

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

“Monitorización del estado energético
aplicado al hogar”

Curso 2019/2020

Alumno/a:

Miguel Ángel López Moreno

Director/es:

José Luis Guzmán Sánchez
Francisco de Asís Rodríguez Díaz



TRABAJO FIN DE GRADO

Monitorización del estado energético aplicado al hogar



Grado en Ingeniería Electrónica Industrial

Escuela Superior de Ingeniería

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

Curso 2019/2020

Autor:

Miguel Ángel López Moreno

Tutores:

José Luis Guzmán Sánchez

Francisco de Asís Rodríguez Díaz

Agradecimientos

Agradecerle todo el apoyo y esfuerzo a mi familia, sobre todo a mis padres, quienes me motivaron a comenzar el grado.

A todo el profesorado de la Escuela Superior de Ingeniería por compartir conmigo y mis compañeros todos sus conocimientos y valores desde el primer día.

También agradecer a mis compañeros de clase, muchos siendo ahora amigos cercanos, que desde el primer día hicieron de esto un camino mucho más ameno.

Por último, agradecer a mis compañeros de trabajo, en especial a mi mentor Alfredo, por introducirme en el mundo laboral y enseñarme tanto día tras día.

Índice general

Agradecimientos	I
Índice de tablas	V
Índice de figuras	VII
Acrónimos	XI
Nomenclatura	XIII
Resumen	XV
Abstract	XVII
1 Introducción	1
1.1 Motivaciones	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Fases de desarrollo	2
1.4 Resumen de resultados	2
1.5 Planificación temporal	4
1.6 Competencias utilizadas en el TFG	6
1.7 Estructura del trabajo fin de grado	6
2 Materiales y métodos	7
2.1 Introducción	7
2.2 Dispositivos físicos (Hardware)	7
Toroidales de corriente	7
Analizador de energía.....	10
PLC (Programmable Logic Controller)	12
Router	16
2.3 Software	17
Introducción a la interfaz de configuración del Flexy201	17
Configuraciones iniciales	19
Protocolo de comunicación serie	29
3 Diseño y desarrollo del sistema	33
3.1 Diagramas de conexionado	33
3.2 Configuración de la lectura en el Flexy201	33
3.3 Normalización de las lecturas	36
3.4 Creación de variables internas	38
3.5 Exportación de los históricos	39
3.6 Diseño del código en Basic IDE	41

	Envío de alarmas	42
	Cálculo del gasto energético	44
	Cálculo de los gastos económicos	46
	Cálculo de los gastos previstos	47
	3.7. Diseño y desarrollo de la interfaz.....	48
	ViewON.....	48
	Interfaz.....	50
	3.8 Aplicación complemento en Matlab.....	55
	Interfaz visual en App Designer de Matlab	55
	Diseño de código en App Designer de Matlab	58
4	Pruebas y resultados	59
	4.1 Introducción.....	59
	4.2 Configuración del analizador EM210.....	60
	4.3 Tarifas	63
	4.4 Aplicación.....	64
	5 de julio de 2020, miércoles.....	65
	6 de julio de 2020, lunes.....	67
	8 de julio de 2020, miércoles.....	67
	10 de julio de 2020, viernes.....	68
	12 de julio de 2020, domingo.....	69
	13 de julio de 2020, lunes.....	69
	21 de julio de 2020, martes.....	70
	27 de julio de 2020, lunes.....	70
	31 de julio de 2020, viernes.....	71
	1 de agosto de 2020, sábado.....	72
	4.5 Históricos.....	72
	4.6 Alarmas	75
	4.7 Gráficos en el Flexy	77
	4.8 Gasto económico	79
	4.9 Comparativa con la factura eléctrica real.....	79
5	Conclusiones y futuros trabajos	83
	ANEXOS	85
	Diagrama de conexionado.....	86
	Bibliografía	91

Índice de tablas

Tabla 1.1. Descripción de las actividades del proyecto.....	4
Tabla 1.2. Planificación temporal del Proyecto.....	5
Tabla 2.1. Leds de la base Flexy.....	13
Tabla 2.2. Características de la tarjeta de puertos serie.....	14
Tabla 2.3. Características de la tarjeta Wifi/WLAN.	16
Tabla 2.4. Ventanas de navegación del Flexy.	19
Tabla 2.5. Lista de variables del EM210.	31
Tabla 2.6. Lista de variable utilizadas en el proyecto.	31
Tabla 3.1. Identificación de variable.	35
Tabla 3.2. Configuración del servidor de E/S.....	35
Tabla 3.3. Descripción de los tipos de variable entregadas por el EM210.	37
Tabla 3.4. Configuración del Export Block.	40
Tabla 3.5. Comando de ejecución de los bloques en Basic.	41
Tabla 3.6. String del comando ONDATE.	44
Tabla 3.7. Lista de histórico de parámetros eléctricos.....	52
Tabla 3.8. Enlaces del histórico de parámetros eléctricos.	53
Tabla 3.9. Lista de histórico de variables de gastos.	53
Tabla 3.10. Enlaces del histórico de gastos.	53
Tabla 4.1. Precio de los materiales principales usados en las pruebas.....	79
Tabla 4.2. Histórico de energía consumida diaria según el Flexy 201.	81

Índice de figuras

Figura 1.1. Montaje final del sistema de monitorización.....	2
Figura 1.2. Captura de la interfaz de escritorio. Día 13 de julio.....	3
Figura 1.3. Gráfico de los kWh consumidos en la interfaz del Flexy.	4
Figura 2.1. Configuración de un toroide con respecto al hilo principal.	8
Figura 2.2. Toroidal Rogowski.....	9
Figura 2.3. Toroidal de núcleo cerrado.	9
Figura 2.4. Toroidal de núcleo abierto.	9
Figura 2.5. Analizador de energía EM210.	10
Figura 2.6. Conexión de toroidal y EM210 en la línea principal.	10
Figura 2.7. Base Flexy201.	12
Figura 2.8. Principales elementos del Flexy201.	13
Figura 2.9. Distribución de los leds indicadores del Flexy201.....	13
Figura 2.10. Tarjeta de expansión de puertos serie de eWon.....	14
Figura 2.11. Elementos principales de la tarjeta de expansión de puertos serie.	15
Figura 2.12. Interruptores DIP de la tarjeta de expansión de puertos serie.....	15
Figura 2.13. Leds indicadores de la tarjeta de expansión de puertos serie.	15
Figura 2.14. Tarjeta de expansión cliente wifi/WLAN de eWon.	16
Figura 2.15. Elementos más importantes de la tarjeta wifi/WLAN.....	17
Figura 2.16. Ventana de login del Flexy201.	18
Figura 2.17. Ventana resumen del Flexy201.....	18
Figura 2.18. Menú de navegación del Flexy201.....	19
Figura 2.19. Botón de acceso al wizard.	20
Figura 2.20. Wizards disponibles.....	20
Figura 2.21. Apartado de configuración del usuario del Flexy201.	21
Figura 2.22. Configuración del reloj del Flexy201.	21
Figura 2.23. Selección de la interfaz de conexión wifi.....	21
Figura 2.24. Selección de la conexión inalámbrica y clave de acceso.	22
Figura 2.25. Conexión inalámbrica establecida correctamente.	22
Figura 2.26. Configuración del tipo de conectividad del Flexy201.	23
Figura 2.27. Esquema de sincronización de Talk2M.	23
Figura 2.28. Acceso a la creación de una cuenta Free+ en eCatcher.....	24
Figura 2.29. Datos de la nueva cuenta de Talk2M.	24
Figura 2.30. Ventana principal de eCatcher.....	25
Figura 2.31. Configuración nuevo dispositivo eCatcher.....	25

Figura 2.32. Ventana de propiedades del dispositivo en eCatcher.	26
Figura 2.33. Ventana de los datos de conectividad de Talk2M del dispositivo.....	26
Figura 2.34. Configuración de la conexión a Talk2m.	27
Figura 2.35. Configuración de proxy y TCP.....	27
Figura 2.36. Mensaje de conexión VPN correcta.	28
Figura 2.37. Configuración del puerto COM1.....	28
Figura 2.38. Configuración de los parámetros de conexión del COM1.	29
Figura 2.39. Interfaz serie de la tarjeta de comunicación serie.....	29
Figura 2.40. Diagrama de conexión entre Flexy y EM210.....	30
Figura 3.1. Añadir nueva variable.....	33
Figura 3.2. Configuración de la nueva variable.	34
Figura 3.3. Nombre, página y descripción de la variable.	34
Figura 3.4. Configuración del servidor de E/S	35
Figura 3.5. configuración del registro histórico de la variable.....	36
Figura 3.6. Últimas configuraciones de la variable.	36
Figura 3.7. Dirección leída en el Flexy.....	37
Figura 3.8. Configuración de la dirección en el Flexy.....	38
Figura 3.9. Configuración del servidor de E/S para una variable interna.....	38
Figura 3.10. Export Block Descriptor Helper.....	39
Figura 3.11. Parámetros del enlace.....	39
Figura 3.12. Ejemplo de creación de enlace de exportación.....	40
Figura 3.13. Acceso al BASIC IDE.	41
Figura 3.14. Configuración de alarma de variable.....	42
Figura 3.15. Parámetros del proyecto en Viewon.....	48
Figura 3.16. Project editor y Graphs.....	49
Figura 3.17. Parámetros de nueva ventana.....	49
Figura 3.18. Barra de trabajo.	49
Figura 3.19. Componentes de la barra de trabajo.....	50
Figura 3.20. Pestaña ‘Project’	50
Figura 3.21. Ventana principal de la versión de escritorio.....	51
Figura 3.22. Ventana de planificación.	51
Figura 3.23. Apartado tarifas.....	52
Figura 3.24. Apartado histórico de datos.	53
Figura 3.25. Configuración.....	54
Figura 3.26. Ventana de gráficos.	54
Figura 3.27. Componentes y figuras de la herramienta App Designer de Matlab.	55
Figura 3.28. Interfaz de la aplicación diseñada en App Designer.....	56

Figura 3.29. Selección del archivo .xlsx	56
Figura 3.30. Archivo graficado en la aplicación .xlsx	57
Figura 3.31. Gráficos de los gastos en la aplicación de Matlab.....	57
Figura 4.1. Montaje final del sistema de monitorización.....	59
Figura 4.2. Toroidal empleado en las pruebas.....	60
Figura 4.3. botones de interacción del EM210.....	60
Figura 4.4. Ventana de contraseña del EM210.....	61
Figura 4.5. Polos leídos por el analizador.	61
Figura 4.6. Relación de transformación.	62
Figura 4.7. dirección Modbus del analizador.	62
Figura 4.8. baudios del analizador de energía.	62
Figura 4.9. Paridad del analizador de energía.....	63
Figura 4.10. bits de parada del analizador de energía.	63
Figura 4.11. Apartado de tarifas en la ventana de planificación.	64
Figura 4.12. Captura de la interfaz. Día 29 de junio.....	65
Figura 4.13. Captura de la interfaz de escritorio. Día 5 de julio.....	66
Figura 4.14. Captura de la interfaz de móvil. Día 5 de julio.	66
Figura 4.15. Captura de la interfaz de móvil. Día 6 de julio.	67
Figura 4.16. Captura de la interfaz de escritorio. Día 8 de julio.....	68
Figura 4.17. Captura de la interfaz de móvil. Día 10 de julio.	68
Figura 4.18. Captura de la interfaz de móvil. Día 12 de julio.	69
Figura 4.19. Captura de la interfaz de escritorio. Día 13 de julio.....	69
Figura 4.20. Captura de la interfaz de escritorio. Día 21 de julio.....	70
Figura 4.21. Captura de la interfaz de escritorio. Día 27 de julio.....	71
Figura 4.22. Captura de la interfaz de escritorio. Día 31 de julio.....	71
Figura 4.23. Captura de la interfaz móvil. Día 1 de agosto.	72
Figura 4.24. selección del histórico mensual.	73
Figura 4.25. sustitución de puntos por comas en los archivos históricos.	73
Figura 4.26. histórico de los parámetros eléctricos en Excel.....	74
Figura 4.27. histórico de los gastos de energía y económicos en Excel.	74
Figura 4.28. Sección de alarmas en la ventana de planificación.	75
Figura 4.29. Sección de máximos en la ventana de planificación.....	75
Figura 4.30. Reporte de potencia instantánea superada.....	76
Figura 4.31. Reporte de consumo semanal superado.....	76
Figura 4.32. Reporte de consumo mensual superado.....	76
Figura 4.33. Reporte de gasto económico semanal superado.	76
Figura 4.34. Reporte de gasto económico mensual superado.....	76

Figura 4.35. Ventana de gráficos representando la potencia.	77
Figura 4.36. Gráfico de la potencia en la interfaz del Flexy.	77
Figura 4.37. Gráfico de la intensidad en la interfaz del Flexy.	78
Figura 4.38. Gráfico de los kWh consumidos en la interfaz del Flexy.	78
Figura 4.39. Gráfico del gasto económico en la interfaz del Flexy.	79
Figura 4.40. Información del consumo eléctrico según la comercializadora.	80
Figura 4.41. Facturación por energía consumida según la comercializadora.	80

Acrónimos

Abreviatura	Significado
CSV	Comma Separated Values
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
TFG	Trabajo Final de Grado
PLC	Programmable Logic Controller
RTU	Unidad Terminal Remota
CPU	Central Processing Unit
VPN	Virtual Private Network
KPI	key performance indicator
NTP	Network Time Protocol
HTTPS	HyperText Transfer Protocol Secure
API	Application Programming Interfaces
TCP	Transmission Control Protocol
REBT	Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión
HMI	Human-Machine Interface
HTML	HyperText Markup Language
CSS	Cascading Style Sheets
FTP	File Transfer Protocol
PC	Personal Computer
XLSX	Microsoft Excel Open XML Spreadsheet
M2M	Machine to Machine
WLAN	Wireless Local Area Network
WAP	Wireless Application Protocol
WEP	Wired Equivalent Privacy
IP	Internet Protocol
SSID	Service Set Identifier

Nomenclatura

I	Intensidad	A
V	Voltaje o Tensión	V
E	Tensión inducida	V
B	Campo magnético	T
t	Tiempo	<i>Seg.</i>
μ	Permeabilidad magnética	H/m
N	Numero de vueltas de la bobina	
A	Área de una vuelta	m^2
μ_o	Permeabilidad magnética en el vacío	H/m
μ_r	Permeabilidad magnética relativa	H/m
V_{IN}	Tensión Fase-Neutro	V
P	Potencia activa	W
Q	Potencia reactiva	VAr
S	Potencia aparente	VA
$F.P.$	Factor de potencia	
$kVArh$	Energía reactiva consumida	$kVArh$
kWh	Energía activa consumida	kWh

Resumen

En el sector industrial existen multitud de sistemas de monitorización y medición eléctrica que disponen al equipo de mantenimiento de la fábrica de los datos en tiempo real e históricos de todos los parámetros de la energía en su instalación, pudiendo acceder a ellos de manera online desde cualquier lugar y en cualquier momento. Disponer de los parámetros correspondientes al estado de la energía eléctrica permite analizar la calidad de esta y, así, presentar la capacidad de tomar decisiones preventivas o correctivas que mejoren su estado, produciendo reducciones en los costes de la energía consumida, además de aumentar la vida útil de los equipos presentes en la instalación, al haberse reducido distorsiones, desequilibrios y desfases de ondas, entre otras.

Estos sistemas de monitorización presentes en la industria no sólo tienen la capacidad de leer los datos y mostrarlos, sino que son totalmente flexibles, pudiéndose amoldar a las necesidades de los operarios, tanto en interfaces como en posibilidades. Dichos sistemas suelen incorporar una interfaz diseñada para ser lo más sencilla y simple posible, aumentando así la eficiencia del operario a la hora de interactuar con ella. Además, se dispone de multitud de posibilidades totalmente configurables y adaptables a cada caso, encontrándose entre estas las siguientes ejemplos:

- Capacidad de registrar históricos de hasta más de un año de los parámetros leídos, pudiendo descargar estos datos en formatos tales como .csv (Comma Separated Values) para poder ser estudiados y trabajados con programas de ofimática.
- El 'Data reporting' tiene la posibilidad de generar informes con los datos registrados, dando incluso a un usuario sin conocimientos la capacidad de tomar decisiones de mejora gracias a estos.
- Alarmas programadas que avisen a los equipos de mantenimiento de cualquier anomalía o que prevean antes de que se produzca un fallo. Estos avisos pueden ser tanto por vía mail como SMS.
- Gráficos y comparativas de los datos para facilitar el estudio de los parámetros y el cumplimiento de las normativas de calidad.
- Estudios de la energía consumida (kWh) que puedan prevenir un gasto excesivo y elevar demasiado los costes de facturación eléctrica.

Estos sistemas de monitorización y medición han facilitado mucho el trabajo a los equipos de mantenimiento de la fábrica, que con su formación tienen la capacidad de interpretar los datos registrados y navegar a través de SCADAs (Supervisory Control and Data Acquisition) industriales.

Considerando todas estas ventajas del sector industrial, en este Trabajo Fin de Grado se presenta el desarrollo de un sistema de monitorización adaptado a realizar mediciones y monitorizarlas de manera online en un hogar común, con una interfaz sencilla y con un muestreo de los parámetros principales. El sistema propuesto permite dotar a un usuario medio sin formación de la capacidad de controlar el consumo eléctrico y otros factores en su vivienda, pudiendo así tomar decisiones que le ayuden a ahorrar en su factura eléctrica y evitar sorpresas negativas a final de mes.

De esta forma, en el presente trabajo se procederá a adaptar un sistema de monitorización y lectura de los parámetros eléctricos a una vivienda común, teniendo en cuenta la falta de formación de un usuario medio, la debida sencillez grafica de las interfaces, la conexión simple del sistema a la línea eléctrica, la puesta en red online del sistema de monitorización y las configuraciones necesarias para dotar al usuario de la capacidad para tomar decisiones que le ayuden a mejorar la eficiencia energética en su hogar.

Palabras clave: análisis eléctrico, SCADA, comunicación remota, monitorización.

Abstract

In the industrial sector there are a multitude of electrical monitoring and measurement systems that provide the factory maintenance team with real-time and historical data of all the energy parameters in its installation, and can access them online from any location and at any time. Having the parameters corresponding to the state of electrical energy allows analyzing its quality and presenting the ability to make preventive or corrective decisions that improve its state, producing reductions in the costs of energy consumed, in addition to increasing the useful life of the equipment present in the installation, as it has reduced distortions, imbalances and wave lags, among others.

These monitoring systems can not only read the data and display it, they are also totally flexible, being able to adapt to the needs of the operators, both in interfaces and in possibilities. These systems usually incorporate an interface designed to be as simple and easy as possible, thus increasing the operator's efficiency when interacting with it. In addition, there are a multitude of fully configurable and adaptable possibilities for each case, being among these the following examples:

- Historical record capacity up to more than a year of the read parameters, and can download this data in formats such as .csv (Comma Separated Values) to be studied and worked with office software.
- 'Data reporting' has the possibility of generating reports with the registered data, even giving an unskilled user the ability to make improvement decisions thanks to these.
- Scheduled alarms that alert the maintenance teams of any anomaly or that they anticipate before a failure occurs. These ads can be by email or SMS.
- Studies of the energy consumed (kWh) that can prevent excessive spending and raise electricity billing costs too much.

These monitoring and measurement systems have greatly facilitated the work of the factory maintenance teams, who with their training have the ability to interpret the recorded data and navigate through industrial SCADAs (Supervisory Control and Data Acquisition).

Considering all these advantages of the industrial sector, this Final Degree Project presents the development of a monitoring system adapted to perform measurements and monitor them online in a common home, with a simple interface and with a sampling of the main parameters. The proposed system allows to equip an average user without training with the ability to control electricity consumption and other factors in their home, thus being able to make decisions that help to save on electric bill and avoid negative surprises at the end of the month.

In this way, in the present work will proceed to adapt a system for monitoring and reading the electrical parameters to a common home, taking into account the lack of training of an average user, the due graphic simplicity of the interfaces, the simple connection of the system to the power line, the online networking of the monitoring system and the necessary configurations to provide the user with the capacity to make decisions that help them improve energy efficiency at home.

Key words: electrical analysis, SCADA, remote communication, monitoring.

1 Introducción

1.1 Motivaciones

La industria 4.0 está revolucionando los medios de fabricación haciendo a estos más inteligentes y, por tanto, más autosuficientes, facilitando a los operarios e ingenieros las labores de mantenimiento, fabricación, comercialización, diseño, etc [10]. Una de las muchas revoluciones de la Industria 4.0 es la manera de obtener los datos y parámetros de la fábrica, ya sean de producción, calidad, energía, entre otros, siendo esto una modernización hasta el punto de disponer de ellos de manera online, en cualquier momento y lugar, mostrados en sistemas SCADAs que facilitan y agilizan la toma de decisiones [17]. Sabiendo de la utilidad de esta propiedad de monitorización y seguimiento online, podría ser aplicada de una manera correctamente dimensionada y ajustada al uso en el hogar.

Muchos usuarios de hogar se encuentran a final de mes con el problema de pagar una factura eléctrica de su vivienda que no se preveía tan elevada económicamente. Esto crea la necesidad de gestionar y seguir el consumo que se está realizando en su hogar para no encontrar sorpresas a la hora de pagar la factura eléctrica. Disponer de la facilidad de seguir el consumo en el hogar, poder configurar alarmas de aviso, gestión de tarifas, ver el estado en tiempo real de los parámetros más importantes, disponer de los históricos de consumo, entre otros; dará la posibilidad al usuario de crear un plan de consumo en el hogar que le permita ahorrar económicamente, además de reducir el impacto ambiental que conlleva el consumo de energía.

La motivación del presente Trabajo Fin de Grado (TFG) es desarrollar un equipo basado en los utilizados en la industria, que permita leer los parámetros de una línea eléctrica, emplear estos datos de manera que se puedan desarrollar históricos, tarifas eléctricas, alarmas programadas, gráficos, ver los parámetros en tiempo real y todo en una interfaz capaz de ser utilizada por un usuario común sin conocimientos de electricidad o ingeniería.

1.2 Objetivos

El objetivo del proyecto es facilitar a un usuario sin conocimientos una interfaz gráfica simple e intuitiva que le permita seguir y monitorizar el consumo y estado eléctrico de su vivienda de manera remota, facilitándole así, desarrollar un plan de consumo que le haga reducir el gasto eléctrico que produce cada mes, disminuyendo consecuentemente el cobro de su factura eléctrica y el impacto ambiental. El dispositivo por desarrollar deberá ser capaz de:

- Obtener los parámetros de la línea eléctrica principal.
- Convertir los datos a formato digital y disponer de ellos en un PLC (Programmable Logic Controller) que sea capaz de tratar estos datos pudiendo realizar cálculos, configurar alarmas, realizar gráficos y generar históricos.
- Mostrar datos, configuraciones y gráficos en una interfaz web que pueda visualizarse en cualquier lugar y momento.

1.3 Fases de desarrollo

El proyecto consta de seis fases definidas en las que se incluyen las pruebas y desarrollo de la memoria detallada del TFG (ver Tabla 1.1).

1. Elección del material, dispositivos y software de los que dependerá la forma de ejecución de las siguientes fases.
2. Definición del conexionado de los elementos del sistema de medición y monitorización.
3. Estudio y desarrollo para la obtención de los parámetros de manera digital e interpretable en el PLC, además de la generación de los históricos, alarmas y cálculos necesarios.
4. Diseño de la interfaz gráfica y conexión del dispositivo a la red online para poder acceder a esta de manera remota.
5. Prueba del dispositivo en un entorno real para realizar ajustes o modificaciones en la programación.
6. Redacción de la memoria del TFG donde se explican y definen los procedimientos seguidos para cumplir con los objetivos.

1.4 Resumen de resultados

Se ha instalado físicamente en una vivienda real el sistema diseñado en este TFG (ver Figura 1.1). Se ha tenido en cuenta el esquema eléctrico y los dispositivos estudiados en la fase de elección del material. Los dispositivos principales utilizados en la fase de prueba han sido:

- Fuente de alimentación de 24V / 5A.
- Toroidales de corriente 50 / 5 A.
- Analizador de energía modelo EM210 de Carlo Gavazzi.
- PLC de Siemens modelo 1212C AC/DC/RLY.
- Router industrial modelo Flexy201 de la empresa eWon.
- Tarjeta de expansión 3G para el Flexy 201.



Figura 1.1. Montaje final del sistema de monitorización.

Una vez instalado el sistema, se dejó midiendo los parámetros eléctricos durante todo julio de 2020 para poder realizar un estudio de los resultados obtenidos en la interfaz, los históricos, alarmas, etc. En la Figura 1.2 se muestran los parámetros recogidos del día 13 de julio tanto de energía consumida como de gasto económico en los periodos diario, semanal y mensual. Además, se indican los parámetros eléctricos en ese momento de la captura, los cuales se actualizan cada dos segundos.

El procedimiento seguido para realizar las pruebas de la recogida y cálculo de los datos en la interfaz ha sido realizar capturas de pantalla durante distintos días de julio y analizar los parámetros mostrados en estos días para observar los gastos producidos de manera diaria, semanal y mensual. También, se analizaron los parámetros de energía como la tensión o la frecuencia, comparándolos con los valores determinados en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [2].

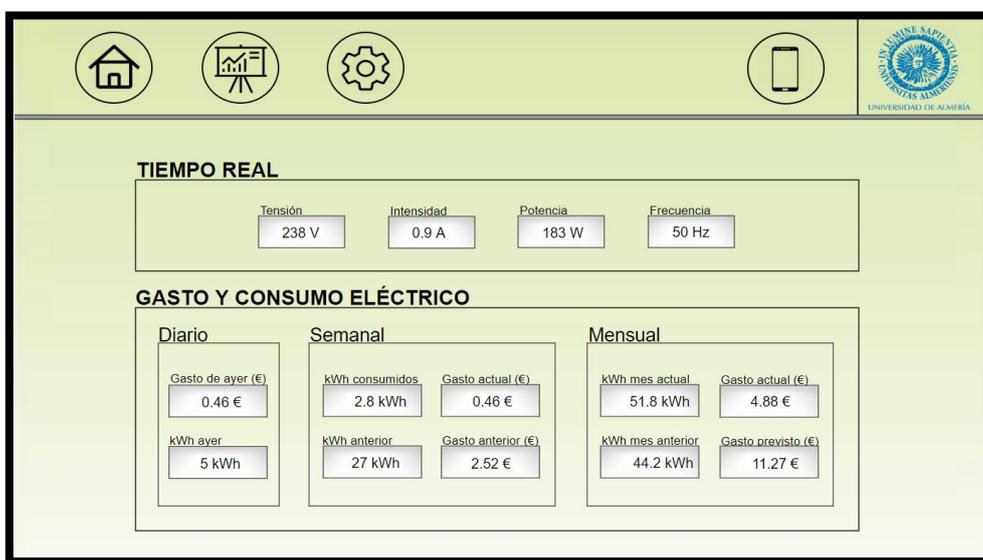


Figura 1.2. Captura de la interfaz de escritorio. Día 13 de julio.

Después de estudiar durante julio los datos recogidos y observar una correcta visualización de los datos y los cálculos en la interfaz, se procedió a analizar el registro de los históricos en la interfaz. Estos se han recogido en formato .csv con un muestreo de dos minutos para los parámetros eléctricos y de veinticuatro horas para los gastos, siendo los periodos disponibles: diario, semanal, mensual y trimestral.

También se comprobó el funcionamiento de las alarmas, configurándolas y activándolas en la interfaz. Se forzaron alarmas en todos los parámetros disponibles para confirmar la correcta ejecución y notificación de estas, produciéndose un aviso vía mail al usuario.

Como último elemento a estudiar en la interfaz, se analizó la visualización de los datos en los gráficos disponibles en esta. Los parámetros disponibles para graficar son la potencia y la intensidad, en un periodo de una hora, además de kWh y euros gastados en un periodo de un mes. En la Figura 1.3 se muestran los kWh diarios graficados.

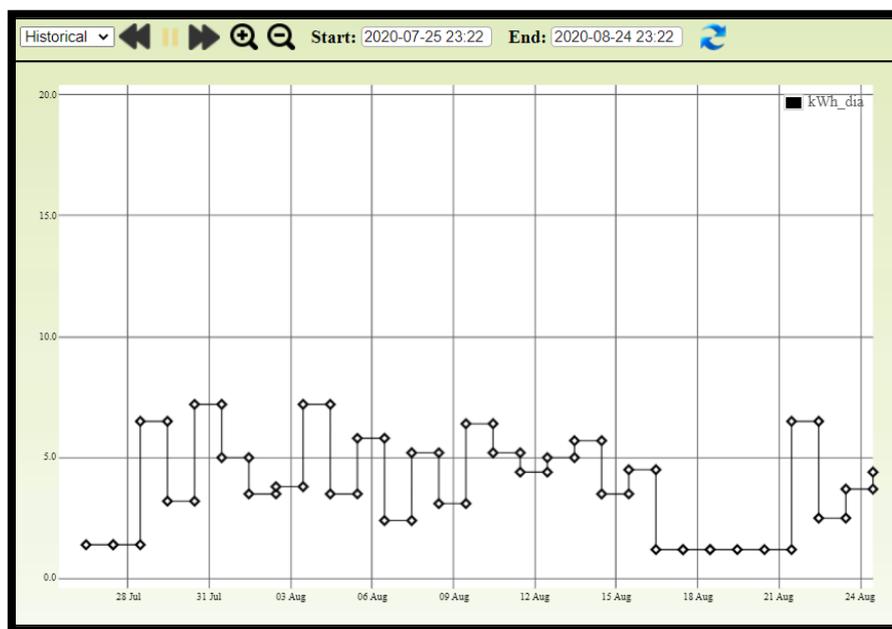


Figura 1.3. Gráfico de los kWh consumidos en la interfaz del Flexy.

