



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño e implementación de un sistema de medidas
eléctricas para equipos de hasta 2,3 kW

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

AUTOR/A: Romero-Ortells Labrada, Ferran

Tutor/a: Martínez Román, Javier Andrés

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar la ocasión para agradecer el apoyo de mis padres, a mi pareja Paula, mis amigos y mi familia. Especial agradecimientos a mi amigo y compañero de la carrera Luis porque me ayudó a darle el último empujón que necesitaba. También especial agradecimiento a mi hermana Inka por el apoyo en las fases finales del proyecto.

También quiero aprovechar para agradecer de manera especial a mi tutor el apoyo que me ha dado durante toda la realización del proyecto.

RESUMEN

El documento presenta el diseño e implementación de un sistema de toma de medidas de consumo de equipos eléctricos de forma remota con monitorización y acceso a datos a través de bluetooth. En particular se emplea un microcontrolador con conectividad Bluetooth Low Energy para la toma y procesado de datos. También se implementa una aplicación Android para su uso como interfaz de usuario accediendo a los datos almacenados en el microcontrolador bajo demanda y mostrando la información representativa de manera intuitiva.

Palabras Clave: monitorización, control, intensidad, tensión, consumo, equipos eléctricos, microcontrolador, Bluetooth, Low energy Bluetooth, Android.

RESUM

El document presenta el disseny i la implementació d'un sistema de presa de mesures de consumo d'equips elèctrics de manera remota amb monitorització i accés a les dades mitjançant Bluetooth. Més concretament, s'empra un microprocessador amb connectivitat Bluetooth Low Energy per a la presa i processament de dades. També s'implementa una aplicació Android pel seu us com interfície d'usuari per accedir a les dades emmagatzemades al microprocessador baix demanda i mostrar la informació representativa de forma intuïtiva.

Paraules clau: monitorització, control, intensitat, tensió, consum, equips elèctrics, microprocessador, Bluetooth, Low energy Bluetooth, Android.

ABSTRACT

This document presents the design and implementation of a system for remotely measuring the consumption of electrical equipment with monitoring and access to data via Bluetooth. A microprocessor with Bluetooth Low Energy connectivity is used for data acquisition and processing. An Android application is also implemented to be used as a user interface accessing the data stored in the microprocessor on demand and displaying the representative information in an intuitive way.

Keywords: monitoring, control, intensity, voltage, consumption, electrical equipment, microprocessor, Bluetooth, Bluetooth Low energy, Android

DOCUMENTOS QUE CONTIENE EL TRABAJO DE **FINAL DE MÁSTER**

- MEMORIA
- PRESUPUESTO

ÍNDICE MEMORIA

CAPÍTULO 1: CONTEXTO Y OBJETIVO	11
1. CONTEXTO	11
2. OBJETIVO	13
3. ALINEACIÓN CON ODS.....	14
CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA.....	17
1. PARÁMETROS BÁSICOS DE MEDIDA	17
2. ANTECEDENTES	21
3. CONDICIONES DE CONTORNO	25
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	27
1. ELEMENTOS DE MEDIDA	27
2. ELEMENTOS DE PROCESADO DE INFORMACIÓN	32
3. INTERFAZ DE INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN	38
CAPITULO 4: SOFTWARE	40
1. DEFINICIÓN DE NECESIDADES Y ESTRUCTURA DEL PROGRAMA	40
2. DEFINICIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	43
3. FUNCIONAMIENTO DE LA INTERFAZ.....	68
4. OTRAS FUNCIONALIDADES RELEVANTES QUE SE PODRÍA AÑADIR	76
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	79
1. CAPACIDAD DE REALIZAR MEDIDAS ELÉCTRICA.....	79
2. AUTONOMÍA DE OPERACIÓN.....	79
3. INTERFAZ DE USUARIO.....	80
4. ACCESO REMOTO	80
CAPÍTULO 6: PROGRAMAS INFORMÁTICOS UTILIZADOS.....	81
CAPITULO7: BIBLIOGRAFÍA.....	82
1. RECURSOS EN LÍNEA.....	82
2. LIBROS Y RECURSOS DE TEXTO.....	84

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-Ecuación genérica función sinusoidal.....	18
Ecuación 2-Relación de tensión de entrada y medida en un divisor resistivo.....	31
Ecuación 3-Relación entre tensión eficaz y tensión pico.....	32

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-Consumo medio per cápita (MWh/año) por continente hasta 2015 (elaboración propia con datos extraídos de IEA https://www.iea.org/).....	11
Figura 2-Objetivos ODS (Extraídos de la web de las Naciones Unidas: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/).....	14
Figura 3-Representación gráfica señal sinusoidal básica	19
Figura 4- Electrodinamómetro mostrado en: http://electricidadipl.blogspot.com.es/2014/06/galvanometros-electromecanismos-de-los.html	22
Figura 5-Sistema de hierro móvil mostrado en: http://www.sapiensman.com/tecnoficio/docs/doc12A.php	23
Figura 6- Ilustración del efecto hall (fuente rsfalicante.umh.es)	28
Figura 7-Representación esquemática del sensor de efecto Hall con sus conexiones. (Elaboración propia).....	30
Figura 8-Eschema general de un divisor de tensión en corriente alterna. (Elaboración propia)	31
Figura 9 -Eschema de conexiones definitivo (elaboración propia).....	37
Figura 10-Cuota de mercado mundial de smartphones por sistema operativo y evoluciones en la década de los 2010- https://es.statista.com/grafico/18920/cuota-de-mercado-mundial-de-smartphones-por-sistema-operativo/ accedido 01 mayo 2021	38
Figura 11-Estadísticas de presencia de sistema operativo en el mundo en 2020 - https://es.statista.com/grafico/18920/cuota-de-mercado-mundial-de-smartphones-por-sistema-operativo/ accedido el 1 de mayo 2021.....	39
Figura 12- Onda senoidal típica y toma de muestras en digitalización (elaboración propia).....	40
Figura 13- Diagrama de procesos- (elaboración propia).....	44
Figura 14-Código Arduino IDE para función eficaz (elaboración propia).....	47
Figura 15-Código Arduino IDE para función media (elaboración propia).....	47

Figura 16-Código del setup del programa (elaboración propia)	48
Figura 17- Estructura ejemplo para muestra de la última hora	48
Figura 18 -Evolución de los datos en cada punto de la toma de muestras.	51
Figura 19-Código en Arduino IDE donde se toman las muestras y se guardan los datos para cada minuto (elaboración propia)	52
Figura 20-Código Arduino IDE para organizar los datos de hora en hora. (elaboración propia)	53
Figura 21-Código Arduino IDE Para dar formato envío de datos en el caso del comando muestra (elaboración propia).....	57
Figura 22-Código Arduino IDE para dar formato a la muestra del último día (elaboración propia)	58
Figura 23-Código Arduino IDE para dar formato a la muestra de la última semana (elaboración propia)	59
Figura 24-Código Arduino IDE del loop de escucha de instrucciones y envío de información. ...	60
Figura 25-Estrutura String compartido por el microcontrolador (elaboración propia)	61
Figura 26-Interfaz de usuario programada en Android Studio (elaboración propia)	62
Figura 27-Ejemplo de representación de la variable de Intensidad para una muestra del comando asociado al botón Dia programada en Android Studio (elaboración propia)	64
Figura 28-Código de decodificación de la información programada en Android Studio (elaboración propia).....	65
Figura 29-Ejemplo de código para la decodificación de una muestra programada en Android Studio (elaboración propia).....	66
Figura 30-Código programado en Android Studio, para la representación gráfica de la variable intensidad.....	67
Figura 31 pantalla inicio aplicación interfaz de usuario.....	68
Figura 32-Captura de pantalla para la pedida de datos del último día.....	70
Figura 33-Captura de datos y representación de la variable tensión para la última muestra....	71
Figura 34-Captura de datos y representación de la variable intensidad para la última muestra	72
Figura 35-Captura de datos y representación de la variable intensidad para el último día	73
Figura 36-Ampliación de muestras 23 a 25 para una muestra de la última semana de la magnitud Intensidad.....	74
Figura 37-Captura de datos y representación de la variable tensión para el último día	75
Figura 38-Captura de datos y representación de la variable potencia activa para la última semana	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Parámetros de ecuación de una señal sinusoidal	18
Tabla 2 -Relación de ecuaciones utilizadas en los cálculos.....	21
Tabla 3-Mágnitudes típicas en entornos domésticos	25
Tabla 4-Parámetros relevantes del sensor de efecto Hall escogido.....	29
Tabla 5- parámetros de las resistencias seleccionadas.....	32
Tabla 6-Parámetro de la resistencia recalculadas.....	36
Tabla 7-Ejemplo de parámetros medidas y guardados en el formato de envío	56

MEMORIA

CAPÍTULO 1: CONTEXTO Y OBJETIVO

1. CONTEXTO

Para entender las necesidades que se pretende abordar con el proyecto debe conocerse el contexto energético actual. Si dejamos de lado situaciones extraordinarias generada por la Pandemia global de COVID-19, la tendencia actual es que la industria y la población crecen y con ellos tanto la demanda de necesidades energéticas directas, calefacción, aire acondicionado, luz, como otras necesidades de consumo eléctrico. Así mismo, las necesidades energéticas indirectas asociadas al crecimiento de necesidades de bienes y servicios provisto por industrias de diversa índole y empresas, también crecen proporcionalmente.

Atendiendo a los datos mostrados en la International Energy Agency, de ahora en adelante IEA, se puede ver que el consumo total de energía se ha incrementado de manera general, y en particular en aquellos continentes en los que se ha avanzado en su industrialización.

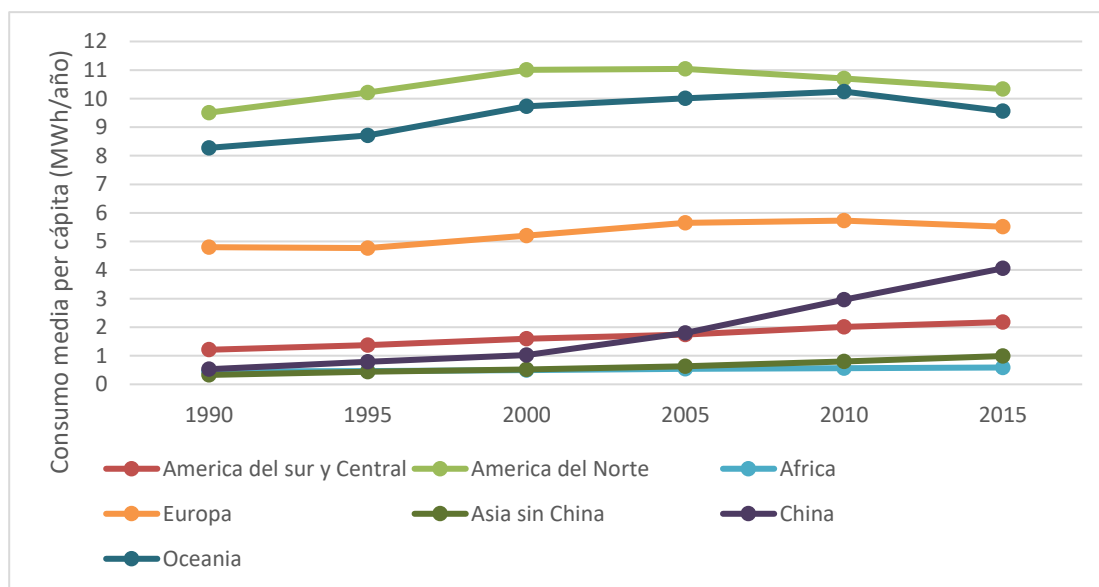


Figura 1-Consumo medio per cápita (MWh/año) por continente hasta 2015 (elaboración propia con datos extraídos de IEA <https://www.iea.org/>)

Como se puede observar el consumo medio por continente depende mucho del estado de desarrollo humano e industrial de la región. En consecuencia, países extensamente industrializados como los pertenecientes a Norte América y Europa, la China, y las grandes islas de Oceanía cuentan con un consumo medio por cápita de hasta 5 veces superior a lugares con menos industria como África o países asiáticos en vías de industrialización.

Nótese especialmente la diferencia entre el consumo per cápita general en Asia y el particular de la China que está llegando a niveles de regiones tradicionalmente más avanzadas tecnológicamente como Europa.

Esto se debe a que, dentro del consumo energético per cápita, se computa el consumo de la industrial siendo un mayor consumo en aquellos países con una industria consolidada. En este aspecto, también cabe destacar la evolución del consumo energético tanto debido a las

variaciones de producción como a consecuencia de la crisis y de maniobras impulsadas por organismos internacionales en el campo de la eficiencia energética. Por ejemplo, en Europa entre otras muchas actuaciones, podemos contar, en la [Directiva 2010/31/UE](#) aprobada en el Congreso europeo donde se sientan las bases para la eficiencia energética en edificios con cuatro puntos principales:

- el marco común general de una metodología de cálculo de la eficiencia energética integrada de los edificios o de unidades del edificio;
- La aplicación de requisitos mínimos en materia de rendimiento energético de los edificios nuevos o de nuevas unidades de edificios, estableciendo, por ejemplo, que para el 31 de diciembre de 2020 todos los edificios nuevos deberán tener un consumo de energía casi nulo (refiérase al artículo 9 de la Directiva);
- la aplicación de requisitos mínimos de eficiencia energética, en particular a edificios y elementos de edificios existentes que sean objeto de reformas importantes e instalaciones técnicas de los edificios cuando se instalen, sustituyan o mejoren;
- la certificación energética de edificios o unidades de edificios, la inspección periódica de las instalaciones de calefacción y aire acondicionado de edificios, y los sistemas de control independiente de los certificados de eficiencia energética y de los informes de inspección.

Este es solo un ejemplo de las directivas a nivel europeo que se han tomado para potenciar la eficiencia energética.

También hay que destacar la gran dependencia energética de algunos combustibles fósiles para la producción de energía, y los gastos el día a día de las personas que se han visto agravados por la coyuntura de la guerra de Ucrania, así como las medidas tomadas en este sentido para limitar el impacto de la subida de los costes de dichos combustibles, tanto a nivel industrial como de materia prima como para su uso en la generación de energía.

A este respecto, se debe indicar también el impacto debido a la pandemia por la ralentización en las importaciones tanto de producción como de materias primas. Por tanto, en los últimos años, se ha reforzado institucionalmente la necesidad de independencia energética que pasa tanto por un control exhaustivo de los consumos detectando cualquier anomalía de manera temprana para dar solución, como por la monitorización en tiempo real para implementar mejoras en el día a día que permitan reducir el consumo energético.

En aras de dotar a la industria de capacidad de monitorización y control, a nivel de procesos y de consumos, la industria ha entrado también en la época de la conectividad y la llamada industria 4.0 donde la mayoría de los aparatos de medida están conectados mediante un dispositivo con capacidad de envío y recepción de datos. De esta manera, en el caso de los sensores se permite un control de las magnitudes medidas por los mismos en tiempo real. Estos elementos pueden emplear tanto un sistema de conexión de corta longitud como es el Bluetooth o un sistema de conexión universal como es internet mediante la aplicación del Internet de las cosas, o IoT (Internet of Things, por sus siglas en inglés). También existen versiones de conexión mediante conexiones físicas, no obstante, centraremos la atención en los sensores que se pueden comunicar de manera inalámbrica.

Por otro lado, cada vez la industria energética está mirando hacia un modelo más digitalizado el cual pueda mantener un sistema más inmediato y que permita el acceso a información en periodos más cortos, y de una forma más cómoda que la tradicional. Por ejemplo, hay compañías comercializadoras de energía, como son Endesa, Naturgy, o Iberdrola entre otras, que pueden directamente online mediante una web o una aplicación móvil (bien en Android o en IOS o en ambos) que permite el acceso a los datos de consumo de forma personalizada.

Con esta creciente demanda, la necesidad de aparatos integrables en un sistema que permitan monitorizar y controlar los consumos energéticos aumenta. A nivel industrial deben tenerse en cuenta otros parámetros de medida de calidad de la energía como la frecuencia, la potencia activa, la potencia reactiva, etc. Esto hace que cada vez se requieran sistemas más complejos con capacidad para tomar datos de manera controlada, que permitan su adecuado procesado y obtención de información útil para el usuario final.

2. OBJETIVO

Una vez situados en el contexto coyuntural de eficiencia energética, cabe destacar las necesidades que debe tener un sistema de medida de consumo eléctrico.

Como más adelante se desarrollará, los parámetros principales que definen el consumo eléctrico de un aparato derivan de los parámetros básicos de tensión e intensidad en los conductores que alimentan a dicho aparato. Por tanto, si se quiere medir el consumo de un aparato o de un clúster de aparatos determinados se deben medir estos parámetros en el punto de consumo, es decir en la línea o los cables de donde estos aparatos estén obteniendo su energía.

Por un lado, cabe destacar que, a la hora de realizar una instalación eléctrica tanto a nivel industrial como a nivel doméstico, los puntos de medida no siempre son accesibles. A este respecto sería muy interesantes que el aparato de medida en cuestión incluyera la capacidad de transmitir o poder obtener dichas medidas de forma remota. De esta manera si se quisieran realizar medidas o directamente obtener alguno de los parámetros medidos y almacenados se podría usar dispositivos como un teléfono móvil, una tableta, un ordenador, etc. y no sería necesario acceder físicamente al aparato de medida.

Por otro lado, el aparato de medida que se propone realizar debería tener la capacidad de ser autónomo a la hora de realizar medidas disponiendo de algún tipo de suministro de energía ya sea mediante baterías o mediante alguna conexión. Además, a la hora de medir los consumos aportaría un valor añadido la capacidad de tomar medidas de forma autónoma para la realización de históricos, sobre todo a la hora de medir los consumos de aparatos de conexión continua como pueden ser máquinas de producción en el ámbito industrial o electrodomésticos como neveras, congeladores termo acumuladores eléctricos, estufas, etc. en el ámbito más doméstico.

Así mismo, facilitaría enormemente el uso de este dispositivo disponer de una interfaz sencilla que permitiera acceder a la información recopilada o en tiempo. Para lo cual, se necesitaría también una forma clara exponer dicha información mediante gráficos o valores significativos que ayudara a la comprensión y análisis de la información.

Por tanto, a rasgos generales, las necesidades detectadas que debería cumplir el dispositivo, y que recogen los objetivos a cumplir de manera cualitativa, se muestran a continuación:

- Ser capaz de realizar medidas de tensión e intensidad eléctrica como datos base de consumo y poder calcular a partir de éstas otros parámetros de interés eléctrico.
- Tener autonomía a la hora de tomar las medidas, tanto a nivel de disponer de una fuente de conexión propia de suministro de energía o algún tipo de baterías, como a la hora de realizar las medidas sin necesidad de intervención o acceso físico del usuario más allá del momento de la instalación de medidas de consumos.
- Tener una interfaz capaz de representar la información de forma sencilla y clara para facilitar el análisis y comprensión de la información.
- Poder accederse de forma remota para evitar tener que acceder de manera física al dispositivo cada vez que se quiera obtener la información almacenada.

3. ALINEACIÓN CON ODS

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS de ahora en adelante) ha sido planteados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU de ahora en adelante) como las principales directrices para llegar a un futuro sostenibles para todos:



Figura 2-Objetivos ODS (Extraídos de la web de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>)

El objetivo principal del trabajo está relacionado con los objetivos de desarrollo sostenibles de: **Industria, innovación e infraestructura (objetivo 9)**; **Ciudades y comunidades sostenibles (objetivo 11)** y **Producción y consumo responsable (objetivo 12)**. A continuación, se muestra la relación de los objetivos con el trabajo realizado.

Industria, innovación e infraestructura

El dispositivo resultante puede aplicarse en un entorno industrial. Incluso con las modificaciones adecuadas éste se puede integrar en la propia infraestructura de una planta productiva. Por tanto, es una solución innovadora que permite el desarrollo de una industria sostenible.

La aplicación del dispositivo permite un mayor control de la demanda de energía de un punto, como puede ser un equipo o clúster de equipos, lo cual facilita detectar tempranamente si hay alguna avería que cause consumo de energía anómalo. Gracias a esta detección temprana de las desviaciones se evita un consumo excesivo de energía lo cual minimiza el tiempo en que se tiene un consumo excesivo y protege así los equipos de parámetros para los cuales no están diseñados.

Además, en su integración con la industria puede aportar una infraestructura de medida de consumo energético que permite una monitorización de los procesos y un grado de trazabilidad superior de los recursos consumidos por cada puesto de trabajo o conjunto de procesos.

Ciudades y comunidades sostenibles

De forma análoga, el dispositivo se puede integrar en un entorno más doméstico o urbano para realizar las funciones de control de consumo de energía.

Además, aunque el dispositivo se ha dicho que mide consumo, realmente está midiendo la tensión y la intensidad que circulan por un punto en particular. Esto es aplicable tanto al consumo de energía como a la producción, permitiendo tener un dispositivo integrable en instalaciones de energía renovables monitorizando la energía producida por este conjunto, y ayudando a la monitorización y control de comunidades energética.

En conjunto con el control del consumo energía permite a un entorno doméstico monitorizar los consumos netos de energía ayudando a la hora de tomar decisiones en cuanto el cambio o implementación de sistemas de eficiencia energética apoyando la evolución y creación de comunidades y ciudades sostenibles.

Producción y consumo responsable

Como ya se ha comentado, la principal función de equipo es medir consumos, aunque también se pueden medir producción de energía. Además, el equipo en si está diseñado para que el coste material sea bajo y por tanto sea fácil disponer de varios dispositivos para controlar diferentes partes de un punto de consumo (una casa, un edificio, una planta, etc.).

Además, su fácil acceso permite al usuario final tener plena accesibilidad a los datos cuando se encuentra en la cercanía de dispositivos y realizar un seguimiento en detalle de todos los consumos y producciones para ajustarse a una producción y consumo responsable de los recursos energéticos.

Otros ODS implicados

De forma colateral, el equipo objeto del presente documento también puede ajustarse a otros objetivos de desarrollo sostenible a través de la mejora de la eficiencia, monitorización y control de recursos energéticos empelados en procesos, tanto cotidianos como en procesos en entorno industrial. En este último entorno cabe destacar que se puede aplicar tanto en las instalaciones del propio edificio, ayudando a monitorizar la eficiencia energética de todos los equipos

necesarios como iluminación, equipos de climatización, equipos informáticos, etc. como en los propios equipos para procesos de producción.

Algunos de los ODS que entraría en este apartado serían:

- **Energía asequible y no contaminante (objetivo 7):** pudiendo monitorizar la producción energía de fuentes renovables y realizando acciones en consecuencia ya sea reactivar o desactivar ciertos equipos, dispositivos, etc.
- **Acción por el clima (objetivo 13):** pudiendo monitorizar los consumos energéticos de ciertos equipos se podrá desarrollar estrategias para reducir el consumo apoyando a la mitigación del cambio climático a través de la mejora de eficiencia de los procesos y ajustando los recursos energéticos tanto en entornos industriales como en domésticos.
- **Vida submarina (objetivo 14) y Vida de ecosistemas terrestres (objetivo 15):** al aumentar la eficiencia de los procesos se reduce el consumo de recursos. En el caso de la energía, por ejemplo, al reducir la demanda se puede reducir la producción de energía y, en lugares como España donde en el mix energético tienen una importante presencia las energías no renovables se reduciría su necesidad. Esto afectaría directamente a las emisiones contaminantes tanto para medio terrestre como medio marino promoviendo la vida en estos entornos.

Por tanto, el dispositivo está alineado de forma directa e indirecta con los objetivos de desarrollo sostenible propuestos por la ONU promoviendo un futuro sostenible para todos.

CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA

1. PARÁMETROS BÁSICOS DE MEDIDA

Como se ha adelantado, los parámetros principales a medir son la intensidad y la tensión que circula en un cable de alimentación para conocer el consumo. A continuación, se pasará a describir brevemente en qué consisten dichos parámetros.

Intensidad o corriente eléctrica: Este parámetro consiste en la cantidad de cargas eléctricas por unidad de tiempo que circulan a través de una superficie. En el caso de los conductores de alimentación esta superficie consiste en la sección de conductor. La unidad de medida empleada para este parámetro es el amperio.

Tensión o diferencia de potencial eléctrico: Este parámetro se define como el trabajo que debe realizar una fuerza eléctrica para trasladar una carga entre dos puntos. En este caso, solo son capaces de cuantificar la diferencia de energía entre dos puntos donde habitualmente el punto de referencia o punto base se llama “tierra”. La unidad de medida que se emplea es el voltio.

Frecuencia eléctrica: La inversa de la cantidad de tiempo que tarda un fenómeno en repetirse.

Estos tres parámetros son los que se consideran básicos para conocer el consumo eléctrico de un aparato. Si se miden estos tres parámetros a la entrada de dicho aparato se podrá hallar su consumo. En relación con la medida del consumo hay que destacar que el presente proyecto pretende calcular la medida de consumos en regímenes estacionarios de aparatos de uso continuos ya mencionados. Más adelante se definirán los rangos de variabilidad de estos parámetros para el caso práctico de aplicación que se quieren dar y en consecuencia las magnitudes de diseño y las especificaciones de los componentes que se emplearan en la materialización del prototipo.

