # anio=now.strftime("%Y")
284 # mes=now.strftime("%m")
285 # dia=now.strftime("%d")
286 # hora=now.strftime("%H")
287 # minuto=now.strftime("%M")
288 # segundo=now.strftime("%S")
289 # ruta='/home/pi/Pictures/FinalesLaura/'
290 #
291 # nombre=ruta+anio+mes+dia+'_'+hora+minuto+segundo
292 #
293 # fig.savefig(nombre)
294 # plt.show()
295
296 #####
297
298 # labels = ['2019/09/30 - 2019/10/06', '2019/09/07 - 2019/10/13']
299 # x = np.arange(len(labels))
300 # width = 0.2
301 #
302 # fig = plt.figure(figsize=(8,5))
303 #
304 #
305 # gs0 = fig.add_gridspec(12,1)
306 #
307 # gs1 = gs0[0:4].subgridspec(1,28)
308 # gs2 = gs0[7:11].subgridspec(1,28)
309 #
310 # ax0 = fig.add_subplot(gs1[4:11])
311 #
312 # p0 = ax0.bar(x - width/2, weekmeanplancha0, width, label='Semana 2019/09/30 -
2019/10/06')
313 # p1 = ax0.bar(x + width/2, weekmeanplancha1, width, label='Semana 2019/10/07 -
2019/10/13')
314 # ax0.set_title('Plancha', fontsize=8)
315 # ax0.set_ylabel('Energía promedio (KW/h)', fontsize=8)
316 # #ax0.set_xlabel('Tiempo(Semanas)', fontsize=8)
317 # ax0.xaxis.set_tick_params(rotation = 40, labelsiz = 5)
318 # plt.xticks(x, ('Semana 1', 'Semana 2'))
319 #
320 # ax1 = fig.add_subplot(gs1[16:23])
321 #
322 # p2 = ax1.bar(x - width/2, weekmeannevera0, width, label='Semana 2019/09/30 -
2019/10/06')
323 # p3 = ax1.bar(x + width/2, weekmeannevera1, width, label='Semana 2019/10/07 -
2019/10/13')
324 # ax1.set_title('Nevera', fontsize=8)
325 # ax1.set_ylabel('Energía promedio (KW/h)', fontsize=8)
326 # #ax1.set_xlabel('Tiempo(Semanas)', fontsize=8)
327 # ax1.xaxis.set_tick_params(rotation = 40, labelsiz = 5)

```

```

328 # plt.xticks(x, ('Semana 1', 'Semana 2'))
329 #
330 # ax2 = fig.add_subplot(gs2[0:7])
331 #
332 # p4 = ax2.bar(x - width/2, weekmeanlicuadora0, width, label='Semana 2019/09/30 -
2019/10/06')
333 # p5 = ax2.bar(x + width/2, weekmeanlicuadora1, width, label='Semana 2019/10/07 -
2019/10/13')
334 # ax2.set_title('Licuadora', fontsize=8)
335 # ax2.set_ylabel('Energía promedio (KW/h)', fontsize=8)
336 # #ax2.set_xlabel('Tiempo(Semanas)', fontsize=8)
337 # ax2.xaxis.set_tick_params(rotation = 40, labelsiz = 5)
338 # plt.xticks(x, ('Semana 1', 'Semana 2'))
339 #
340 # ax3 = fig.add_subplot(gs2[10:17])
341 #
342 # p6 = ax3.bar(x - width/2, weekmeantvlaptop0, width, label='Semana 2019/09/30 -
2019/10/06')
343 # p7 = ax3.bar(x + width/2, weekmeantvlaptop1, width, label='Semana 2019/10/07 -
2019/10/13')
344 # ax3.set_title('TV + Laptop + 2 cargadores', fontsize=8)
345 # ax3.set_ylabel('Energía promedio (KW/h)', fontsize=8)
346 # #ax3.set_xlabel('Tiempo(Semanas)', fontsize=8)
347 # ax3.xaxis.set_tick_params(rotation = 40, labelsiz = 5)
348 # plt.xticks(x, ('Semana 1', 'Semana 2'))
349 # ax4 = fig.add_subplot(gs2[20:27])
350 #
351 # p8 = ax4.bar(x - width/2, weekmeanlavadora0, width, label='Semana 2019/09/30 -
2019/10/06')
352 # p9 = ax4.bar(x + width/2, weekmeanlavadora1, width, label='Semana 2019/10/07 -
2019/10/13')
353 # ax4.set_title('Lavadora', fontsize=8)
354 # ax4.set_ylabel('Energía promedio (KW/h)', fontsize=8)
355 # #ax4.set_xlabel('Tiempo(Semanas)', fontsize=8)
356 # ax4.xaxis.set_tick_params(rotation = 40, labelsiz = 5)
357 # plt.xticks(x, ('Semana 1', 'Semana 2'))
358 # fig.suptitle('Promedios de consumo por segmentos de semana 2019/09/30 -
2019/10/13', fontsize=7)
359 # fig.canvas.set_window_title('Promedios de consumo por segmentos de semana 2019/09/30
- 2019/10/13')
360 #
361 # # handles, labels = ax.get_legend_handles_labels()
362 # # fig.legend(handles, labels, loc='upper right')
363 #
364 # figura = fig.legend([p0, p1],
365 # labels = ['Lunes a Viernes', 'Sabado y Domingo'],
366 # bbox_to_anchor=(0.975,0.76),
367 # #loc = 'center right',
368 # borderaxespad=0.1,
369 # title = "Semana 1: 2019/09/30 - 2019/10/06\nSemana 2: 2019/10/07 -
2019/10/13\n",
370 # fontsize = 6)
371 # figura.get_title().set_fontsize('6')
372 #
373 # now=datetime.now()
374 #
375 # anio=now.strftime("%Y")
376 # mes=now.strftime("%m")
377 # dia=now.strftime("%d")
378 # hora=now.strftime("%H")
379 # minuto=now.strftime("%M")
380 # segundo=now.strftime("%S")
381 # ruta='/home/pi/Pictures/FinalesLaura/'
382 #
383 # nombre=ruta+anio+mes+dia+'_'+hora+minuto+segundo
384 #
385 # #fig.savefig(nombre)

```

```
386 # plt.show()
387
388 #####
389
```

H. Anexo: Resultados de mediciones de voltaje y corriente con los circuitos seleccionados

Se presentan en este anexo, las mediciones obtenidas por osciloscopio de los 10 equipos SEM desarrollados en el proyecto. Las gráficas corresponden a mediciones de voltaje y corriente usando una resistencia de 45.72Ω y conectadas a la red eléctrica con valores nominales de $120V_{RMS}$ y $60Hz$.

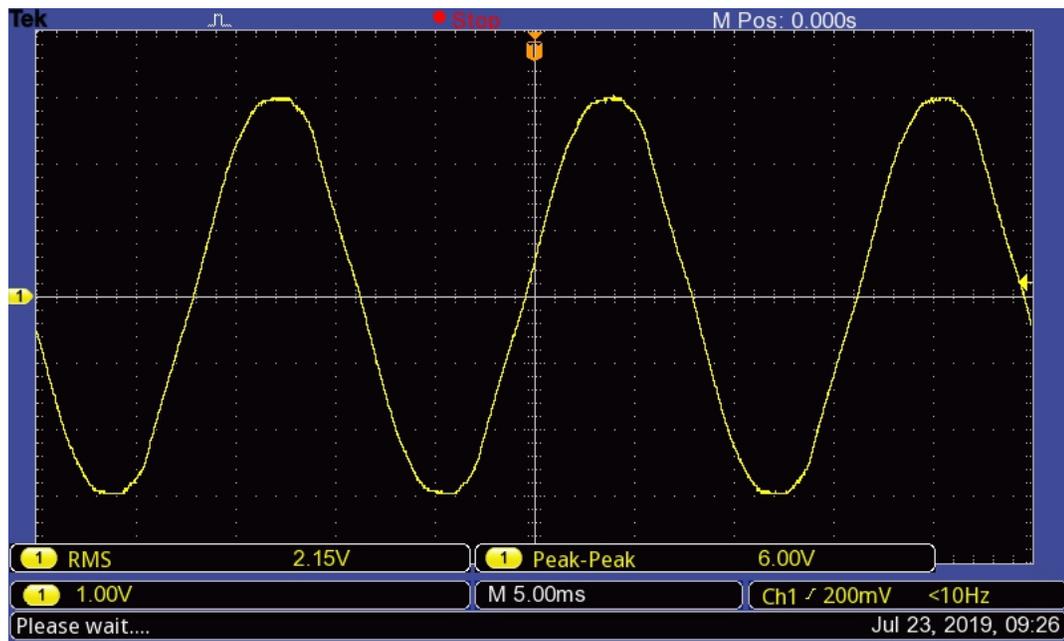


Figura H-1: Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM001.

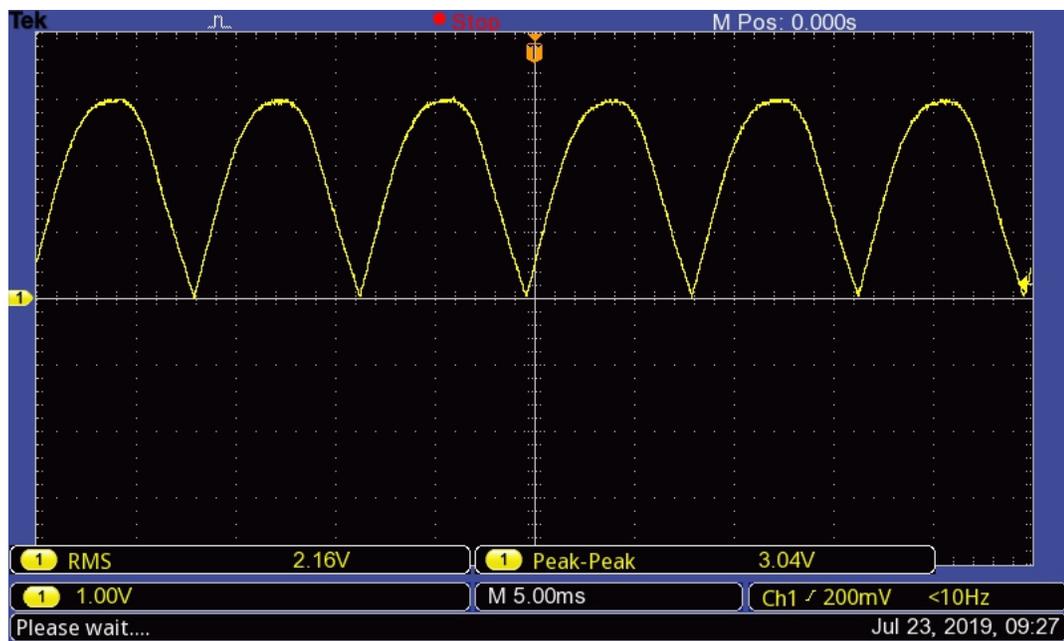


Figura H-2: Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM001.

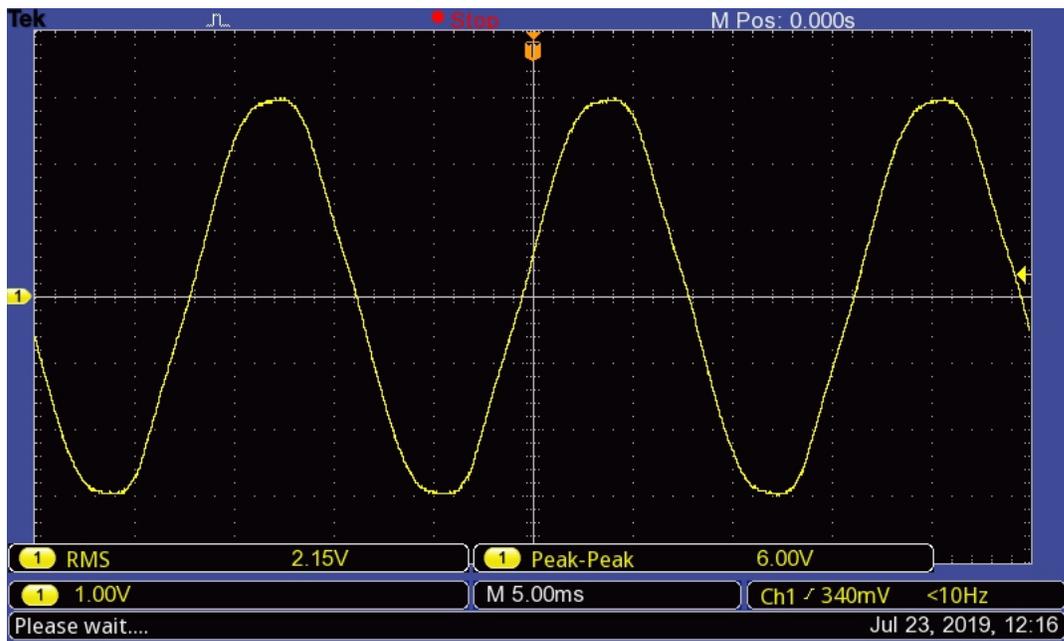


Figura H-3: Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM002.

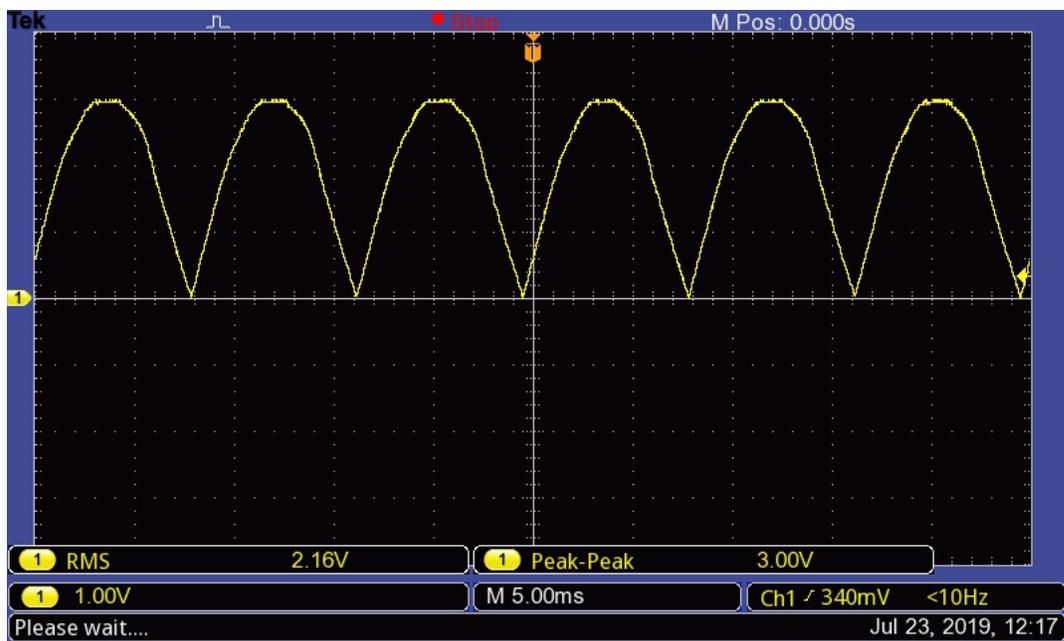


Figura H-4: Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM002.

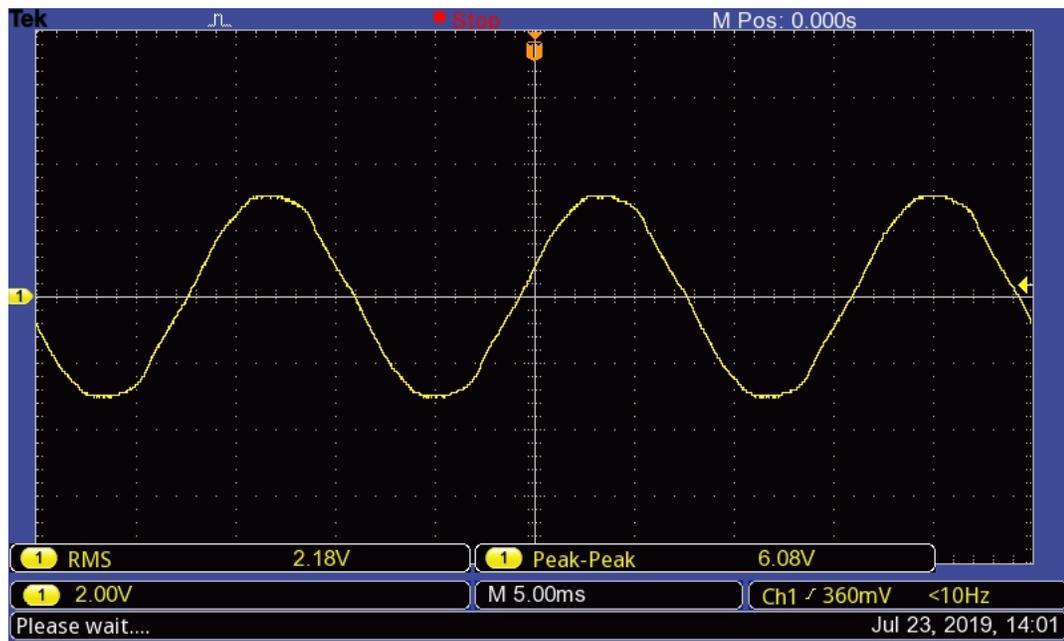


Figura H-5: Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM003.

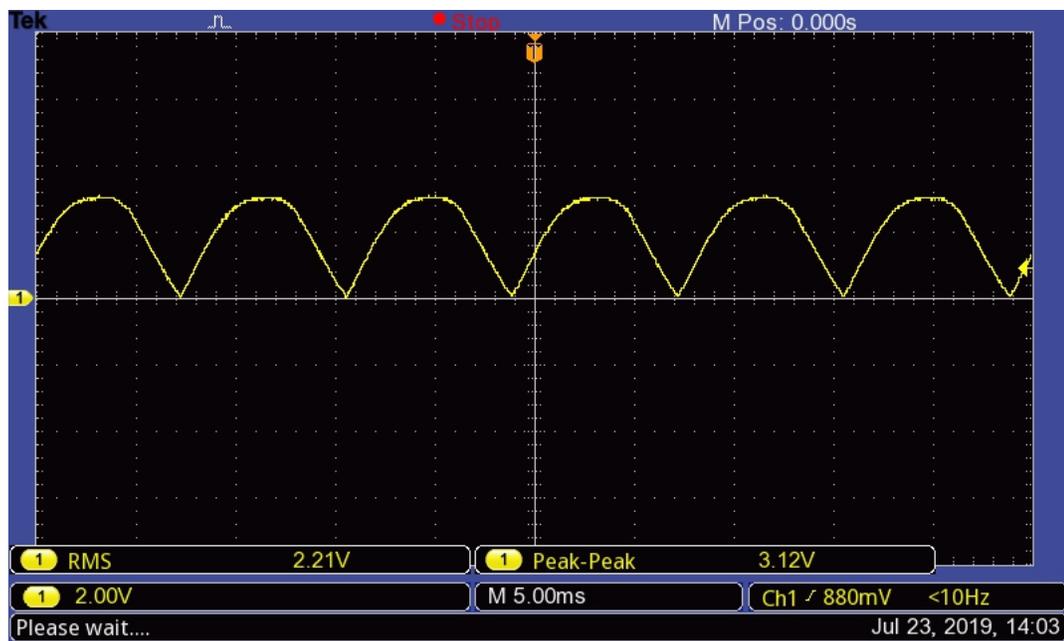


Figura H-6: Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM003.

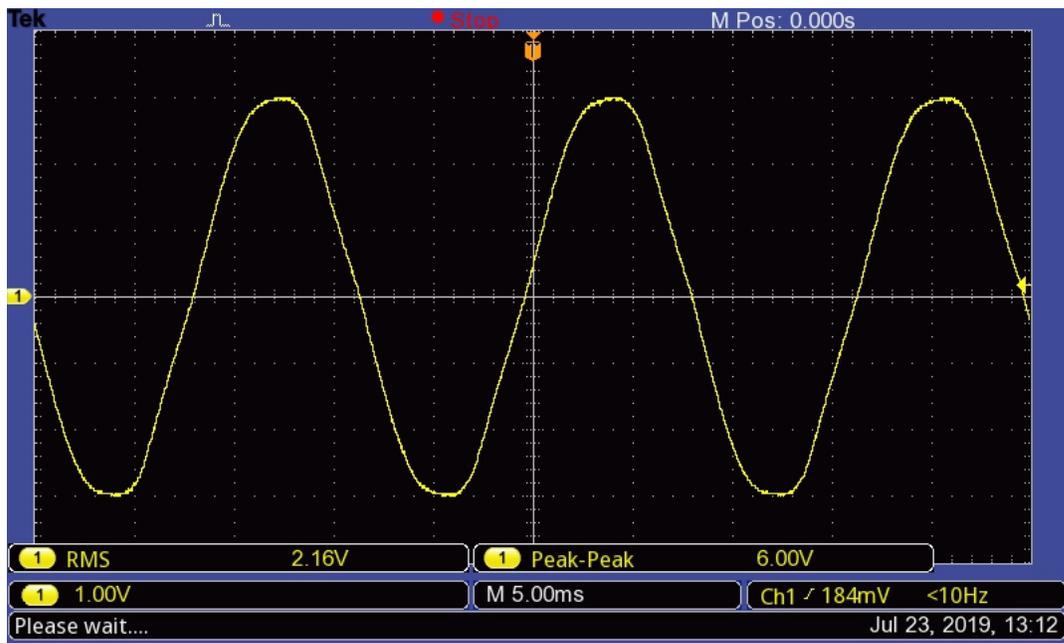


Figura H-7: Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM004.

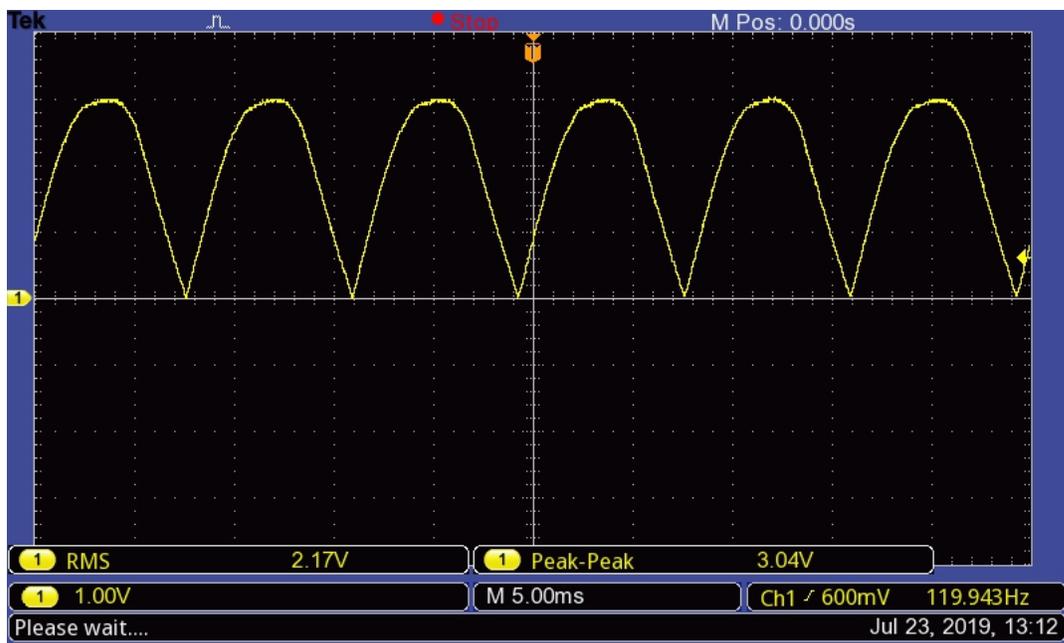


Figura H-8: Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM004.

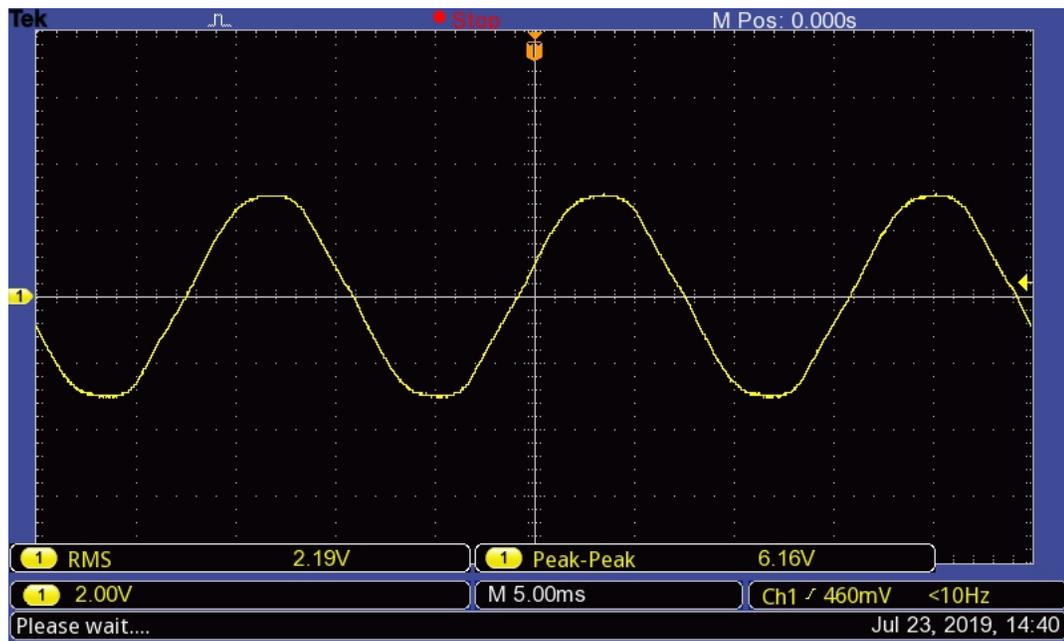


Figura H-9: Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM005.

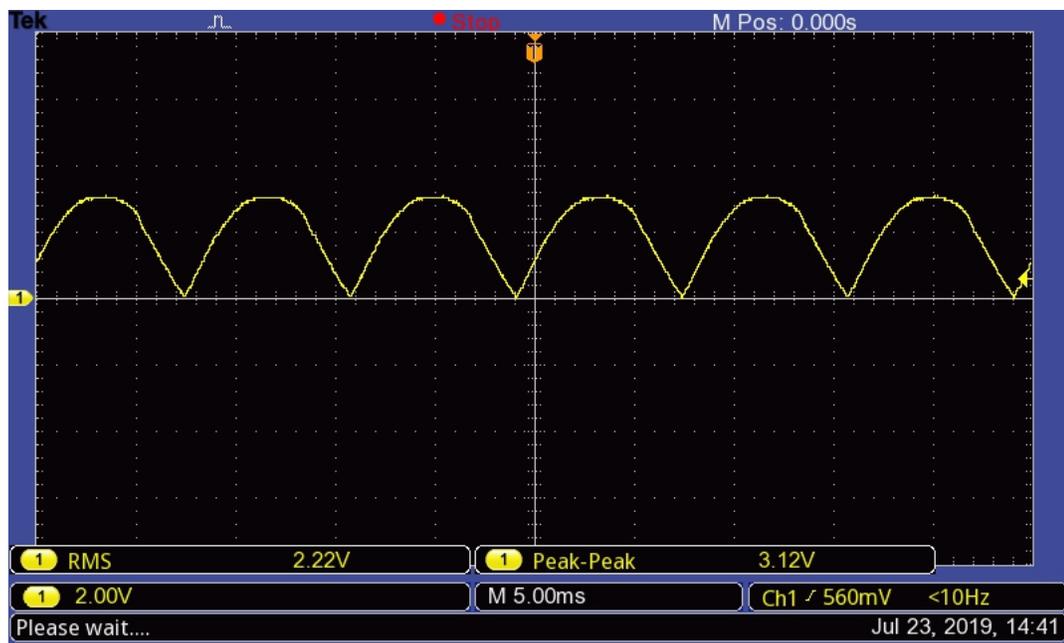


Figura H-10: Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM005.

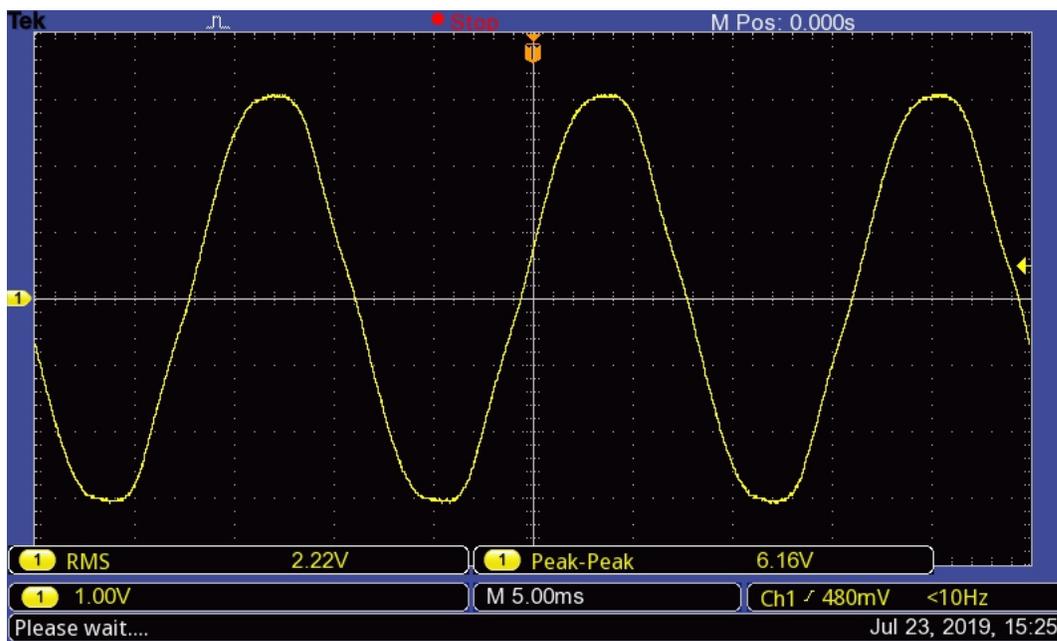


Figura H-11: Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM006.

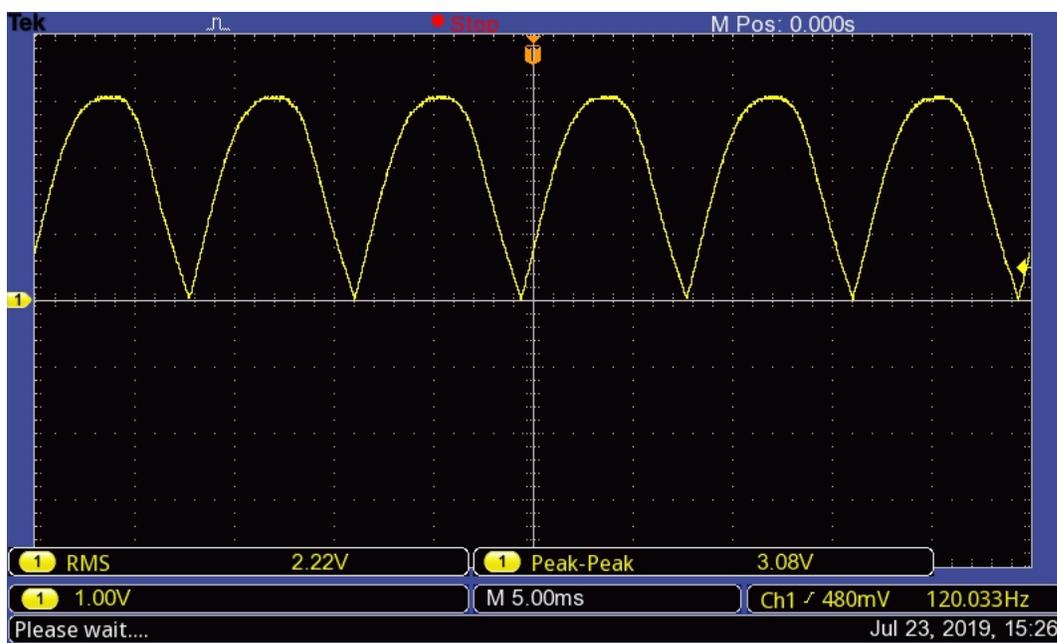


Figura H-12: Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM006.

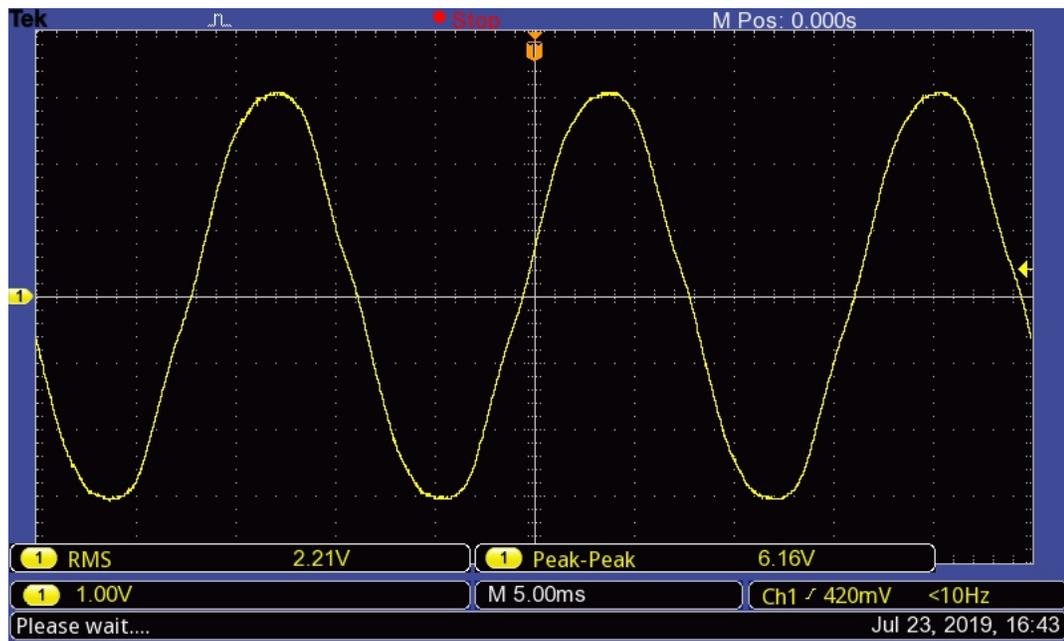


Figura H-13: Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM007.

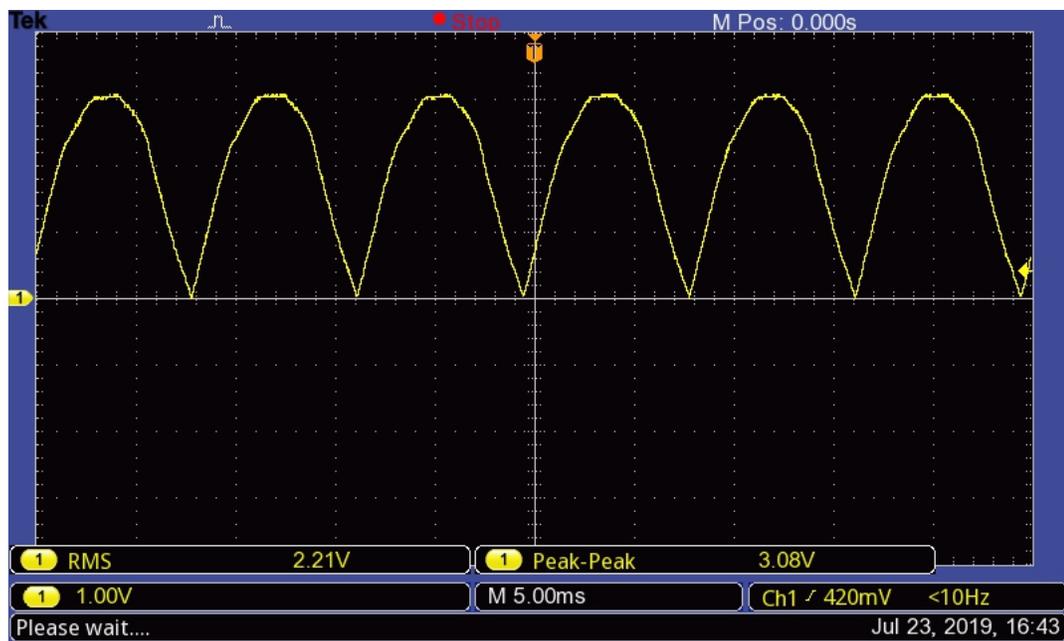


Figura H-14: Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM007.

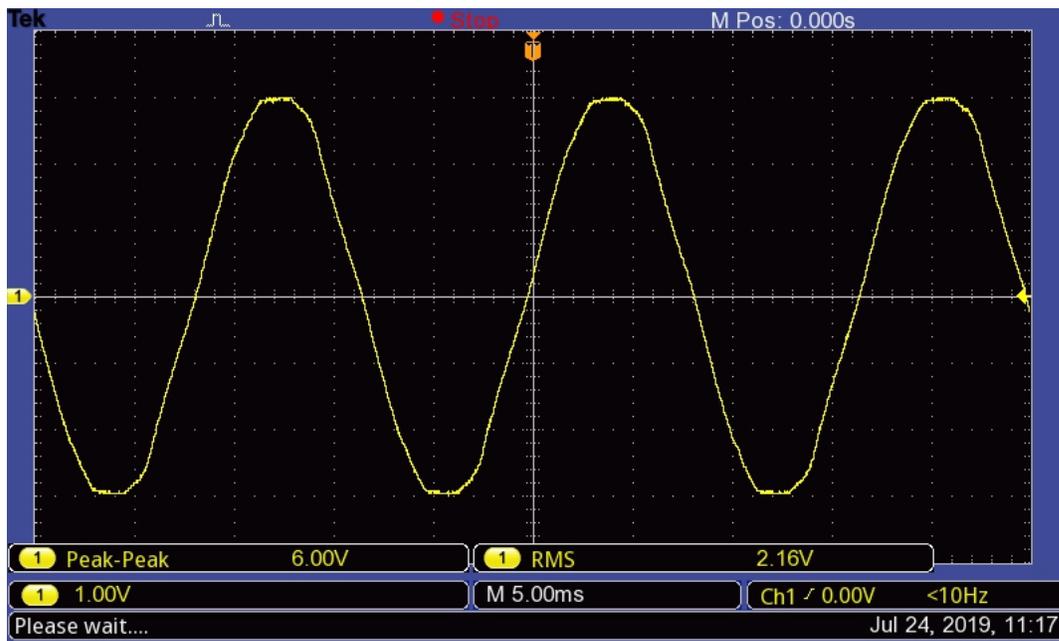


Figura H-15: Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM008.

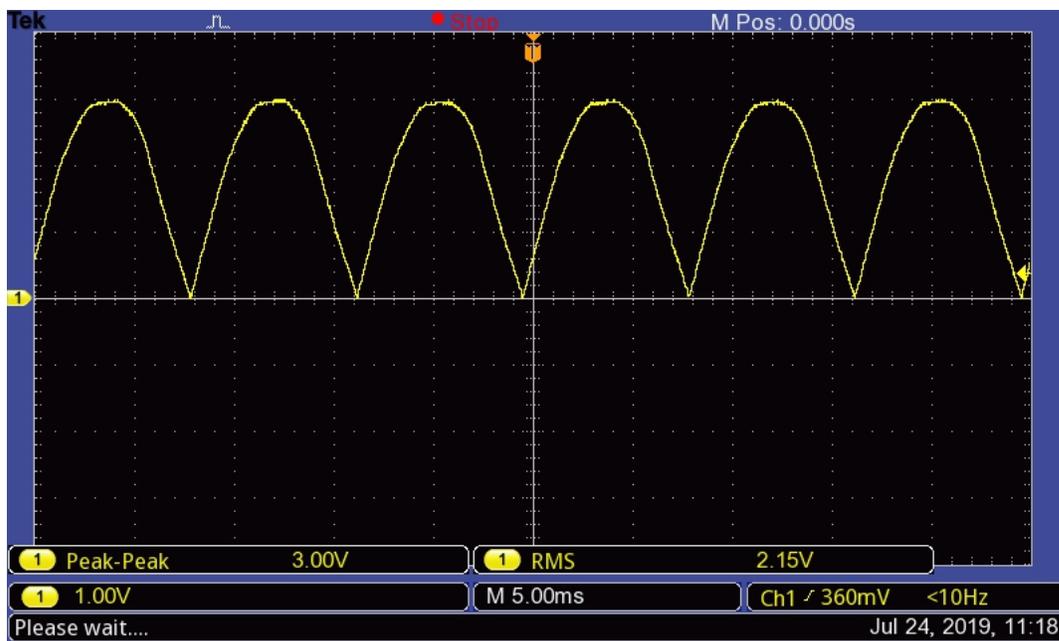


Figura H-16: Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM008.