Finalmente, como último análisis de la fase de pruebas, se realizó una comparativa entre los kWh medidos con el equipo y los kWh medidos por la comercializadora. Se cumplió con los resultados esperados ya que los kWh medidos por los dos sistemas fueron los mismos, confirmándose así el correcto funcionamiento del sistema diseñado en este TFG a la hora de medir los parámetros eléctricos.

1.5 Planificación temporal

El desarrollo de la planificación temporal se ha realizado basándose en las fases de desarrollo, estructurando el tiempo invertido en cada una de las fases y el tiempo total de desarrollo del proyecto, mostrado en la Tabla 1.2.

Actividades	Descripción
A	Estudio de los materiales, software y conocimientos teóricos
B	Estudio del conexionado de los dispositivos y esquematización
C	Programación y Configuración del PLC
D	Diseño de la interfaz gráfica del dispositivo
E	Ensayo del sistema y ajuste de parámetros
F	Desarrollo de la memoria

Tabla 1.1. Descripción de las actividades del proyecto.

Monitorización del estado energético aplicado al hogar

Año	2020								
Mes	Semana Actividad	A	B	C	D	E	F	Total Semana	Total Mes
Marzo	1	10					5	15	85
	2	10					5	15	
	3	10		5			5	20	
	4	10	10	5			10	35	
Abril	5	10		5			5	20	100
	6	10		5			10	25	
	7	10		5	5		10	30	
	8	10		5	5		5	25	
Mayo	9			5	5		5	15	45
	10			5	5		5	15	
	11			5	5			10	
	12				5			5	
Junio	13				5			5	20
	14							0	
	15			5				5	
	16			5	5			10	
Julio	17			5		5		10	30
	18					5		5	
	19					5		5	
	20					5	5	10	
Agosto	21					5	10	15	50
	22					5	10	15	
	23						10	10	
	24						10	10	
Total Horas	Por Actividad	80	10	60	40	30	110	Total:	330

Tabla 1.2. Planificación temporal del Proyecto

1.6 Competencias utilizadas en el TFG

En este Trabajo Fin de Grado se ponen a prueba una gran variedad de las competencias adquiridas en el grado de Ingeniería Electrónica Industrial. Este grado prepara al alumno para una multitud de competencias en el ámbito industrial, que le permitirá realizar diversas funciones profesionales de manera eficiente.

En primer lugar, se han puesto a prueba competencias básicas como la capacidad de análisis de datos, interpretar las necesidades de los usuarios finales, análisis de parámetros eléctricos, programación de código o la toma de decisiones ante la aparición de problemas. Para el diseño del sistema objetivo se han puesto a prueba, también, distintas competencias adquiridas en las asignaturas especializadas del grado, tales como Automatización Industrial para la programación de autómatas, Informática Industrial para el diseño de SCADAs o el uso de los protocolos industriales de transmisión de datos, Redes de computadores para efectuar la monitorización online, Teoría de Circuitos, Instalación Eléctricas y Ampliación de Electrotecnia para la interpretación de los parámetros eléctricos y el funcionamiento de los sistemas de medición o Expresión Gráfica para la normalización de los planos, entre otros.

El conocimiento adquirido en el ámbito laboral también ha sido primordial a la hora de diseñar el dispositivo, gracias a las competencias adquiridas en programación de autómatas, configuración de la monitorización online, diseño de sistemas SCADA, análisis de las necesidades del cliente, análisis de la calidad de la energía y la toma de decisiones.

1.7 Estructura del trabajo fin de grado

Es trabajo está compuesto por cinco capítulos, estructurados de la siguiente manera:

- Capítulo 1, *Introducción*, donde se detallan las ideas, motivaciones, tiempo y fases de desarrollo para realizar el proyecto.
- Capítulo 2, *Materiales y métodos*, en el que se explica el funcionamiento de los dispositivos elegidos para cumplir con los objetivos, además de la configuración y conexión de estos, la programación y los cálculos llevados a cabo.
- Capítulo 3, *Diseño y desarrollo del sistema*, recoge los procedimientos seguidos para desarrollar la programación de los dispositivos, diseño de la interfaz y otras configuraciones.
- Capítulo 4, *Pruebas y resultados*, detalla el proceso de pruebas y ajuste de parámetros con los resultados obtenidos.
- Capítulo 5, *Conclusiones y Futuros Trabajos*, donde se exponen las conclusiones después de realizar las pruebas y se presentan futuros trabajos y mejoras relacionadas con este proyecto.

2 Materiales y métodos

2.1 Introducción

Para la elección tanto del hardware como del software para el cumplimiento de los objetivos, es necesario analizar que dispositivo escoger para cumplir con cada función del sistema. Se necesita un dispositivo para medir la energía eléctrica del conductor principal, un dispositivo que transforme las lecturas de ese sensor de analógico a digital, un PLC para gestionar las lecturas y un sistema de monitorización que disponga de manera online todos los registros [9].

En primer lugar, para obtener la medida de los parámetros eléctricos, se ha utilizado un toroidal de corriente. Este sensor aplica la teoría del solenoide para leer la corriente eléctrica que circula por un conductor.

Es necesario un lector que codifique las lecturas de corriente que entrega el sensor toroidal debiendo convertirlas a formato digital, el cual pueda ser interpretado por el usuario. Además, es ideal que este dispositivo disponga de protocolos de comunicación que permitan exportar las lecturas al sistema de control. Estos elementos son los analizadores de energía.

El sistema de control o PLC debe ofrecer la posibilidad de recibir los datos del analizador mediante el protocolo Modbus (RTU), donde RTU significa “Unidad Terminal Remota”, y a partir de una interfaz RS485. Además, debe tener la flexibilidad de ser programado para tomar decisiones y la capacidad de ser monitorizado remotamente para disponer de los datos y cálculos en cualquier lugar y momento.

Para monitorizar de manera online las lecturas y la interfaz del sistema, se requiere de un router industrial que tenga la capacidad de enviar los datos registrados en el PLC y alojar la interfaz gráfica como servidor.

2.2 Dispositivos físicos (Hardware)

Toroidales de corriente

El toroidal de corriente se basa en un hilo conductor al cual se le aplica un número de vueltas determinado en torno a un núcleo metálico formando un embobinado. Como se puede ver en la Figura 2.1, este conjunto debe cerrarse en torno al conductor del cual se desea obtener las lecturas. El conductor, debido a la corriente (I) que circula por él, genera un campo magnético (B) el cual induce sobre el embobinado que conforma el sensor y, por tanto, se genera una tensión inducida (E) [4].

La tensión inducida (E) vendrá dada por:

$$E = \mu N A \frac{dI}{dt} \quad (2.1)$$

donde μ es la permeabilidad magnética del núcleo, N el número de vueltas del embobinado, $\frac{dI}{dt}$ la intensidad que circula por el conductor medido en función del tiempo, y A [m²] el área de cada vuelta [3].

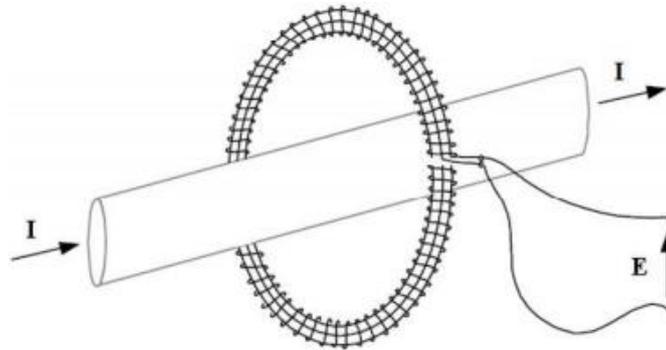


Figura 2.1. Configuración de un toroide con respecto al hilo principal.

La permeabilidad magnética de un material se obtiene a partir de su permeabilidad magnética relativa:

$$\mu = \mu_0 \mu_r \quad (2.2)$$

donde μ_0 es la permeabilidad magnética de vacío y μ_r la permeabilidad magnética relativa.

Existen muchos tipos de toroidales en el mercado, estando entre los más usados los toroidales de núcleo cerrado, toroidales Rogowski o los toroidales de núcleo abierto (ver Figuras 2.2, 2.3 y 2.4). La diferencia entre un toroidal de núcleo cerrado y un Rogowski está en el núcleo, siendo el del Rogowski de aire, otorgando a este tipo de toroidal mucha más flexibilidad a la hora de instalarlo. Los toroidales de núcleo abierto presentan las mismas características que los de núcleo cerrado, con la diferencia de poder dividir el toroidal en dos partes, pudiendo así colocar el toroidal en una instalación ya montada o en funcionamiento sin necesidad de desconectar los conductores de la línea eléctrica.



Figura 2.2. Toroidal Rogowski.



Figura 2.3. Toroidal de núcleo cerrado.



Figura 2.4. Toroidal de núcleo abierto.

Tanto los toroidales de núcleo cerrado como los de núcleo abierto suelen presentar, en la mayoría de los casos, una relación de transformación de $XA/5A$, siendo X el amperaje máximo registrado en la instalación, con un factor de sobredimensionamiento debidamente aplicado. En el secundario se presenta una intensidad máxima de 5A proporcional a la presente en el primario. En cuanto a los toroidales Rogowski, la relación de transformación máxima es de $XA/100mV$, donde se observa una tensión máxima en el secundario del toroidal de hasta 100mV producida por la inducción del conductor medido.

El toroidal de lectura debe conectarse después del magnetotérmico general de la instalación para que, en caso de salto de este, detectar con el sistema de medición la falta de corriente y enviar una alarma al usuario.

Analizador de energía

La solución a la que se ha recurrido en este proyecto para la digitalización de los datos recogidos por el sensor toroidal es el analizador de energía modelo EM210 de la empresa Carlo Gavazzi, el cual puede verse en la Figura 2.5.



Figura 2.5. Analizador de energía EM210.

Este analizador cumple de sobra con todas las funcionalidades requeridas: lectura de voltaje (V) y su tasa de distorsión armónica (%THDV), lectura de la intensidad (A) junto con su tasa de distorsión armónica en corriente (%THDI), cálculo de potencias, activa, reactiva y aparente (kW, kVAr, kVA), además de proporcionar un contador de energía consumida (kWh). También, presenta la posibilidad de comunicarse con él mediante MODBUS (RTU) a partir de un puerto RS485.

La instalación por medir es un hogar y, por tanto, en la mayoría de los casos, la medición se hará sobre una instalación monofásica con neutro, F+N. En la Figura 2.6, se muestra un diagrama donde se representa la conexión del primario del toroidal a la red y del secundario al analizador. El pin '10' y '9' del EM210 se conecta a fase y neutro, respectivamente, opcionalmente protegidos ante sobrecorrientes con un fusible cada uno.

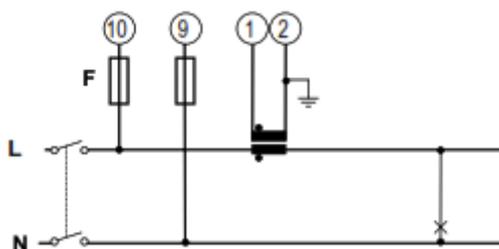


Figura 2.6. Conexión de toroidal y EM210 en la línea principal.

Algunos parámetros entregados por el analizador son calculados por este mediante las mediciones. Estos cálculos se realizan en base al siguiente formulario, obtenido del manual del EM210 [6]:

Tensión eficaz instantánea:

$$V_{1N} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (V_{1N})_i^2} \quad (2.3)$$

Potencia activa instantánea:

$$P_1 = \frac{1}{n} \sum_1^n (V_{1N})_i (I_i)_i \quad (2.4)$$

Factor de potencia instantáneo:

$$F.P. = \frac{P_1}{S_1} \quad (2.5)$$

Intensidad efectiva instantánea:

$$I_1 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (I_1)_i^2} \quad (2.6)$$

Potencia aparente instantánea:

$$S_1 = V_{1N} I_1 \quad (2.7)$$

Potencia reactiva instantánea:

$$Q_1 = \sqrt{(S_1)^2 - (P_1)^2} \quad (2.8)$$

Medición de energía:

$$kVArh_i = \int_{t_1}^{t_2} Q_i(t) dt \cong \Delta t \sum_{n_1}^{n_2} Q_{nj} \quad (2.9)$$

$$kWh_i = \int_{t_1}^{t_2} P_i(t) dt \cong \Delta t \sum_{n_1}^{n_2} P_{nj} \quad (2.10)$$

siendo i la fase considerada, t_1 y t_2 los tiempos inicial y final, n_1 y n_2 los puntos discretos inicial y final del registro.

El analizador EM210 no necesita alimentación adicional para funcionar, se alimenta directamente de la fase que mide. La conexión a fase de este dispositivo debe realizarse antes del magnetotérmico general para que, en caso de salto del magnetotérmico, no se apague el dispositivo y poder conocer, gracias al histórico, si el salto viene producido por una negligencia de la distribuidora eléctrica.

PLC (Programmable Logic Controller)

La solución elegida como controlador del sistema para el proyecto es el Flexy 201 de la empresa eWon (ver Figura 2.7). Este dispositivo es un router industrial con una unidad central de procesamiento (CPU) integrada capaz de realizar cálculos programados en BASIC IDE y con la disponibilidad de entradas y salidas digitales, en caso de ser necesarias. Además, cuenta con la posibilidad de añadirle tarjetas de expansión entre las que se incluyen la tarjeta de puertos digitales y analógicos adicionales, la tarjeta móvil 3G, la tarjeta cliente Wifi/WLAN (Wireless Local Area Network) y la tarjeta de puerto serie dual que incluye las interfaces RS232, RS485 y RS422. También dispone de una memoria interna de hasta 19 Mb (MegaBytes) para guardar los datos registrados y alojar la interfaz gráfica del proyecto. Todos los datos descriptivos del Flexy 201 vienen reflejados en el manual del dispositivo [14].



Figura 2.7. Base Flexy201.

La base Flexy se alimenta por corriente continua a 24V de tensión y consume hasta 2.5 amperios. Está compuesta por seis elementos principales mostrados en la Figura 2.8. '1' representa la zona de leds de estado. En '2' la base Flexy dispone de un botón de reinicio. '3' es un slot para tarjetas SD. '4' es el conector donde además de alimentar a 24V el Flexy, se encuentra el conector de tierra, dos entradas y una salida digitales. '5' son los cuatro slots para conectar las tarjetas de expansión a la base. '6' son cuatro puertos RJ45 ethernet que permiten al Flexy, entre otras opciones, actuar de switch.

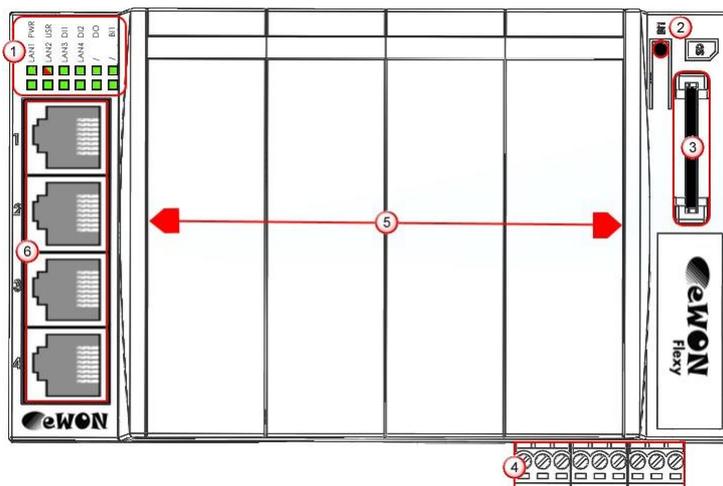
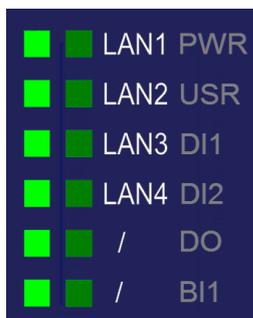


Figura 2.8. Principales elementos del Flexy201.

En el panel de leds de la base Flexy, representado en la Figura 2.9, los leds indican los estados del Flexy. Cada led indica un estado, definidos en la Tabla 2.1.



PWR	Encendido: Flexy alimentado
USR	Parpadeo: unidad OK Luz roja: mantenimiento requerido
DI1	Encendido: señal de entrada detectada en 1
DI2	Encendido: señal de entrada detectada en 2
DO	Encendido: salida encendida
BI1	Encendido: botón de reset siendo pulsado



LAN1	Actividad ethernet en puerto 1. Encendido: conexión ethernet correcta Parpadeo: tráfico en el ethernet
LAN2	Actividad ethernet en puerto 2.
LAN3	Actividad ethernet en puerto 3.
LAN4	Actividad ethernet en puerto 4.

Tabla 2.1. Leds de la base Flexy.

Figura 2.9. Distribución de los leds indicadores del Flexy201.

Para establecer la conexión entre el Flexy201 y el analizador de energía, se necesita la tarjeta de puertos serie dual, representada en la Figura 2.10, que facilita la comunicación a través de la interfaz RS485 siguiendo el protocolo Modbus (RTU) [11].



Figura 2.10. Tarjeta de expansión de puertos serie de eWon.

Esta tarjeta otorga la posibilidad al Flexy201 de conectarse y recopilar datos de dispositivos serie mediante las interfaces RS232, RS485, RS422. La tarjeta cuenta con dos puertos, siendo físicamente conectores DB9 (macho), de los cuales uno establece la conexión mediante RS232, mientras el restante permite RS232/485/422, debiendo, previamente, ser configurado físicamente por interruptores DIP para seleccionar el modo de conexión deseado. En la Tabla 2.2 se pueden ver las características más importantes de la tarjeta de expansión de puertos serie.

	Puerto RS232/485/422	Puerto RS232
Número de puerto	1	2
Modo físico	RS232/422/485, configurable por interruptor DIP	RS232
Conector	DB9 (macho)	
Temperatura de funcionamiento	Entre -25 y +70°C	

Tabla 2.2. Características de la tarjeta de puertos serie.

La disposición de la tarjeta Flexy de puertos serie viene representada en la figura 2.11. Siendo '1', el puerto serie configurable RS485/232/422, '2' el puerto RS232 no configurable, '3' los interruptores DIP que configuran la interfaz deseada en el puerto '1'. Finalmente, '4' es el conector a la base Flexy.

En el caso de este proyecto, se dará uso al puerto '1', teniendo que disponer, por tanto, los interruptores DIP en las posiciones mostradas en la figura 2.12, para seleccionar la interfaz deseada, RS485. Se cierran los interruptores del 1 al 4, dejando abiertos los interruptores 5 y 6.

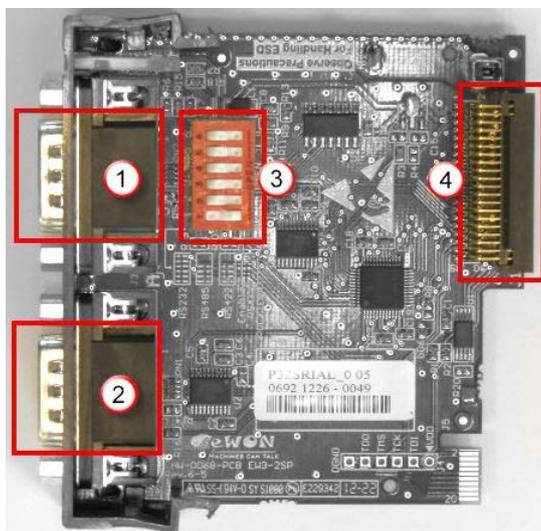


Figura 2.11. Elementos principales de la tarjeta de expansión de puertos serie.

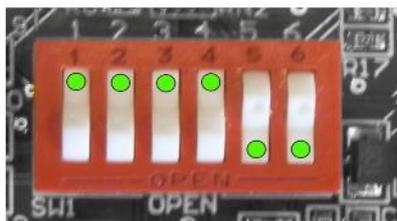


Figura 2.12. Interruptores DIP de la tarjeta de expansión de puertos serie.

La tarjeta de expansión de puerto serie, dispone de cuatro leds indicadores del estado de la conexión y la configuración de esta (ver Figura 2.13). El led '1' indica la actividad de transmisión y recepción de datos en el puerto 1. El led '2' se enciende si el puerto 1 está configurado en RS232, estando apagado en los demás casos. El led '3' se enciende si el puerto 1 está configurado para transmisión Half Duplex. El led '4' indica la actividad de transmisión en el puerto 2.

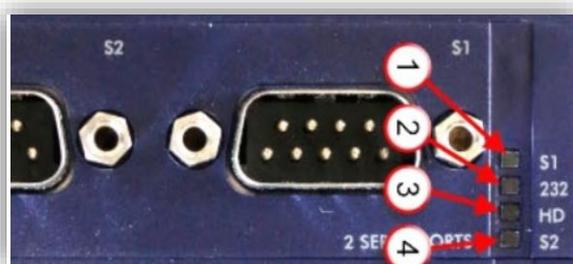


Figura 2.13. Leds indicadores de la tarjeta de expansión de puertos serie.

Router

Se necesita comunicar el dispositivo de control a la red online para disponer de los datos, mediciones y cálculos de manera remota. Se podría recurrir a la tarjeta móvil 3G que conecta el Flexy mediante una SIM a la red o, en otro caso, usar la tarjeta cliente Wifi/WLAN utilizando una red wifi disponible. Para este proyecto, se ha decidido como solución para la conexión de red, la tarjeta de expansión cliente Wifi/WLAN (ver Figura 2.14), ya que representa la manera más común de conexión en un hogar. Las características se podrán encontrar en el manual de instalación de la tarjeta de expansión Wifi/WLAN [13].



Figura 2.14. Tarjeta de expansión cliente wifi/WLAN de eWon.

La tarjeta cliente Wifi/WLAN optimiza el Flexy para que pueda establecer una conexión a la red mediante el punto de acceso WLAN (Wifi) que el usuario desee configurar. Esta tarjeta de expansión opera con el estándar 802.11 b/g/n, trabajando en la banda de 2.4GHz y en los canales de frecuencia del 1 al 11. Dispone de los sistemas de seguridad de cifrado Wireless Application Protocol (WPA2, WPA) y Wired Equivalent Privacy (WEP). En la Tabla 2.3 se indican las características más importantes de la tarjeta de expansión Wifi/WLAN.

Características de 802.11	
Versiones de IEEE	802.11 b/g/n Un solo flujo
Seguridad	WPA2, WPA y WEP
Radio	
Frecuencia	Canales: De 1 a 11 (ambos incluidos)
Hardware	
Temperatura de funcionamiento	De -25°C a +70°C

Tabla 2.3. Características de la tarjeta Wifi/WLAN.

En la figura 2.15 se aprecian las dos partes físicas más importantes de la tarjeta Wifi/WLAN. ‘1’ es un conector macho SMA de tipo F al cual se le conectará la antena de conexión inalámbrica. ‘2’ es el conector para la base Flexy.

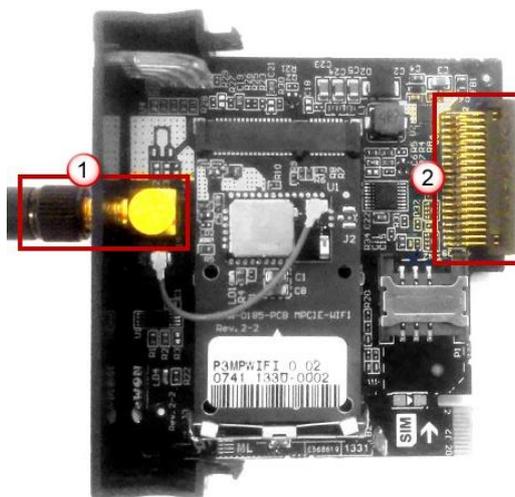


Figura 2.15. Elementos más importantes de la tarjeta wifi/WLAN

La tarjeta Wifi dispone de cuatro leds de los cuales el led ‘stat’ indica si el dispositivo se encuentra online. Los tres leds restantes alternan su encendido indicando la intensidad de la señal wifi.

2.3 Software

Introducción a la interfaz de configuración del Flexy201

En la interfaz de configuración del Flexy es donde se han realizado los ajustes de lectura, conexión a internet, definición de variables, escritura de código, etc.

En primer lugar, con el Flexy correctamente alimentado y encendido, se establece la conexión entre el PC (Personal Computer) y el Flexy por medio de un cable ethernet con interfaz RJ45. El PC debe tener su IP (Internet Protocol) en la subred 10.0.0.0 con mascara de subred 255.0.0.0, debido a que la IP predeterminada del Flexy es 10.0.0.53, pudiendo editarse esta desde su menú de configuración.

Después, se introduce la IP del Flexy (10.0.0.53) en el navegador web, abriéndose la página de seguridad que solicita el usuario y contraseña para poder entrar (ver Figura 2.16), siendo de manera predeterminada ‘adm’ y ‘adm’.

Una vez introducido el usuario y contraseña correctamente, se muestra la ventana ‘Resumen’, mostrada en la Figura 2.17, que indica la información del sistema, los estados de la conexión a internet, la conexión a la Red Privada Virtual (VPN) y las tarjetas de expansión conectadas, además de las configuraciones de KPI (key performance indicator) en caso de utilizarlas.

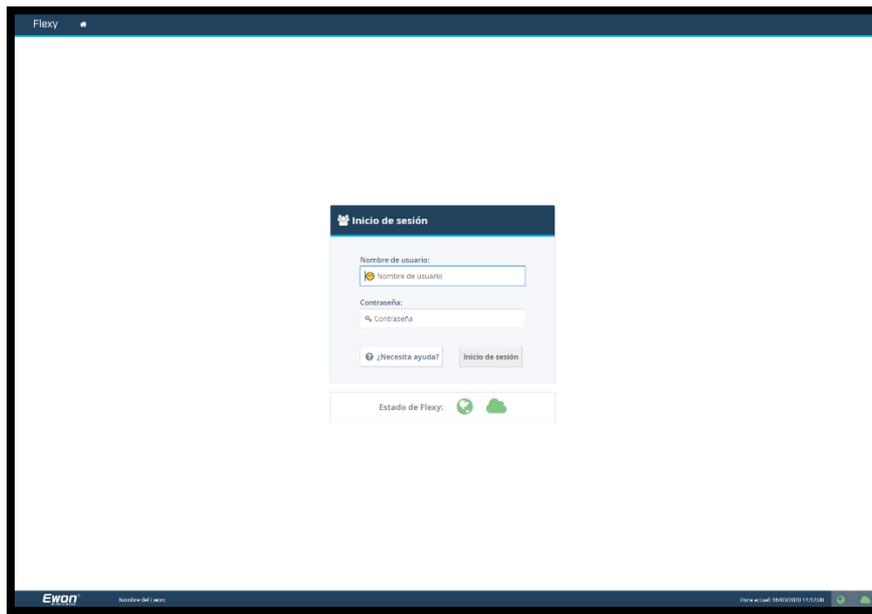


Figura 2.16. Ventana de login del Flexy201.

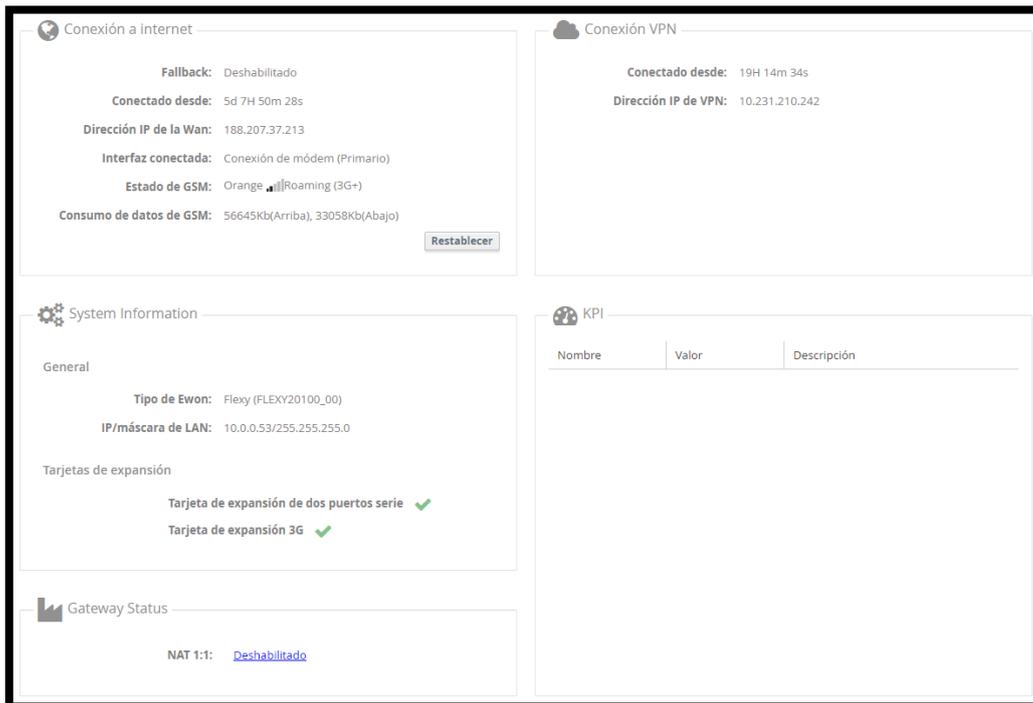


Figura 2.17. Ventana resumen del Flexy201.

En la parte izquierda de la interfaz se encuentra el menú de selección de las ventanas donde se encuentran las opciones, configuraciones y diagnósticos del dispositivo (ver Figura 2.18). En la Tabla 2.4 se indica la función de cada ventana de configuración del Flexy.