A continuación, se describirán las magnitudes derivadas de los tres parámetros principales empleadas para cuantificar el consumo de energía y su calidad. La magnitud que se empleará para medir el consumo eléctrico instantáneo de un aparato consumidor de energía va a ser la potencia.

En el caso del estudio del consumo eléctrico podemos encontrar tres magnitudes derivadas de la tensión y la intensidad que nos indican el consumo de un aparato: Potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente. A continuación, se describirán en que consiste cada una de ellas cuando estas son medidas en régimen estacionario.

La potencia activa, denotada en el documento por P , indica la energía que realmente se está extrayendo de las redes para producir cambios o efectos sobre el exterior (como trabajo o calor).

La potencia reactiva, denotada en documento por Q , representa la cantidad de energía intercambiada con la red y empleada en crear campos magnéticos y eléctricos.

La potencia aparente, denotada por S en el documento, es la composición compleja de las dos potencias anteriores o el producto de la tensión eficaz por la corriente eficaz. Al trabajar normalmente en redes de tensión cuasi constante, la potencia aparente es una indicación de la corriente que se debe consumir de la red para producir el conjunto de efectos deseados

(potencia activa para trabajo o calor y potencia reactiva para crear campos eléctricos o magnéticos necesarios para el funcionamiento del consumo). De esta manera, bajo el nombre de “aparente” se cuantifica toda la energía consumida por un aparato destinada a producir un efecto en el medio o un campo magnético. Esta potencia es la forma de cuantificar lo que se extrae de la red.

Antes de profundizar en el caso particular del proyecto, que es el consumo de energía eléctrica en un suministro en corriente alterna, se hará un inciso para justificar la forma de cálculo escogida y las herramientas matemáticas empleadas. Para ello se debe explicar, someramente, las características de las señales senoidales, así como las ecuaciones de cálculo empleadas para cuantificar sus parámetros.

Una señal senoidal o senoide hace referencia a una curva gráficamente representada mediante la función seno. Así mismo se puede identificar la función senoidal genérica, en función del tiempo, mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 1-Ecuación genérica función sinusoidal

$$y(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

En la tabla se describen los parámetros que define la ecuación:

Tabla 1- Parámetros de ecuación de una señal sinusoidal

Símbolo	Nombre	Unidad	Significado
A	Amplitud	La unidad de la magnitud representada	Valor del pico de la función o valor máximo
ω	Frecuencia angular	Rad/s	Repetitividad de la función, esto es, cada cuanto tiempo la función repite la forma
t	tiempo	s	Instante de tiempo en el que se representa la función
φ_0	Desfase inicial	Rad	Posición inicial de las variables respecto a su pase por donde un desfase nulo haría que la amplitud inicial coincidiera con el eje de coordenadas (t=0, y =0)

A continuación, se muestra la representación gráfica de una onda senoidal con las magnitudes principales identificadas.

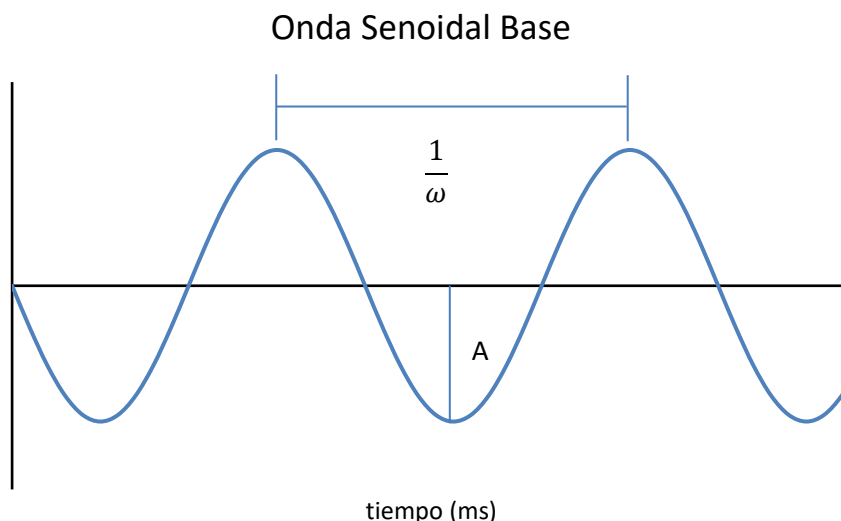


Figura 3-Representación gráfica señal sinusoidal básica

En esta ocasión el desfase inicial en la onda es π dado que el origen de coordenadas coincide con el origen de tiempos para una onda senoidal, pero el primer pico es negativo. Así mismo cabe destacar que al ser ondas periódicas habitualmente se mide el desfase entre dos ondas eligiendo una como referencia de tiempos. Es decir, se emplea una como referencia en 0 y se mediría del resto de ondas la diferencia entre pasos por cero medidas en ángulos de onda (un periodo igual a 2π radianes).

Respecto al cálculo de la energía consumida se emplea la potencia como energía que se está consumiendo instantáneamente. Desde el punto de vista eléctrico, la forma más cómoda de medir los parámetros de una corriente que circula por un conducto es mediante la medida de intensidad y tensión instantáneas. La potencia es un parámetro compuesto de estos dos de manera que la potencia instantánea es el producto de la intensidad y la tensión instantáneas. Es necesario operar con estos dos parámetros para obtener el tercero.

En este campo de aplicación para simplificar las operaciones con los diferentes parámetros, ondas oscilatorias de carácter senoidal, se recurre al uso de fasores. Los fasores son una forma de representar estas funciones recurriendo a los números complejos de manera que los parámetros principales de la función son la amplitud y el desfase inicial.

Así mismo, a la hora de emplear medios digitales, hace falta recurrir a discretizar las funciones. Este concepto se trata de transferir funciones continuas en el tiempo, modelos, variables y ecuaciones a sus equivalentes discretos. Es decir, se basa en trasladar la información inicial de una señal continua formada por infinitos elementos a un conjunto muestreado equivalente finito suficientemente cercano a la realidad para que el posible error por omisión de información se considere insignificante.

En muestreo de señales periódicas. Como las que ocupan el centro de atención del proyecto es de aplicación el teorema de Nyquist-Shannon. Este indica que la información completa de una señal analógica original que sea una señal periódica continua en banda base es reconstruible si la tasa de muestreo es superior a el doble de su ancho de banda.

En el caso del proyecto implica que se pueden reconstruir las ondas de magnitudes eléctricas en régimen estacionario teniendo una frecuencia de muestreo del doble de su frecuencia, es decir, de al menos el doble de frecuencia de red. Igualmente, debe tenerse una frecuencia de muestreo superior a la frecuencia de la onda.

Dado que las redes de distribución reales y los equipos en los que se desea medir la potencia siempre tienen un cierto grado de distorsión, siempre resulta adecuado utilizar un valor superior a éste para tener así la capacidad de contabilizar el efecto de distorsión. De igual modo, para evitar que las señales se reconstruyan adecuadamente, según el teorema de Nyquist, se debe tener como frecuencia de muestreo al menos el doble de la frecuencia de la onda muestreada. También se deberá tener en cuenta la velocidad máxima de muestreo dada por la capacidad del equipo.

Así mismo, antes de proceder a mostrar las ecuaciones empleadas para el cálculo de consumo de potencia se introduce el concepto de valor eficaz de una función. En tecnología eléctrica el concepto de valor eficaz sirve para trasladar el efecto de una corriente eléctrica alterna periódica al equivalente de una corriente rigurosamente constante al circular por una resistencia óhmica determinada produjera la misma potencia. Es interesante desde el punto de vista del cálculo dado que al tratarse de corrientes sinusoidales darían resultados irrelevantes si se realizaran cálculos con valores medios en un periodo determinado. Es decir, si se buscara el valor medio de la corriente, la parte positiva de la onda se compensaría con la parte negativa dando cero y, por tanto, resultando en un consumo de potencia nulo que no sería cierto.

Una vez descritos los parámetros y su significado se mostrarán en la Tabla 2, a continuación, las herramientas matemáticas que se van a emplear para el cálculo de estas. También se mostrará su equivalente discreto. Mientras que en la columna titulada "Función matemática" se muestran los cálculos de forma infinitesimal, resultados de aplicar la definición matemática estricta en la columna "Cálculo discretizado" tendríamos su equivalente empleando valores instantáneos.

Hay que destacar que las medidas que se toman tienen un valor para un cierto instante de tiempo denotado t . Por otro lado, el periodo lo hemos denotado por T , compuesto por una cierta cantidad de instantes de tiempo t relacionada con la cantidad de muestra por periodo que se registren. Estas medidas de magnitudes instantáneas se emplearán para el cálculo de potencia instantánea o potencia activa. Por otra parte, en lo relativo a el cálculo de la potencia aparente, deberemos emplear el valor eficaz de tensión y corriente a lo largo de un periodo de muestra.

Como ya se ha mencionado previamente los diferentes parámetros de potencia tienen interdependencia permitiendo dejar uno en función de los otros dos. Por facilidad de operativa e interés para el cálculo de trabajo real realizado por un equipo se tomarán medidas para el cálculo de la potencia activa, y, por ende, energía activa y de la potencia aparente. La potencia reactiva se dejará como defecto de las otras dos magnitudes.

Tabla 2 -Relación de ecuaciones utilizadas en los cálculos.

Magnitud	Función matemática	Cálculo discretizado
Valor eficaz de una función	$F_{Efi}(t) = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_t^{t+T} F^2(t) \cdot dt} \quad (1)$	$F_{DEfi}(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{i=Td} F^2(t)}{Td}} \quad (2)$
Potencia Aparente (S)	$S = U_{Efi}(t) \cdot I_{Efi}(t) \quad (3)$	$S_D = U_{DEfi}(t) \cdot I_{DEfi}(t) \quad (4)$
Potencia Activa (P)	$P = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} U(t) \cdot I(t) dt \quad (5)$	$P_D(t) = \frac{\sum_{i=0}^{i=T} U_i(t) \cdot I_i(t)}{Td} \quad (6)$
Potencia Reactiva (Q)	$Q = \sqrt{S^2(t) - P^2(t)} \quad (7)$	$Q_D = \sqrt{S_D^2(t) - P_D^2(t)} \quad (8)$

En resumen, se obtendrá de forma directa 2 valores y dado que los 3 valores característicos de la potencia están relacionados entre sí se hallará el 3ero en función de estos 2.

2. ANTECEDENTES

Como antecedentes vamos a analizar cada una de las partes implicadas en el proceso desde que se toma la información hasta que la recibe el usuario: sensores, procesado de señales, envío de señales y recepción, procesado y visualización de la información.

Respecto a los sensores de medida de parámetros eléctrico hay que destacar que estos han ido avanzando conformes el campo de la electricidad y la electrónica han ido ampliado su conocimiento. El primer aparato capaz de tomar la medida de parámetros eléctricos registrado fue el galvanómetro cuya descripción se publicó por primera vez en 1820 por el físico y químico danés Hans C. Oersted (El descubrimiento de Oersted, 5 de octubre 2006 Extraído de <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/campo/CONCEPTO.htm>). El fenómeno mediante el cual se realizaba la medida era cuantificando la desviación provocada sobre una brújula el paso de una corriente eléctrica.

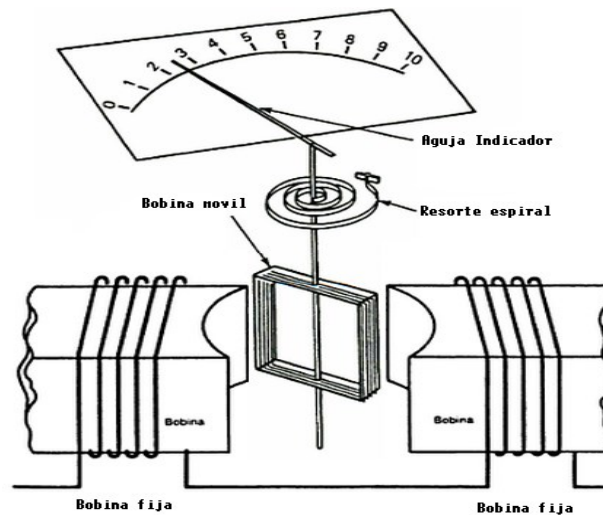


Figura 4- Electrodinamómetro mostrado en: <http://electricidadipl.blogspot.com.es/2014/06/galvanometros-electromecanismos-de-los.html>

Ohm empleó este mecanismo para desarrollar una de las leyes eléctricas más empleadas y conocidas, la ley de Ohm.

El diseño del galvanómetro fue implementado de forma fiable con el diseño de realizado en 1882 por Arsen D'Arsoval. Este diseño se basaba en el empleo de un imán permanente rodeado con una bobina móvil a la que se le acopla una aguja y una escala gráfica en la cual se puede medir la deflexión que será proporcional a la intensidad que recorre la bobina móvil. La deflexión se debe a la fuerza electromagnética causada por la intensidad que se opone a un resorte. La forma comercial de estos equipos se atribuye a Edward Weston. Se han realizado múltiples mejoras como el empleo de un electroimán en lugar de un imán permanente o el uso de elementos adicionales para equilibrar la aguja, etc. Este equipo también se conoce como electrodinamómetro; en la siguiente figura se muestra un esquema del equipo básico con algunas mejoras implementadas.

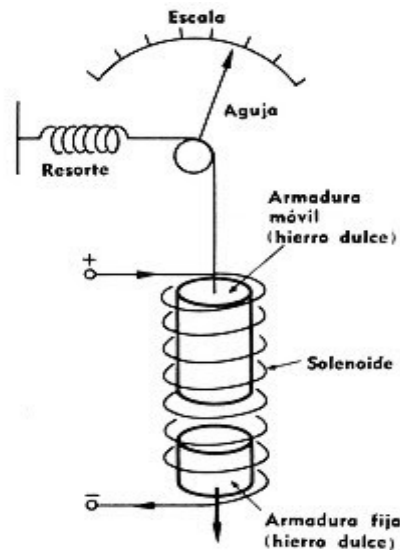


Figura 5-Sistema de hierro móvil mostrado en:
<http://www.sapiensman.com/tecnoficio/docs/doc12A.php>

Uno de sus puntos débiles es el alto consumo que tiene dada la necesidad de crear el campo magnético de la bobina fija. Cabe destacar que estos medidores tienen poca sensibilidad, por lo que suelen usarse medidores con imanes permanentes. Hay múltiples soluciones constructivas que mejoran este aspecto, pero no se va a profundizar en los mismos, dado que no se considera de interés para este proyecto.

Una vez descrito el sistema básico de medidas se van a comentar los principales instrumentos que han derivado del electrodinamómetro: los amperímetros, los voltímetros y los convertidores analógicos-digitales.

Los amperímetros son elementos dedicados a medir la magnitud de intensidad de corriente que pasa por un conductor. Emplean fenómenos físicos para cuantificar la magnitud de la corriente. Para la medida de este parámetro se pueden emplear diversos sistemas:

- Amperímetros analógicos basado en electrodinamómetros. Estos instrumentos aún se emplean para algunas aplicaciones hoy en días con variaciones constructivas que permiten eliminar algunas de sus desventajas.
- Amperímetros analógicos electromagnéticos o de imanes móviles. Estos funcionan basados en el principio de hierro móvil mostrado anteriormente.
- Amperímetros analógicos electrodinámicos. Estos están basados en el uso de dos bobinas de las cuales una se deja fija. Ambas bobinas son recorridas por una intensidad proporcional a la intensidad a medir de tal manera que se crean dos campos magnéticos. Entre estos campos magnéticos creados uno en la bobina fija y uno en la bobina móvil se crea un par de torsos sobre el sistema móvil que causa una deflexión proporcional a la corriente. Este sistema se puede usar independientemente del tipo de corrientes (alterna o continua) mientras que el resto de los amperímetros mencionados solo se emplean en corrientes continuas.

Los voltímetros son elementos dedicados a medir la magnitud de diferencia de tensiones entre dos puntos. Los voltímetros que basan sus sistemas de medida en fenómenos físicos son muy

similares a los amperímetros antes mencionados, con la salvedad de que basan su medida en los campos magnéticos. Si conectamos una resistencia conocida entre dos puntos se puede medir la intensidad que circula. Siguiendo la propia ley de Ohm podemos hallar la tensión o voltaje entre dichos puntos.

Aunando ambos equipos en uno solo se puede describir el funcionamiento del vatímetro, que mide la potencia suministrada a una carga empleando bobinas fijas llamadas de corriente o amperimétricas y una bobina móvil también llamada voltimétrica o de tensión. Las bobinas fijas se conectan en serie con la carga y la bobina móvil se conecta en paralelo con la carga. Por la bobina fija pasará una corriente que genera un campo magnético proporcional a la potencia disipada. En general se le conecta una resistencia de gran impedancia a la bobina móvil para minimizar la corriente inducida.

Conectando los elementos de la forma descrita se logra que la deflexión de la aguja sea proporcional a los dos parámetros medidos, tensión e intensidad, de manera que se cumple la ley de Ohm y, por tanto, se obtenga la potencia disipada. Una particularidad de este sistema es que, si la corriente que recorre la bobina es continua, el valor obtenido es equivalente a si multiplicamos la medida de un amperímetro y un voltímetro por separado. En caso de ser una corriente alterna los valores dados son los productos de la tensión e intensidad instantáneas.

Como se ha mencionado antes el campo de las medidas ha avanzado junto con el campo de la electricidad y la electrónica. En esta línea el siguiente avance más reseñable vino dado de la mano de la electrónica con los convertidores analógicos y digitales. Estos toman las medidas de una señal analógica y las digitalizan mediante la transformación en un voltaje que puede medir un elemento y transformarlo en un número entendible por un dispositivo electrónico que los transforma como un dato digital.

En el campo de las medidas eléctricas, a la hora de implementar un medidor digital simplemente se hace recorrer un circuito con un voltaje proporcional a la magnitud medida en el sistema mediante transductores. Como nos hemos centrado en la medida de tensión e intensidad, se puede emplear un voltaje proporcional mediante el empleo de un divisor resistivo o *shunt* transformando la intensidad en voltaje. Esta señal proporcional llega al convertidor analógico digital y transforma la magnitud en un número binario entendible por una máquina que mediante, un decodificador, transforma el número binario a decimal representando el valor de la magnitud medida en un *display*. Una vez se ha conseguido transformar la señal analógica en digital, ya sea en sistema binario o no, se puede operar realizando, por computación, los cálculos necesarios para obtener los valores deseados.

Con la capacidad de integración de este tipo de sistemas se llegó a la implementación de multímetros compuestos por un sistema eléctrico-electrónico que suele ofrecer varias opciones para medir parámetros eléctricos de tensión e intensidad tanto en alterna como en continua. Otra prestación que suelen integrar es la medida de la resistencia de un elemento.

Incrementando el uso de la electrónica y la capacidad que tiene de procesar y almacenar datos con el uso de microcontroladores o computadores; los equipos de medida han avanzado también en este sentido. Existen varios equipos capaces de tomar una cuantiosa cantidad de muestras y guardar los datos para someterlos a un análisis posterior.

A este respecto, uno de los equipos más potentes y modernos desarrollados en el campo de la toma de medida de la electricidad son los Analizadores de redes. Estos aparatos son complejos equipos electrónicos que permiten medir esos parámetros y magnitudes características de un circuito o una red determinada. Poseen la capacidad de almacenar esa información, ya sea en elementos internos o externos. Así pues, se puede procesar la información a posteriori y analizar los parámetros más interesantes. No se va a profundizar mucho en estos aparatos dado que habitualmente son voluminosos e implican una instalación aparatosa accediendo a las líneas principales de los circuitos sometidos a estudio.

Como se ha podido observar a lo largo de la anterior exposición los equipos de toma de medidas eléctricas han evolucionado hacia la adquisición de datos empleando señales digitales. Además, cada vez los equipos son capaces de realizar más cálculos y tomar mayor cantidad de medida ya sea tomando más medidas de un parámetro en particular o teniendo la capacidad de tomar medidas de un número más diverso de parámetros. También cabe destacar que, aunque los analizadores sean los equipos más completos dependiendo de las aplicaciones siguen conviviendo con otros aparatos como por ejemplo los multímetros.

Con la necesidad de conectividad, de monitorización y control los equipos y toma de medida más avanzadas también incluyen este tipo de características teniendo capacidad de transmitir datos mediante diferentes tipos de conexión. En estos aparatos más complejos y completos se incidirá en el apartado de selección de alternativas donde se estudiará en más detalle el estado actual del sector de aparatos de medida eléctrica.

3. CONDICIONES DE CONTORNO

Una vez contextualizados los elementos de medida pasamos a contextualizar el entorno de aplicación del proyecto. Esto es de suma importancia dado que el entorno en el que se implemente determinará las condiciones y las características que deberá tener el aparato.

Para el desarrollo se ha optado por un entorno de aplicación por seguridad de las diferentes pruebas y por su accesibilidad sea el de Baja tensión. Además, el destino de las pruebas que se realizaran con el equipo será de aparatos eléctricos de consumo continuo como son algunos electrodomésticos (neveras, climatizadores, etc.).

Esta aplicación hace que la tensión que soporta el aparato sea de alrededor de 230 V en régimen estacionario. Además, fijándonos en cada uno de los aparatos que se pueden conectar en un entorno doméstico se estima que la intensidad máxima a medir sea de unos 10 A por aparato. Esto sitúa a el dispositivo para medir equipos de hasta 2,3 kW. Además, se sabe que la frecuencia de la red será muy estable y en torno a 50 Hz. En total la parte encargada de procesar la información debe ser capaz de tomar las muestras con una tasa de muestreo de entre 200 y 1000 muestras por segundo. A modo de resumen, se muestra en una tabla los principales parámetros para tener en cuenta desde el punto de vista del diseño eléctrico.

Tabla 3-Mágnitudes típicas en entornos domésticos

Parámetro	Valor	Unidad
Tensión eficaz	220	V

Intensidad pico	10	A
Frecuencia	50	Hz

Se tomará de formas separada el parámetro de intensidad y de tensión mediante dos sensores independientes, de manera que se puedan tomar ambas medidas en cada ciclo de toma de datos y realizar un seguimiento de la evolución de los parámetros principales de forma individualizada pudiendo tomar los datos con suficiente rapidez.

En el sistema eléctrico español, se puede tomar la frecuencia de la señal de 50 Hz con muy baja variación y por tanto se considerará como estable. Por otro lado, los parámetros de tensión e intensidad sí que pueden sufrir variaciones más notables por tanto se tomarán estos dos parámetros como variables mientras que la frecuencia se considerará como fija. De esta manera, retomando lo mencionado en anteriores apartados sobre la reconstrucción de señales y el teorema de Nyquist la velocidad de muestreo estará comprendida entre 100 y 500 veces por segundo por parámetros medido y, por ende, la parte encargada de procesar la información debe ser capaz de tomar las muestras con una tasa de muestreo de entre 200 y 1000 muestras por segundo. Con estos valores queda definidos las características básicas de toma de medidas que deberán emplearse.

Puesto que se quieren dotar al equipo a desarrollar de la capacidad de medida a lo largo de un amplio periodo de tiempo este también deberá ser fácil de instalar. Por ello se ha pensado en la posibilidad de integrar las líneas de tomas de medidas en una regleta de manera que los aparatos a medir se puedan conectar como si de un dispositivo normal de conexión se tratara.

Para facilitar el análisis y el procesado de datos también se tomará del equipo la capacidad de enviar y recibir información, así como de operar de forma autónoma siguiendo unas instrucciones programadas, para la recepción y envío de información. Se ha de dotar de fácil acceso y conexión al equipo y por tanto se ha previsto que este intercambio de información se pueda realizar de forma inalámbrica dotando al usuario de acceso remoto al aparato.

Con todas estas características se puede esbozar el sistema siendo este un elemento con un sensor para la medida de intensidad y un sensor para la medida de tensión, ambos gobernados por un dispositivo dotado de cierta autonomía, para la toma y procesado de datos y envío de información mediante señales inalámbricas. Además, la forma de conectar el aparato será instalando entre un enchufe tipo doméstico y una regleta conectando los diversos equipos a medir y monitorizar en esta última. También se deberá dotar al aparato de una interfaz suficientemente sencilla que permita al usuario observar y analizar los diferentes resultados obtenidos.

Para definir el equipo final, así como los detalles y los elementos que lo conforman, se ha realizado un estudio de alternativas donde se analiza cada una de las partes a tener, realizando la selección de componentes que finalmente conformarán el equipo.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

1. ELEMENTOS DE MEDIDA

Una vez definidos los parámetros del entorno de destino del aparato, se pasan a estudiar, para cada una de las partes, las posibilidades que ofrece el mercado en tipologías de equipos.

Sensores de medida de intensidad

Son los sensores más sencillos. En el campo de aplicaciones de medidas eléctricas se observa como coexisten diferentes tecnologías, equipos y sistemas. Destacamos los sistemas más relevantes del campo de aplicación de destino.

Si se analizan los sensores de intensidad a nivel de tomas de medida, se pueden diferenciar dos grandes grupos dependiendo de cómo se realice la medida. Esto es, si el dispositivo se conecta directamente en el circuito o si se emplean medidas asociadas, como por ejemplo la intensidad inducida por el campo magnético que circula por la corriente del circuito principal.