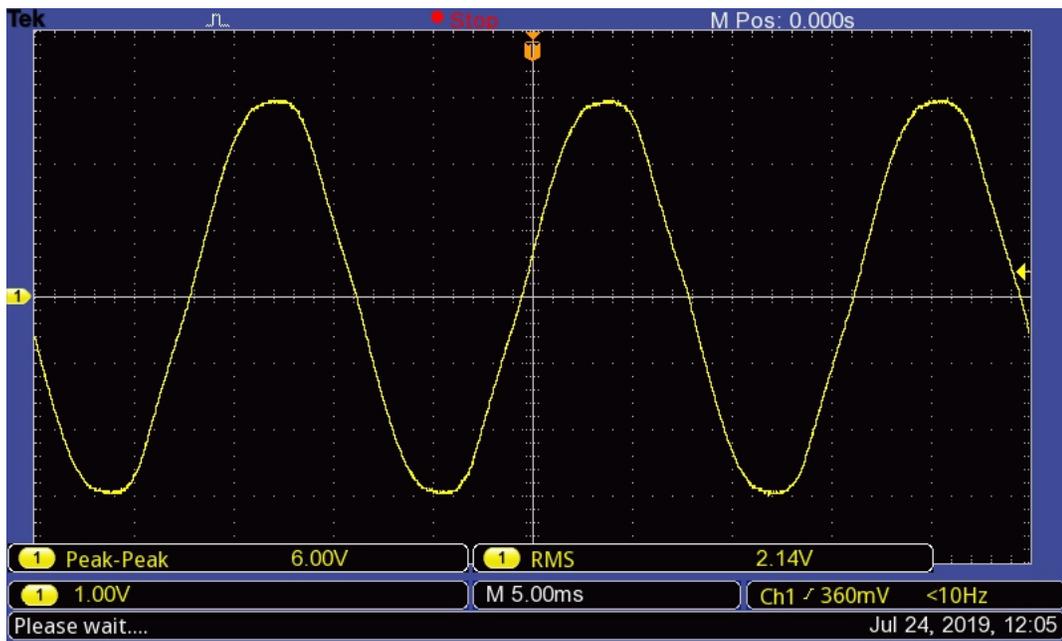


Figura H-17: Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM009.

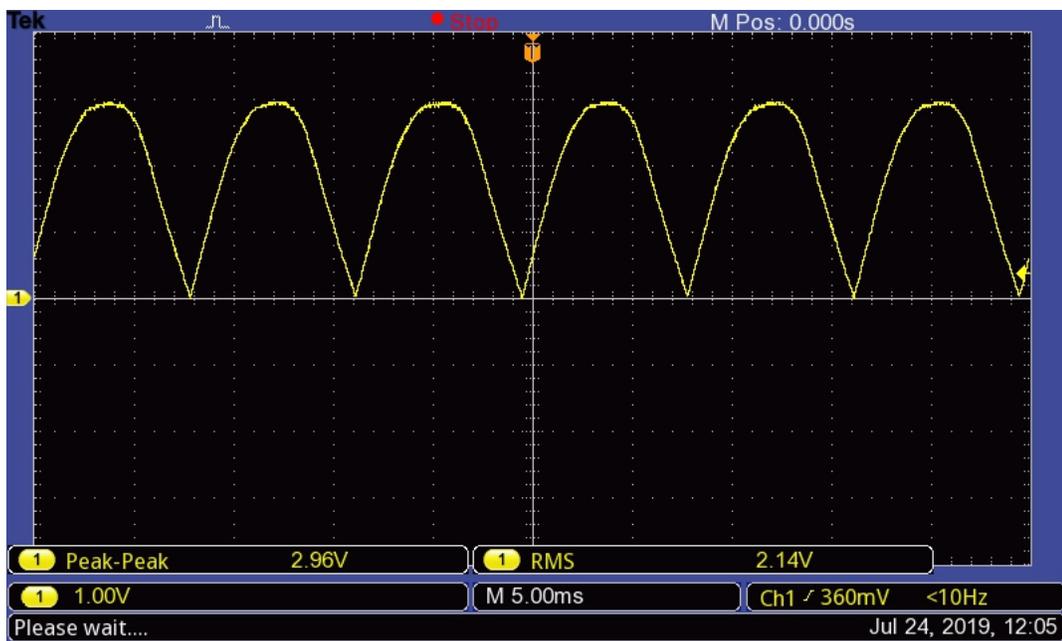


Figura H-18: Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM009.

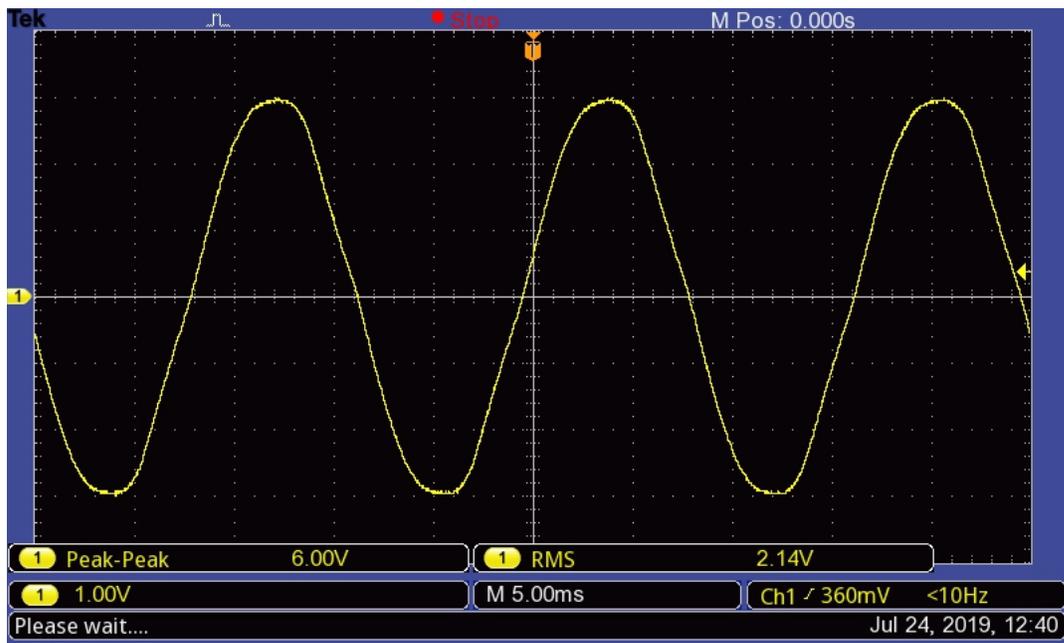


Figura H-19: Voltaje atenuado de la red eléctrica medido en el equipo SEM010.

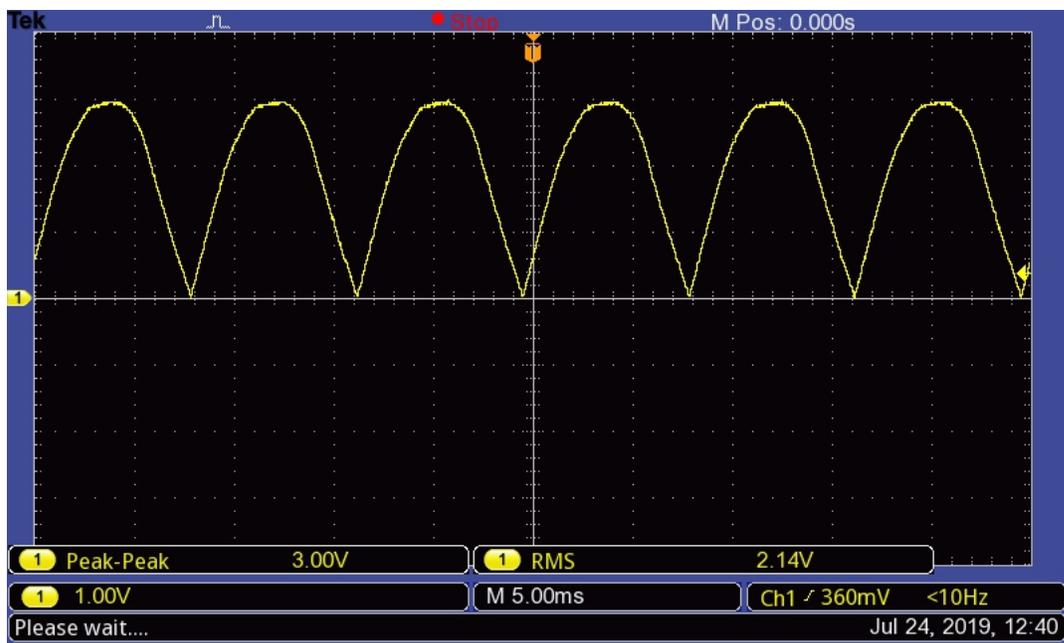


Figura H-20: Rectificación de precisión de onda completa de voltaje, medido en el equipo SEM010.

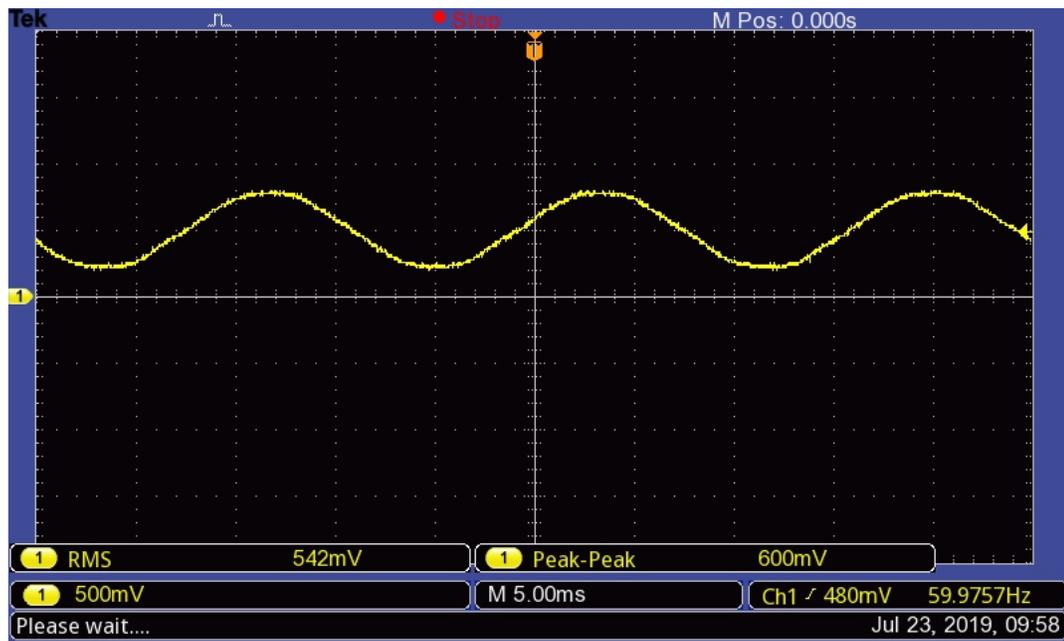


Figura H-21: Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM001.

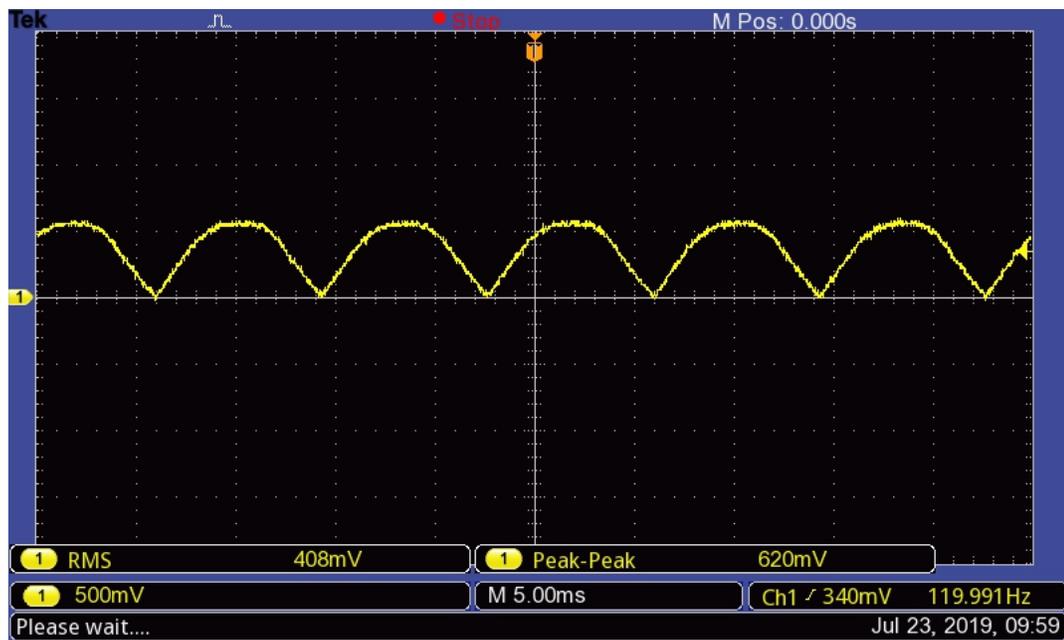


Figura H-22: Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM001.

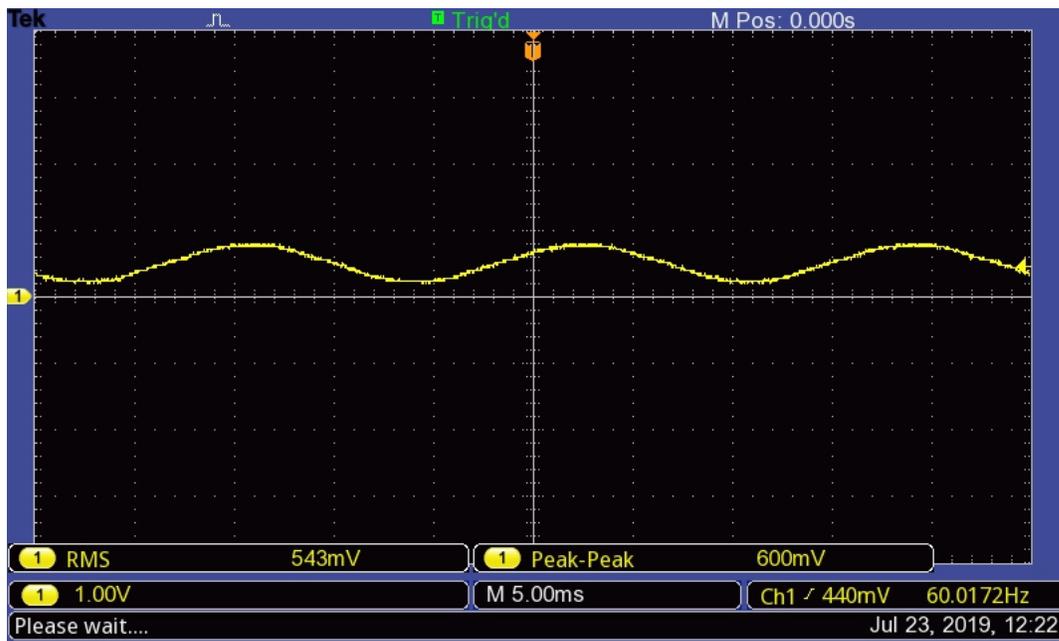


Figura H-23: Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM002.

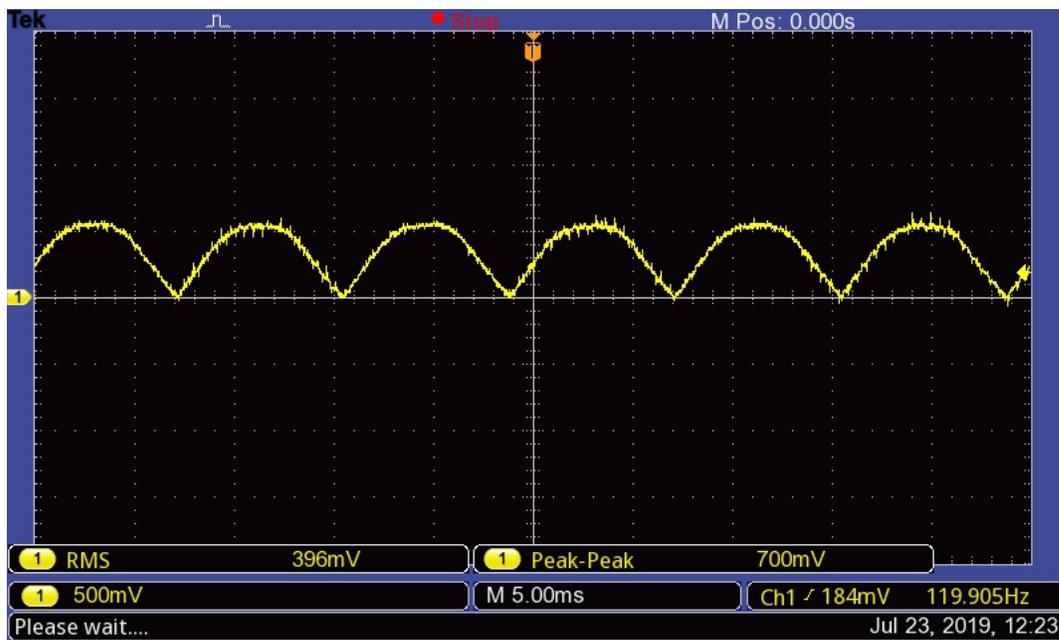


Figura H-24: Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM002.

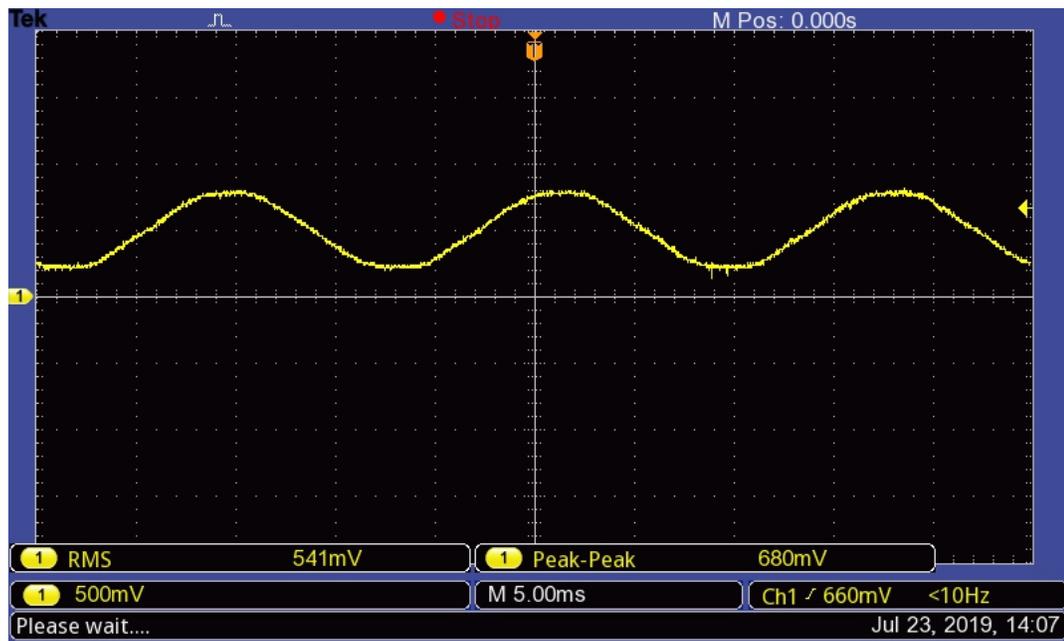


Figura H-25: Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM003.

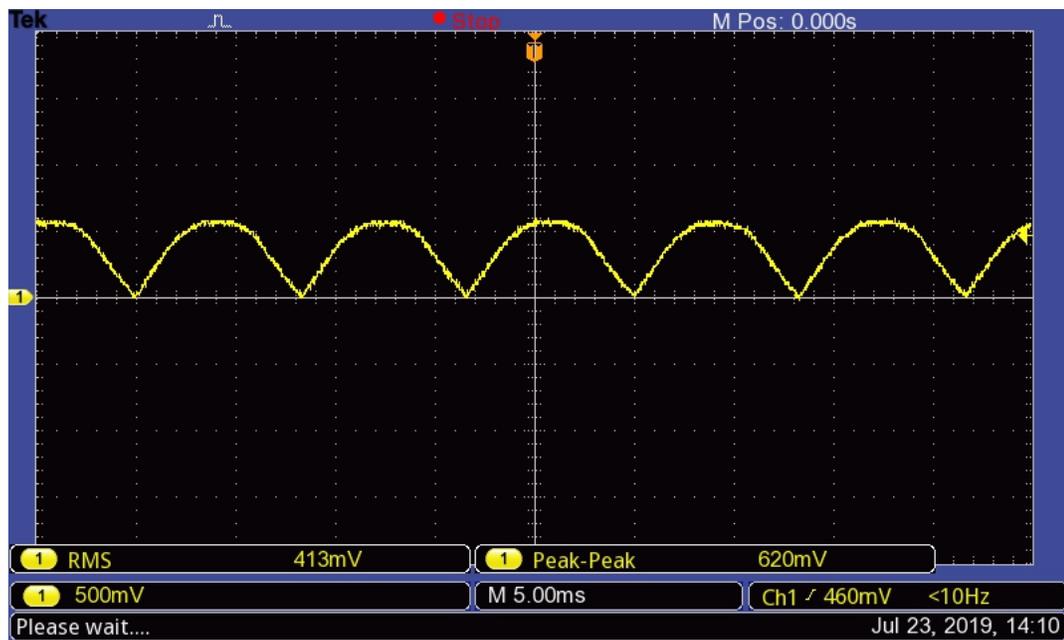


Figura H-26: Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM003.

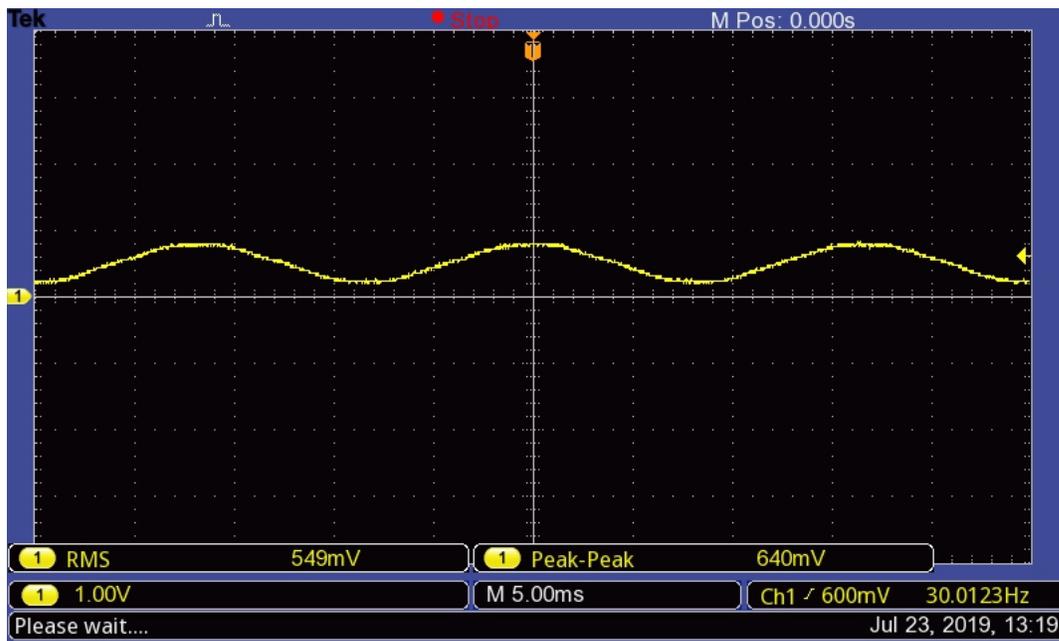


Figura H-27: Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM004.

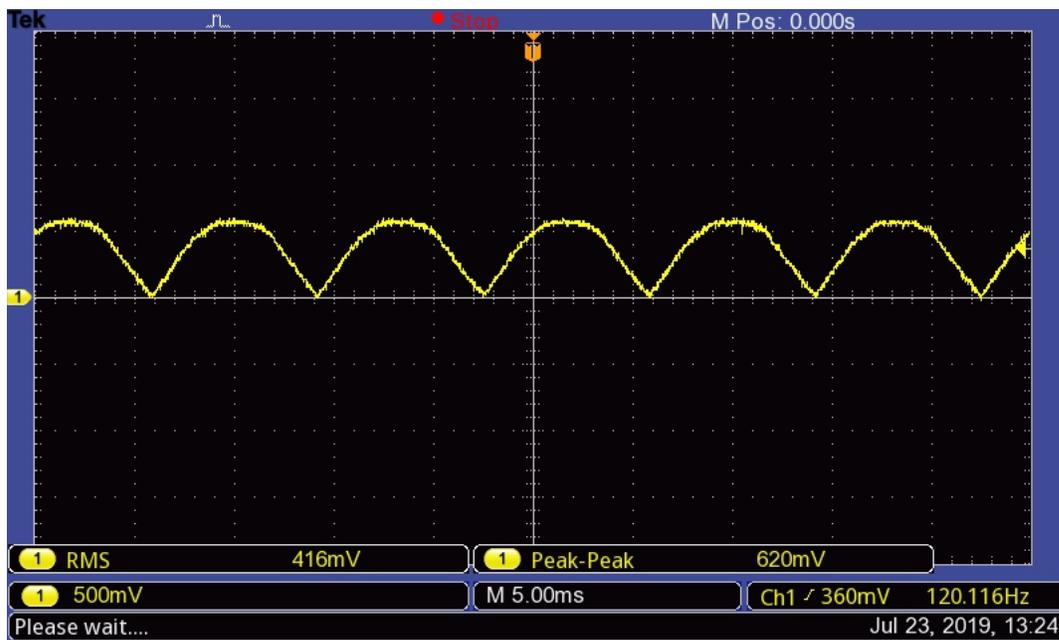


Figura H-28: Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM004.

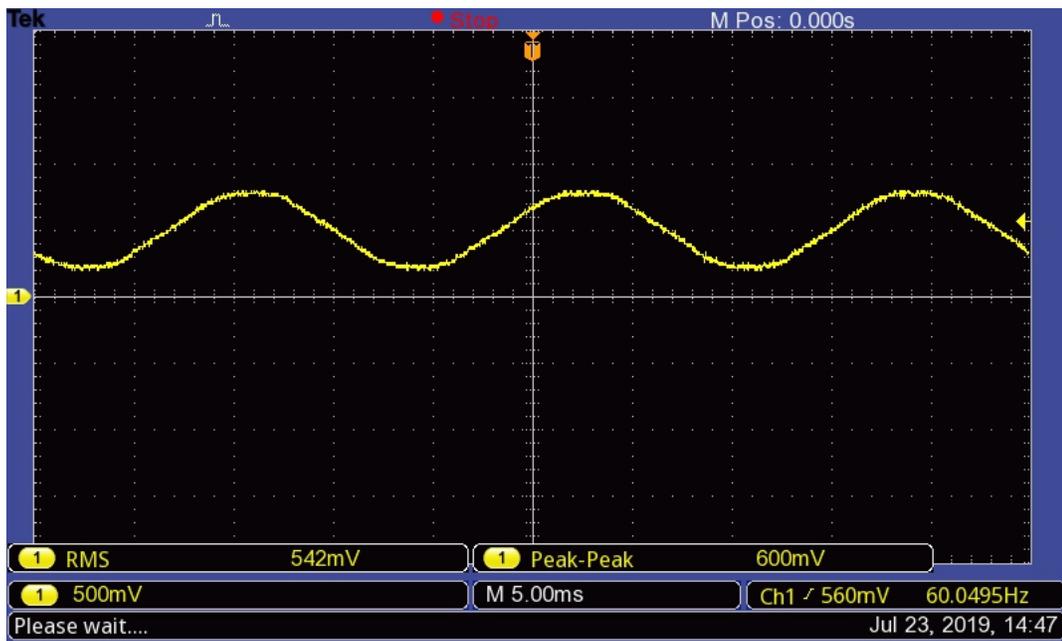


Figura H-29: Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM005.

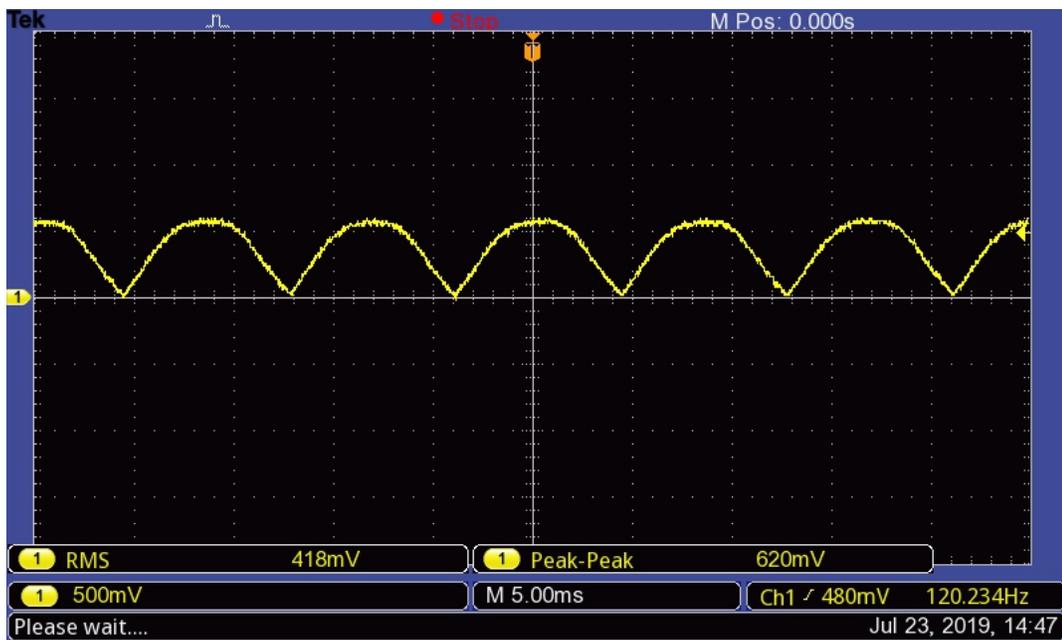


Figura H-30: Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM005.

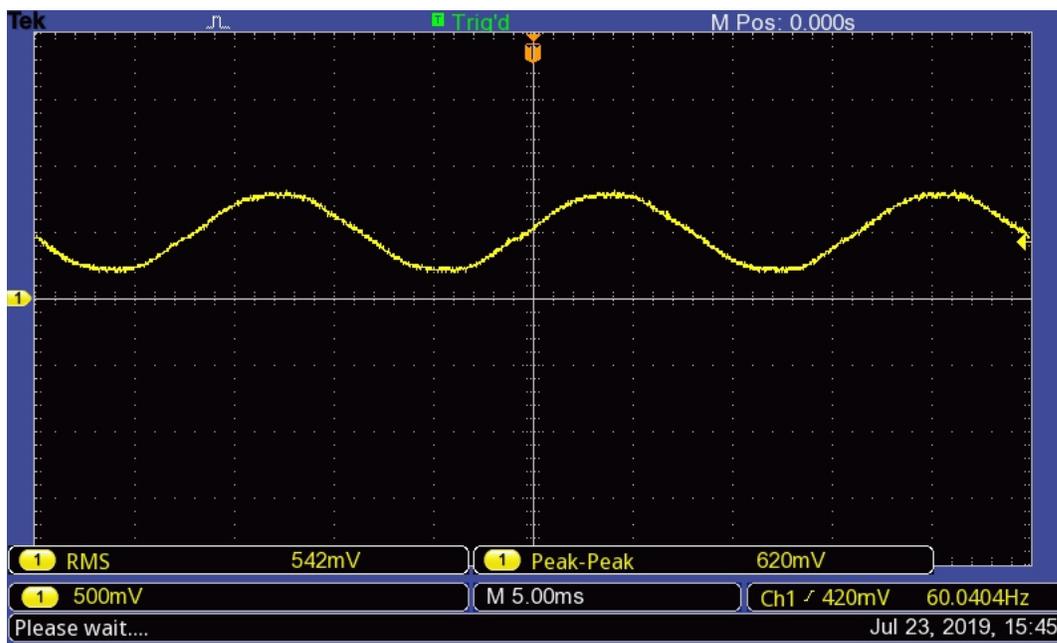


Figura H-31: Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM006.

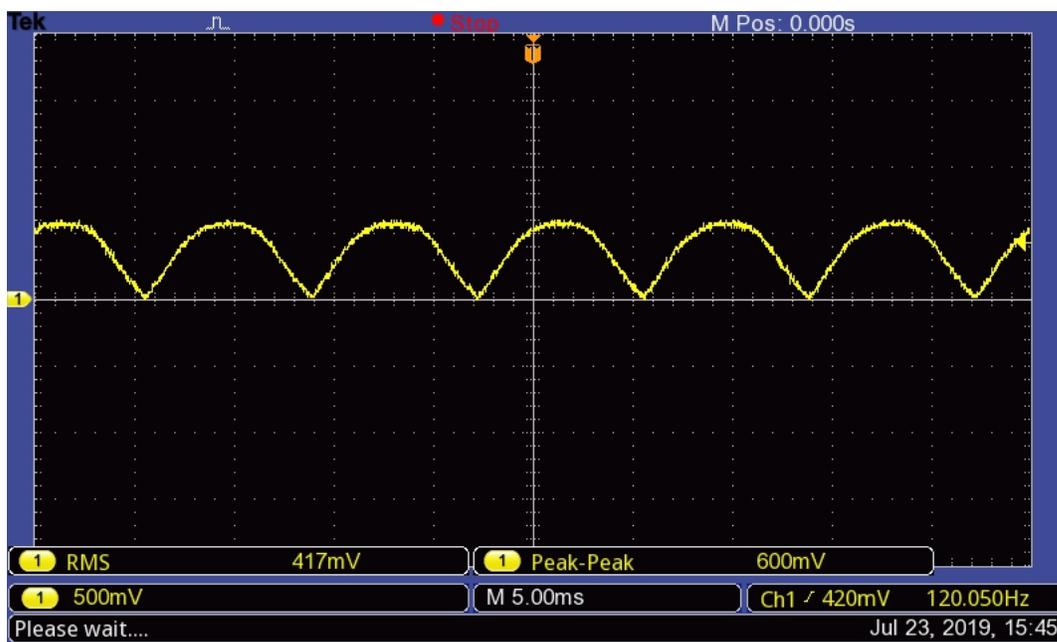


Figura H-32: Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM006.

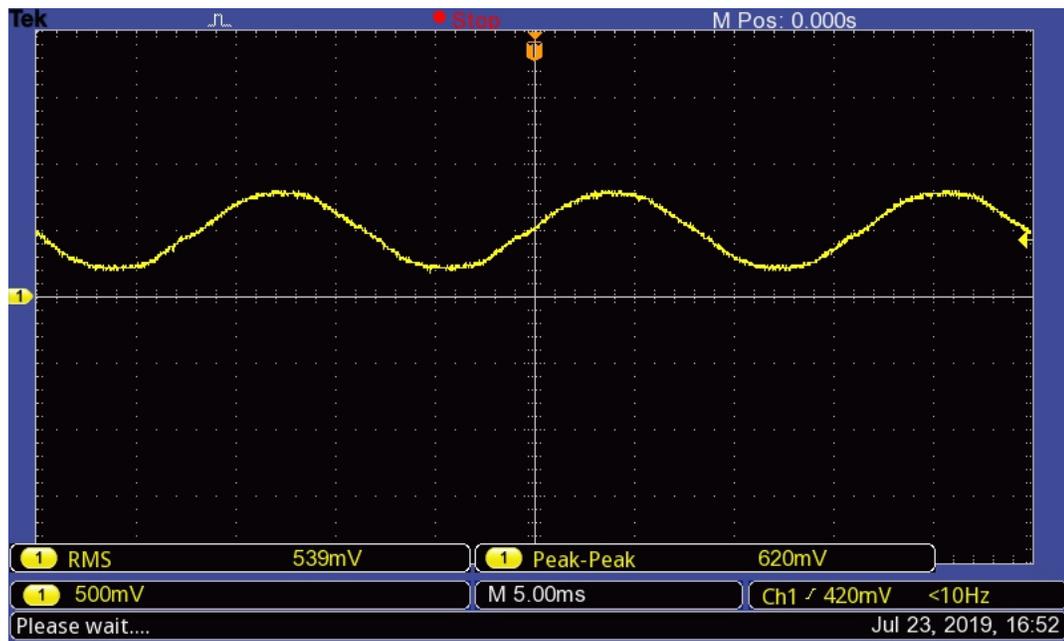


Figura H-33: Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM007.

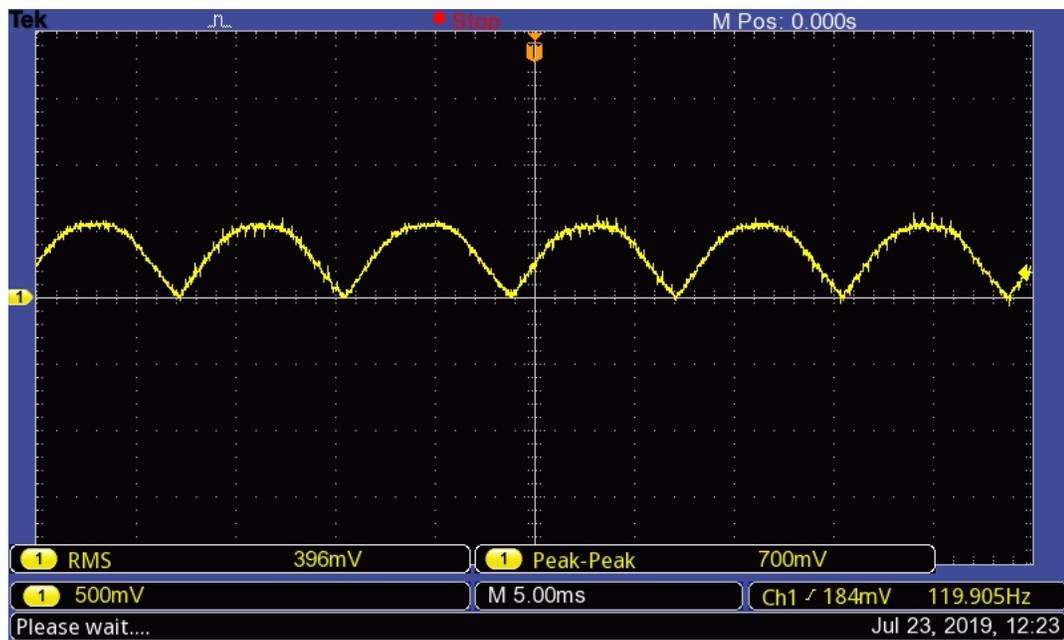


Figura H-34: Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM007.