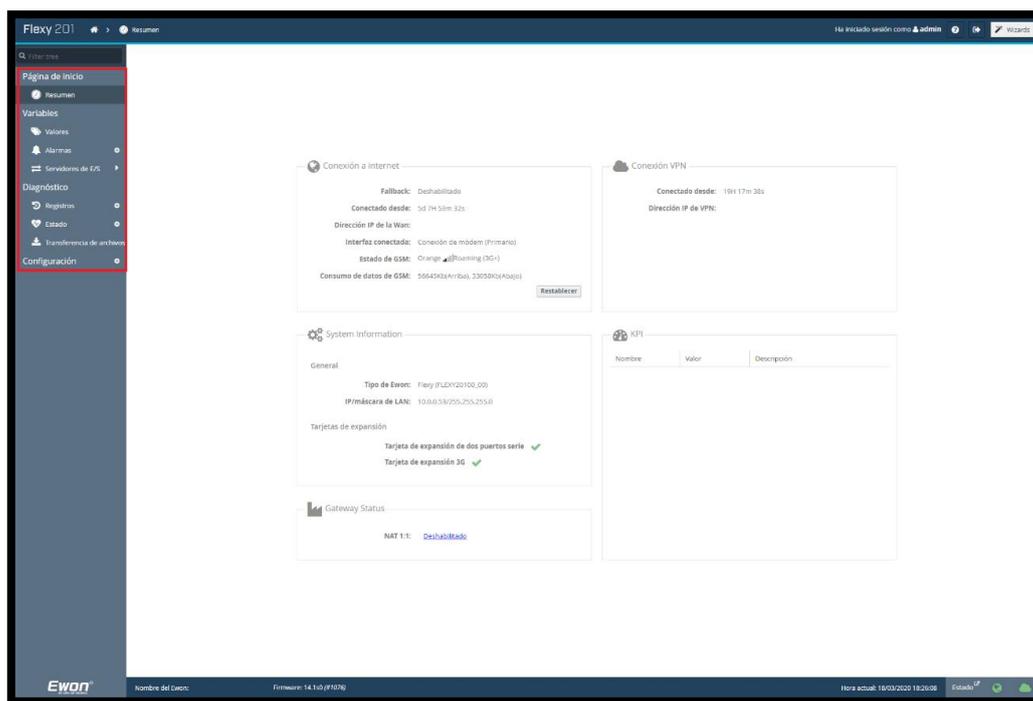


Figura 2.18. Menú de navegación del Flexy201.

Valores	Dentro de valores se encuentra la configuración de variables y la tabla con todas las configuradas.
Alarmas	Muestra el historial y resumen de las alarmas de variables producidas.
Servidores de E/S	Donde se realiza la configuración de adquisición de datos.
Registros	Lista de eventos producidos en el dispositivo donde se registra las advertencias o errores que puedan suceder.
Estado	Se visualizan datos del dispositivo, tales como información de la memoria, información del sistema y contadores de servidor.
Transferencia de archivos	Archivos de restauración de la configuración del dispositivo, variables guardadas, configuración de internet, alarmas, históricos, etc.
Configuración	Donde se encuentran todas las opciones de configuración del dispositivo.

Tabla 2.4. Ventanas de navegación del Flexy.

Configuraciones iniciales

En este apartado se va a explicar el funcionamiento de Talk2M y se mostrarán las configuraciones básicas e iniciales del Flexy201: configuración de sistema, configuración de usuarios, configuración de acceso a internet y VPN.

En la Figura 2.19 se indica como acceder al ‘Wizards’, situado arriba a la derecha, que permite entrar al asistente de configuración del sistema, internet, VPN y el puerto COM (ver Figura 2.20).

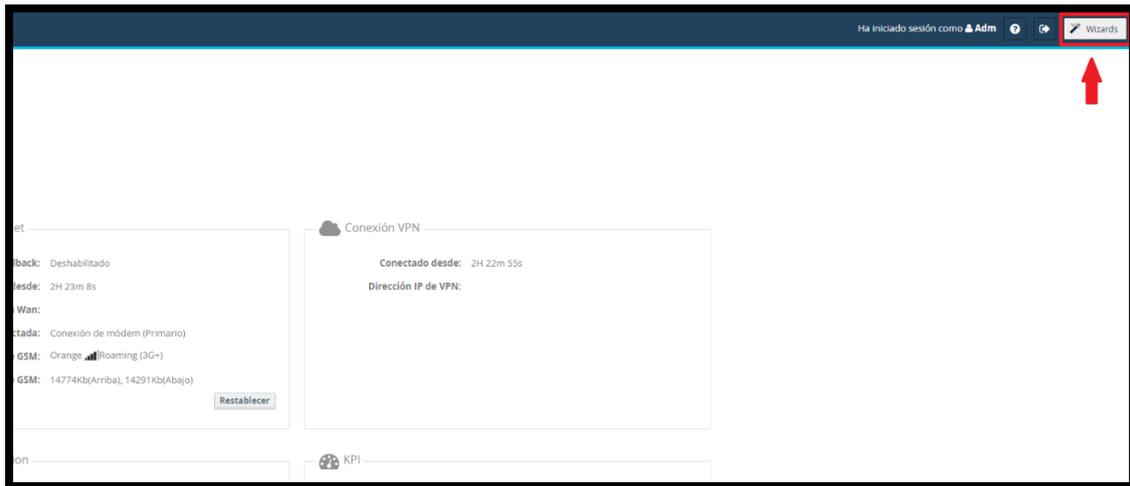


Figura 2.19. Botón de acceso al wizard.

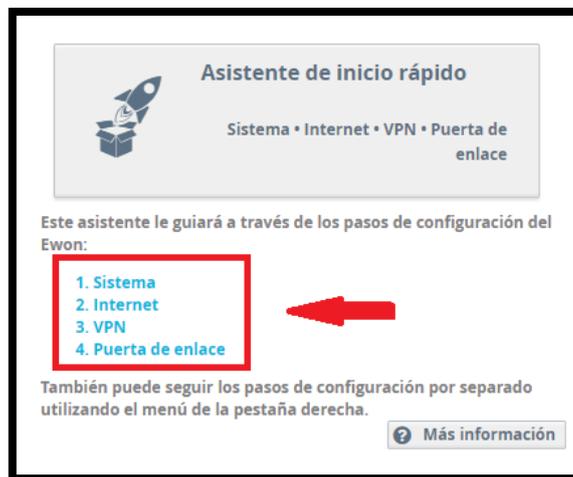


Figura 2.20. Wizards disponibles.

- *Configuración del sistema.* Seleccionando el asistente de configuración del sistema, la primera ventana mostrada permite configurar el nombre del dispositivo, usuario y contraseña del administrador. En este caso el nombre del dispositivo va a ser 'Flexy Laboratorio' y el usuario y contraseña de dejarán los predeterminados (ver Figura 2.21).

Pulsando en 'siguiente' la próxima ventana se muestra en la Figura 2.22 e indica las configuraciones de zona horaria, la actualización de reloj, la definición del servidor NTP (Network Time Protocol) que sincroniza el reloj automáticamente y los intervalos automáticos de supervisión de la hora. La zona horaria se configura para 'Europa/Madrid', con la actualización mediante servidor NTP activada, siendo el servidor el mismo proporcionado por eWon, 'ntp.talk2m.com'. El intervalo de actualización es el predeterminado, '1440' minutos.

Figura 2.21. Apartado de configuración del usuario del Flexy201.

aquí)' (For more information, see [here](#))."/>

Figura 2.22. Configuración del reloj del Flexy201.

- Configuración de internet. Para establecer la conexión a internet se debe configurar la tarjeta Wifi/WLAN de la siguiente manera. En primer lugar, en la configuración ‘wizards’ se selecciona la configuración de internet abriéndose la siguiente ventana. En ella se puede seleccionar la conexión mediante puerto ethernet por cable o la conexión por wifi para realizar la conexión de manera inalámbrica. En este caso se ha utilizado la conexión Wifi, como se puede ver en la figura 2.23

Figura 2.23. Selección de la interfaz de conexión wifi.

Una vez seleccionada el tipo de conexión wifi, el siguiente paso es elegir la conexión inalámbrica deseada e introducir su clave de acceso. En caso de estar oculta la SSID (Service Set Identifier) se puede introducir de manera manual. En la Figura 2.24 se puede ver la SSID seleccionada, y la contraseña de la red cifrada.

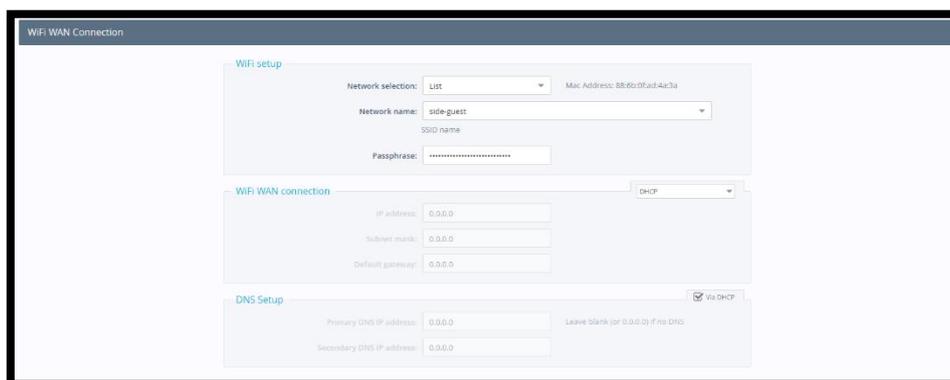


Figura 2.24. Selección de la conexión inalámbrica y clave de acceso.

Posteriormente, el Flexy comprueba y verifica la conexión para confirmar que la configuración se ha realizado de manera correcta (ver Figura 2.25).



Figura 2.25. Conexión inalámbrica establecida correctamente.

- **Configuración de la conexión VPN.** La configuración de conectividad del VPN se puede realizar mediante dos procedimientos, por eFive o Talk2m (ver Figura 2.26). El elegido para el proyecto, por ser el más sencillo y eficiente es Talk2M.

Talk2M es un servicio de conectividad seguro en la nube aplicado al uso industrial. Los dispositivos de eWon utilizan este servicio para conectarse remotamente a la red y poder acceder a ellos de una manera sencilla. Talk2M permite transmitir SMSs y correos y hacer auditorias de las conexiones. Además, dispone de un servicio de datos y alarmas, llamado DataMailbox, que otorga la posibilidad de administrarlos y almacenarlos en la nube alojada en los servidores de Talk2M. Estos históricos son gratuitos y temporales y se pueden consultar a través de una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API). Talk2M también dispone del servicio M2Web que permite al usuario conectarse al dispositivo remotamente con una solicitud de Protocolo seguro de transferencia de hipertexto (HTTPS) sin necesidad de realizar una conexión VPN. En la Figura 2.27 se muestra un esquema de como Talk2m aparece en un sistema de conectividad remota y de su importancia.



Figura 2.26. Configuración del tipo de conectividad del Flexy201.

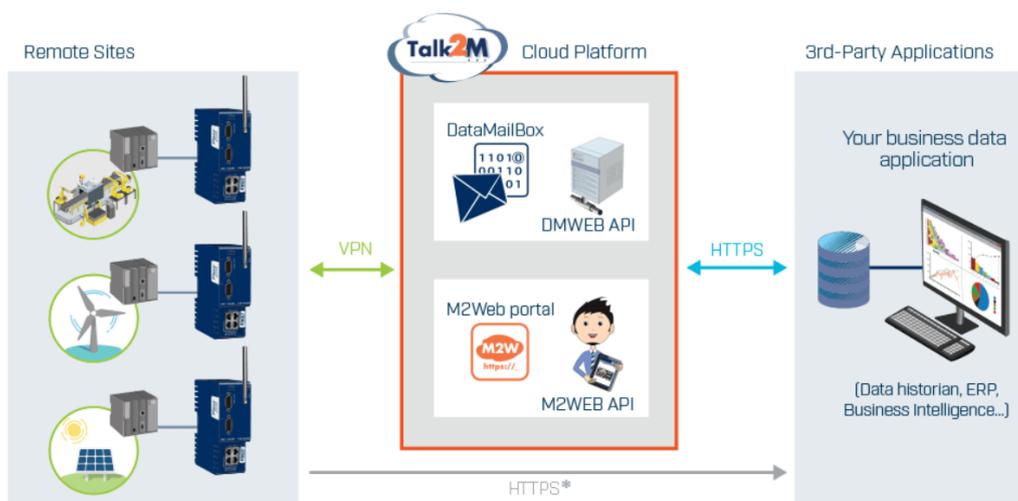


Figura 2.27. Esquema de sincronización de Talk2M.

Para poder conectar el Flexy mediante el servicio de Talk2M, primero se debe crear una cuenta en eCatcher, que es un software para Windows que permite gestionar la configuración VPN del Flexy. Primero hay que descargar e instalar eCatcher en la página de eWon, para después proceder a crear la cuenta de Talk2M en eCatcher, seleccionando “Crear una cuenta Free+”, como se indica en la Figura 2.28.

Al seleccionar “Crear una cuenta Free+” se abrirá una ventana, como la representada en la figura 2.29, para definir la nueva cuenta, en donde se introducen los datos obligatorios, nombre de la cuenta, nombre y apellidos de la persona, correo electrónico para la posterior activación y contraseña.

Después de crear la cuenta, el usuario debe activar esta mediante el enlace recibido en el correo electrónico. Una vez hecho esto, se procederá a configurar el dispositivo Flexy. Para ello, dentro de la aplicación de eCatcher se seleccionará la opción “añadir” (ver Figura 2.30).

Al seleccionar la opción “añadir” se abre una ventana emergente para comenzar a configurar el nuevo dispositivo, en la que se debe introducir el nombre de este y una descripción opcional, además del tipo de conexión, la cual para este proyecto será “permanente”, como se indica en la Figura 2.31.

Finalizado esto y con el nuevo dispositivo creado en eCatcher, se accede a las propiedades, como indica la figura 2.32, dónde estarán los datos de conectividad de Talk2M asignados.

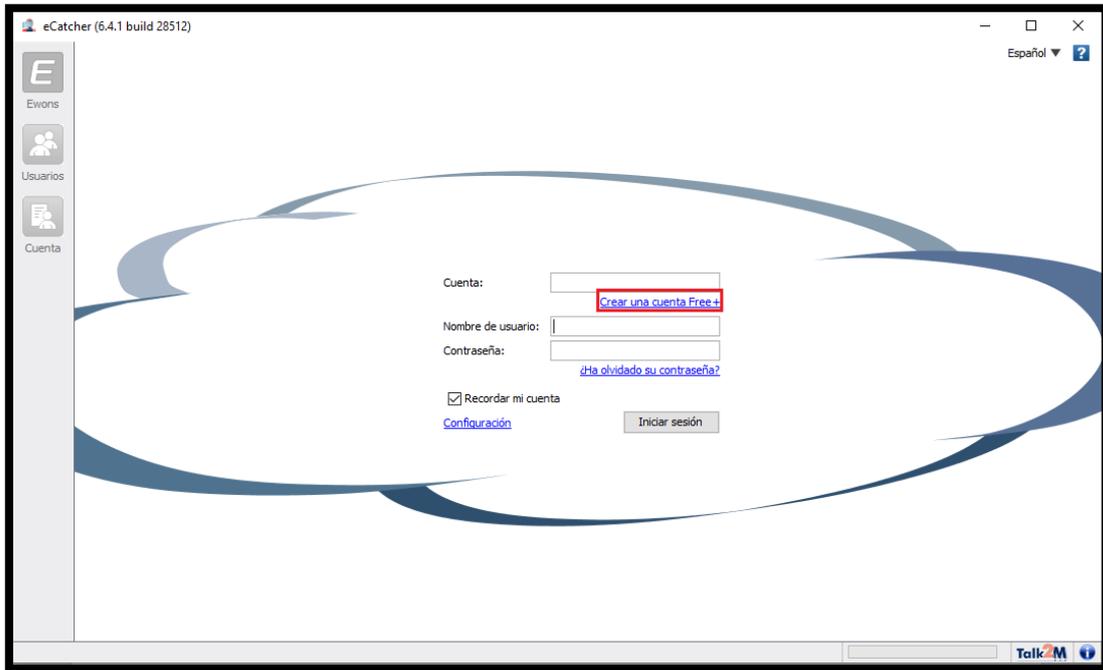


Figura 2.28. Acceso a la creación de una cuenta Free+ en eCatcher.

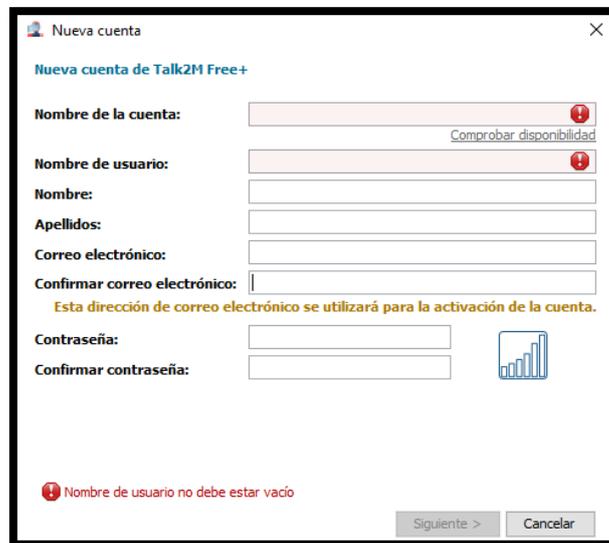


Figura 2.29. Datos de la nueva cuenta de Talk2M.



Figura 2.30. Ventana principal de eCatcher.



Figura 2.31. Configuración nuevo dispositivo eCatcher.

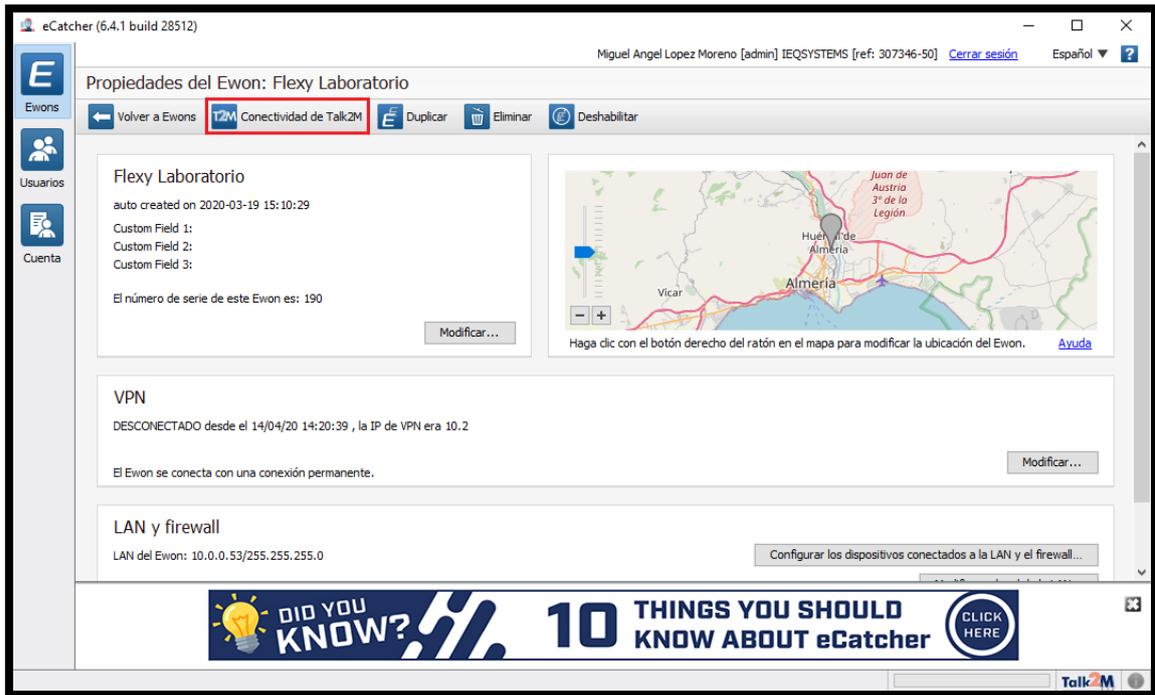


Figura 2.32. Ventana de propiedades del dispositivo en eCatcher.

En la ventana de conectividad de Talk2M, mostrada en la Figura 2.33, se muestra la clave de activación y el nombre que se deberán utilizar a la hora de configurar la conectividad VPN en el Flexy201.

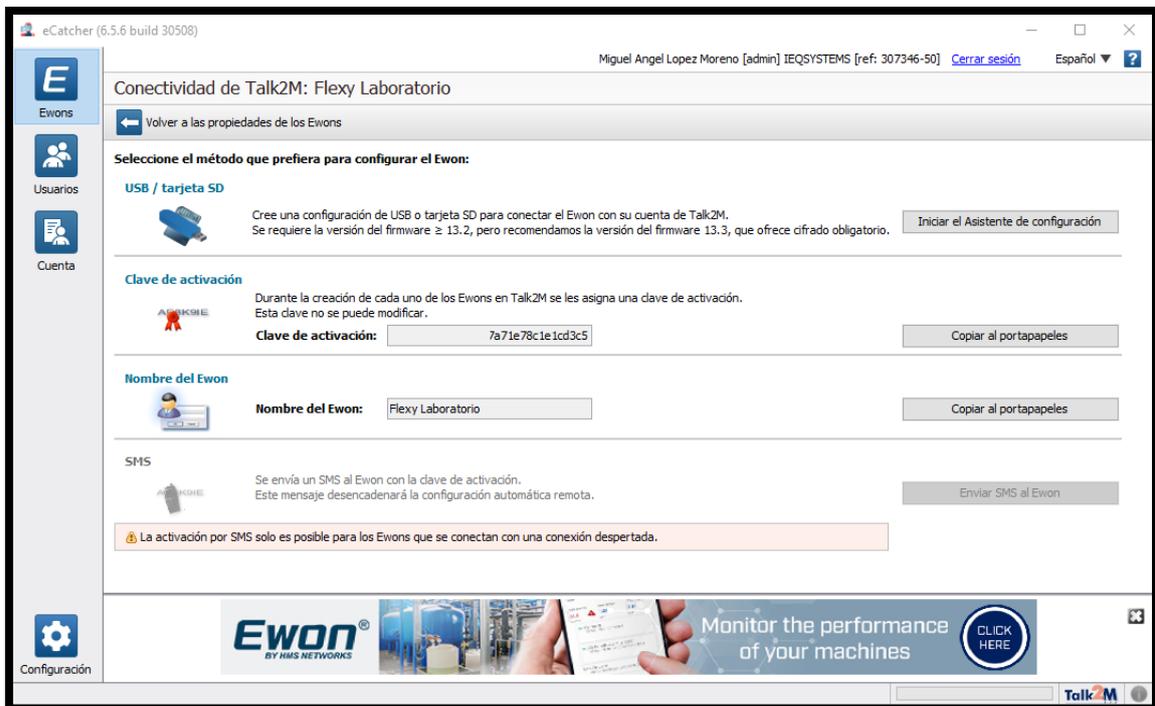
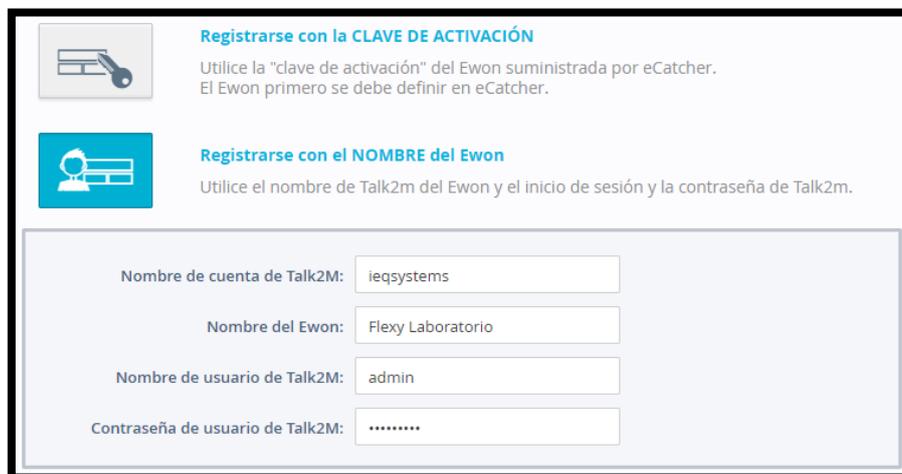


Figura 2.33. Ventana de los datos de conectividad de Talk2M del dispositivo.

En el Flexy, al elegir la conectividad de Talk2M, se puede configurar el dispositivo mediante la clave de activación asignada por eCatcher o el nombre del dispositivo el cual ya ha sido registrado previamente. En este caso se ha vinculado mediante en nombre del eWon (ver Figura 2.34).



The screenshot displays the configuration screen for Talk2M connectivity. It features two main registration paths:

- Registrarse con la CLAVE DE ACTIVACIÓN:** Utilice la "clave de activación" del Ewon suministrada por eCatcher. El Ewon primero se debe definir en eCatcher.
- Registrarse con el NOMBRE del Ewon:** Utilice el nombre de Talk2m del Ewon y el inicio de sesión y la contraseña de Talk2m.

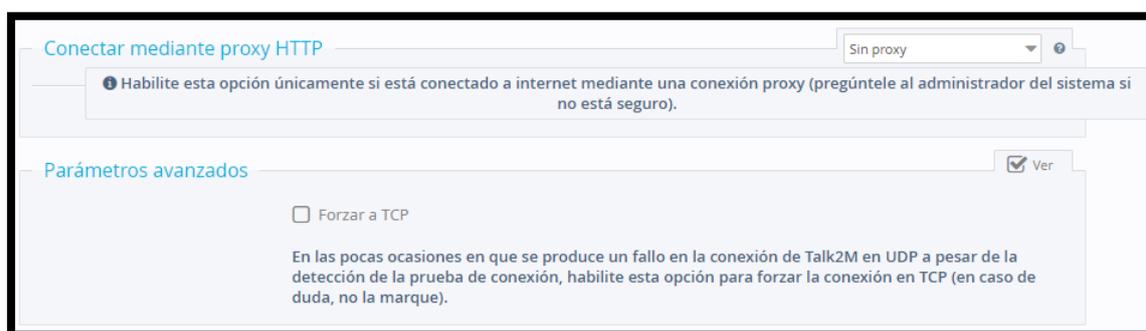
Below the registration options, there are four input fields with the following values:

- Nombre de cuenta de Talk2M: ieqsystems
- Nombre del Ewon: Flexy Laboratorio
- Nombre de usuario de Talk2M: admin
- Contraseña de usuario de Talk2M:

Figura 2.34. Configuración de la conexión a Talk2m.

El nombre de la cuenta es el registrado en Talk2M, el nombre del eWon es el asignado al dispositivo y el usuario y contraseña del Talk2M son los correspondientes a los creados en la aplicación de eCatcher previamente.

Al pulsar en 'siguiente' se dará la posibilidad de conectar mediante proxy y si se desea forzar la conexión en TCP (Transmission Control Protocol). La conexión deseada es sin proxy y sin forzar a TCP, como se puede ver en la Figura 2.35.



The screenshot shows the advanced configuration options for the connection:

- Conectar mediante proxy HTTP:** A dropdown menu is set to 'Sin proxy'. A note below states: "Habilite esta opción únicamente si está conectado a internet mediante una conexión proxy (pregúntele al administrador del sistema si no está seguro)." and there is a 'Ver' button.
- Parámetros avanzados:** A checkbox labeled 'Forzar a TCP' is currently unchecked. A note below explains: "En las pocas ocasiones en que se produce un fallo en la conexión de Talk2M en UDP a pesar de la detección de la prueba de conexión, habilite esta opción para forzar la conexión en TCP (en caso de duda, no la marque)." and there is a 'Ver' button.

Figura 2.35. Configuración de proxy y TCP.

Posteriormente, el Flexy prueba la conexión VPN, comprobando su correcta configuración y la ausencia de errores (ver Figura 2.36). Es un proceso que puede durar de diez segundos a doscientos cincuenta segundos. En caso de no existir errores y cumplir la conexión satisfactoriamente, el dispositivo realizará la conexión VPN siempre de manera automática después de la configuración.



Figura 2.36. Mensaje de conexión VPN correcta.

- **Configuración de Puerta de Enlace.** En la sección de puerto serie en la configuración de comunicación se debe seleccionar en el puerto 1 la opción “RX4xx*,Half Dup.*,Pol. ON*” (ver Figura 2.37) donde “RX4xx*” es configurado manualmente con los interruptores DIP, “Half Dup” establece como tipo de transmisión Half Duplex y “Pol. ON” establece de manera digital la polarización de los conectores A y B.

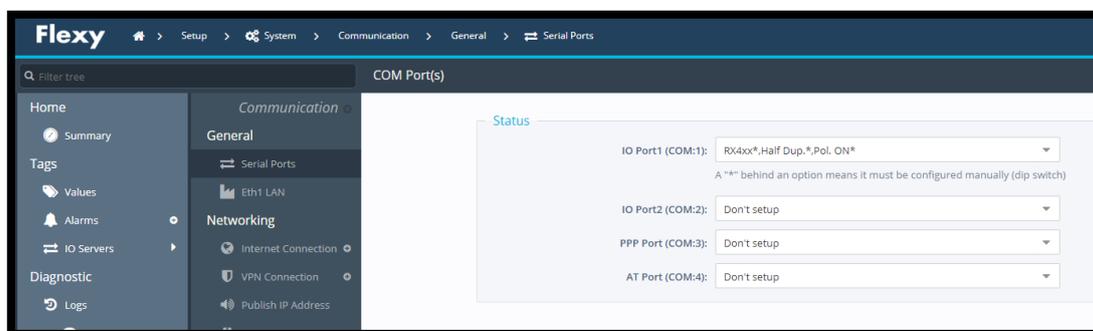


Figura 2.37. Configuración del puerto COM1.

