UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DISEÑO DE SISTEMA SERVIDOR DE MONITORIZACIÓN DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS CON ACCESO A DATOS POR LA NUBE.

AUTOR: FERRAN ROMERO-ORTELLS LABRADA

TUTOR: JAVIER ANDRÉS MARTÍNEZ ROMÁN

Curso Académico: 2016-17

AGRADECIMIENTOS

“A mi tutor

A mis padres

A mi hermana Inka

A mis amigos “

RESUMEN

En el presente documento se recoge 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 la nube basado en Raspberry Pi usando el protocolo MQTT y la implementación de una aplicación Android para demostrar su funcionalidad. Se adjunta también un estudio económico de desarrollo del proyecto así como un estudio de aplicación del mismo a casos reales.

Palabras Clave: Monitorización, control, intensidad, tensión, consumo, equipos eléctricos, MQTT, nube,servidor, IoT.

RESUM

Aquest document recull el disseny i la implementació d'un sistema de presa de mesures de consum d'equips elèctrics de manera remota amb monitorització i accés a dades mitjançant el núvol basat en Raspberry Pi mitjançant el protocol MQTT i la implementació d'una aplicació Android per demostra la seva funcionalitat. S'adjunta també un estudi econòmic del desenvolupament del projecte així com un estudi d'aplicació del mateix a casos reals.

Paraules clau: Monitorització, control, intensitat tensió, consum, màquines elèctriques, MQTT, núvol ,servidor , IoT.

ABSTRACT

This document provides the design and the implementation of an electrical equipment consumption measurement system remotely with cloud-based monitoring and data access using a Raspberry Pi and the MQTT protocol and the subsequent implementation of an Android application to demonstrate its functionality. Attached to it there is also a budget of project development as well as its study of application to real cases.

Keywords: Monitoring, control, current, voltage, consumption, electrical machines, MQTT, cloud-based, server, IoT.

ÍNDICE DEL DOCUMENTO

1. Memoria

2. Presupuesto

3. Anejos (solo en formato electrónico)

ÍNDICE MEMORIA

CAPÍTULO 1: OBJETIVOS 13
CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA 14
2.1 Parámetros a medir y especificaciones básicas 14
2.2 Antecedentes 19
CAPÍTULO 3: EVALUACÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS 24
3.1 Sensores de magnitudes eléctricas 24
3.1.1 Sensores de intensidad 24
3.1.2 Sensores de tensión 29
3.2 Elementos de toma de datos 32
3.3 Elemento de procesado de información 35
3.4 Interfaz de intercambio de datos 38
CAPÍTULO 4: EXPLICACIÓN DEL PROGRAMA 41
4.1 Introducción 41
4.2 Programa principal 42
4.2.1 Muestreo y conversión de datos 42
4.2.2 Procesado y guardado de datos 43
4.2.3 Interfaz de intercambio de información. 45
4.3 Interfaz de usuario 49
CAPÍTULO 5: ESTUDIO DE APLICACIÓN 51
5.1 Caso 1: Convector de aire 51
5.2 Caso 2: Frigorífico 58
5.3 Caso 3: Lavadora 64
5.3.1 Ciclo corto 65
5.3.1 Ciclo largo 67
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES 70
6.1 Interfaz de sensores eléctricos con tarjeta de adquisición de datos industrial 71
6.2 Sistema de captura y procesado de medidas eléctricas basado en equipo de bajo coste 71
6.3 Sistema de gestión de la información procesada en diferentes niveles de detalle y densidad temporal 72
6.4 Interfaz IoT para operación y reporte remoto 72
6.5 Aplicación Android para dispositivos móviles para demostrar funcionalidad del conjunto 73

6.6 Posibles mejoras futuras del sistema 73
CAPÍTULO 7: PROGRAMAS INFORMÁTICOS UTILIZADOS 75
CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA 76
8.1 Recursos Online 76
8.2 Libros y Recursos de Texto 78

ÍNDICE DE FIGURAS DE LA MEMORIA

Figura 1- Representación esquemática del sistema desde el punto de vista de la señal eléctrica. 18
Figura 2-Representación esquemática del sistema desde el punto de vista del flujo de la información. 18
Figura 3- Electrodinamómetro mostrado en: http://electricidadipl.blogspot.com.es/2014/06/galvanometros-electromecanismos-de-los.html. 19
Figura 4-Sistema de hierro móvil mostrado en: http://www.sapiensman.com/tecnoficio/docs/doc12A.php 20
Figura 5 -Representación esquemática del sensor de efecto Hall con sus conexiones. 27
Figura 6 - Representación esquemática del transformador de corriente convencional y sus conexiones. 28
Figura 7 Esquema de flujo de información en proceso de muestreo y conversión de datos 43
Figura 8 -Esquema de flujo de información en el proceso de guardado y procesado de datos. 45
Figura 9-Esquema de funcionamiento del sistema de intercambios de mensajes con el protocolo MQTT. 46
Figura 10- Recorte del *websokect* del servidor en CloudMQTT de datos para ejecución del comando H. 47
Figura 11-Esquema de flujo de información en la parte de envío de información a la interfaz de usuario. 48
Figura 12-Representación de funcionamiento del programa por bloques según funcionalidad. 48
Figura 13-Representación genérica de valores obtenidos con el programa implementado en lenguaje de programación java. 49
Figura 14- Tensión medida en el canal 1 en el muestreo para el caso 1 en posición de 750W.. 52
Figura 15-Tensión medida en el canal 3 durante el muestreo en el caso 1 en posición de 750W. 52
Figura 16-Intensidad medida por el canal 2 durante el muestreo en el caso 1 en posición de 750W. 52
Figura 17-Intensidad medida por el canal 3 durante el muestreo del caso 1 en posición de 750W. 53
Figura 18-Potencia instantánea medida por la pareja 1 de sensores durante el muestreo del caso 1 en posición de 750W. 53
Figura 19-Potencia instantánea medida por la pareja 2 de sensores durante el muestreo del caso 1 en posición de 750W. 53
Figura 20-Tensión medida en el canal 1 durante el muestreo para el caso 1 en posición de 1250W. 54
Figura 21-Tensión medida en el canal 3 durante el muestreo en el caso 1 en posición de 1250W. 54