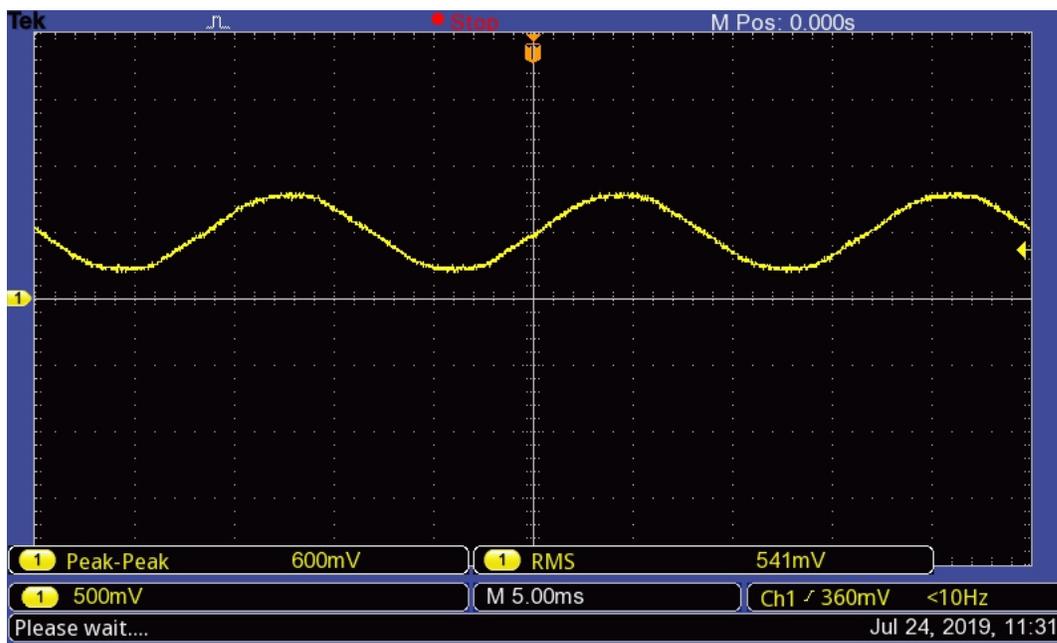


Figura H-35: Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM008.

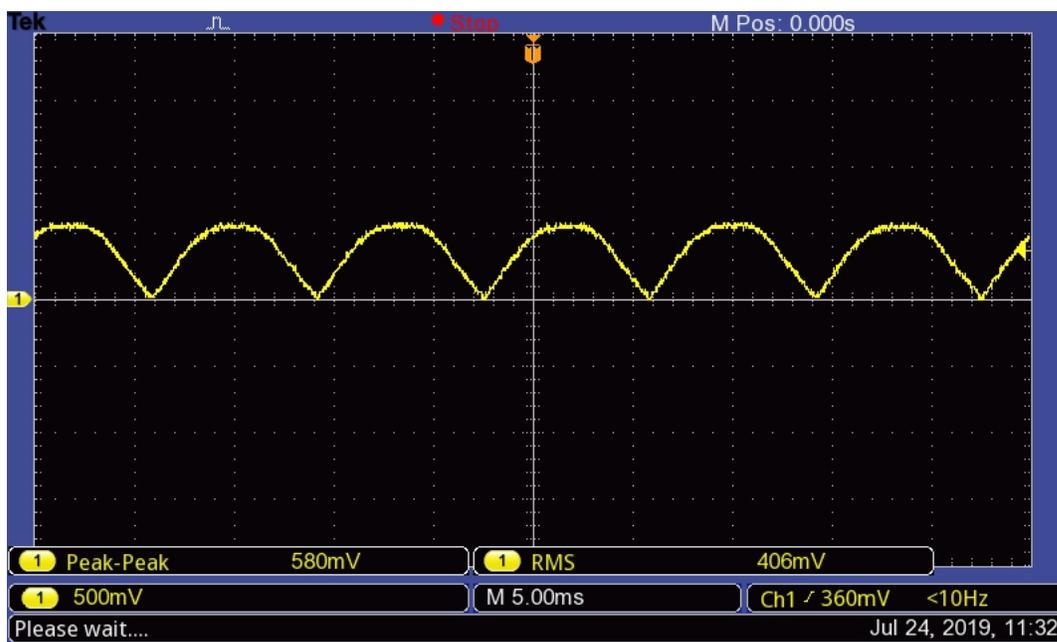


Figura H-36: Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM008.

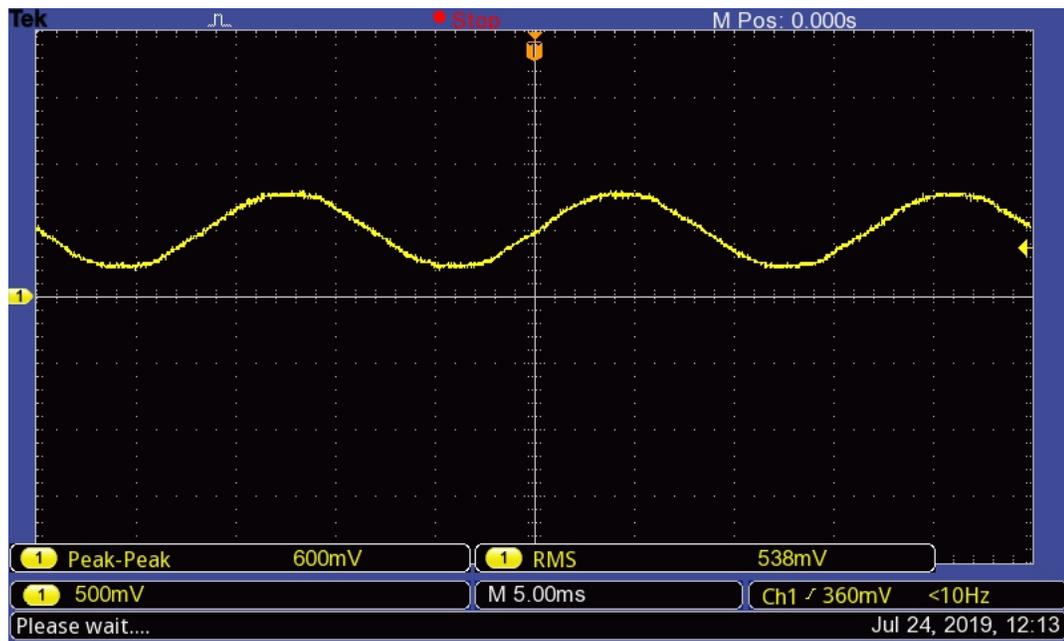


Figura H-37: Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM009.

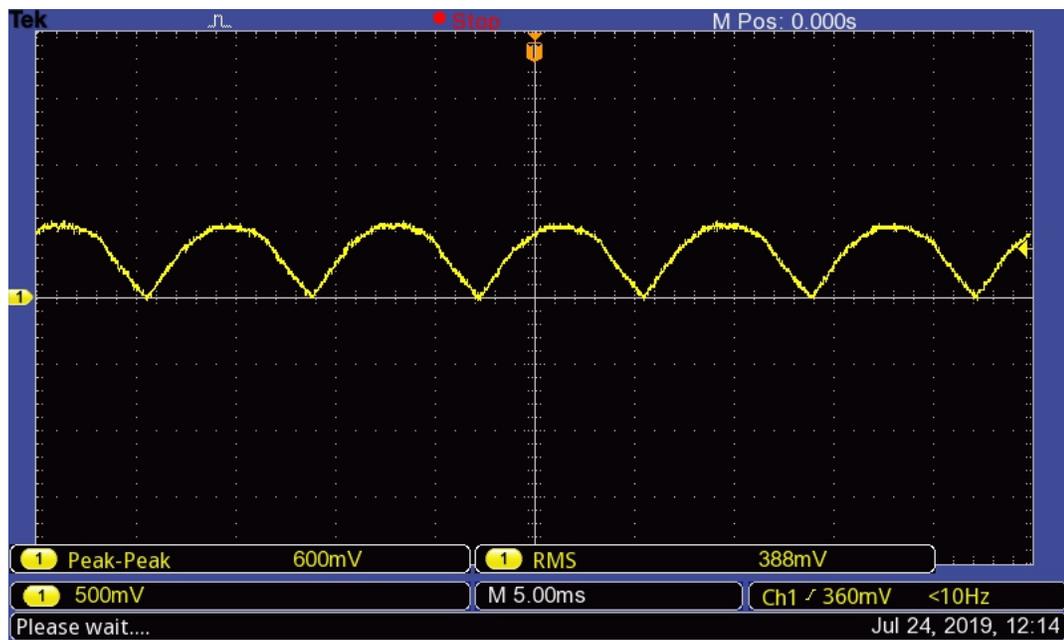


Figura H-38: Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM009.

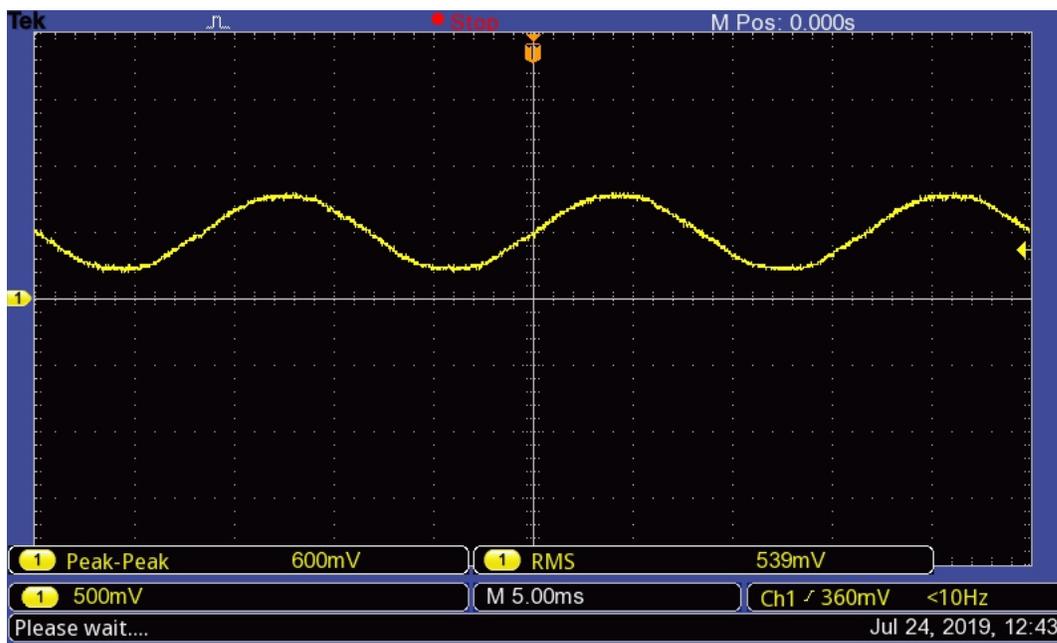


Figura H-39: Señal de voltaje obtenido en la salida del sensor de corriente, medido en el equipo SEM010.

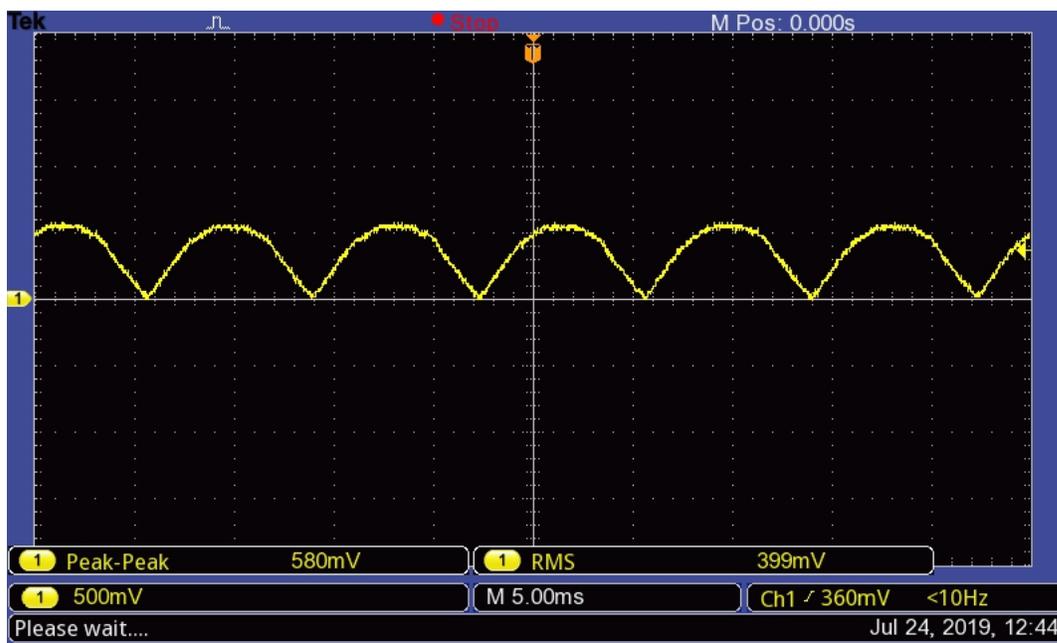


Figura H-40: Rectificación de precisión de onda completa de la señal de corriente, medido en el equipo SEM010.

I. Anexo: Gráficas de potencia medida por el sistema desarrollado

A continuación se entregan los resultados de medición de potencia de los dos hogares en cada día del periodo monitoreado.

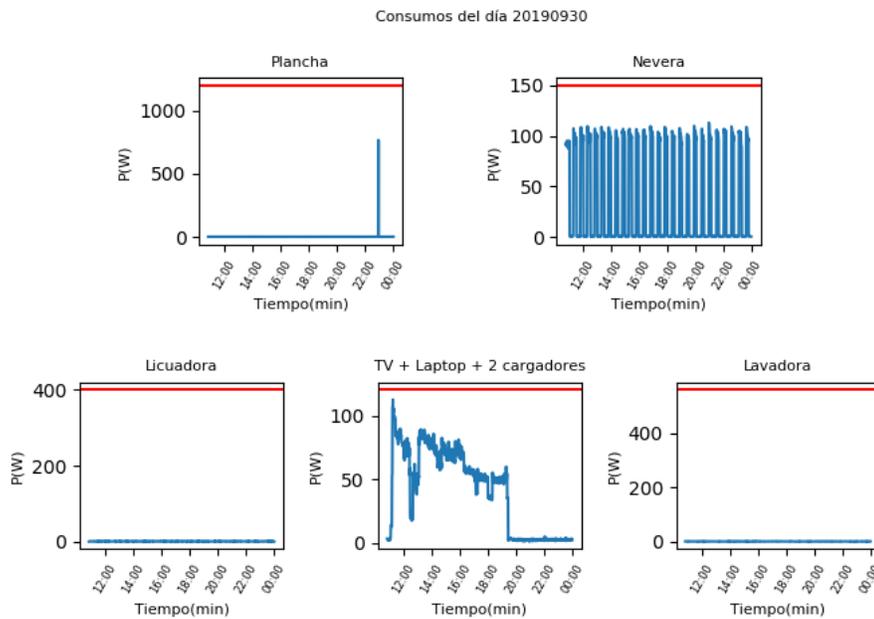


Figura I-1: Gráficas de consumo por carga en el día 2019/09/30. Hogar 1

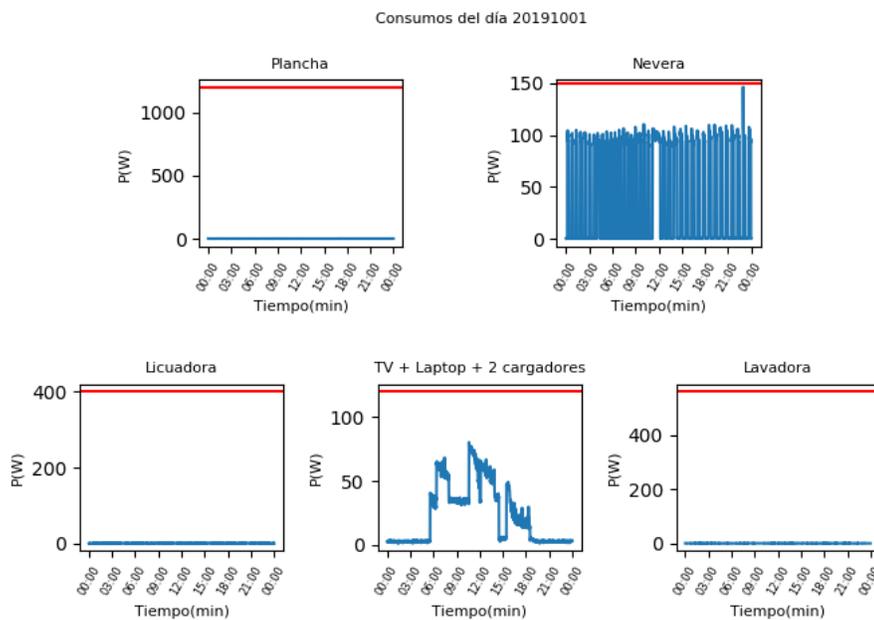


Figura I-2: Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/01. Hogar 1

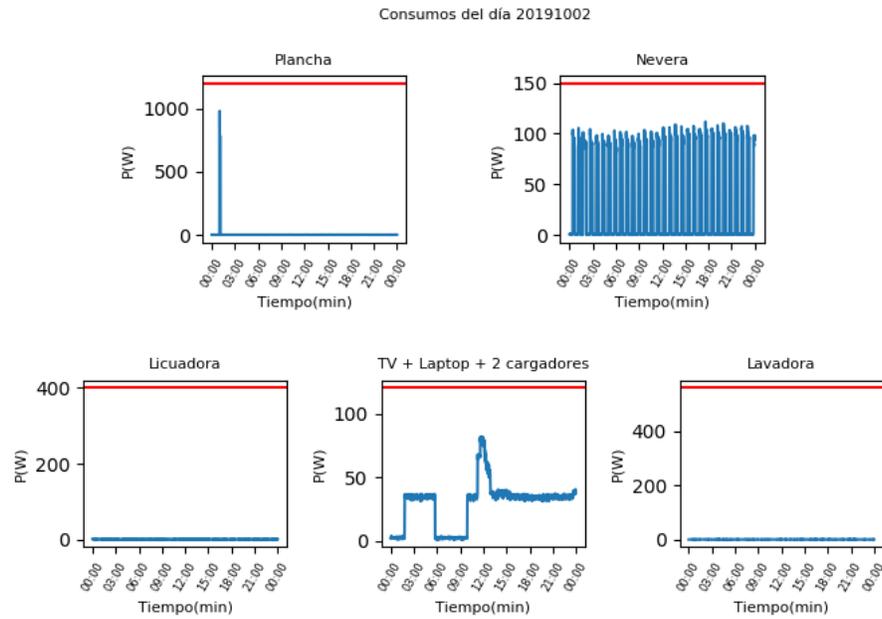


Figura I-3: Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/02. Hogar 1

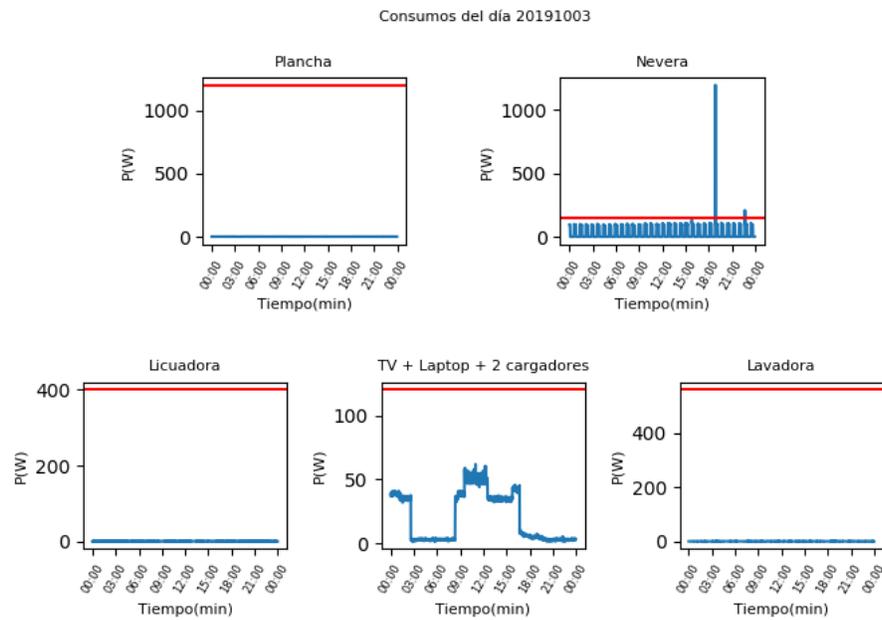


Figura I-4: Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/03. Hogar 1

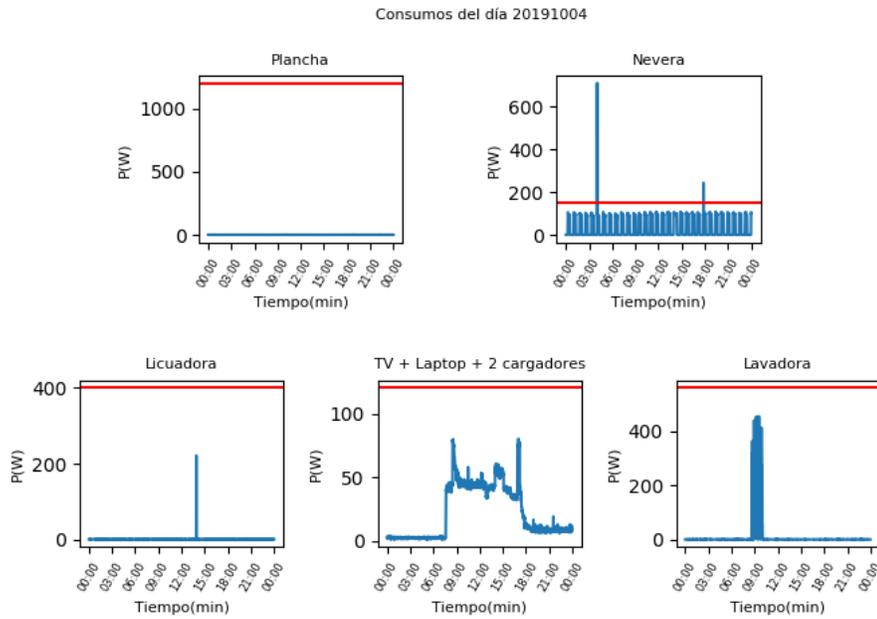


Figura I-5: Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/04. Hogar 1

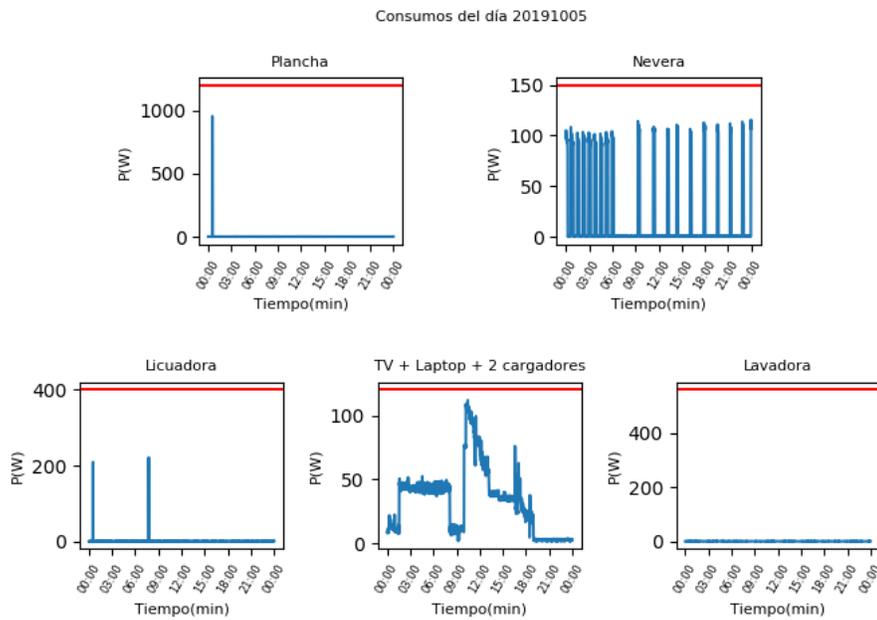


Figura I-6: Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/05. Hogar 1

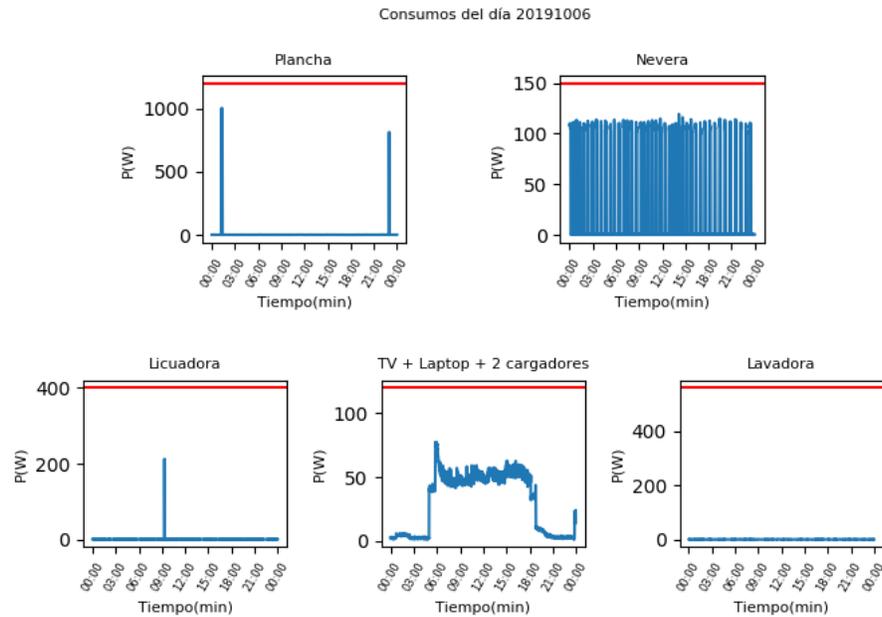


Figura I-7: Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/06. Hogar 1

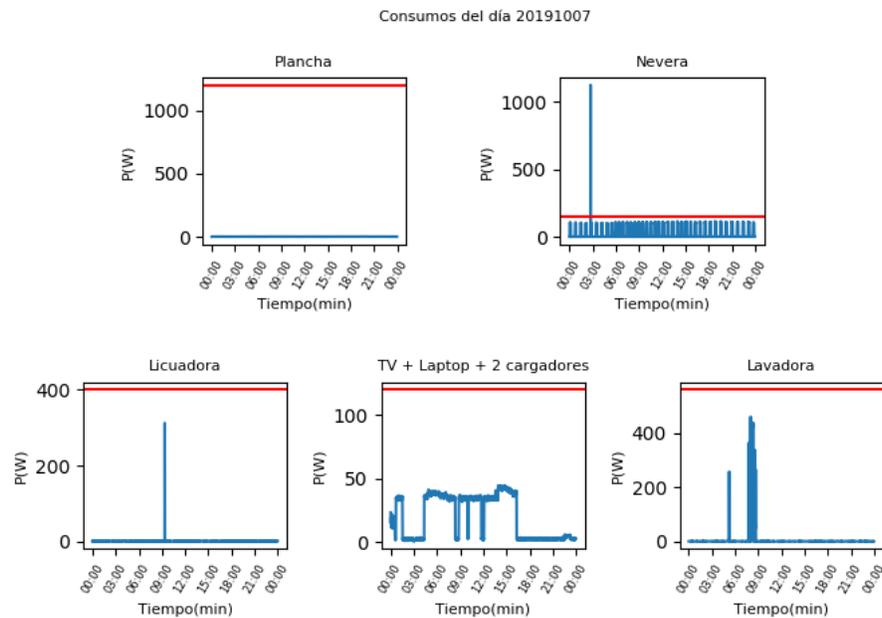


Figura I-8: Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/07. Hogar 1

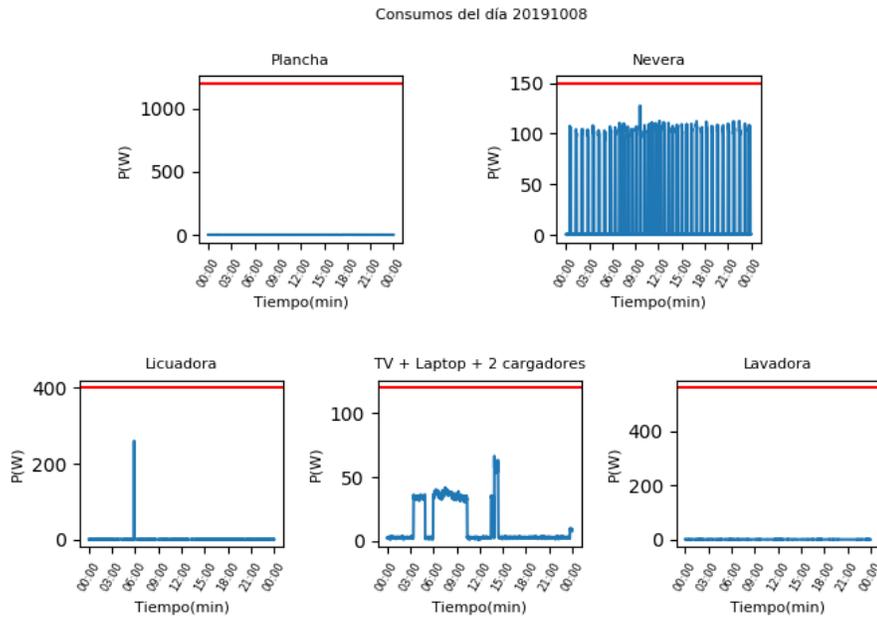


Figura I-9: Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/08. Hogar 1

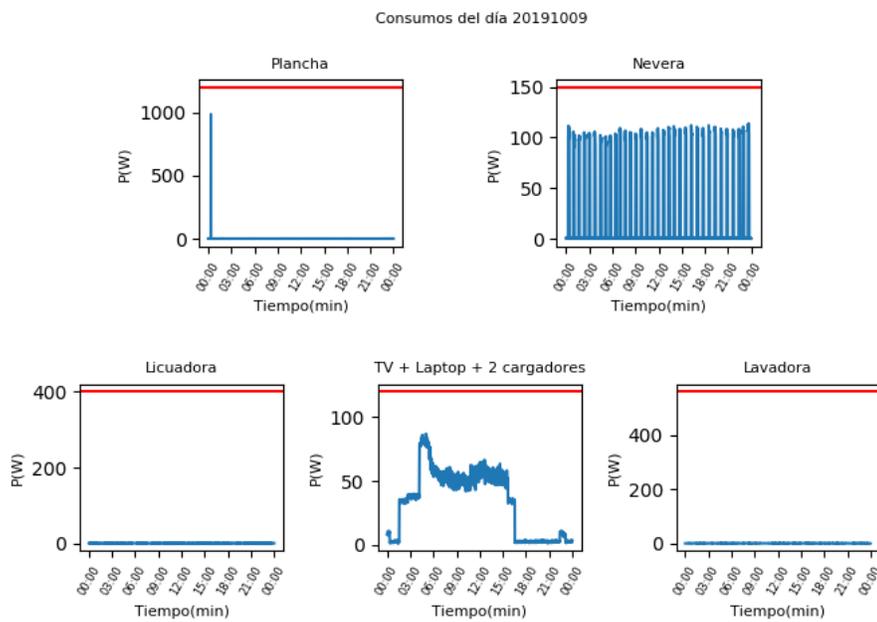


Figura I-10: Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/09. Hogar 1

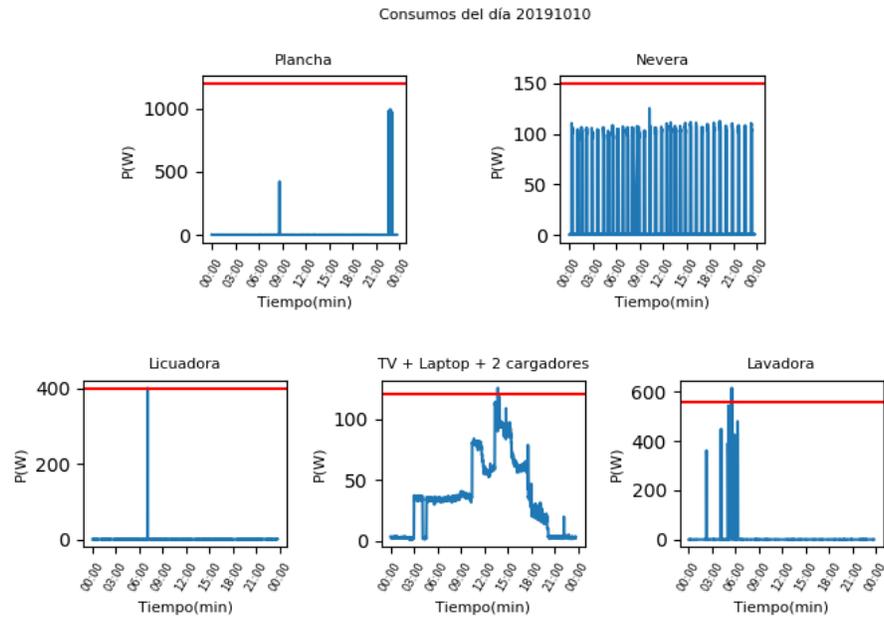


Figura I-11: Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/10. Hogar 1

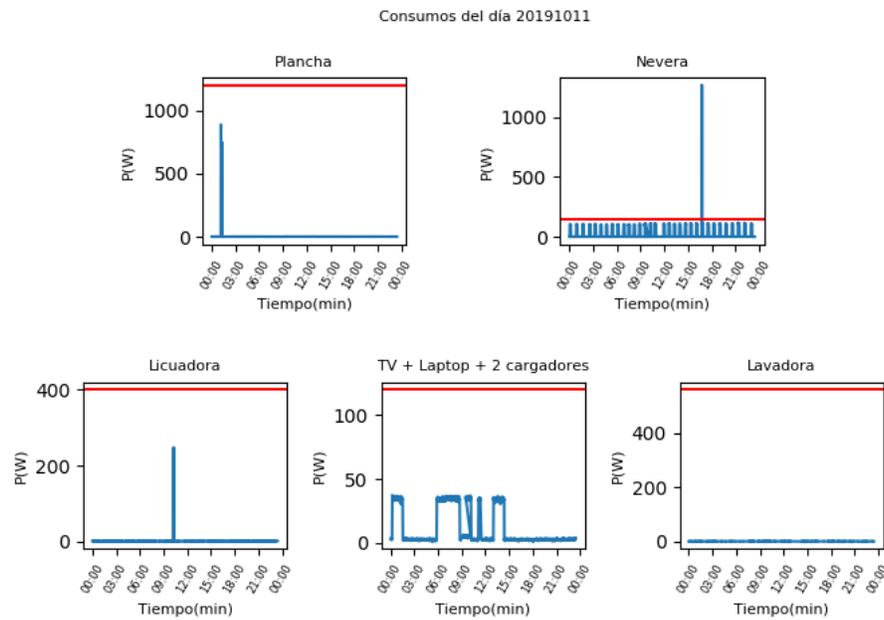


Figura I-12: Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/11. Hogar 1

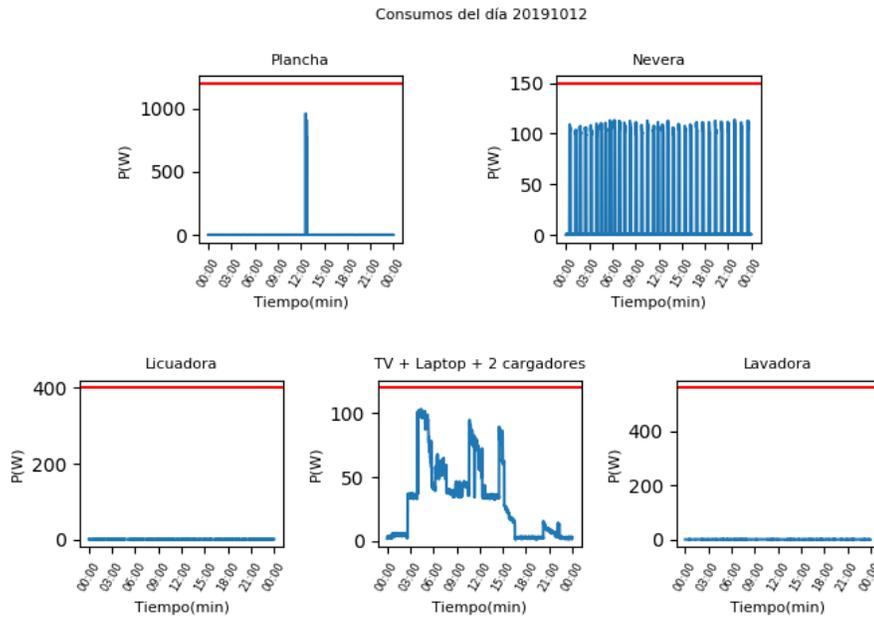


Figura I-13: Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/12. Hogar 1

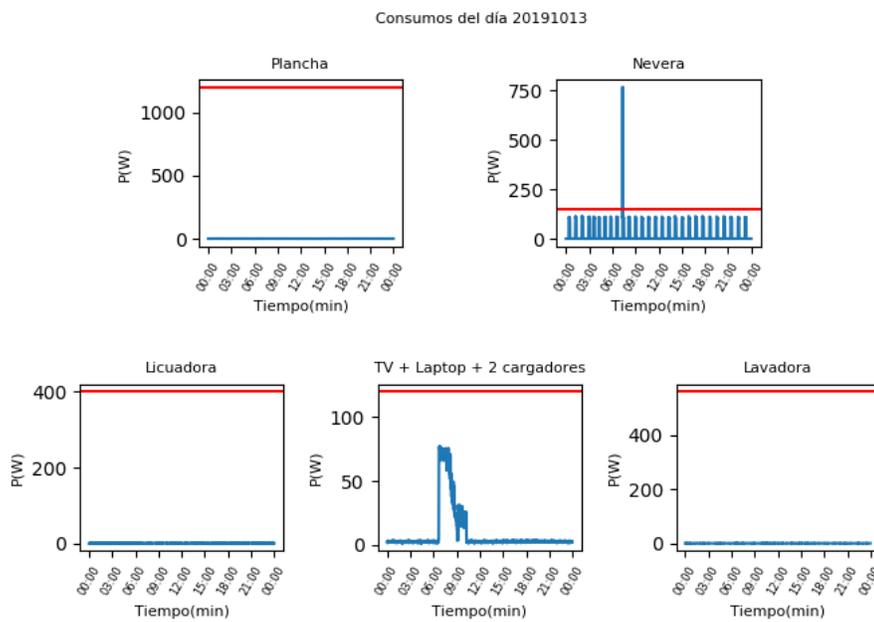


Figura I-14: Gráficas de consumo por carga en el día 2019/10/13. Hogar 1

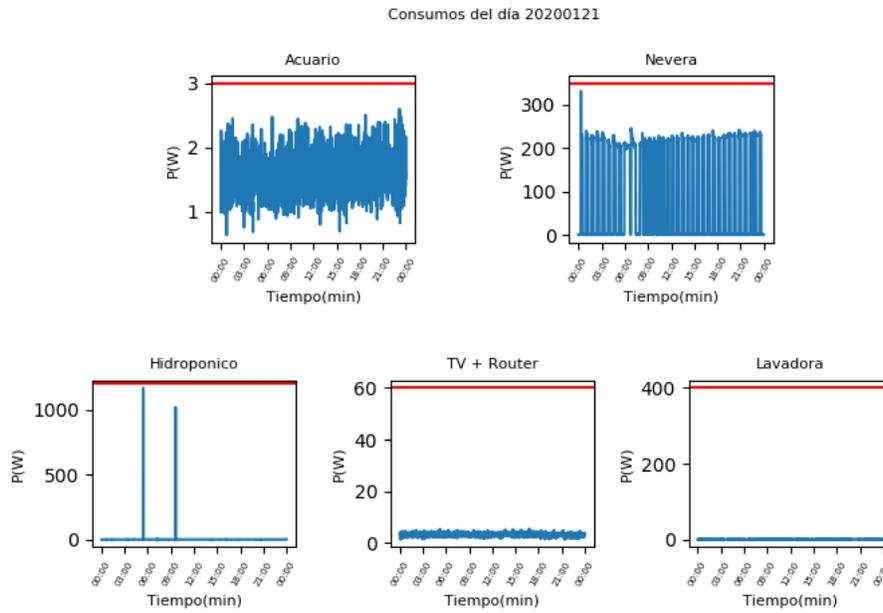


Figura I-15: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/21. Hogar 2.