El primero de los grupos, que usa la ley de Ohm se clasifican como sensores de medida directa. El segundo grupo se clasifican como sensores de medida indirecta.

Sensores de intensidad directos

Emplear estos sensores permite medir la caída de tensión de una corriente en una impedancia conocida. Este tipo de sensores se suelen evitar debido a que establecen una conexión de baja impedancia entre el circuito a medir y el circuito de medida, lo que supone un riesgo por contacto.

Sensores de intensidad indirectos

En el caso de los sensores de intensidad indirectos la idea es sensar el campo magnético debido a la corriente que circula por un conducto. El método más sencillo es el uso de magnetómetros. El campo de los magnetómetros es muy amplio, pero la tipología que resulta más interesante, desde el punto de vista del procesamiento de la información para la integración posterior en otro sistema, es el uso de magnetómetros que transforman este campo magnético en una diferencia de potencial. De esta manera podremos directamente emplear como input en el elemento de toma de datos sin tener que pasar por ningún tipo de convertidor intermedio consiguiendo menor error acumulado en la línea de toma de datos.

La toma de medida con este tipo de sensores se basa en la *Ley de inducción de Faraday* donde se demuestra la correlación que permite cuantificar la fuerza electromotriz a partir de variaciones de flujo magnético. La característica de ser una medida inductiva también conlleva desventajas y, en este aspecto, la problemática viene dada por la medida a tomar. Hay que recordar que el objetivo es la medida de consumo mediante la potencia. Como se ha indicado previamente, la potencia es producto de la tensión y la intensidad en un momento determinado. Con esto se quiere destacar que, para obtener los datos lo más cercanos a la realidad posible se debe tomar la medida de la tensión y la intensidad en el mismo momento o en momentos sustancialmente cercanos entre sí. Entonces, la naturaleza inductiva de este tipo de sensores incluye un cierto desfase, lo que complica la toma de datos en el mismo instante de tiempo para

saber con la mayor exactitud posibles el valor para el cálculo. Si quisiéramos emplear en la medida un sensor de estas características haría falta medir el desfase y comprobar si este es admisible para la precisión que se le quiere dar la medida.

Otra tecnología interesante es la de los sensores basados en efecto Hall, fenómenos que ocurre cuando se aplica un campo magnético transversal sobre un conductor por el que circulan corrientes. Como la fuerza electromagnética ejercida sobre las cargas que conforman la corriente es perpendicular al campo magnético, y a la velocidad de estas, lo cual se explica mediante la ley de la fuerza de Lorentz, las cargas son empujadas hacia un lado del conductor y, en consecuencia, se genera en un voltaje transversal conocido como voltaje de Hall.

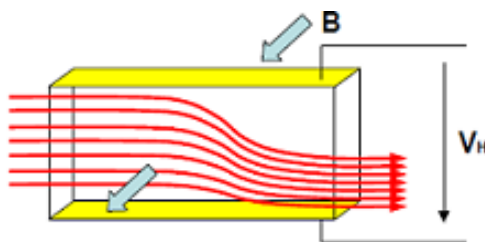


Figura 6- Ilustración del efecto hall (fuente rsfalicante.umh.es)

La obtención experimental del voltaje de Hall permite deducir que es directamente proporcional a la corriente eléctrica y al campo magnético. De esta manera se permite determinar, si el campo magnético se conoce, la corriente que circula por un conductor y viceversa.

Entre las principales ventajas que tienen los sensores basados en este principio destaca que no son sensores invasivos y, por tanto, su facilidad de integración. Además, dada la estructura de medida de este tipo de sensores se puede diferenciar que tienen un circuito secundario completamente aislado del principal. Este circuito secundario habitualmente trabaja con tensiones que, aunque son proporcionales, están muy por debajo de la tensión del circuito principal y, en consecuencia, el consumo de energía disipado para la medida es muy pequeño en comparación con el consumo medido, también permite un acceso y manipulación del sensor de manera segura, trabajando con voltajes muy inferiores a los 230 V disponibles en las redes de baja tensión.

Habitualmente, los circuitos de instrumentación trabajan a tensiones de 5 o 10 voltios para voltajes domésticos, en circuitos de media y alta tensión los voltajes son algo superiores llegando a los 20 V. Las corrientes generadas por los sensores de efecto Hall a modo de magnitud de medida suelen situarse en el entorno de los miliamperios un orden más que suficientes que permite la segura manipulación del circuito de medida, así como una menor cantidad de elementos de seguridad necesarios y menor desgaste, puesto que los esfuerzos eléctricos que sufren los componentes son menores que en otros sistemas de medida.

La mayor complejidad de los sensores de efecto Hall habitualmente va asociada a un mayor coste con respecto a sensores que funcionan mediante principios más sencillos o directos (como los transformadores de intensidad). También, por la naturaleza de la aplicación de los sensores habitualmente solo se emplean en redes de baja tensión. Destacamos que, cuando se trabaja con tensión y corrientes que genera un campo magnético considerable, los sensores de efecto Hall pueden verse afectados y, además, en el mercado las tensiones de aislamiento disponibles

en estos sensores son del orden de unos pocos KV limitando de forma efectiva su uso a redes no sujetas a estas magnitudes.

En este aspecto y dados los parámetros generales de los circuitos de medidas, para la solución que se desarrolla se ha escogido un modelo comercial de la compañía LEM, el LTS-6-NP. Estas son sus características:

Tabla 4-Parámetros relevantes del sensor de efecto Hall escogido.

Parámetro	Valor	Unidades
Intensidad nominal del primario (I_{PN})	6	A
Rango de medida de intensidad	0.. ± 19.2	A
Salida analógica de tensión	@ I_p $2.5 \pm (0.625 \cdot I_p / I_{PN})^1$ $I_p=0$ 0	(10) V
Sensibilidad	104.16	mV/A
Tensión de alimentación ($\pm 5\%$)	5	V
Ancho de banda	0-200	kHz

¹ I_p : Intensidad circulando por el primario.

El esquema de representación de este con respecto a sus conexiones es:

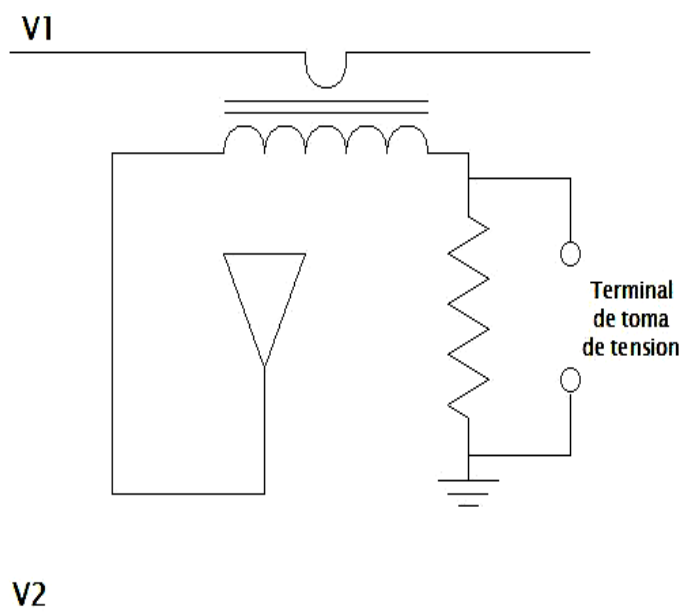


Figura 7-Representación esquemática del sensor de efecto Hall con sus conexiones. (Elaboración propia)

En el esquema las líneas marcadas con V1 y V2 hacen referencia a los dos conductores de circuito principal doméstico.

Elementos de medida de tensión

En este campo de medida, dado que la magnitud de medir es diferencial, solo se cuenta con sensores no invasivos respecto a que no influyen en el circuito principal. Los métodos que se suelen emplear para esta medida son divisores resistivos y transformadores de tensión.

La situación es muy similar a la que se expuso con los transformadores de corriente. Si bien es cierto que con estos equipos la magnitud medida es la fuerza electromotriz, la característica inductiva de estos equipos hace que, en el momento de la toma de datos, se pueda sufrir algún desfase no deseado. Para emplear este tipo de sistemas haría falta actuar de manera análoga a los sistemas de medidas de tensión similares, y cuantificar el desfase y comprobar si el mismo es asumible para la precisión que se quiere dar al conjunto.

También se emplean divisores resistivos, que se basan en el empleo de una serie de que se conectan al circuito principal y se obtiene un valor proporcional a este. Para obtener medidas adecuadas y que afecten mínimamente al sistema principal se suele emplear resistencia de gran impedancia que crean un circuito virtualmente abierto. Las corrientes medidas en estas ramas del circuito usualmente son muy pequeñas en comparación con la principales dado que la corriente eléctrica circula con mayor intensidad en la rama con menor resistencia. Como la corriente circulante por la rama de medida tiene a ser muy baja, este tipo de medida también tiene la ventaja de consumir poca energía.

Hay que destacar que en la aplicación de este sistema de medida en tensiones alternas es muy importantes disponer de un divisor resistivo simétrico, es decir, con una resistencia igual en ambas líneas de medida. Esto se debe a que, al ser corrientes alternas, y dependiendo de las

conexiones que se disponen a la entrada, cualquiera de las dos líneas puede ser conductora. En general, la forma de conectar los circuitos de es la siguiente:

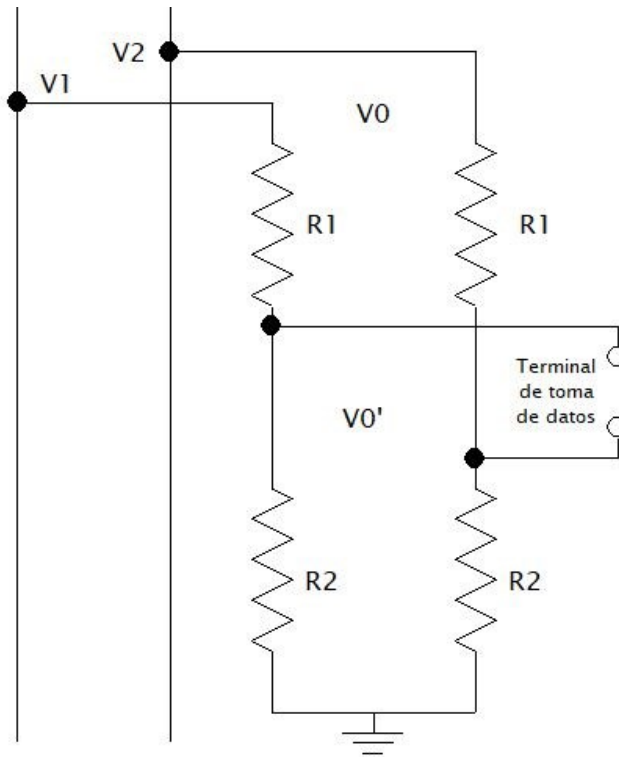


Figura 8-Esquema general de un divisor de tensión en corriente alterna. (Elaboración propia)

La medida que se obtiene en la rama de medida o circuito de instrumentación se puede demostrar la proporcionalidad mediante la expresión matemática siguiente:

Ecuación 2-Relación de tensión de entrada y medida en un divisor resistivo.

$$V_0 = V_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \rightarrow V_0 = k * V_1$$

Con esta configuración, escogiendo de manera adecuada las resistencias y la relación entre los diferentes grupos de resistencias, se puede controlar, a voluntad, el factor y el rango de conversión conociendo el rango de medidas del circuito principal. Así mismo, este tipo de sistemas se pueden emplear también como elementos intermedios dado que el coste asociado el mismo es muy bajo y si las características de las resistencias son adecuadas la interferencia con el circuito principal es casi nula.

No obstante, hay que destacar que la tensión que de 220 V es una tensión eficaz y por tanto la tensión que realmente se medirá en el dispositivo es la tensión pico.

La relación entre tensión eficaz y tensión pico es la siguiente:

Ecuación 3-Relación entre tensión eficaz y tensión pico

$$V_p = V_{Efi}\sqrt{2}$$

Por tanto, la tensión máxima que mediremos estará entorno a los 311 V. Para tener en cuenta cualquier posible error de cálculo se aplicará un coeficiente de seguridad de un 5%. La tensión que emplearemos como referencia de tensión máxima de salida señal es de 326 V, por tanto, habrá que adecuar la resistencia para que la tensión de salida sea menos que 3,3 V.

En el problema particular que se intenta resolver con el dispositivo desarrollado en la presente memoria se ha decantado por seleccionar el divisor resistivo como elemento de medida, así como una resistencia de buena fiabilidad y poca desviación en fabricación de la compañía KOA Speer. Se trata de resistencias axiales de la serie MF, no obstante dado que estas resistencias constan de una cierta variabilidad se deberá someter el equipo, antes de comenzar las pruebas, a un proceso de calibración que adecue la constante de conversión conociendo de manera experimental el valor real de las resistencias. Sus características son:

Tabla 5- parámetros de las resistencias seleccionadas

Parámetro	Valor	Unidades
Resistencia	R1: 196 R2: 2	kΩ
Tolerancia	±1	%

Se ha escogido esta combinación de resistencias acudiendo a la serie normalizada E192 y seleccionando las inmediatamente superiores a las necesitadas, resultando en una ligera pérdida del rango de salida siendo la tensión máxima transformada de 3,29 V. en lugar de 3,3 V

2. ELEMENTOS DE PROCESADO DE INFORMACIÓN

Uno de los elementos fundamentales en la cadena de transmisión de la medida es el elemento encargado de la toma de datos. Este equipo es el responsable de tomar las muestras y procesar el valor de entrada de manera que sean interpretables para el resto del sistema. Los elementos que se encargan de hacer la conversión del mundo analógico al digital son convertidores. Estos convertidores toman la señal proveniente de los sensores, que en nuestro caso serán voltajes, y los transforman de manera que sistema digital lo pueda comprender, es decir, este equipo transformar las señales eléctrica en bits. Dependiendo de la cantidad de bits en la que se puede tomar un dato tendrá mayor exactitud.

El elemento de toma de datos debe ser capaz de realizar la conversión de analógico a digital en los rangos en los que los sensores de toma de muestra transforman las medidas. Debe tener la resolución suficiente, es decir debe tener un número de bit, suficiente para que el resultado obtenido sea de interés limitando la pérdida de información. Así mismo, hace falta que dispongan de una velocidad de conversión suficiente con respecto las características de las muestras. En este caso se sabe que la señal de origen tiene 50 Hz que pueden ser considerados constantes. En consecuencia, las magnitudes medidas también tendrán esta frecuencia. Por

compacidad del equipo se ha decidido que la toma y procesado de datos se realice de manera secuencial en un solo equipo.

Para facilitar la toma de datos se ha planteado que a la hora de organizar la toma de muestras y el procesado de información se hagan en dos momentos diferentes de tiempo. Hay que recordar que las magnitudes medidas van a ser dos, la intensidad y la tensión para un determinado instante de tiempo, por tanto, para minimizar el error se va a realizar de manera secuencial alternando magnitudes para que los pares de muestras sean lo más cercanos posibles entre sí en el tiempo y se acerquen lo máximo posibles a una toma de datos instantánea.

Esto se puede hacer dado que el tipo de medidas que se quieren tomar no van a ser continuas en el sentido estricto de la palabra. Las magnitudes que se quieren medir con el equipo desarrollado con el presente proyecto son relativamente continuas en el tiempo. Se quiere medir magnitudes que entre dos instantes de tiempo no varían. El proyecto se centra en el régimen estacionario de consumo de equipos, omitiendo el interés en los periodos de arranque o paro donde magnitudes como la intensidad pueden tener más variabilidad, con lo cual, el ciclo de toma de muestras consistirá en una parte donde se tomen las muestras alternadas de las magnitudes y se almacenen en la memoria del dispositivo y por otro lado un tiempo más largo donde el equipo encargado de la toma de datos realice el procesado de los valores.

Las necesidades particulares del proyecto hacen que un equipo capaz de transformar pequeños voltajes a valores digitales, almacenar información, y procesarla sea fundamental. Aunque existe un amplio abanico de opciones resultan sumamente interesantes dos tipos de equipos en particular: las tarjetas de adquisición de datos y los microcontroladores.

Las tarjetas de adquisición de datos son equipos más o menos complejos que permiten la toma de magnitudes eléctricas mediante canales que transforman los valores analógicos en digitales de manera interna. Además, estos equipos suelen contar con propiedades de conectividad como USB, ethernet, wifi o bluetooth que permiten interactuar con ellos mediante otros dispositivos. También son capaces de disponer de canales de salida analógicos que permiten transformar una señal digital en un voltaje de manera que otros equipos puedan recibir esta señal. No obstante, las tarjetas de adquisición de datos en general son costosas y, aunque son relativamente compactas, existen otras soluciones más compactas que resultan más interesantes desde el punto de vista del proyecto.

Así mismo, las tarjetas de adquisición de datos suelen requerir de un elemento externo de gobierno que de la señal al propio equipo para que realice los procesos necesarios para la toma de datos, así como el procesado de la información. Por último, hay que recordar que en el planteamiento del proyecto se requiere de un equipo que pudiera disponer de cierta autonomía en cuanto a la energía necesaria para llevar a cabo los procesos internos y, aunque existen algunos modelos que disponen de baterías externas que alimentan el equipo, este no es el modelo más extendido y, además, este requerimiento hace que el montaje final con todos los elementos no sea tan compacto como con otras soluciones.

Puesto que hemos mencionado la necesidad de conectividad de manera remota e inalámbrica, aunque algunos equipos disponen de estas capacidades, el coste asociado al mismo hace que pierda el interés existiendo soluciones más económicas.

La otra alternativa mencionada son los microcontroladores. Estos equipos disponen de características muy adecuadas para la tarea que deben realizar. Además, el mercado de los microcontroladores hay una gran variedad de configuración y prestaciones donde se puede escoger según el interés de aplicación. Los microcontroladores son elementos que ocupan muy poco espacio permitiendo realizar un conjunto compacto junto con otros equipos. Otra de las ventajas que tiene los microcontroladores es que son elementos que tienen prestaciones más que suficientes para la solución que se quiere desarrollar con costes muy ajustados lo cual reduce el coste del conjunto de manera notable.

En la actualidad existen microcontroladores con convertidores de analógico a digital integrados en el propio microcontrolador. Además, también existen modelos con múltiples funcionalidades de conectividad inalámbrica como wifi o bluetooth. Otro de los puntos a favor que tiene los microcontroladores es que se pueden programar para realizar tareas sencillas, como la toma de muestras y realización de cálculos de manera automática, así como almacenar información para mantener un registro. Estos equipos también requieren de una alimentación externa para realizar sus funciones, pero al ser en general de menor tamaño y de menor consumo de energía hacen que en caso de aplicarse soluciones aisladas de la red se requieran baterías de reducido tamaño. Por tanto, los conjuntos planteados con este tipo de sistemas gozarán de una elevada compactidad, autonomía e integración entre los diferentes elementos.

Con respecto al sistema de conectividad se han planteado dos grandes alternativas:

- Conexión de red mediante wifi, y
- Uso de bluetooth.

El wifi es una tecnología que permite interconectar, de manera inalámbrica, dispositivos electrónicos. Estos elementos pueden bien conectarse entre sí o a través de internet mediante el uso de una red inalámbrica.

Esta alternativa requeriría un sistema complejo debiendo disponer, por un lado, de una red Wifi a la que conectarse y, por otro, un servidor que se encargara de gestionar las comunicaciones con el dispositivo. A parte, en este caso se dependería de la cobertura de la red wifi y en todos los casos no se obtendría la misma capacidad y velocidad de respuesta, dado que dependería del lugar en el que está instalado. La energía consumida por una comunicación wifi es considerable.

La segunda de las alternativas es el uso de la tecnología bluetooth la cual fue desarrollado por un grupo de trabajo del "*Institute of Electrical and Electronics Engineers*" (IEEE) de los Estados Unidos. Esta tecnología es un estándar para conexiones inalámbricas, además en comparación con otro tipo de tecnología de transferencia de datos como el wifi, USB o LAN, se especializa en la transferencia de datos a corta distancia. Hay que destacar que, en comparación con las otras tecnologías mencionadas, por lo general, el bluetooth solo alcanza unas velocidades muy bajas de transferencia de datos; no obstante si se quiere enviar archivos individuales o servicios de aplicaciones poco complejas es una alternativa ideal.

Dadas las capacidades de transmisión de información a corto rango esta tecnología es de especial interés respecto a la conectividad de sensores de medidas in situ. Además, se ha desarrollado una tecnología específica dentro del Bluetooth para conexiones con bajo consumo de energía: Bluetooth Low Energy (BLE, de ahora en adelante). Esto permite su uso para el envío de

información de sensores disminuyendo notablemente los requerimientos de energía y, por tanto, haciendo que sea una tecnología de especialmente relevante en caso de aplicaciones en las que se requiera estar conectado de forma continua. Equipos como los Smartwatch, pulsómetros, sensores, etc. y, en general, periféricos inalámbricos para smartphones usualmente emplean esta tecnología para permitir un uso con mayor duración en el tiempo. Además, el BLE cuenta con una serie de protocolos de conectividad orientada a conexiones sencillas en aplicaciones de muy baja potencia poniendo el foco en dispositivos que depende de baterías o pilas como fuente de energía.

Hay que destacar que en la industria conectada cada vez se dispone de superficies fabriles enlazadas que, por facilidad y características de la tecnología, emplean conexiones Wi-Fi o 5G. El sistema puede emplear estas tecnologías.

No obstante, la idea es que el dispositivo sea un elemento que esté presente temporalmente en el sistema y fácil de integrar. Por tanto, sería interesante emplear un sistema que no integrado con una red mayor de comunicaciones; esto permitiría que, para no comprometer los datos, fuera necesario una cierta cercanía física con el dispositivos obligando a acceder a la planta para obtenerlos. Además, al estar completamente aislado del sistema de comunicaciones de la planta, mantendría la integridad del sistema sin necesidad de usar sistemas de seguridad digital adicionales.

Recordemos que el dispositivo simplemente obtendrá información de consumo, gracias a sensores mínimamente invasivos, de una conexión eléctrica y que, por programación, tendrá una nula capacidad de actuación sobre los mismos. En otras palabras, el dispositivo sirve para observar sin actuar sobre la línea donde toma los datos y en caso de acceso no debido, esto no supondría más problema que el acceso a los datos de consumo de una línea eléctrica particular sin suponer un riesgo a la seguridad de los equipos.

Otro factor a tener en cuenta es la posible interacción de los diferentes tipos de conexiones inalámbricas presentes en una planta o un entorno doméstico. Sistemas como BLE están especialmente preparados para minimizar o directamente no incluir interferencias con sistemas como el wifi o sistemas de 5G especiales para industria.

Si comparamos con otros métodos, el BLE se presenta como la tecnología más adecuada para enviar datos como números o textos contos. Por estos motivos, en el ámbito de aplicación del proyecto desarrollado en la memoria, la tecnología BLE se presenta como el mejor protocolo para el intercambio de datos.

Al considerar todas las características de conectividad y capacidad de procesamiento, se ha seleccionado el microcontrolador ESP32 del fabricante Espressif como elemento de toma y procesamiento de muestras en el dispositivo desarrollado. Las especificaciones del microcontrolador seleccionado son:

Conectividad inalámbrica:

- Wifi: 802.11 b/g/n
- Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE

Interfaces periféricas:

- 12-bit SAR ADC de hasta 18 canales
- 2 × 8-bit DACs

Procesador:

- CPU: microcontrolador de 32-bit Xtensa LX6 de doble núcleo (o de un solo núcleo), operando a 160 o 240 MHz y rindiendo hasta 600 DMIPS
- Coprocesador de ultra baja energía (ULP)

Memoria: 520 KiB SRAM

Una desventaja que considerar es que los dispositivos electrónicos como el microcontrolador indicado no aceptan tensiones negativas y, por tanto, en el uso de divisores resistivos para la toma de medidas hace falta acondicionar la señal de salida. Para garantizar que dicha señal se mantiene siempre positiva habrá que realizar un offset, es decir, sumarle a la señal una tensión de manera que cuando el parámetro medido sea 0, la salida de la señal se una tensión equivalente a la mitad del rango de medida; en este caso, para disponer del máximo rango posible, esta tensión será de 0 a 3,3 V que es lo máximo que permite el microcontrolador en la entrada analógica.

En consecuencia, se debe hacer un recálculo al divisor resistivo de manera que la constante de relación entre entrada y salida disminuye, para que la tensión máxima sea de 1,65 V en lugar de 3,3 V como se había planteado inicialmente. Analizando los cálculos previos, si reducimos a la mitad la resistencia R2 será suficiente para reducir a la mitad la ganancia. Se ha ajustado el cálculo teniendo que incrementar ligeramente la R1.

Tabla 6-Parámetro de la resistencia recalculadas

Parámetro	Valor	Unidades
Resistencia	R1: 200 R2: 1	k Ω
Tolerancia	± 1	%

Con el recálculo, y de manera similar a lo anteriormente comentado, se tiene una ganancia tal que el valor máximo de tensión obtenido de la señal muestreada es de 1,63 V, incluyendo el offset de 1,65 V que se incorporará mediante un amplificador diferencial sumador.