Figura 22-Intensidad medida por el canal 2 durante el muestreo en el caso 1 en posición de 1250W. 55
Figura 23- Intensidad medida por el canal 4 durante el muestreo en el caso 1 en posición de 1250W. 55
Figura 24-Potencia instantánea medida por la pareja 1 de sensores durante el muestreo en el caso 1 en posición de 1250W. 55
Figura 25- Potencia instantánea medida por la pareja 2 de sensores durante el muestreo en el caso 1 en posición de 1250W. 56
Figura 26-Comparativa de tensiones medias medidas por cada sensor de tensión para todo el tiempo de muestreo. 56
Figura 27-Comparativa de intensidades medias medida por los sensores de intensidad para todo el tiempo de muestreo. 57
Figura 28- Comparativa de potencias aparentes medidas por cada pareja de sensores durante todo el tiempo de muestreo. 57
Figura 29-Comparativa de potencia activa medida por cada pareja de sensores durante todo el periodo de muestreo. 57
Figura 30-Tensión muestreada por el canal 1 durante el muestreo en el caso 2. 59
Figura 31- Tensión muestreada por el canal 3 durante el muestreo en el caso 2. 59
Figura 32-Intensidad media por el canal 2 durante el muestreo en el caso 2. 60
Figura 33-Intensidad medida por el canal 4 durante el muestreo en el caso 2. 60
Figura 34-Potencia instantánea medida por la pareja de sensores 1 durante el muestreo en el caso 2 60
Figura 35-Potencia instantánea medida por la pareja de sensores 2 durante el muestreo en el caso 2 61
Figura 36- Tensión media 1 medida durante el ciclo de trabajo en el caso 2. 62
Figura 37-Intentensidad media 1 medida durante el ciclo de trabajo en el caso 2. 62
Figura 38-Potencia aparente 1 medida durante el ciclo de trabajo en el caso 2. 62
Figura 39-Potencia activa 1 medida durante el ciclo de trabajo en el caso 2. 63
Figura 40- Gráficas de representación de magnitudes medias medidas, tensión, intensidad potencia activa y potencia reactiva a los largo del tiempo de trabajo por horas. 64
Figura 41-Tension media medida por el canal 1 durante el periodo muestreo del caso 3 en ciclo corto. 65
Figura 42-Intensida media medida por el canal 2 durante el periodo muestreo del caso 3 en ciclo corto. 65
Figura 43-Potencia aparente media medida por la pareja de sensores 1 durante el periodo muestreo del caso 3 en ciclo corto. 66
Figura 44-Potencia activa media medida por la pareja de sensores 1 durante el periodo muestreo del caso 3 en ciclo corto. 66
Figura 45-Tension media medida por el canal 1 durante el periodo de muestreo del caso 3 en ciclo largo. 67
Figura 46-Intensidad media medida por el canal 2 durante el periodo de muestreo del caso 3 en ciclo largo. 68
Figura 47-Potencia aparente media medida por la pareja 1 de sensores durante periodo el muestreo del caso 3 en ciclo largo. 68

Figura 48-Potencai activa media medida por la pareja 1 de sensores durante el periodo de muestreo del caso 3 en ciclo largo. 68
Figura 49- Gráficas de representación de magnitudes medidas, tensión, intensidad potencia activa y potencia reactiva a los largo del tiempo de trabajo por minuto. 69
Figura 50-Resultado final. 70
Figura 51-Detalle de localización en el resultado final de la interfaz de sensores y la tajeta de adquisición de datos. 71
Figura 52-Detalle de localización de procesado de datos, gestión de información, e interfaz IoT. 71
Figura 53-Detalle de interfaz IoT para operación y reporte remoto..... 72
Figura 54-Detalle de captura de pantalla de aplicación mostrada en resultado final. 73

ÍNDICE DE TABLAS DE LA MEMORIA

Tabla 1 -Relación de ecuaciones utilizadas en los cálculos. 15
Tabla 2-Parámetros de diseño a tener en cuenta. 18
Tabla 3-Parámetros relevantes del sensor de efecto Hall escogido. 27
Tabla 4-Parámetros relevantes del transformador de corriente escogido. 28
Tabla 5 -Parámetros relevantes de las resistencias escogidas para el divisor resistivo. 30
Tabla 6-Parámetros relevantes del transformador de tensión escogido. 31
Tabla 7-Parámetros relevantes de las resistencias usadas como elementos auxiliares en el circuito de medida 32
Tabla 8-Parámetros relevantes de la tarjeta de adquisición de datos escogida 34
Tabla 9-Parámetros relevantes de la tarjeta de adquisición de datos usada. 35
Tabla 10-Parámetros relevantes del modelo de Raspberry Pi 3 B. 37
Tabla 11-Parámetros relevantes del servidor MQTT implementado. 38
Tabla 12-Leyenda de signos usados en la explicación del programa 41
Tabla 13-Valores de las magnitudes medidas en el periodo 3 de la muestra 67

MEMORIA

CAPÍTULO 1: OBJETIVOS

En los últimos tiempos con la crisis energética y la dependencia energética de combustibles fósiles de algunos sectores, la eficiencia energética y los estudios de consumo de instalaciones han cobrado peso en el mundo profesional.

A raíz de dicha preocupación, ha crecido el número de dispositivos de toma de medida de magnitudes eléctricas así como las posibilidades que estos mismos presentan. El mundo de la eficiencia energética no solo alcanza la industria si no también a toda la sociedad, adquiriendo gran importancia los estudios de eficiencia energética de instalaciones, tanto industriales como domésticas, en busca de mejorar la eficiencia de los equipos instalados y de aumentar la concienciación respecto al consumo energético para reducirlo.