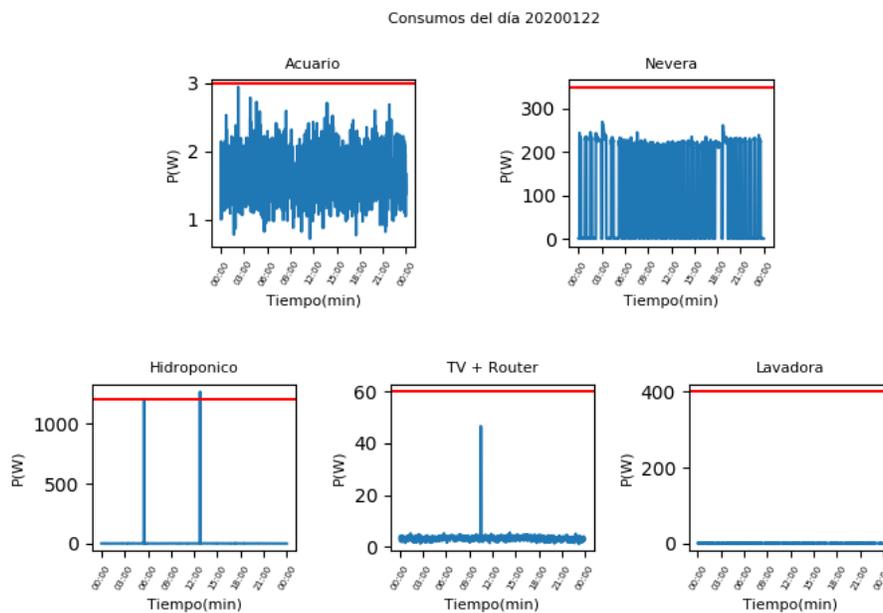


Figura I-16: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/22. Hogar 2.

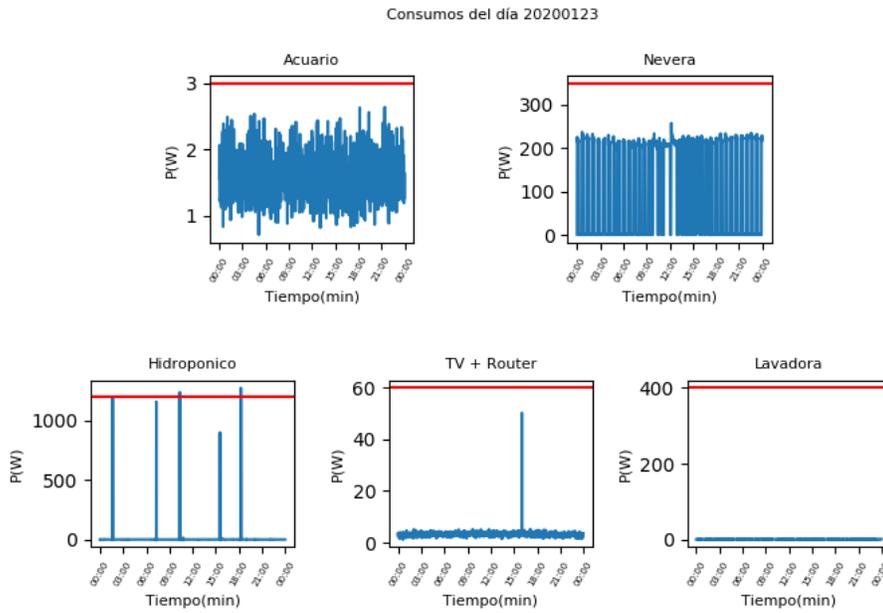


Figura I-17: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/23. Hogar 2.

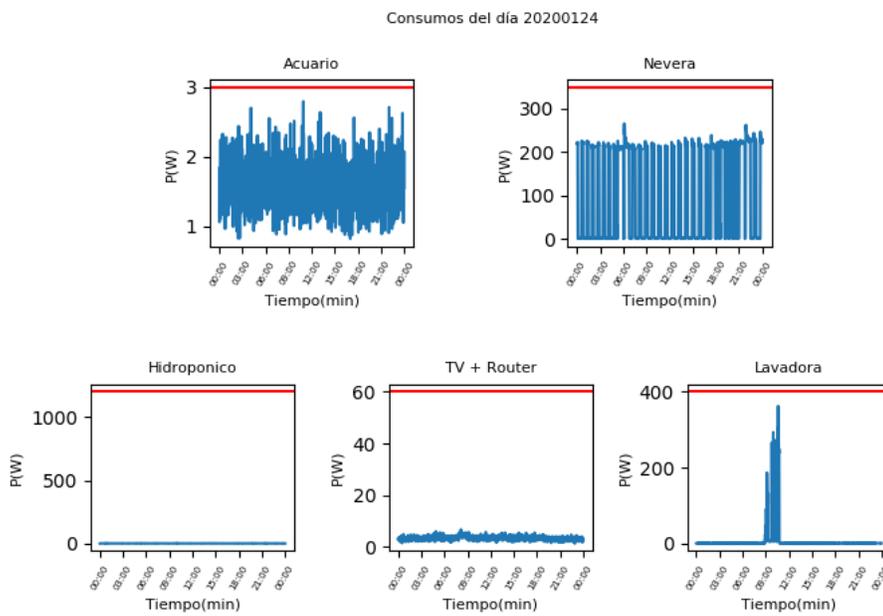


Figura I-18: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/24. Hogar 2.

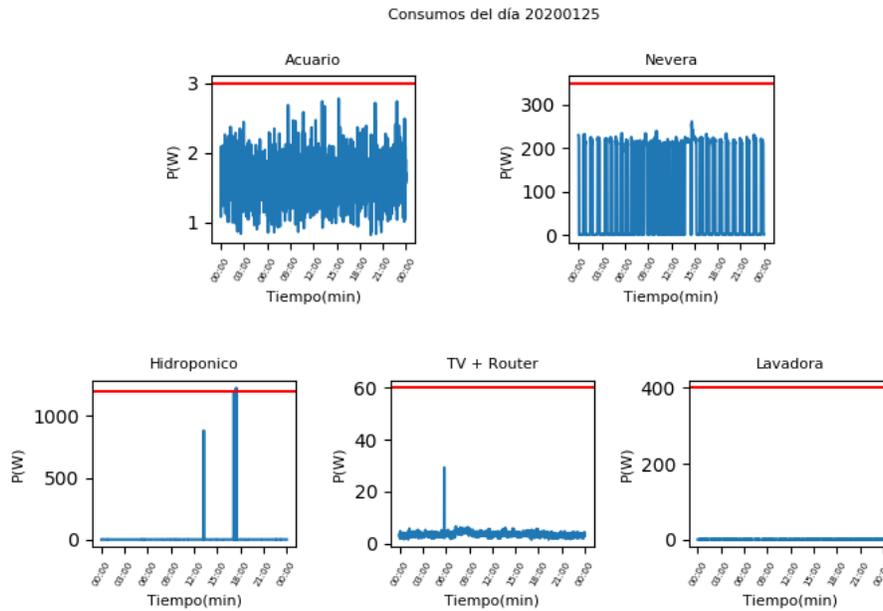


Figura I-19: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/25. Hogar 2.

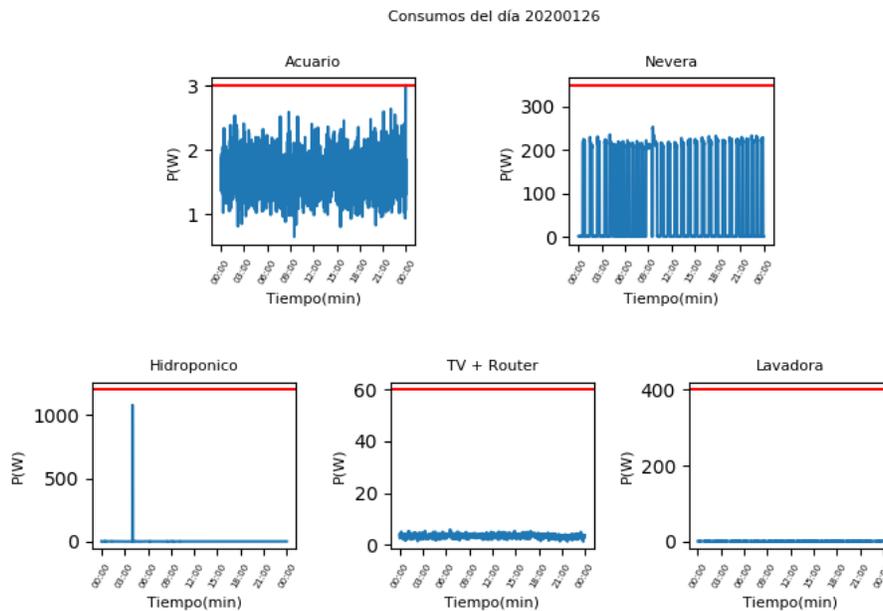


Figura I-20: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/26. Hogar 2.

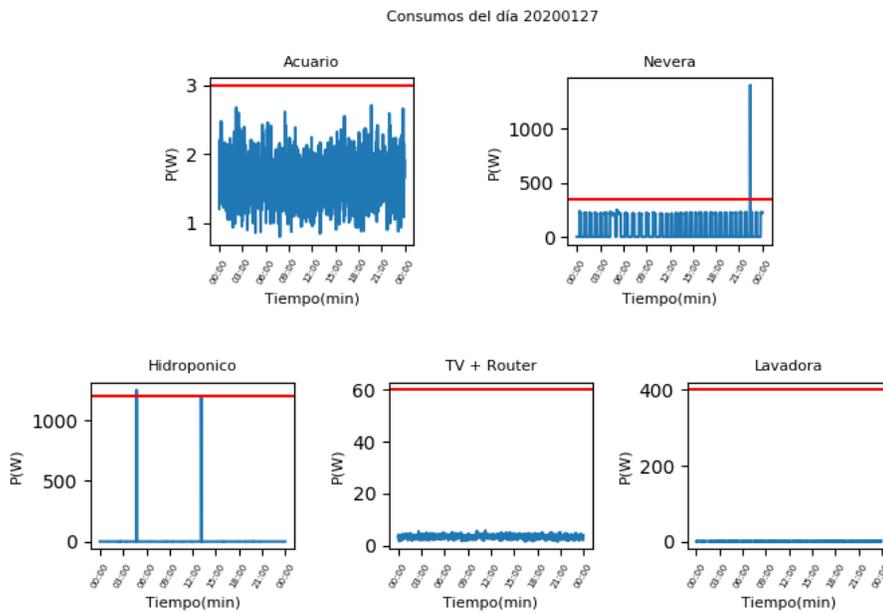


Figura I-21: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/27. Hogar 2.

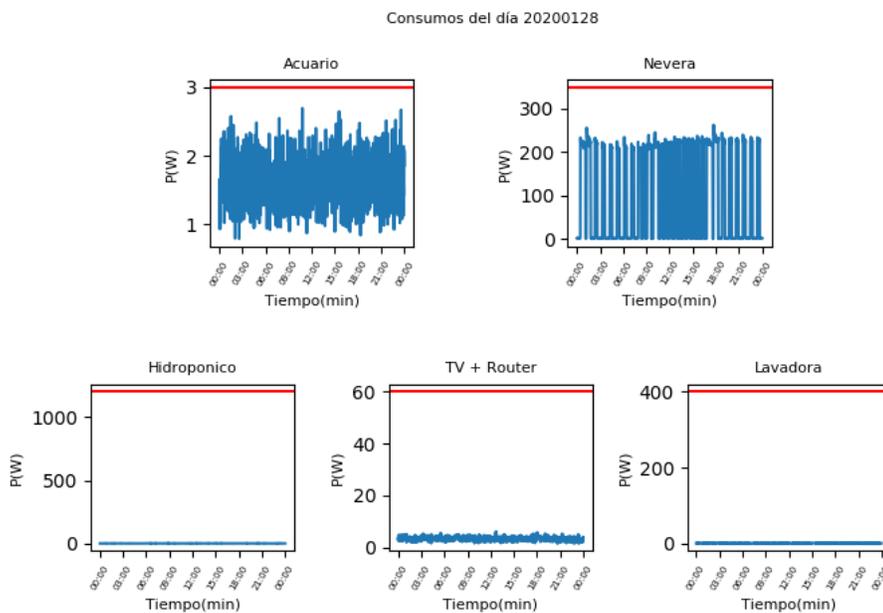


Figura I-22: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/28. Hogar 2.

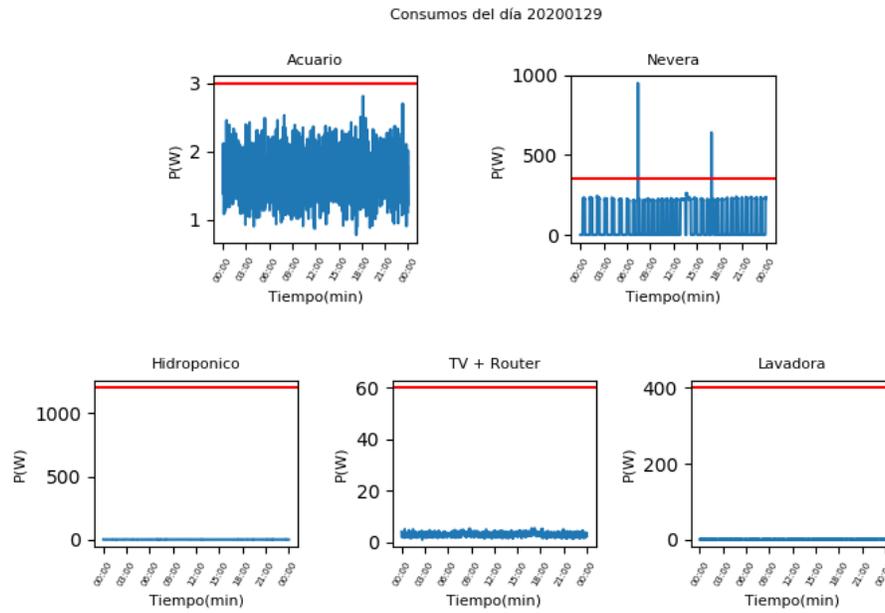


Figura I-23: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/29. Hogar 2.

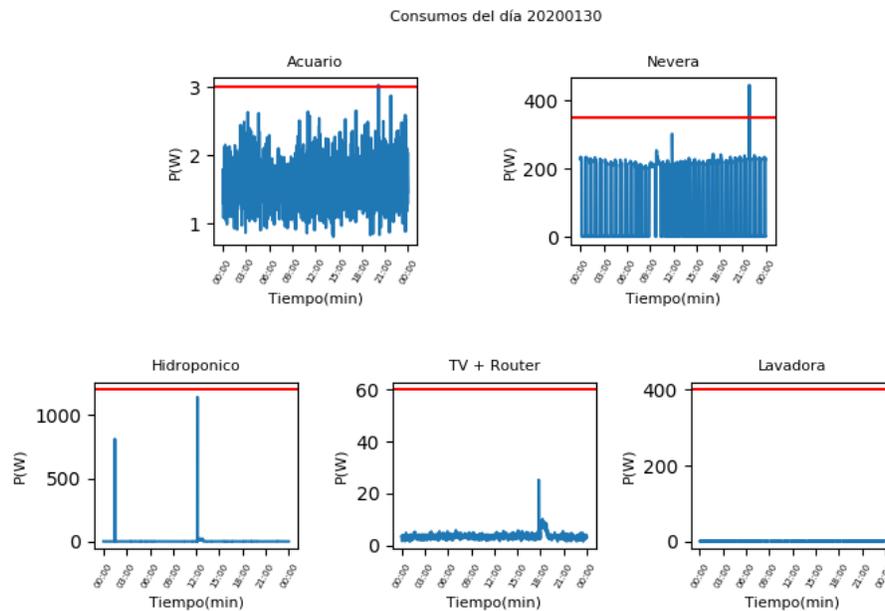


Figura I-24: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/30. Hogar 2.

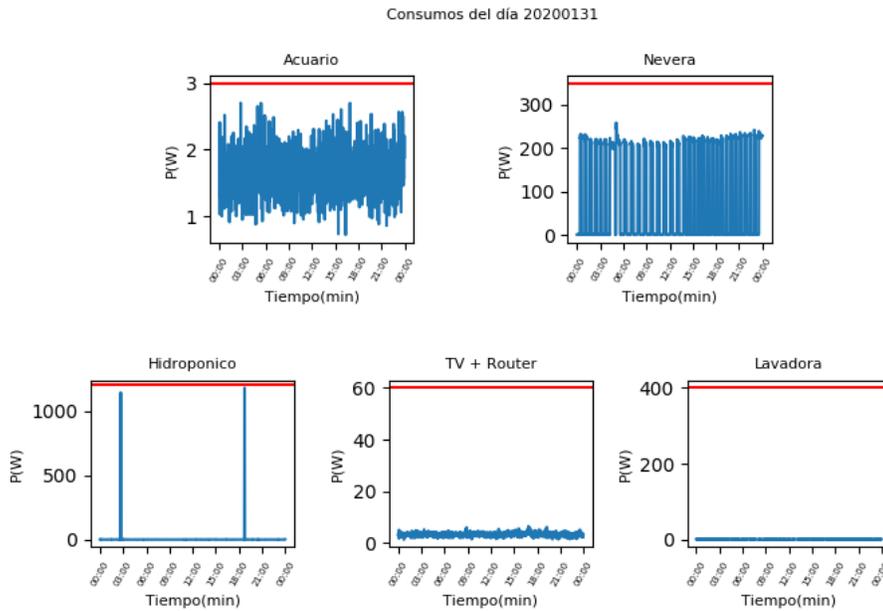


Figura I-25: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/01/31. Hogar 2.

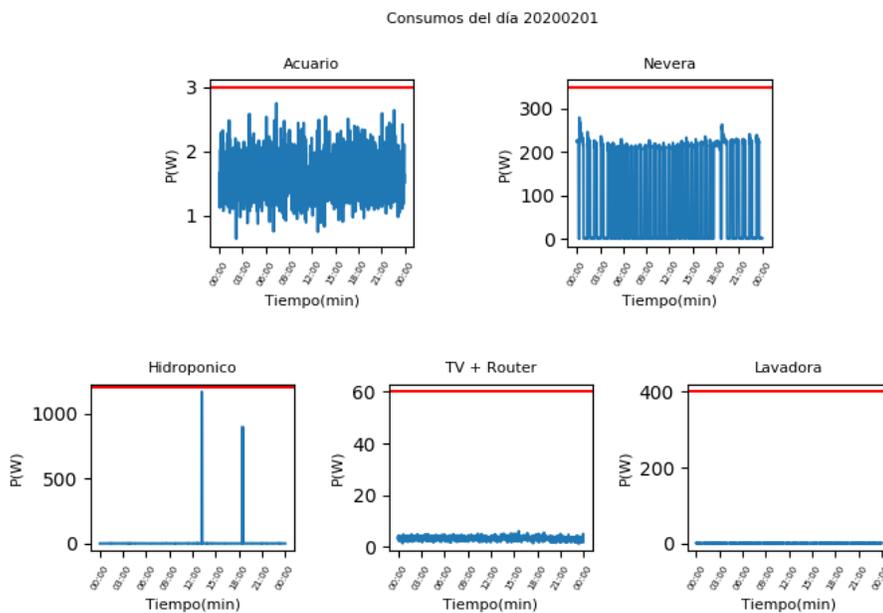


Figura I-26: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/01. Hogar 2.

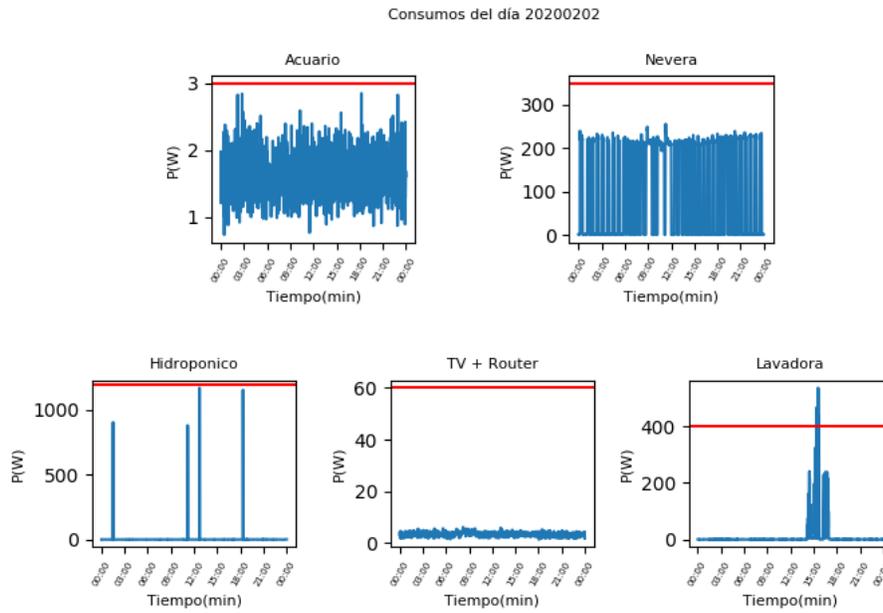


Figura I-27: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/02. Hogar 2.

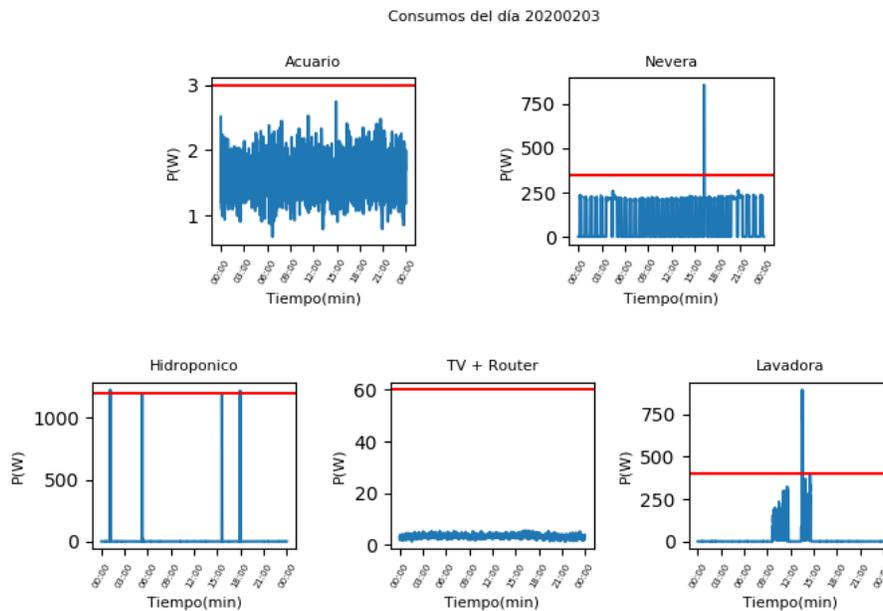


Figura I-28: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/03. Hogar 2.

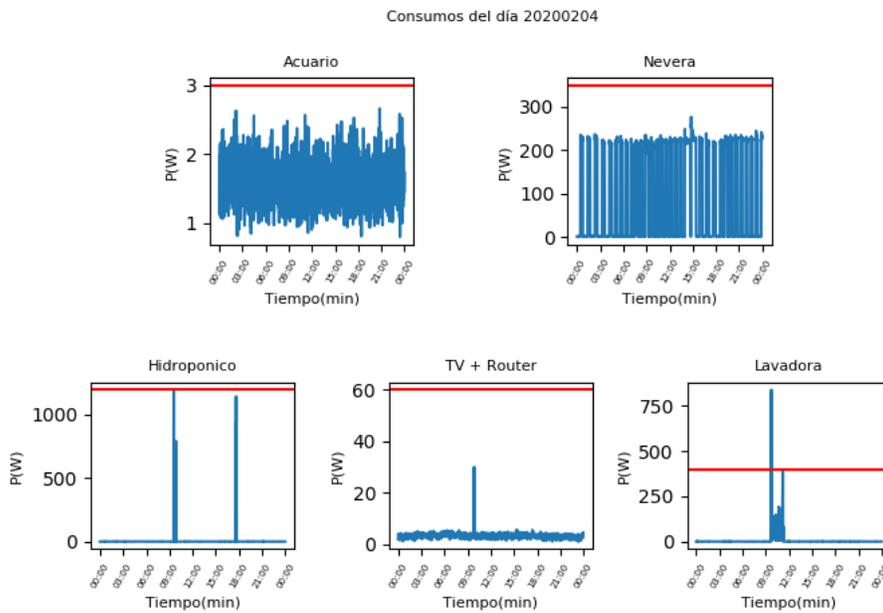


Figura I-29: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/04. Hogar 2.

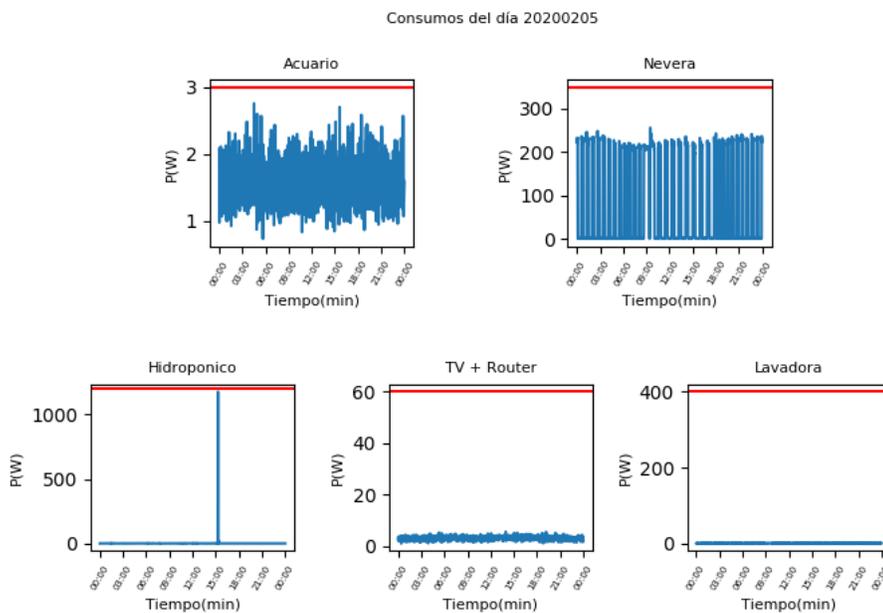


Figura I-30: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/05. Hogar 2.

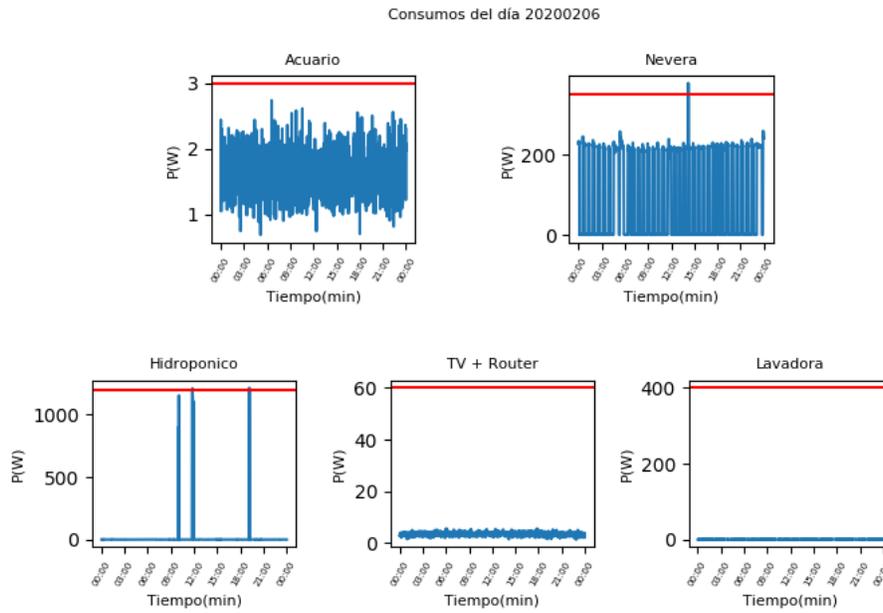


Figura I-31: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/06. Hogar 2.

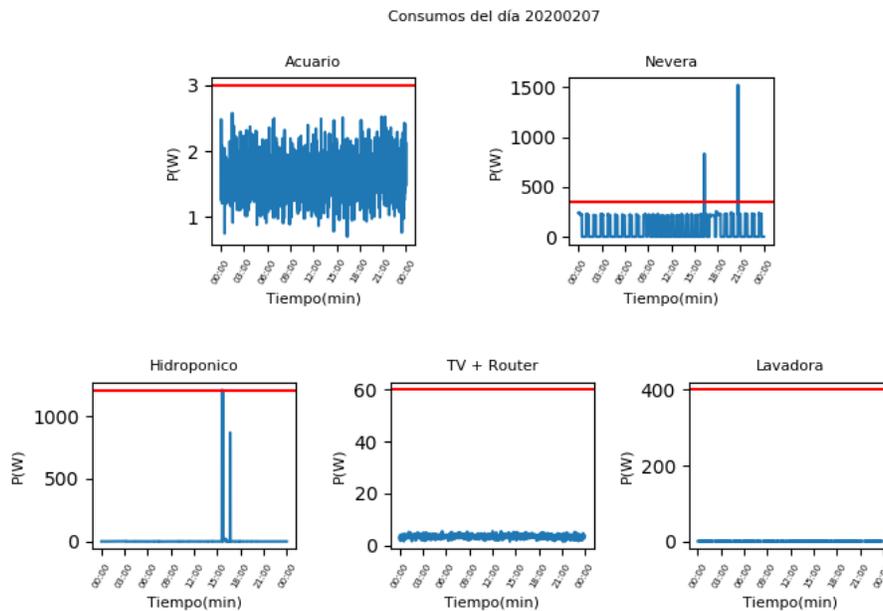


Figura I-32: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/07. Hogar 2.

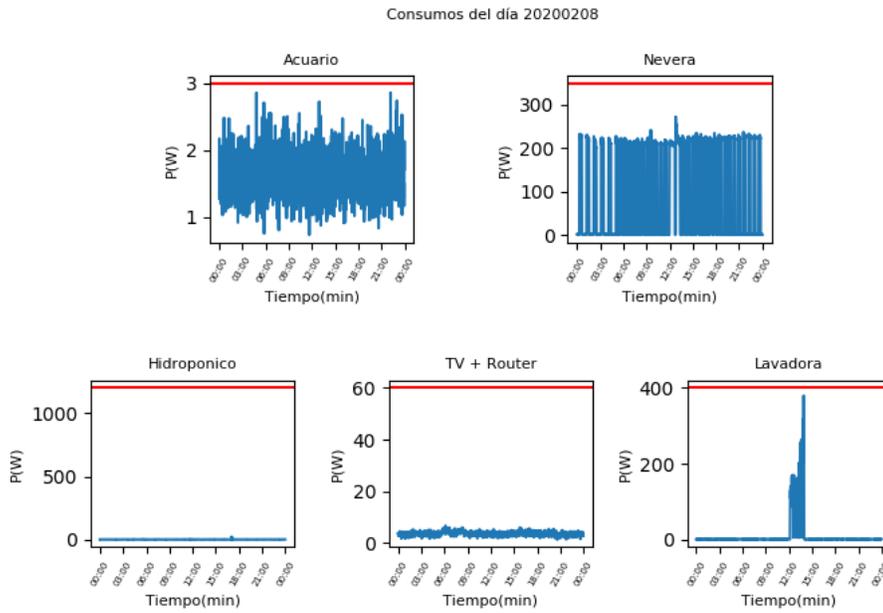


Figura I-33: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/08. Hogar 2.

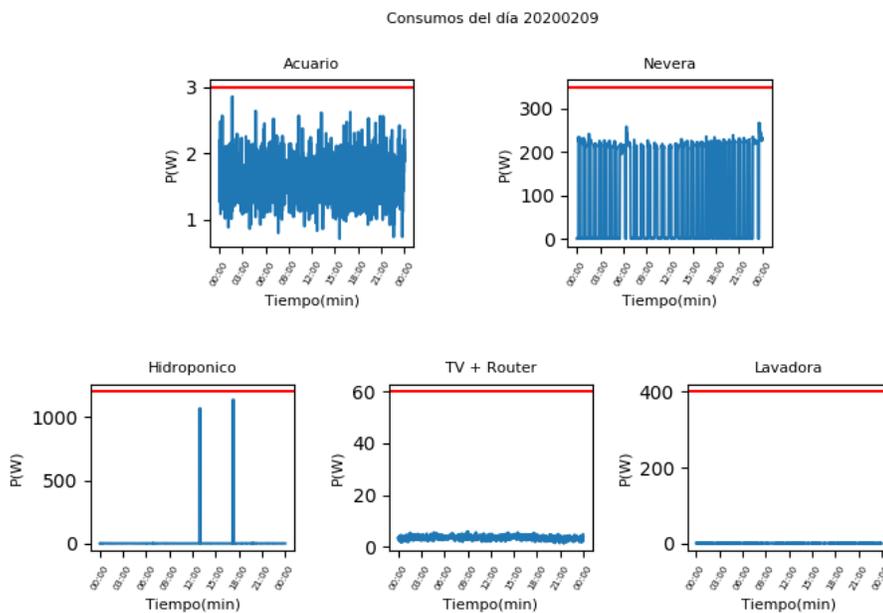


Figura I-34: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/09. Hogar 2.

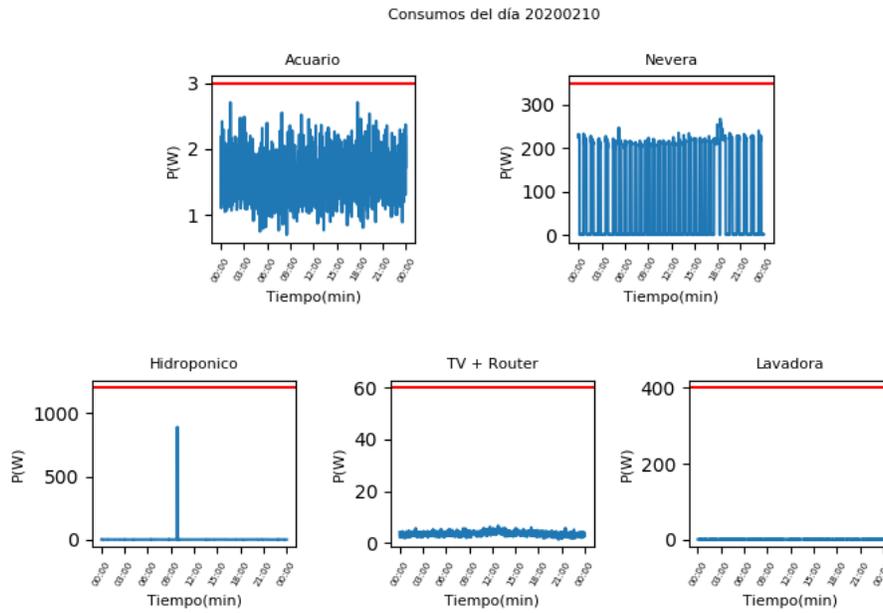


Figura I-35: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/10. Hogar 2.

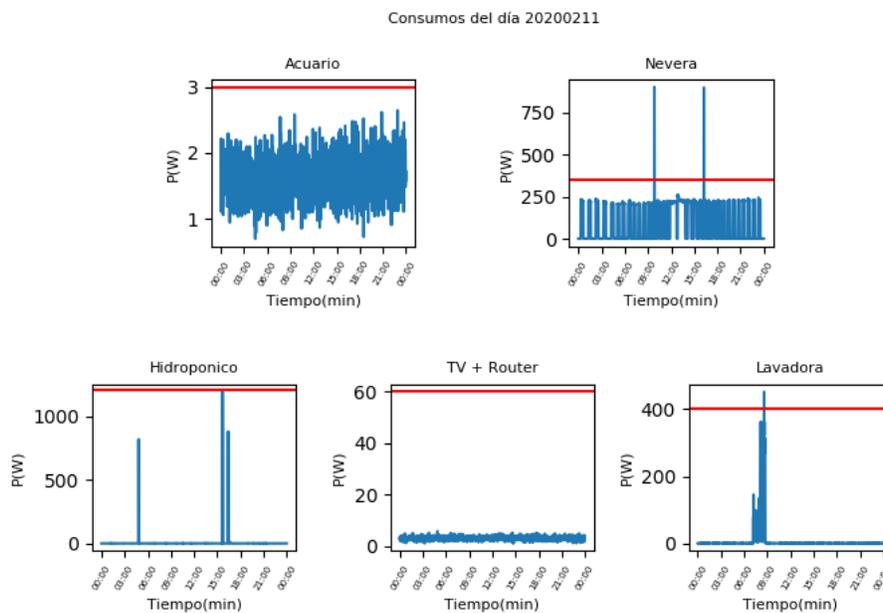


Figura I-36: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/11. Hogar 2.

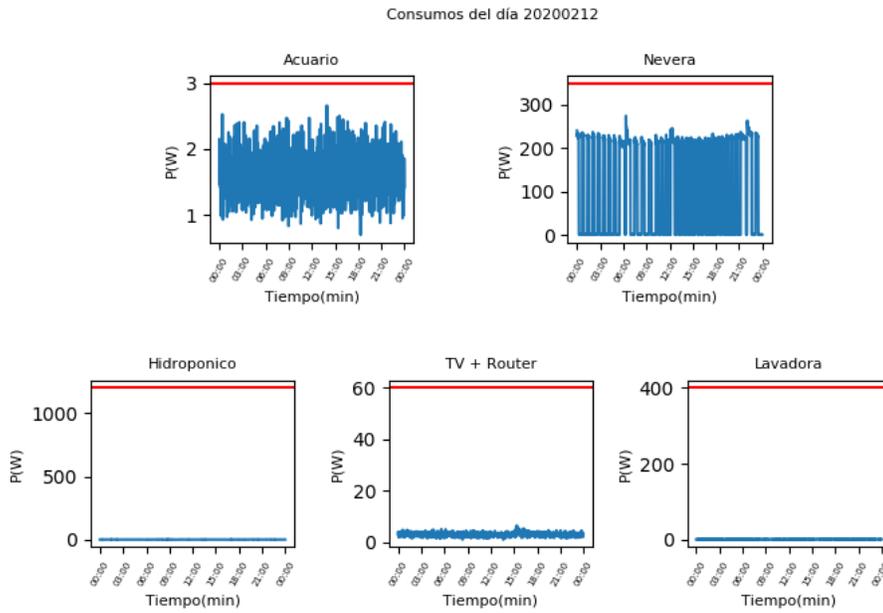


Figura I-37: Gráficas de consumo por carga en el día 2020/02/12. Hogar 2.

J. Anexo: Gráficas de la respuesta en frecuencia de las medidas obtenidas por cada día en los dos hogares

A continuación se presentan las gráficas de la transformada de Fourier aplicada en las tablas de potencia con respecto al tiempo de cada día que se realizó la medición. Aparecen las 5 gráficas relacionadas con cada carga en los dos hogares.