A continuación, se muestra el esquema completo de las conexiones del conjunto, que estarían conectadas al microcontrolador, pero para simplificar el esquema se ha escrito las conexiones finales.

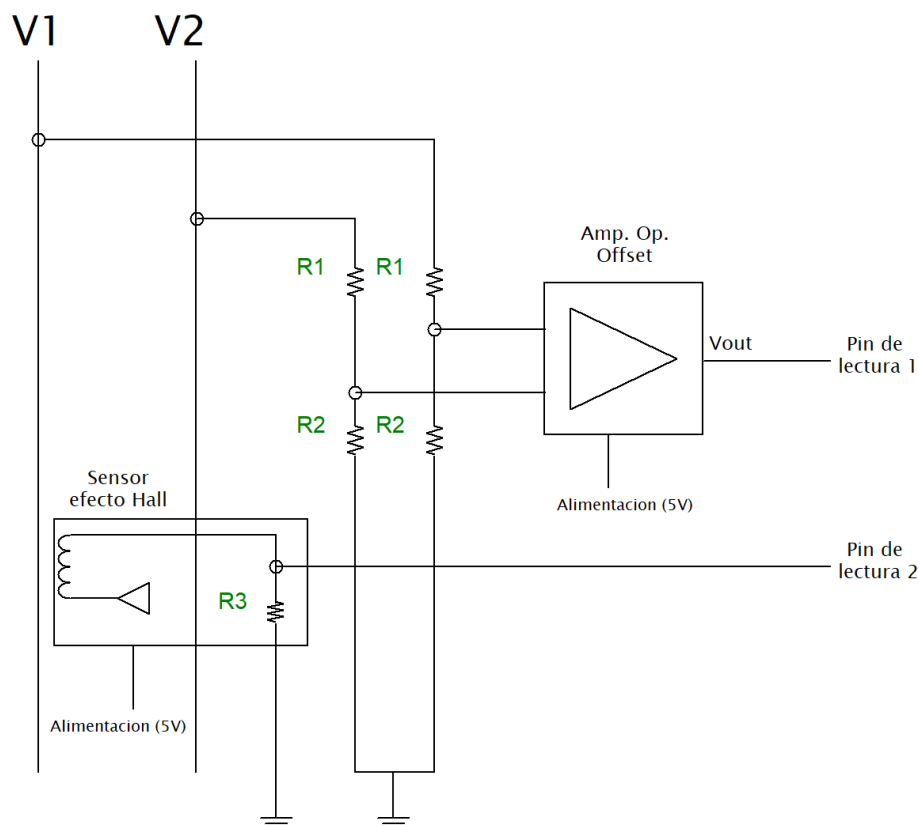


Figura 9 -Esquema de conexiones definitivo (elaboración propia)

El microcontrolador cuenta con varios pines de lectura de señales analógicas (hasta 3,3 V). Primero se podrían conectar las salidas a cualquiera de las entradas siempre que se tuviera en cuenta a la hora de definir las entradas a leer en el programa del microcontrolador.

Como se puede observar, se ha incluido el dispositivo de adecuación de señal para el caso de la tensión tomada en el divisor resistivo. Este equipo es un amplificador operacional sumador que suma una tensión definida a la medida de entrada, transformando la señal de entrada en una señal de salida analógica, pero con un voltaje sumado fijo, generando un offset en la señal de salida. En este caso el offset está calculado par que la señal de salida, que es la que recibe el microcontrolador, nunca sea inferior a 0 V.

3. INTERFAZ DE INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN

Pese a que hay muchas alternativas a la hora de escoger el método de intercambio de información se ha optado por dispositivos móviles, dado que reduce el número de componentes necesarios para conformar el sistema. Además, hoy en día es muy sencillo y barato contar con un dispositivo móvil como puede ser una tableta o un smartphone.

Para seleccionar el sistema operativo de destino en el que se programará la interfaz de intercambio de datos, destaca en el mercado el uso de dispositivos móviles con sistema Android e IOS. En la última década estos dos sistemas operativos se han impuesto al resto. En el gráfico se puede observar el crecimiento de cuota de mercado entre 2010 y 2019, Mientras que la cuota conjunta de Android e IOS a principios de la década no alcanzaba ni el 40 % de total de mercado, a lo largo de los años se ha ido haciendo con mayor cuota de mercado llegando a representar casi el total. Por otro lado, cabe destacar que Android, al ser un sistema operativo libre ha crecido de manera notable dado que ha habido un gran número de fabricantes de dispositivos móviles que lo han empleado.

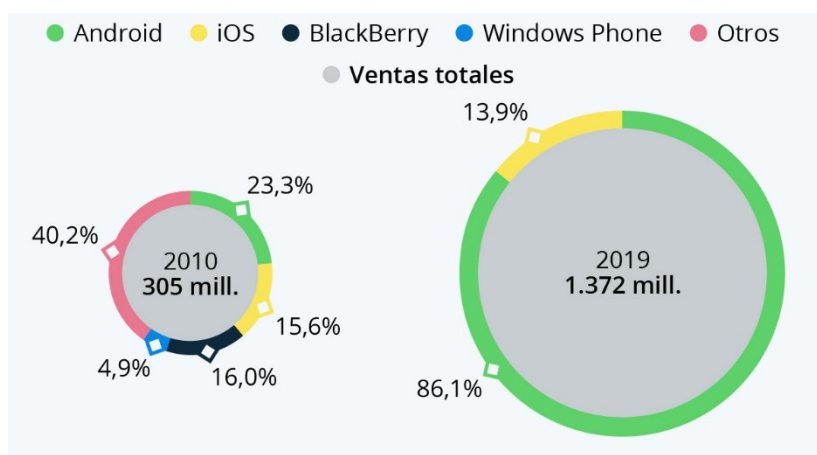


Figura 10-Cuota de mercado mundial de smartphones por sistema operativo y evoluciones en la década de los 2010-<https://es.statista.com/grafico/18920/cuota-de-mercado-mundial-de-smartphones-por-sistema-operativo/> accedido 01 mayo 2021

En España, el sistema operativo más usado es Android. Este fenómeno también ocurre de manera similar en el resto de Europa. En España, en 2020, este sistema se empleaba en más del 80% de los teléfonos móviles.

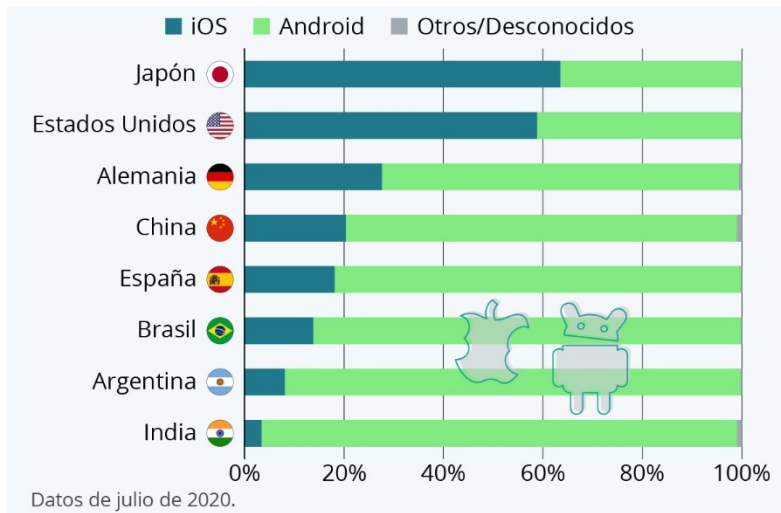


Figura 11-Estadísticas de presencia de sistema operativo en el mundo en 2020 - <https://es.statista.com/grafico/18920/cuota-de-mercado-mundial-de-smartphones-por-sistema-operativo/> accedido el 1 de mayo 2021

Con la intención de poder llegar al mayor número de personas, así como debido a la mayor variedad, tanto en dispositivos como en rangos de precios que emplean el sistema operativo Android, la interfaz de intercambio de datos se desarrollará en Android. Más adelante se entrará en detalle en que consiste esta interfaz de intercambios de datos, así como las funcionalidades que se quieren dar a la aplicación.

CAPITULO 4: SOFTWARE

1. DEFINICIÓN DE NECESIDADES Y ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

Una vez definidos los elementos a emplear, se debe posibilitar la forma de obtención, procesado, almacenamiento, transmisión y visualización de la información obtenida. Para ello, primero pasaremos a explicar qué se hace en cada una de las partes para luego definir de forma concreta la solución propuesta.

Toma de datos

En esta parte del programa es donde se organiza la toma de datos. Para ello se debe de proveer al sistema de la funcionalidad de la toma de datos en forma de bucle. Este bucle estará “continuamente” tomando datos directamente de los canales de entrada y transformándolos en valores de tensión e intensidad entendibles y procesables. Los datos deberán organizarse según las necesidades que se estimen adecuadas. Para ello se seleccionará una frecuencia base de obtención de muestras, un número de muestras que se considere necesario y una frecuencia de toma de muestras.

El primer periodo de la muestra indicará cada cuanto tiempo se toma una muestra de las magnitudes en los sensores. El segundo periodo de muestras hará referencia a la frecuencia de estas muestras discretas, es decir, el desfase que habrá entre las muestras puntuales que conformarán la muestra base.

Para facilitar la comprensión, se adjunta un ejemplo de cómo quedarían las muestras para un periodo de muestras cualquiera. En el caso del ejemplo se corresponde con un periodo y medio de una onda senoidal (coloreado en rojo).

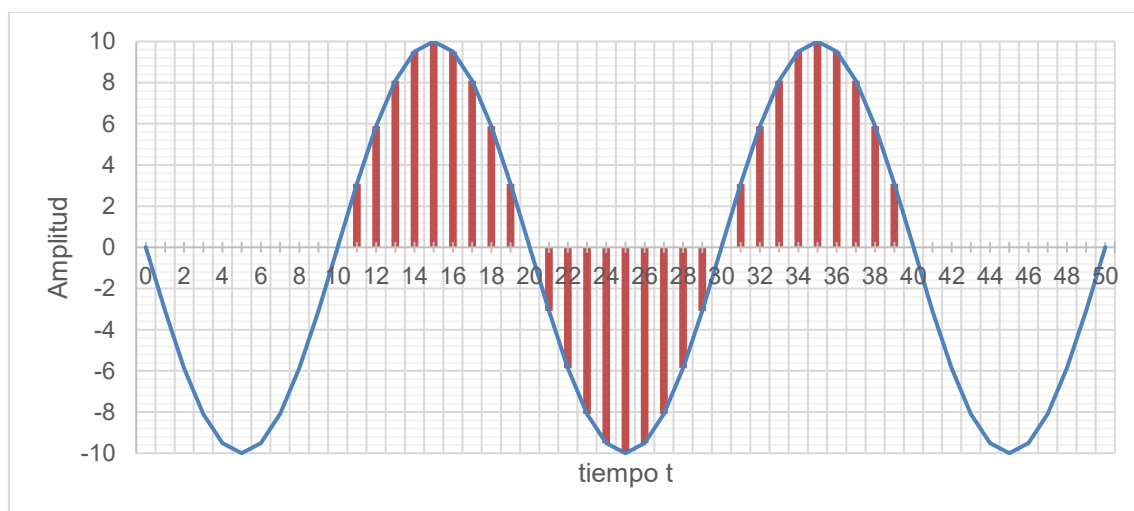


Figura 12- Onda senoidal típica y toma de muestras en digitalización (elaboración propia)

En el ejemplo se puede observar, en la línea continua, una onda senoidal generada de forma regular con una amplitud de 10 unidades y un periodo de 20 unidades. En la figura se han desarrollado 2,5 ciclos completos de la onda. Por otro lado, se tiene las medidas tomadas (en

forma de barras) esta se ha tomado una cada unidad de tiempo durante un total de 30 unidades de tiempo. En el ejemplo solo se tiene reflejadas una única toma de muestras, pero esto se podría repetir cada 60 unidades de tiempo, de manera que la siguiente toma de muestras comenzaría en el momento 70 (fuera del gráfico) y se realizaría también durante 30 unidades de tiempo.

En este ejemplo, la primera frecuencia indicada sería cada 60 unidades de tiempo mientras que la segunda frecuencia, la de las muestras sería de una unidad de tiempo, es decir que se toman cada unidad de tiempo una muestra.

Procesado de datos

Para que sean relevantes los datos que tomará el sistema deben organizarse y procesarse de manera adecuada. La entrada de los sensores definidos será un parámetro, que el microcontrolador digitalizará resultando en un valor proporcional a la magnitud medida para un determinado instante de tiempo. Para poder obtener información útil de los datos tomados se deberá hacer un procesado adecuado de la información. En el caso que nos ocupa se deberá organizar y almacenar la toma de datos de manera que podamos realizar los cálculos y procesado adecuado para obtener información representativa.

Debemos tener estos cálculos listos para cuando sea necesario su envío y muestra. Por tanto, en ese apartado del programa es necesario adecuar los datos transformando las entradas digitales en datos lo más cercanos posible a los valores correspondientes en unidades de ingeniería relevantes para la comprensión del funcionamiento del sistema.

En el caso de los sensores será necesario emplear una serie de constantes mediante las cuales transformemos las entradas digitales en valores proporcionales a las entradas que se han identificado en la Tabla 3-Mágnitudes típicas en entornos domésticos.

Asimismo, es de vital importancia almacenar cada una de las muestras de manera que se puedan obtener valores útiles de una serie de muestra determinada. También conviene guardar diversos valores con diferentes intensidades de tiempo (por ejemplo, muestras, minutos, horas, días, etc.) de manera que se pueda disponer de la información sin necesidad de realizar cada vez el cálculo o de tener que acudir a los valores base para su procesado cuando se requiera una intensidad temporal diferente.

Muestra de información: interfaz de usuario

La finalidad del proyecto es conseguir un dispositivo o conjunto de dispositivos que permitan obtener, procesar y almacenar información a la cual se deberá poder acceder de una manera sencilla y útil para el usuario final.

Al estar desarrollando un dispositivo para la medida de consumo la información representativa, esta estará relacionada con parámetros eléctricos. También se dispondrá de una evolución temporal de los mismos, por lo que resulta relevante mostrar su evolución en un periodo de tiempo.

Por tanto, se hará uso de un sistema capaz de mostrar tanto gráficas, como números concretos. Puesto que el uso de sistemas añadidos al microcontrolador no es sencillo, se usará un dispositivo Android con una aplicación específica diseñada para acceder a la información del

microcontrolador a través de conexión bluetooth y capaz de mostrar los parámetros más relevantes.

Comunicación con elementos externos

Como ya se ha mencionado, el programa que se cree tendrá que poder conectarse a la interfaz de usuario definida con una conexión bluetooth (recordemos las ventajas operacionales relacionadas con el consumo de energía, conectividad, etc.).

En otras aplicaciones el ancho de banda que supone el bluetooth puede presentar un problema, no obstante, la información que se pretende transmitir consta de una serie de datos numéricos que tiene un uso de información poco intensivo, es decir, es como si enviáramos mensajes a través de bluetooth. Estos mensajes tienen que estar codificados para que se puedan interpretar de manera adecuada; sin embargo, se pueden usar símbolos especiales sencillos que no suponen una gran cantidad de información adicional.

Para tener una idea, todos los caracteres usados para la transmisión de información pueden pertenecer a la codificación ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*). Este sistema emplea un código de 7 bits para representar los caracteres.

En el caso que nos ocupa, trocearemos los datos hasta su mínima expresión dividiendo cada número a sus caracteres. Por ejemplo, en nuestro sistema, si la toma de tensión es de 219.8 voltios, este se dividirá en 2, 1, 9. y 8. Con un procesado adicional en el programa podremos eliminar la coma decimal (representada por un punto arriba) quedando solo cuatro caracteres. Si incluimos un carácter más para codificarlo, por ejemplo, U, tenemos un total de cinco caracteres por medida.

Esto representa 5 bytes. En este caso, incluso trasladar un total de un millón de caracteres, que suponen un total de 200.000 medidas de voltaje según lo indicado en el ejemplo estaríamos enviando 0.5 MB de información. Estas cantidades de información son lo suficientemente bajas como para que el tiempo de envío sea asumible para el dispositivo.

Recordemos que no emplearemos el Bluetooth tradicional, si no una versión extendida en el mundo del IoT que se llama BLE, Bluetooth Low Energy. Este sistema permite que el dispositivo pueda estar escuchando en una posición de reposo la cual supone un consumo de energía bajo y que cuando un dispositivo se conecte y le pida cierta información, el primer dispositivo “se active” y proceda al envío de información. Una vez terminando este intercambio el dispositivo volverá a quedar en reposo esperando una nueva orden o realizando el resto de su programa según se haya preparado.

Además, con el BLE, el alcance típico es de entre 10 y 30 metros, por tanto, se puede acceder a la información almacenada sin necesidad de estar físicamente cerca del dispositivo pudiendo instalar el dispositivo de medida en una zona de difícil acceso, como puede ser la parte trasera de un equipo o la conexión de este, etc. y accediendo desde una cierta distancia que ofrece cierta flexibilidad y facilidad de acceso a los datos.

En este caso, por ejemplo, podríamos conectar el dispositivo en la entrada de consumo de un electrodoméstico como la nevera o un aire acondicionado y acceder desde cualquier parte para acceder a la información sin necesidad de estar en la misma habitación o de acceder al dispositivo.

2. DEFINICIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Considerando las alternativas estudiadas, se confecciona un conjunto conformado por dos conjuntos: un primer conjunto conformado por el microcontrolador con los sensores conectados y un segundo conjunto conformado por dispositivo Android y la aplicación para el usuario que actuará como interfaz del sistema.

En la solución propuesta, el dispositivo encargado de gobernar la toma de muestras y almacenar los datos es el microcontrolador conectado con los sensores. De esta manera, la información de salida de los sensores será un voltaje proporcional a los parámetros medidos y el microcontrolador será el encargado de transformar y organizar la información recibida. El microcontrolador tendrá la entrada mediante dos canales analógicos de dos tensiones que se digitalizarán y se almacenarán en su memoria.

En el proceso de toma de datos, al buscar un consumo medio en el tiempo relativamente prolongado y para dispositivos de consumo continuo, no tiene sentido una toma de datos continuos en “tiempo real” sobre las magnitudes a medir. Es por esto por lo que en lugar de elegir un microcontrolador con varios núcleos para la realización de tareas o hilos en paralelo se ha seleccionado uno de un único núcleo.

Siendo estrictos implica que las tareas que realizamos solo se pueden hacer de manera secuencial incluidas las tareas de toma de datos. Al ser las magnitudes de tensión e intensidad dependientes del tiempo, se debe aceptar que se está cometiendo un pequeño error de obtención de datos en diferentes momentos temporales, aunque sean muy cercanos. Estos errores se han identificado como asumibles debido a que no se está buscando un control estricto del consumo si no una aproximación suficientemente buena para su uso en entornos domésticos o industriales que nos son excesivamente sensibles al desfase. Aquí estamos hablando de dispositivos como electrodomésticos o de equipos con ciertas tolerancias. En consecuencia, también se está hablando de consumos del orden de decenas de vatios en el caso de los menores consumos y de unidades de kilovatios en el caso de los mayores consumos.

Si se quisiera un control más exhaustivo o en “tiempo real” de los dispositivos haría falta un dispositivo de obtención de datos capaz de realizar tres tareas en paralelo, dos referidas a la entrada y almacenamiento de datos y una tercera referida a la transmisión de estos.

Una posibilidad sería emplear elementos adicionales para compensar el desfase entre el momento de toma de la magnitud de intensidad y voltaje (ambas transformadas en voltajes a la entrada de los canales de medida), o emplear un microcontrolador por cada una de las entradas capaz de interactuar entre sí o con un tercero, a modo de microcontrolador maestro, para la sincronización, almacenamiento de datos y transmisión de la información y microcontroladores esclavos para la toma de datos. Esto incrementaría notablemente el coste y la complejidad del dispositivo.

A continuación, se muestra el diagrama de la solución definida dividiéndolo en los dos conjuntos mencionado: el microcontrolador y el dispositivo Android, y mostrando con un diagrama de bloques que tareas se realiza en cada una de las partes y en qué orden.

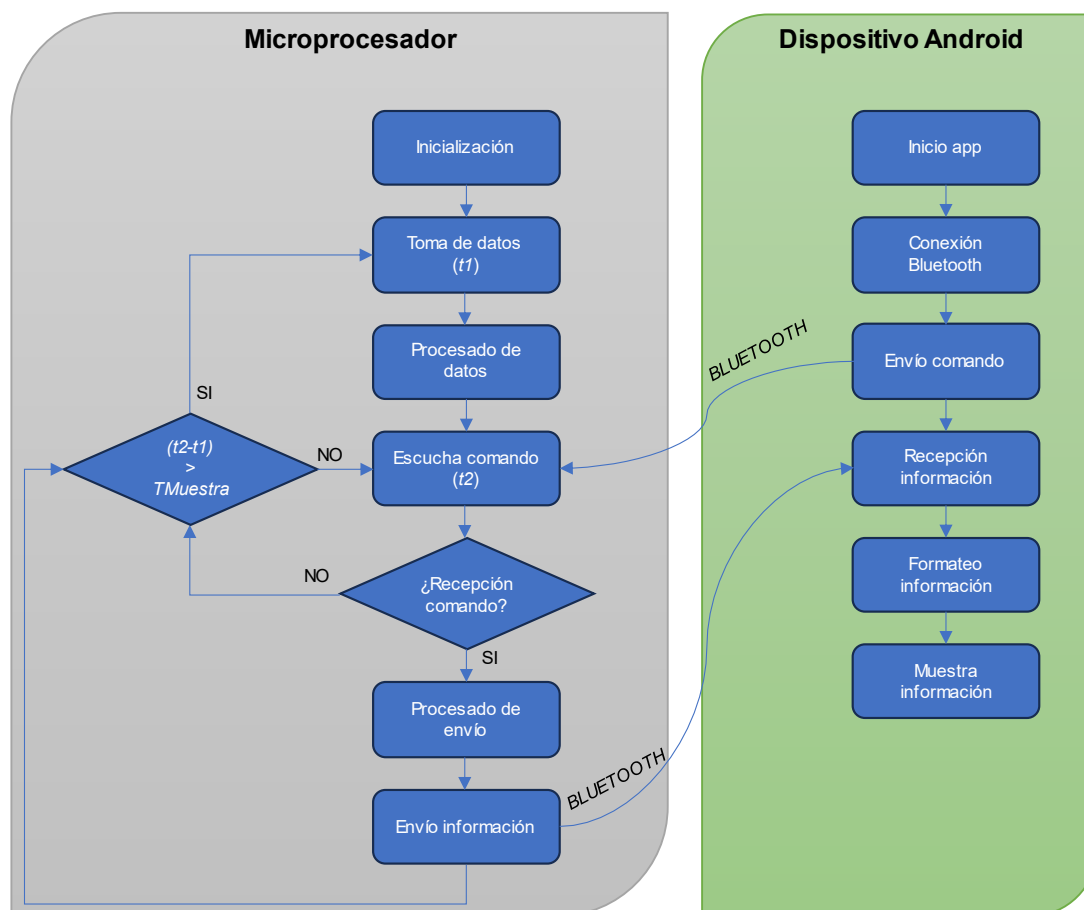


Figura 13- Diagrama de procesos- (elaboración propia)

El proceso da comienzo con la inicialización del microcontrolador, en este paso, se realizan todo lo necesario para dejar listo el dispositivo y la información a contener en el de manera adecuada. En este punto de inicializar las variables, se conectará el bluetooth del aparato y a continuación se comenzará la toma de muestras.

La toma de datos se realizará de manera automática cada periodo de tiempo que se le haya programado. Una vez tomados los datos se procesarán, es decir, se realizarán los cálculos adecuados, se ubicará la información en las variables adecuadas y se agrupará según convenga.

Una vez terminado este procedimiento, el equipo quedará en bucle atento a escuchar cualquier pedida de información, es decir, a recibir cualquier comando, de un elemento externo que en nuestro caso hemos definido como un dispositivo Android.

En caso de no recibir ningún comando en un tiempo determinado el microcontrolador permanecerá en reposo hasta que haya pasado suficiente tiempo para la toma de una segunda muestra con la cual actuará de la misma manera que la primera, pero guardando en su respectiva ubicación y así sucesivamente.

En caso de definir otros periodos relevantes de tiempo en los que aplicar cálculo, (por ejemplo, la media de 60 muestras, o la media entre dos puntos temporales diferente) se realizará también en esta parte del programa, procesando la información de manera adecuada. Los cálculos intermedios quedan predefinidos en la programación del microcontrolador.

Por otro lado, en el caso de haber recibido un comando del dispositivo externo conectado, este se identificará y se actuará en consecuencia. Si se lanza el comando que pide la información de la última muestra tomada, el programa del microcontrolador accederá a dicha información, realizará un procesado adicional si lo necesita, le dará el formato adecuado a la información para su envío, la codificará de manera adecuada para que las partes conectadas la entienda y la remitirá por bluetooth. Una vez terminado este procedimiento, volverá a su posición de reposo hasta que, o bien sea el momento de tomar una nueva muestra, o se reciba un nuevo comando con una nueva solicitud de información.