Por otra parte, la nueva normativa de la etiqueta energética de los edificios, tanto domésticos como industriales, ha aumentado la necesidad de investigar nuevas formas de análisis energético.

Finalmente, las nuevas tecnologías y las facilidades que nos supone conectar en red diferentes dispositivos dando acceso a la información de forma remota mediante dispositivos tan cotidianos como son hoy en día los Smartphones y Tablets nos abre un campo nuevo lleno de posibilidades en la medida y control de consumo. En este panorama situamos nuestro proyecto.

A grandes rasgos, las necesidades creadas por los factores anteriores, así como el posible campo de soluciones nos marcan unas directrices a través de las cuales podemos llegar a un dispositivo que cumpla con nuestras expectativas.

Los requerimientos que nos proponemos cumplir con nuestro proyecto son los siguientes:

- Realizar medidas de tensión e intensidad pues son las principales magnitudes eléctricas de una instalación doméstica y la base para elaborar datos de consumo.
- Actuar de forma automática en cuanto a la toma de medidas sin necesidad de requerir intervención del usuario en el dispositivo (más allá de su propia instalación).
- Integrar cómodamente dicho dispositivo en la instalación sin necesidad de un esfuerzo sustancial.
- Monitorizar la medida de datos de una forma sencilla.
- Intercambiar dicha información mediante la red desde cualquier punto de acceso a internet.
- Representar de una forma clara y significativa los resultados obtenidos en la toma de medidas.

CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA

2.1 Parámetros a medir y especificaciones básicas

Al analizar el problema que nos atañe podemos extraer de forma objetiva los parámetros que son de interés a la hora de abordar los objetivos que nos planteamos. A continuación, podemos encontrar los parámetros junto con una breve descripción de los mismos.

Intensidad o corriente eléctrica (I): Se define como la cantidad de cargas eléctricas por unidad de tiempo que circulan a través de una superficie que suele ser la sección del conductor. Se mide en C/s unidad también conocida como Amperio. De las posibles magnitudes es la que varía dentro de un rango mayor. Al hablar de instalaciones domésticas estimamos que su máximo puede estar entorno a los 10-15 amperios correspondientes a unos 3kVA para equipos domésticos. Debemos de diseñar nuestro dispositivo para que pueda soportar dichos valores.

Tensión o diferencia de potencial eléctrico(U): Se define como el trabajo que debe realizar la fuerza eléctrica para trasladar la carga entre dos puntos; sólo podemos cuantificar la diferencia de energía entre dos puntos. La unidad de medida de esta diferencia es J/C, también conocido como Voltio. En nuestra aplicación pocas veces excederá los 230 voltios eficaces (aproximadamente 325 voltios de pico), y las protecciones de las instalaciones en las que estamos midiendo protegerán de sobretensiones todo el sistema. De todas formas, por naturaleza de la instalación estimamos que a lo largo del tiempo será cuasi constante.

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

Estas son las magnitudes básicas necesarias para solucionar nuestro problema, el resto son composición de la mismas. Cabe destacar que nos interesa el comportamiento en régimen permanente así que se despreciarán los transitorios y sus fenómenos asociados. Por otra parte al estar midiendo fenómenos en corriente alterna todas las magnitudes son de naturaleza sinusoidal de frecuencia de red. A continuación, se definirá de forma descriptiva las magnitudes que queremos obtener de nuestro proceso de muestreo explicado también la obtención de forma analítica de las mismas.

Potencia aparente (S): En régimen permanente la definimos como el producto de la tensión y la corriente eficaz. El concepto de eficaz lo explicamos más adelante. Esta potencia la podemos descomponer en la potencia activa y reactiva, explicadas a continuación, siendo la potencia aparente la raíz de la suma de los cuadrados de éstas.

Potencia activa (P): En régimen permanente esta magnitud representa la energía que realmente estamos tomando de la red para producir un efecto sobre el exterior (calor o trabajo mayormente en nuestro campo de aplicación). Se calcula como la media de la potencia instantánea durante un periodo.

Potencia reactiva (Q): En régimen permanente esta magnitud está relacionada con la cantidad de energía que empleamos en crear campo magnético y eléctrico. Se calcula como la parte compleja de la potencia aparente compleja.

En la práctica, para la medida de las magnitudes anteriores se debe incluir un concepto más que es el valor eficaz de una función. Esto se debe a la naturaleza alterna y simétrica de nuestras magnitudes a lo largo de su periodo. Si quisiéramos medir el valor medio de una onda

sinusoidal nos daría cero, por lo que solemos usar el concepto valor eficaz, también conocido como el valor cuadrático medio de la función.

Bien, en nuestro campo de aplicación, la medida que tomamos tiene valor instantáneo para cada cierto instante de tiempo, que denotaremos como *t*, a lo largo de un periodo *T*. Esto nos indica que podemos usarlas para medir la potencia P instantánea consumida por multiplicación directa de los valores obtenidos. Por otra parte, para poder llegar a la potencia aparente S debemos hacer uso del concepto antes explicado de valor eficaz, siendo éste el producto de los valores eficaces de la tensión y corriente medidas. En la siguiente tabla se indica cómo se han realizado los cálculos:

Tabla 1 -Relación de ecuaciones utilizadas en los cálculos.

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

Nótese que los valores eficaces arriba enunciados se calculan a lo largo de un periodo y como media cuadrática de los valores instantáneos a lo largo de éste. También debemos decir que *i* es un valor entero y *Td/Δt* es el cociente entre el periodo de cálculo (*Td*) y la separación entre dos muestras (Δt) y coincide con el número de muestras que toma nuestro dispositivo cada vez que se lo ordenamos. Por último, *i* denota el número de muestra dentro del mismo periodo. Nótese también que hemos puesto las ecuaciones de función matemática de forma genérica para cualquier instante de tiempo *t* y periodo de muestreo *T*. En el caso de las funciones matemáticas *T* es la duración de la toma de muestras. Todas las variables denotadas con el subíndice *D* implican que tiene origen discreto. En todos los casos se entiende que *T* o *Td* son un múltiplo entero del periodo de la tensión de red, 20ms.