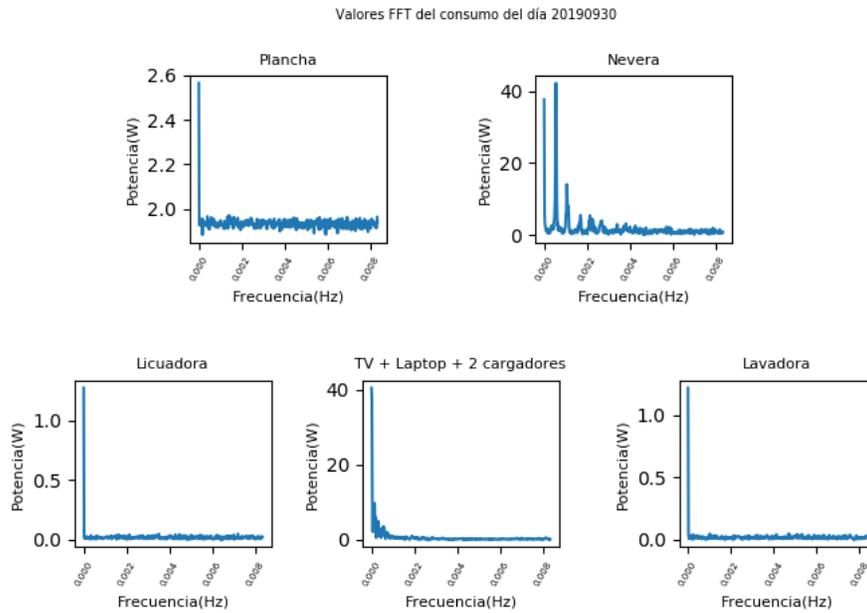


Figura J-1: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/09/30. Hogar 1

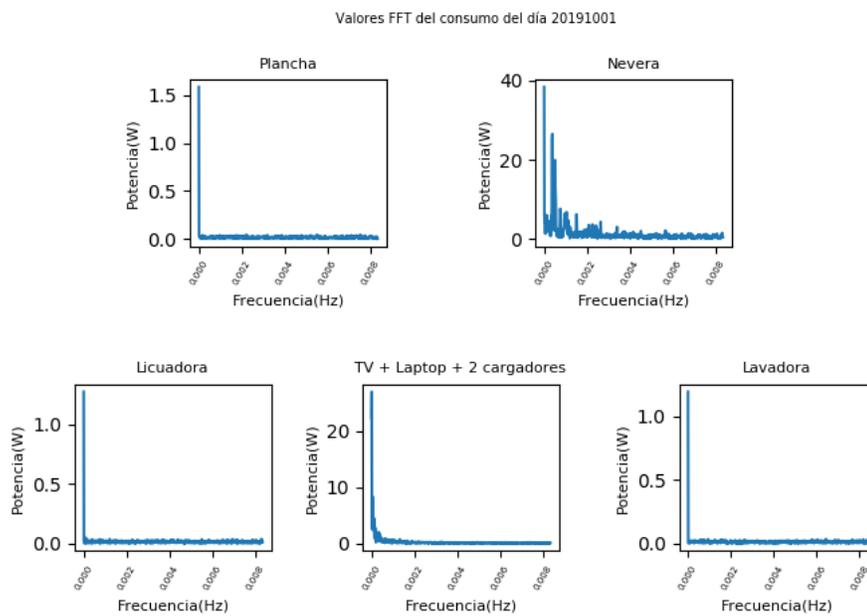


Figura J-2: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/01. Hogar 1

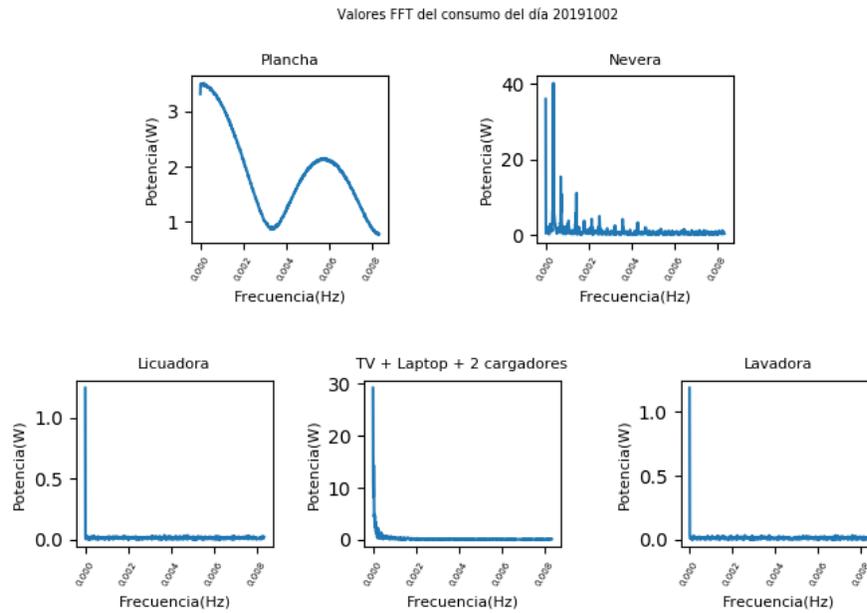


Figura J-3: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/02. Hogar 1

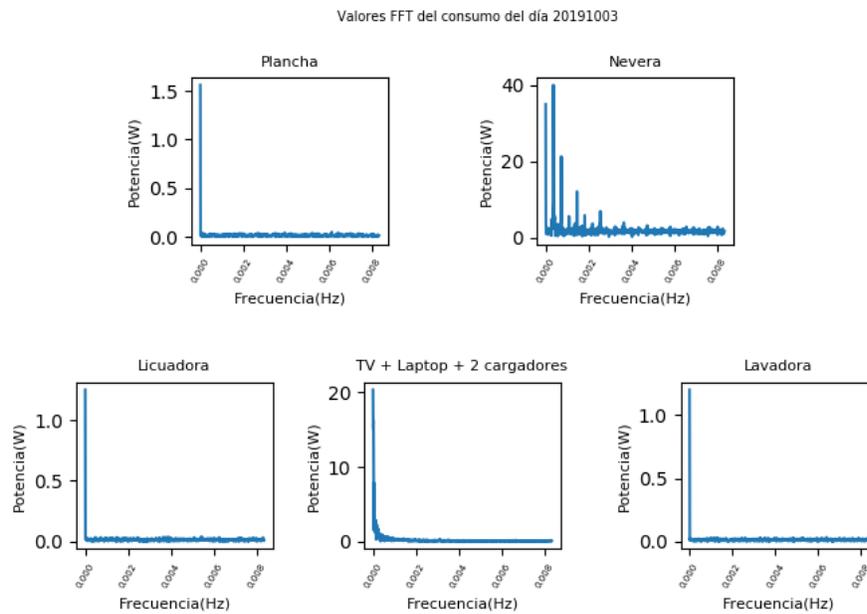


Figura J-4: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/03. Hogar 1

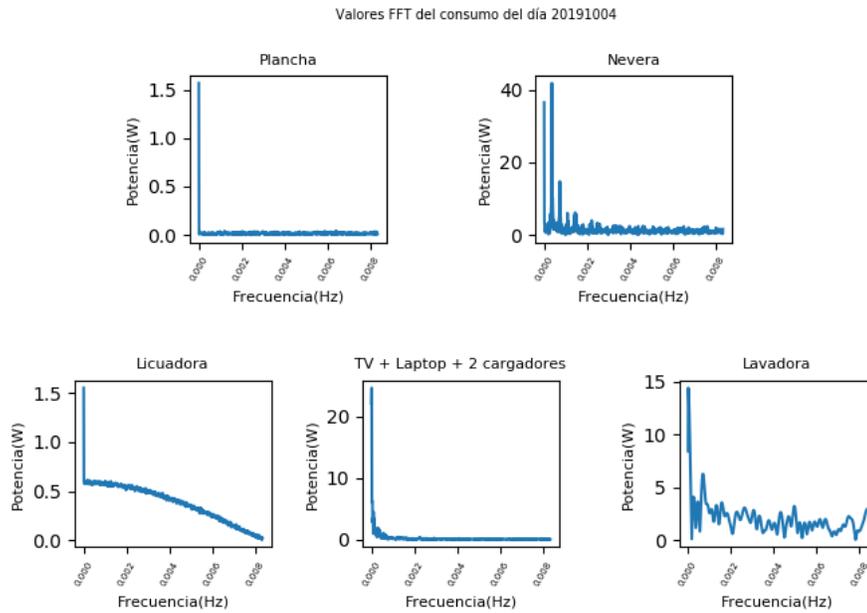


Figura J-5: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/04. Hogar 1

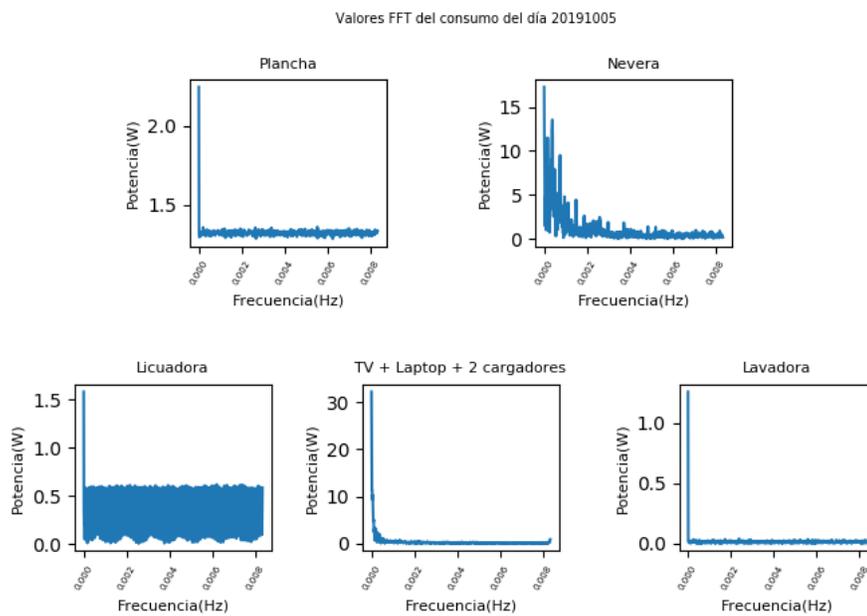


Figura J-6: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/05. Hogar 1

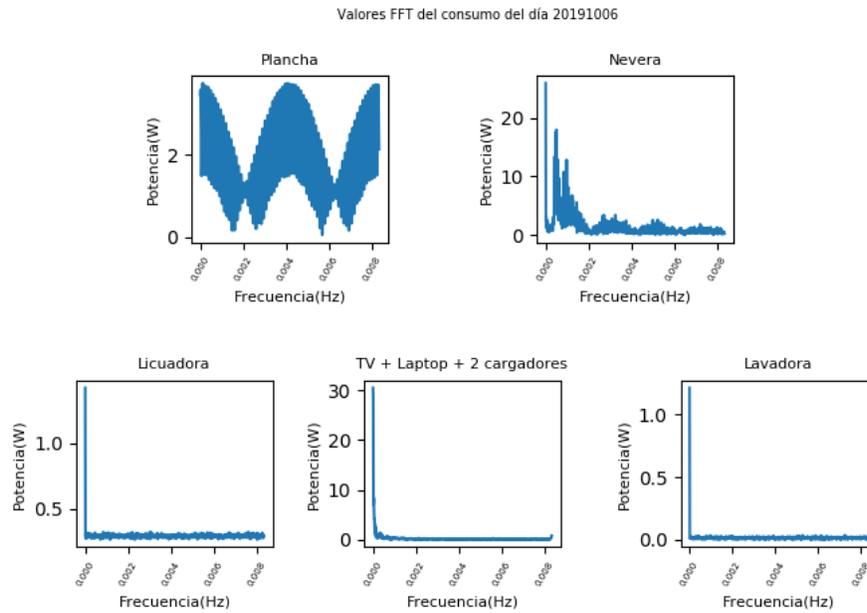


Figura J-7: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/06. Hogar 1

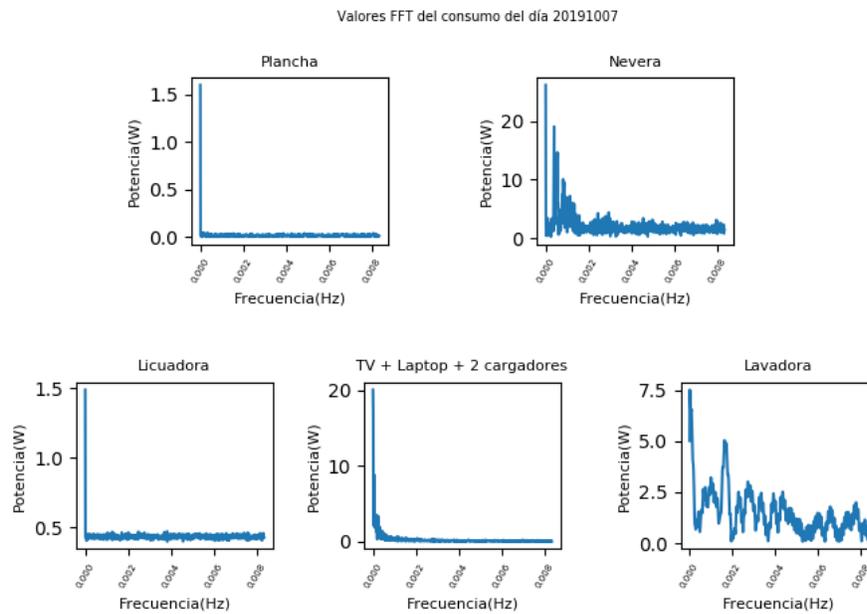


Figura J-8: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/07. Hogar 1

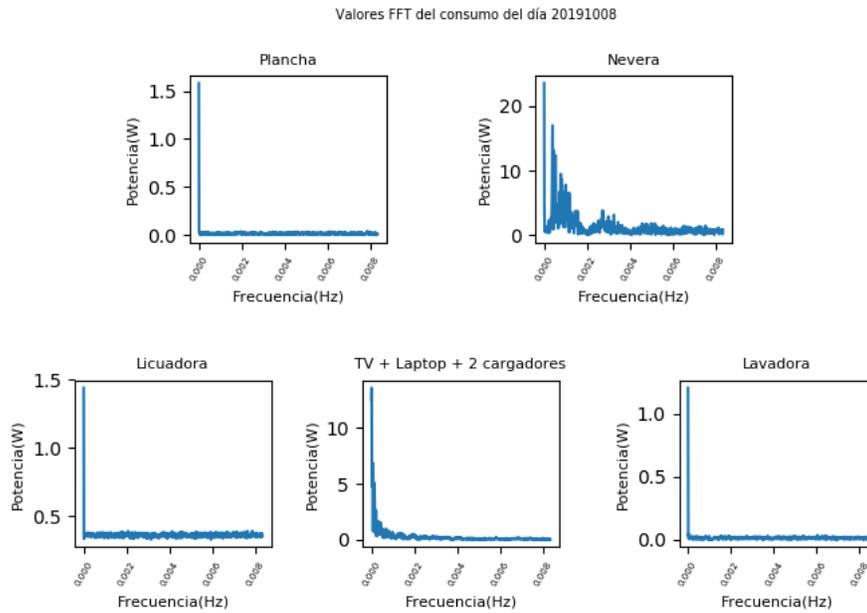


Figura J-9: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/08. Hogar 1

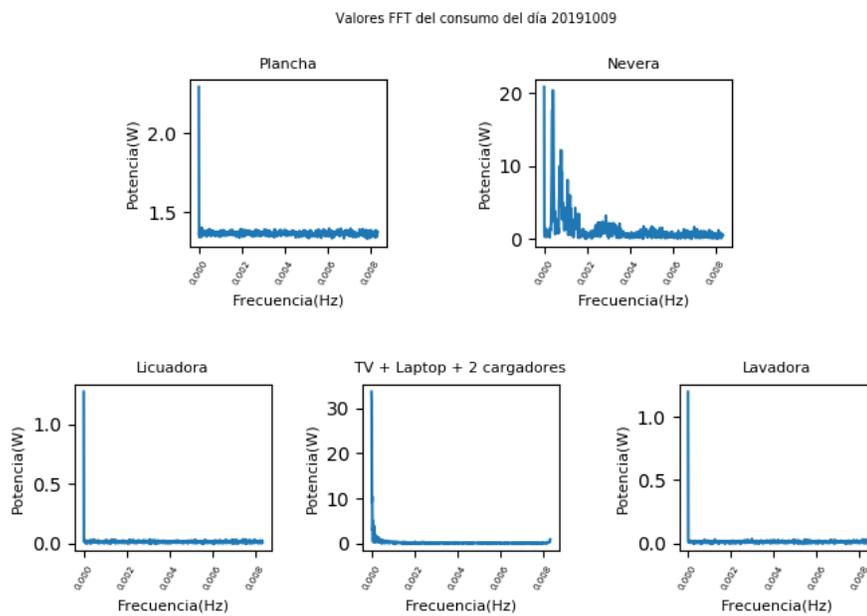


Figura J-10: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/09. Hogar 1

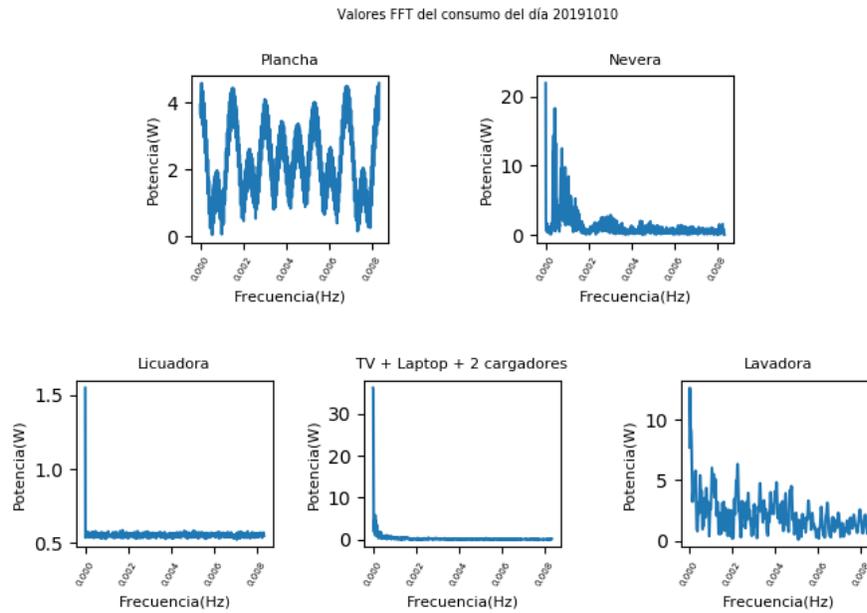


Figura J-11: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/10. Hogar 1

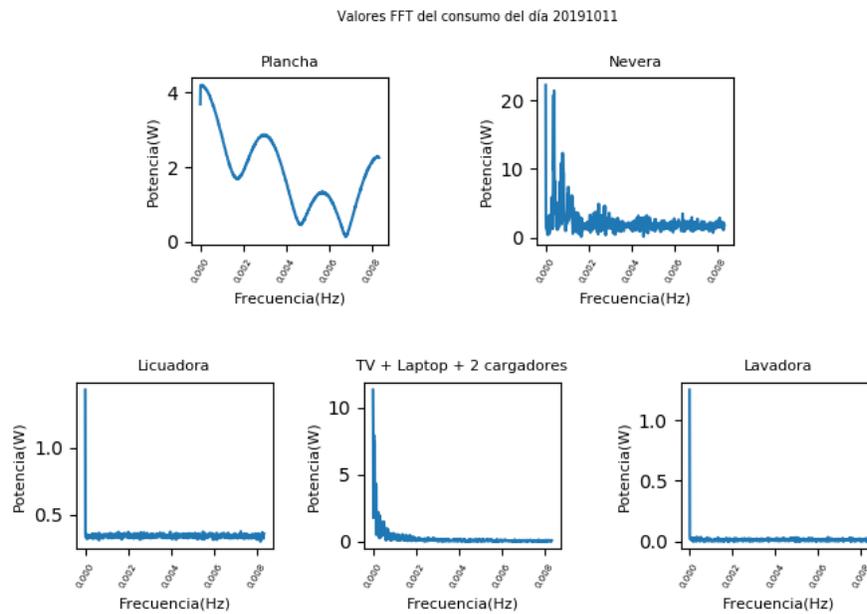


Figura J-12: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/11. Hogar 1

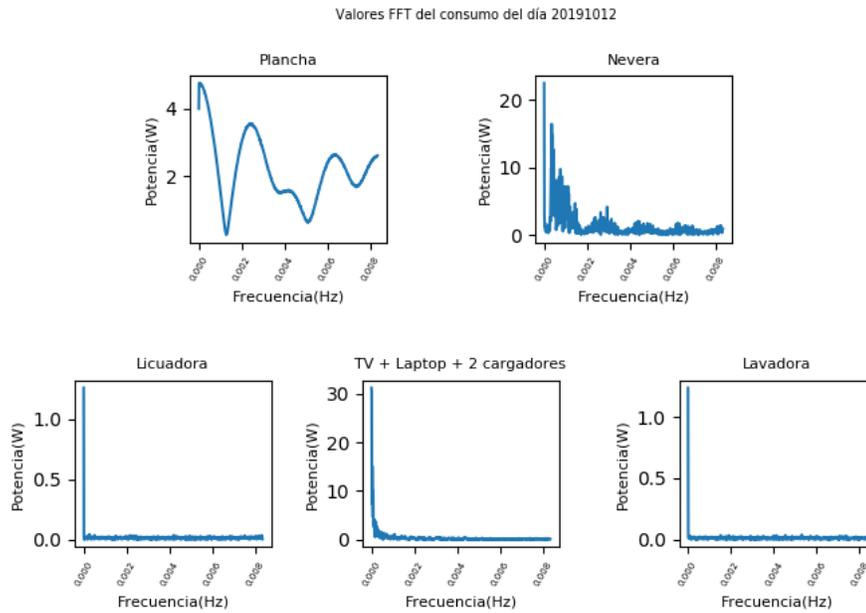


Figura J-13: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/12. Hogar 1

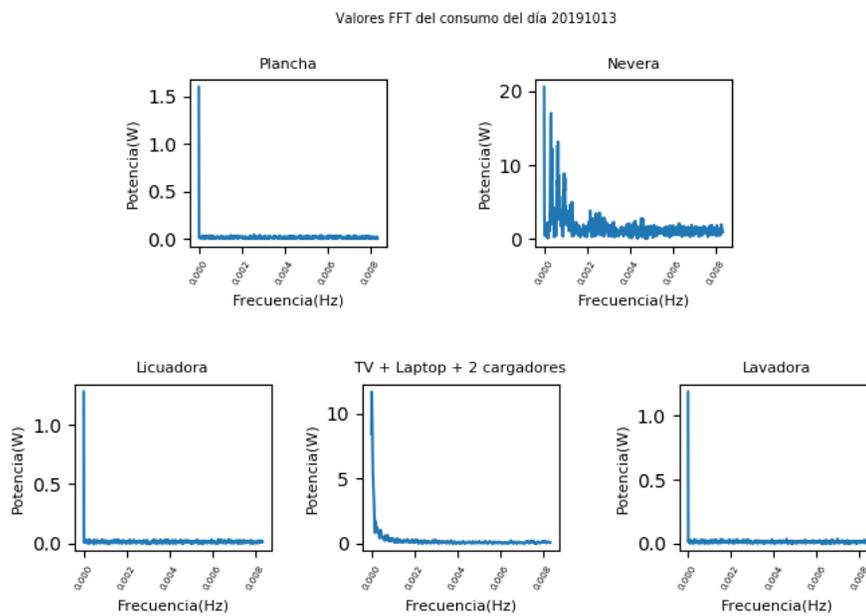


Figura J-14: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2019/10/13. Hogar 1

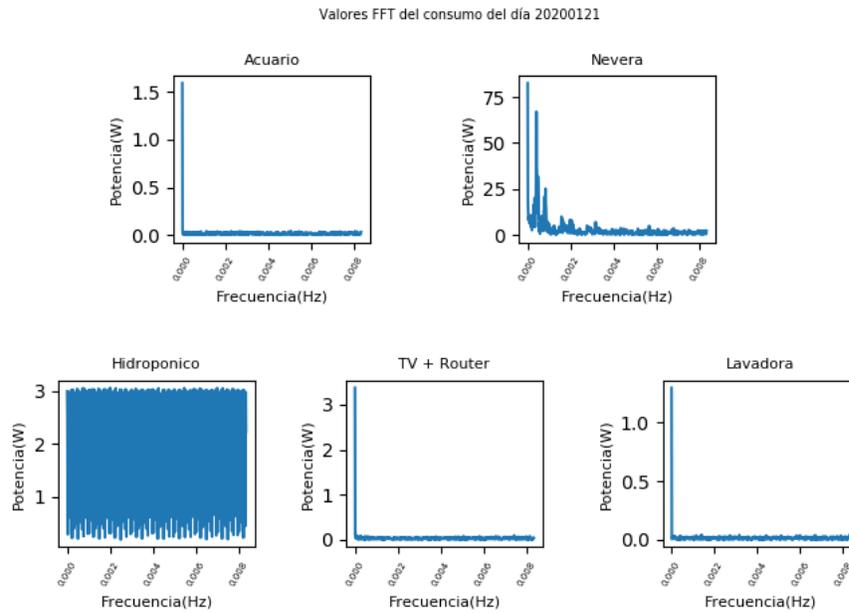


Figura J-15: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/21. Hogar 2.

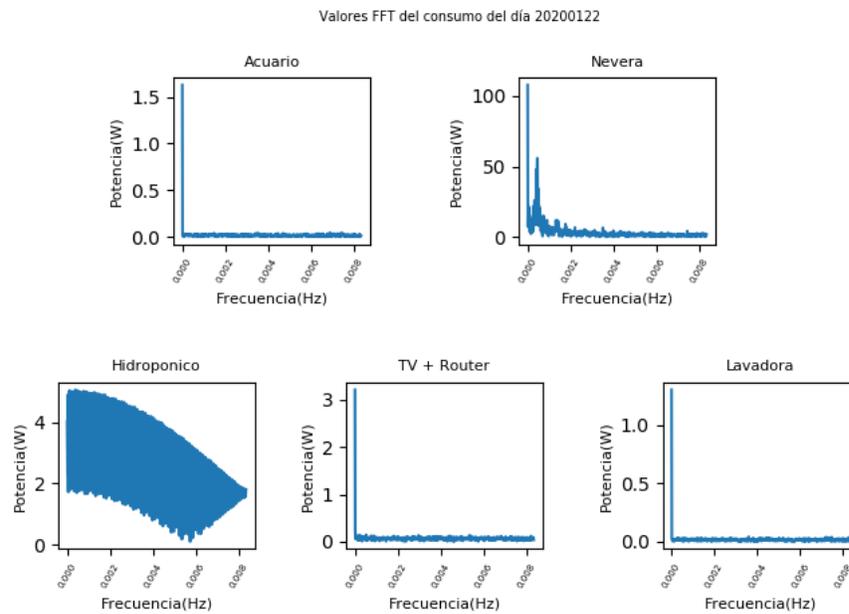


Figura J-16: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/22. Hogar 2.

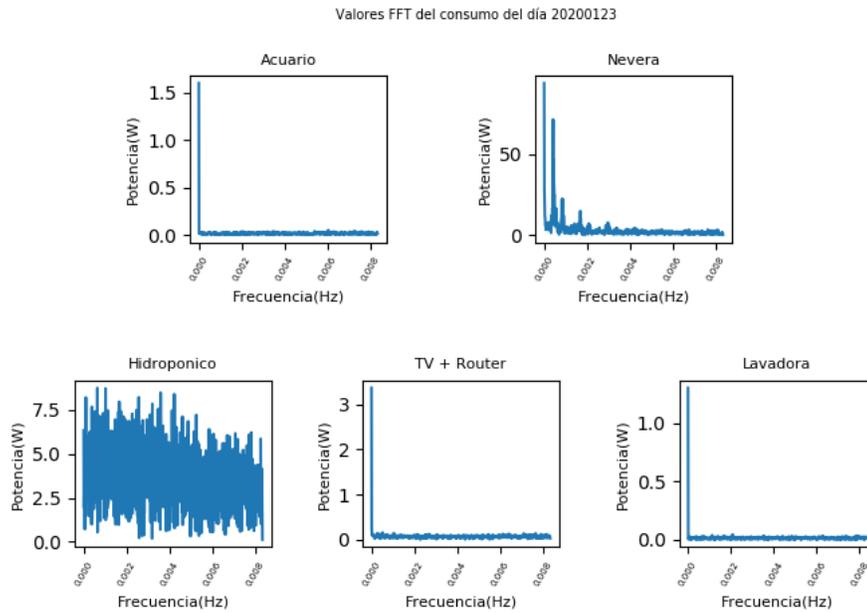


Figura J-17: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/23. Hogar 2.

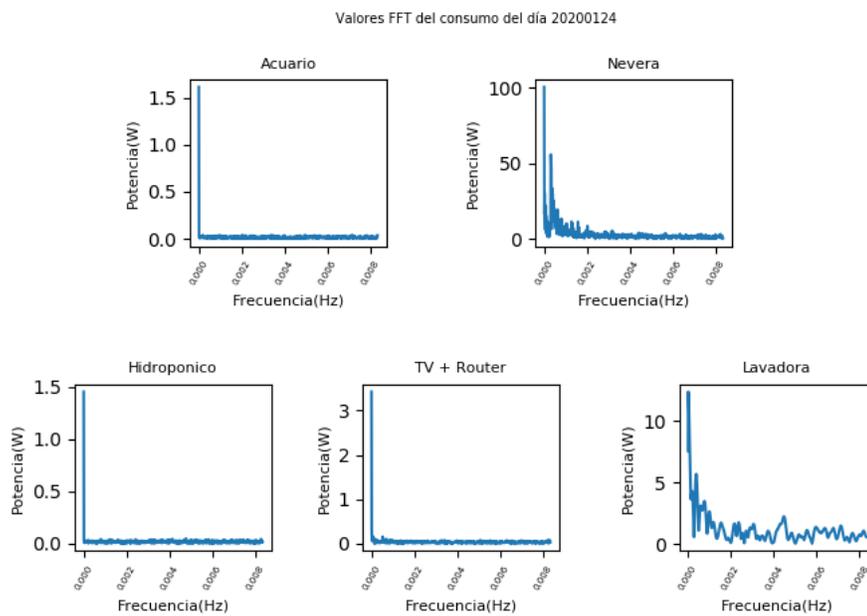


Figura J-18: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/24. Hogar 2.

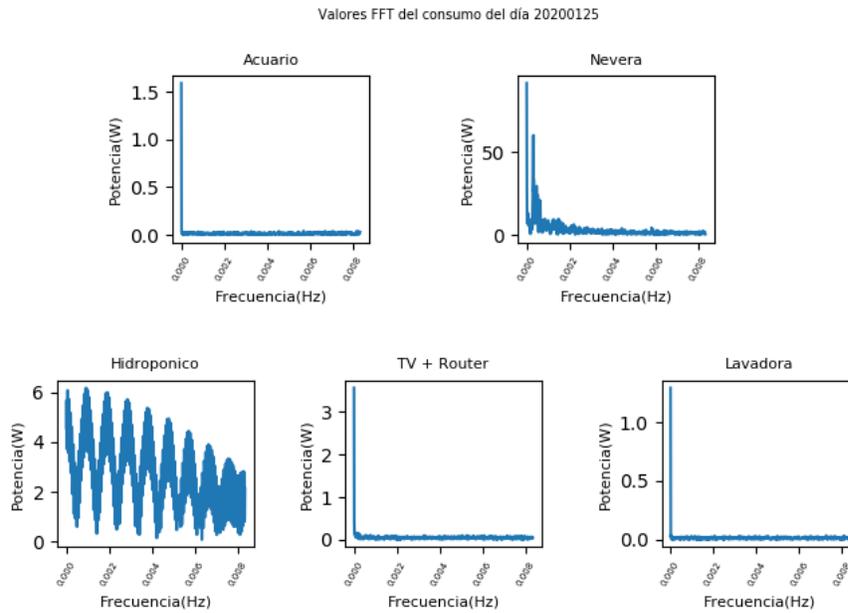


Figura J-19: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/25. Hogar 2.

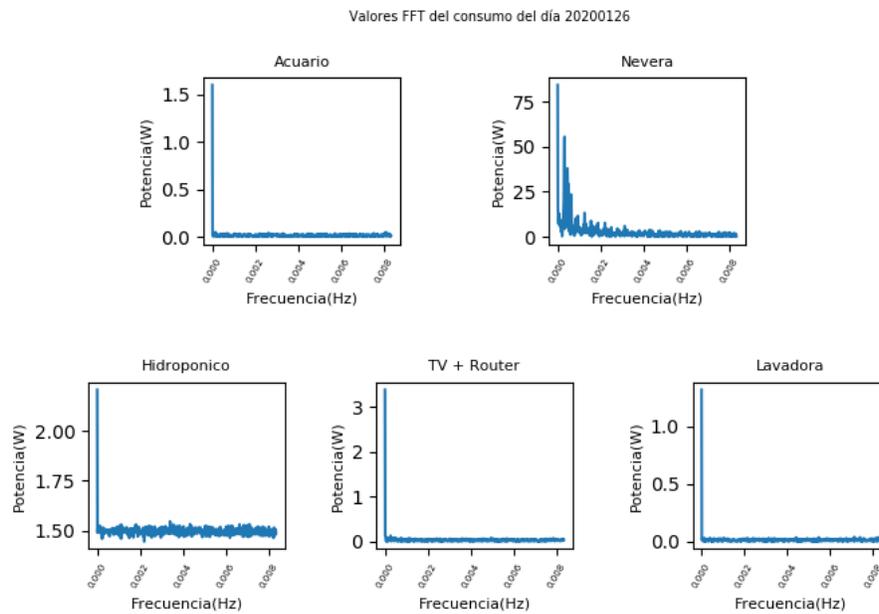


Figura J-20: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/26. Hogar 2.

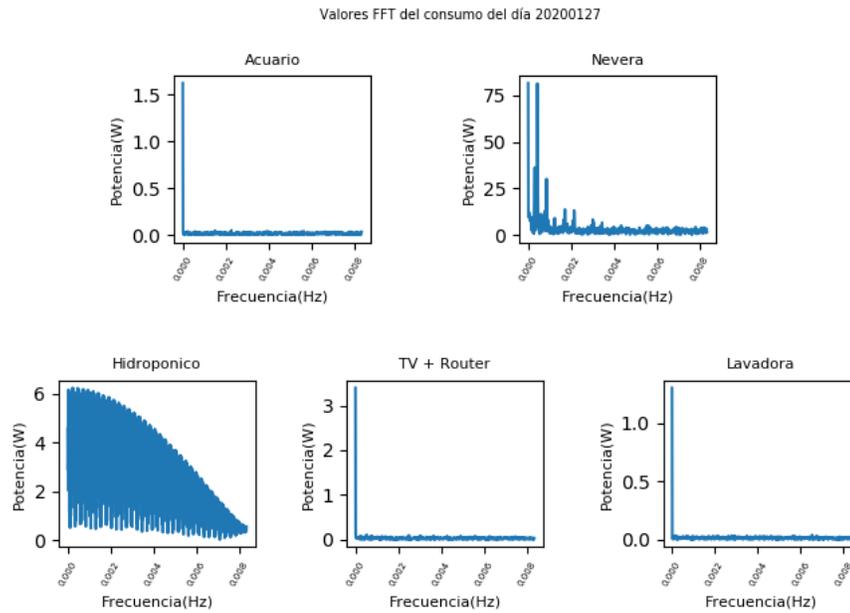


Figura J-21: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/27. Hogar 2.

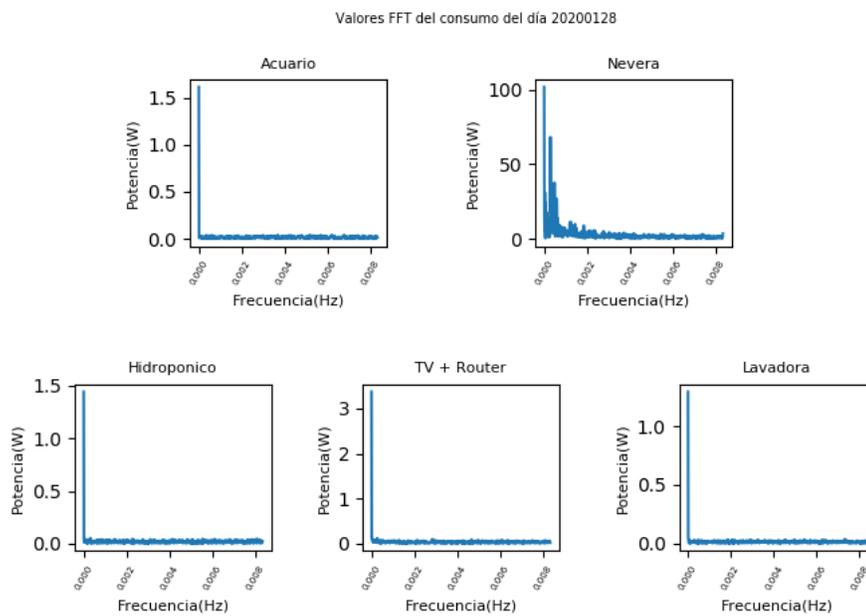


Figura J-22: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/28. Hogar 2.

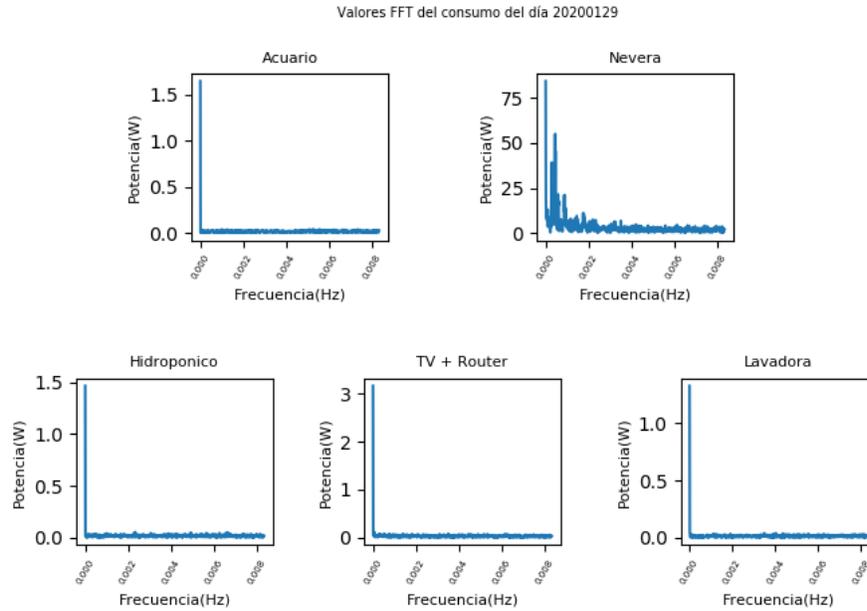


Figura J-23: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/29. Hogar 2.

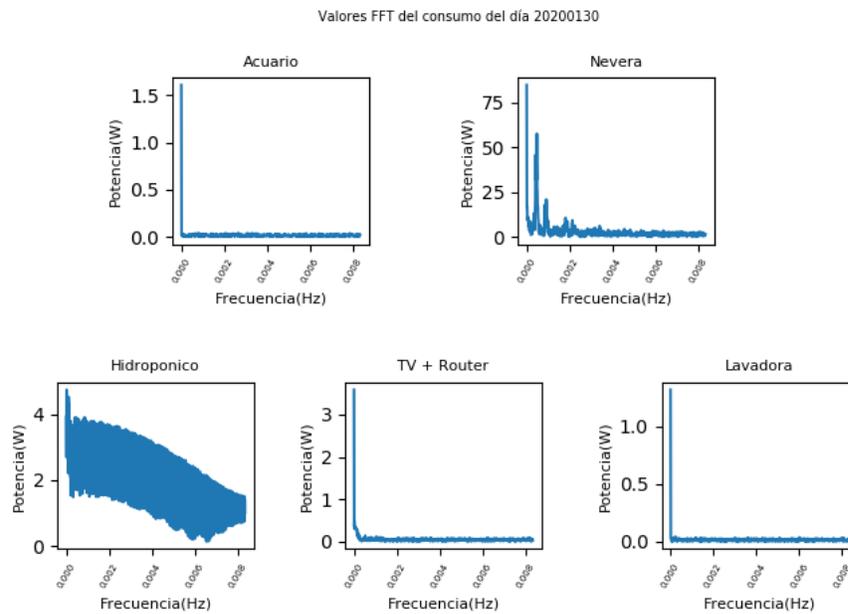


Figura J-24: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/30. Hogar 2.