El procedimiento en el dispositivo Android que se empleará como interfaz de usuario es más sencillo. El dispositivo en cuestión iniciará una aplicación que realiza todos los procedimientos. En esta APP se conectará el dispositivo con el microcontrolador. Una vez realizado esto, se dispondrá de una serie de botones que permitirán enviar un comando predefinido tanto en la aplicación como en el microcontrolador que corresponderá con una respuesta en el microcontrolador. Habitualmente esta respuesta pedirá una serie de datos como, por ejemplo, las últimas 60 muestras.

Una vez se clique ese botón, se enviará el comando desencadenando toda la serie de acciones necesarias en el microcontrolador. Estas acciones culminarán con el envío de información codificada al dispositivo Android. En este momento, la aplicación recibirá la información y la decodificará de manera que se transforme en información procesable. Entonces la aplicación llevará a cabo su proceso interno necesario para obtener los números representativos y las gráficas adecuadas de la información almacenada en el microcontrolador. Una vez terminado este proceso, la aplicación quedará lista para volver a enviar un nuevo comando que pida una nueva información o la actualice.

Antes de describir con mayor detalle que funciones o que acciones se realizan en cada una de las partes del programa, la terminología que emplearemos para describir el tipo de datos, y operaciones que se realizarán en el programa es:

- Vector de datos: es una matriz de una sola fila y múltiples columnas (o viceversa) de maneja que es una sucesión de datos donde cada uno tiene su posición dentro del vector. Un vector puede ser también una sola fila de una matriz de datos.
- Matriz de datos: es una matriz de datos que puede tener múltiples filas y columnas.
- Función: son una serie de instrucciones o líneas de código con una o varias entradas y una o varias salidas. La función se realiza para efectuar ciertos conjuntos de cálculos o instrucciones comunes a varias partes del programa para que en el programa principal no haga falta reescribir todas y cada una de las instrucciones para todos y cada uno de los casos. En el proyecto las principales funciones utilizadas son para realizar cálculos matemáticos que incluyen una serie de repeticiones y empleadas en más de un lugar del programa.
- Entero (int): tipo de datos para número enteros, es decir, números que no tienen decimales. Se emplea habitualmente para definir posiciones, tamaños de variables (como vectores o matrices), posiciones fijas, etc.
- Float: Tipo de datos para números de coma flotante es decir un número que tiene un punto o coma decimal. Los números de coma flotante disponen de una mayor

resolución (número de posiciones) que los enteros y por eso habitualmente se usan para trabajar con datos provenientes de entradas analógicas.

Emplearemos el programa Arduino, que tiene algunas limitaciones y, por ejemplo, no acepta que se pueda trabajar con matrices sin conocer previamente el número de posiciones de la segunda magnitud y sucesivas. Es decir, si tuviéramos una matriz con tres dimensiones que vamos a llamar X, Y y Z, deberíamos conocer previamente, antes de poder usarla en cualquier función los tamaños de Y y Z. Por ello se ha tenido que recurrir en varias partes del programa a descomponer algunos datos que sería fácilmente organizable en una matriz, en varios vectores para su procesado.

De forma similar para algunas funciones las cuales solo variaría el tamaño de esta segunda magnitud se ha tenido que realizar una función para cada uno de los tamaños realizables.

Inicialización

La programación del microcontrolador se realiza empleando Arduino. Hay dos grandes partes:

- Inicialización (“void setup”): solo se ejecuta cuando se arranca el programa, en esta parte podremos inicializar las variables, inicializar la comunicación bluetooth nombrando el dispositivo, etc.
- Bucle (“void loop”): se ejecuta de manera continua una vez ejecutado el *setup*, en esta parte del programa realizaremos la toma de datos, el procesado, recepción e identificación de comandos, el envío y formateo de datos etc.

El microcontrolador cuenta con memorias EEPROM lo cual permite almacenar datos incluso si se interrumpe la alimentación, no obstante está limitado y, al haber ideado un dispositivo el cual usa una fuente de alimentación independiente, tiene un consumo bajo de energía lo cual nos permite garantizar que el dispositivo estará activo el tiempo suficiente para poder extraer la información relevante.

En el futuro, se podría estudiar desarrollar soluciones que en paralelo con la comunicación de la interfaz de usuario pudieran grabar la información en un dispositivo de memoria compacto como puede ser una tarjeta SD u otro dispositivo que sea capaces de almacenar la información incluso en ausencia de una fuente primaria de alimentación.

En el caso del programa, el momento de la inicialización coincide con la puesta en marcha del dispositivo y será en este momento cuando se inicie tanto la comunicación BLE que habilita al dispositivo de interfaz de usuario el acceso al dispositivo de toma de datos, como la inicialización de las variables y el programa.

De esta manera, se ha previsto que el dispositivo reinicie todas las variables cada vez que se encienda. Con esto se pretende que, aunque pueda ser una desventaja, se instale el dispositivo de manera temporal y que, una vez se ha obtenido la información relevante, se reubique para repetir la misma tarea en otras instalaciones o en otros equipos.

Como Arduino no es capaz de manejar punteros avanzados, y para atender a esta limitación, las instrucciones que requiere modificar variables se han realizado de manera simplificada en el programa. De esta manera se evita el empleo de punteros que pueden dar errores de compilación.

Implementación

En este apartado englobamos tanto la definición de las diferentes funciones para el *setup* como para el resto del programa. Estas han sido:

- Función para obtener el valor eficaz de un vector: Se ha implementado una función que partiendo de un vector de datos realiza los cálculos adecuados de manera que devuelve al programa el valor eficaz para dicho vector. Esto se empleará como función adicional en el cálculo que requiere el uso de valores eficaces, es decir, a la hora de obtener los datos eficaces para cada muestra y guardar los valores eficaces de dicho periodo.

```
// Función para obtener la eficaz discreta de una onda
float eficaz(float v[]){
float efic,efT=0;
int c;
int L=sizeof(v);
for(c=0;c<L;c++){
efic=sq(v[c]);
efT+=efic;}
efT=(sqrt(efT/L));
return efT;}
```

Figura 14-Código Arduino IDE para función eficaz (elaboración propia)

Como se puede observar en el código, al ser el valor eficaz de un vector, el tamaño no tiene por qué estar definido previamente. En la función se toma el tamaño (número de posiciones) del vector y se hace un sumador del cuadrado de los mismo. Una vez completada la suma, se realiza la raíz cuadrada de número y se divide entre el total de muestras obteniendo el valor eficaz de un vector de datos. Este valor es el que se devuelve al programa principal.

- Función para obtener el valor medio de un vector: Esta función te permite sacar la media geométrica del valor absoluto de un vector. Se emplea tanto a nivel de cálculo de valores medios de las muestras como para guardar los valores en las diferentes intensidades obteniendo los valores medios de la intensidad temporal anterior. Como particularidad, para asegurar que es el valor medio de la magnitud y que este no da 0 a no ser que sea efectivamente 0 se hace la media del valor absoluto. Si no tuviéramos esto en cuenta, al ser una señal periódica, la media saldría falseada debido a que habría sumas de valores positivos y negativos.

```
// Función para obtener el valor medio de un vector
float media (float v[]){
int c;
int L=sizeof(v);
float suma=0;
for(c=0;c<L;c++)
suma+= abs(v[c]);
return suma/L;}
```

Figura 15-Código Arduino IDE para función media (elaboración propia)

De forma análoga, al tratarse de un vector no hace falta un tamaño definido previo. Con una estructura análoga, la función del valor eficaz obtendrá el valor medio de un vector. Esta función devuelve un float correspondiente con el valor medio de un vector.

- Funciones para dar formato a los datos: Se ha implementado una función para cada intensidad temporal que lee los datos almacenados, los codifica y da el formato adecuado para su envío a la interfaz de usuario. Más tarde, en el programa principal se enviarán de manera adecuada a través del puerto serie bluetooth para que la interfaz de usuario los pueda decodificar, procesar y mostrar de manera adecuada (ver proceso de codificación de datos más adelante).

Las funciones están predefinidas en el programa principal. En la parte del Setup del programa principal se inicializa la conexión bluetooth del dispositivo y los contadores que se reiniciarán cada vez que se arranque el programa.

```
void setup() {  
  
    Serial.begin(115200);  
    ESP_BT.begin("DATA_DEVICE");  
    contmin=0;  
    contsem=0;  
  
}
```

Figura 16-Código del setup del programa (elaboración propia)

Toma de muestras y procesado de información

Este proceso tendrá lugar en el bucle del programa de Arduino que se está ejecutando en el microcontrolador. Aunque son dos partes diferenciadas, como se realizan de forma secuencial para cada muestra y tiene partes comunes tiene sentido explicarlas como un único paso. Además, la simple obtención de los datos de tensión e intensidad sin un cálculo posterior no sería relevante y útil para un cálculo del consumo.

En la solución propuesta se ha definido un periodo base para la toma de muestras que, en este caso, será una vez cada minuto. Esta toma de muestras lanzará un total de 100 tomas individuales con una frecuencia de 5 milisegundos tomadas por un total de 0,5 segundos.

Esta toma de muestras se hará para cada magnitud de forma secuencial, es decir, se tomará la muestra 1 de la magnitud 1, después la muestra 1 de la magnitud 2, después la muestra 2 de la magnitud 1, etc. Para facilitar estos datos se guardarán en una matriz en la que cada posición almacenará 2 entradas de datos. Es decir, se dispondrá de 100 posiciones y 2 filas.

La matriz para la última muestra quedaría de la siguiente manera:

$$\begin{matrix} I00 & I01 & \dots & I99 \\ U00 & U01 & \dots & U99 \end{matrix}$$

Figura 17- Estructura ejemplo para muestra de la última hora

Una vez se haya obtenido la muestra, se procesará de manera que la información útil que se quiere almacenar quede simplificada y lista para acceder. Para ello se tendrá una matriz que mantenga los valores relevantes muestra a muestra; una vez guardados los 100 valores para una determinada fecha estos se procesarán y se obtendrán los siguientes valores: tensión media, intensidad media, potencia aparente, potencia activa y potencia reactiva.

En este segundo escalón, se debe diferenciar varias intensidades temporales. Una primera intensidad que guardarán los datos, minuto a minuto de cada día, para simplificar la referencia vamos a llamar "matriz global día" o matriz diaria. Esta matriz global día cuenta con una posición para cada dato relevante para cada minuto; cuenta con un total de 1440 posiciones (1440 min al día) y 6 posiciones para los datos. En paralelo y para simplificar, manteniendo a la relación de la posición en la matriz se guardará la fecha de cada uno de los minutos.

Aunque no se ha previsto que actúe así el programa en esta aplicación, esto se hace de manera que se puedan ir sobrescribiendo los datos y siempre se tenga disponibles, una vez alcanzadas las 24 h de funcionamiento, un histórico de consumos minuto a minuto y ordenarlos en el tiempo para que se pueda graficar con exactitud las muestras de las últimas 24 h o de los últimos 1440 min tomados.

En este caso en particular, no se ha contemplado que se vaya reordenando según se va avanzando en el tiempo en el microcontrolador, pero si se pudiera tener en cuenta en la interfaz de usuarios en caso de ser representativo. Una alternativa que simplificará esto sería guardar la fecha en formato de entero, como por ejemplo se puede hacer en Excel, y después ordenar de menor a mayor para una adecuada representación de los datos, no obstante esto escapa al alcance del proyecto actual.

Así mismo se deberá tener en cuenta que, por ejemplo, si durante la primera media hora de funcionamiento del programa se pide la media de la última hora, se mostrará la media de los datos disponibles informando al usuario de cuantas muestras disponibles hay y facilitando la información los datos.

En otro escalón de intensidad temporal se guardarán los datos cada hora. En la aplicación particular se han previsto que se guarden los datos, en este régimen temporal, hasta una semana completa. En este caso la matriz que almacena los datos tiene una estructura muy similar a la de la intensidad temporal de minutos, no obstante cuenta con 168 posiciones, en lugar de 1440, que corresponden con las horas de 7 días. El funcionamiento es muy similar al anterior, no obstante en este escalón se toman las medias de los últimos 60 min para realizar de nuevo un cálculo de media que será guardado bajo este régimen temporal. Es decir, los datos se obtienen del anterior escalón de intensidad temporal. Además, estos cálculos solo se realizarán cuando se haya llegado a 60 muestras, es decir, independientemente de la hora, se irán almacenando los datos de medios de bloque de 60 muestras realizado en este cálculo solo 1 vez cada hora.

Una vez terminada la toma de muestras y el procesado se espera a que pase el tiempo suficiente, desde el comienzo de la toma de muestras, pasando un minuto completo antes de repetir este procedimiento.

La toma de muestras cuesta menos de 1 segundo en realizarse, por lo tanto, cada minuto, disponiendo de otros 59 segundos antes de la siguiente muestra para realizar otras tareas. En el tiempo restante se realizará el procesado de la información y la “Escucha” de comandos.

Una vez terminados los cálculos y el procesado se dejará el dispositivo preparado para devolver los valores que se le pidan. Para ello se ha desarrollado una serie de comandos programados para que el dispositivo comunique unos datos u otros según la entrada (ver apartado correspondiente).

Siguiendo el sistema de organización, se pueden plantear varios escalones de intensidad temporal como, por ejemplo, los parámetros medios de los últimos 15 días o el último mes. Incluso se podría guardar una matriz que planteara guardar los datos hora a hora del último año.

En realidad, se puede jugar con las intensidades temporales según sea relevante y, en caso de creerlo necesario, también se podrían guardar los datos minuto a minuto de un periodo más largo que 24 h o incluso por algún tramo intermedio como hacer la media en lugar de cada hora cada 5, 6 o 10 minutos según la aplicación y el interés que suponga estas intensidades temporales. En este caso, y al ser una aplicación más doméstica, se ha escogido guardar los datos minutos a minuto de las últimas 24 horas y hora a hora de los últimos 7 días. De esta manera se dispone de un ejemplo de dos intensidades temporales representativas.

Implementación

La implementación de la toma y procesado de muestras se ha realizado en la parte del **loop o bucle** del programa, debido a que se va a hacer de forma continua hasta que se interrumpa la alimentación del dispositivo.

Se ha realizado de la siguiente manera. Se ha tomado un tiempo inicial de referencia que se empleará de forma posterior para controlar cuando se va a realizar la siguiente muestra. De forma posterior se ha implementado un bucle que tomará 100 muestras de tensión y de intensidad y se ha incluido un desfase de 1 milisegundo una vez tomadas esas muestras para garantizar una frecuencia de muestras de 1000 Hz, es decir, que sería capaz de tomar 1000 muestras en un segundo. Esto se ha hecho para que, teniendo en cuenta la frecuencia de la señal (50Hz), se disponga de datos suficientes para ser capaces de reconstruir la onda, para que sean suficientemente distribuidos en la frecuencia de la señal de manera que se pueda obtener datos relevantes. En este caso, se tomará un total de 20 muestras por ciclo lo que indica que se podrán muestrear 5 ondas completas en las 100 medidas tomadas.

Las señales de entrada al microcontrolador son proporcionales a las señales muestreadas y, por tanto, hay que realizar un cálculo de manera que los datos obtenidos se transformen en datos reales. Para ello habrá que calcular una constante de proporcionalidad para aplicar el cálculo y obtener el valor real.

Por otro lado, hay que recordar que las señales muestreadas pueden tener signo negativo o positivo mientras que las señales de entrada en el microprocesador, debido a la naturaleza de los dispositivos de medidas, solo son positivas. Así mismo también se debe conocer que los canales de entrada del microprocesador como mucho pueden dar 3,3 V. por tanto, en la constante de proporcionalidad habrá que tener en cuenta también esto. Asimismo, para poder transformar la señal en el signo adecuad deberá de restarse el punto medio del canal de medida,

el Offset. Así, aunque nuestra señal de entrada sea positiva siempre, cuando estamos por debajo del punto medio del canal de medida (por ej., 1,6 Voltios) el valor se almacene como negativo.

Este diagrama des un ejemplo de un dato en un instante determinado de tiempo:

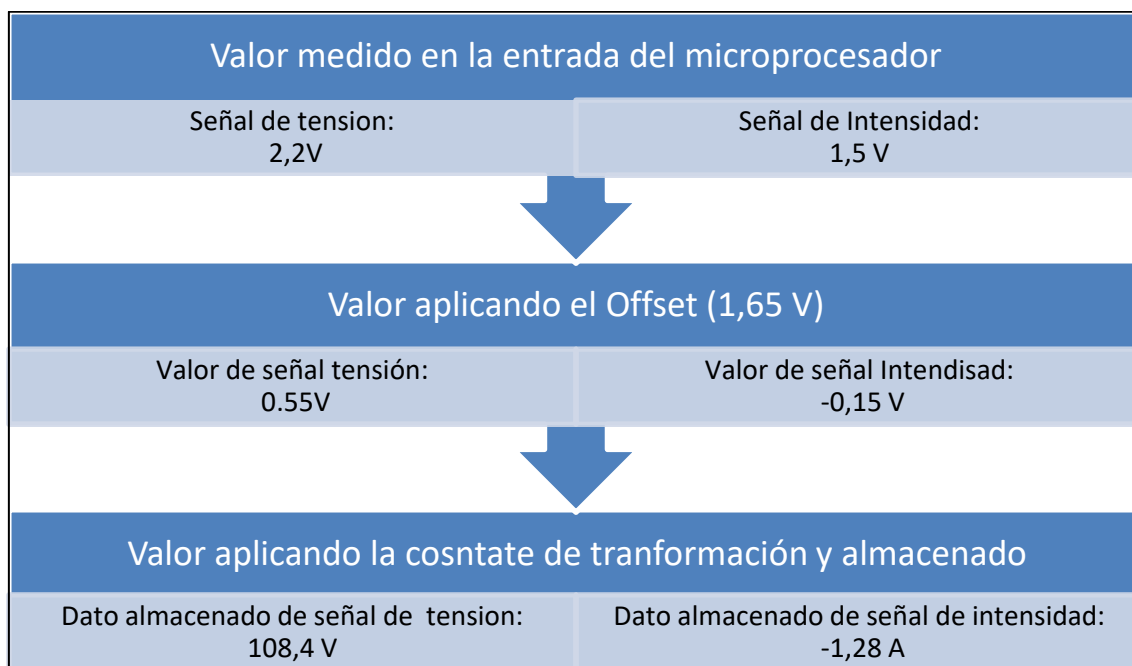


Figura 18 -Evolución de los datos en cada punto de la toma de muestras.

Para validar las constantes de tiempo habrá que calibrar el conjunto empleando los instrumentos adecuados. En este proceso se podrán ir probando diferentes cargas con diferentes parámetros y se irá ajustando las constates par que los resultados transformados sean lo más similares posible a lo datos tomados.

En este punto es en el que se incluye error en la medida. En primer lugar, al no poderse tomar la muestra en paralelo, aunque la distancia temporal entre ellas es la misma, la tensión y la intensidad no corresponde exactamente con las del mismo momento. En segundo lugar, al transformarla tanto con el offset como con la constante de proporcionalidad se pueden incluir una serie de errores que modifiquen ligeramente los datos reales. No obstante, con una adecuada calibración esto errores pueden ser admisibles, no suponiendo una gran variación con respecto al parámetro real en el caso ideal.

Por último, el dato tomado y transformado se guardará en un vector, para cada parámetro. Una vez se haya obtenido todos los datos (100 muestras para cada parámetro) se empelarán las funciones definidas en la parte de la inicialización para procesar estos vectores y obtener el resto de los datos relevantes para el cálculo. Los datos que finalmente se guardarán de la muestra son: tensión eficaz media (U), intensidad eficaz media (I), potencia aparente (S), potencia activa(P) y potencia reactiva (Q).

Para procesar de forma sencilla, estos datos se guardarán en una matriz que los contenga todos y en un vector que los contenga por separado, es decir, un vector para la tensión, uno para la intensidad, uno para la potencia activa y uno para la reactiva. Se va a utilizar la función de media para obtener el valor medio a guardar en el resto de las intensidades temporales. En nuestro

caso, cuando se disponga de 60 muestras, se procesarán realizando la media de los valores de las 60 muestra para almacenarlo en la matriz de datos de intensidad temporal de horas.

Para realizar estos procesados secundarios, después de cada conjunto de cálculos u asociación de valores, se incrementará un contador, relacionado con la muestra tomada, de manera que se emplea con la intención de ubicar la información de la siguiente muestra sin sustituir la de la anterior. En paralelo, este contador valdrá para saber si ya se han realizado 60 muestras y se debe hacer la media por hora o, en caso de emplear otras intensidades temporales, la que sea necesaria para calcular valores medios de rangos temporales más largos. Por ejemplo, si fuera relevante hacer la media cada 12 horas se incluiría un contador de manera que cuando llegue a 12 (teniendo una actualización por hora) se realizará el cálculo y la asociación de datos calculados en una variable adecuada almacenable para su posterior acceso.

Una vez se haya realizado todo esto, el programa se quedará a la espera de recibir comandos (ver siguiente apartado). El código empleado para la toma de datos y procesado de información es:

```

170 void loop() {
171     unsigned long tini,tfin;
172     tini=millis();
173
174     for (c=0; c<L; c++){
175         muestraU[c]=(analogRead(PTension)-OffsetU)*KU;
176         muestraI[c]=(analogRead(PIntensidad)-OffsetI)*KI;
177
178         UltimaMuestra[0][c]=muestraU[c];
179         UltimaMuestra[1][c]=muestraI[c];
180         UltimaMuestra[2][c]=muestraU[c]*muestraI[c];
181         delay(1);}
182
183     uefi=eficaz(muestraU);
184     iefi=eficaz(muestraI);
185     Umed=media(muestraU);
186     Imed=media(muestraI);
187     ST=uefi*iefi;
188     PT= Umed*Imed;
189     QT= sqrt(sq(ST)- sq(PT));

```

Figura 19-Código en Arduino IDE donde se toman las muestras y se guardan los datos para cada minuto (elaboración propia)

Como se puede observar en el código, a la hora de tomar la muestra se lanza una lectura de L muestras para cada uno de los parámetros de entrada, en este caso, dado que la muestra quedó definida como de 100 tomas de datos L está inicializada a 100. Asimismo, dentro del loop de toma de muestras, también se ha incluido la función delay. Esta función provoca un retraso de un numero definido de milisegundos. Para asegurar que la diferencia entre muestras es de al menos 1 milisegundo se define este retraso como 1 milisegundo, poniendo el 1 entre los paréntesis de la función delay.

Por otro lado, se ha implementado unas constantes de transformación de los valores obtenidos (KU y KI) y offset, que se emplearán para transformar el valor medido en el valor real almacenando directamente el resultado del número obtenido en lugar del valor medido real en las entradas de lectura. Para ajustar estas constantes y estos valores de offset se deberá realizar un calibrado del sistema montado.

Observemos como en la línea 172 se toma la fecha inicial justo antes de la toma de datos. Esta fecha es la que se empleará como referencia de tiempo antes de una nueva toma de muestras.

```

191 globdia[0][contmin]=Umed;
192 globdiaU [contmin]=Umed;
193 globdia[1][contmin]=Imed;
194 globdiaI[contmin]=Imed;
195 globdia[2][contmin]=ST;
196 globdiaS[contmin]=ST;
197 globdia[3][contmin]=PT;A
198 globdiaP[contmin]= PT;
199 globdia[4][contmin]=QT;
200 globdiaQ[contmin]=QT;
201
202 if (((contmin%60)==0) && (contmin!=0)) {
203     globsemana[0][contsem]=media(globdiaU);
204     globsemana[1][contsem]=media(globdiaI);
205     globsemana[2][contsem]=media(globdiaS);
206     globsemana[3][contsem]=media(globdiaP);
207     globsemana[4][contsem]=media(globdiaQ);
208
209     contsem++;
210     if (contsem >168)
211         contsem=0;
212 }
213 contmin ++;
214 if (contmin>1440){
215     contmin=0; }
216

```

Figura 20-Código Arduino IDE para organizar los datos de hora en hora. (elaboración propia)

Como continuación del proceso de muestras se almacenan los datos medidos en la matriz destinada a tener las muestras de cada minuto, esta es “*globdia*” la cual se ha inicializado de manera previa con un total de 1440 posiciones (una por cada minuto del día). En paralelo se guardan unos vectores auxiliares (p.ej. “*globdiaU*”) que se emplearán para hacer el procesado posterior llegado el momento. Se ha realizado de esta manera para simplificar las entrada y salidas a las funciones auxiliares.

También se disponen de dos contadores (*contesem* y *contmin*) que se encargan de contabilizar el número de muestras tomadas y, de esta manera, una vez se haya completado 60 muestras se realizará el procesado de la información de la última hora obteniendo los valores medios medidos a lo largo de todo ese periodo.

Para ellos, se contabiliza cada uno de los valores e imponen condiciones en función. De esta manera cuando se cumplan 60 tomas de datos, el programa contabilizará que ha pasado una hora y realizará los cálculos pertinentes para almacenar los datos horarios. En caso de querer otras intensidades de tiempo o tomar medidas en otros intervalos se deberá ajustar el programa para tenerlas en cuenta.