Antes hemos nombrado la frecuencia, ahora vamos a ahondar en su importancia. La frecuencia la tenemos como variable interna del sistema, en nuestro caso podemos diferenciar dos frecuencias diferentes: la frecuencia de la señal y la frecuencia de muestreo.

Frecuencia de la señal: Depende de la señal medida; en nuestro caso es la frecuencia de red. Del mismo modo, esta depende de la red a la que estemos conectados (geográficamente hablando) destacando que para Europa, y en particular para España, es de 50Hz con variaciones muy pequeñas.

Frecuencia de muestreo: Es el periodo de repetición que usamos para la toma de muestras. Si nos fijamos en la inversa de la misma vemos que es el tiempo real que ocurre entre muestra y muestra o paso de muestreo. Su función es informar de cada cuando mediremos la evolución del sistema en instantes de tiempo discretos.

La frecuencia de muestreo es una magnitud que está directamente relacionada con la frecuencia que tiene la señal a muestrear. Siguiendo el Teorema de Nyquist-Shannon vemos que para que nuestras muestras sean representativas tenemos que tomar una frecuencia de muestreo de, al menos, el doble de la frecuencia máxima de la señal. Este valor relativo se amplía en la práctica hasta entre 10 y 20 veces la frecuencia máxima de la señal. En nuestro caso hemos elegido 1250Hz que representa un valor 25 veces superior a la frecuencia fundamental de la señal, lo que permite obtener información relevante y adecuada, en la práctica, hasta el armónico séptimo de tensión y corriente.

Por otra parte también hemos definido el número de muestras cada vez que medimos en 100 a fin de poder representar exactamente cuatro periodos de la señal original en nuestra muestra, reduciendo así el efecto de posibles variaciones de un periodo a otro. Esta frecuencia nos indica que nuestro sistema al menos deberá de poder tomar una cantidad de muestras equivalentes a 1250 muestras por segundo y entrada de medida (canal). Dichas muestras deberán poder ser interpretadas por el dispositivo de procesamiento haciendo falta un elemento intermedio entre el mundo analógico y digital.

Hasta aquí hemos definido los parámetros eléctricos propios del problema a lo que nos faltaría añadir las capacidades adicionales relacionadas con la funcionalidad del proyecto; es decir, más allá de la toma de muestras y el procesado de información haría falta definir las facilidades y utilidades que queremos dar al usuario para el uso de nuestro sistema.

En ese sentido, el estudio del consumo de una instalación en su uso normal es un problema que se extiende con el tiempo. Los ciclos completos de uso de una instalación pueden venir dados por periodos de tiempo muy extensos; una instalación normal puede sufrir variaciones de carga de acuerdo con ciclos completos de 12 horas, 24 horas o incluso periodos superiores. Fijémonos por ejemplo en el estudio de una instalación doméstica de una casa. Teniendo esto en mente podemos pensar que los inquilinos no van a tener las luces encendidas todo un día, solo las tendrán cuando lo crean necesario, al igual que no todos los días se pone la lavadora. Si intentamos ver el problema con un poco de perspectiva incluso estacionalmente no se tienen conectados los mismo elementos el mismo tiempo; por ejemplo en verano conectamos más los ventiladores o vemos como las neveras están más tiempo en funcionamiento mientras que en invierno optamos más por tener encendidos los calefactores y, debido a que se reducen las horas de luz natural, usamos más las luces artificiales (eléctricas).

Todos estos elementos presentan tipos diferentes de cargas; por ejemplo, el compresor de la nevera viene accionado por un motor eléctrico que tiene una componente importante de potencia reactiva mientras que los calefactores los podríamos considerar cargas resistivas puras. Por otra parte la iluminación depende del tipo de tecnología que se usa, entre otras cosas. También cabe decir que los ciclos de consumo varían: en los motores, por ejemplo, hay un pico de intensidad así como en ciertas tecnologías de iluminación al ponerlos en marcha o en una lavadora los ciclos son más complicados por ser sucesión de varios apagados y encendidos de diversos elementos de diferente naturaleza, etc.

Entonces si presentáramos un sistema en el cual tuviéramos que activar manualmente cada toma de muestras sería casi imposible. Si presentáramos una solución en la cual una persona tuviera que estar tomando muestras ésta presentaría un interés más bien escaso. Con ello concluimos, por una parte, que nuestro sistema debería ser automático.

Además, por simplicidad y comodidad estaríamos hablando de un sistema suficientemente compacto como para que no afectara negativamente a la vida cotidiana de los usuarios, con lo cual requerirá un transporte e implantación fáciles en el entorno de trabajo. El sistema, pues, debería ser compatible con múltiples entornos de trabajo similares y de naturaleza reutilizable lo cual implica que las conexiones externas deben de poderse desmontar de forma sencilla sin poner en riesgo su integridad. También deberíamos asegurar la seguridad de los usuarios procurando una protección adecuada de contactos directos con los componentes conectados a la red.

Por otra parte, y por el interés a medio largo plazo de estudio debemos de contar con suficiente memoria de almacenamiento de datos para poder guardar los valores acumulados. Dichos valores serían los que aseguren que el estudio es representativo. Hemos considerado que estos serán, a lo largo de un determinado periodo de tiempo:

- Valores mínimo, máximo y medio de las magnitudes de tensión e intensidad eléctricas.
- Valores medios de potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente.

Vemos que necesitamos tener cierta capacidad de almacenamiento de datos así como una cierta disposición de los mismos de forma fácil. Si, por ejemplo, tuviéramos que desmontar nuestro dispositivo cada vez que quisiéramos acceder a la información sería un proceso tedioso y que entorpecería las propias tareas de medida. Una buena solución a este problema sería hacer el dispositivo accesible desde un servidor remoto.