Por último, en la ventana de servidores de E/S, mostrada en la Figura 2.38, se debe configurar las opciones del puerto, siendo estas el ratio de baudios, la paridad en el puerto a usar, los bits de parada, el tipo de transmisión y el tiempo de muestreo.

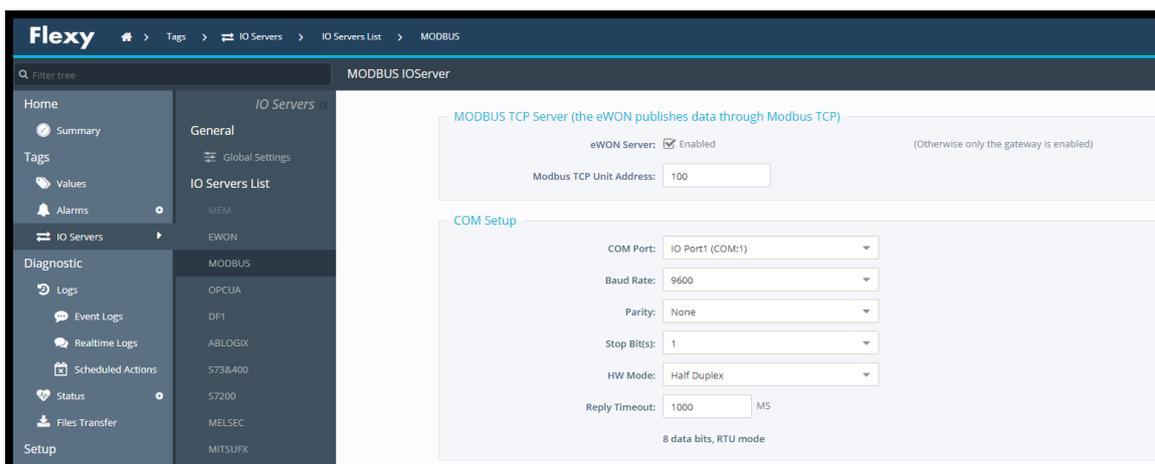


Figura 2.38. Configuración de los parámetros de conexión del COM1.

Protocolo de comunicación serie

La interfaz RS485 del analizador de energía EM210 soporta el protocolo de comunicación Modbus (RTU). Modbus (RTU) es un protocolo de comunicación entre PLCs que utiliza una codificación binaria y es el protocolo usado en este proyecto para comunicar el analizador y el Flexy201, gracias a su versatilidad y precisión a la hora de intercambiar datos entre dispositivos lógicos.

La conexión física debe ser entre el puerto 1 de la tarjeta de expansión de puertos serie de eWon y los pines 15, 16 y 17 del EM210.

- En el EM210 el pin 15 corresponde al terminal Modbus A- y el pin 16 al terminal Modbus B+, mientras el pin 17 es GND.
- La distribución de los pines del puerto serie del Flexy se representa en la Figura 2.39, siendo el pin 3 la conexión A+, el pin 5 la conexión GND y el pin 8 B- para la interfaz RS485.

Serial Interface (eWON Flexy 102 & 202)

Characteristic	Value				
Physical modes	RS232/422/485 (1500V galvanic isolation through the power supply isolation from ground)				
Polarization	330 Ω (if polarization & termination are activated)				
Termination	120 Ω (if polarization & termination are activated)				
SUBD9 male connector pinout (eWON side)	Pin #	RS232	RS485	RS422	
	1	-	-	-	
	2	RXD	-	Rx+	
	3	TXD	A+	Tx+	
	4	-	-	-	
	5	GND	GND	GND	
	6	-	-	-	
	7	RTS	-	Rx-	
	8	CTS	B-	Tx-	
9	-	-	-		

Figura 2.39. Interfaz serie de la tarjeta de comunicación serie.

La manera de establecer conexión entre los dos dispositivos se realiza conectando el terminal B+ del EM210 al pin 3 (A+) del eWon y el terminal A- del EM210 al pin 8 (B-) del eWon. Los pines correspondientes a GND se conectan entre ellos (ver Figura 2.40).

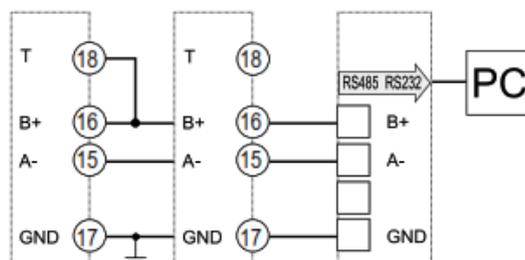


Figura 2.40. Diagrama de conexión entre Flexy y EM210.

El tipo de transmisión empleado es Half-Duplex siendo esta una circulación de datos en las dos direcciones, no simultánea. El ratio de unidades enviadas por segundo (Baudios) es de 9600 y los bits de paridad ninguno.

En el EM210 las direcciones Modbus son definidas de dos maneras, mediante dirección Modicom o dirección física. A la hora de implementar la lectura en el PLC se han definido las variables mediante la dirección Modicom. Las variables del analizador de energía vienen representadas en la Tabla 2.5, obtenida del manual de protocolo de comunicación de Carlo Gavazzi [7]:

Modicom address	Physical address	Length (words)	VARIABLE ENG. UNIT	Data Format	Notes
300001	0000h	2	V L1-N	INT32	Value weight: Volt*10
300003	0002h	2	V L2-N	INT32	
300005	0004h	2	V L3-N	INT32	
300007	0006h	2	V L1-L2	INT32	
300009	0008h	2	V L2-L3	INT32	
300011	000Ah	2	V L3-L1	INT32	Value weight: Ampere*1000
300013	000Ch	2	A L1	INT32	
300015	000Eh	2	A L2	INT32	
300017	0010h	2	A L3	INT32	Value weight: Watt*10
300019	0012h	2	W L1	INT32	
300021	0014h	2	W L2	INT32	
300023	0016h	2	W L3	INT32	Value weight: VA*10
300025	0018h	2	VA L1	INT32	
300027	001Ah	2	VA L2	INT32	
300029	001Ch	2	VA L3	INT32	Value weight: Var*10
300031	001Eh	2	VAR L1	INT32	
300033	0020h	2	VAR L2	INT32	
300035	0022h	2	VAR L3	INT32	Value weight: Volt*10
300037	0024h	2	V L-N Σ	INT32	
300039	0026h	2	V L-L Σ	INT32	
300041	0028h	2	W Σ	INT32	Value weight: Watt*10
300043	002Ah	2	VA Σ	INT32	Value weight: VA*10
300045	002Ch	2	VAR Σ	INT32	Value weight: Var*10
300047	002Eh	1	PF L1	INT16	Negative values correspond to exported active power, positive values correspond to imported active power Value weight: PF*1000
300048	002Fh	1	PF L2	INT16	
300049	0030h	1	PF L3	INT16	
300050	0031h	1	PF Σ	INT16	
300051	0032h	1	Phase sequence	INT16	The value 1 corresponds to L1-L3-L2 sequence, the value 0 corresponds to L1-L2-L3 sequence. The phase sequence value is meaningful only in a 3-phase system

Monitorización del estado energético aplicado al hogar

Modicom address	Physical address	Length (words)	VARIABLE ENG. UNIT	Data Format	Notes
300052	0033h	1	Hz	INT16	Value weight: Hz
300053	0034h	2	kWh(+) TOT	INT32	Value weight: kWh*10
300055	0036h	2	kvarh(+) TOT	INT32	Value weight: kvarh*10
300079	004Eh	2	kWh(-) TOT	INT32	Value weight: kWh*10
300091	005Ah	2	Hour counter meter	INT32	Value weight: hours*100
300093	005Ch	2	Hour counter meter neg	INT32	Value weight: hours*100
300131	0082h	2	THD(16h) A L1	INT32	Value weight: %*100
300133	0084h	2	THD(16h) A L2	INT32	Value weight: %*100
300135	0086h	2	THD(16h) A L3	INT32	Value weight: %*100
300137	0088h	2	THD(16h) V L-N Σ	INT32	Not available, value =0*
300139	008Ah	2	THD(16h) V1-N	INT32	Value weight: %*100
300141	008Ch	2	THD(16h) V2-N	INT32	Value weight: %*100
300143	008Eh	2	THD(16h) V3-N	INT32	Value weight: %*100
300145	0090h	2	THD(16h) V L-L Σ	INT32	Not available, value =0*
300147	0092h	2	THD(16h) V12	INT32	Value weight: %*100
300149	0094h	2	THD(16h) V23	INT32	Value weight: %*100
300151	0096h	2	THD(16h) V31	INT32	Value weight: %*100
300153	0098h	2	Neutral current (In)	INT32	Value weight: Ampere*1000

Tabla 2.5. Lista de variables del EM210.

De estas variables se han valorado cuales serían las necesarias para que un usuario estándar pueda obtener rendimiento de una aplicación inteligente, que le permita monitorizar su estado energético en casa y, a partir de ello, tomar decisiones para ahorrar energía en su hogar. Las variables a representar para cumplir eficientemente los objetivos del proyecto son la tensión fase-neutro, intensidad, potencia activa, frecuencia de red y los kWh de consumo acumulados, indicadas en la Tabla 2.6.

Dir. Modicom	Dir. física	Palabras	Variable	Formato	Notas
300001	0000h	2	V L1-N	INT32	Val: Volt*10
300013	000Ch	2	A L1	INT32	Val: Ampere*1000
300019	0012h	2	W L1	INT 32	Val: Watt*10
300052	0033h	1	Hz	INT16	Val: Hz
300053	0034h	2	kWh TOT	INT32	Val: kWh*10

Tabla 2.6. Lista de variable utilizadas en el proyecto.

Existe la posibilidad de añadir más variables, como valores de reactivas, factor de potencia y armónicos, pero hay que tener en cuenta que un usuario estándar sin conocimientos no va a requerir de estos valores para tomar decisiones de adecuación en su hogar.

3 Diseño y desarrollo del sistema

3.1 Diagramas de conexionado

Se ha realizado un estudio para obtener la manera más eficiente de conectar los dispositivos para cumplir el propósito del sistemas. Se ha desarrollado unos planos normalizados en AutoCAD representando el diagrama de conexión del sistema, dividiéndose este en tres partes principales:

- Conexionado de toroidales y analizador.
- Conexionado de la interfaz serie.
- Alimentación del Flexy 201.

Estos planos están incluidos en los Anexos, al final del documento.

3.2 Configuración de la lectura en el Flexy201

En primer lugar, en la interfaz del Flexy, se configuran los parámetros de lectura como se ha explicado en el apartado “Introducción a la interfaz de configuración del Flexy201” del punto 2.3, para poder tomar los datos que el analizador de energía entregará al PLC.

Una vez configurados los parámetros de lectura, se procede a crear las variables en el dispositivo. Para ello, en la interfaz del Flexy, en el apartado ‘valores’ y en modo ‘configuración’ se pulsará en ‘añadir’ abriendo así una subventana de configuración de variables (ver Figura 3.1).



Figura 3.1. Añadir nueva variable.

Se ha usado de ejemplo para explicar la creación de variables, la variable de tensión de fase ‘V L1-N’. La subventana de creación o modificación de variable viene representada en la Figura 3.2.

Figura 3.2. Configuración de la nueva variable.

El apartado ‘identificación’ permite asignar un nombre, una página y una descripción de variable (ver Figura 3.3 y Tabla 3.1).

Figura 3.3. Nombre, página y descripción de la variable.

Nombre de variable	Para asignar un nombre a la variable.
Página	Asigna la variable a una sección, la cual se puede ocultar para determinados tipos de usuarios. Predeterminado: Default.
Descripción de variable	Comentario del usuario para la variable.

Tabla 3.1. Identificación de variable.

En ‘Configuración del servidor E/S’ se introducen las direcciones, tipos de variable y ajustes de valor. En el caso de la tensión, la dirección introducida es “+300001” como venía indicada en la lista de variables del EM210. Posterior a la dirección se debe indicar la dirección del EM210, siendo utilizada en este caso la dirección ‘1’. En la Tabla 3.2 se describe la función de cada opción y en la Figura 3.4 se puede ver la configuración final para el ejemplo mostrado.

The screenshot shows a configuration window titled 'Configuración del servidor de E/S'. It contains several input fields and a checkbox. 'Nombre del servidor' is set to 'MODBUS' and 'Nombre de Topic' to 'A'. The 'Dirección' field contains '+300001,1'. 'Tipo' is set to 'Coma flotante' and 'Unidad' to 'No hay ninguna'. The 'Ewon valor' field is set to '0.1' followed by a plus sign and '0'. The 'Forzar solo lectura' checkbox is checked.

Figura 3.4. Configuración del servidor de E/S

Nombre del servidor	Permite configurar el servidor de enlace a la variable, ya sea un PLC Siemens, la tarjeta de E/S de eWon, etc. En este caso el servidor enlaza mediante Modbus.
Nombre de Topic	Predeterminado: A.
Dirección	Define la dirección de la variable y la dirección Modbus del esclavo. En este caso, la dirección de la variable de tensión de fase es ‘+300001’ y la del analizador de energía la ‘1’.
Tipo	Aplica el tipo de variable, ya sea booleana, entera, de coma flotante, etc. La variable creada es de tipo ‘coma flotante’.
Forzar solo lectura	Activar en caso de ser una variable de solo lectura, como es este caso.
Ewon valor	Aplica un cálculo a la lectura, mostrando como variable el resultado de este cálculo. En el caso de esta variable la lectura del voltaje es ‘Volt*10’ por lo que se le aplica un producto de la lectura por ‘0.1’ para obtener la tensión real.

Tabla 3.2. Configuración del servidor de E/S.

El Flexy201 tiene la posibilidad de configurar un registro histórico de variables, guardado en su memoria interna, que permite la descarga de un archivo .csv que contiene el valor de las variables con un tiempo de muestreo previamente configurado. Se ha configurado un periodo de muestreo de ciento veinte segundos (dos minutos) y un registro de banda muerta nulo, como se indica en la Figura 3.5.

Figura 3.5. configuración del registro histórico de la variable.

En el apartado de ‘visibilidad de variable’, mostrado en la Figura 3.6, sólo se configurará el grupo deseado para la variable. Esta variable se asignará al grupo A.

Figura 3.6. Últimas configuraciones de la variable.

3.3 Normalización de las lecturas

Muchas de las variables que el analizador EM210 entrega por protocolo Modbus tienen un formato INT32, el cual, ocupa dos direcciones Modicom para definir una variable, puesto que cada dirección son 16 bits y una variable INT32 requiere de 32 bits para ser leída. En la tabla 3.3, obtenida del manual de comunicación del EM210, se muestran los formatos usados por el dispositivo junto con el tipo que corresponde y los bits requeridos en cada uno.

Format	IEC data type	Description	Bits	Range
INT16	INT	Integer	16	-32768 .. 32767
UINT16	UINT	Unsigned integer	16	0 .. 65535
INT32	DINT	Double integer	32	-2 ³¹ .. 2 ³¹
UINT32	UDINT	Unsigned double int	32	0 .. 2 ³² -1
UINT64	ULINT	Unsigned long integer	64	0 .. 2 ⁶⁴ -1
IEEE754 SP		Single-precision floating-point	32	-(1+[1 -2 ⁻²³])x2 ¹²⁷ .. 2 ¹²⁸

Tabla 3.3. Descripción de los tipos de variable entregadas por el EM210.

El formato más común usado por el EM210 a la hora de enviar las variables es el INT32. Este formato es un ‘Double Integer’ (DINT) de 32 bits formado por un ‘integer’ (INT16) para la dirección de mayor peso y por un ‘Unsigned Integer’ (UINT16) para la dirección de menor peso.

Al leer las dos direcciones que entrega el analizador, se debe tener en cuenta el orden de estas, el cual es definido en el protocolo de comunicación del analizador, siendo ‘LSW’ la de mayor peso y ‘MSW’ la de menor peso:

“For all the formats the byte order (inside the single word) is MSB->LSB. In INT32, UINT32 and UINT64 formats, the word order is LSW-> MSW.” [7]

Para implementar la lectura en el Flexy se debe crear una variable cuyo servidor elegido sea ‘MODBUS’ y en la dirección se debe introducir la correspondiente a la variable deseada, ej. para la intensidad es ‘+300013’. Si la variable tiene un formato INT32 se le añadirá una letra ‘L’ a la dirección, que indica que la variable contiene signo y la forman las dos direcciones consecuentes, siendo la primera la de menor peso. En caso de que la variable tuviese un formato INT16, la letra añadida a la dirección es la ‘I’ indicando que son 16 bits con signo (ver Figura 3.7).

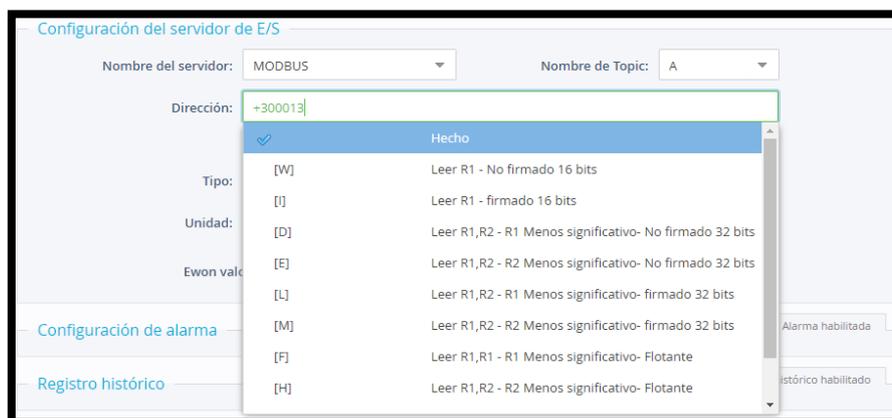


Figura 3.7. Dirección leída en el Flexy.

En el Flexy201 los tipos de variables implementables son ‘Floating Point’, ‘Boolean’, ‘Integer’, ‘DWord’ y ‘String’. El tipo de variable seleccionada en el Flexy, para los datos recogidos del analizador, debe ser ‘Floating Point’ o ‘Coma Flotante’ el cual tiene en cuenta los decimales de la variable. En el valor de eWon a mostrar se le aplicará la corrección que se indica en la tabla de variables del protocolo de comunicación del EM210, siendo para el ejemplo de la intensidad un producto de ‘0.001’ por la variable leída para corregir la lectura la cual es ‘Ampere*1000’ (ver Figura 3.8).

Figura 3.8. Configuración de la dirección en el Flexy.

3.4 Creación de variables internas

Las variables internas del Flexy son variables creadas para usarlas en los cálculos en el basic IDE. Estas variables pueden ser de todos los tipos, al igual que las variables de lectura o las enlazadas con un PLC. En este proyecto se han usado para realizar los cálculos en el Basic IDE, además de para configurar algunas opciones de la interfaz con ellas, como la hora de las tarifas o la activación de las alarmas deseadas por el usuario.

Para acceder a la configuración de una variable interna se realiza de la misma manera que para las variables de lectura. Una vez dentro de la configuración de una nueva variable lo más importante a tener en cuenta es la configuración del apartado de *Configuración del servidor de E/S*. En el “nombre del servidor” se selecciona ‘MEM’ para indicar la variable como interna del Flexy, en “nombre de Topic” se debe configurar la opción como “RET” para que, en caso de reinicio del Flexy, la variable esté guardada en el último valor y este no se pierda. En dirección no se introduce ningún valor, ya que automáticamente aparecerá el mismo nombre de la variable. El tipo de variable es el que corresponda para el uso que vaya a tener esta, estando entre los disponibles los tipos booleano, coma flotante, entero, DWord y cadena. En la Figura 3.9 puede verse la configuración de la variable interna ‘kWh_mes’.

Figura 3.9. Configuración del servidor de E/S para una variable interna.

3.5 Exportación de los históricos

Para poder exportar el histórico en .csv se requiere seguir los procedimientos explicados en este apartado. En primer lugar, se debe generar un enlace de exportación el cual se configurará en el *Export Block Descriptor Helper* (ver Figura 3.10), disponible en la página de soporte técnico de eWon [8].



Figura 3.10. *Export Block Descriptor Helper*.

Una vez en la página donde se generará el enlace de exportación, lo primero será seleccionar el *Data Type* siendo este ‘Historical Table’. Al aplicar el tipo de dato, aparecerán las distintas opciones por configurar, mostradas en la Figura 3.11.

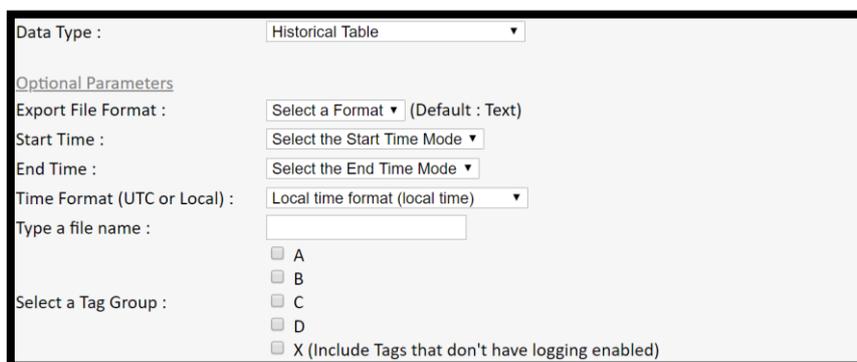


Figura 3.11. *Parámetros del enlace*.

Finalmente, configuradas las opciones de exportación, el programa generará automáticamente el enlace para descargar el archivo .csv con el registro histórico. A este enlace se le deberá añadir al comienzo el prefijo del protocolo de transferencia de hipertexto ‘http://’, seguido de la IP del Flexy y el enlace generado: ‘/rcgi.bin/ParamForm?AST_Param=’.

La configuración para realizar la exportación en formato .csv y de las variables deseadas se ha realizado de la manera mostrada en la Tabla 3.4. En la Figura 3.12 se indica la configuración de un histórico en formato .csv del grupo A de variables del Flexy, de un tiempo de veinticuatro horas.

Opción	Configuración
Export File Format	El formato seleccionado es 'Text'.
Start Time	Para una exportación de los datos de las últimas veinticuatro horas, por ejemplo, se seleccionará 'Relative Time' y 24 horas.
End Time	El tiempo final se introducirá de manera relativa hace un segundo para evitar conflictos en los periodos del Flexy.
Time Format	Se configurará como 'Local Time Format'
Type a file name	En esta opción se escribirá el nombre deseado para el archivo descargado, acabado siempre en .csv
Select a Tag Group	Se seleccionará el grupo de variables del cual se realizará la descarga del histórico del Flexy.

Tabla 3.4. Configuración del Export Block.

Figura 3.12. Ejemplo de creación de enlace de exportación.

El enlace final para el ejemplo explicado es el siguiente:

[http://10.0.0.53/rcgi.bin/ParamForm?AST_Param=\\$dtHT\\$ft\\$et_s1\\$st_s86400\\$flA\\$fn24_hora.s.csv](http://10.0.0.53/rcgi.bin/ParamForm?AST_Param=$dtHT$ftet_s1st_s86400flAfn24_hora.s.csv)

3.6 Diseño del código en Basic IDE

En el apartado de ‘configuración’ de la interfaz del Flexy 201, se encuentra la sección ‘BASIC IDE’ (ver Figura 3.13) donde se ha implementado el algoritmo en lenguaje Basic que permite al dispositivo codificar las lecturas eléctricas, calcular las tarifas, los consumos y configurar las alarmas. Todos los comandos y nociones de programación en Basic IDE vienen explicados en la guía de programación de HMS Industrial Networks SA [16].



Figura 3.13. Acceso al BASIC IDE.

Al acceder al Basic IDE se presentan dos secciones distintas en donde poder introducir el código. La primera sección es la “Cyclic Section” la cual se ejecuta con cada ciclo del procesador, por lo que la velocidad de ciclo es extremadamente rápida y, por tanto, no es conveniente utilizar para introducir el código ya que puede sobrecargar los procesos del Flexy y saturar su funcionamiento. La sección idónea en la que diseñar el código en Basic es la “Init Section”, la cual se ejecuta una única vez cuando se inicia el dispositivo.

El lenguaje Basic dispone de comandos que permiten la ejecución de los bloques, los cuales son llamados por un suceso o por una ejecución cíclica de un tiempo determinado. Los comandos usados en el código para ejecutar un bloque o función son mostrados en la Tabla 3.5.

TSET E1,E2	El comando <i>TSET</i> ejecuta cada tiempo E2, medido en segundos, un temporizador E1, el cual llama a un bloque X mediante el comando <i>ONTIMER</i> y <i>GOTO</i> .
ONTIMER E1,”GOTO X”	
ONALARM S1,”GOTO X”	Inicia el bloque X cuando se produce una alarma en la variable S1.
ONCHANGE S1,”GOTO X”	Si se produce un cambio en la variable S1, se llama al bloque X mediante la orden <i>GOTO</i> .
ONDATE I1,S1,”GOTO X”	Una variable S1 de tipo string define la hora a la que se ejecutará la entrada I1, y llamará al bloque X.
SENDMAIL S1,S2,S3,S4	Comando para ejecutar un envío de email, donde S1 es la dirección de correo electrónico a la que enviar el mail, S2 son direcciones en copia, S3 el asunto del mail y S4 el contenido.

Tabla 3.5. Comando de ejecución de los bloques en Basic.

Envío de alarmas

El sistema que se desea diseñar debe tener la capacidad de avisar al usuario cuando se sobrepasen límites de consumo, valores inapropiados de variables o previsiones de gasto en la factura. Esto se ha realizado mediante un sistema de alarmas programadas que avisan al usuario por e-mail. El método de programar estas alarmas es sencillo y simple gracias a la interfaz del Flexy.

Antes de diseñar el código en el Basic IDE se deben configurar los sets de alarma y la activación de estas en cada variable deseada, en la opción de alarmas de la configuración de variables (ver Figura 3.14). En caso de este proyecto se desean configurar alarmas para valores demasiado bajos o altos en las variables, para ello se introduce el límite del valor en las opciones de ‘Nivel de alarma bajo’ y ‘Nivel de alarma alto’. Para variables booleanas la activación de alarma para nivel bajo o nivel alto se hará en la opción de ‘Nivel de alarma booleano’. También existe una opción llamada ‘Retardo de activación’ que configura un retardo para activar la alarma en caso de que el valor sobrepase los límites establecidos durante los segundos indicados en esa opción.

Figura 3.14. Configuración de alarma de variable.

El usuario tiene la posibilidad en la interfaz de activar las alarmas que desee y, por tanto, en caso de activar las alarmas para una determinada variable se le avisará con un mail si los valores se alejan de los rangos establecidos por el REBT [2]. En este proyecto la única variable para la que se reciben avisos en caso de no cumplir con la norma es la tensión de fase, la cual debe ser de 230V sin alejarse más de un 10% de ese valor. También el usuario podrá configurar avisos cuando el consumo energético o económico supere unos límites establecidos por este.

Se debe configurar un email donde recibir las notificaciones cuando se sobrepasen esos valores. Para ello se recurre en el Basic IDE a los comandos *ONALARM* para ejecutar un bloque con la activación de las alarmas y *SENDMAIL* para el envío de un mail a la dirección guardada en una variable de tipo string. A continuación, se muestra cómo sería la configuración de la notificación en el Basic IDE para la variable de tensión, donde *AlarmaTension* es la variable booleana que el usuario ha activado en la interfaz en caso de querer recibir notificaciones de esa variable y *email* el string que contiene la dirección de correo electrónico introducida por el usuario en la aplicación:

```

ONALARM "Tension","GOTO BloqueTension"

BloqueTension:

If AlarmaTension@ = 1 THEN

    SENDMAIL email@,"","Anomalía en la Tension","Valores se encuentran fuera de la norma"

ELSE

ENDIF

END

```

Para los avisos de gasto energético y económico se pretende que el usuario pueda definir los límites de alarma. Para ello se han tenido que crear variables internas en el Flexy que definen esos límites. Las alarmas disponibles para ser configuradas por el usuario son cinco, potencia instantánea, energía consumida semanal, energía consumida mensual, gasto económico semanal y gasto económico mensual. Para definir estas alarmas en el BASIC IDE se ha recurrido al comando ONCHANGE, el cual al detectar una actualización en la variable ejecuta una función donde se revisa mediante una condicional si la variable supera el límite que el usuario ha establecido. Por ejemplo, para los kWh consumidos semanales, el usuario define un límite que se guarda en la variable *setkWh_semana*. Este límite se compara con el valor actual de consumo semanal y si es mayor se ejecuta el comando SENDMAIL que enviara un mail al usuario notificando que se ha superado el consumo de kWh semanales que el usuario deseaba. La variable *alarmakWh_semanaEnviada%* es usada para confirmar que se ha enviado la notificación y, así, no enviar un correo con cada ONCHANGE que se ejecute, de no ser así, se enviarían mails cada dos segundos notificando la misma alarma.

```

ONCHANGE "kWh_semana","GOTO alarmakWh_semana"

ONCHANGE "setkWh_semana","GOTO alarmakWh_semana"

alarmakWh_semana:

If (kWh_semana@ > setkWh_semana@) AND (AlarmaWhsemana@ = 1) THEN

    IF alarmakWh_semanaEnviada% = 0 THEN

        SENDMAIL email@,"","Consumo semanal por encima del deseado","Ha superado los valores
deseados de consumo semanal"

        alarmakWh_semanaEnviada% = 1

    ENDIF

ELSE

    alarmakWh_semanaEnviada% = 0

ENDIF

END

```

Cálculo del gasto energético

El algoritmo de cálculo energético pretende calcular los kWh instantáneos y los consumidos durante periodos semanales y mensuales [5]. Los kWh instantáneos son actualizados cada dos minutos, haciendo la diferencia de la energía activa medida en un momento menos la energía activa medida en el momento anterior, dos minutos atrás. Posteriormente, a esa diferencia se le aplica el producto de la división sesenta minutos entre dos minutos (treinta), obteniendo así el valor de la energía consumida instantánea cada dos minutos.

$$kWh_{inst.} = (kWh_t - kWh_{t-2min}) \cdot 30 \quad (3.1)$$

donde kWh_{inst} son los kWh consumidos instantáneamente, kWh_t es la energía medida consumida actual y kWh_{t-2min} la energía consumida dos minutos atrás.