Recepción e identificación de comando y envío de información

Una vez se termina la toma de muestras y procesado hay un tiempo de reposo del dispositivo. El periodo base de toma de muestras es una vez cada minuto y esta toma muy poco tiempo, por tanto, se establece un periodo de reposo en el cual el sistema está disponible para interactuar con otros dispositivos. Todos estos procesos se llevarán a cabo en el microcontrolador.

En este periodo de reposo es donde se escucharán los dispositivos conectados y el sistema estará disponible para el envío de información. En esta parte del programa, la respuesta está definida para una serie de comandos programados que se enviarán mediante la interfaz de usuario (ver apartado de estructura de interfaz de usuario). Una vez recibido e identificado el comando se realizará la acción de respuesta la cual consistirá en extraer, procesar, formatear y enviar la información.

Para facilitar el intercambio de información se formatearán los números a un formato común descomponiéndolos en los diferentes caracteres que lo comprenden. Para mantener la identificación adecuada, los datos enviados estarán codificados para que la interfaz de usuario una vez los reciba sepa con qué corresponde. De esta manera, mediante un intercambio sencillo de char o de strings a través de bluetooth será posible transmitir la información relevante de un dispositivo al otro bajo la demanda del usuario.

Como esta programación tiene que ir en paralelo con la realizada en las muestras, se enseñarán los parámetros de la última muestra, los parámetros medios de la última hora y los parámetros medios de las últimas 24h. Como se indicó, estas mediadas están realizadas para elementos que habitualmente trabajan en continuo o semicontinuo (por ej., en un entorno doméstico, una nevera, y en un entorno industrial un transportador continuo, o una máquina de procesado continuo).

Hay que destacar que para que no se interrumpa el proceso de muestreo y procesado, el tiempo de escucha del programa comenzará después de la toma de muestras y procesado de datos. Se ha programado para que esto ocurra cada 60 segundos, es decir, se toma como referencia el momento justo antes de comenzar la toma de muestras y el proceso de toma de datos y procesado de información se volverá a dar 60 segundos después, independientemente del proceso de envío de información.

De esta manera, independientemente del tiempo que tarde el programa en calcular, recibir el comando lanzado desde la interfaz de usuario, identificarlo, procesar la información y dar respuesta al mismo, se asegura que el retraso entre muestras sea mínimo y en la gran mayoría de casos no se retrasará manteniendo una toma de muestras regular. Además, se asegura también

que se toma una muestra cada 60 segundos independientemente de los procesos intermedios de procesado de información y escucha de datos.

Otra particularidad a tener en cuenta es que, cuando se pide la información de la última muestra, solo se enviarán valores para cada posición de los datos tomados de tensión, intensidad y potencia activa. Como se ha visto en apartados anteriores, los diferentes valores de consumos obtenidos mediante el cálculo de la potencia dependen del tiempo. Asimismo, hay que destacar que algunos de los parámetros de consumo se pueden obtener de forma directa de los datos obtenidos mientras que otros dependen de los parámetros eficaces (ver Tabla 2). Por tanto, no se pueden obtener todos los parámetros para cada valor de las muestras, los parámetros de consumo de presentan para toda la muestra. Esto difiere de cuando se envía los parámetros de los últimos 60 minutos o cualquier escalón temporal superior y, por tanto, deberemos tener en cuenta esto a la hora de transmitir la información a la interfaz de usuario.

Implementación

La recepción, identificación de comandos y envío de los datos codificados adecuadamente se ha implementado mediante una serie de comandos (explicado en el apartado de interfaz de usuario).

En este apartado, al ser un punto de comunicación entre dos dispositivos se ha tenido en cuenta las posibles limitaciones de cada una de las partes. Por lo tanto, para simplificar al máximo cualquier posible problema de formato, el intercambio de información se codifica en ASCII en formato texto. Es decir, en el microcontrolador se transformarán los datos en un texto empleando el formato estándar ASCII que será enviado al dispositivo de interfaz de usuario. Una vez se ha transmitido, se decodificará por la interfaz de usuario para asociar de manera adecuada cada valor a su magnitud y que se pueda representar de manera relevante para el usuario final.

La forma de codificar particularmente empleada es etiquetar la lista de datos indicando con una letra (U, I, P, Q o S en este caso) si los datos que se van a remitir a continuación son de tensión, intensidad, potencia aparente, potencia activa o potencia reactiva. De esta manera, la interfaz de usuario podrá compartimentar los datos de cada magnitud, segmentarlos y transfórmalos de manera adecuada para su representación (ver apartado relativo).

No obstante, para no interrumpir las pruebas, el dispositivo estará pendiente de la recepción de comandos, pero tendrá también en cuenta el tiempo pasado desde que se ha tomado la muestra. De esta manera, se ha implementado un bucle que permanece esperando a la recepción de comando mientras que la diferencia de tiempo entre el tiempo tomado a la hora de la toma de muestras y el valor actual de tiempo sea inferior a 60 segundos. Así se asegura que cada 60 segundos se realiza una prueba y procesado de datos con una entrada de datos regular.

Para una adecuada identificación de los datos enviados y, para que no haya discrepancias entre los decimales mostrados dependiendo de la posición, se ha formateado los datos de manera que estos van truncados. Además, se ha limitado según la magnitud del parámetro a un cierto número de posiciones a ocupar. En este caso particular, y debido a los rangos de trabajo, las estructuras para cada parámetro son:

Tabla 7-Ejemplo de parámetros medidas y guardados en el formato de envío

Parámetro	Estructura	Ejemplo		
		Magnitud medida	Magnitud Grabada	Unidad
Tensión (media)	+XXX.X	-225.6897	-225.6	V
Intensidad (media)	+XX.XX	-7.827418	-07.82	A
Potencia Aparente	XXXX.X	1764.56762	1766.5	VA
Potencia Activa	XXXX.X	1699.2418	1699.2	W
Potencia reactiva	XXXX.X	483.0512	0483.0	VAr

Como se puede observar se truncan los datos, lo cual puede introducir un cierto error, no obstante se considera que este error es asumible para el desarrollo en particular. Para desarrollo futuros o aplicaciones específicas sería necesario ver si se aplica algún procesado intermedio, por ejemplo, un redondeo, para disminuir la pérdida de datos.

A continuación, se muestra el código empleado para la codificación siguiendo el formato indicado. Estas funciones, aunque se emplean en el cuerpo del loop del programa se han definido previamente.

```

String FormatToSendMuestra(float output[][100]){
int i,j;
int dimx= sizeof output/sizeof output[0];
int dimy= sizeof output[0]/ sizeof output[0][0];
String ToSend;

char temp [6];
ToSend.concat("1");
for (int i=0;i<dimx;i++)
{
for(int j=0;i<dimy;j++){
if (j=0) {
if (i=0)
sprintf(temp,"U%04.1f;",output[i][j]);
if (i=1)
sprintf(temp,"I%04.2f;",output[i][j]);
if (i=2)

sprintf (temp,"S%5.1f;",output[i][j]);
ToSend.concat(temp);}
else
{if (i=0)
sprintf(temp,"%04.1f;",output[i][j]);
if (i=1)
sprintf(temp,"%04.2f;",output[i][j]);
if (i=2)
sprintf (temp,"%5.1f;",output[i][j]);}
ToSend.concat(temp); }}
return ToSend;}

```

Figura 21-Código Arduino IDE Para dar formato envío de datos en el caso del comando muestra (elaboración propia)

Esta función es la que se emplea para, una vez se recibe el comando, la petición de datos. Este tiene como entrada la matriz de datos muestra, que es donde se almacenan los datos de la última muestra. En este caso particular, solo se remiten los datos de tensión, intensidad y potencia aparente, debido a que los datos que se están enviando se han preparada para que la interfaz los pueda representar. En el caso del resto de datos dispondríamos de solo un número dado que depende de medidas obtenidas de los datos a lo largo de un periodo. Esta función devuelve un Sting, un vector de caracteres que puede no tener un tamaño definido.

Para el resto de los casos (último día y última semana, como se puede ver en el código más adelante) sí que se tiene posiciones para todas y cada una de las variables. Asimismo, hay que destacar que en la propia función (tanto en la de muestra como el resto) se ha implementado que se incluya un número inicial que vale para verificar que el comando recibido en la aplicación de Android es efectivamente el solicitado.

```
String FormatToSendDia(float output[][1440]){
    int i,j;
    int dimx= sizeof output/sizeof output[0];
    int dimy= sizeof output[0]/ sizeof output[0][0];
    String ToSend;
    char temp [6];
    ToSend.concat("2");
    for (int i=0;i<dimx;i++){
        for(int j=0;i<dimy;j++){
            if (j=0) {
                if (i=0)
                    sprintf(temp,"U%04.1f;",output[i][j]);
                if (i=1)
                    sprintf(temp,"I%04.2f;",output[i][j]);
                if (i=2)
                    sprintf(temp,"P%5.1f;",output[i][j]);
                if (i=3)
                    sprintf (temp,"Q%5.1f;",output[i][j]);
                if (i=4)
                    sprintf (temp,"S%5.1f;",output[i][j]);
                ToSend.concat(temp);}
            else
                {if (i=0)
                    sprintf(temp,"%04.1f;",output[i][j]);
                if (i=1)
                    sprintf(temp,"%04.2f;",output[i][j]);
                if (i=2)
                    sprintf(temp,"%5.1f;",output[i][j]);
                if (i=3)
                    sprintf (temp,"%5.1f;",output[i][j]);
                if (i=4)
                    sprintf (temp,"%5.1f;",output[i][j]);
                ToSend.concat(temp); }}}
        return ToSend;}

```

Figura 22-Código Arduino IDE para dar formato a la muestra del último día (elaboración propia)

```

String FormatToSendSemana(float output[][168]){
    int i,j;
    int dimx= sizeof output/sizeof output[0];
    int dimy= sizeof output[0]/ sizeof output[0][0];
    String ToSend;
    char temp [6];
    ToSend.concat("3");
    for (int i=0;i<dimx;i++)
    {
        for(int j=0;i<dimy;j++){
            if (j=0) {
                if (i=0)
                    sprintf(temp, "U%04.1f;", output[i][j]);
                if (i=1)
                    sprintf(temp, "I%04.2f;", output[i][j]);
                if (i=2)
                    sprintf(temp, "P%5.1f;", output[i][j]);
                    ToSend.concat(temp);}
            else
                {if (i=0)
                    sprintf(temp, "%04.1f;", output[i][j]);
                    if (i=1)
                    sprintf(temp, "%04.2f;", output[i][j]);
                    if (i=2)
                    sprintf(temp, "%5.1f;", output[i][j]);
                    }
                    ToSend.concat(temp);}}
        return ToSend;}

```

Figura 23-Código Arduino IDE para dar formato a la muestra de la última semana (elaboración propia)

El formato del String está realizado de manera que se envía toda la información para cada tipo de variable, de manera conjunta; primero se enviarán todos los datos de tensión, y después todos los datos de intensidad, etc. Por tanto, para facilitar que el programa Android pueda extraer adecuadamente los datos para cada variable se ha incluido una etiqueta de datos, en forma de carácter que indica el comienzo de un nuevo tipo de dato.

En el input también se inicializan alguna de las variables principales que se van a emplear (contadores de posición y vectores de datos en el proyecto desarrollado). También se inicializa la comunicación del puerto serial del microcontrolador que emplearemos como vía de comunicación, así como el bluetooth para que los dispositivos de interfaz de datos puedan intercambiar información con el dispositivo de toma de datos. Destaquemos que también se dispone de un loop interno donde el microcontrolador está “escuchado.” el dispositivo de interfaz a la espera de recibir comandos.

```

218  do{
219
220  if (ESP_BT.available()) //Comprueba si se ha recibido algo
221  {
222    comando= ESP_BT.read(); //lee lo que recibe
223      if (comando=1) { // muestra
224        ESP_BT.println(FormatoSendMuestra(UltimaMuestra));
225        comando=0;}
226      if (comando=2) { // Día
227        ESP_BT.println(FormatoSendDia(globdia));
228        comando=0;};
229      if (comando=0) { // Semana
230        ESP_BT.println(FormatoSendSemana(globsemana));
231        comando=0;};}
232
233    //Bucle de espera referencia inicio - referencia actual
234    //Bucle de escuchar las coms.
235
236
237    tfin=millis() ;
238  }while ((tfin-tini)<60000);
239

```

Figura 24-Código Arduino IDE del loop de escucha de instrucciones y envío de información.

Como se puede observar, una vez terminada la toma, almacenamiento y procesado de datos se pasa a esperar las instrucciones de la interfaz de usuario. Para ello el microcontrolador se mantiene “escuchado” la interfaz de usuario, es decir, está a la espera de que se le envíe un comando, predefinido en el programa de Android, el cual desencadenará el envío de información.

Se han definido los siguientes comandos:

- Comando “1”: la interfaz de Android enviará un 1. El programa remitirá los valores de la última muestra siguiendo la codificación explicada.
- Comando “2”: la interfaz de Android enviará un 2. El programa remitirá los valores del último día, es decir, 1440 muestras correspondientes a periodo de minutos, siguiendo la codificación explicada.
- Comando “3” la interfaz de Android enviará un 3. El programa remitirá los valores de la última semana, es decir 168 muestras, correspondientes con periodos de 1 hora siguiendo la codificación explicada.

Transmisión en intercambio de información-interfaz de usuario

Tal y como se ha indicado anteriormente, debido a las ventajas operativas que supone el uso de BLE será esta la forma seleccionada para el intercambio de información, de manera que el microcontrolador quedará realizando sus tomas de muestras quedando a la espera de que se le conecte un dispositivo para pedirle la información. Este dispositivo será un teléfono Android el vinculado mediante bluetooth con el dispositivo.

Una vez se haya conectado, el dispositivo Android contará con una interfaz que permita enviar comandos, previamente programados en el procesador. Cuando se reciba el comando habrá una respuesta prevista en la cual el microcontrolador obtendrá la información solicitada, le dará formato adecuado para su envío y enviará al programa de visualización en Android.

El formato estándar para la transmisión de información será en formato texto, de manera que el programa en el dispositivo Android recibirá una serie de cadenas de texto (strings) que transformará en números para su uso en la interfaz. En el programa en Android solo se realizará la muestra de los datos y la representación gráfica de los mismos dejando todo el procesado de cálculos para el microcontrolador.

Con el uso de BLE podemos integrar una batería en el dispositivo de medida y mantener el equipo en funcionamiento durante largos periodos de tiempo sin necesidad de acceder al punto de medida hasta que no se requiera un cambio de posición o un cambio de batería.

Por otra parte, al realizar todos los cálculos y almacenamiento en el dispositivo tenemos por un lado toda la información disponible independientemente del dispositivo de acceso. Además, al realizar los cálculos en el microcontrolador también conseguimos obtener una respuesta muy similar independientemente del dispositivo Android conectado. Por tanto, en esta parte del programa se recibirán toda la información desde el microcontrolador.

Una vez se tenga la información adecuada el programa pasará a mostrar los parámetros más relevantes en forma de número concreto, así como la evolución de estos a lo largo de un periodo de tiempo. Para esto último se incorporará una gráfica. Para hacer el programa intuitivo, una vez se lance el comando, se podrá pulsar cada parámetro para que éste aparezca en la gráfica. Esto no será posible para todos los parámetros en la intensidad debido a que la naturaleza de algún parámetro depende de un periodo de tiempo. Es decir, para realizar la gráfica de la potencia aparente media solo se podrá realizar a partir de varias muestras por minuto ya que se trata de un parámetro dependiente de los valores eficaces, que se pueden obtener para un periodo de tiempo y no para una muestra particular.

Implementación

En el caso particular del proyecto, se ha realizado una aplicación la cual consta de un menú que permite seleccionar qué información pedir al microcontrolador. Cuando se pulsa una opción de este menú se envía un comando al microcontrolador. Esto se ha hecho para simplificar el funcionamiento y tener predefinido cómo se comporta y qué se envía al microcontrolador y en qué formato.

Una vez enviado el comando al microcontrolador, en su parte de codificación formato y envío, da la forma adecuada a la información y la transforma en un String que envía a la aplicación. Este String va con un encabezado que hace referencia al comando enviando. Después un símbolo identifica a qué magnitud corresponden los datos. El String recibido tendrá un formato similar al siguiente (en este caso se ha identificado el comando 2 que es el que hace referencia el envío de datos de la última hora):

2 U U00 ... U59 I I00 ... I59 S S00 ... S59 P P00 ... P59 Q Q00 ... Q59

Figura 25-Estructura String compartido por el microcontrolador (elaboración propia)

En el ejemplo nótese que se han puesto espacios entre los diferentes datos para que sea más visual identificarlos, no obstante, en la versión del programa, no estará separados por espacios. Los puntos suspensivos indica que van a estar reflejados todos los datos entre la posición inicial (00) y la última (59). Desde el microcontrolador se ha fijado el formato de los datos tal y como se ha indicado en la Tabla 7 de manera que se sabe exactamente cuándo números corresponden a cada dato.

Aunque el programa en Java se compone de múltiples partes, a continuación, se destacan los tres puntos o bloques más importantes. Estos corresponden con el envío de comandos, la recepción y decodificación de datos, y su representación gráfica. Para poder explicar el programa, deberemos describir las diferentes partes de la pantalla de la interfaz, así como las funcionalidades que tiene cada una.

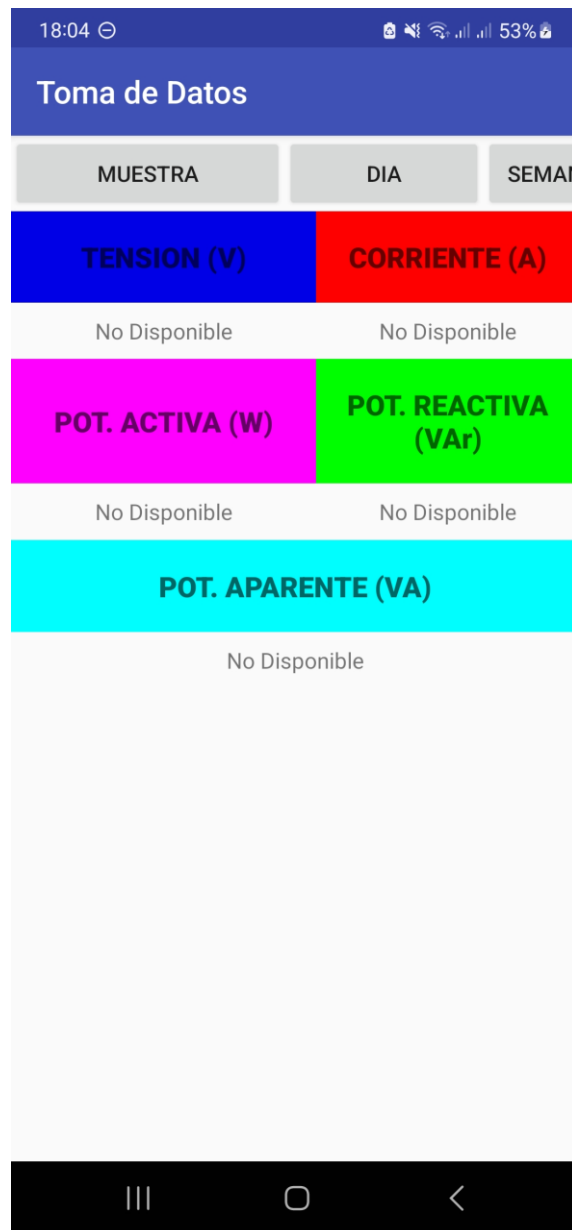


Figura 26-Interfaz de usuario programada en Android Studio (elaboración propia)

La zona de los botones (muestra, día y semana) es la que se emplea para enviar las ordenes al dispositivo. Estos elementos son “clicables”, es decir, cuando el usuario los pulsa, el programa ejecuta unas instrucciones. Estos botones están programados para que una vez se pulsen se envíe un mensaje mediante terminal bluetooth previamente conectado con el dispositivo de toma de medidas.

Una vez se ha enviado el comando, el programa recibirá la información desde el dispositivo de toma de medidas a través de un mensaje de texto (el método de intercambio de información será mediante String o vectores de caracteres). Este método de intercambio requerirá ser decodificado, es decir, para que el programa de interfaz de usuario pueda mostrar, y representar adecuadamente la información recibida deberá procesar la información y asignarla a su variable correspondiente. En los espacios donde aparece el texto “No Disponible” se representarán los parámetros medios de toda la información recibida para tener un orden de magnitud de los valores recibidos.

En la zona inferior en la que se puede ver un gran espacio en blanco se representará mediante gráfico la información del periodo inicialmente seleccionado. No obstante, para tener mayor claridad a la hora de identificar los parámetros y ver su representación gráfica de manera relevante se ha preparado para que, de manera similar a los botones de comandos, se representen en el espacio reservado para ello, la variable seleccionada, para lo cual se tendrá que pulsar en el recuadro de la variable que se dese ver y automáticamente se representará.

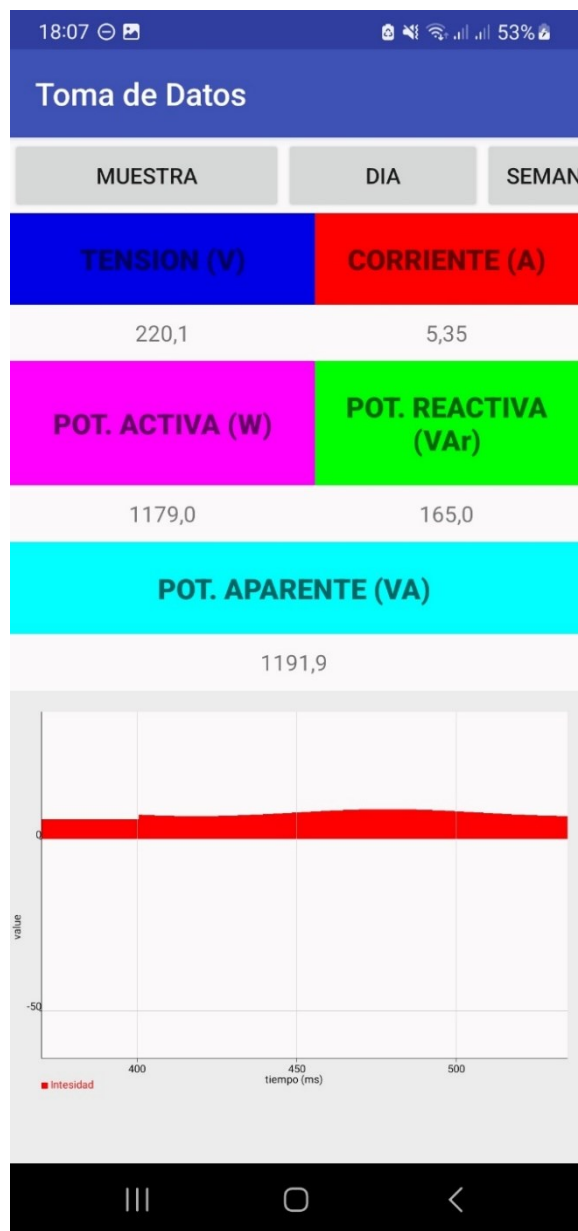


Figura 27-Ejemplo de representación de la variable de Intesidad para una muestra del comando asociado al botón Dia programada en Android Studio (elaboración propia)

En la figura anterior se muestra un ejemplo de representación final, para haber llegado hasta este punto primero se ha pulsado en día y posteriormente se ha pulsado en el recuadro “CORRIENTE (A)”. para facilitar la comprensión rápida de qué información se está representando, se ha asociado un color a cada variable y este será también el empleado en la representación gráfica de la misma. Así mismo, si fuera necesario, se puede aumentar o disminuir el tamaño en la representación gráfica.

A continuación, se incluye el código empleado para decodificar el mensaje que llega desde el equipo de toma de datos:

```

int firstU=readMessage.indexOf("U");
int firstI=readMessage.indexOf("I");
int firstS=readMessage.indexOf("S");
int firstP=readMessage.indexOf("P");
int firstQ=readMessage.indexOf("Q");
int last = readMessage.indexOf("\r\n");

String header= readMessage.substring(0,0);
String Tension = readMessage.substring(firstU+1,firstI-1);
String Intensidad=readMessage.substring(firstI+1,firstS-1);
String PotenciaS= readMessage.substring(firstS+1,firstP-1);
String PotenciaP= readMessage.substring(firstP+1,firstQ-1);
String PotenciaQ= readMessage.substring(firstQ+1,last-1);
String remains = readMessage.substring( beginIndex: last+2);

```

Figura 28-Código de decodificación de la información programada en Android Studio (elaboración propia)

La variable `readMessage`, es un `String` que almacena la información recibida a través de la conexión bluetooth. Hay que destacar que, según el formato que se le ha dado a la información transmitida por el dispositivo de toma de datos, corresponde principalmente con números. Asimismo, se incluyen las etiquetas de datos al principio de cada conjunto, es decir, se tiene un encabezado de datos que corresponde con la información enviada en forma de letra que identifica la variable (U es tensión, I es intensidad, S potencia aparente, P potencia activa y Q potencia reactiva).