Si desarrollamos esta idea, el ser capaces de proporcionar a los usuarios una interfaz sencilla de acceso a los datos dotaría de gran interés nuestra solución con respecto a los usuarios que estuvieran familiarizados con las magnitudes descritas. Con esto estamos hablando de que dicha interfaz debería ser un dispositivo fácil de encontrar como puede ser un dispositivo móvil o un ordenador personal.

Recapitulando, las necesidades que nuestro sistema son su capacidad de medir las magnitudes eléctricas de tensión e intensidad, durante un periodo de tiempo predefinido, así como someterlas a un cierto procesado; del mismo modo, debería ser capaz de almacenar la información obtenida y facilitar su acceso de una manera remota ya fuera con un dispositivo móvil o un ordenador personal, finalmente debería ser de dimensiones reducidas disminuyendo el máximo posible las alteraciones del uso de la red en el que estuviera implantado y aumentado la facilidad de instalación

Para facilitar la búsqueda de los componentes del sistema, los podemos convertir en especificaciones, que resumimos en la siguiente tabla:

Tabla 2-Parámetros de diseño a tener en cuenta.

Parámetro	Valor	Unidades
Intensidad nominal máxima a medir	15	A
Tensión nominal máxima a medir	230	V
Muestras por segundo	5000	Muestras/s
Capacidad de conexión externa	Acceso a internet, bluetooth, USB…	-
Potencia consumida por el dispositivo	< 5%	% máxima

Teniendo en cuenta los parámetros anteriores podemos esquematizar el sistema que queremos plantear:

- Flujo eléctrico

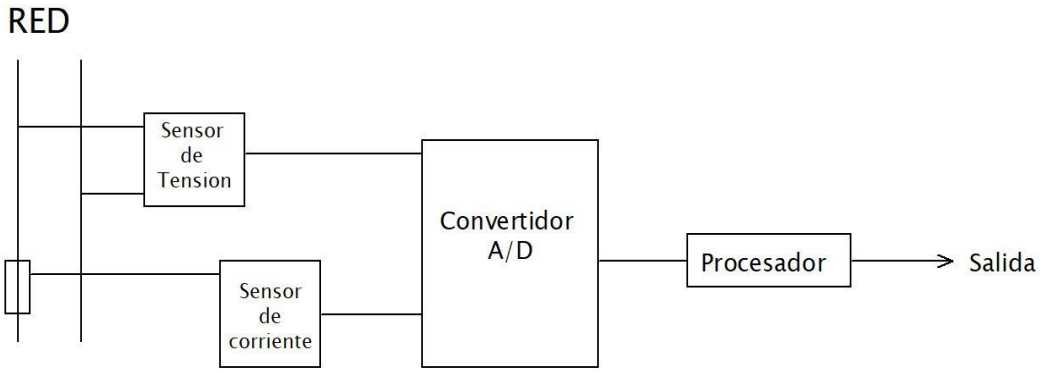


Figura 1- Representación esquemática del sistema desde el punto de vista de la señal eléctrica.

- Flujo de la información:

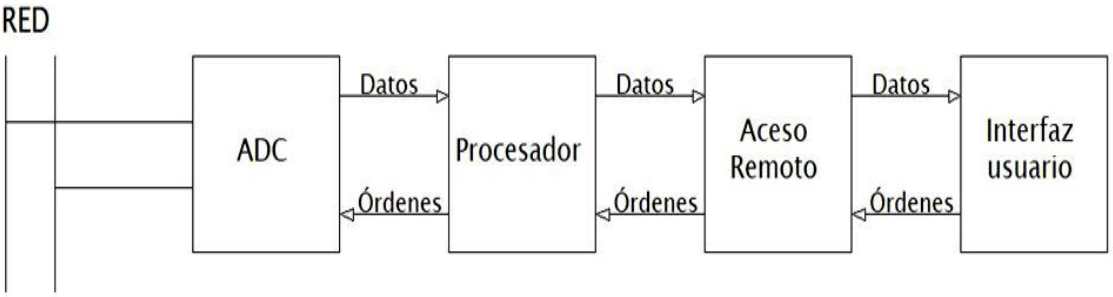


Figura 2-Representación esquemática del sistema desde el punto de vista del flujo de la información.

2.2 Antecedentes

En el campo de la toma de medidas de parámetros eléctricos, los aparatos de medida necesarios han ido evolucionando conforme el campo de la electricidad y la electrónica se han desarrollado. Vamos a analizar los aparatos de de medidas o transductores desde su origen centrándonos en las magnitudes a medir y principalmente en los aparatos que nos permiten medir tensión e intensidad eléctrica. Del mismo modo, nos fijaremos en los aparatos adecuados para medir la frecuencia de nuestra señal (50 Hz), por lo que no se profundizará en aquellos que estén habilitados para medir a altas frecuencias por la carencia de interés que tiene para nuestra aplicación.

El primer instrumento con capacidad de medida de parámetros eléctricos fue el galvanómetro. El origen de este aparato se basa en la desviación que se provocaba sobre una brújula al hacer pasar corriente eléctrica con un alambre. La descripción de este fenómeno fue publicada en 1820 por Hans C. Oersted físico y químico danés (El descubrimiento de Oertsed, 5 de Octubre 2006 Extraído de http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/elecmagnet/campo/CONCEPTO.htm). Este mecanismo ayudo a Ohm a desarrollar la más que conocida y usada Ley que lleva su nombre (Galvanómetro, extraído Junio 2017, de https://www.ecured.cu/Galvanómetro).