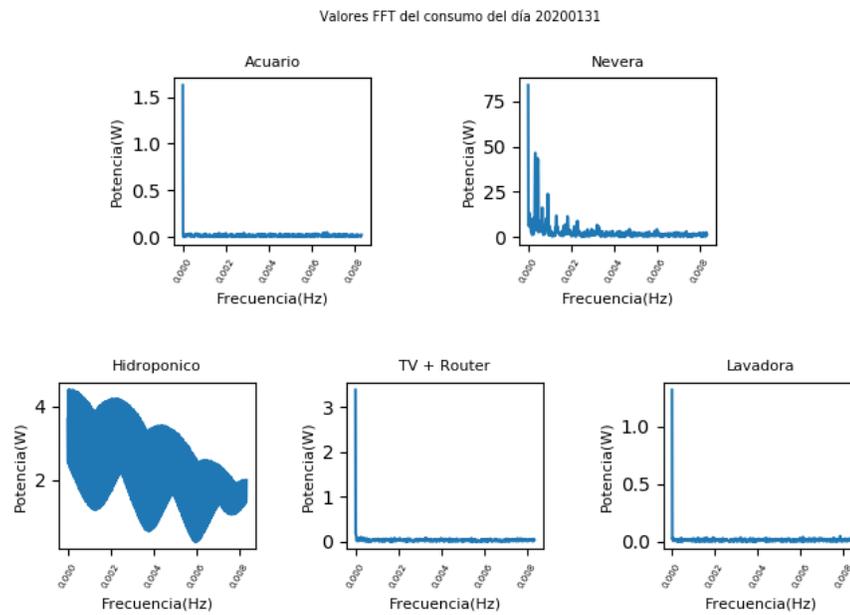


Figura J-25: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/01/31. Hogar 2.

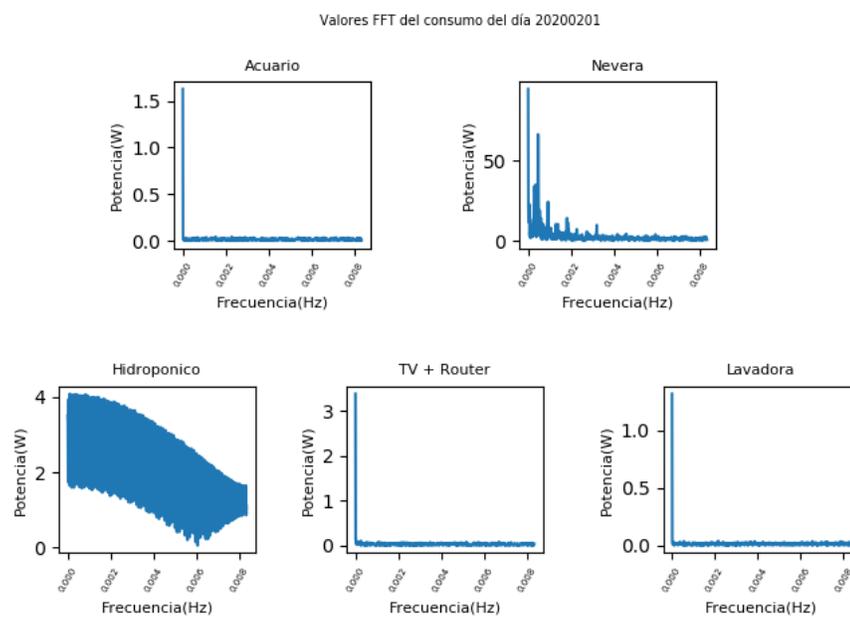


Figura J-26: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/01. Hogar 2.

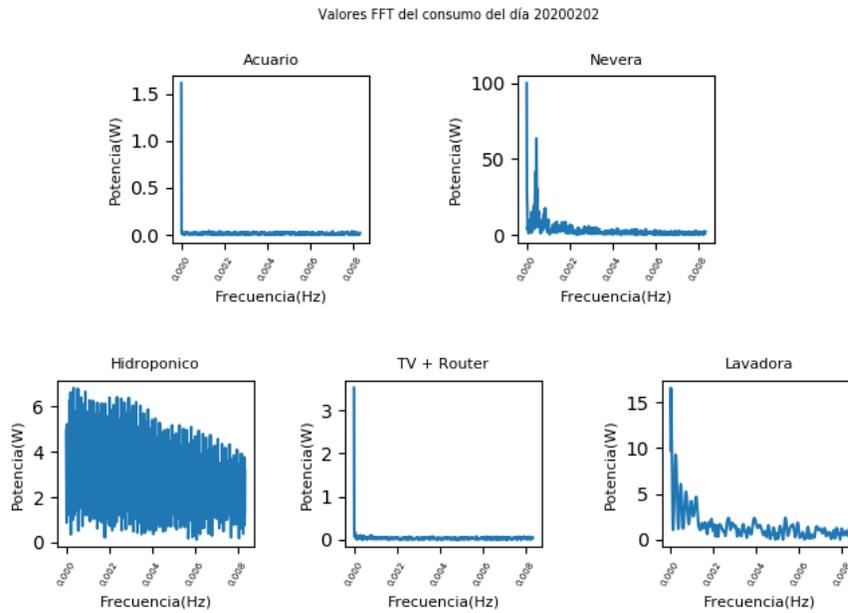


Figura J-27: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/02. Hogar 2.

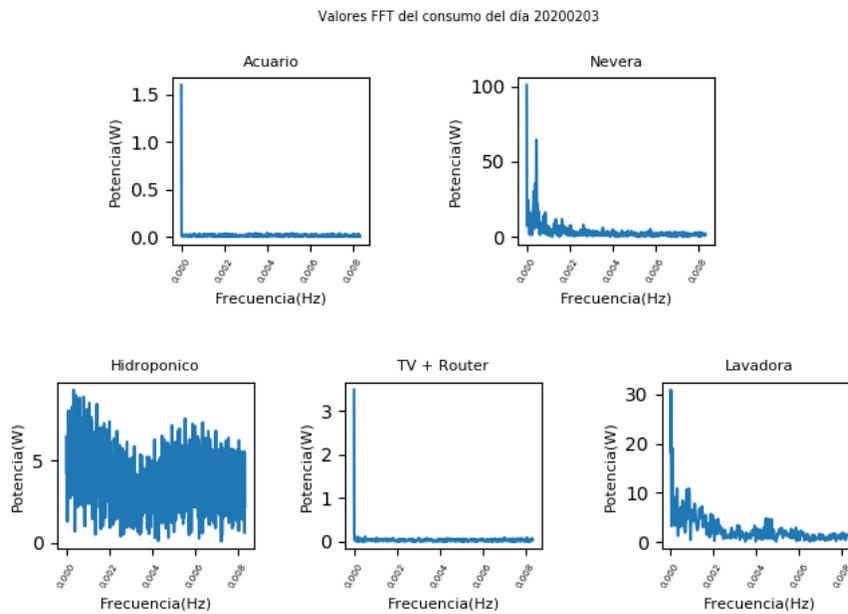


Figura J-28: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/03. Hogar 2.

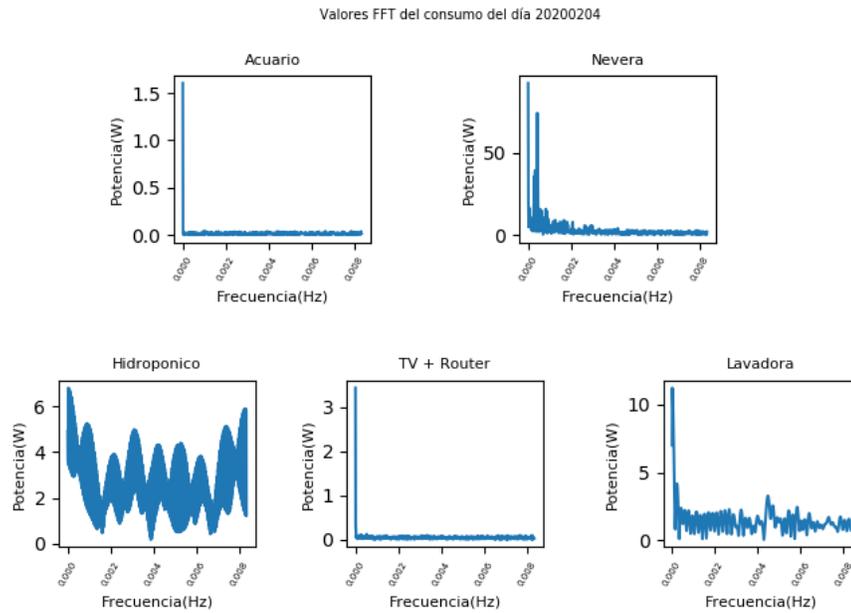


Figura J-29: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/04. Hogar 2.

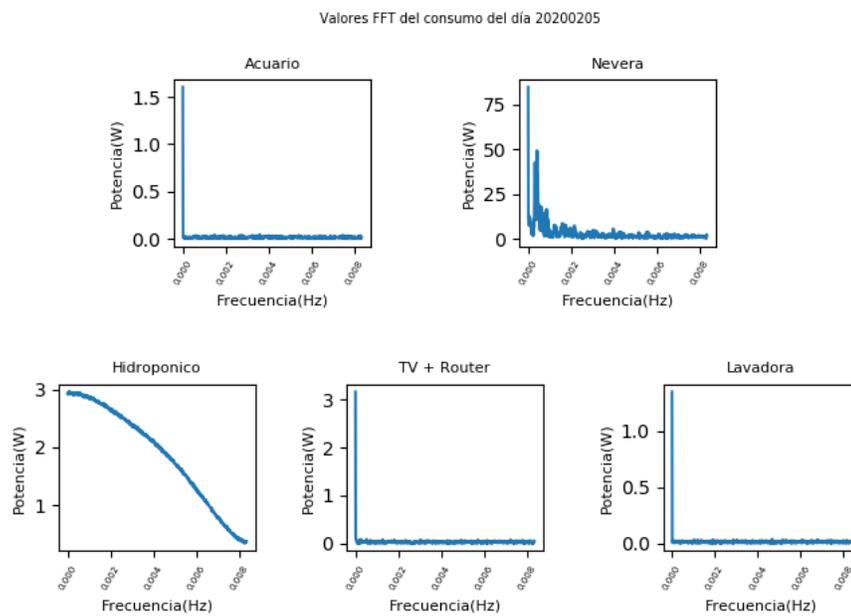


Figura J-30: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/05. Hogar 2.

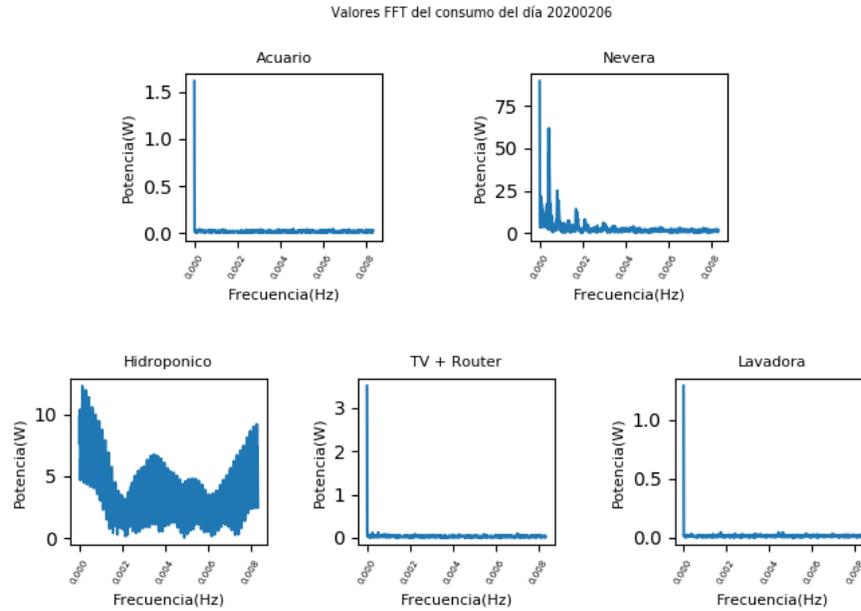


Figura J-31: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/06. Hogar 2.

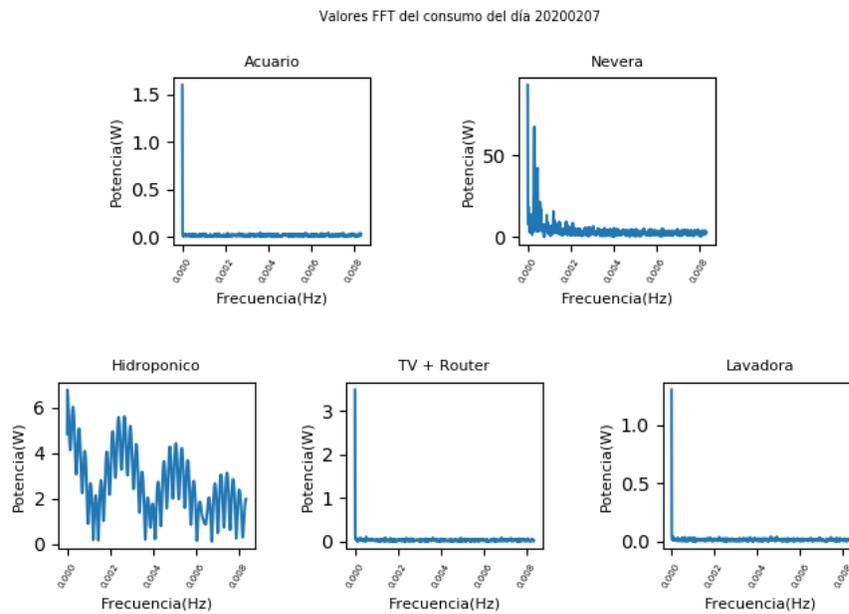


Figura J-32: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/07. Hogar 2.

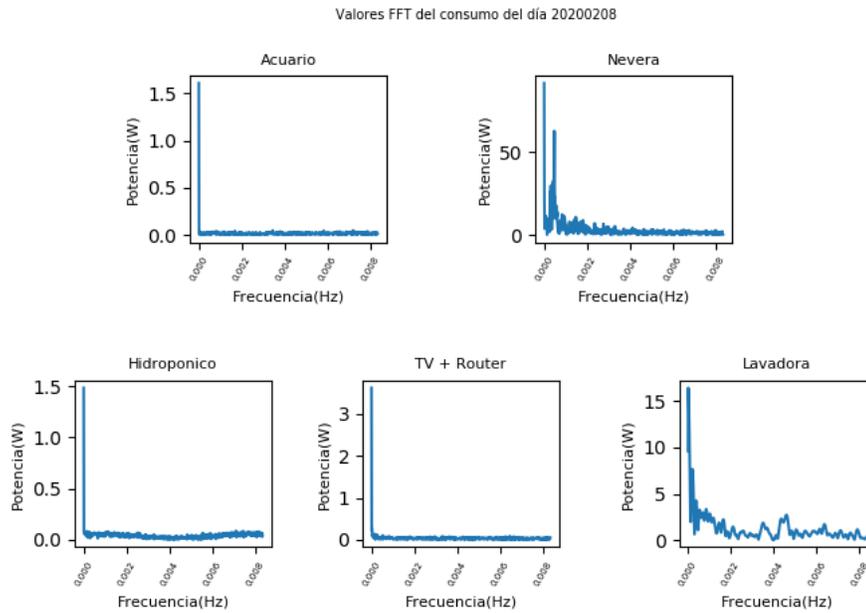


Figura J-33: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/08. Hogar 2.

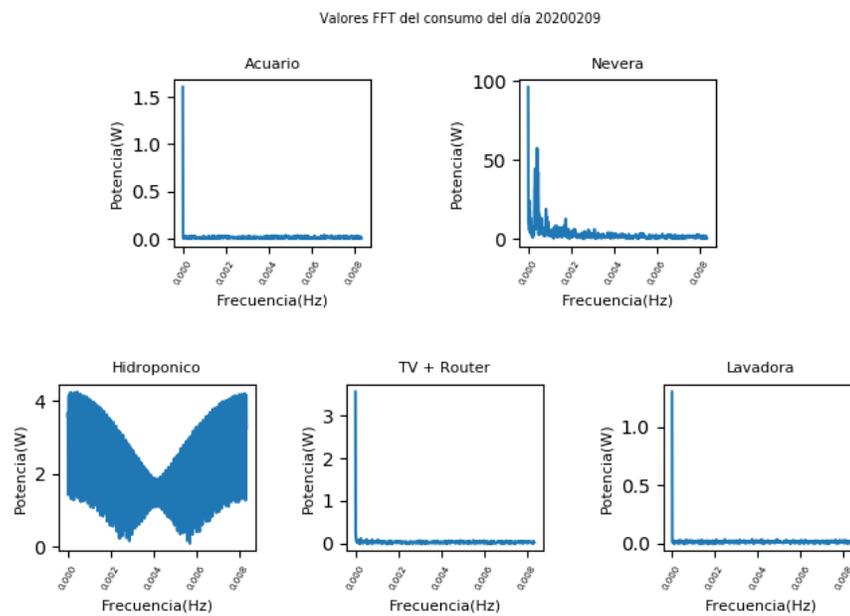


Figura J-34: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/09. Hogar 2.

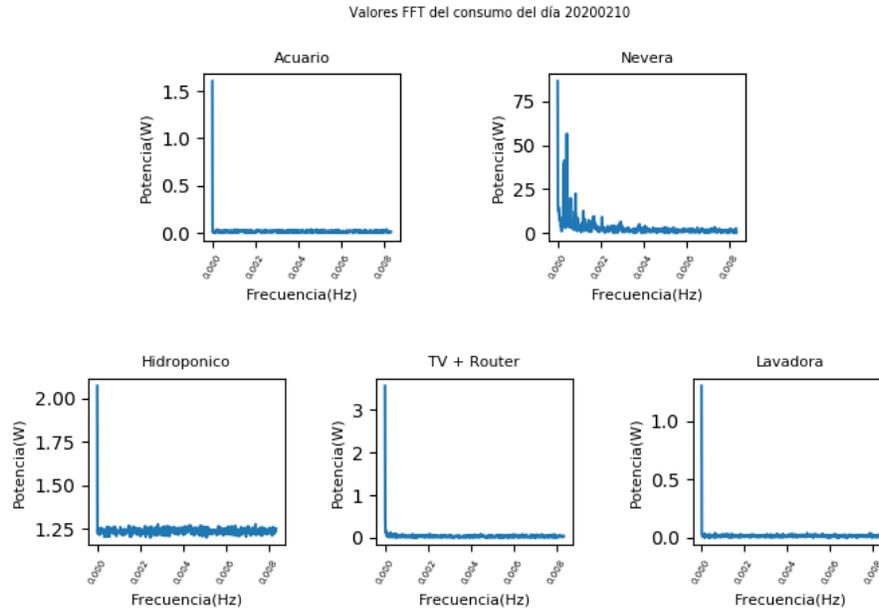


Figura J-35: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/10. Hogar 2.

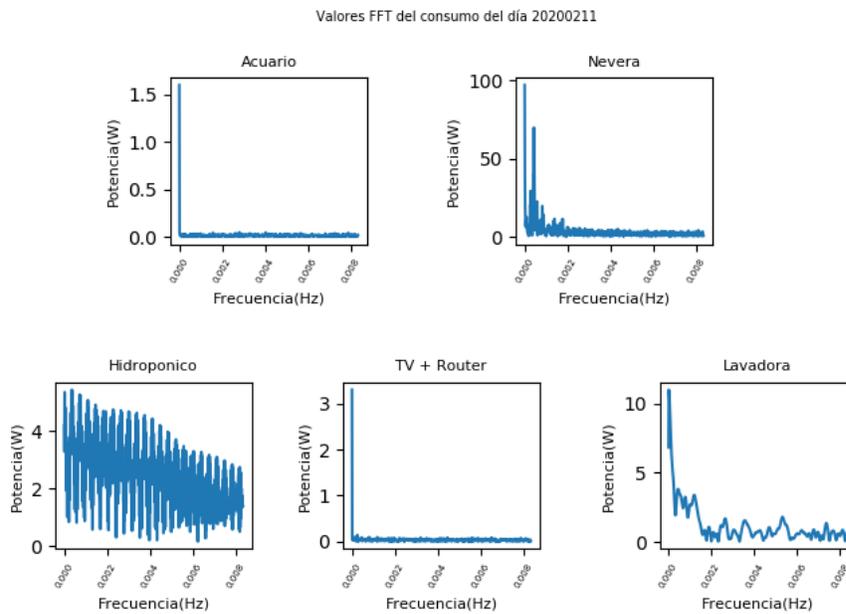


Figura J-36: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/11. Hogar 2.

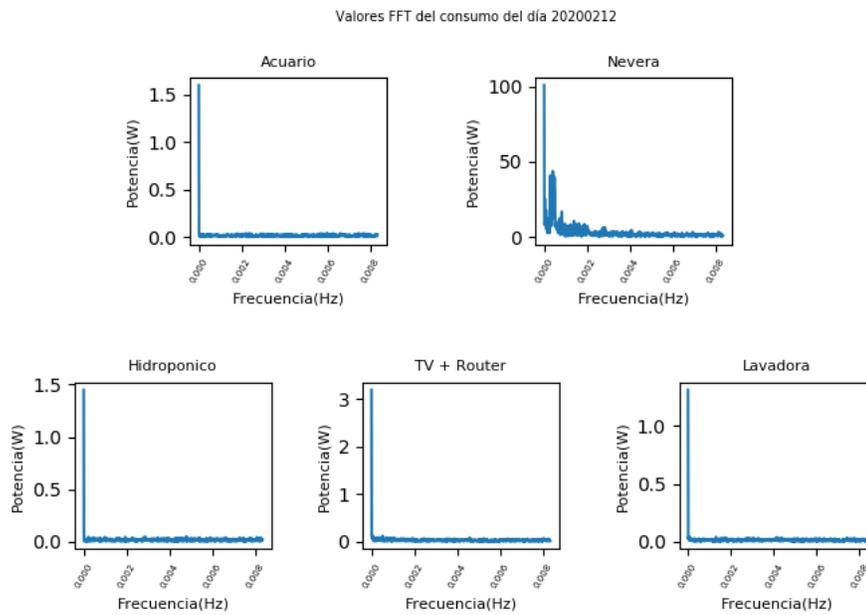


Figura J-37: Respuesta en frecuencia del consumo de energía en el día 2020/02/12. Hogar 2.

K. Anexo: Gráficas de la segmentación de consumo por franjas horarias en cada día y en los dos hogares

En este anexo se encuentran las gráficas que segmentan en cada día, el consumo realizado en los horarios presentados en la tabla 4-4

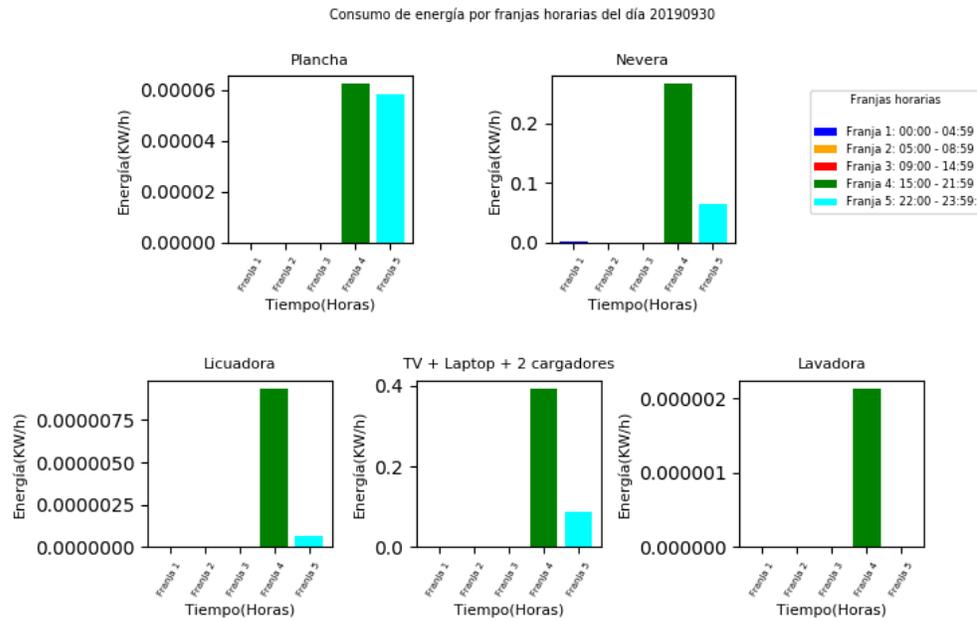


Figura K-1: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/09/30. Hogar 1

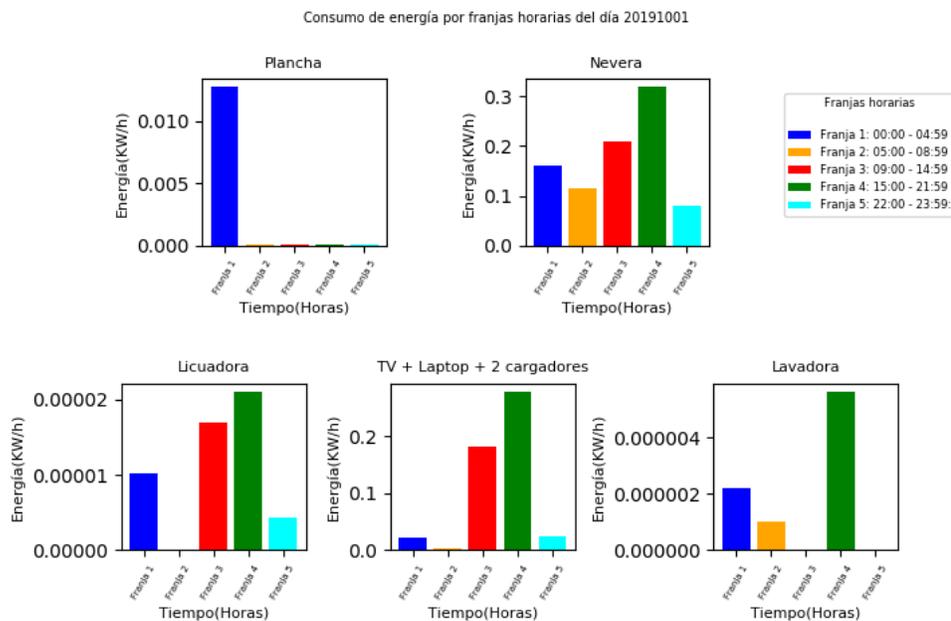


Figura K-2: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/01. Hogar 1

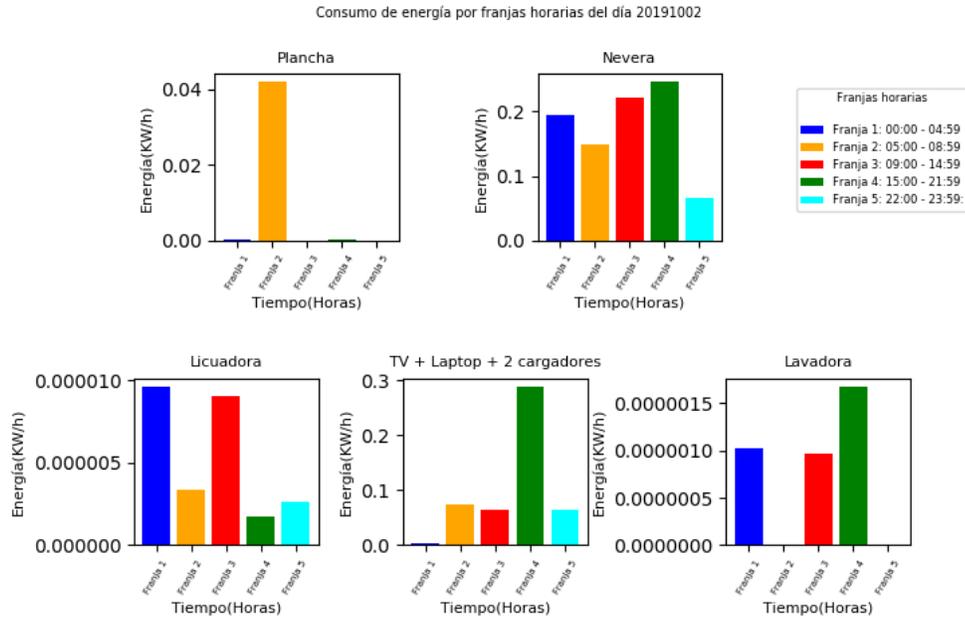


Figura K-3: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/02. Hogar 1

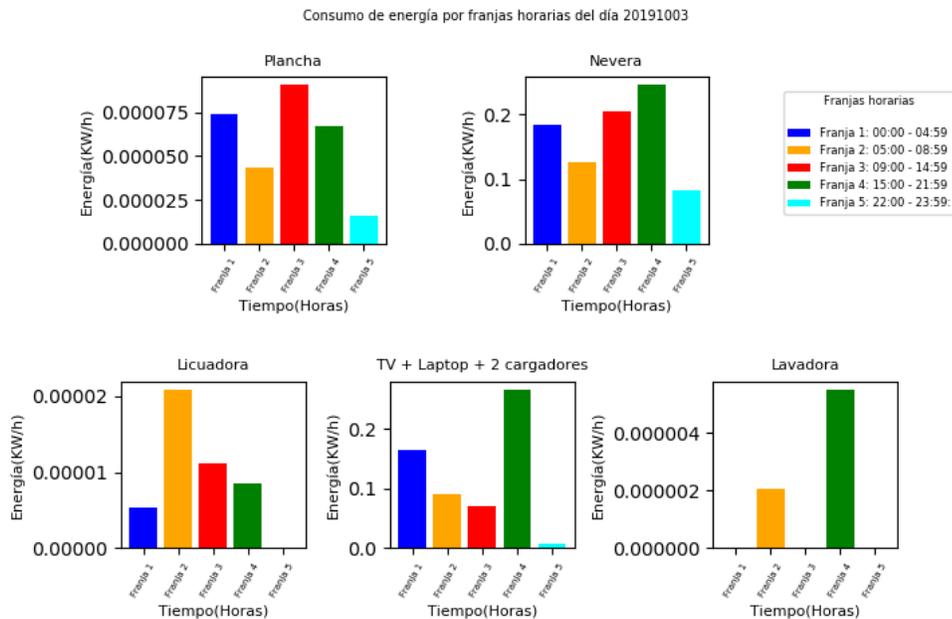


Figura K-4: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/03. Hogar 1

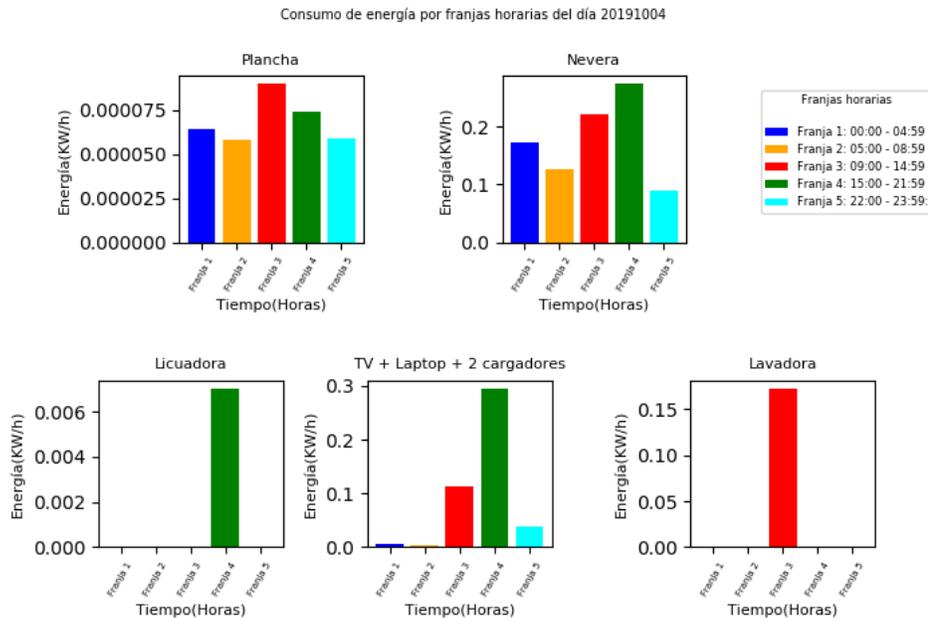


Figura K-5: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/04. Hogar 1

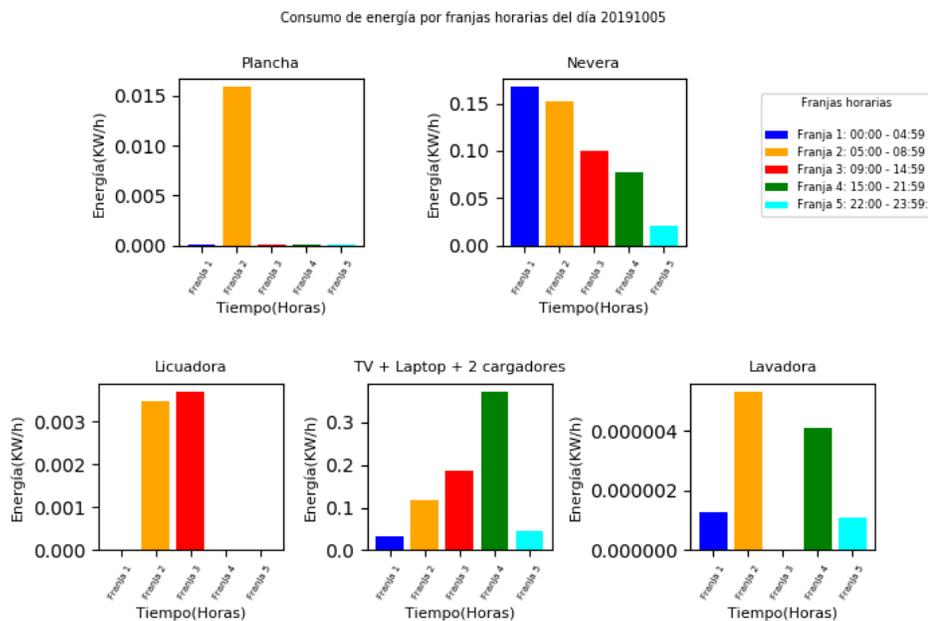


Figura K-6: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/05. Hogar 1

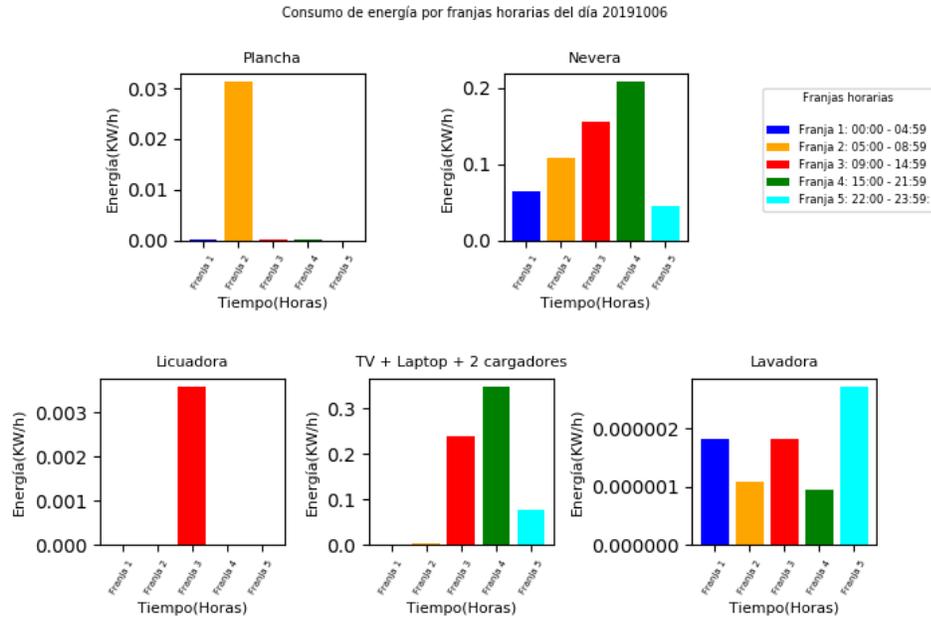


Figura K-7: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/06. Hogar 1

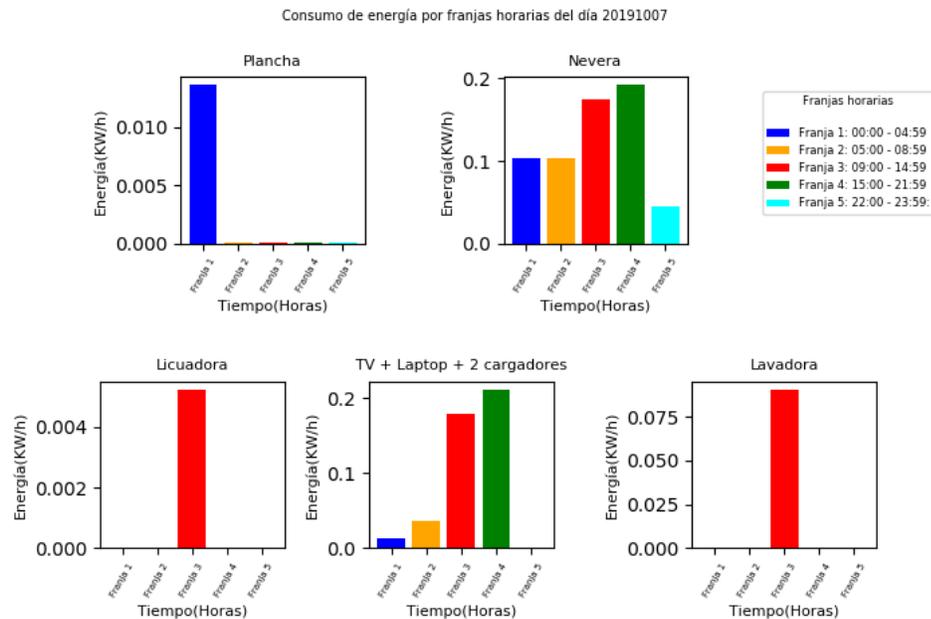


Figura K-8: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/07. Hogar 1

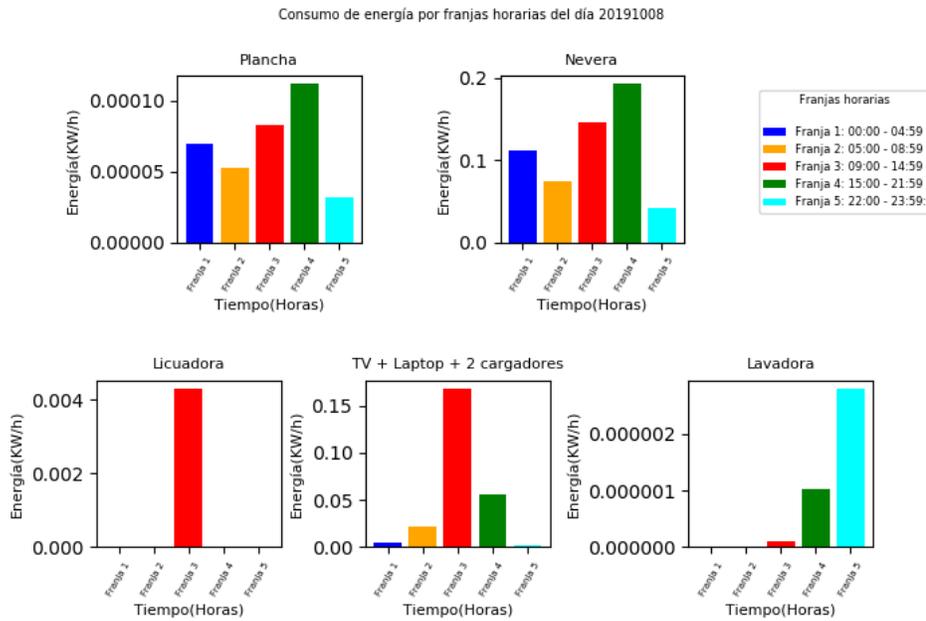


Figura K-9: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/08. Hogar 1

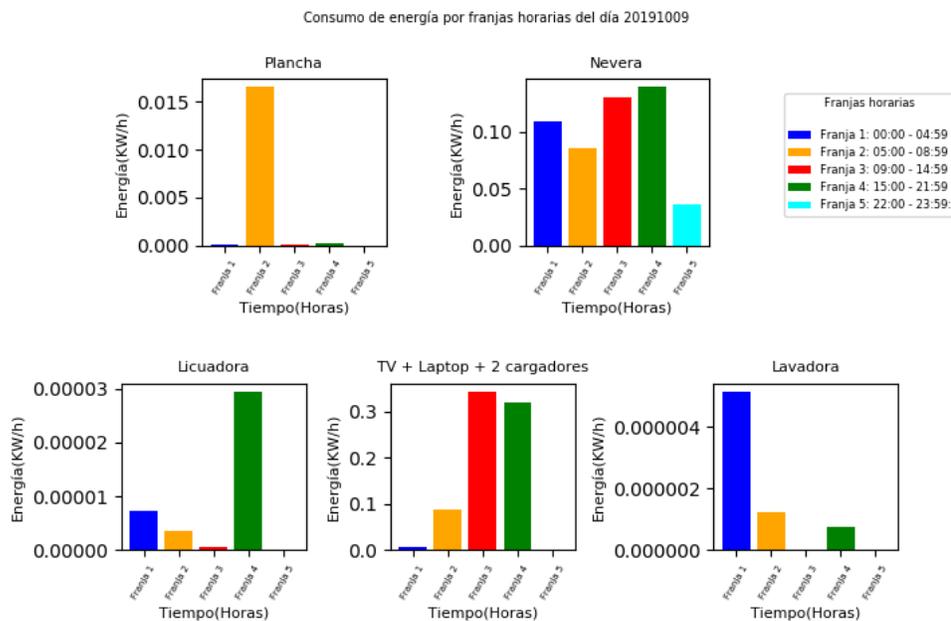


Figura K-10: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/09. Hogar 1

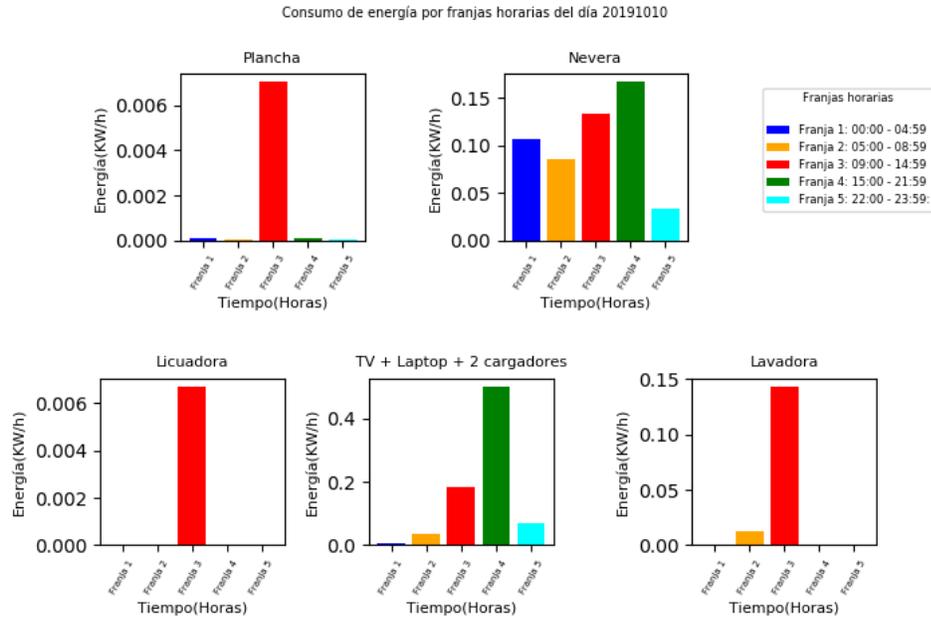


Figura K-11: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/10. Hogar 1

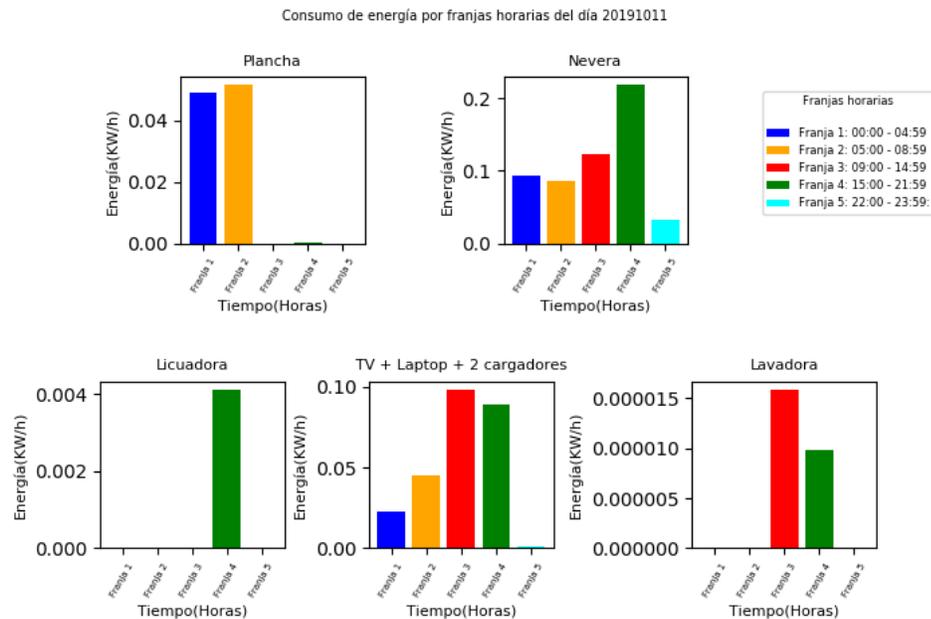


Figura K-12: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/11. Hogar 1

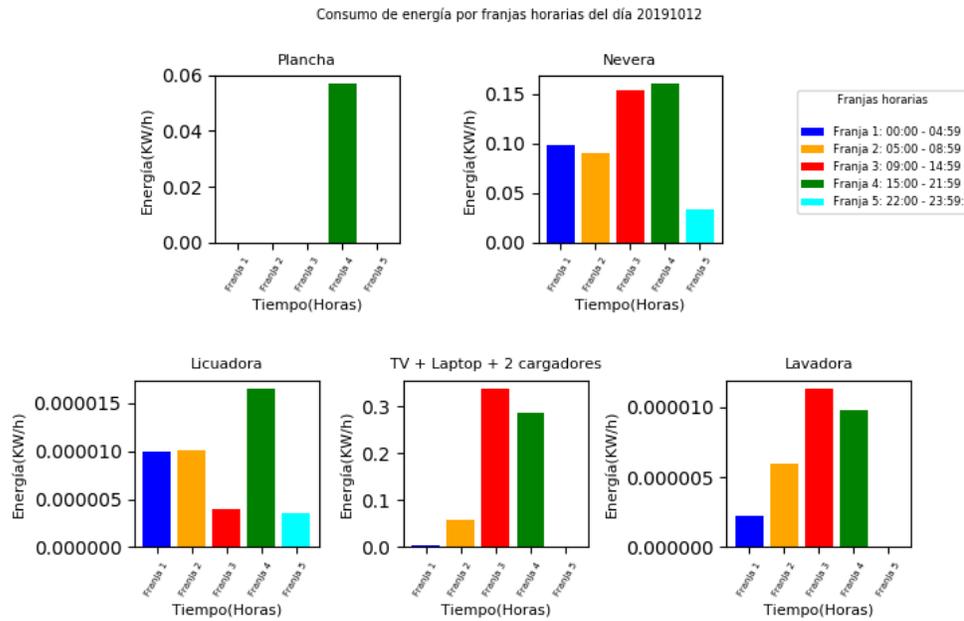


Figura K-13: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/12. Hogar 1

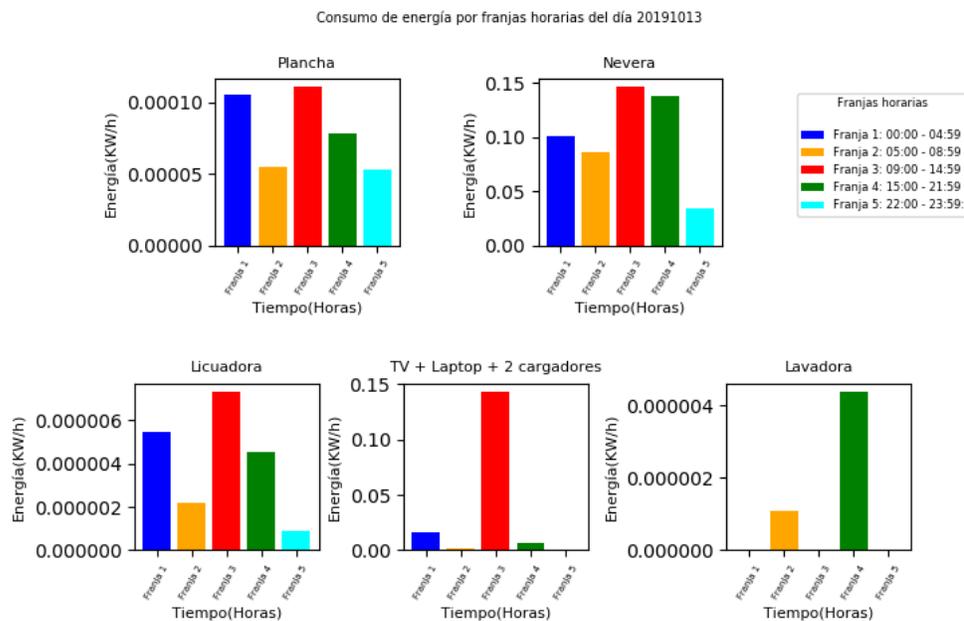


Figura K-14: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2019/10/13. Hogar 1

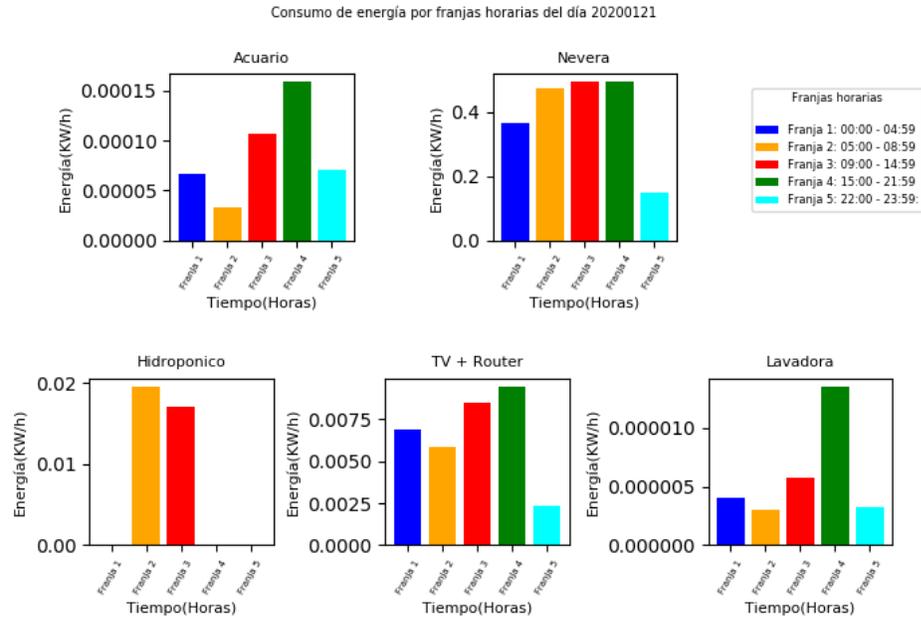


Figura K-15: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/21. Hogar 2.