Para facilitar que se trabaje con la información, el mensaje que contiene toda la información se ha segmentado por variables, dejando solo almacenados en cada `String` de variable los números. Para ello, con la función “`indexOf()`” se obtiene la posición de un determinado símbolo que, en este caso, son las letras. De forma posterior se obtiene los `substring` (fragmentos de `String` principal) que van entre los dos símbolos correlativos, esto es, toda la información asociada al voltaje irá entre la posición de la U y de la I, la información de intensidad irá entre la posición de la I y de la S, y así sucesivamente.

Asimismo, de acuerdo con la Tabla 7-Ejemplo de parámetros medidas y guardados en el formato de envío se tiene un número de caracteres por dato que conocemos y de acuerdo con el tamaño de la muestra solicitada tenemos también un número total de datos por variable. En consecuencia, se segmentan estos `String` de cada variable y se transforman en números representables.

```

if(header.equals("1")){
    SerieU.clear();
    SerieI.clear();
    SerieS.clear();
    SerieP.clear();
    SerieQ.clear();
    UMed=IMed=PMed=QMed=SMed=0;
    cuentamax=100;

    for (cuenta=0;cuenta<cuentamax;cuenta++){
        SerieU.add(cuenta, Double.parseDouble(Tension.substring(cuenta, cuenta+LongU)));
        UMed+=(Double.parseDouble(Tension.substring(cuenta, cuenta+LongU)))/cuentamax;
        SerieI.add(cuenta, Double.parseDouble(Intensidad.substring(cuenta, cuenta+LongI)));
        IMed+=(Double.parseDouble(Intensidad.substring(cuenta, cuenta+LongI)))/cuentamax;
        SerieS.add(cuenta, Double.parseDouble(PotenciaS.substring(cuenta, cuenta+LongS)));
        SMed +=(Double.parseDouble(PotenciaS.substring(cuenta, cuenta+LongS)))/cuentamax;
        SerieP.add(cuenta, Double.parseDouble(PotenciaP.substring(cuenta, cuenta+LongP)));
        PMed +=(Double.parseDouble(PotenciaP.substring(cuenta, cuenta+LongP)))/cuentamax;
        SerieQ.add(cuenta, Double.parseDouble(PotenciaQ.substring(cuenta, cuenta+LongQ)));
        QMed+= (Double.parseDouble(PotenciaQ.substring(cuenta, cuenta+LongQ)))/cuentamax;
    }

    DatoU.setText(String.format("%04.1f",UMed));
    DatoI.setText(String.format("%04.2f",IMed));
    DatoS.setText("No Disponible");
    DatoP.setText(String.format("%05.1f",PMed));
    DatoQ.setText("No Disponible");
}

```

Figura 29-Ejemplo de código para la decodificación de una muestra programada en Android Studio (elaboración propia)

Android Studio y Java, que es el lenguaje de programación utilizado, disponen de funciones capaces de extraer la información de un String que corresponde con números y transformarlo en un número que sea entendible por el programa como tal.

Previamente se define un encabezado para cada uno de los datos, siendo el 1 el correspondiente con la información de la última muestra, el 2 el correspondientes con la información del último día y el 3 el correspondiente con la información de la última semana. Empleando esto se obtiene un valor de número de datos por muestra que permite realizar adecuadamente la extracción de los números.

En paralelo se realiza el cálculo de la media para mostrar en pantalla los valores de la muestra para cada variable. Aunque para esta información en particular solo se dispondría de información para las variables de datos de tensión, intensidad y potencia aparente, se han mantenido el resto de las variables para ilustrar como se realizaría en otras muestras más completas.

Para la representación gráfica se ha empleado la librería aChartEngine. Para representar adecuadamente cada una de las variables, se debe tener en cuenta que hay que inicializar cada serie de datos, cada vez que se vaya a recibir una nueva información. Para ello se emplea la función clear. De manera previa, se han definido una serie de datos para cada variable representativa que se inicializarán cada vez que se reciban datos nuevos.

Android Studio requiere de varios datos que permiten ajustar el tamaño de la zona de visualización, la magnitud de las variables, los límites de visualización, etc. Como ejemplo, se muestra el código necesario para mostrar gráficamente la evolución de una variable.

```

BotonU.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
    @Override
    public void onClick(View v) {
        Log.d(TAG, "msg: " + "onClick: Accedido BotonU");
        XYMultipleSeriesDataset LDataset= new XYMultipleSeriesDataset();
        XYMultipleSeriesRenderer LRenderer= new XYMultipleSeriesRenderer();
        GraphicalView mChartView;
        Layout.removeAllViews();
        LDataset.addSeries(SerieU);
        LRenderer.addSeriesRenderer(RenderU);
        LRenderer.setMargins(new int[]{40, 60, 20, 20});
        LRenderer.setMarginsColor(Color.rgb( red: 236, green: 236, blue: 236));
        LRenderer.setAxesColor(Color.BLACK);
        LRenderer.setXLabelsColor(Color.BLACK);
        LRenderer.setYLabelsColor( scale: 0, Color.BLACK);
        LRenderer.setYLabelsAlign(Paint.Align.RIGHT, scale: 0);
        LRenderer.setLabelsTextSize(20);
        // setea los limites, habra que modificarlo apra cada onclick
        LRenderer.setTitle("tiempo (ms)");
        LRenderer.setTitle( title: "value", scale: 0);
        LRenderer.setAxisTitleTextSize(20);
        LRenderer.setLabelsColor(Color.BLACK);
        LRenderer.setAxisMax(400.0);
        LRenderer.setAxisMin(0.0);
        LRenderer.setAxisMax(25.0);
        LRenderer.setAxisMin(-400.0);
        LRenderer.setGridColor(Color.LTGRAY);
        LRenderer.setShowGrid(true);
        LRenderer.setLegendTextSize(20);
        mChartView = ChartFactory.getBarChartView( context: MainActivity.this, LDataset, LRenderer, BarChart.Type.DEFAULT); layout.addView(mChartView);
        mChartView.repaint();
    }
});

```

Figura 30-Código programado en Android Studio, para la representación gráfica de la variable intensidad.

Todas las características de las que se dota a la serie que se representará gráficamente se encuentra englobadas en la variable “renderer”. En el caso particular se ha nombrado LRenderer para la función a representar al pulsar el cuadro de texto que corresponde con la variable de tensión (“BontonU”). En este caso los parámetros más relevantes son los máximos y mínimo de los ejes que sirven para dar una visualización clara de la evolución de los datos. En este caso, al tratarse de voltaje, se decidieron como límites superior e inferior +400 y -400 respectivamente. Así mismo, para que sea más claro ver la evolución de los datos inicialmente solo se representaban los primeros 25 resultados indicando como máximo en el eje X +25.

Estos máximos solo sirven a nivel de la primera imagen, es decir, si estuviera interesado en ver más muestras o acercarte al valor de una muestra particular, el área de visualización permite navegar, como si de una imagen se tratase, arrastrándola, empleando dos dedos para acercar o alejar el tamaño, etc. De forma similar estos parámetros se modificarán para cada variable según el orden de magnitud esperado.

3. FUNCIONAMIENTO DE LA INTERFAZ

Para conectar la interfaz hay que conectar mediante bluetooth el dispositivo de toma de datos de forma habitual. Una vez vinculados los dos dispositivos se entrará en la aplicación. En la imagen a continuación se identifican tres zonas principales: zona de los botones (recuadro azul, zona superior), zona de display (recuadro rojo, zona media) y zona de gráficos (recuadro negro, zona inferior)

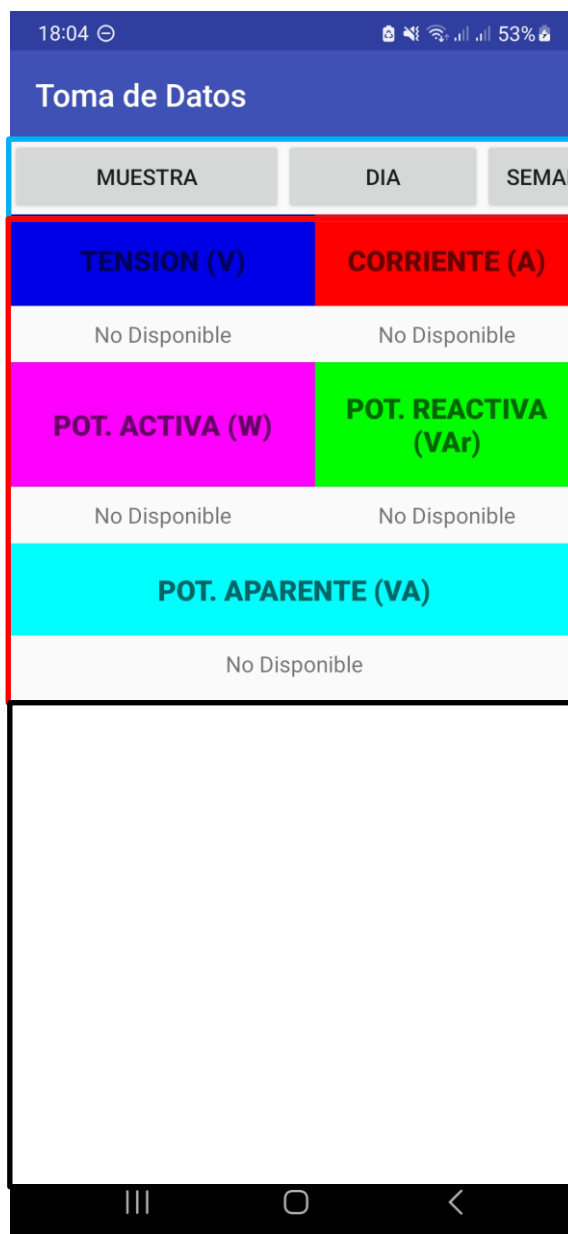


Figura 31 pantalla inicio aplicación interfaz de usuario

En la zona de los botones hay 3 botones:

- Muestra: pide al dispositivo de toma de datos, los datos almacenados en la última muestra. En esta función se enviarán los 100 datos de la última muestra para los valores de tensión, intensidad y potencia activa.

- Día: pide al dispositivo de toma de datos los datos almacenados en el último día. Es decir, las última 24 h almacenadas minuto a minuto, dados para cada dato relevante: tensión, intensidad, potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente.
- Semana: de forma similar al anterior, pero en este caso pide al programa los registros hora a hora de la última semana para todas y cada una de las variables relevantes.

Estos botones serán los encargados de enviar el comando al dispositivo de toma de datos para que devuelva los valores adecuados.

Más abajo se pueden diferenciar dos zonas, una primera zona en la que a modo de *display* se encuentra una serie de botones de colores y espacio para mostrar los números y una segunda zona que, si acabamos de acceder a la aplicación, estará en blanco. Esta zona es la que se empleará para representar gráficamente los valores.

Una vez enviado el comando, se mostrarán datos en los diferentes recuadros dispuestos. Con respecto a los valores mostrados debajo de cada nombre de variables, estos hacen referencia a los valores medios para cada periodo, es decir, si les pedimos el último día, el programa nos enseñará los valores medios de los datos tomados el último día. En la figura a continuación se muestra la pantalla para cuando hemos pedido el último día.



Figura 32-Captura de pantalla para la pedida de datos del último día

Para representar gráficamente una de las variables, lo que se hará será pulsar encima del su nombre. Si queremos ver la representación gráfica de la intensidad pulsaremos encima de la variable intensidad y está se representará adecuadamente en la gráfica. Para identificar intuitivamente las variables se ha coloreado la casilla de la variable y la gráfica de colores similares. A continuación, se muestran las capturas de pantalla de los datos representados gráficamente.

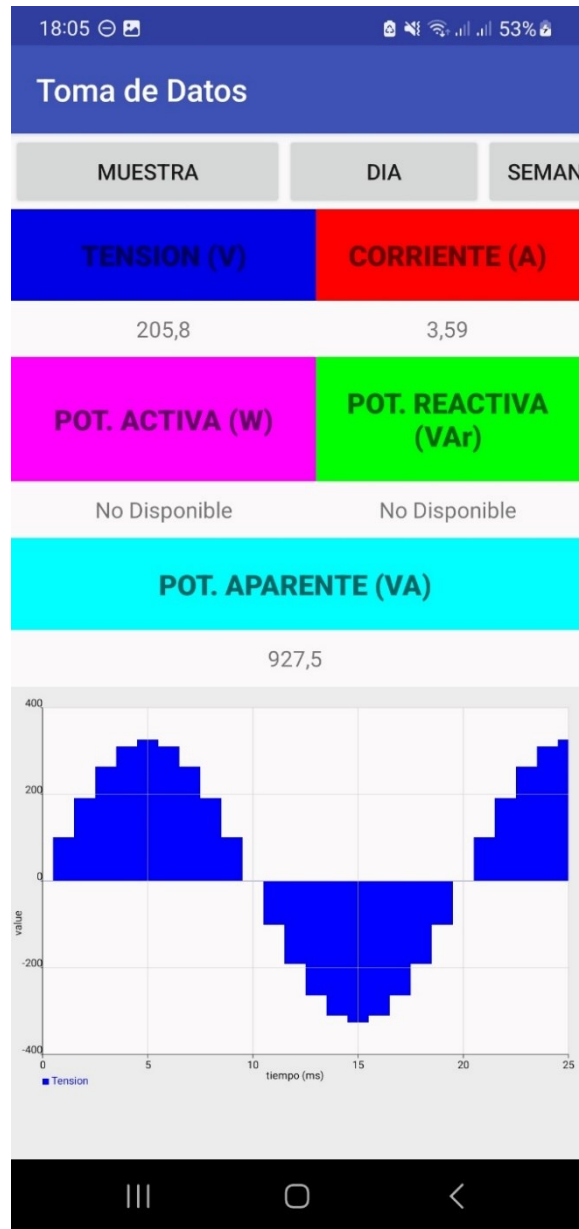


Figura 33-Captura de datos y representación de la variable tensión para la última muestra

Como se puede observar, la pantalla para la última muestra solo dispone de valores para las magnitudes de tensión, intensidad y potencia aparente, ya que son los únicos datos que se pueden representar para todas y cada una de las muestras debido a que el resto de valores derivan de funciones eficaces acotadas para un determinado periodo y no un único punto.

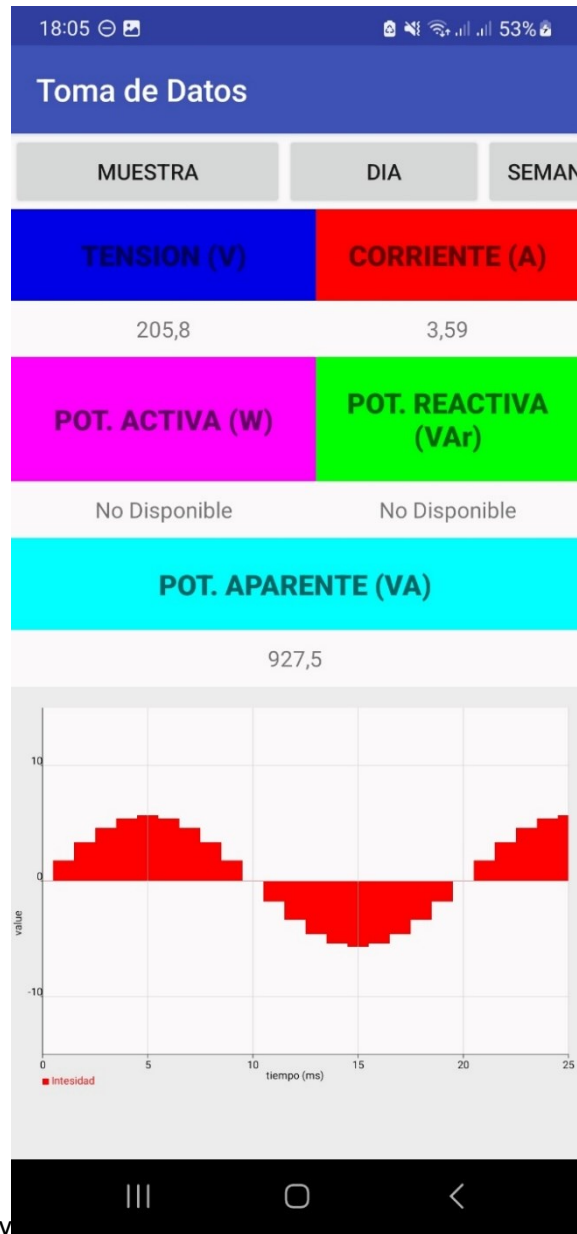


Figura 34-Captura de datos y representación de la variable intensidad para la última muestra

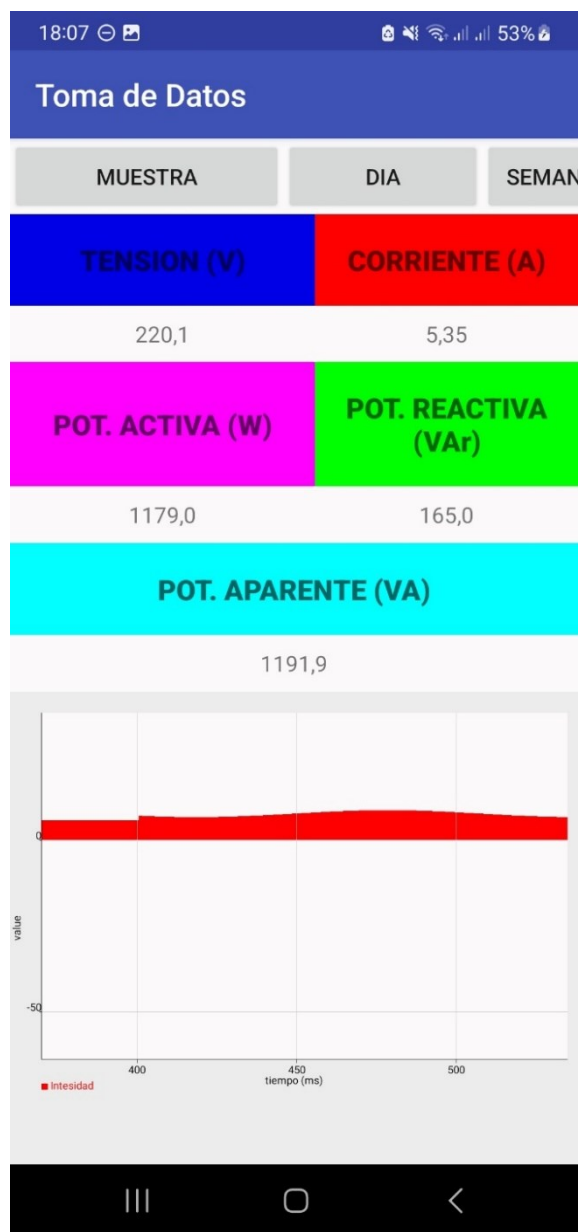


Figura 35-Captura de datos y representación de la variable intensidad para el último día

Para facilitar la lectura e interpretación de los datos, la zona del gráfico inferior se puede desplazar a lo largo de todas las muestras. Esto se hace debido a que, si tuviéramos que conseguir enseñar en pantalla, por ejemplo 1440 muestras, supondría una escala compleja de leer en un dispositivo móvil de bolsillo. No obstante si el usuario quiere verificar un dato en particular también puede ampliarlo.

En la imagen a continuación se ha ampliado el gráfico hasta solo mostrar las muestras 23 a 25 de una pedida de la última semana.

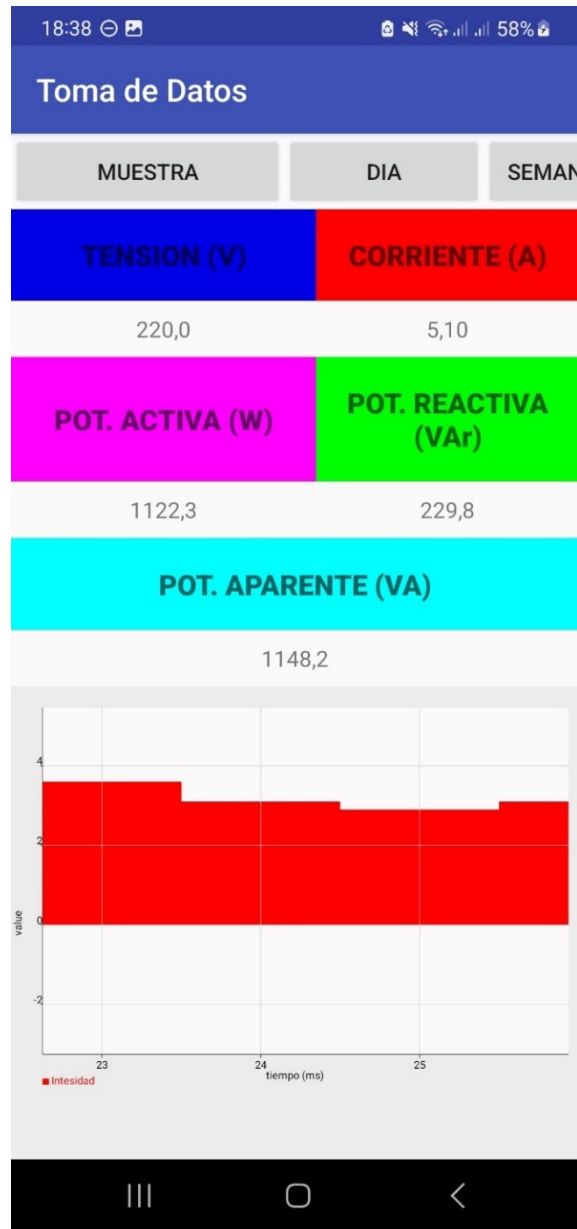


Figura 36-Ampliación de muestras 23 a 25 para una muestra de la última semana de la magnitud Intensidad



Figura 37-Captura de datos y representación de la variable tensión para el último día

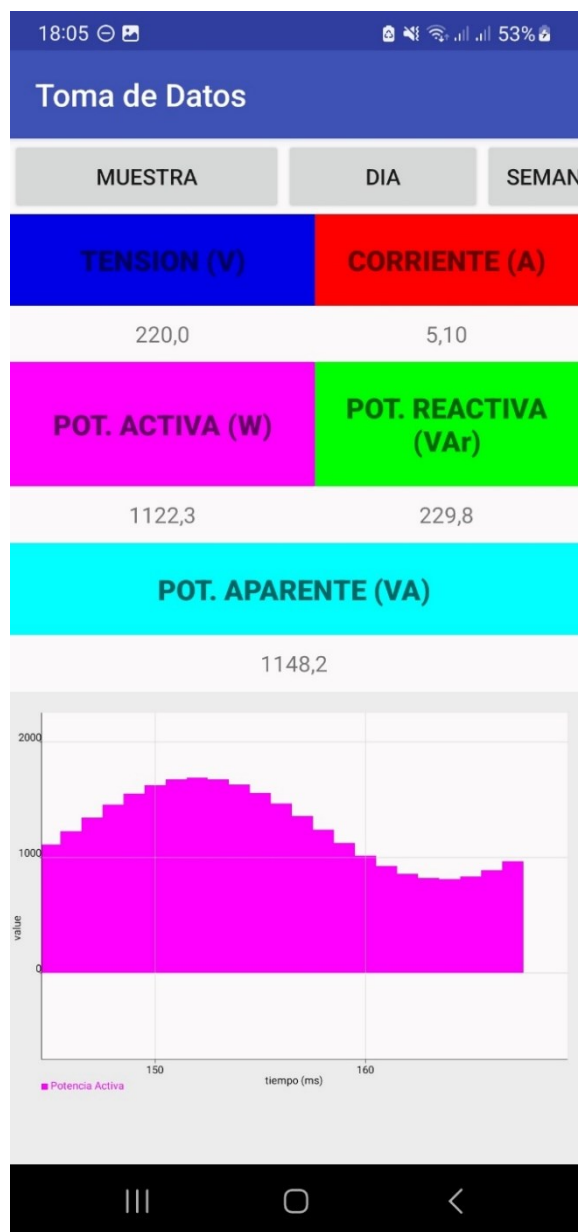


Figura 38-Captura de datos y representación de la variable potencia activa para la última semana

4. OTRAS FUNCIONALIDADES RELEVANTES QUE SE PODRÍA AÑADIR

Una vez definido el programa básico principal, aunque escapa al trabajo ejecutado en el presente proyecto se podría plantear incluir una serie de mejoras o de funcionalidades que podrían ser interesantes para los usuarios finales.

Ampliar las opciones de muestras

En el proyecto nos hemos quedado en obtener las muestras de la última semana como rango de toma de muestras más extenso, no obstante, siguiendo con la filosofía de lo programado se podría ampliar a rangos más extensos como el último mes, el último trimestre, el último año, etc.

En otro sentido también se podría proceder en sentido opuesto, es decir, el tiempo mínimo de muestra que se ha escogido en el proyecto es de una cada minuto y el siguiente salto temporal ya es cada hora. En caso de que se considerara relevantes para su aplicación se podrían usar tiempo de muestra menores como, por ejemplo, una muestra cada 10 segundo o cada 30 segundo. A este respecto habría que tener en cuenta las limitaciones de cantidad de información almacenable.