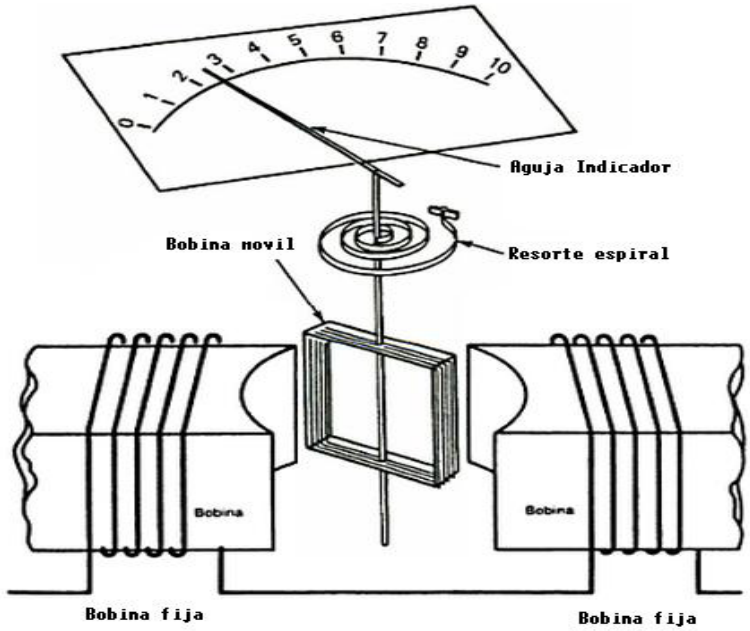


Figura 3- Electrodinamómetro mostrado en: http://electricidadipl.blogspot.com.es/2014/06/galvanometros-electromecanismos-de-los.html

El concepto de galvanómetro fue definitivamente implementado de forma fiable con el diseño que años más tarde hizo el físico francés Jacques Arsen d'Arsoval en 1882. El galvanómetro propuesto por d'Arsoval está basado en un sistema de bobina móvil e imán permanente. El principio de funcionamiento de este equipo se basa en la interacción entre una corriente y un campo magnético.

A nivel constructivo, se sitúa la bobina móvil rodeada por el imán permanente. A esta bobina se le acopla una aguja indicadora y una escala gráfica en la cual podremos medir la deflexión que será proporcional a la intensidad que recorre la bobina móvil. Dicha deflexión viene dada

por la fuerza electromagnética creada por la intensidad que se opone a la fuerza de un resorte. La forma comercial de construcción de estos sistemas se atribuye a Edward Weston (Galvanómetro, extraído Junio 2017, de https://www.ecured.cu/Galvanómetro).

Algunas aplicaciones constructivas implementadas en este tipo de medidores son el uso de un electroimán alimentado con una bobina fija para crear el campo magnético y el uso de elementos mecánicos para equilibrar la aguja y minimizar rozamientos que nos distorsionen la medida. En la figura 4 se ve un esquema de un medidor básico con algunas mejoras comentadas implementadas. El dispositivo de la figura también es conocido como electrodinamómetro.

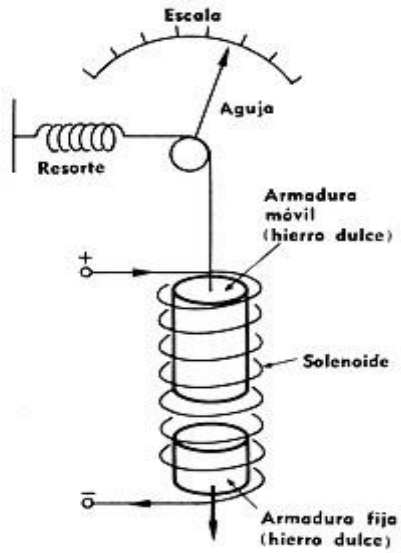


Figura 4-Sistema de hierro móvil mostrado en: http://www.sapiensman.com/tecnoficio/docs/doc12A.php

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.

En los medidores d'Arsoval de imanes permanentes la exactitud viene dada principalmente por el sistema mecánico que acompaña a la aguja para suspenderla en el imán permanente, por ejemplo, un sistema que usa es el de suspensión sobre una cinta metálica tensa, muy frágil en cuanto a nivel constructivo; estos tipos de galvanómetros nos suelen dar una gran sensibilidad por la falta de fuerzas que se oponen al movimiento. Hay otros sistemas que se usan como uno muy similar al que se emplea en relojería, este recibe el nombre de sistema de joyas y pivotes. Esta forma de apoyo tiene más rozamientos y por tanto más fuerzas que se oponen al desplazamiento y menor sensibilidad en consecuencia.

Algunos de los sistemas de medida basados en el Principio d'Arsoval son los amperímetros y voltímetros electrodinámicos. Los amperímetros en equipos electrónicos habitualmente se implementan con resistencias en paralelo o *shunt* para limitar la corriente proporcionada al medidor siendo la magnitud medida realmente un valor proporcional a la intensidad en la línea. Por otra parte, los voltímetros se implementan con resistencias en serie para

implementar un divisor resistivo (concepto explicado más adelante) de modo que limita la corriente proporcional a la caída de tensión de la resistencia a medir.

Como se ha podido notar, los medidores d'Arsoval están pensados para medir una señal continua, dado que si le aplicáramos una señal alterna estaría oscilando continuamente sin aportar un valor que nos fuera representativo. Cualquier circuito con medidor d'Arsoval que quiera medir una seña alterna debe de implementarse con un rectificador antes del propio medidor convirtiendo así dicha señal alterna en una señal continua de magnitud equivalente.