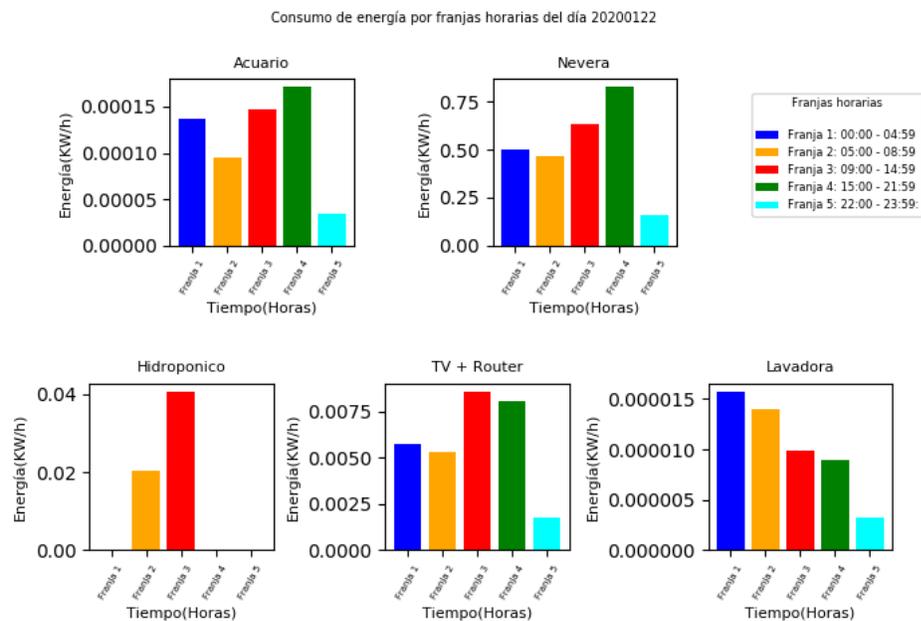


Figura K-16: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/22. Hogar 2.

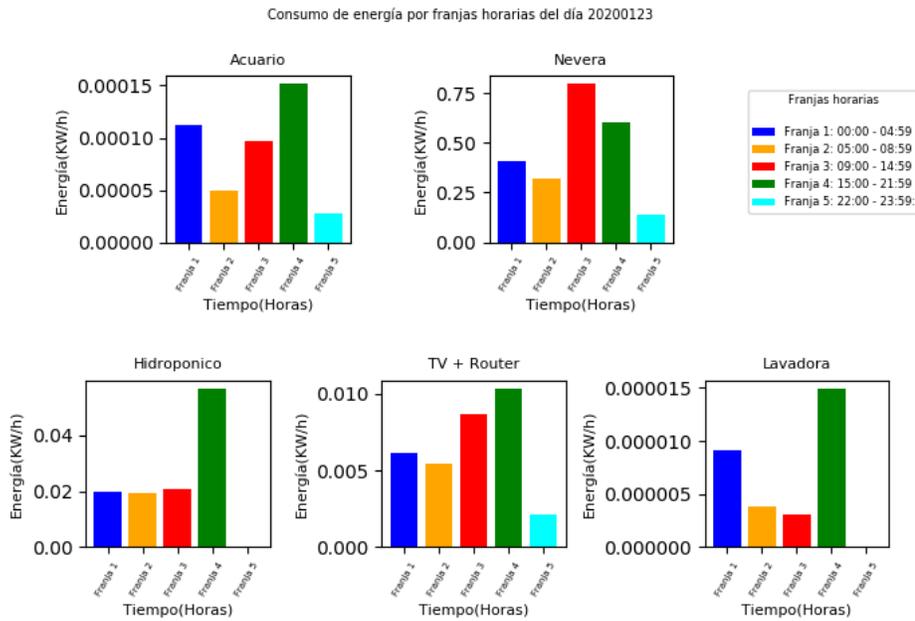


Figura K-17: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/23. Hogar 2.

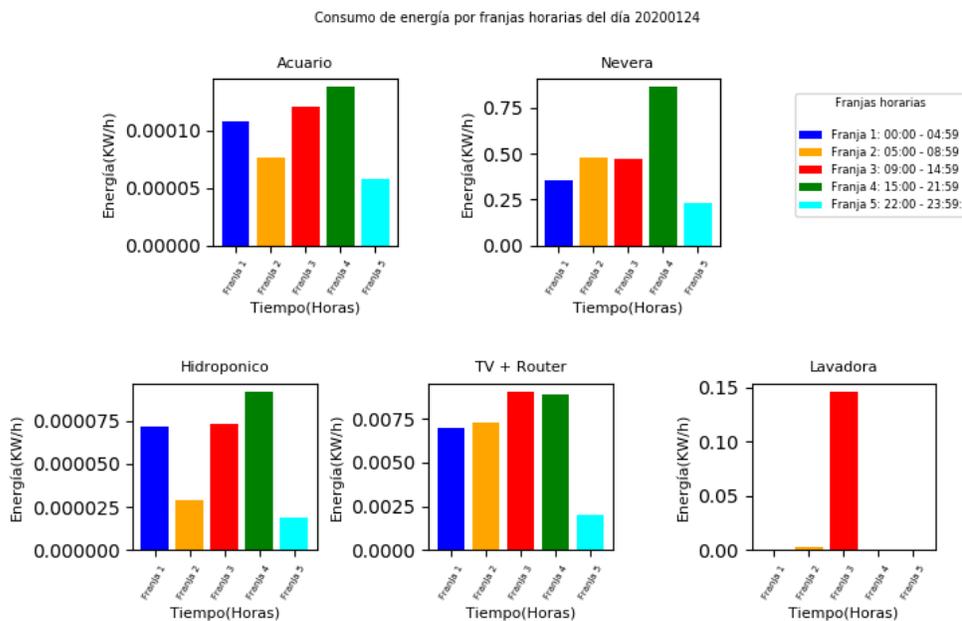


Figura K-18: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/24. Hogar 2.

K Anexo: Gráficas de la segmentación de consumo por franjas horarias en cada día y en los dos hogares

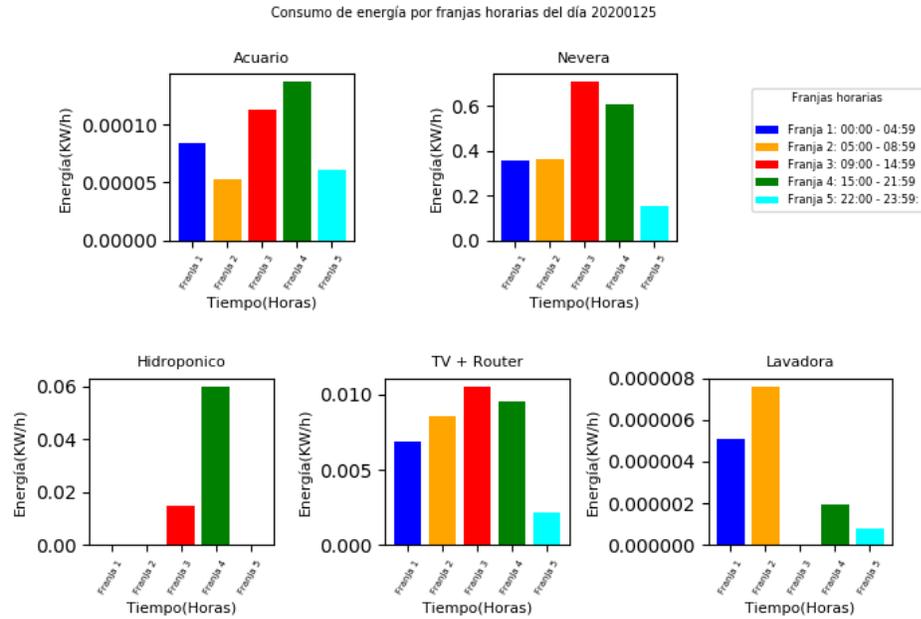


Figura K-19: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/25. Hogar 2.

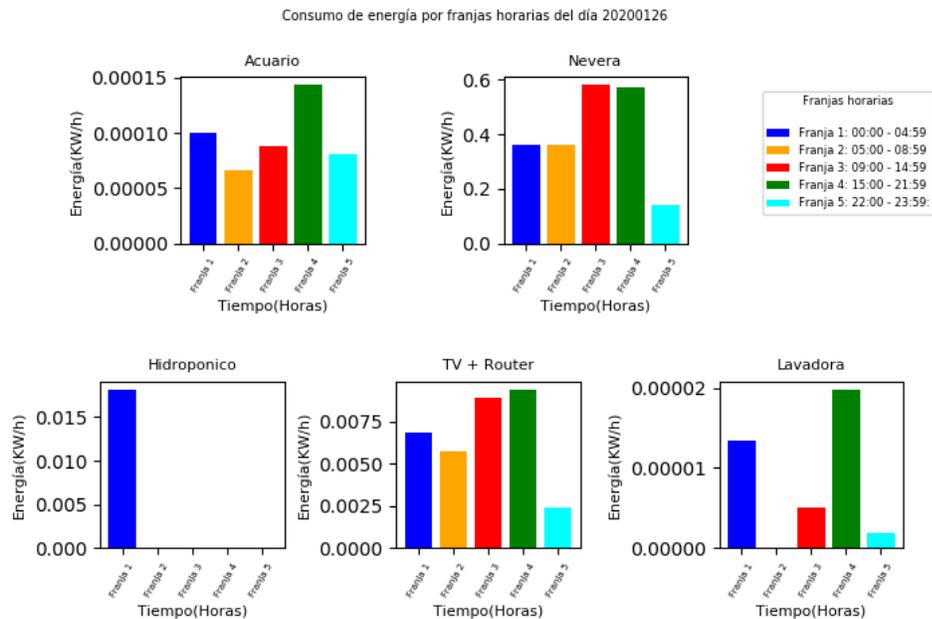


Figura K-20: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/26. Hogar 2.

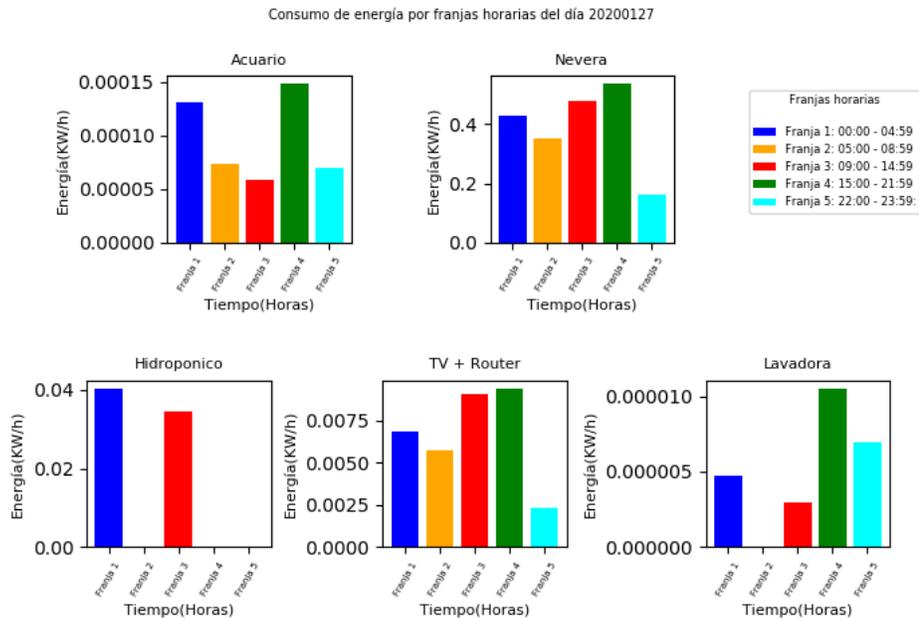


Figura K-21: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/27. Hogar 2.

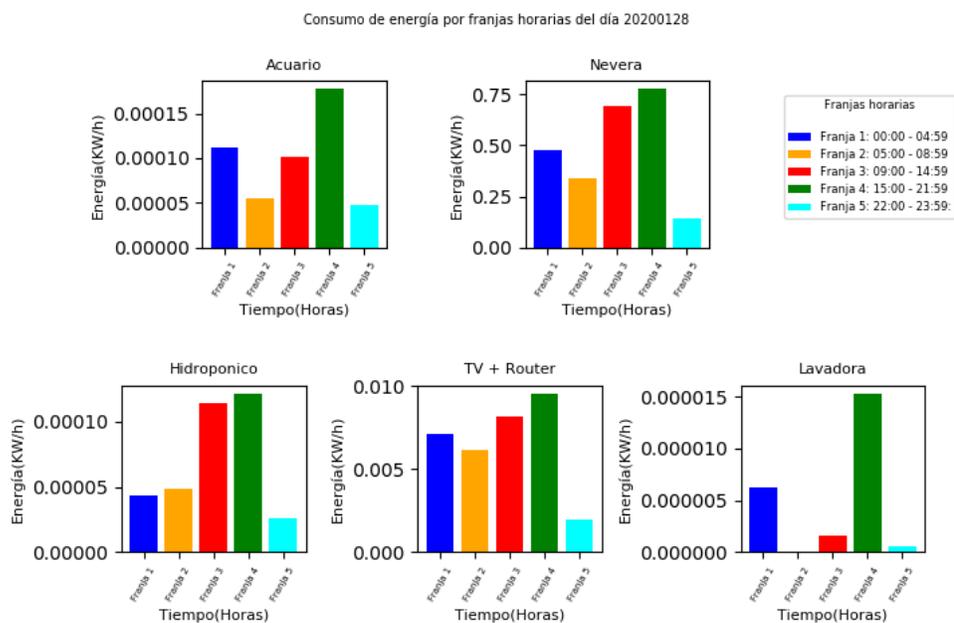


Figura K-22: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/28. Hogar 2.

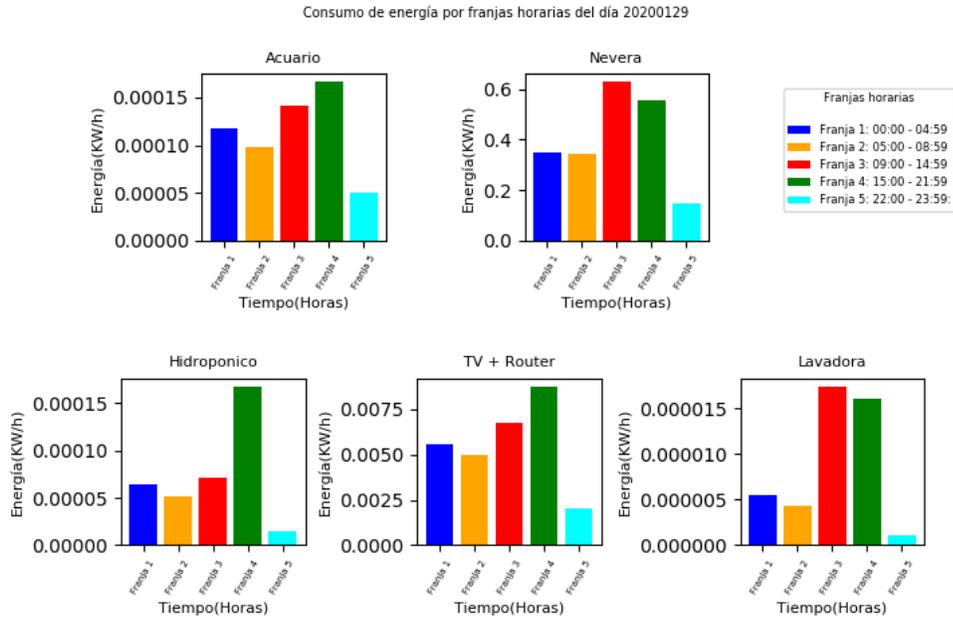


Figura K-23: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/29. Hogar 2.

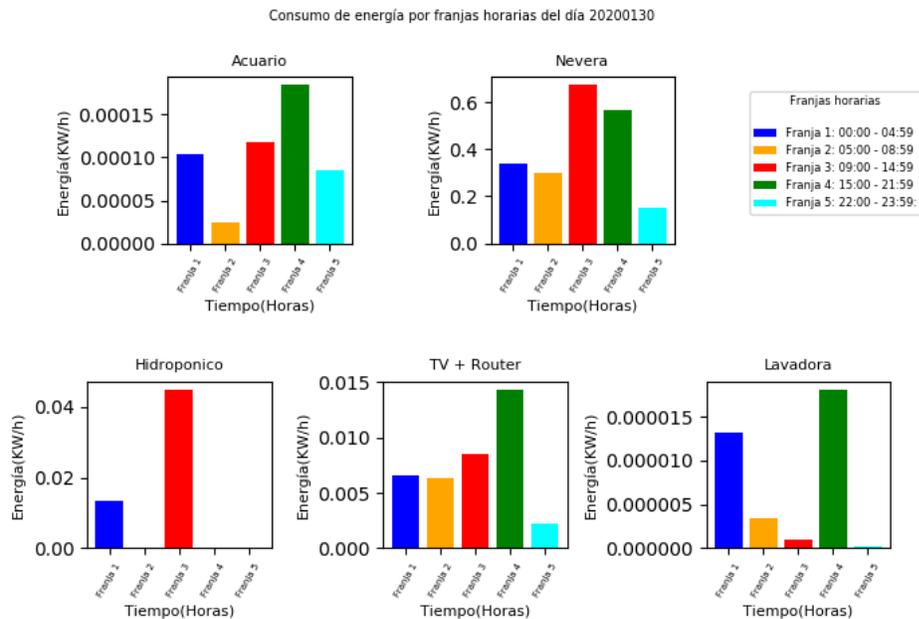


Figura K-24: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/30. Hogar 2.

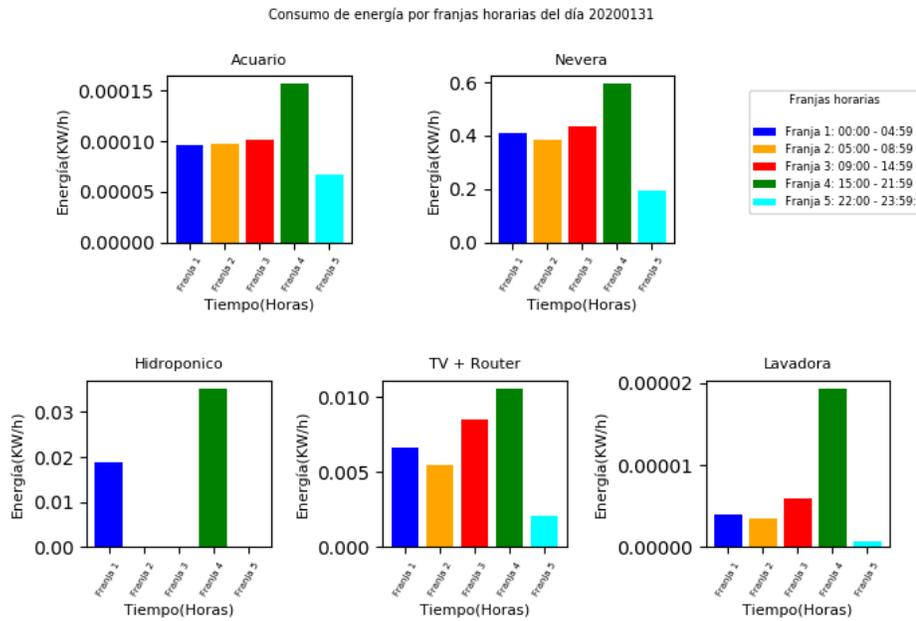


Figura K-25: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/01/31. Hogar 2.

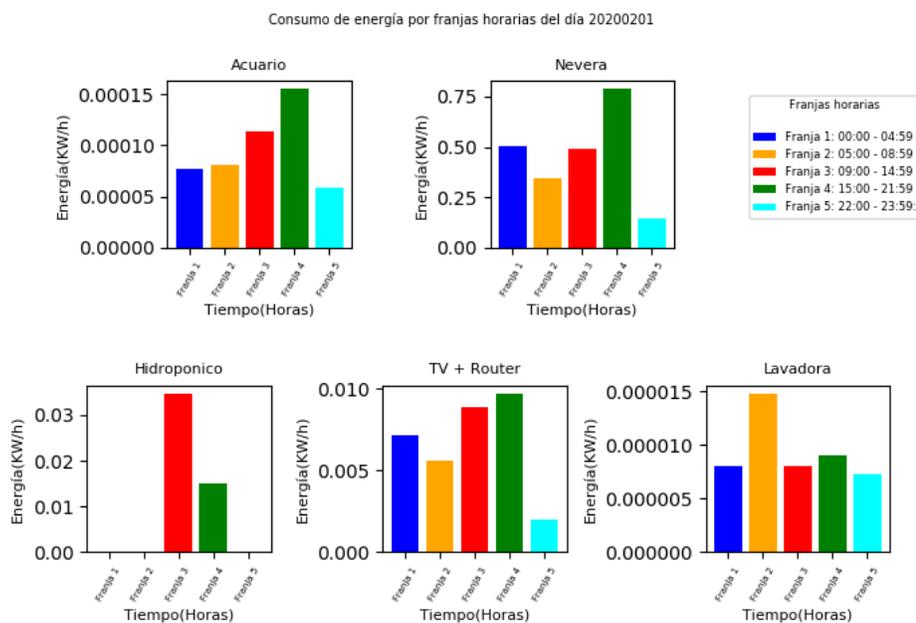


Figura K-26: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/01. Hogar 2.

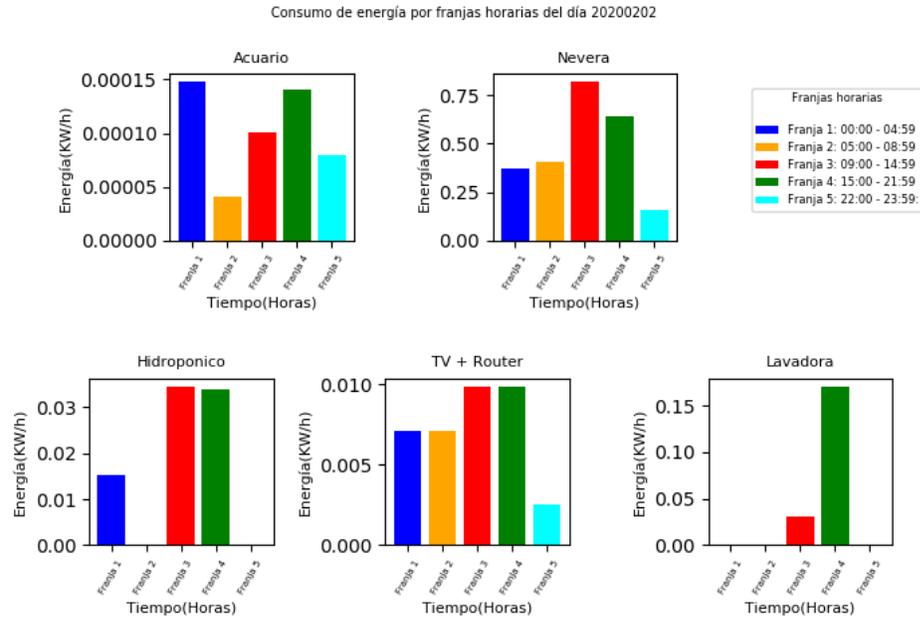


Figura K-27: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/02. Hogar 2.

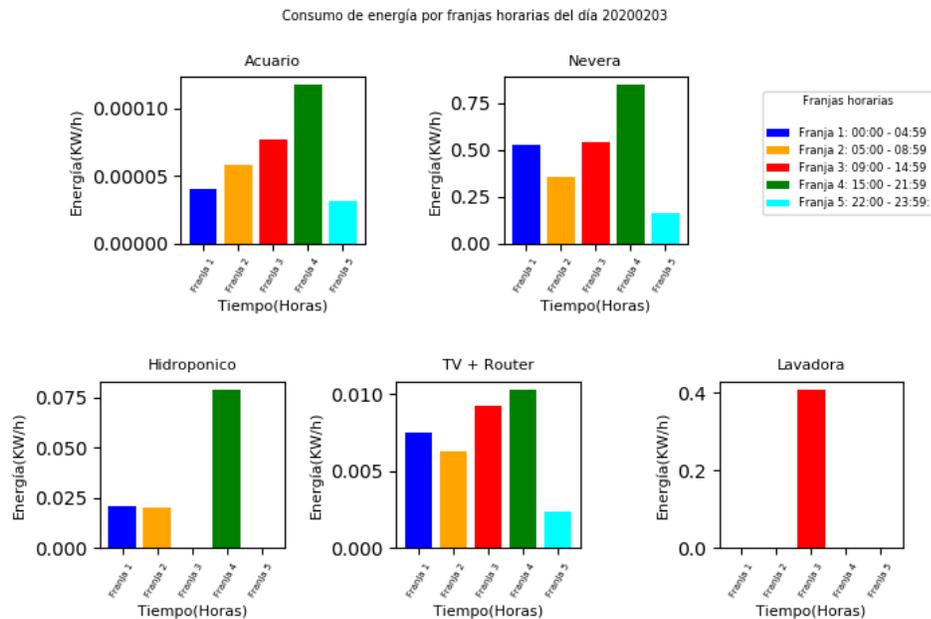


Figura K-28: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/03. Hogar 2.

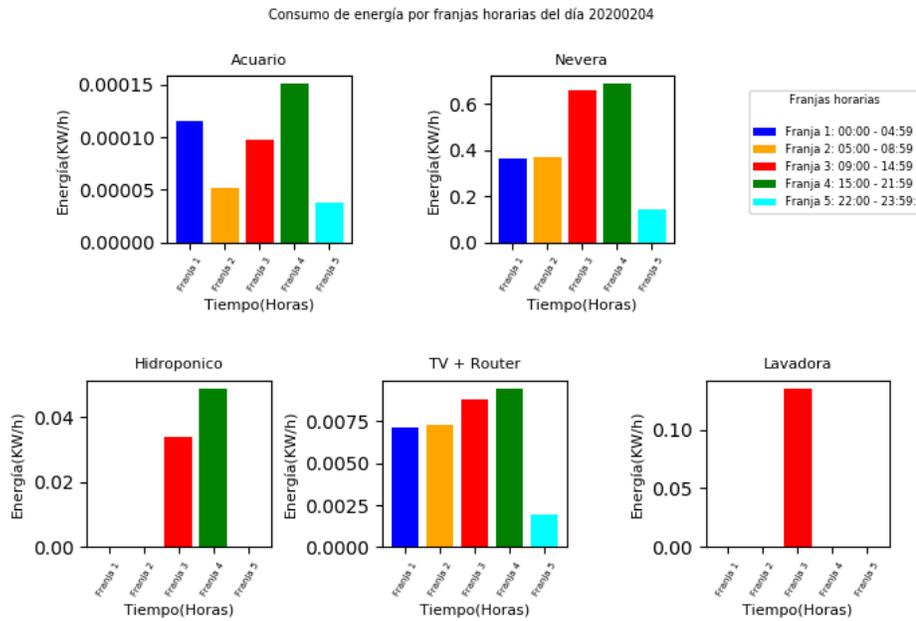


Figura K-29: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/04. Hogar 2.

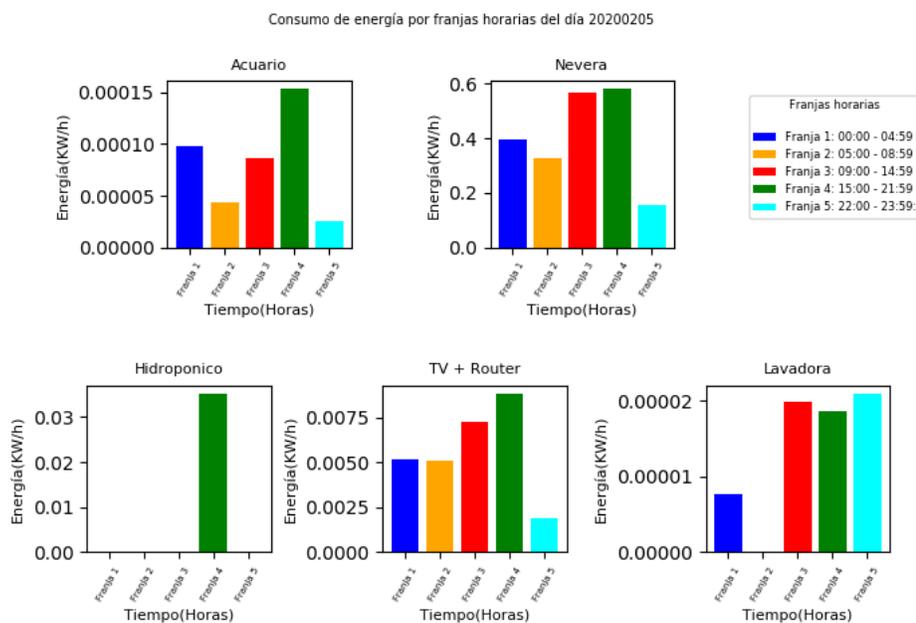


Figura K-30: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/05. Hogar 2.