De mismo modo, se podrían programar tiempo intermedio entre la muestra y las medias relativas. En el proyecto se tiene un salto del minuto a la hora en este espacio de tiempo en caso de ser relevante se podría obtener un procesado similar, por ejemplo, cada 5, 6, 10 o 15 min o cualquier otro régimen temporal relevante.

De esta manera, es una realización más completa de la aplicación se podría incluso dejar a configuración del usuario esto tiempo de prueba ya fuera mediante la selección de los parámetros en un menú o incluso pudiendo realizarlo de manera personalizada. Incluso se podría programar el sistema de manera que el usuario pidiera que se realizara una muestra bajo demanda y que esta fuera realizada y procesada para la toma de datos inmediata.

Otra alternativa sería la posibilidad de realizar una toma de datos en tiempo real que se enviara instantáneamente a la interfaz de usuarios actualizándose según fuera llegando y generado una gráfica en tiempo real de los parámetros del dispositivo.

Finalmente, si resultara interesante, se podría emplear métodos estadísticos de manera que se tomarán una serie de muestras aleatorias, mantenido la frecuencia de muestreo, pero no la frecuencia de toma de muestras, de cara a obtener datos en varios puntos aleatorios de un periodo.

Modificar la muestra base

Asimismo, la muestra base está constituida por 100 tomas de datos de cada parámetro con frecuencia de 0,001 s, cada milisegundo. Esto se realiza por que, aplicando los límites del teorema de Nyquist-Shannon que indican que, la frecuencia de muestreo debe ser mayor a dos veces la frecuencia de la señal a muestrear. Estos valores en la práctica se amplían hasta entre 10 y 20 veces la de la frecuencia base. En nuestro caso la frecuencia de red estará alrededor de los 50 Hz y por tanto supone una frecuencia de 0,02 segundos o 20 milisegundos, por tanto, en nuestro caso se toma, una frecuencia de muestreo de 20 veces la frecuencia base, esto es, un muestreo con frecuencia de 1000 Hz.

En una primera aproximación se podría plantear que el dispositivo se pudiera parametrizar según las necesidades al incorporar en la inicialización una frecuencia seleccionable por el usuario final. Incluso se podría hacer que en una primera conexión el usuario pasara el parámetro de frecuencia de muestreo al dispositivo, manteniendo unos límites viables para el microcontrolador, según sus intereses particulares.

Ampliar la capacidad de almacenamiento de información

Como se ha comentado, una de las principales limitaciones para tener en cuenta respecto al sistema de adquisición de datos propuesto, los dispositivos de toma de muestras y el microcontrolador para gobernar, gestionar almacenar y procesar la toma de muestras, es la memoria "limitada" de la que se dispone. Es decir, en el caso de querer almacenar de manera

fija, incluso mantenido la información sin alimentación, esta no tiene mucho espacio, además de tener que compartirlo con el propio programa del microcontrolador y todo el software necesario para que el microcontrolador funcione.

Arduino es completamente compatibles con el uso de tarjeta SD o microSD y con la conexión mediante USB a otros dispositivos, por tanto, se podría incluir algún dispositivo de almacenamiento de información adicional de manera que los datos se guardaran permanentemente, ya fuera como ficheros, u otro modo que se considerara adecuado para que se pudieran extraer o volcar en otro dispositivo. De esta manera se ganaría en autonomía a la hora de contener información ampliando incluso la cantidad de información a extraer durante la toma de datos.

Otra alternativa que se podría aplicar es emplear la interfaz de usuario y la conexión bluetooth para que uno de los comandos que se pudieran trasladar fueran la del volcado de todos los datos. De esta manera empleando el método habitual, el dispositivo remitiría de forma total o parcial, según resultara relevante, la información al dispositivo móvil y este la podría guardar de forma más permanente generado un archivo que la contuviera, acto seguido se podría reiniciar el equipo de toma de medidas y comenzar con una nueva batería de toma de datos.

Ampliar la capacidad de toma de datos

Nos referimos con esto a que se podría implementar otros sensores, ya fueran sustituyéndolos o sumándolos a los ya presentes con la finalidad de ser capaces de tomar más datos relevantes. Se podría incluir dispositivos o conjunto de dispositivos capaces de medir los armónicos generados en la señal, o medir el calentamiento o su resistencia, por ejemplo.

Si estos dispositivos fueran capaces de traducir la señal de los datos a un voltaje o a una intensidad, se podrían integrar en el sistema realizando adaptado el datos como una variables más y tratándolo en conjunto del resto de variables.

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Una vez realizado el proyecto se debe analizar si se han cumplido los objetivos previstos. Cabe recordar que las necesidades detectadas que debía cumplir el dispositivo, y que recogían los objetivos a cumplir eran:

- Ser capaz de realizar medidas de tensión e intensidad eléctrica como datos base de consumo.
- Tener autonomía a la hora de tomar las medidas tanto a nivel de disponer de una fuente de conexión propia de suministro de energía o algún tipo de baterías como a la hora de realizar las medidas sin que se necesitare la intervención o acceso físico del usuario más allá del momento de la instalación del medidos de consumos.
- Tener una interfaz capaz de representar la información obtenida de forma sencilla y clara para facilitar el análisis y comprensión de la información.
- Poder acceder de forma remota evitando un acceso físico al dispositivo cada vez que se quiera obtener la información almacenada.

1. CAPACIDAD DE REALIZAR MEDIDAS ELÉCTRICA

Con el diseño del dispositivo se pueden realizar medidas de tensión e intensidad empleando dos sensores específicos, uno para cada parámetro. Con estos dos parámetros se pueden obtener todos los datos relevantes respecto a la potencia consumida y, por tanto, al consumo eléctrico.

Además, se han conseguido dispositivos capaces de medir estos parámetros y compatibles con los parámetros de funcionamiento tanto del elementos que procesará los datos de medida como de la aplicación particular del proyecto, ya sea en un entorno doméstico o industrial.

2. AUTONOMÍA DE OPERACIÓN

En este objetivo hay que aplicar dos perspectivas a la hora de evaluar. Por un lado, la autonomía en cuanto a que sea un proceso automático de toma de muestras y procesado de información. Por otro lado, la autonomía en cuanto tiempo de operación sin necesidad de intervención física independientemente del entorno en el que se implemente.

Con respecto a lo primero, mediante el uso de un microcontrolador programado automatizado, se obtiene esta autonomía de la toma de muestras pudiendo tener un proceso de toma de muestras consistente y a prueba de errores humanos. Además, esto se consigue con un bajo coste debido a que un microcontrolador es un equipo suficientemente capaz de realizar todos los procesos y su precio es muy ajustado, permitiendo incluso que los dispositivos puedan ser propiedad del usuario final sin un coste material elevado. De forma similar, el montante total de los sensores y el sistema de toma de muestras es muy ajustado presentando un equipo materialmente muy competitivo. Además, aunque se ha desarrollado una solución particular para el conjunto de dispositivos, la programación y el uso del microcontrolador se puede adaptar según las necesidades y emplear otros sensores con rangos similares que tenga otras características que los hagan mejor alternativa para la aplicación particular.

En el segundo de los casos, el dispositivo se ha ideado para un bajo consumo de energía y, además, que este consumo se realice de manera externa al lugar de conexión. De esta manera no se influye en los parámetros medidos y, además, independientemente de si hay cortes en la alimentación o interrupciones de cualquier tipo el dispositivo sigue activo.

Aunque en esta aplicación particular se ha propuesto el uso de un encapsulado industrial estándar para contener todos los elementos, también se podría realizar un encapsulado ad hoc que además cumpliera con estándares necesarios de IP para proteger la integridad de todo el conjunto dependiendo del lugar de aplicación.

3. INTERFAZ DE USUARIO

La aplicación realizada en el proyecto permite el acceso de los usuarios a los datos obtenidos por el dispositivo de toma de datos y, además, permite mostrar la información de manera intuitiva mediante el uso de gráficas y valores medidos y procesado para un determinado periodo de tiempo.

Aunque la aplicación desarrollada en particular es sencilla abre la puerta a que se puedan implementar muchas funcionalidades adicionales basadas en los datos obtenidos. Por tanto, el uso de una aplicación para smartphone presenta un potencial enorme a la hora de implementar mejoras, incluir nuevos grados de complejidad, etc.

Además, la solución es altamente eficiente en cuanto al coste se refiere dado que no es necesario obtener un equipo particular y específico para tener el acceso a esta interfaz de usuario. Por tanto, también es altamente accesibles y presenta ventajas en cuanto al uso que le pueda dar el usuario final. Esto también permite que obtener la información sea fácilmente integrable en cualquier entorno mediante un dispositivo móvil.

Se ha programado la aplicación de una manera suficientemente sencilla para que un dispositivo medio sea capaz de ejecutarla no teniendo tampoco por qué necesitar dispositivos modernos y caros o la necesidad de comprar dispositivos ad hoc debido al uso del dispositivo de medida y procesado de datos.

4. ACCESO REMOTO

El proyecto realizado permite al usuario tener la capacidad de acceder de manera remota y sin cables a los datos contenidos en el dispositivo de medida y procesado. Este acceso se dota mediante el uso de Bluetooth. Asimismo, al disponer de la tecnología de Bluetooth Low Energy, impide que el acceso remoto consuma menor energía y no afecte la autonomía del dispositivo.

El uso de bluetooth, en lugar de otro tipo de conectividad como puede ser el wifi o una conexión cableada, tiene una doble finalidad. Por un lado, la fácil integración en sistemas incluso en Industria conectada debido a que el ancho de banda de transmisión de bluetooth está preparado para que no interfiera con otras redes de conectividad como puede ser wifi o 5G. Y por otro lado, al necesitar una cierta cercanía física al dispositivo de medida, aunque sin necesidad de accederlo físicamente, también se evita tener que integrar el dispositivo en redes más complejas y, por tanto, no presenta una vulnerabilidad adicional desde el punto de vista de la ciberseguridad.

CAPÍTULO 6: PROGRAMAS INFORMÁTICOS

UTILIZADOS

Los programas que se han empleado son:

- Paquete de programas Microsoft Office 365.
- Software de dibujo de esquemas eléctricos “ProfiCad”
- Compilador Java para aplicaciones de dispositivos móviles “Android Studio” versión Flamingo 2022.2.1 Patch 2”
- Compilador de código para Arduino “Arduino IDE 1.8.19”

CAPITULO7: BIBLIOGRAFÍA

1. RECURSOS EN LÍNEA

Artículos consultados:

- Carmona, J.A. (2021) *Bluetooth y su evolución: estas son las diferencias entre las distintas clases y versiones*. Consultado desde: <https://www.xatakahome.com/curiosidades/bluetooth-su-evolucion-estas-diferencias-distintas-versiones>
- Domínguez, R. (2014). *Galvanómetros: electromecanismos de los instrumentos analógicos*. Fundamentos de Electricidad. Consultado desde: <http://electricidadipl.blogspot.com.es/2014/06/galvanometros-electromecanismos-de-los.html>
- Gómez Oliver, S. (2017). *Curso de programación Android*. Consultado desde: <http://www.sgoliver.net/blog/>
- González de la Rosa, J. J. (2017). *Medidores de Impedancia y parámetros de componentes pasivos*. Instrumentación Electrónica. Universidad de Cádiz. Cádiz, España. Consultado desde: http://www2.uca.es/grup-invest/instrument_electro/ppijgdr/Electronics_Instrum/Electronics_Instrum_Files/temas/T4_med_imp_por.pdf
- Institut Valencià de l'Edificació (2022). *Base de precios del IVE 2022*. Valencia, España. Consultado desde: <http://www.five.es/productos/herramientas-on-line/visualizador-2022/>
- International Energy Agency (2023) Consultado desde: <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=SPAIN&fuel=Energy%20consumption&indicator=Electricity%20consumption%20per%20capita>
- Real Sociedad española de Física. Sección Local de Alicante. Consultado desde: http://rsefalicante.umh.es/TemasElectromagnetismo/Efecto_Hall.pdf
- Sánchez-Oro, A.F. (2022) *¿Puede el Bluetooth y el Wi-Fi tener interferencias entre sí?* Consultado desde: <https://tecnografos.es/2022/07/10/puede-el-bluetooth-y-el-wi-fi-tener-interferencias-entre-si/>
- Sapiensman (2017). *Mediciones eléctricas: sistemas de hierro móvil, de hilo caliente, electrostático. Indicadores de termocupla*. Documentos técnicos. Consultado desde: <http://www.sapiensman.com/tecnoficio/docs/doc12A.php>
- Scidle (2017). *Scidle: Science and technology*. Ingeniería. Consultado desde: <http://scidle.com/es/category/ingenieria/>
- Sibinski, D. (2017). *WiFi and Bluetooth interference – diagnosing and fixing*. <https://www.codejourney.net/wifi-and-bluetooth-interference-diagnosing-and-fixing/>
- Torres, L. (2013). *Sensores de Efecto Hall*. Mediciones e Instrumentación. Departamento de Ingenierías Eléctricas y Electrónica. Universidad del Norte, Centro para la Excelencia

- Docente Universitaria. Colombia. Consultado desde: <https://www.youtube.com/watch?v=ZiUDgFX94pE>
- Teel, J. (2022). *Comparison of Wireless Technologies: Bluetooth, WiFi, BLE, Zigbee, Z-Wave, 6LoWPAN, NFC, WiFi Direct, GSM, LTE, LoRa, NB-IoT, and LTE-M*. Consultado desde: https://predictabledesigns.com/wireless_technologies_bluetooth_wifi_zigbee_gsm_lte_lora_nb-iot_lte-m/
 - Universidad Autónoma de Nuevo León (2017) *Módulo II- Transformadores de instrumentos*. México. Consultado desde: <http://gama.fime.uanl.mx/~omeza/pro/SE/5.pdf>
 - N/A *Bluetooth Low Energy: Un estudio sobre sensores inalámbricos en Internet de las cosas*. Consultado desde (Accedido en 2023): <https://www.electrodaddy.com/bluetooth-low-energy-un-estudio-sobre-sensores-inalambricos-en-internet-de-las-cosas/>

Páginas web de refuerzo:

- Universidad Autónoma de Nuevo León (2023). Publicaciones e la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Consultado desde: <http://gama.fime.uanl.mx/~omeza/pro/SE/5.pdf>
- Espressif. (2023). *Your Complete AIoT Solution Provider*. Consultado desde: <https://www.espressif.com/en/products/devkits>
- Scidle (2017). *Scidle: Science and technology*. Ingeniería. Consultado desde: <http://scidle.com/es/category/ingenieria/>
- Prometec (2023). Tutoriales Arduino. Consultado desde: <https://www.prometec.net/>
- Gómez, S. (2023) Curso de programación Android. Consultado desde: <http://www.sgoliver.net/blog/>
- Geeky Theory (2017). *Geeky Theory*. Open Source. Consultado desde: <https://geekytheory.com/>
- Stack Exchange Inc. (2017). *Stackoverflow*. Estados Unidos. Consultado desde: <https://stackoverflow.com>
- ELT (2023). *BLE*. Consultado desde: <https://www.elt.es/ble-bluetooth-low-energy>

Tiendas Online:

- Amazon (1996-2023). Consultado desde www.amazon.es
- Amidata (2022). *RS Productos*. Madrid, España. Consultado desde <http://es.rs-online.com>
- GT Firmengruppe (2022). *Alttec products*. Nabburg, Alemania. Consultado desde <https://www.alttec.de/en/>
- Mouser electronics (2022). *Products*. Munich, Alemania. Consultado desde <http://www.mouser.com>
- Prometec (2022). Tienda Prometec.net. Consultado desde <https://www.prometec.net/>
- Solectro (2022) Tienda electrónica. Consultado desde: <https://solectroshop.com/es/>

2. LIBROS Y RECURSOS DE TEXTO

- *Lecciones de Física Tomo3*. J.L. Manglano edición 2009.
- *Iniciación a la física, Volumen 2*. Julián Fernández Ferrer y Marcos Pujal Carrera 1992.
- *Máquinas eléctricas*. L. Serrano Iribarnegaray – J. Martínez Román [2ed.] 2013, Editorial Universidad Politécnica Valencia.
- *Análisis y síntesis de redes*. Roldán Porta, Carlos; Molina Palomares, María Pilar; Añó Villalba, Salvador; Álvarez Bel, Carlos María.2003 Editorial Universidad Politécnica de Valencia
- *Tecnología eléctrica*. J. Roger Folch, M. Riera Guasp, C. Roldán Porta ,3 ed. 2010 Editorial Síntesis Ingeniería
- *Apuntes de informática industrial*. R. Ors Carot, A. Martí Campoy, J. García Morán, A. J. Pérez Jiménez y L. Saiz Adalid
- *Temario de Desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles I*. García García y J. A. Gil Gómez.

PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

INTRODUCCIÓN.....	88
1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA Y ADECUACIÓN DE PARÁMETROS	89
2. DESARROLLO DEL HARDWARE	89
3. DESARROLLO DE SOFTWARE:.....	91
4. INTEGRACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS	91
RESUMEN	93

ÍNDICE DE TABLAS DEL PRESUPUESTO

Tabla 8-Presupuesto del proyecto para el capítulo 1	89
Tabla 9-Presupuesto del proyecto para el capítulo 2	90
Tabla 10-Presupuesto del proyecto para el capítulo 3	91
Tabla 11-Presupuesto del proyecto para el capítulo 4	92
Tabla 12-Presupuesto resumen del proyecto	93

INTRODUCCIÓN

A continuación, se detalla el presupuesto correspondiente al desarrollo de un proyecto de las características del descrito. Se ha supuesto que se va a integrar en una pequeña empresa con equipos industriales que trabajan a 220 V de tensión y que está interesada en realizar un seguimiento durante 6 meses de producción de un total de 5 puestos de trabajo (5 puntos de medida).

Se han dividido este presupuesto en 4 capítulos en los cuales se diferenciarán entre la mano de obra y los costes materiales:

- **Análisis del problema y adecuación de parámetros:** Aquí se incluye el proceso de estudio de las condiciones de contorno de la instalación detectando los parámetros principales y planificando los recursos necesarios para completar el proyecto.
- **Desarrollo del hardware:** En este capítulo se incluye la selección diseño, y montajes de los dispositivos desarrollados en cuanto a la parte del hardware se refiere.
- **Desarrollo de Software:** aquí se incluye el desarrollo del software tanto del equipo de toma de datos como de la interfaz de usuario personalizando en su caso la mismas para los dispositivos Android presente en la empresa.
- **Integración y seguimiento de los dispositivos:** En este capítulo se incluyen las tareas de integración de los dispositivos en su lugar de aplicación.

Los costes están reflejados como se transmitiría a un potencial cliente. En este caso, puesto que el mayor valor añadido está en el conocimiento del personal, las horas de personal están con precios que incluirían el beneficio para la empresa implantadora de la solución. Así mismo, como se ha previsto un desarrollo *ad hoc* para el supuesto, los precios materiales se imputan completamente pasando los dispositivos de hardware a propiedad del cliente una vez instalados.

Se ha añadido a cada presupuesto parcial unos valores porcentuales adicionales. Esto es lo que se ha incluido en los porcentajes:

- **Medios auxiliares:** engloba todos aquellos costes no cuantificables de forma directa, como las herramientas necesarias para la realización de cada paso. Se podría incluir, por ejemplo, el coste de los cables de conexión del dispositivo, las herramientas y su amortización, etc.
- **Costes directos complementarios:** costes asociados a los pasos a seguir como pueden ser la electricidad consumida, los desplazamientos requeridos por el proyecto, etc.

1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA Y ADECUACIÓN DE PARÁMETROS

En este apartado se incluye la toma de contacto con el cliente y el estudio particular de las condiciones de contorno del problema. De esta tarea se extraerá la información relevante para realizar un proyecto adecuado a las necesidades del cliente teniendo en cuenta los rangos de medida, las intensidades temporales de la toma de muestras relevantes para el caso particular, la accesibilidad de los puntos, el entorno para un adecuado encapsulado de las soluciones propuestas, etc.

Tabla 8-Presupuesto del proyecto para el capítulo 1

N.º Orden	Descripción	Unidades	Medición	Precio unitario (€/unidad)	Importe (€)
1	ANÁLISIS DEL PROBLEMA Y ADECUACIÓN DE PARÁMETROS				
1.01	Ingeniero industrial	horas	60	50	3.000,00
				TOTAL	3.000,00

2. DESARROLLO DEL HARDWARE

En este apartado se incluyen las tareas de diseño específico del dispositivo en su parte eléctrica, incluyendo la realización de la documentación como son los diagramas de conexión, el manual de usuario, etc.

También se incluye el montaje de los cinco dispositivos indicados realizando las interconexiones entre los diferentes componentes, así como los componentes para materializar cada uno de ellos.

Tabla 9-Presupuesto del proyecto para el capítulo 2

N.º Orden	Descripción	Unidades	Medición	Precio unitario (€/unidad)	Importe (€)
2	DESARROLLO DE HARDWARE.				
2.01	Ingeniero técnico electricidad	Horas	40	40	1.600,00
2.02	Especialista electricidad (Extraído www.five.es,Valencia)	horas	2	18,32	36,64
2.02	LEM LTS 6-NP	Ud.	5	12,18	60,9
2.03	KOA Speer MF 200 KΩ	Ud.	10	0,19	1,90
2.04	KOA Speer MF 1 KΩ	Ud.	10	0,19	1,90
2.05	Block VB 1,5/1/6	Ud.	5	3,69	18,45
2.05	Microcontrolador ESP32 Devkit V1	Ud.	5	7,65	38,25
2.06	Envolvente del conjunto en plástico calidad industrial (dimensiones 150x110x70 mm)	Ud.	5	5,66	28,30
2.07	Conectores hembra de extensión recubiertos Schuko de 4 vías con conector macho	Ud.	5	4,56	22,80
2.08	Cable de alimentación RS Pro, 2,5m, Negro, C13, 10 A a Schuko, 250 V ac	Ud.	5	4,88	24,40
2.09	Medios auxiliares	%	2	-	14,27
2.10	Costes directos complementarios	%	3	-	21,41
TOTAL					1.869,22

3. DESARROLLO DE SOFTWARE:

En este capítulo se incluyen todas las tareas relacionadas con la programación del conjunto, tanto el dispositivo como de la interfaz de usuario. El programa relativo al microcontrolador es más sencillo, y además hacen falta conocimientos de la aplicación definitiva para realizarlo de manera adecuada. Este programa lo realizará un ingeniero industrial dado que cuenta con los conocimientos transversales necesarios.

Tabla 10-Presupuesto del proyecto para el capítulo 3

N.º Orden	Descripción	Unidades	Medición	Precio unitario (€/unidad)	Importe (€)
3	DESARROLLO DE SOFTWARE				
3.01	Ingeniero industrial	horas	50	50	2.500,00
3.02	Programador APP Android Studio	horas	56	50	2.800,00
3.03	Medios auxiliares	%	2	-	42,00
3.04	Costes directos complementarios	%	3	-	63,00
				TOTAL	5.405,00

4. INTEGRACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS

En este capítulo se han contemplado los costes de instalación de los dispositivos en la planta del cliente, así como el seguimiento durante los primeros dos meses para garantizar que se ha instalado correctamente. También se incluye la formación que se dará a los responsables del seguimiento de las medidas en el uso de los dispositivos, así como las funcionalidades de la aplicación. Para la formación y las tareas de seguimiento se empleará a un Ingeniero industrial dado que tiene los conocimientos transversales adecuados para poder identificar los problemas desde cualquier punto de vista del equipo.

También participarán los responsables del diseño de hardware, la programación del dispositivo de toma de datos y el programador de la interfaz de usuario de manera que se integrarán las diferentes partes del sistema y se modificarán y completarán los programas de manera que se adecuen a la finalidad de los mismo.

También participará un especialista en electricidad para realizar las tareas de instalación de los diferentes equipos en la planta del cliente.

Tabla 11-Presupuesto del proyecto para el capítulo 4

N.º Orden	Descripción	Unidades	Medición	Precio unitario (€/unidad)	Importe (€)
4	INTEGRACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS				
4.01	Ingeniero industrial	horas	50	50	2.500,00
4.02	Ingeniero técnico electricidad	Horas	24	40	960,00
4.03	Programador APP Android Studio	horas	12	50	600,00
4.04	Especialista electricidad (Extraído www.five.es,Valencia)	horas	3	18,32	54,96
4.05	Medios auxiliares	%	2	-	23,30
4.06	Costes directos complementarios	%	3	-	34,95
TOTAL					4.173,21

RESUMEN

Una vez detallado el coste de cada una de la tareas principales que integran este presupuesto se procede a realizar un presupuesto resumen del coste por fases asociado a la elaboración de este Trabajo Fin de Máster.

Tabla 12-Presupuesto resumen del proyecto

N.º Orden	Descripción	Importe (€)
1	ANÁLISIS DEL PROBLEMA Y ADECUACIÓN DE PARÁMETROS	3.000,00
2	DESARROLLO DE HARDWARE.	1.869,22
3	DESARROLLO DE SOFTWARE	5.405,00
4	INTEGRACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS	4.173,21
TOTAL		14.447,43

El coste total del desarrollo proyectado asciende a un total de catorce-mil cuatrocientos cuarenta y siete euros con cuarenta y tres céntimos