Para calcular los kWh acumulados durante la semana y el mes, se van sumando cada dos minutos los kWh obtenidos durante el periodo correspondiente a siete días de la semana o el mes. Este valor acumulado se reinicia a la primera hora del lunes para el cálculo semanal y a la primera hora del primer día de todos los meses. En los bloques donde se reinicia el valor de los kWh semanales y mensuales acumulados, también se guarda el valor total en otra variable para indicar en la interfaz los valores de energía consumida la semana y mes anterior y realizar un comparativo con la actual.

Los cálculos en el algoritmo se aplican en el bloque *calculokWh* el cual es llamado cada ciento veinte segundos (dos minutos) mediante los comandos *TSET* y *ONTIMER*. El reinicio del valor acumulado semanal y mensual se produce en los bloques *kwhMES* y *kwhSEMANA* ejecutados mediante el comando *ONDATE*.

La función *horas* se ejecutará cuando se produzca una modificación, por parte del usuario, del horario de las tarifas, con el comando *ONCHANGE*. Por tanto, en *horas* se actualizarán los comandos *ONDATE* que definen los horarios.

El uso del comando *ONDATE* para ejecutar un bloque se realiza teniendo en cuenta la configuración del string que contiene la información de la hora de ejecución siendo esta de la forma “*mm hh dd MMM DDD*”. En la tabla 3.6 se indican los valores necesarios para formar el string a usar con el comando *ONDATE*

mm	Es el parámetro de los minutos. Es un número entre 0 – 59
hh	Parámetro de la hora. Número entre 0 – 23.
dd	Día del mes. Número entre 1 – 31.
MMM	Indica el mes del año. Número entre 1 – 12. Se puede indicar con la abreviación del mes en inglés (jan, feb, mar, apr, may, jun, jul, aug, sep, oct, nov, dec).
DDD	Es el día de la semana. Número entre 1 – 7. También se puede indicar con la abreviación en inglés (mon, tue, wed, thu, fri, sat, sun).

Tabla 3.6. String del comando *ONDATE*.

```

TSET 1,120
ONTIMER 1, "GOTO calculokWh"
horas:
string1$ = minuto1@ + " " + hora1@ + " * * *"
string2$ = minuto2@ + " " + hora2@ + " * * *"
ONDATE 1,string1$, "GOTO tarifanoche"
ONDATE 2,string2$, "GOTO tarifadia"
ONDATE 3, "1 0 1 * * *", "GOTO kwhMES"
ONDATE 4, "1 0 * * mon", "GOTO kwhSEMANA"
END
    
```

```

calculokWh:
kWh_minutos@ = kWh@ - kWh_inst_anterior@
////////// Calculo kWh instantáneo //////////
kWh_inst@ = kWh_minutos@ * 30
////////// kWh actual semanal //////////
kWh_semana@ = kWh_minutos@ + suma_kWh_semanal@
suma_kWh_semanal@ = kWh_semana@ + 0
////////// kWh actual mensual //////////
kWh_mes@ = kWh_minutos@ + suma_kWh_mes@
suma_kWh_mes@ = kWh_mes@ + 0
//////////
kWh_inst_anterior@ = kWh@ + 0
END
kwhMES:
kWh_mes_anterior@ = kWh@ - set_kWh_mes@
set_kWh_mes@ = kWh@ + 0
//////////
suma_kWh_mes@ = 0
END
kwhSEMANA:
kWh_semana_anterior@ = kWh@ - set_kWh_semana@
set_kWh_semana@ = kWh@ + 0
//////////
suma_kWh_semanal@ = 0
END
    
```

Cálculo de los gastos económicos

Para realizar los cálculos del gasto económico diario, el usuario introducirá en la aplicación el valor de la tarifa de día y la tarifa de noche, además de las horas a las que se aplican. Después, se toman los kWh acumulados del día y se multiplican por el valor del €/kWh introducido, variando este valor en base a la tarifa aplicada, para sumar las dos tarifas posteriormente y obtener el gasto total diario. Para obtener los gastos acumulados durante la semana y el mes se suma una vez al día el gasto diario al anterior acumulado y guardando el valor en una variable semanal y otra mensual, aplicando un reinicio los lunes a primera hora para la variable semanal y los días uno del mes a primera hora para la variable mensual del gasto acumulado.

En el programa de Basic se utilizan dos bloques correspondiendo cada uno a una respectiva tarifa y siendo llamados a la hora que introduzca el usuario. En este algoritmo se recurre al comando, comentado anteriormente, *ONCHANGE* para detectar un cambio en la hora de la tarifa configurada desde la aplicación y llamar al bloque *horas* en el cual se aplicará el respectivo cambio. Estos dos bloques son *tarifadia* y *tarifanoche* que son ejecutados mediante el comando *ONDATE* todos los días y en la hora configurada.

```

ONCHANGE "hora1","GOTO horas"
ONCHANGE "minuto1","GOTO horas"
ONCHANGE "hora2","GOTO horas"
ONCHANGE "minuto2","GOTO horas"

horas:
string1$ = minuto1@ + " " + hora1@ + " * * *"
string2$ = minuto2@ + " " + hora2@ + " * * *"
ONDATE 1,string1$,"GOTO tarifanoche"
ONDATE 2,string2$,"GOTO tarifadia"
ONDATE 3,"1 0 1 * *","GOTO kwhMES"
ONDATE 4,"1 0 * * mon","GOTO kwhSEMANA"
END

tarifadia:
diferencia_kWh_dia@ = kWh@ - kWh_ultimo@
gasto2@ = tarifa2@ * diferencia_kWh_dia@
kWh_ultimo@ = kWh@ + 0
END

tarifanoche:
///////////////////////////////// Calculo del gasto en la tarifa ///////////////////////////////////
diferencia_kWh_noche@ = kWh@ - kWh_ultimo@
gasto1@ = tarifa1@ * diferencia_kWh_noche@
kWh_ultimo@ = kWh@ + 0

```

```

//////////////////////////////////// Total del eléctrico y económico //////////////////////////////////////
suma_gasto@ = gasto1@ + gasto2@
kWh_dia@ = diferencia_kWh_noche@ + diferencia_kWh_dia@

//////////////////////////////////// GASTO ACTUAL SEMANA //////////////////////////////////////

gasto_semana@ = suma_gasto@ + ult_suma_gasto_semana@
ult_suma_gasto_semana@ = gasto_semana@ + 0

//////////////////////////////////// GASTO ACTUAL MES //////////////////////////////////////

gasto_mes@ = suma_gasto@ + ult_suma_gasto_mes@
ult_suma_gasto_mes@ = gasto_mes@ + 0

kwhMES:
ult_suma_gasto_mes@ = 0
END

kwhSEMANA:
ult_suma_gasto_semana@ = 0
END

```

Cálculo de los gastos previstos

Para calcular el gasto previsto mensual se hace una media de los gastos diarios desde el día uno y se multiplica por treinta para obtener una estimación cercana en base a la media de lo consumido hasta ese día. El momento en el que se realiza el cálculo del gasto previsto es al final del día en el bloque de *tarifanoche*.

```

tarifanoche:

//////////////////////////////////// GASTO EUROS PREVISTOS //////////////////////////////////////

n@ = n@ + 1
suma_suma_gasto@ = suma_gasto@ + gasto_anterior@
gasto_previsto_diario@ = (suma_suma_gasto@) / n@
gasto_previsto_mes@ = gasto_previsto_diario@ * 30
gasto_anterior@ = suma_suma_gasto@ + 0

END

kwhMES:
n@ = 0
gasto_anterior@ = 0
END

```

3.7. Diseño y desarrollo de la interfaz

ViewON

La empresa eWon, fabricante del Flexy201, ofrece de manera gratuita un software llamado Viewon el cual es un editor de páginas HMI (Human-Machine Interface) basado en web compatible con HTML5 (HyperText Markup Language) y CSS3 (Cascading Style Sheets). Viewon es una interfaz gráfica para la cual no es necesario tener conocimientos de programación de HTML5 o cualquier otro lenguaje, siendo muy simple e intuitiva. Sus posibilidades abarcan todas las competencias necesarias para cumplir los objetivos de este proyecto, por lo que este será el software al que se recurrirá para realizar el diseño de la aplicación de gestión del sistema de monitorización. Existe una guía de la aplicación donde se explican los distintos elementos que forman el software Viewon y como crear un programa [1].

El diseño será basado en un SCADA industrial, con el objetivo de desarrollar un sistema igual de intuitivo y sencillo para entregar al usuario una buena experiencia de interacción con la interfaz [17].

En la página de eWon está disponible el software descargable gratuitamente para sistemas de Windows. Una vez descargado e instalado se deberá iniciar el programa y crear un nuevo proyecto en la pestaña ‘project’, donde se abrirá una subventana para definir los parámetros del nuevo proyecto en Viewon (ver Figura 3.15). En esta subventana se definirá el nombre del proyecto, la dirección IP que tiene el Flexy201 para establecer la conexión de carga del programa, los puertos HTTP y FTP (File Transfer Protocol), además de los tiempos de refresco y timeout.

Figura 3.15. Parámetros del proyecto en Viewon.

Ocupando toda la parte izquierda de Viewon se encuentra el ‘project editor’, mostrado en la Figura 3.16, donde se añaden las ventanas que tendrá el proyecto, además de poder editar propiedades de los componentes, figuras y textos en el ‘graph properties’ y el ‘graph resources’.



Figura 3.16. Project editor y Graphs.

Al añadir una nueva ventana se puede configurar el tipo de dispositivo destinado para su visualización, ya sea un PC, un Smartphone o una tablet. También se le podrá asignar un nombre a la ventana, seleccionar si la vista es horizontal o vertical y variar su tamaño. Los parámetros disponibles para configurar están mostrados en la Figura 3.17.

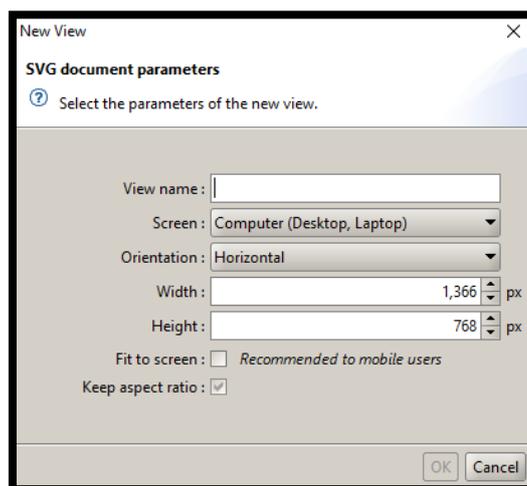


Figura 3.17. Parámetros de nueva ventana.

Una vez creada la ventana, se podrá diseñar la interfaz mediante las distintas funciones que ofrece Viewon. En la barra de trabajo se encuentran las herramientas de diseño, siendo la opción más importante la marcada en rojo en la Figura 3.18. Esta opción selecciona los componentes disponibles para añadir en la ventana. Estos componentes son los gráficos, botones, interruptores, histórico de alarmas, editor de texto o de números, entre otros (ver Figura 3.19).



Figura 3.18. Barra de trabajo.

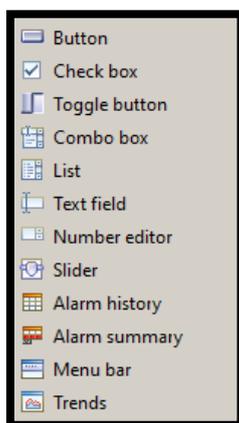


Figura 3.19. Componentes de la barra de trabajo.

En la pestaña ‘projects’ se encuentran distintas funciones que son importantes de conocer. Las funciones más importantes son ‘Import tags’ que añadirá al proyecto las variables creadas del Flexy, ‘User Management’ para asignar los permisos de administrador u operario a cada usuario y, por último, ‘Export to the device’ para exportar al Flexy la interfaz creada (ver Figura 3.20).

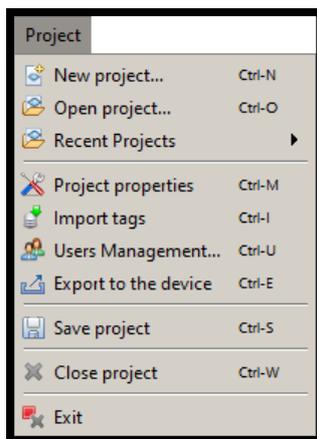


Figura 3.20. Pestaña ‘Project’.

Interfaz

- Ventana Principal: La ventana principal de la versión de escritorio es la primera ventana mostrada al entrar en la aplicación web (ver Figura 3.21). Esta ventana muestra en un apartado los parámetros en tiempo real actualizados cada dos segundos de la tensión, intensidad, potencia y frecuencia. En el segundo apartado de la ventana principal se muestra los valores de energía y gasto económico previstos y anteriores en periodos semanales y mensuales. También se muestra el gasto de energía y económico del día anterior.

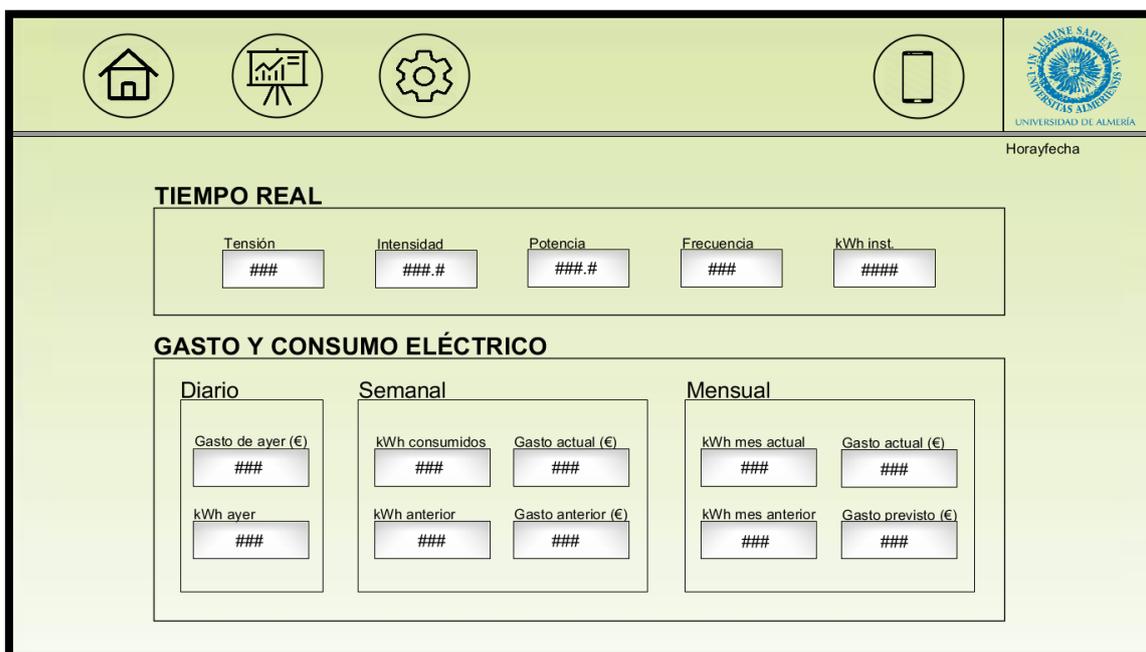


Figura 3.21. Ventana principal de la versión de escritorio.

- Ventana de planificación: La ventana de planificación contiene varios apartados, cuyo conjunto pretende ayudar al usuario a planificar los métodos de ahorro y configurar el conjunto de alarmas que le ayude a mantener un mayor control del estado eléctrico en su hogar. La Figura 3.22 indica la vista de la ventana de planificación.

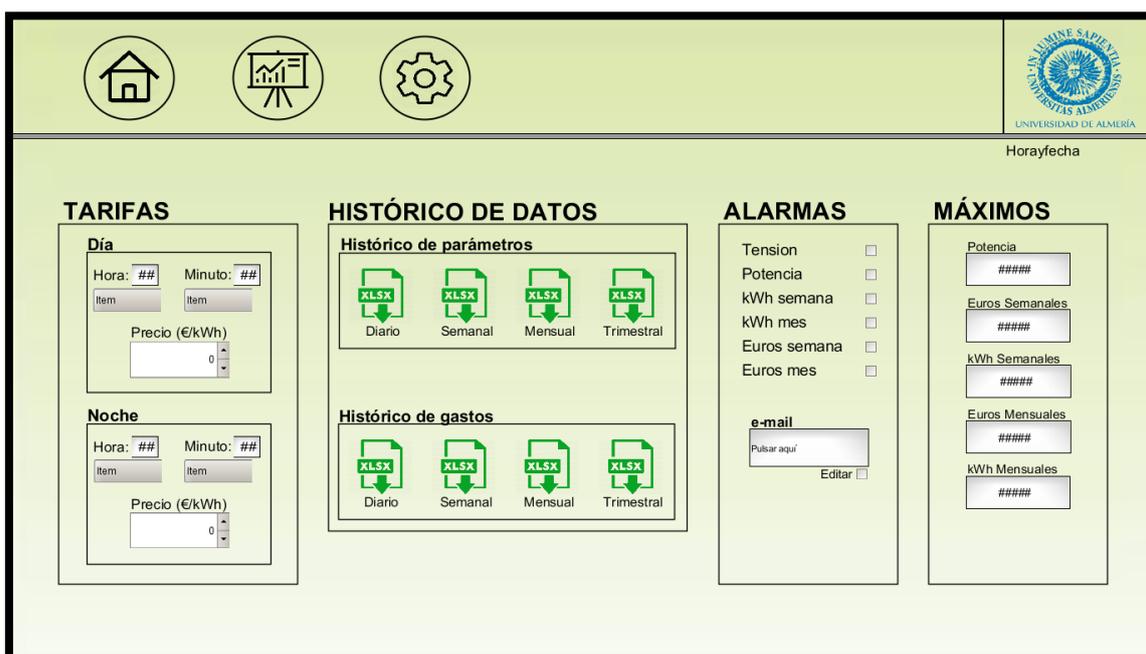


Figura 3.22. Ventana de planificación.

El apartado *tarifas* contiene la configuración del precio por kWh y el horario en el que se aplican las distintas tarifas (ver Figura 3.23).

The image shows a web interface titled "TARIFAS" for configuring electricity rates. It is divided into two main sections: "Día" (Day) and "Noche" (Night). Each section has a "Hora: ##" (Hour) and "Minuto: ##" (Minute) input field, two "Item" buttons, and a "Precio (€/kWh)" (Price) field with a numeric input and a spinner control.

Figura 3.23. Apartado tarifas.

En el apartado *histórico de datos* el usuario puede descargar los históricos de parámetros eléctricos y gastos de distintos periodos y en formato .csv de los datos registrados. Existen dos apartados de históricos (ver Figura 3.24), siendo uno de ellos programado con un tiempo de muestreo de dos minutos y muestra los parámetros eléctricos, y el otro de los históricos programado con un muestreo de veinticuatro horas indica los valores calculados correspondientes a los gastos y el consumo de energía en kWh. En la Tabla 3.7 se enumeran las variables eléctricas recogidas en el histórico.

Variable registrada	Nombre de la variable
Tensión	Tensión
Intensidad	Intensidad
Potencia	Potencia
Frecuencia	Frecuencia
Consumo de energía	kWh

Tabla 3.7. Lista de histórico de parámetros eléctricos.

Los enlaces generados en el 'Export Block Descriptor Helper' para los parámetros de la energía eléctrica son los siguientes, sabiendo que todos estos enlaces son comenzados con el fragmento 'http://10.0.0.53/rcgi.bin/ParamForm?AST_Param=' seguido del descriptor, mostrados en la Tabla 3.8.

Tiempo de histórico	Enlace
Veinticuatro horas	\$dtHT\$ftT\$st_h24\$et_s1\$flA\$fnParametros_1_dia.csv
Siete días	\$dtHT\$ftT\$st_d7\$et_s1\$flA\$fnParametros_7_dias.csv
Treinta días	\$dtHT\$ftT\$st_d30\$et_s1\$flA\$fnParametros_30_dias.csv
Tres meses	\$dtHT\$ftT\$st_d90\$et_s1\$flA\$fnParametros_3_meses.csv

Tabla 3.8. Enlaces del histórico de parámetros eléctricos.

Las variables registradas en el histórico de gastos son las mostradas en la Tabla 3.9.

Variable registrada	Nombre de la variable
Gasto diario	Suma_gasto
Consumo de energía diario	kWh_dia

Tabla 3.9. Lista de histórico de variables de gastos.

Al igual que con el histórico de los parámetros eléctricos, en la tabla 3.10 se muestran los enlaces para descargar los históricos de los gastos diarios en euros y kWh.

Tiempo de histórico	Enlace
Veinticuatro horas	\$dtHT\$ftT\$st_h24\$et_s1\$flC\$fnParametros_1_dia.csv
Siete días	\$dtHT\$ftT\$st_d7\$et_s1\$flC\$fnParametros_7_dias.csv
Treinta días	\$dtHT\$ftT\$st_d30\$et_s1\$flC\$fnParametros_30_dias.csv
Tres meses	\$dtHT\$ftT\$st_d90\$et_s1\$flC\$fnParametros_3_meses.csv

Tabla 3.10. Enlaces del histórico de gastos.

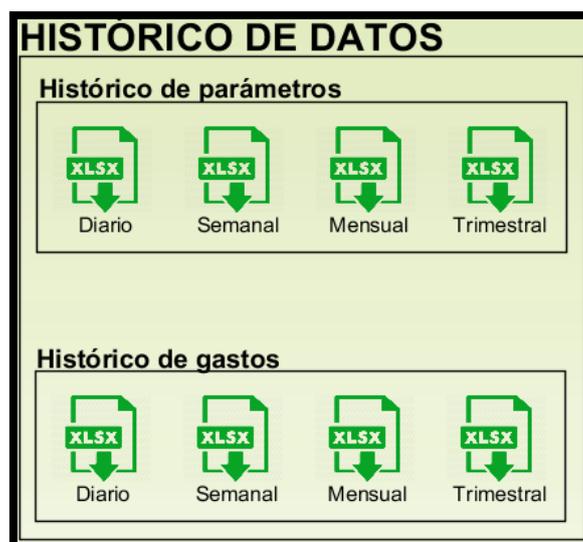


Figura 3.24. Apartado histórico de datos.

En el apartado de *Alarmas* y en el apartado de *Máximos*, mostrados en la Figura 3.25, se añadirán las alarmas que se desean activar, el email donde el usuario quiere recibir las notificaciones y los setpoints configurados para activar los avisos de consumo.

The screenshot shows a configuration interface with two main sections: 'ALARMAS' and 'MÁXIMOS'.
ALARMAS: A list of variables with checkboxes: Tension, Potencia, kWh semana, kWh mes, Euros semana, and Euros mes. Below this is an 'e-mail' section with a text input field containing 'Pulsar aquí' and an 'Editar' checkbox.
MÁXIMOS: A list of variables with input fields for numerical values: Potencia, Euros Semanales, kWh Semanales, Euros Mensuales, and kWh Mensuales. Each field contains five hash symbols (#####).

Figura 3.25. Configuración.

- **Ventana de Gráficos:** La ventana de gráficos presenta un componente de gráficos en el que se mostrarán las variables de potencia, intensidad, kWh y euros diarios consumidos (ver Figura 3.26). El tiempo de muestreo mostrado en el grafico es el correspondiente al del histórico, siendo este de dos minutos para la potencia e intensidad y veinte cuatro horas para los gastos de energía y económicos y se mostrará un periodo una hora para la potencia y la intensidad y un mes para los kWh y euros gastados.

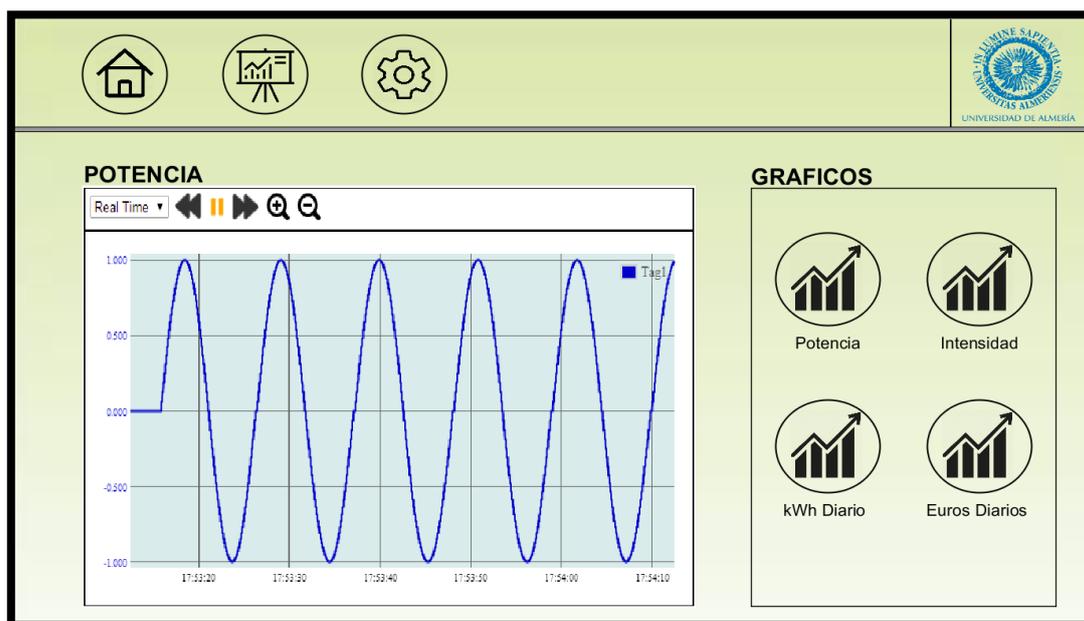


Figura 3.26. Ventana de gráficos.

3.8 Aplicación complemento en Matlab

Como complemento a la interfaz diseñada en ViewON, se ha desarrollado una aplicación para Windows en la herramienta App Designer de Matlab [15]. El objetivo de esta aplicación es que los usuarios avanzados puedan analizar y comparar los datos históricos descargados del Flexy graficando los parámetros eléctricos medidos y los datos de consumo energético y económico.

La herramienta App Designer tiene disponible numerosos elementos y bloques de diseño para desarrollar cualquier tipo de aplicación de manera intuitiva, mostrados en la Figura 3.27.

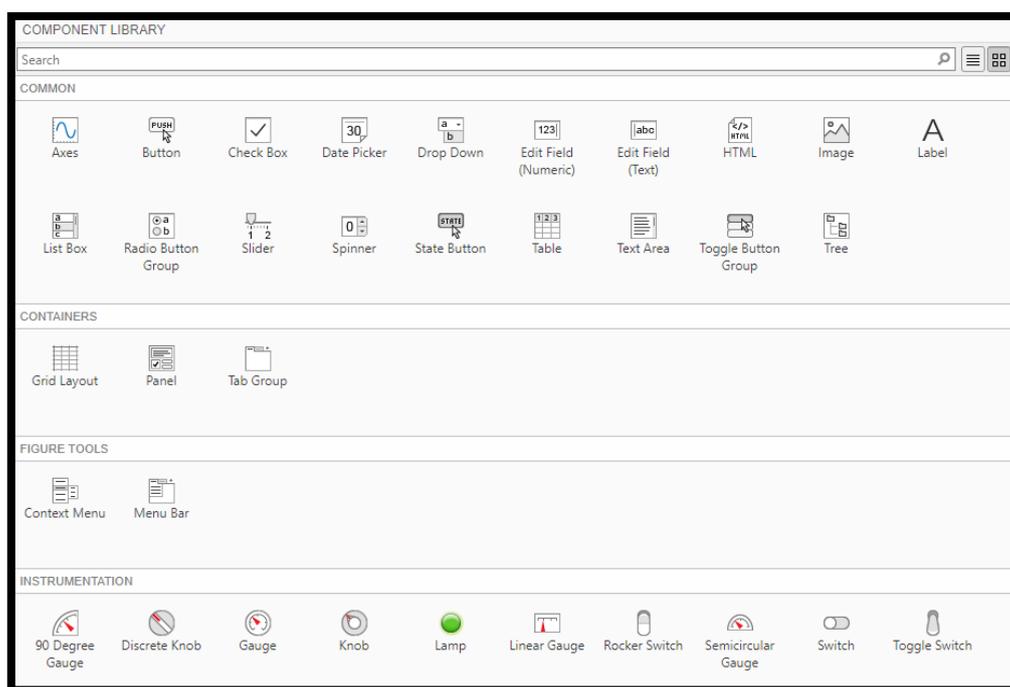


Figura 3.27. Componentes y figuras de la herramienta App Designer de Matlab.

El diseño de una aplicación en esta herramienta se basa en dos partes, la parte visual que el usuario verá y la parte de código donde se implementa el algoritmo que define los procesos realizados por la aplicación al interactuar con la aplicación.