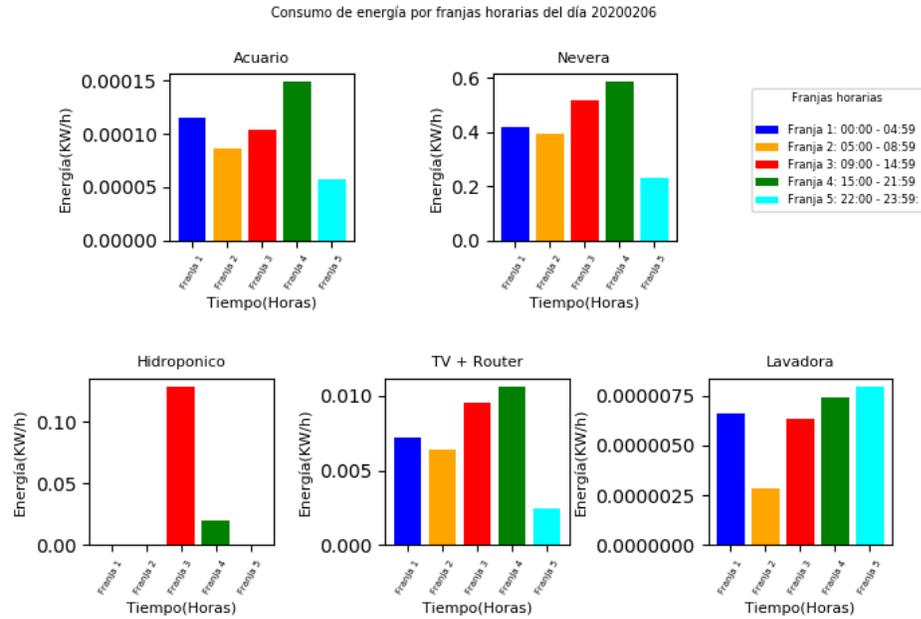


Figura K-31: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/06. Hogar 2.

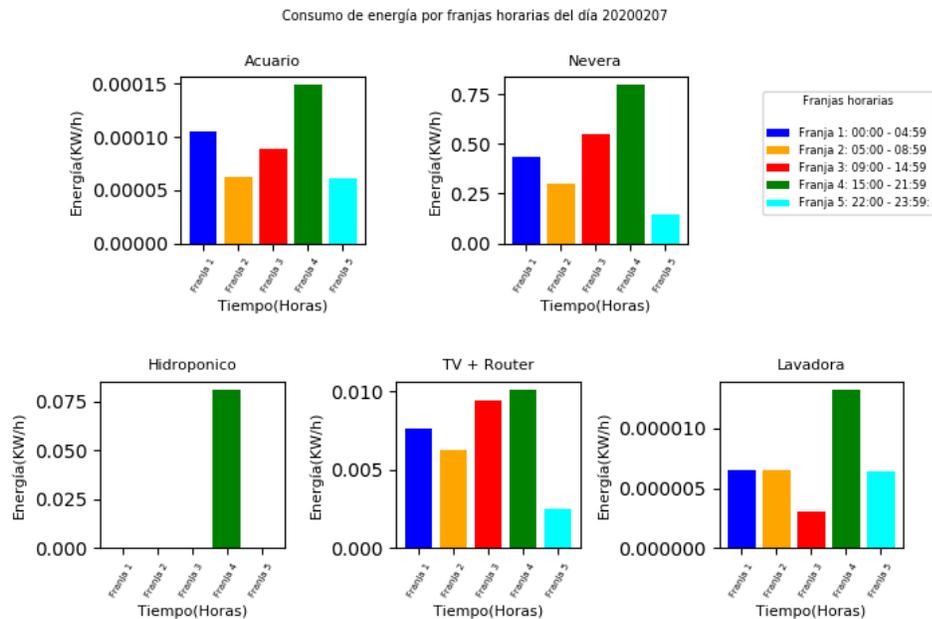


Figura K-32: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/07. Hogar 2.

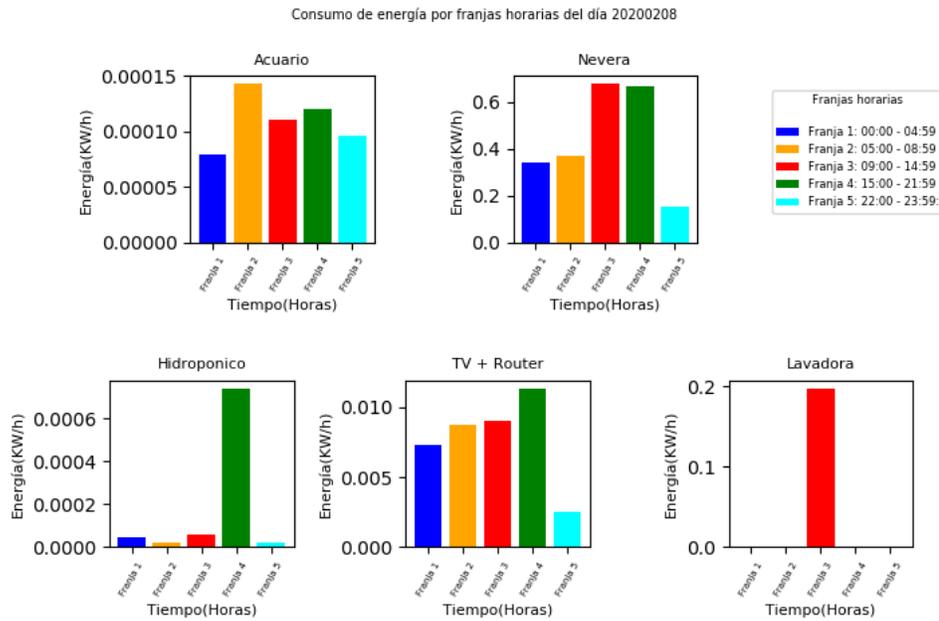


Figura K-33: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/08. Hogar 2.

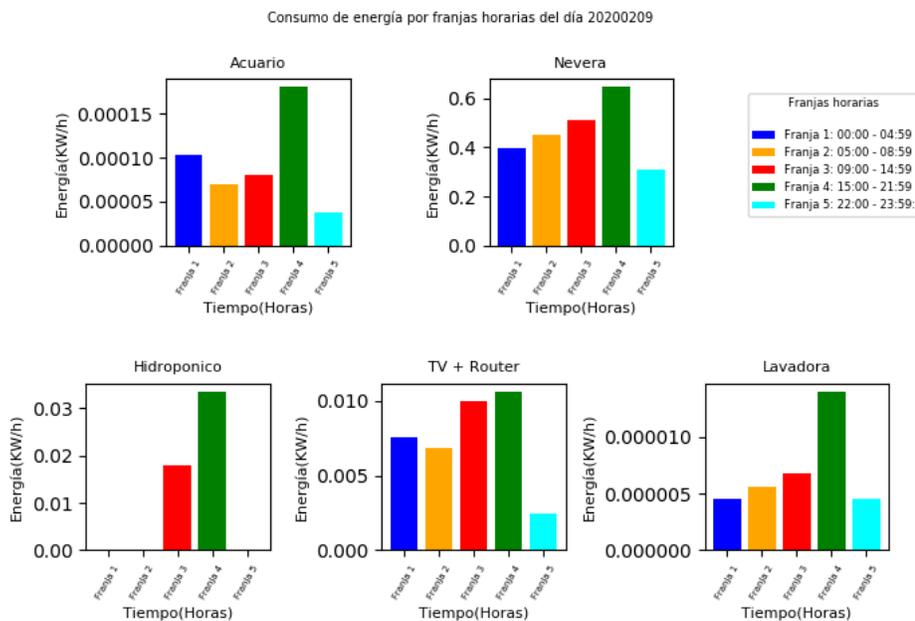


Figura K-34: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/09. Hogar 2.

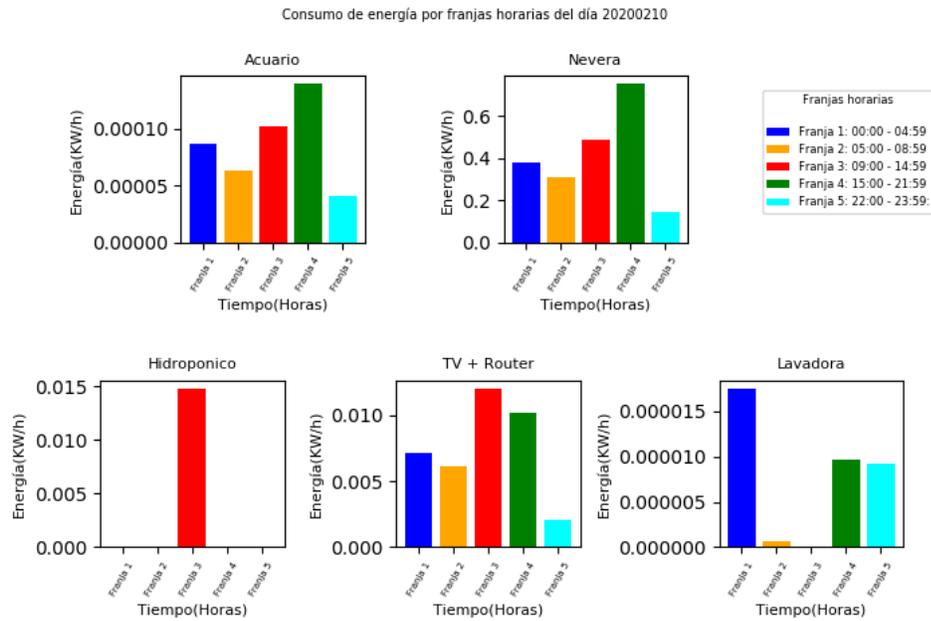


Figura K-35: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/10. Hogar 2.

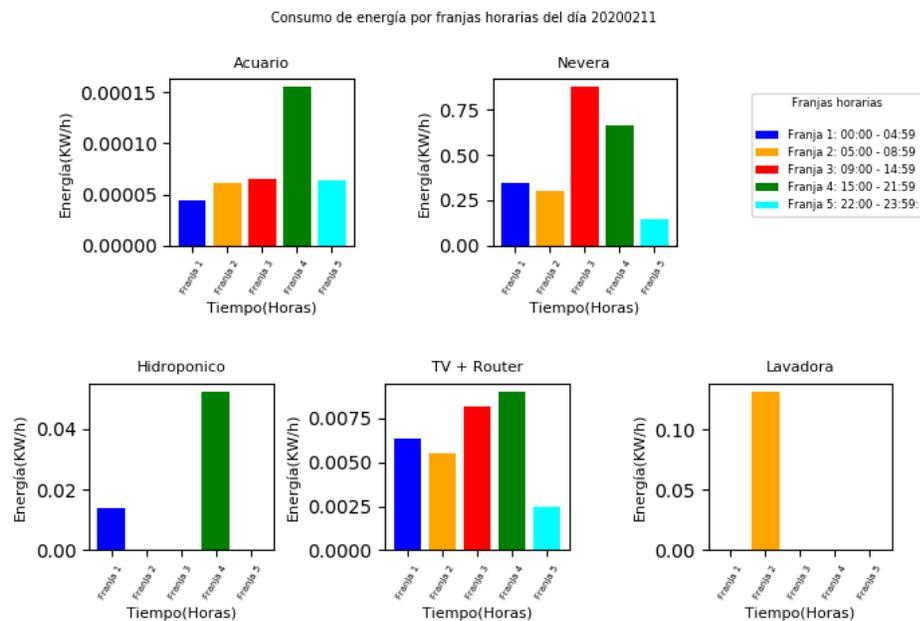


Figura K-36: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/11. Hogar 2.

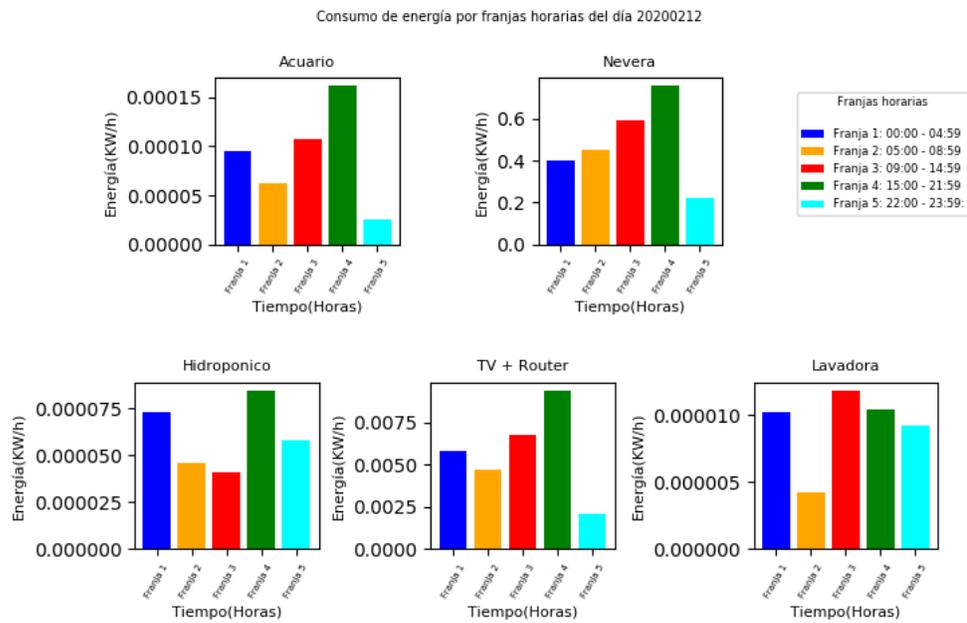


Figura K-37: Segmentación de consumo de energía por franjas horarias en el día 2020/02/12. Hogar 2.

L. Anexo: Gráficas de correlación entre datos promedio de cada día de la semana frente a los datos de todo el periodo de monitoreo en los dos hogares

Encontrara en este anexo, las gráficas de correlación entre los datos promedio de cada día de la semana y los datos de todo el periodo monitoreado. se presenta la correlación para cada carga y se hace el análisis para los dos hogares.

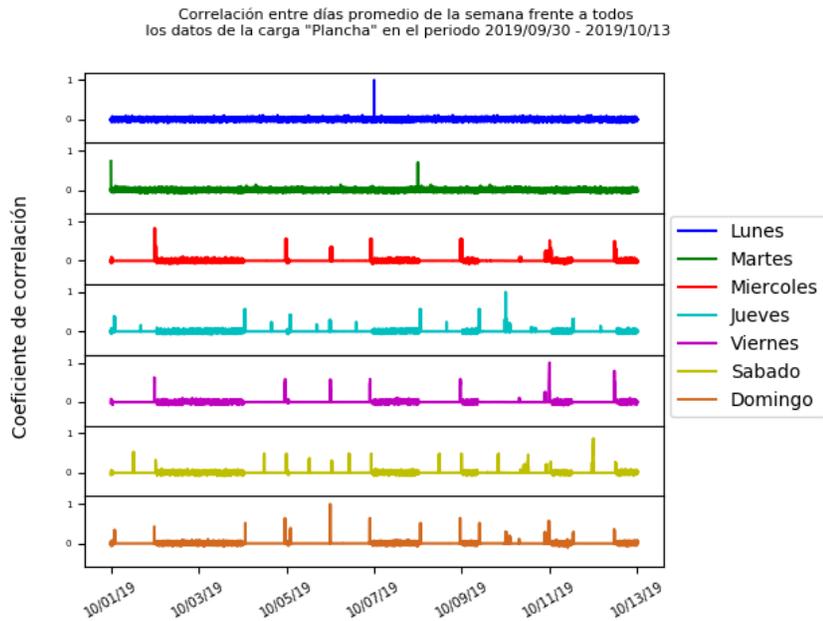


Figura L-1: Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Plancha". Hogar 1

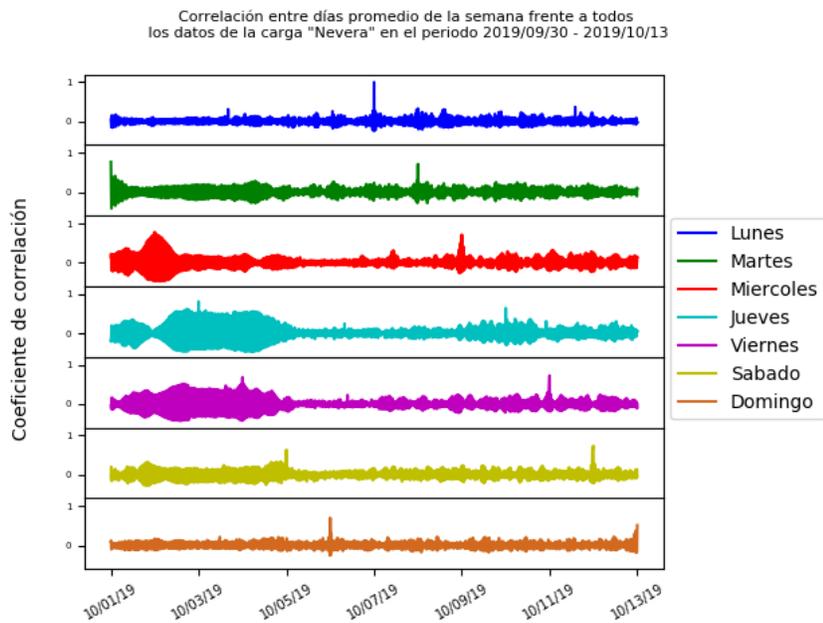


Figura L-2: Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Nevera". Hogar 1

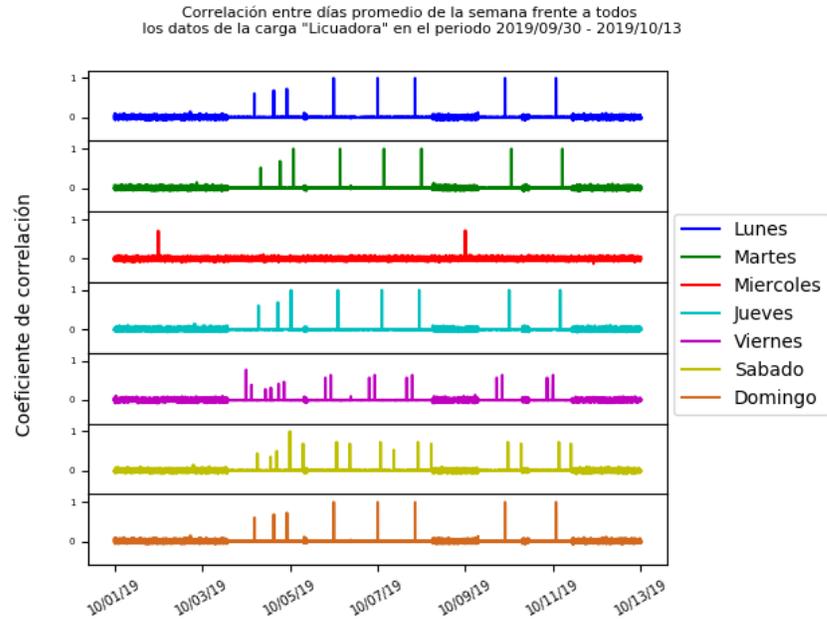


Figura L-3: Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Licuadora". Hogar 1

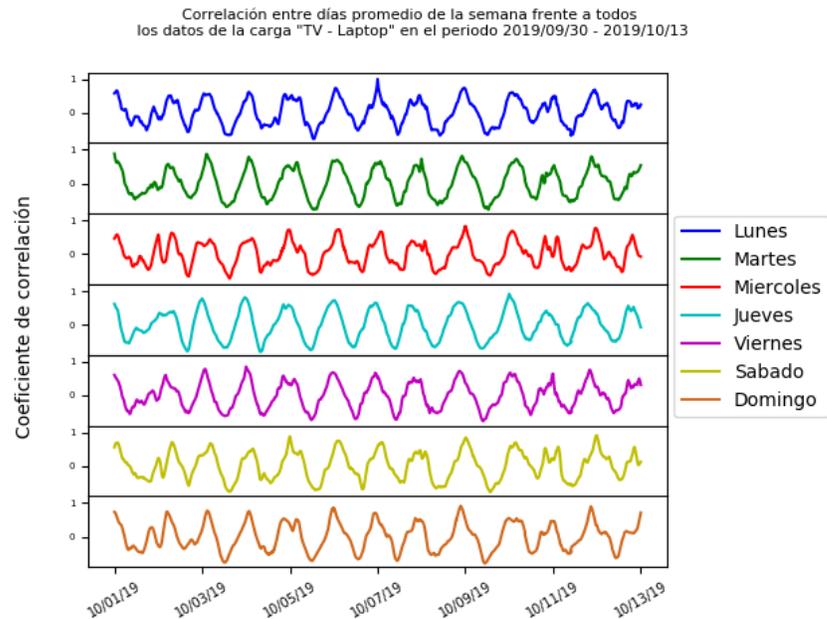


Figura L-4: Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "TV + Laptop + Router". Hogar 1

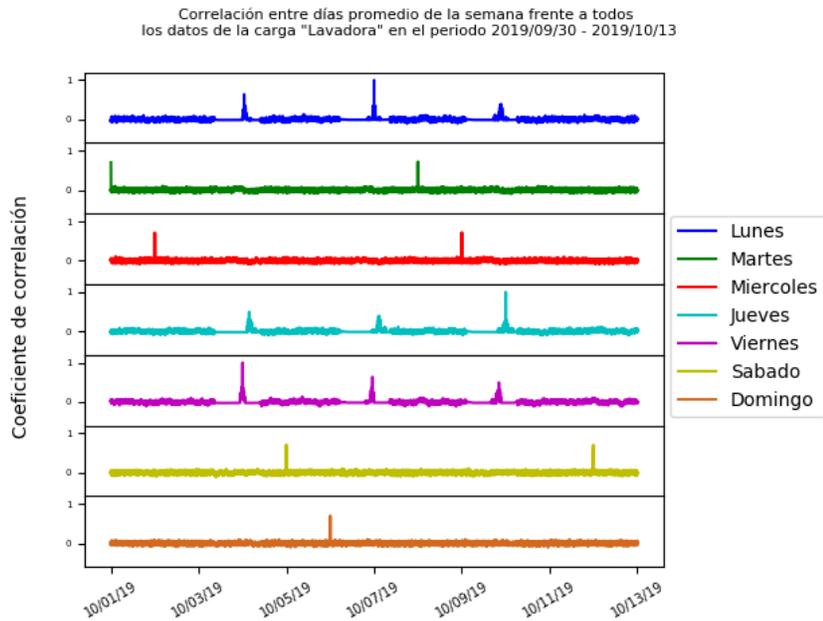


Figura L-5: Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Lavadora". Hogar 1

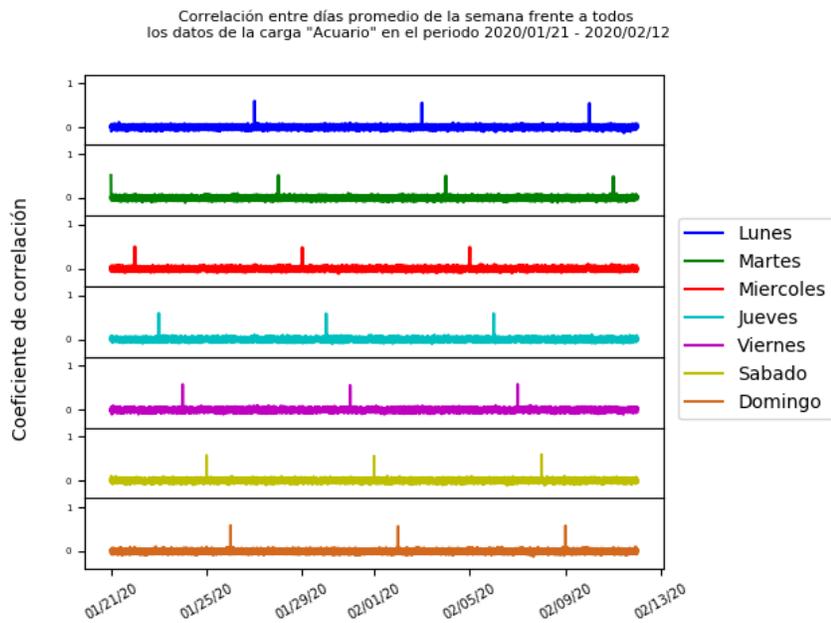


Figura L-6: Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Acuario". Hogar 2

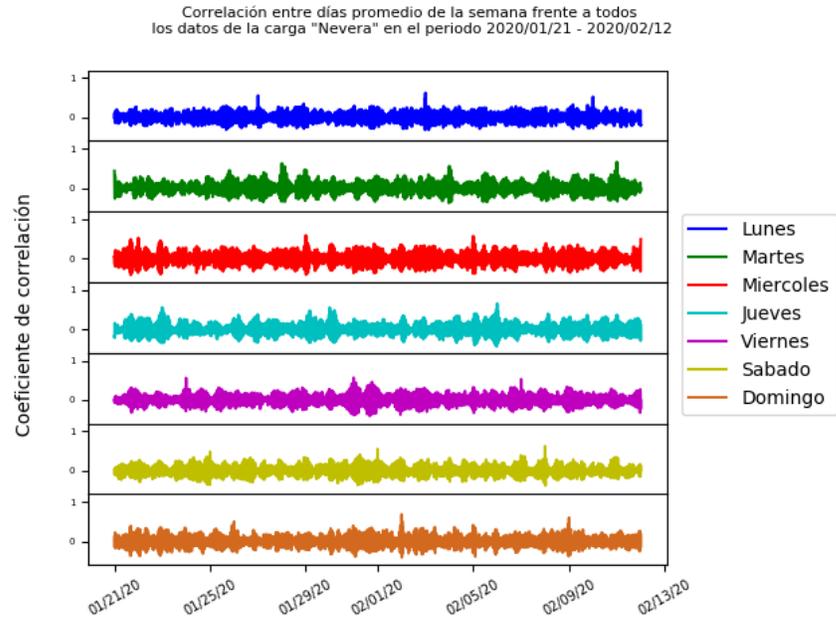


Figura L-7: Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Nevera". Hogar 2

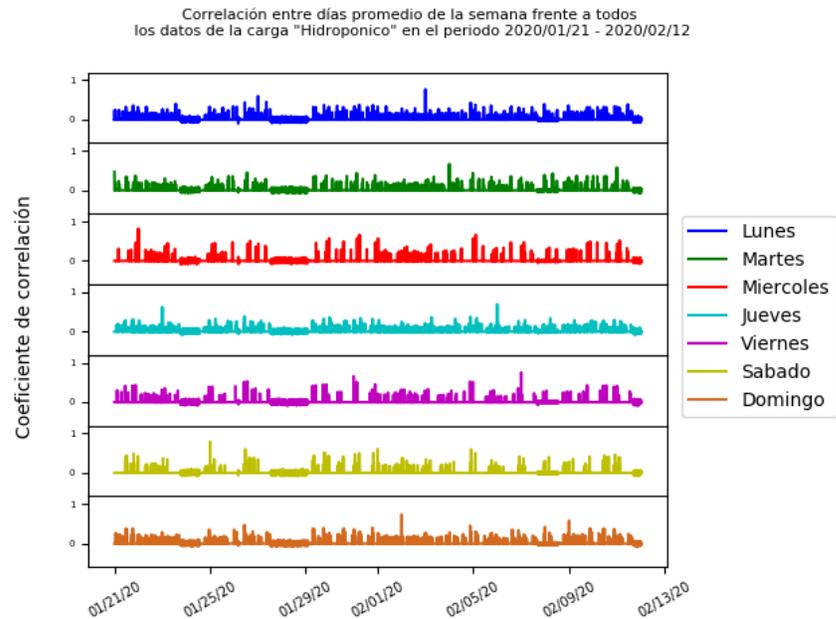


Figura L-8: Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Hidroponico". Hogar 2

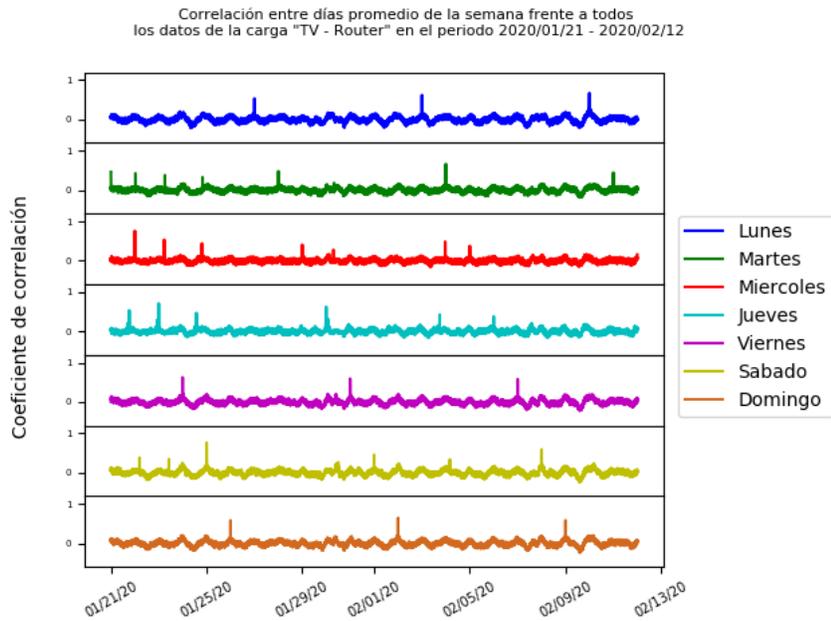


Figura L-9: Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "TV + Telefono + Router". Hogar 2

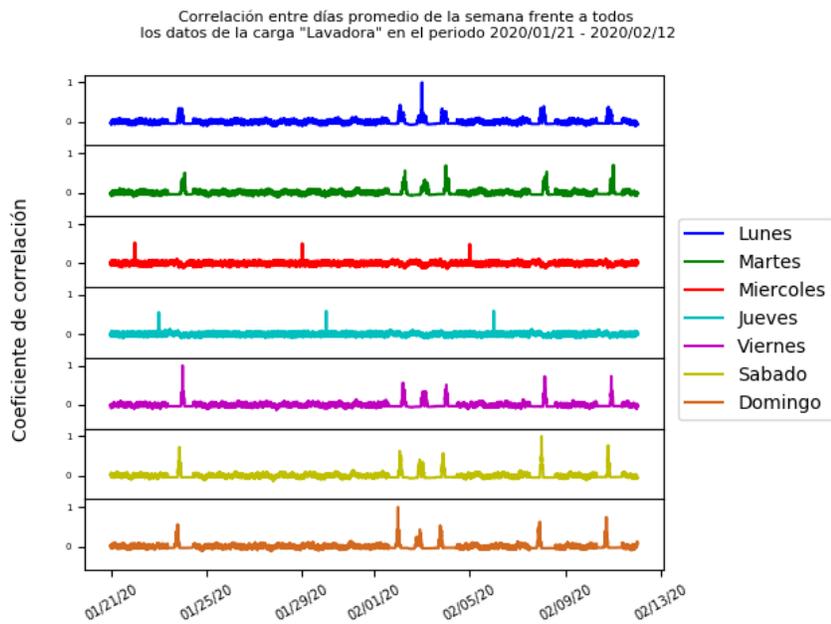


Figura L-10: Correlación entre datos de consumo de día promedio de cada día de la semana frente a todos los datos de consumo en el periodo monitoreado para la carga "Lavadora". Hogar 2

M. Anexo: Gráficas de correlación entre datos promedio de cada día de la semana frente a los datos de todo el periodo de monitoreo en los dos hogares

Para dar soporte a los análisis realizados, se presentan las facturas de consumo de energía de los dos hogares. Estas facturas son de las fechas en la que los sistemas hicieron el monitoreo del consumo de energía.

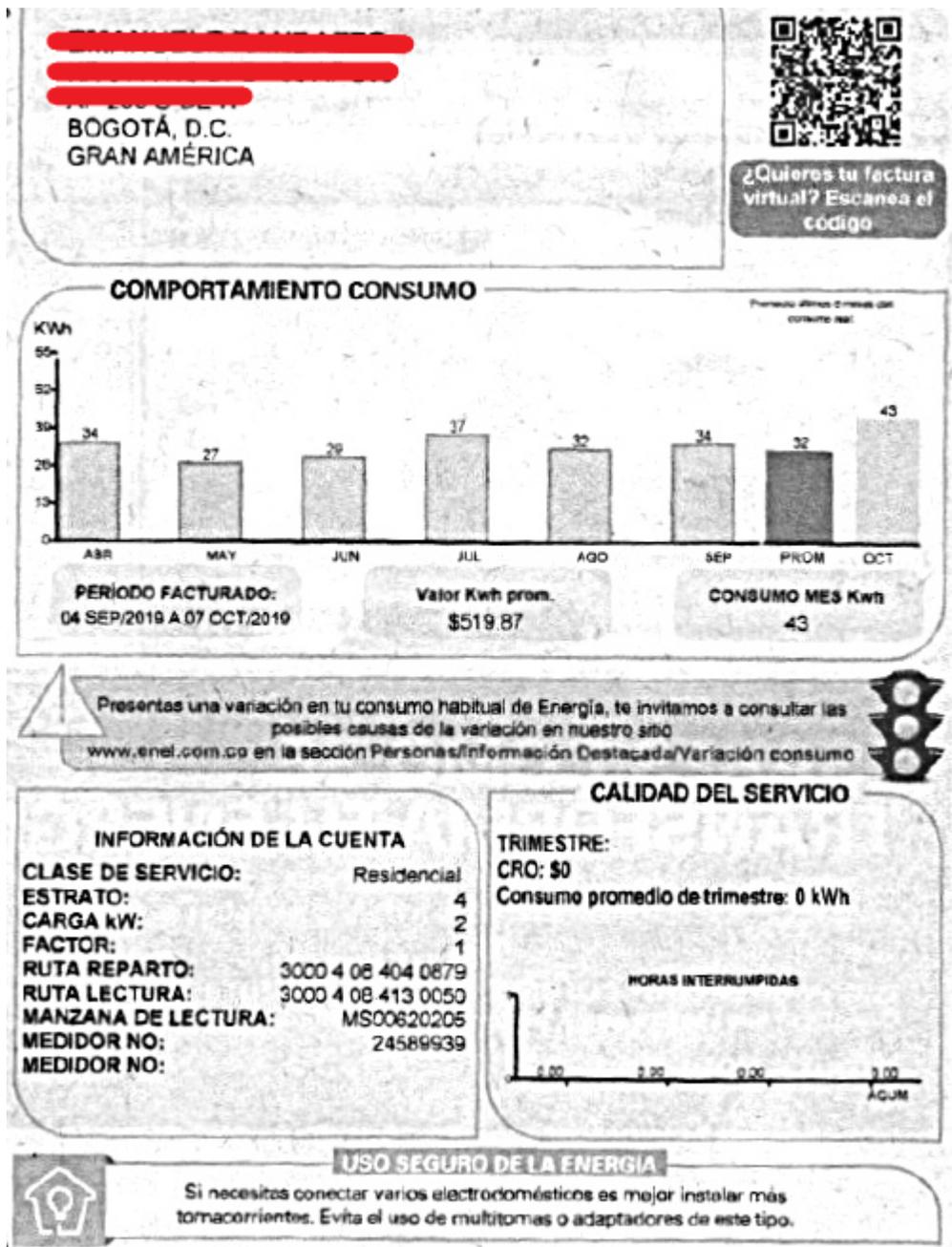


Figura M-1: Recibo de energía del periodo en el que se realizaron las mediciones de consumo en el hogar 1

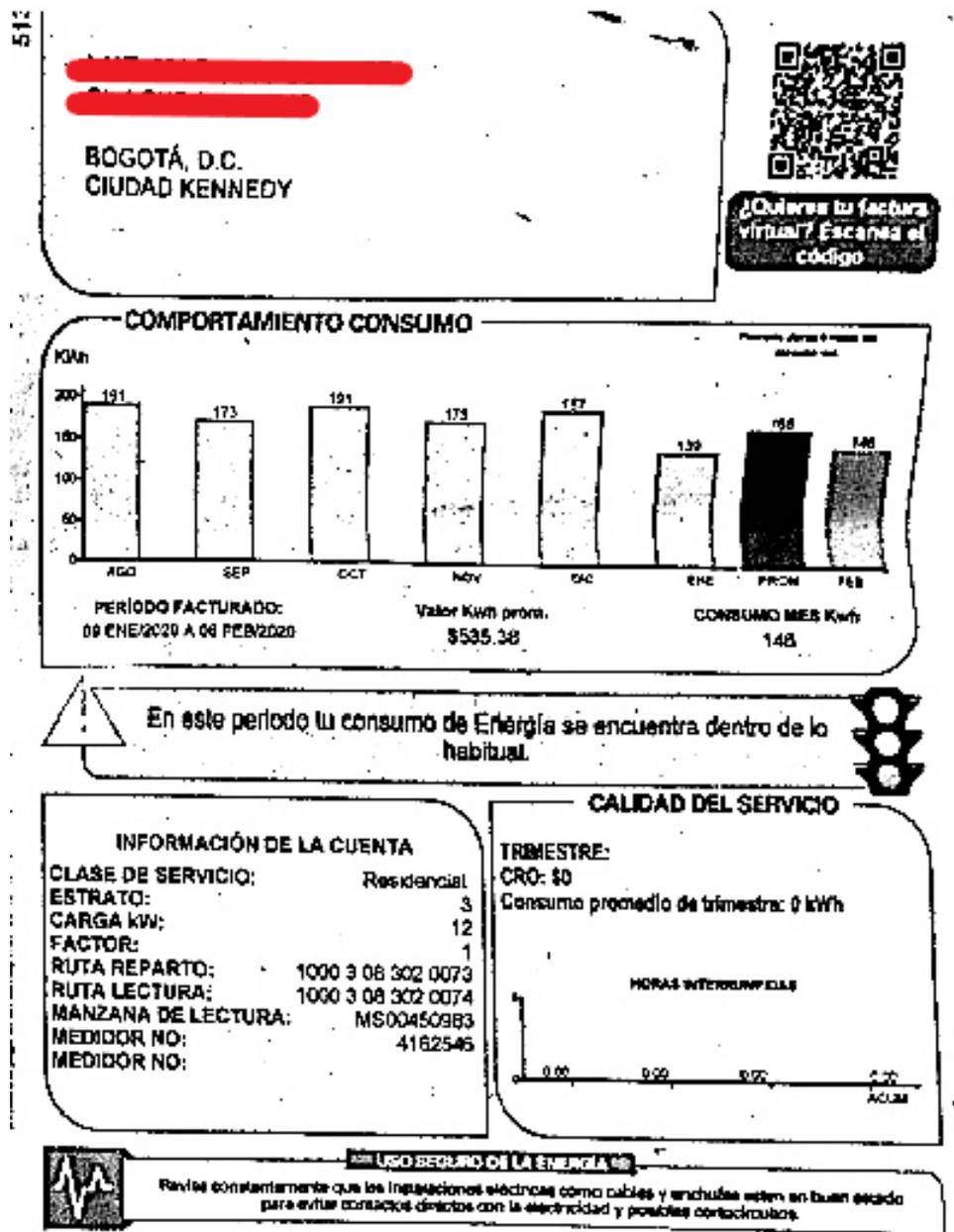


Figura M-2: Recibo de energía del periodo en el que se realizaron las mediciones de consumo en el hogar 2