Una variación de medidores d'Arsoval que también se usa y evita la dependencia del sentido de la corriente a la hora de la deflexión de la aguja son los medidores de hierro móvil. En la figura anterior se muestra un esquema de montaje para su comprensión. Este tipo de medidores se basa en la atracción y repulsión de un núcleo partido imantado (piezas de hierro dulce de la figura). Una de las dos partes de mantiene fija, la otra es móvil y se conecta con un resorte que marcará la posición cero de la escala de medida. Según la dirección de la corriente se creará una fuerza de repulsión o atracción entre las dos partes del núcleo creando en consecuencia un desplazamiento proporcional. Con este sistema de montaje podemos hacer aplicaciones para corriente alterna sin necesidad de rectificadores

Una vez planteado el elemento básico de medida comentemos los principales instrumentos derivados: los amperímetros, los voltímetros y los convertidores analógicos digitales. Los amperímetros son instrumentos dedicados a medir las magnitudes de intensidad de corriente en un circuito. Para realizar este tipo de medidas se pueden usar diversos sistemas:

- Los amperímetros analógicos galvanométricos construidos con el Principio de d'Arsoval, ya mencionados antes. Estos instrumentos aún se usan hoy en día con diferentes variaciones tecnológicas constructivas.
- Los amperímetros analógicos electromagnéticos o de imán móvil. Están basados en el mismo sistema de d'Arsoval pero esta vez siguiendo el principio de hierro móvil explicado anteriormente.
- Los amperímetros analógicos electrodinámicos, basados en el montaje de dos bobinas. De estas dos bobinas una la dejamos fija y la otra la dejamos móvil. Ambas bobinas son recorridas por una intensidad proporcional a la de la intensidad a medir. Esto se debe a que la intensidad circulando por un conductor crea un campo magnético y este, a su vez, puede crear una corriente inducida en otros elementos. La relación entre los campos de de las bobinas móvil y fija provoca un par torsor al sistema móvil que hace que tenga una deflexión proporcional a la corriente, esta deflexión está compensada como en los galvanómetros por un resorte. Este sistema se puede usar independientemente en corriente alterna o en continua debido a la naturaleza de los campos magnéticos.

Hasta aquí podemos ver todos los amperímetros que usan fenómenos físicos para cuantificar la magnitud de corriente.

Los voltímetros son muy similares en cuanto a la toma de medidas, al menos los que se basan en características físicas. Es más, los amperímetros antes mencionados son fácilmente transformables en voltímetros si seguimos el procedimiento explicado en los galvanómetros

con la salvedad del formado por dos bobinas dado que la medida depende directamente de los campos magnéticos formados a partir de una intensidad.

Si aunamos los conceptos antes explicados en un mismo dispositivo podemos describir el funcionamiento de un vatímetro. Como bien indica su nombre, mide la potencia suministrada a una carga. Esta medida la hace mediante unas bobinas fijas llamadas de corriente o también llamadas bobinas amperimétricas y una bobina móvil o de tensión llamada también bobina voltimétrica. Las fijas se conectan en serie con la carga, mientras que la móvil se conecta en paralelo a la carga a medir. En las bobinas fijas se hace pasar una corriente que genera un campo magnético que es proporcional a la potencia disipada. Por regla general, a la bobina móvil se le conecta una resistencia grande para minimizar la corriente inducida en la misma. El resultado de esta forma de conexión es que la deflexión de las aguja es proporcional tanto a la corriente como al voltaje de la siguiente manera $U * I$ lo cual es igual a la fórmula postulada por Ohm de la potencia disipada. En los circuitos de corriente continua el valor aportado sería igual al que tendríamos si multiplicáramos la medida de un voltímetro y un amperímetro. Si la corriente es alterna los valores dados son los productos de la tensión e intensidad instantáneas para un determinado instante de tiempo.

El siguiente paso con respecto a la toma de medidas vino de la mano de la electrónica con los convertidores analógico digitales en su implementación como voltímetros o amperímetros. Este tipo de sistemas se basan en transformar la medida a voltajes pues dicho tipo de transformación es relativamente sencillo. En el caso más simplificado, si hacemos recorrer una corriente o una corriente proporcional por una resistencia conocida ya tenderemos dicha intensidad convertida en una caída de tensión mientras que los voltajes ya son medibles directamente o con el uso de circuitos que hacen una transformación proporcional (por ejemplo, divisores resistivos explicados más adelante). Después, dichos voltajes llegan al convertidor analógico/digital que transforma la señal en un número binario interpretable por una máquina que, mediante un decodificador binario-binario decimal nos representa el valor medido en un *display* de forma interpretable para el usuario. Estos equipos son útiles tanto para corrientes alternas como continuas.

Con la capacidad de integración de estos circuitos de toma de datos se llegó a la implementación de multímetros. Estos aparatos son equipos compactos que pueden usarse como diversos equipos de medida. Habitualmente, los multímetros comerciales cuentan con elementos capaces de medir tanto la tensión como la intensidad tanto en alterna como en continua e incluso cuentan a menudo con un ohmímetro para medir la resistencia de un elemento. No hemos profundizado en los ohmímetros porque, como antes hemos mencionado, las magnitudes que nos interesan son la tensión y la intensidad.

Con la electrónica y la fácil integración mediante elementos capaces de procesar y guardar datos como microprocesadores o computadores los equipos han avanzado en la dirección de equipos capaces de tomar gran cantidad de muestras y almacenar las mismas para un análisis posterior.

Uno de los equipos más potentes y modernos que se ha desarrollado en el campo de toma de medida de la electricidad son los llamados *Analizadores de redes*. Estos analizadores de redes son complejos equipos electrónicos que nos permiten medir los parámetros característicos de una red o circuito determinado. También nos permiten almacenar esa información en

memorias internas (del mismo aparato) o externas. Entre muchos otros parámetros se incluyen intensidad tensión y potencia consumida.

Los que se desarrollaron inicialmente son los llamados analizadores escalares de redes o SNA (por sus siglas en inglés) que son capaces de medir magnitudes de los parámetros; son más rápidos que otros tipos de analizadores y son más sencillos que otros equipos de este campo. Otro tipo son los analizadores vectoriales de energía o VNA (por sus siglas en ingles). Estos equipos, a pesar de ser más lentos a la hora de tomar medida, sí que nos aportan información de las fases de los parámetros. Por último, existen otros tipos de analizadores de redes como el analizador de energía por microondas o el analizador de redes de señales grandes .No se va a profundizar mucho en estos aparatos.

Existen versiones compactas de analizadores de redes que se pueden integrar en un circuito. Estos equipos suelen incluir una pantalla en la que muestran la información, pero suelen carecer de capacidad de enviar dicha información al exterior.