Interfaz visual en App Designer de Matlab

El objetivo visual de la aplicación, siguiendo la línea de la interfaz diseñada en ViewON, es que sea intuitiva y práctica. Su contenido se basará en la presencia de botones que seleccionarán el parámetro a graficar y de otro botón independiente que limpia la gráfica para dejarla vacía. En ventana también aparecerá de manera fija el bloque del gráfico en el cual se representarán los parámetros, además de la leyenda. En la Figura 3.28 se muestra la vista de la interfaz diseñada en el App Designer de Matlab.

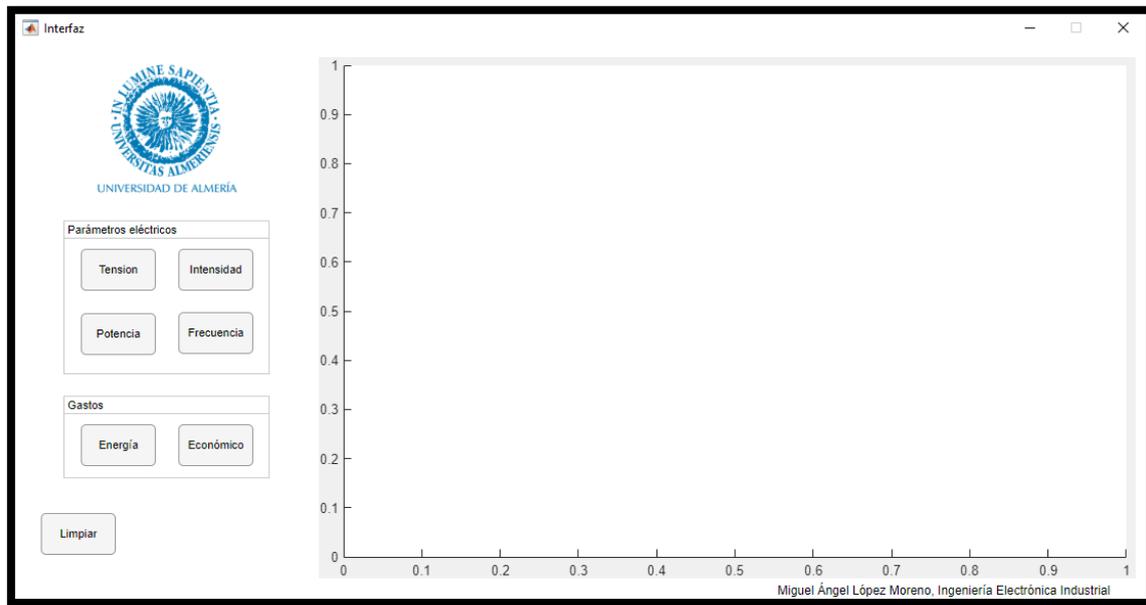


Figura 3.28. Interfaz de la aplicación diseñada en App Designer.

El uso de la aplicación es sencillo. Al interactuar con el botón de cualquier parámetro se abrirá el explorador de Windows para seleccionar el archivo .xlsx (Microsoft Excel Open XML Spreadsheet) deseado. Una vez seleccionado aparecerá de manera automática el parámetro seleccionado graficado. La Figura 3.29 muestra una captura donde ha sido seleccionado el parámetro de tensión para graficar, y se elegirá el archivo llamado “Parametros_30_dias.xlsx”.

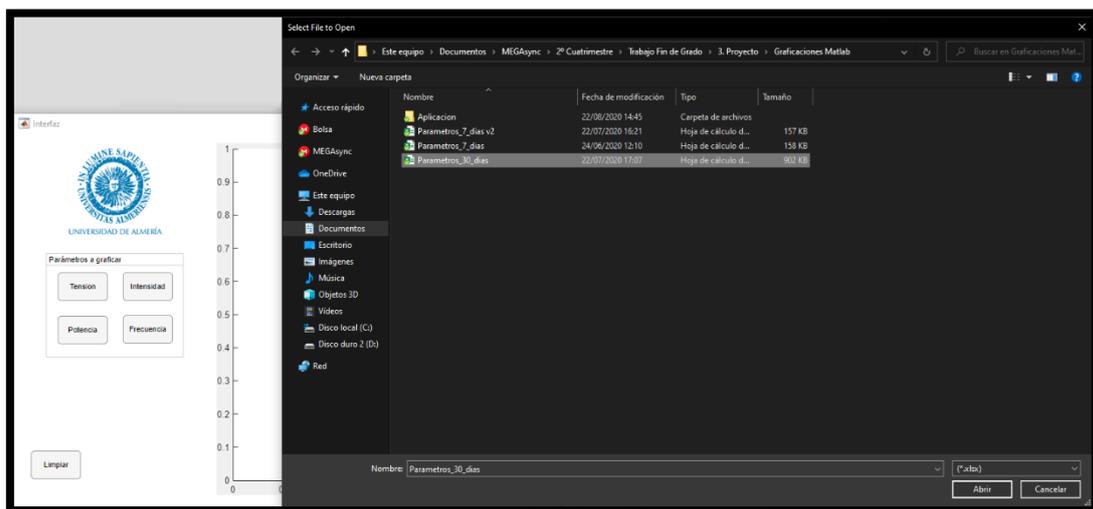


Figura 3.29. Selección del archivo .xlsx.

Una vez seleccionado el archivo .xlsx graficará automáticamente el parámetro seleccionado en el rango de tiempo correspondiente en el archivo (ver Figura 3.30). Al seleccionar otro parámetro lo mostrará en el mismo gráfico. El botón “limpiar” eliminará los gráficos mostrados.

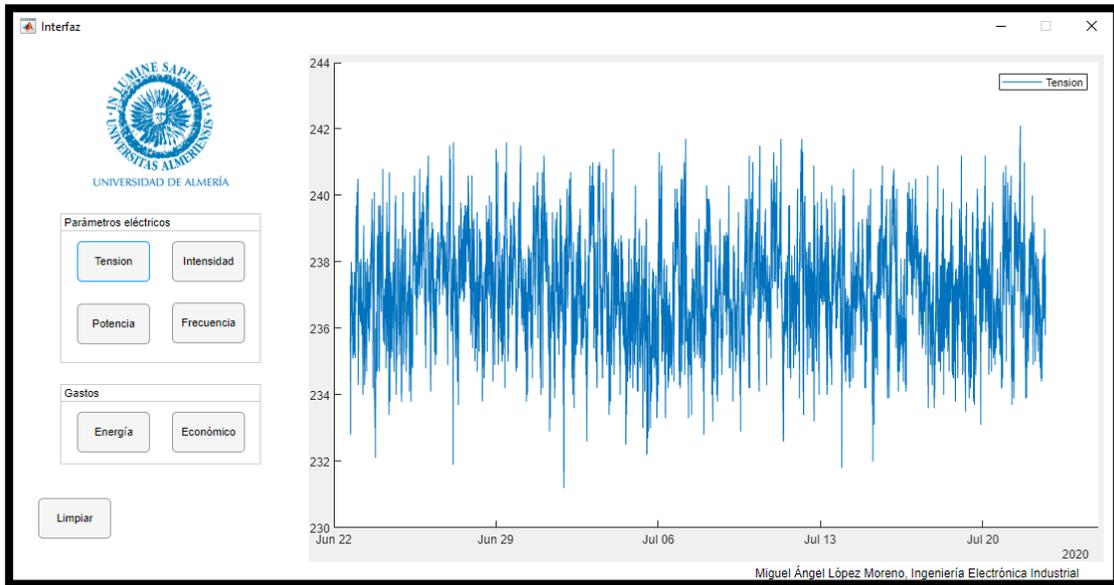


Figura 3.30. Archivo graficado en la aplicación .xlsx

Para graficar los datos de consumo energético y económico se utilizarán los botones de “Energía” o “económico” y se seleccionará el Excel descargado del apartado “histórico de gastos” en la interfaz del Flexy. En Figura 3.31 se puede ver que el gráfico muestra simultáneamente los gastos económicos y energéticos de los treinta días equivalentes del veinticuatro de julio al veintitrés de agosto.

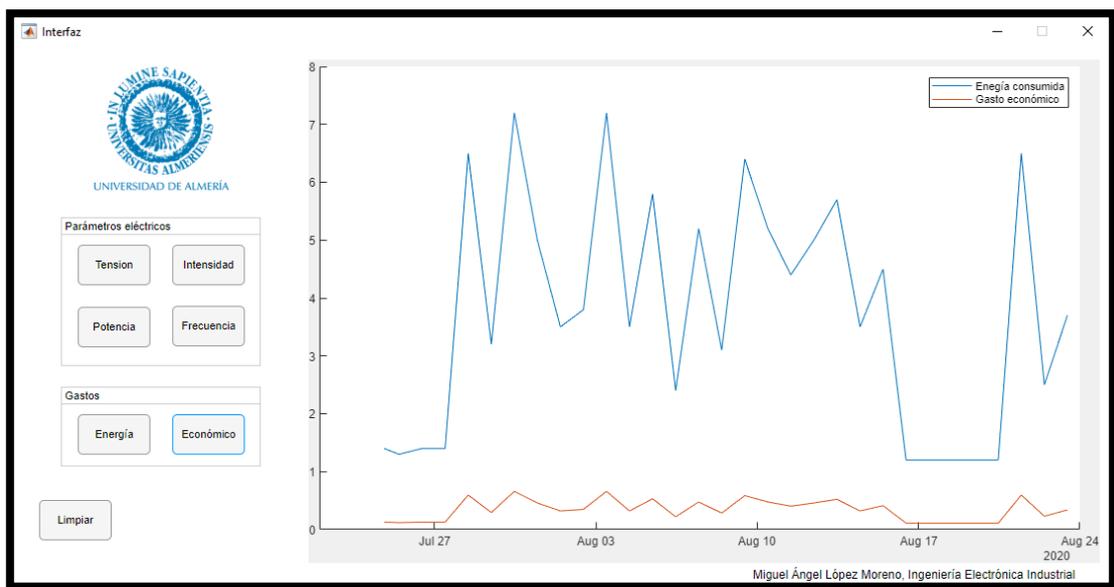


Figura 3.31. Gráficos de los gastos en la aplicación de Matlab

Diseño de código en App Designer de Matlab

El código se ha diseñado para que, a la hora de seleccionar un botón para graficar un parámetro, la graficación quede fija y al seleccionar otro parámetro puedan graficarse todos al mismo tiempo. Se distinguen por ser graficados con líneas de distinto color, identificadas en la leyenda del gráfico.

Al introducir los botones en la ventana de diseño de la interfaz, se generará una función en el código donde se introducirán las ordenes que se deseen ejecutar al pulsar el botón. Por ejemplo, para el botón de “tensión” el algoritmo deberá seguir los siguientes procesos:

1. Seleccionar el archivo. `xlsx`
2. Leer el archivo seleccionado
3. Introducir en una variable, llamada “Tensión”, la columna con todos los datos de este parámetro. En este caso, este parámetro corresponde a la columna seis.
4. En la variable “Hora” se introducirá los valores de la segunda columna del excel correspondientes a la fecha y hora.
5. Se graficará en el eje X la variable “Hora” y en el eje Y la variable “Tensión”, mostrando en la leyenda el nombre del parámetro graficado.

```
% Button pushed function: pushbutton2
function pushbutton2_Callback(app, event)
    % Create GUIDE-style callback args - Added by Migration Tool
    [hObject, eventdata, handles] = convertToGUIDECallbackArguments(app, event);
%#ok<ASGLU>

    % hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
    % eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
    % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
    [hoja,way] = uigetfile('*.xlsx');
    cd(way);
    data=readtable(hoja);
    Tension=table2array(data(:,6));
    Hora=table2array(data(:,2));
    plot(Hora,Tension,'DisplayName','Tension');
    legend('-DynamicLegend');
    hold all;
```

4 Pruebas y resultados

4.1 Introducción

El objetivo de este capítulo es justificar y mostrar el correcto funcionamiento del sistema, cumpliendo con los objetivos propuestos para este proyecto. Todo lo expuesto anteriormente se ha puesto a prueba con un prototipo montado en un hogar midiendo y analizando los parámetros y resultados obtenidos. Este prototipo consta de los componentes descritos en el Capítulo 2, toroidales, analizador de energía, router industrial, además de las protecciones y alimentaciones correspondientes.

Se deben indicar dos variaciones a la hora de ejecutar el proyecto con respecto a lo descrito en el Capítulo 2. Estas variaciones han sido debidas a la falta de estocaje de los componentes descritos, pero tuvieron fácil solución al disponer de otros con las mismas funcionalidades.

La primera variación está relacionada con la recolección de los datos en el router industrial, la cual se iba a realizar, en principio, mediante la tarjeta de expansión RS485 de eWon, descrita en el apartado 2 del capítulo 2. Finalmente, se ha realizado a través de un PLC de Siemens 1212C AC/DC/RLY y su correspondiente tarjeta de expansión RS485, CB1241. El PLC únicamente recoge, conectado por RS485, los datos leídos por el analizador de energía EM210 y los retransmite vía ethernet al Flexy 201. En la Figura 4.1 se puede ver el montaje final de los dispositivos.

La segunda variación en el montaje es que en lugar de utilizar la tarjeta de expansión Wifi/WLAN de eWon, se ha utilizado la tarjeta de expansión 3G con una tarjeta SIM Machine to Machine (M2M) de datos para establecer la conexión de red [12].

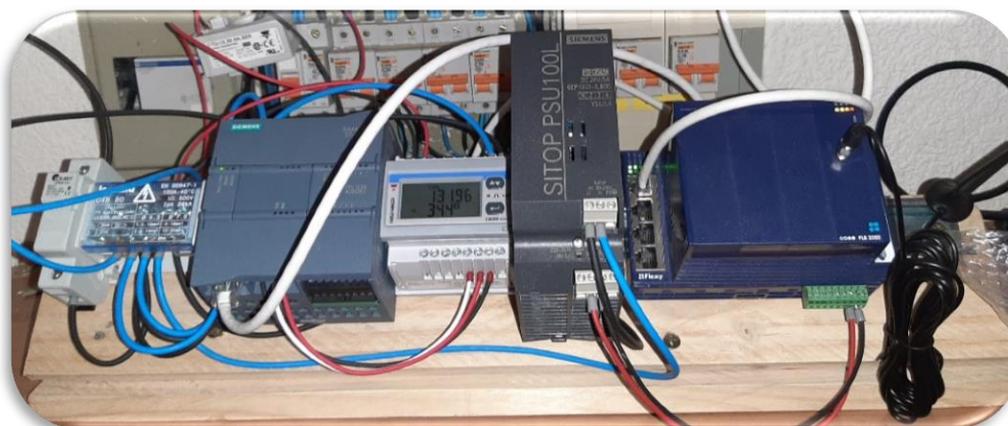


Figura 4.1. Montaje final del sistema de monitorización.

El toroidal de lectura utilizado ha sido un modelo 50/5A de núcleo cerrado (ver Figura 4.2), el cual mide la salida del diferencial de protección principal de la instalación, para obtener los parámetros de lectura totales del hogar.



Figura 4.2. Toroidal empleado en las pruebas.

4.2 Configuración del analizador EM210

El analizador utilizado, el EM210 de Carlo Gavazzi, presenta dos botones de interacción que permiten navegar en el display para visualizar los parámetros leídos por el toroidal y, además, configurar las opciones de lectura y transmisión RS485 (ver Figura 4.3).

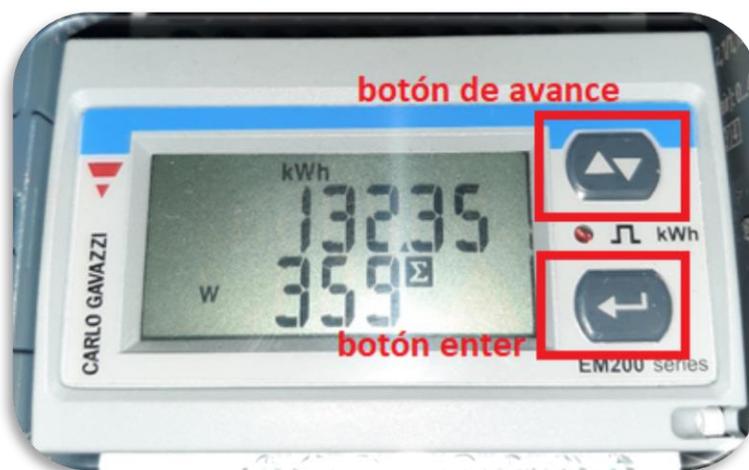


Figura 4.3. botones de interacción del EM210.

Para entrar a la configuración del analizador se deberá pulsar el botón 'enter' durante unos tres segundos, mostrándose la pantalla expuesta en la Figura 4.4, la cual solicita la contraseña de acceso a las opciones, siendo '0' la contraseña predeterminada y utilizada en este proyecto. Para aceptar la contraseña, se volverá a pulsar el botón 'enter' durante otros tres segundos.

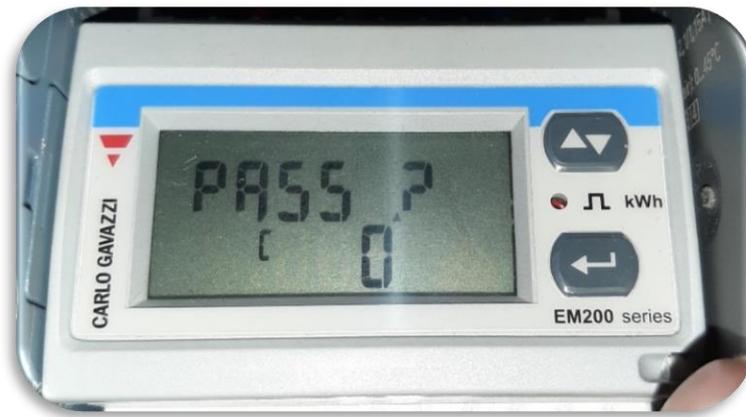


Figura 4.4. Ventana de contraseña del EM210.

Si la contraseña es correcta, comenzarán a mostrarse las opciones editables. La primera opción por configurar es el número de polos leídos por el analizador, siendo un polo la opción para este proyecto, como puede verse en la Figura 4.5.



Figura 4.5. Polos leídos por el analizador.

La siguiente opción para editar es la relación de transformación del toroidal. Esta relación se obtiene de la división del amperaje primario entre el secundario.

$$R. Trans = \frac{Intensidad\ primario}{Intensidad\ secundario} = \frac{50A}{5A} = 10 \quad (4.1)$$

Una vez configurada la relación de transformación como indica la Figura 4.6, la opción que sigue es la que indica la dirección modbus del EM210 para conectarlo con otros dispositivos mediante RS485. En este caso la dirección que utiliza el autómata conectado al analizador es la '2' (ver Figura 4.7).



Figura 4.6. Relación de transformación.



Figura 4.7. dirección Modbus del analizador.

Las siguientes opciones configuran los parámetros de la conexión modbus, siendo estos el ratio de unidades enviadas por segundo, la paridad, y los bits de parada (ver Figuras 4.8, 4.9 y 4.10).



Figura 4.8. baudios del analizador de energía.

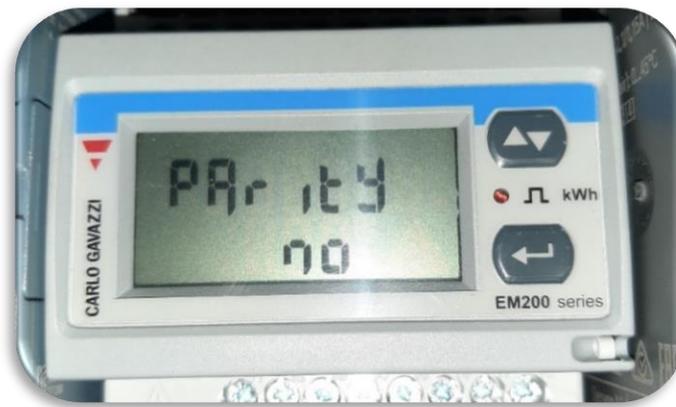


Figura 4.9. Paridad del analizador de energía.



Figura 4.10. bits de parada del analizador de energía.

4.3 Tarifas

Las tarifas que definen el precio en euros (€) por kWh son introducidas en el apartado de ‘tarifas’ en la ventana de planificación de la interfaz diseñada en Viewon. En el lugar donde se han realizado las pruebas, las tarifas aplicadas son constantes y no dependen de la hora del día, por tanto, se introduce el mismo precio en la tarifa de noche y de día de la aplicación y se selecciona dos horas aleatorias, por ejemplo, las doce de la noche y las doce de la mañana. El precio por kWh se ha obtenido de una factura mensual de la instalación siendo este de 0.075737 € (ver Figura 4.11).

TARIFAS

Día

Hora: 12 Minuto: 0

Send Strin ▼ Send Strin ▼

Precio (€/kWh)

0.075737

Noche

Hora: 0 Minuto: 0

Send Strin ▼ Send Strin ▼

Precio (€/kWh)

0.075737

Figura 4.11. Apartado de tarifas en la ventana de planificación.

4.4 Aplicación

La ventana principal indica los parámetros eléctricos medidos en tiempo real, además de los kWh consumidos y el gasto económico de manera diaria, semanal y mensual, junto con los previstos mensuales (ver Figura 4.12). En este apartado se va a indicar como ha avanzado la medición y cálculos de los kWh y gastos económicos a lo largo de los periodos, mostrando los cálculos temporales y los gastos previstos. Se mostrarán capturas de distintas fechas para mostrar como a principio de semana y mes se reinician los valores de kWh y gastos y se indican los valores del periodo anterior. También se verá como los kWh y gastos económicos diarios se van actualizando cada 24 horas a la hora establecida en la configuración de las tarifas. También, cabe mencionar que las capturas realizadas se han alternado entre la interfaz de escritorio y la de móvil para mostrar el correcto funcionamiento de ambas.

El registro y análisis de la interfaz comenzó el día 22 de junio de 2020, lunes. A partir de este día, se dejó el dispositivo midiendo el consumo y los parámetros eléctricos en la acometida de la vivienda y registrando los datos en el histórico. Durante los días a partir del 22 de junio hasta el 30 de junio se estuvieron estudiando y observando los valores y registros para arreglar los errores de código o configuración observados.

El objetivo de las pruebas fue mantener el dispositivo conectado y registrando durante todo el mes de julio para simular un caso de uso real del sistema. En los siguientes apartados se comentará los resultados obtenidos y observados durante el mes de julio.

5 de julio de 2020, miércoles.

La semana del 29 de junio al 5 de julio se estuvieron registrando los datos que el sistema recogía y utilizaba para obtener los parámetros configurados para mostrar. Se hizo una captura de pantalla tanto de la interfaz de escritorio como de la de móvil para indicar el estado de los valores el día 5 de julio, domingo (Figura 4.13 y 4.14). En ambas capturas se pueden ver los parámetros en tiempo real, actualizados cada dos segundos. En ese mismo instante aparece un consumo en potencia de 1200W, aproximadamente, observándose en ese valor de potencia como estaba el calentador de agua encendido, disparando el consumo con respecto al habitual de la vivienda.

En la sección de ‘gasto y consumo eléctrico’ se indican los gastos producidos el día anterior (sábado 4 de julio), siendo de 5.3kWh en energía y 0.49€ económicos.

$$\begin{aligned}
 \text{Gasto diario}_{\text{€}} &= \text{Energía} * \text{Precio tarifa} * \left(1 + \frac{\%IVA}{100}\right) \\
 &= 5.3\text{kWh} * 0.075737 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 1.21 = 0.486 \approx 0.49\text{€}
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

donde *Gasto diario* [€] son los euros gastados en las veinticuatro horas del día, *Energía* [kWh] es la energía consumida durante las veinticuatro horas, *Precio tarifa* [€], el precio por kWh establecido por la distribuidora eléctrica y *%IVA* el impuesto aplicado al precio, siendo del 21%.

Los gastos registrados de consumo de la semana anterior (del 22 al 28 de junio) fueron de 25.1 kWh, equivalentes a 2.72 €. Se indican también los producidos durante la semana hasta el momento de la captura, siendo de 23.2 kWh de energía y 2.23 € de gasto económico.

En el apartado de gasto mensual, no aparece un valor muy elevado del mes anterior, ya que las mediciones comenzaron en un momento avanzado de este (22 de junio). Por otra parte, se muestran los gastos del mes actual desde que comenzó, siendo de 19.4 kWh y 1.91 € en los cinco días ya medidos de julio. El gasto económico previsto, en base a los gastos obtenidos durante el mes actual, indicaba 11.44 € de energía consumida.

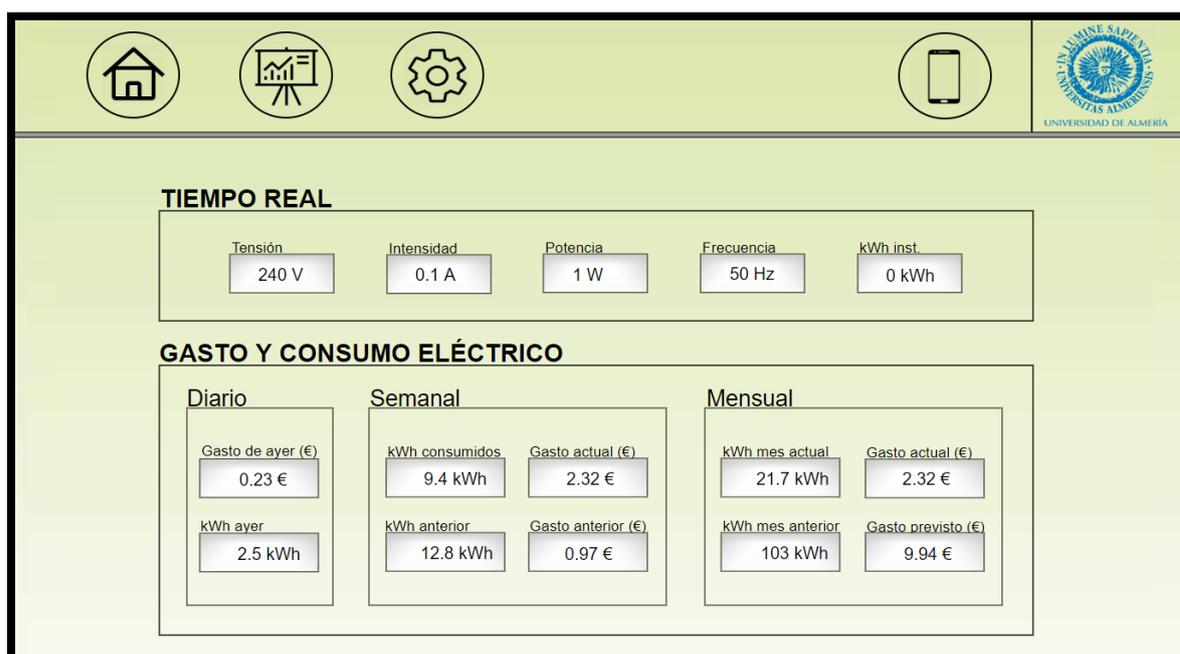


Figura 4.12. Captura de la interfaz. Día 29 de junio.

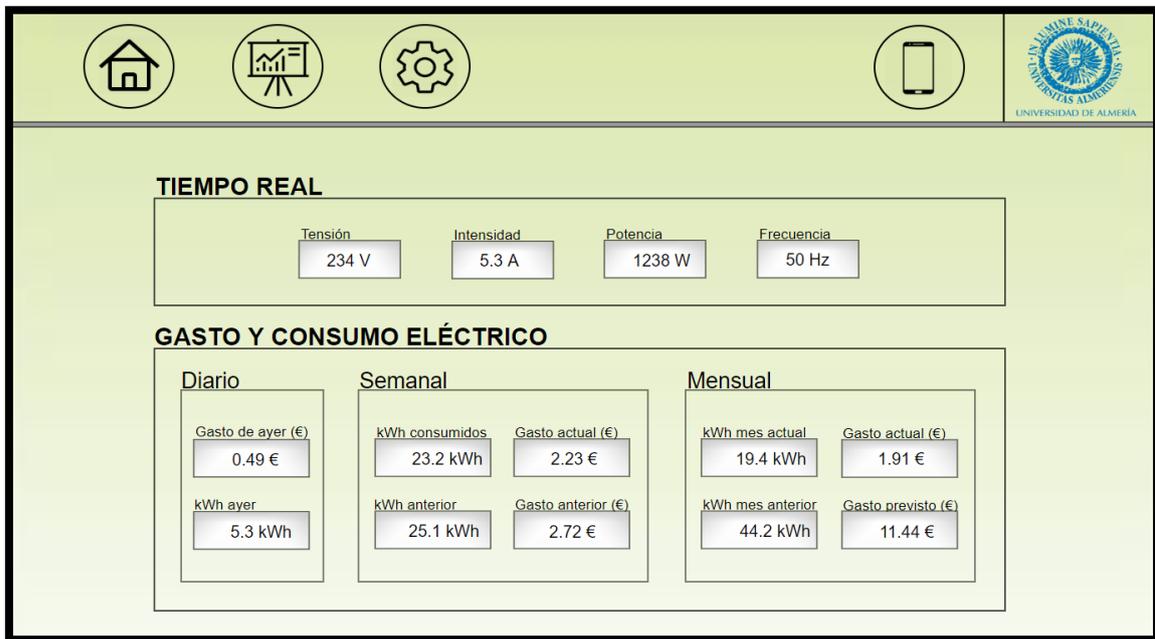


Figura 4.13. Captura de la interfaz de escritorio. Día 5 de julio.

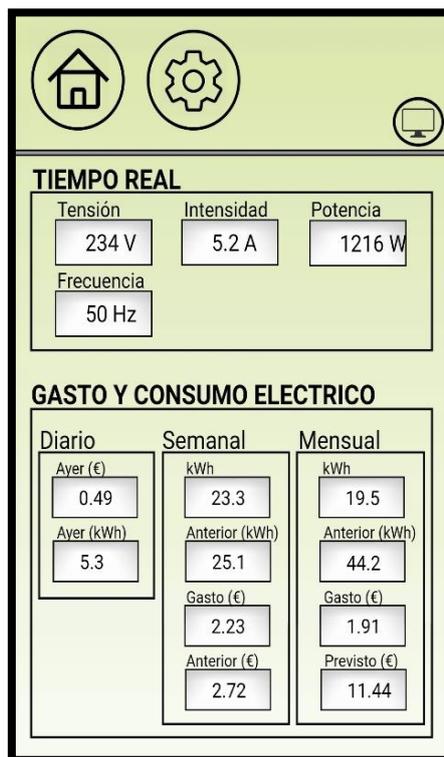


Figura 4.14. Captura de la interfaz de móvil. Día 5 de julio.

6 de julio de 2020, lunes.

El día posterior, lunes 6 de julio, se capturaron los valores de la interfaz para mostrar los gastos económicos y de kWh producidos durante la semana del 29 de junio al 5 de julio (ver Figura 4.15). Se indica que los gastos durante esa semana fueron de 2.23 € y de una potencia consumida de 29.1 kWh. También, se indica que los gastos del domingo día 5 de julio fueron de 0.5 € y 5.5 kWh, más altos que la media diaria, debido al mayor consumo de energía durante los fines de semana.

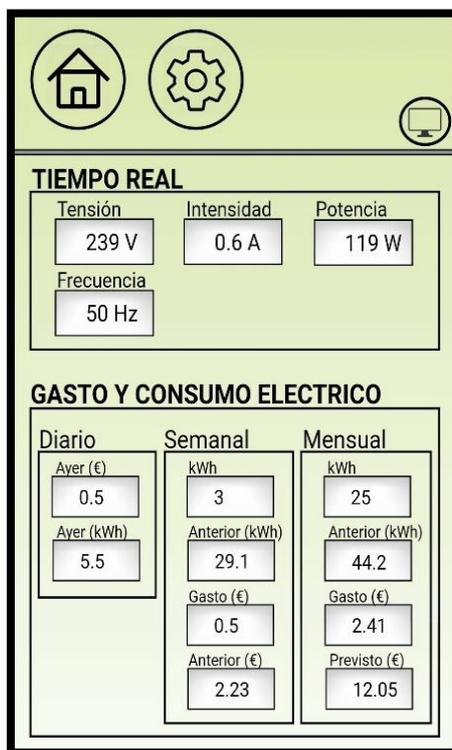


Figura 4.15. Captura de la interfaz de móvil. Día 6 de julio.

8 de julio de 2020, miércoles.

El día 8 de julio, miércoles, se capturó los valores calculados hasta ese día para mostrar los gastos producidos desde el comienzo de la semana, dos días atrás, además de los del mes (ver Figura 4.16). Durante los dos días de la semana se gastaron 9.5 kWh equivalentes a 1.15 €, correspondiendo a más de la mitad de los gastos producidos en toda la semana anterior, observándose un aumento del consumo. En cuanto a los gastos producidos durante los primeros ocho días de mes de julio, habían 31.5 kWh de gasto energético y 3.05€ de gastos económicos de consumo. El gasto económico previsto para el mes de julio indicaba 11.44€.

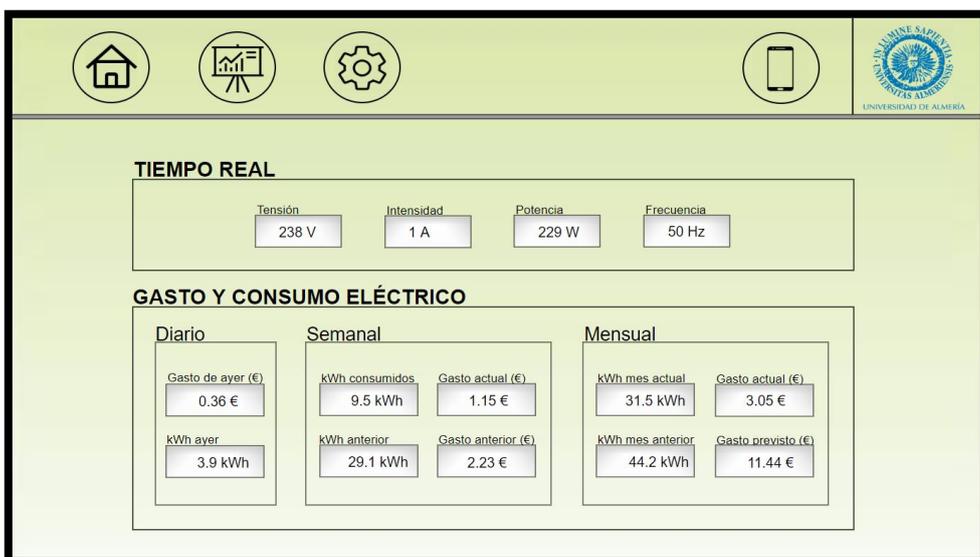


Figura 4.16. Captura de la interfaz de escritorio. Día 8 de julio.

10 de julio de 2020, viernes.

Hasta el viernes de la misma semana se consumieron 18.2 kWh de energía y 1.92 € de gasto económico semanales, como puede verse en la Figura 4.17. Esto significa que el consumo entre miércoles y viernes (8.7 kWh) fue parecido al producido entre lunes y miércoles (9.5 kWh). El gasto energético mensual el 10 de julio equivalía a 40.2 kWh, siendo 3.82 € el gasto de energía consumida. El gasto económico mensual previsto para julio indicaba prácticamente la misma cifra que el miércoles anterior, siendo este 11.46 €. También se puede observar que el día anterior, jueves, hubo un consumo energético de 5.4 kWh y económico de 0.49 €. En el momento de la captura se observa una tensión de fase de 237 V, un valor de siete voltios por encima del establecido por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [2], no siendo, aun así, perjudicial para la instalación.



Figura 4.17. Captura de la interfaz de móvil. Día 10 de julio.

12 de julio de 2020, domingo.

Se realizó una captura a la interfaz el domingo de la semana del 6 al 12 de julio, para comparar y comprobar la energía consumida y el gasto económico durante los siete días (ver Figura 4.18). Lo mostrado indicaba un consumo de energía a lo largo de la semana de 26.3 kWh, equivalentes a 2.52 € de gasto económico.

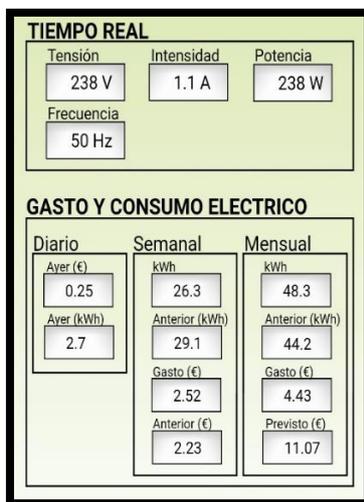


Figura 4.18. Captura de la interfaz de móvil. Día 12 de julio.

13 de julio de 2020, lunes.

El lunes, 13 de julio, se indica finalmente un consumo total de 27 kWh y 2.52 € durante la semana del 6 al 12 de julio (ver Figura 4.19). El consumo indicado en el apartado mensual muestra 51.8 kWh de consumo energético y 4.88 € de gasto económico en energía consumida. El gasto económico previsto indica 11.27 €.

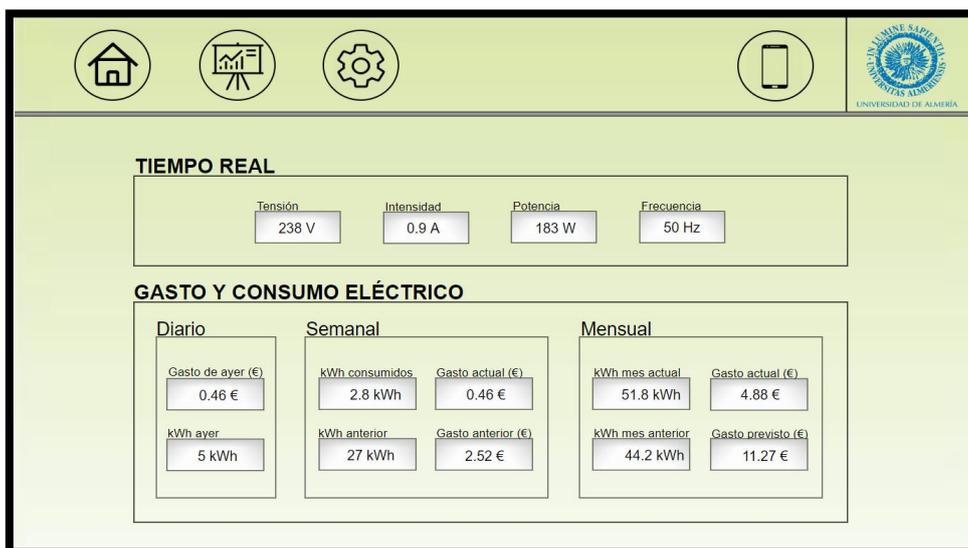


Figura 4.19. Captura de la interfaz de escritorio. Día 13 de julio.

21 de julio de 2020, martes.

Primeramente, hay que indicar que del 17 de julio al 26 de julio no hubo ninguna persona en la vivienda siendo esta la razón del bajo consumo producido durante esos nueve días. Esto se verá tanto en el histórico como en las capturas de la interfaz.

Se puede ver en la Figura 4.20 una captura del martes 21 de julio que durante los días de esa semana se solo se habían consumido 2 kWh (0.12 €). La semana del 13 al 19 de julio, se consumieron 21.3 kWh y 2.29 € de energía. A día 21 de julio el gasto energético durante el mes había sido de 72.3 kWh de energía y 6.84 € de gasto económico.

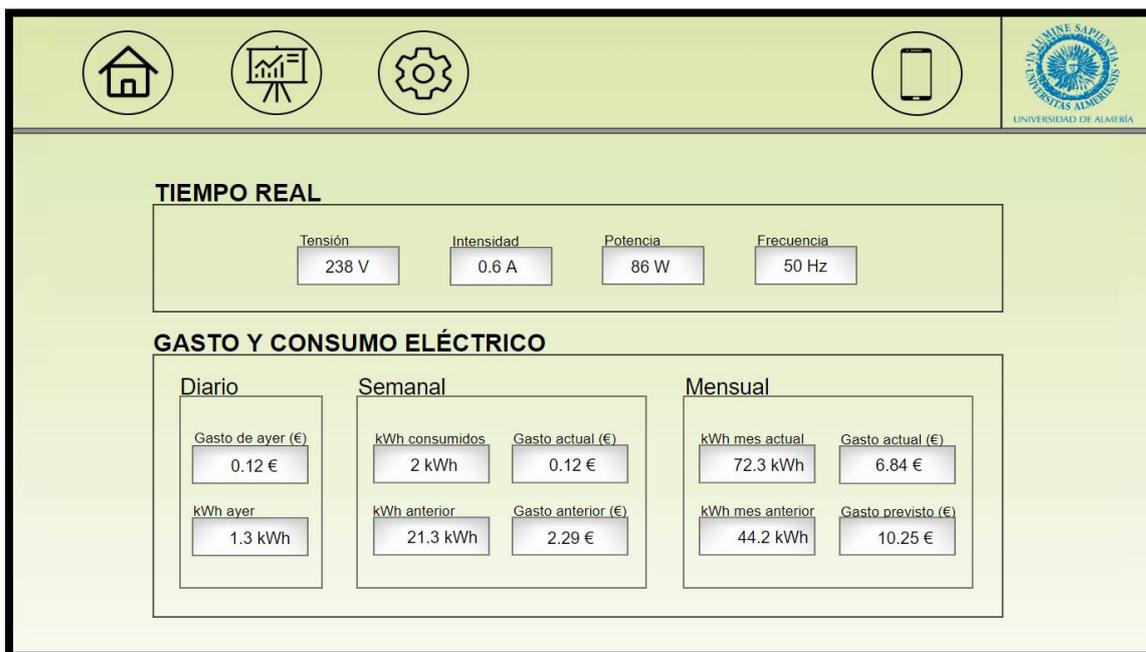


Figura 4.20. Captura de la interfaz de escritorio. Día 21 de julio.

27 de julio de 2020, lunes.

El día 27 de julio, lunes, la aplicación indicaba de la semana anterior un consumo de 13.7 kWh de energía y 0.86 € (ver Figura 4.21), siendo aproximadamente la mitad de lo consumido durante las semanas anteriores, debido a la ausencia de personas en la vivienda. El día anterior, domingo, indica un consumo normal (0.6 € y 6.5 kWh) debido a que ese día fue el de llegada de las personas a la vivienda. Cabe mencionar que, al minimizar el consumo, por no haber personas en la vivienda, también disminuyó el gasto previsto de julio. Para el día 27 de julio el consumo de energía era de 85.6 kWh y de 8.17 € económicamente.

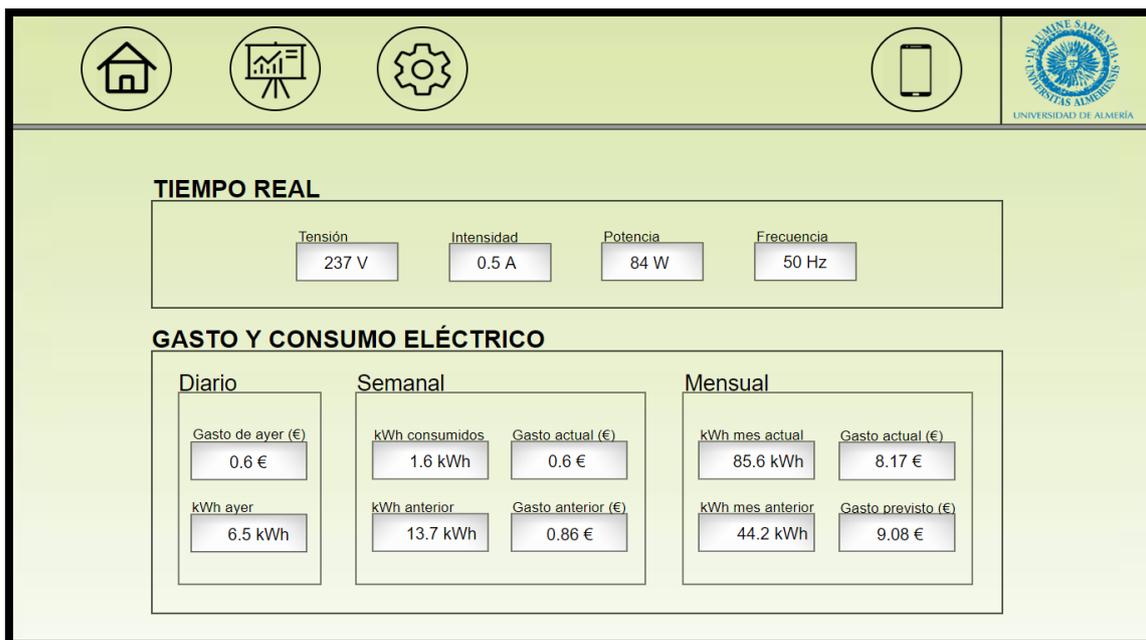


Figura 4.21. Captura de la interfaz de escritorio. Día 27 de julio.

31 de julio de 2020, viernes.

El último día de julio, los gastos producidos durante el mes fueron de 104.7 kWh y 9.91 € (ver Figura 4.22)..

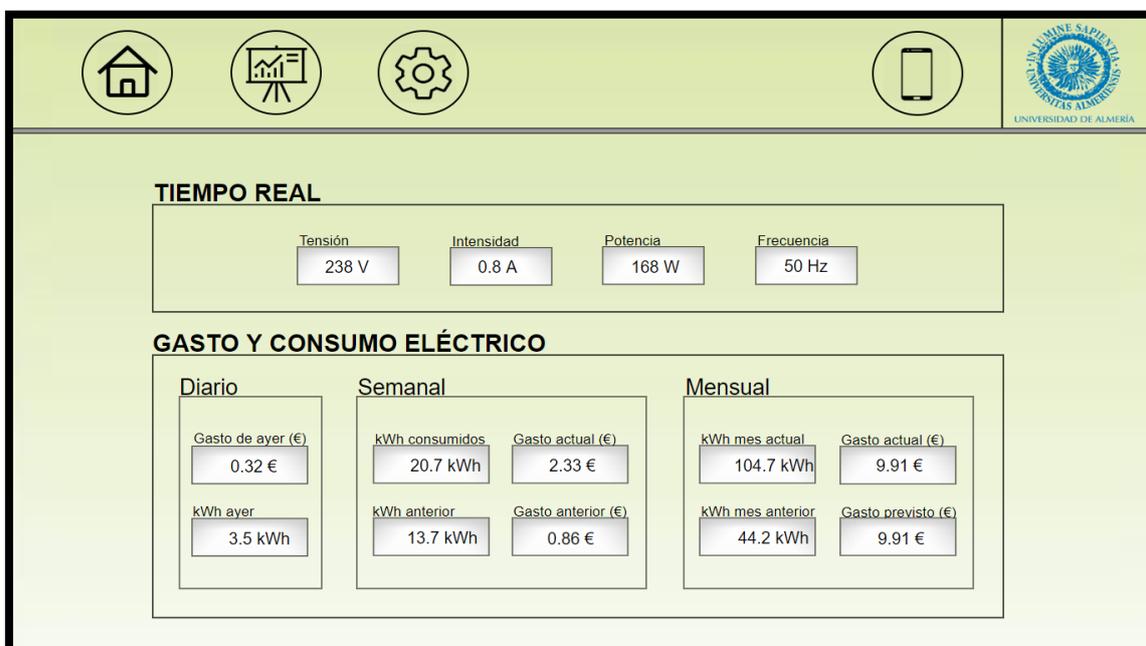


Figura 4.22. Captura de la interfaz de escritorio. Día 31 de julio.

1 de agosto de 2020, sábado.

El día 1 de agosto se actualizó en apartado mensual del gasto y consumo eléctrico, como puede verse en la Figura 4.23. Se indica un consumo durante el mes de julio de 107 kWh. También se observa que los valores mensuales de gasto económico y de energía, además del previsto, se reinician para comenzar a medir el nuevo mes.

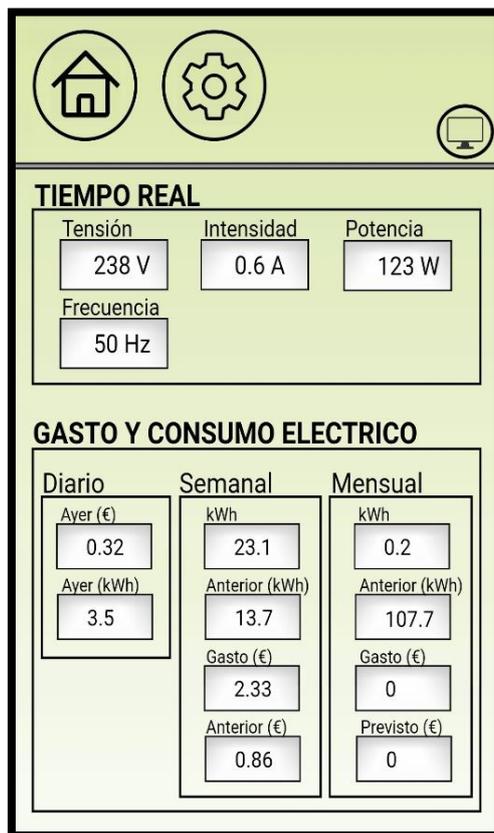


Figura 4.23. Captura de la interfaz móvil. Día 1 de agosto.

4.5 Históricos

La descarga de los históricos se debe realizar en la ventana de planificación, sección “histórico de datos”. En esta sección se descargarán los archivos en formato .csv de los parámetros eléctricos y de los gastos económicos y de energía. Los tiempos de los históricos disponibles serán diario, semanal, mensual y trimestral.

Para comprobar el correcto funcionamiento se descargó el histórico mensual tanto de los parámetros eléctricos como de los gastos, seleccionando en el icono correspondiente en la ventana de planificación, mostrado en la Figura 4.24.



Figura 4.24. selección del histórico mensual.

Una vez descargados los archivos .csv, se recomienda reemplazar en el editor de notas los puntos por comas para poder trabajar de manera más sencilla en Excel con los datos, como se realiza en la Figura 4.25.

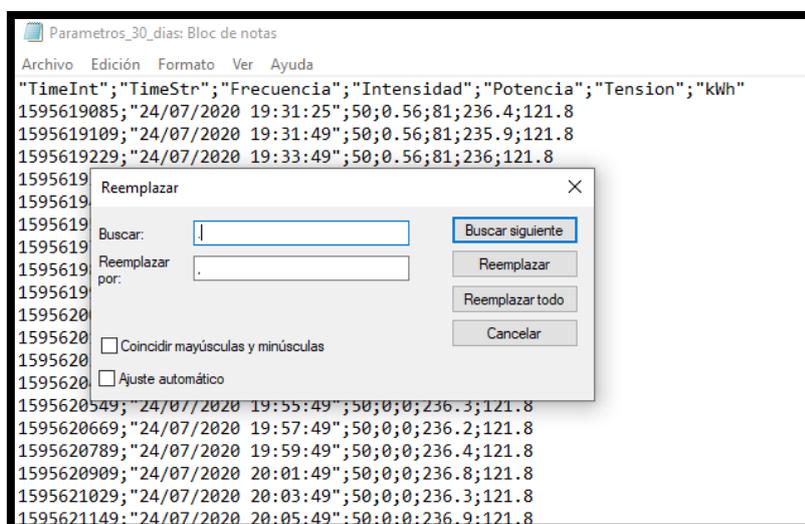


Figura 4.25. sustitución de puntos por comas en los archivos históricos.

También se recomienda guardar en Excel el archivo en formato .xlsx y trabajar con él en este formato. Una vez seguidos estos pasos, se dispondrá de los históricos listos para trabajar con ellos de la manera deseada. Como se puede observar en la figura 4.26 el histórico de los parámetros eléctricos empieza a mostrar los datos con un mes de antelación al día de descarga del archivo (desde el día veinticuatro de julio, siendo el día de descarga el veinticuatro de agosto). También se ven todos los valores de los parámetros guardados con un tiempo de diferencia de dos minutos.

Monitorización del estado energético aplicado al hogar

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	TimeInt	TimeStr	Frecuencia	Intensidad	Potencia	Tension	kWh		
2	1595619109	24/07/2020 19:31	50	0,56	81	235,9	121,8		
3	1595619229	24/07/2020 19:33	50	0,56	81	236	121,8		
4	1595619349	24/07/2020 19:35	50	0,56	81	236,2	121,8		
5	1595619469	24/07/2020 19:37	50	0,56	81	235,9	121,8		
6	1595619589	24/07/2020 19:39	50	0,56	81	235,6	121,8		
7	1595619709	24/07/2020 19:41	50	0,56	80	235,6	121,8		
8	1595619829	24/07/2020 19:43	50	0,56	80	235,8	121,8		
9	1595619949	24/07/2020 19:45	50	0,56	80	235,8	121,8		
10	1595620069	24/07/2020 19:47	50	0,56	80	235,9	121,8		
11	1595620189	24/07/2020 19:49	50	0,56	80	235,3	121,8		
12	1595620309	24/07/2020 19:51	50	0,56	80	235,6	121,8		
13	1595620429	24/07/2020 19:53	50	0,56	80	236,4	121,8		
14	1595620549	24/07/2020 19:55	50	0	0	236,3	121,8		
15	1595620669	24/07/2020 19:57	50	0	0	236,2	121,8		
16	1595620789	24/07/2020 19:59	50	0	0	236,4	121,8		
17	1595620909	24/07/2020 20:01	50	0	0	236,8	121,8		

Figura 4.26. histórico de los parámetros eléctricos en Excel.

En la Figura 4.27 se muestra el archivo del histórico de los gastos económicos y de energía, mostrándose los valores producidos de manera diaria, cada veinticuatro horas.

	A	B	C	D
1	TimeInt	TimeStr	kWh_dia	suma_gasto
2	1595619149	24/07/2020 19:32	1,40	0,13
3	1595674789	25/07/2020 10:59	1,30	0,12
4	1595761189	26/07/2020 10:59	1,40	0,13
5	1595847589	27/07/2020 10:59	1,40	0,13
6	1595933989	28/07/2020 10:59	6,50	0,60
7	1596020389	29/07/2020 10:59	3,20	0,29
8	1596106789	30/07/2020 10:59	7,20	0,66
9	1596193189	31/07/2020 10:59	5,00	0,46
10	1596279589	01/08/2020 10:59	3,50	0,32
11	1596365989	02/08/2020 10:59	3,80	0,35
12	1596452389	03/08/2020 10:59	7,20	0,66
13	1596538789	04/08/2020 10:59	3,50	0,32
14	1596625190	05/08/2020 10:59	5,80	0,53
15	1596711589	06/08/2020 10:59	2,40	0,22
16	1596797989	07/08/2020 10:59	5,20	0,48

Figura 4.27. histórico de los gastos de energía y económicos en Excel.

4.6 Alarmas

Se ha puesto a prueba la activación de alarmas en la ventana de planificación de la interfaz. Para activar los avisos se debe seleccionar en la sección de “alarmas” los deseados para recibir notificaciones, además de introducir el e-mail al que se enviarán las notificaciones. La sección para activar alarmas e introducir el mail viene representada en la Figura 4.28.

Figura 4.28. Sección de alarmas en la ventana de planificación.

En la sección de “Máximos”, mostrada en la Figura 4.29, se establecen los límites deseados para cada variable. Al superar los límites introducidos, el Flexy enviará un email al correo del usuario notificando que se superaron los valores deseados en la variable correspondiente.

Figura 4.29. Sección de máximos en la ventana de planificación.

Para comprobar el funcionamiento se estableció un valor bajo de potencia máxima instantánea como límite que, al ser superado, generó un reporte al email del usuario (ver Figura 4.30).



Figura 4.30. Reporte de potencia instantánea superada.

También se comprobó el correcto funcionamiento para los avisos de gasto económico y de energía producidos. Para ello se introdujeron máximos cercanos a los actuales y en cuanto los valores fueron actualizados y estos superaron los máximos, se envió una notificación automática al email (ver Figura 4.31, 4.32, 4.33 y 4.34).



Figura 4.31. Reporte de consumo semanal superado.



Figura 4.32. Reporte de consumo mensual superado.



Figura 4.33. Reporte de gasto económico semanal superado.



Figura 4.34. Reporte de gasto económico mensual superado.

4.7 Gráficos en el Flexy

Para poder disponer de una manera sencilla de los datos representados en gráficos sin necesidad de descargar las tablas ni utilizar un software de ofimática, se puede acceder a la ventana de gráficos en la interfaz del Flexy201 (ver Figura 4.35).. En esta ventana están representadas cuatro variables relacionadas con el consumo producido. Las variables de potencia e intensidad indican los valores de estas durante la última hora con un muestreo de dos minutos, mientras que los kWh y euros consumidos vienen representados cada veinticuatro horas los treinta últimos días.

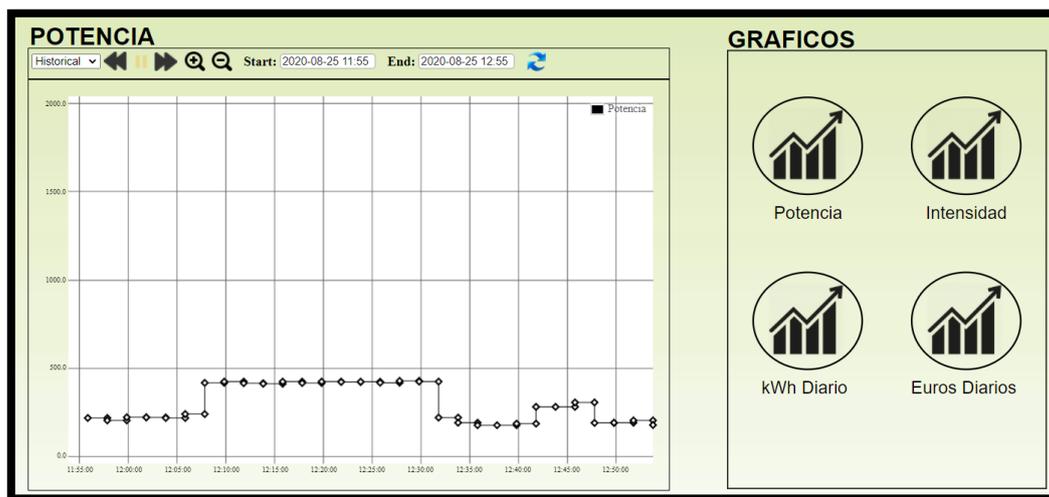


Figura 4.35. Ventana de gráficos representando la potencia.

En las figuras 4.36, 4.37, 4.38 y 4.39 se muestra la representación gráfica de las cuatro variables disponibles en la aplicación. Como se puede observar en la gráfica de potencia, posando el ratón sobre cada punto de muestreo se muestra el valor exacto y el momento en el que se ha producido dicha medida.

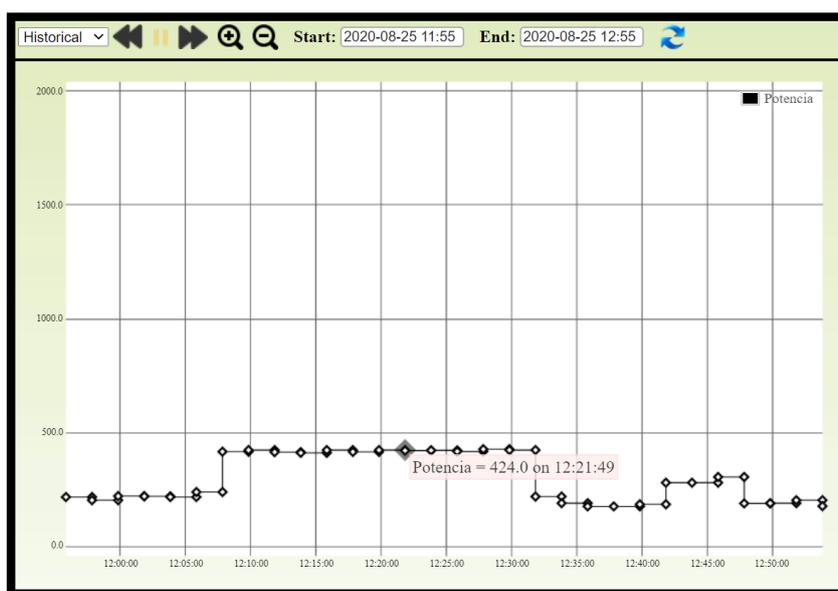


Figura 4.36. Gráfico de la potencia en la interfaz del Flexy.

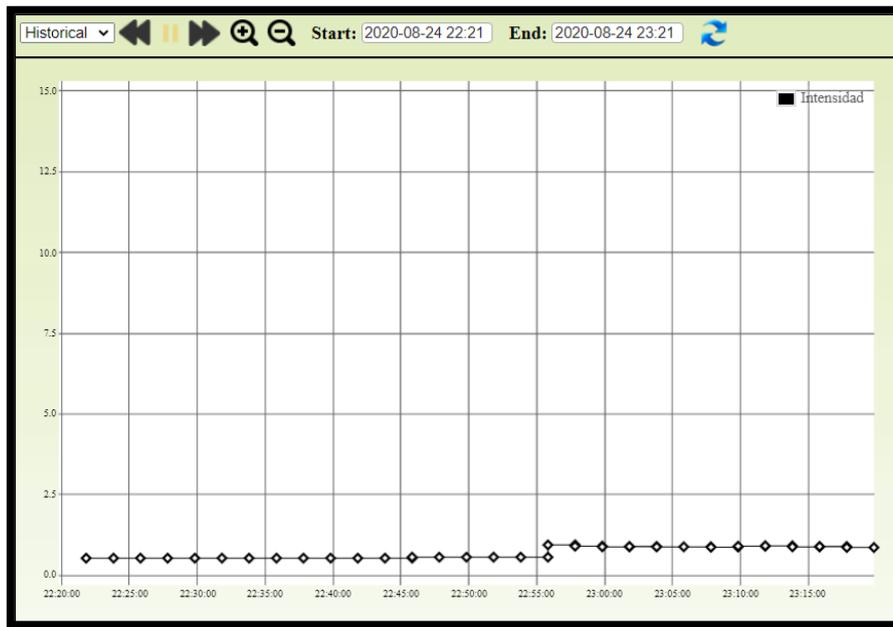


Figura 4.37. Gráfico de la intensidad en la interfaz del Flexy.

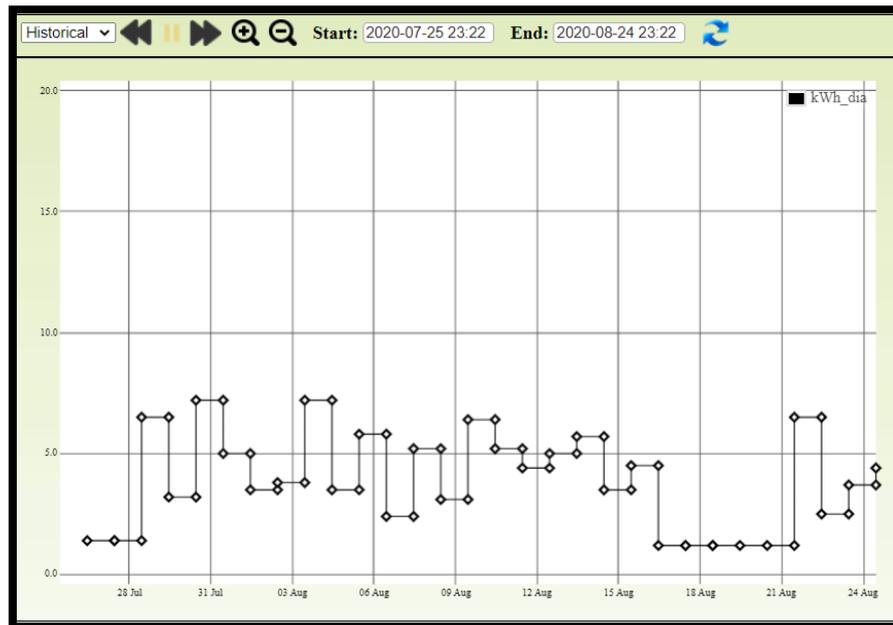


Figura 4.38. Gráfico de los kWh consumidos en la interfaz del Flexy.

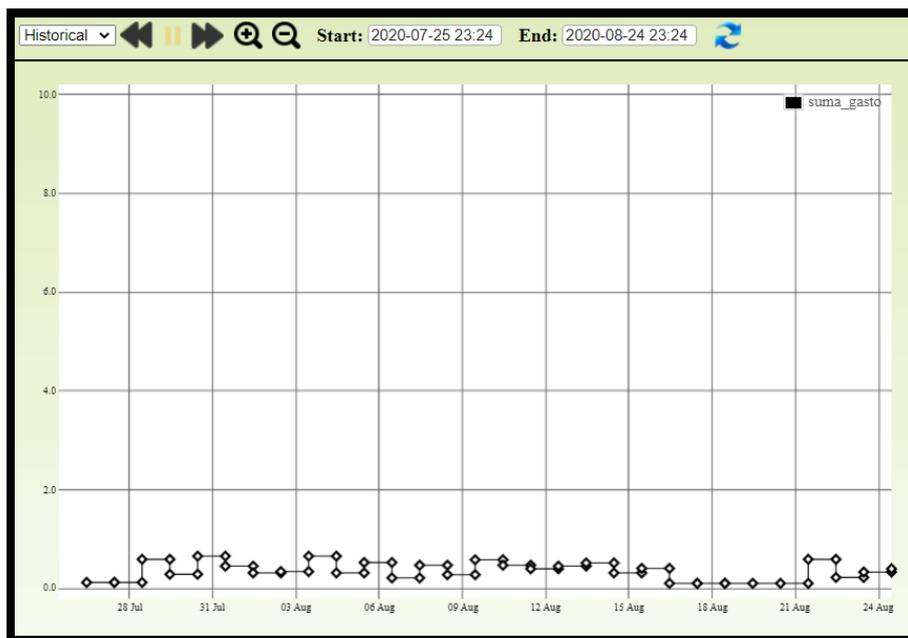


Figura 4.39. Gráfico del gasto económico en la interfaz del Flexy.

4.8 Gasto económico

El gasto económico de los materiales principales para poder llevar a cabo este proyecto viene representado en la Tabla 4.1. En ella se indica la cantidad requerida de cada dispositivo, además del precio por unidad y el total. También se indica el proveedor que ha abastecido cada elemento.

Nombre	Proveedor	Cantidad	Precio ud.	Precio total
Flexy 201	SIDE	1,00	464,00 €	464,00 €
Tarjeta Flexy 3G	SIDE	1,00	183,00 €	183,00 €
Antena magnética MT43	SIDE	1,00	13,00 €	13,00 €
Fuente 24V/5A	Grupo Jarama	1,00	88,80 €	88,80 €
Analizador EM210	Grupo Jarama	1,00	187,40 €	187,40 €
PLC 1212C AC/DC/RLY	Grupo Jarama	1,00	324,00 €	324,00 €
Tarjeta RS485 CB1241	Grupo Jarama	1,00	66,00 €	66,00 €
Total:				1326,20€

Tabla 4.1. Precio de los materiales principales usados en las pruebas.

4.9 Comparativa con la factura eléctrica real

Para contrastar el correcto funcionamiento del sistema y comprobar la correcta recolección de los datos se han comparado los datos de consumo recogidos por el sistema con los presentes en la factura eléctrica mensual proporcionada por la comercializadora, desde el día 16 de julio de 2020 al 16 de agosto de 2020.

En primer lugar, mencionar los kWh que, según la comercializadora, se han consumido en la vivienda durante este periodo, los cuales han sido 113kWh (ver Figura 4.40). La comercializadora varía el importe del precio por kWh cada cierto tiempo, siendo, para el periodo analizado, de 0.044027 €/kWh por peaje de acceso más 0.051876 €/kWh por coste de la energía, representando un total de 0.095903 € por kWh.

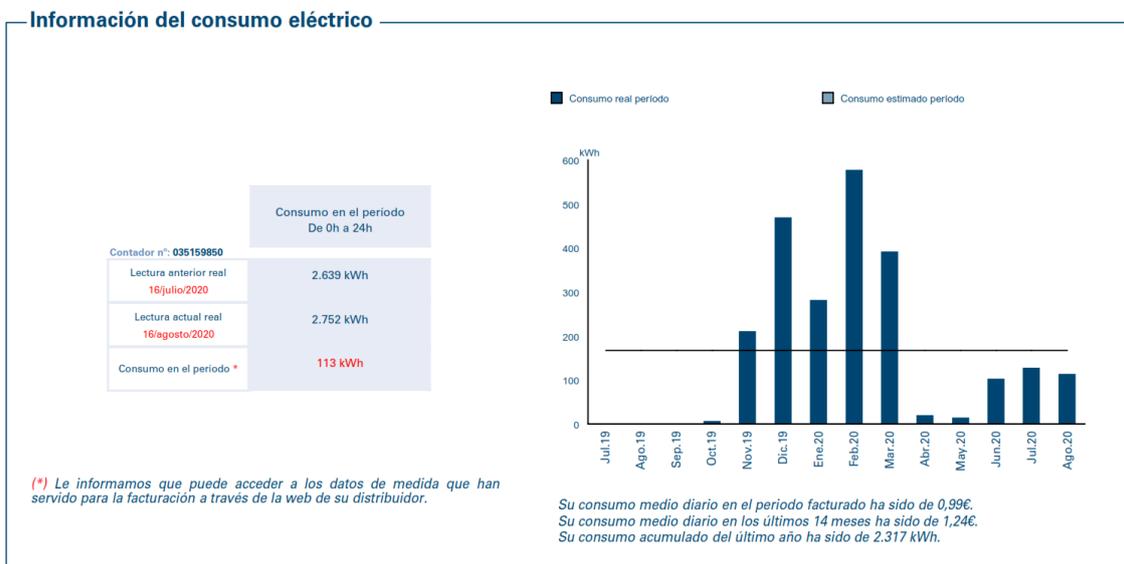


Figura 4.40. Información del consumo eléctrico según la comercializadora.

Aplicando los 113 kWh y los 0.095903 € por kWh se puede calcular el precio de la energía consumida total durante el periodo estudiado. Según la figura 4.41, capturada de la factura eléctrica de la comercializadora, se gastó en este periodo 4.98 € de peaje de acceso y 5.86 € de coste de energía, siendo un total de 10.84 €, coincidente con lo calculado en la ecuación (4.3).

$$Gasto\ mensual_{\epsilon} = Energía * Precio\ tarifa = 113kWh * 0.095903 \frac{\epsilon}{kWh} = 10.837039 \approx 10.84\epsilon \quad (4.3)$$

Facturación por energía consumida: Comprende dos conceptos: la facturación por peaje de acceso (resultado de multiplicar los kWh consumidos en periodo de facturación por el precio del término de la energía del peaje de acceso) y la facturación por coste de la energía (resultado de multiplicar los kWh consumidos por el precio del término de energía del PVPC).		
Importe por peaje de acceso:		
113 kWh (real) * 0,044027 €/kWh	_____	4,98 €
Importe por coste de la energía:		
113 kWh (real) * 0,051876 €/kWh	_____	5,86 €

Figura 4.41. Facturación por energía consumida según la comercializadora.

Una vez estudiados los datos y cálculos entregados por la comercializadora, se va a comparar con los entregados por el Flexy201 en el sistema. Para ello, se ha descargado el histórico de gastos de los últimos tres meses y se han filtrado los datos que interesan para esta comparativa, los medidos entre el día 16 de julio y el 16 de agosto, representados en la Tabla 4.2. Según el histórico del Flexy, la suma de los kWh diarios en el periodo estudiado equivale a 112.6 kWh que, comparados con los 113 kWh medidos por la comercializadora, la diferencia representa un error relativo del 0.35%. Se verifica, entonces, la correcta medida y recolección de los datos por parte del sistema diseñado en este proyecto.

Fecha	kWh Diario
17/07/2020	4,60
18/07/2020	3,90
19/07/2020	1,20
20/07/2020	1,20
21/07/2020	1,30
22/07/2020	1,30
23/07/2020	1,30
24/07/2020	1,40
25/07/2020	1,30
26/07/2020	1,40
27/07/2020	1,40
28/07/2020	6,50
29/07/2020	3,20
30/07/2020	7,20
31/07/2020	5,00
01/08/2020	3,50
02/08/2020	3,80
03/08/2020	7,20
04/08/2020	3,50
05/08/2020	5,80
06/08/2020	2,40
07/08/2020	5,20
08/08/2020	3,10
09/08/2020	6,40
10/08/2020	5,20
11/08/2020	4,40
12/08/2020	5,00
13/08/2020	5,70
14/08/2020	3,50
15/08/2020	4,50
16/08/2020	1,20
Total:	112,60

Tabla 4.2. Histórico de energía consumida diaria según el Flexy 201.

5 Conclusiones y futuros trabajos

Los objetivos de este trabajo han sido desarrollar un sistema de medición y recopilación de datos eléctricos y de consumo que permitiesen al usuario, mediante una interfaz web, interactuar con estos, realizar análisis, graficar los parámetros, configurar alarmas, calcular tarifas, obtener previsiones, disponer de los históricos y realizar todo esto en cualquier lugar y momento gracias a la disponibilidad constante de estas herramientas en la red online. Para desarrollar cada uno de los puntos y competencias del proyecto se ha tenido que realizar un estudio profundo y elegir la mejor solución, cumpliendo así con los objetivos. De esta manera, se ha conseguido desarrollar un sistema capaz de ser utilizado por un usuario sin conocimientos de ingeniería, pero con una gran tecnología presente a nivel bajo que permitiera realizar todos los puntos deseados.

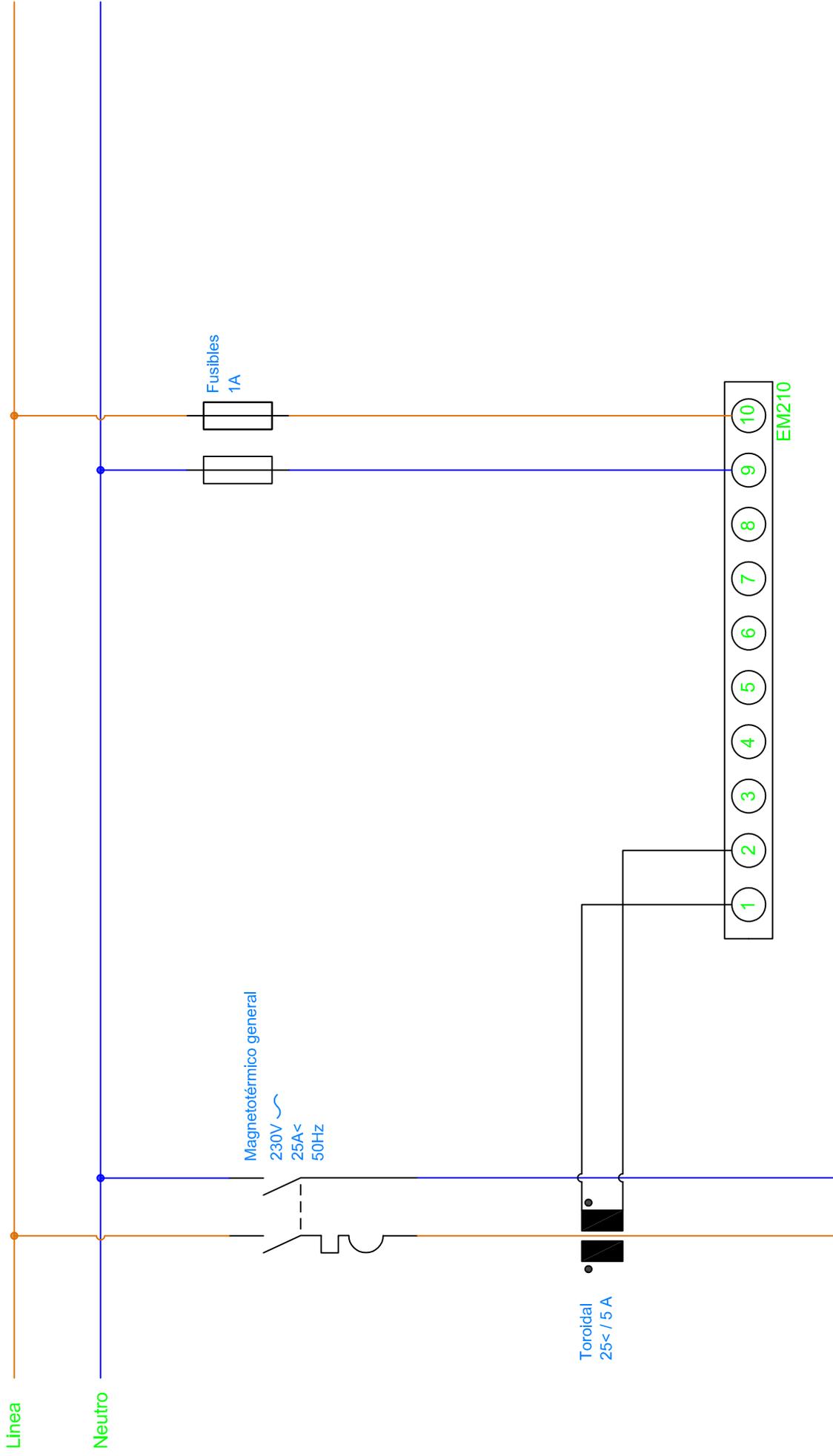
Con los ensayos desarrollados, se han puesto a prueba las competencias del sistema diseñado y se ha contrastado el correcto cumplimiento de las funciones de cada una de las partes. Este proyecto ha abarcado muchos campos interesantes de la ingeniería, ya sean campos de la ingeniería eléctrica para el entendimiento de la obtención de los parámetros y la calidad de la energía, ingeniería electrónica y de control, en la configuración y programación de los dispositivos de inteligencia de control y de toma de decisiones de manera autónoma, además del diseño de la interfaz web y configuración de su disponibilidad online. También, se ha trabajado con herramientas, como Matlab, que han permitido desarrollar un mejor proyecto añadiendo complementos realmente interesantes para aplicar al sistema.

Es un proyecto tan amplio que puede ser sujeto a futuros trabajos de mejora y de adición de complementos. Algunos ejemplos de futuros trabajos sobre este proyecto serían:

- En la herramienta desarrollada en Matlab para graficar los datos, se puede añadir como complemento extra un análisis estadístico con distintas funcionalidades de análisis que ayudasen al usuario a estudiar más profundamente su instalación.
- La obtención satisfactoria de resultados muestra la posibilidad de poder comercializar un sistema de este tipo, adaptando precios que hagan competente el producto gracias a la posibilidad de variar y mejorar la mayoría de las partes del sistema.
- Desarrollar una interfaz más avanzada, programando su diseño en un nivel más bajo en lenguajes de diseño web.
- Analizar y estudiar el mercado para poder desarrollar un dispositivo con un hardware más compacto que disminuya el tamaño físico del sistema.
- Diseñar, utilizando herramientas de reporte de datos, como la desarrollada por Exakom, llamada Pluto, reportes periódicos programados que se enviarían al usuario con la máxima información posible y que, de manera automática, recomendase mejoras para la calidad de la energía o para la disminución del consumo eléctrico.

ANEXOS

Diagrama de conexionado



Esquema: Conexionado de toroidal y analizador

Proyecto: Monitorización del estado energético aplicado al hogar

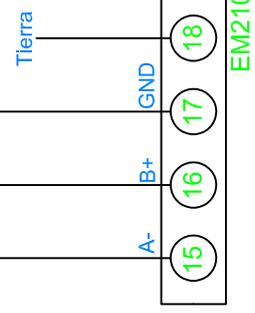
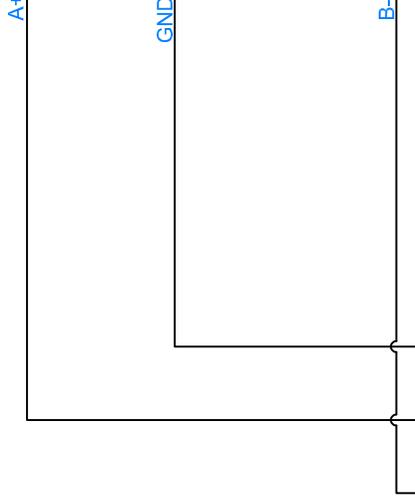
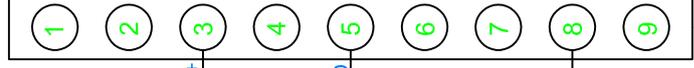
Dibujante: Miguel Ángel López Moreno

Fecha: 20/03/2020

Nº: 01 / 03

Empresa: Universidad de Almería

Tarjeta Flexy de puerto serie (COM1)

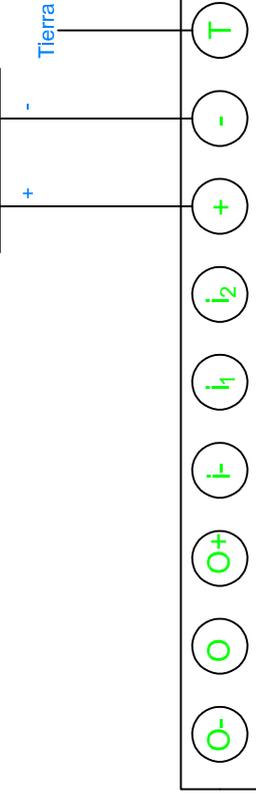
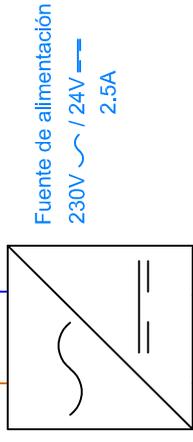
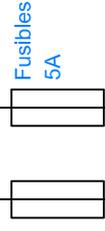
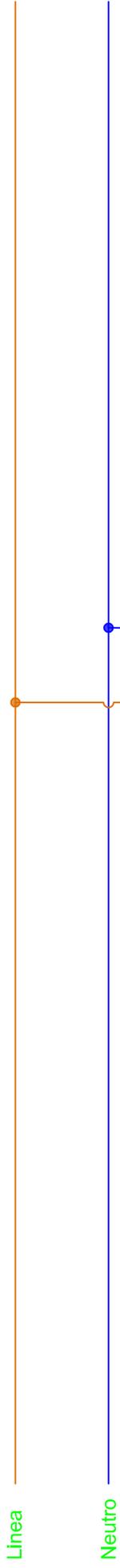


Esquema: Conexionado de la interfaz serie

Proyecto: Monitorización del estado energético aplicado al hogar

Dibujante: Miguel Ángel López Moreno

Fecha: 20/03/2020 N°: 02 / 03 Empresa: Universidad de Almería



Esquema: Alimentación del Flexy 201

Proyecto: Monitorización del estado energético aplicado al hogar

Dibujante: Miguel Ángel López Moreno

Fecha: 20/03/2020

Nº: 03 / 03

Empresa: Universidad de Almería

Bibliografía

- [1] AUG 005 Rev. 1.1; viewON 4; 2017; HMS Industrial Networks SA; 51 pp.
- [2] BOE-326; 2020; Reglamento Electrotécnico Para Baja Tensión; Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado; 280 pp.
- [3] Campos, Sergio A.; López, René D.; González, Adrián; 2009; Bobina Rogowski como sensor de corriente para monitoreo de transformadores de distribución; Centro Nacional de Metrología y Dpto. de Ingeniería Eléctrica (Universidad de Guanajuato); 49 pp.
- [4] Carl R. Nave; Magnetic Field of Toroid; HyperPhysics;
Disponible en: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/toroid.html>
- [5] Carretero Peña, A. y García Sánchez, J. M.; 2012; Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora. Madrid: AENOR ediciones; 26 pp.
- [6] DS 030317; Contador de energía EM210; Carlo Gavazzi Automation; 14 pp.
- [7] EM210 AV - Communication Protocol; 2016; Carlo Gavazzi Automation; 14 pp.
- [8] eWon Technical Support; Export Block Descriptor Helper; HMS Industrial Networks SA;
Disponible en: <https://tools.ewonsupport.biz/ebd/>
- [9] Fernández Herrero P.; 2011; Como realizar una Auditoría Energética; Fund. Confemetal; 140 pp.
- [10] Gilchrist, A.; 2016; Industry 4.0: The Industrial Internet of Things. Nueva York: Apress; 268 pp.
- [11] IG 016 Rev. 1.4; FLA 3301 - Serial Ports Extension Card; 2019; HMS Industrial Networks SA; 22 pp.
- [12] IG 019 Rev. 1.4; eWON Flexy 3G GSM Extension Card FLB 3202; 2015; HMS Industrial Networks SA; 18 pp.
- [13] IG 020 Rev. 1.7; FLB 3271 - Wifi Extension Card; 2019; HMS Industrial Networks SA; 18 pp.
- [14] IG 023 Rev. 1.5; eWON Flexy - 201H; 2017; HMS Industrial Networks SA; 70 pp.
- [15] Matlab App Designer; MathWorks;
Disponible en: <https://es.mathworks.com/products/matlab/app-designer.html>
- [16] RG-0006-01-EN 1.2; 2018; Programming Reference Guide; HMS Industrial Networks SA; 127 pp.
- [17] Rodríguez Penin, A.; 2006; Sistemas SCADA. Barcelona: S.A. MARCOMBO; 480 pp.



En el sector industrial existen multitud de sistemas de monitorización y medición eléctrica que disponen al equipo de mantenimiento de la fábrica de los datos en tiempo real e históricos de todos los parámetros de la energía en su instalación, pudiendo acceder a ellos de manera online desde cualquier lugar y en cualquier momento. Disponer de los parámetros correspondientes al estado de la energía eléctrica permite analizar la calidad de esta y, así, presentar la capacidad de tomar decisiones preventivas o correctivas que mejoren su estado, produciendo reducciones en los costes de la energía consumida, además de aumentar la vida útil de los equipos presentes en la instalación, al haberse reducido distorsiones, desequilibrios y desfases de ondas, entre otras.

Estos sistemas de monitorización presentes en la industria no sólo tienen la capacidad de leer los datos y mostrarlos, sino que son totalmente flexibles, pudiéndose amoldar a las necesidades de los operarios, tanto en interfaces como en posibilidades. Dichos sistemas suelen incorporar una interfaz diseñada para ser lo más sencilla y simple posible, aumentando así la eficiencia del operario a la hora de interactuar con ella. Además, se dispone de multitud de posibilidades totalmente configurables y adaptables a cada caso, encontrándose entre estas las siguientes ejemplos:

- Capacidad de registrar históricos de hasta más de un año de los parámetros leídos, pudiendo descargar estos datos en formatos tales como .csv (Comma Separated Values) para poder ser estudiados y trabajados con programas de ofimática.
- El 'Data reporting' tiene la posibilidad de generar informes con los datos registrados, dando incluso a un usuario sin conocimientos la capacidad de tomar decisiones de mejora gracias a estos.
- Alarmas programadas que avisen a los equipos de mantenimiento de cualquier anomalía o que prevean antes de que se produzca un fallo. Estos avisos pueden ser tanto por vía mail como SMS.
- Gráficos y comparativas de los datos para facilitar el estudio de los parámetros y el cumplimiento de las normativas de calidad.
- Estudios de la energía consumida (kWh) que puedan prevenir un gasto excesivo y elevar demasiado los costes de facturación eléctrica.

Estos sistemas de monitorización y medición han facilitado mucho el trabajo a los equipos de mantenimiento de la fábrica, que con su formación tienen la capacidad de interpretar los datos registrados y navegar a través de SCADAs (Supervisory Control and Data Acquisition) industriales.

Considerando todas estas ventajas del sector industrial, en este Trabajo Fin de Grado se presenta el desarrollo de un sistema de monitorización adaptado a realizar mediciones y monitorizarlas de manera online en un hogar común, con una interfaz sencilla y con un muestreo de los parámetros principales. El sistema propuesto permite dotar a un usuario medio sin formación de la capacidad de controlar el consumo eléctrico y otros factores en su vivienda, pudiendo así tomar decisiones que le ayuden a ahorrar en su factura eléctrica y evitar sorpresas negativas a final de mes.

De esta forma, en el presente trabajo se procederá a adaptar un sistema de monitorización y lectura de los parámetros eléctricos a una vivienda común, teniendo en cuenta la falta de formación de un usuario medio, la debida sencillez grafica de las interfaces, la conexión simple del sistema a la línea eléctrica, la puesta en red online del sistema de monitorización y las configuraciones necesarias para dotar al usuario de la capacidad para tomar decisiones que le ayuden a mejorar la eficiencia energética en su hogar.

Palabras clave: análisis eléctrico, SCADA, comunicación remota, monitorización.

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL 2019/2020