Como podemos ver claramente los equipos de toma de medidas han avanzado hacia la dirección del procesado de señales digitales y toma muestras de las mismas. Esto se debe a que podemos obtener mucha información en el postprocesado de la muestras. Este suele realizarse con ordenadores o microcontroladores con la capacidad necesaria para realizar los cálculos pertinentes. Por otra parte, cabe destacar que en el mercado de equipos de medida siguen conviviendo diversas tecnología según la aplicación que necesitemos darle.

También vemos que los equipos de toma de medidas han avanzado en complejidad. Esto implica un incremento de precios. Se debe decir que en el mercado actual conforme crece la complejidad, el precio también lo hace; estos dispositivos van añadiendo funcionalidades que pueden resultar interesantes. Entre dichas funcionalidades se destaca la capacidad de transmisión de datos aunque suele ir acompañado de una conexión normalmente cableada que no siempre resulta sencilla.

Una vez vista la evolución a lo largo del tiempo de la tecnología de nuestro ámbito pasemos al análisis de tecnologías que realmente nos resultarían útiles para nuestro ámbito de aplicación.

CAPÍTULO 3: EVALUACÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

3.1 Sensores de magnitudes eléctricas

Una vez definidas las magnitudes anteriores, cabe aclarar las prestaciones que deben de cumplir los dispositivos que se encargan de tales medidas. Estas necesitan cumplir lo siguiente:

- Poca interferencia con la instalación eléctrica en la que esté integrado.
- Bajo consumo en potencia a la hora de tomar medida.
- Capacidad de tomar medidas en los rangos de funcionamiento definidos.
- Fácil integración con la red eléctrica.

3.1.1 Sensores de intensidad

Empecemos por los sensores de intensidad. En su campo de aplicación podemos observar como coexisten diferentes sistemas, equipos y tecnologías para la toma de medidas de la magnitud eléctrica de la intensidad. A continuación destacaremos los sistemas más relevantes para nuestro campo de aplicación, así como los principios de funcionamiento de los mismos.

Podemos diferenciar dos grandes grupos según el cómo realicemos la medida:

- Medida directa: Este tipo de medidas están basadas en la Ley de Ohm. Para realizar estas medidas lo que hacemos es medir la caída de tensión asociada a una intensidad pasando por una resistencia conocida.
- Medida indirecta: Basados en la medida de la caída de tensión de una corriente creada por un campo magnético debido a la circulación de corriente por un conductor.

3.1.1.1 Sensores de intensidad directos

Para medir de esta manera la intensidad lo que haríamos sería medir la diferencia de tensión entre el punto anterior de una impedancia conocida y el punto posterior de la misma para, mediante la Ley de Ohm, hallar la intensidad que pasa por ese punto. Si queremos saber con exactitud dicha intensidad haría falta conocer de antemano la impedancia equivalente del circuito en el que se está midiendo. Para nuestro campo de aplicación este tipo de sensores queda en desuso dado que presentaría un problema tanto energético como operativo.

Como hemos comentado, antes que nada deberíamos conocer la impedancia equivalente del circuito. Aquí ya podemos darnos cuenta del problema dado que el conocer con exactitud dicho valor, si se trata del de todo el circuito, es imposible de forma genérica y sería útil solo en un montaje de laboratorios donde los parámetros del circuito se conocen.

Otro problema es el derivado del hecho de no situarse en el ámbito de la corriente alterna, en cuyo caso nos podrían proporcionar datos incorrectos de las magnitudes obtenidas dado el posible carácter inductivo o capacitivo del circuito y sus componentes complejas que no son medibles con un aparato convencional. Existe la alternativa de introducir una pequeña resistencia conocida en serie con el circuito a medir y midiendo la diferencia de potencial entre sus terminales y, a partir de la resistencia conocida calcular la intensidad. El valor de la resistencia a insertar en el circuito a medir debería se pequeño, mucho menor que la impedancia de dicho circuito, pero no tanto como para que la tensión en bornes fuera

demasiado baja y dificultara su medida al requerirse amplificación y eliminación del ruido. Este compromiso en la selección de la resistencia origina el segundo factor negativo de método.

Así, por otra parte, deberíamos tener en cuenta el problema de disipación de energía en la resistencia. Siguiendo ese sistema haríamos que toda la corriente del circuito principal recorriera dicha resistencia. En el ámbito de aplicación industrial estas corrientes pueden llegar al orden de decenas de amperios. También tenemos que decir que un orden adecuado de voltaje estaría situado alrededor de un valor *U* para evitar los problemas de amplificación y ruido mencionados por lo que siguiendo la Ley de Ohm tendríamos:

$$S = U \cdot I \qquad (9)$$

Entonces deberíamos de estrechar el campo de aplicación de este sistema de sensado a corrientes a ser posible de pequeño calibre.

3.1.1.2 Sensores de intensidad indirectos

Para hacer la medida mediante este método se nos plantean varias alternativas para sensar el campo magnético asociado a la corriente que pasa por un conductor. La más sencilla es mediante el uso de magnetómetros. Hay muchos tipos diferentes de magnetómetros, pero los que conciernen para este trabajo son los de carácter inductivo que nos ayudan a medir el campo magnético transformándolo en una diferencia de voltaje.

El principio de funcionamiento se basa es en la Ley de la inducción de Faraday donde se demuestra cómo se puede cuantificar la fuerza electromotriz a partir de las variaciones de flujo magnético (asociadas, por ejemplo, a una campo creado por una corriente circulando por un conductor). Es de interés para nuestro sensado dado que esta fuerza electromotriz se traduce en una diferencia de voltaje cuantificable proporcional al origen que lo genera de acuerdo a la Ley de Ampere de acuerdo con *Lecciones de Física 3* (J.L. Manglano, ed. UPV 2009). Por su naturaleza de funcionamiento, este tipo de sensores no hace falta que los alimentemos para que funcionen pues las corrientes que los recorren se inducen por el campo magnético.

Este carácter inductivo lleva consigo alguna desventaja. En el problema que nos atañe que es la toma de muestras de consumo (después de la transformación) y por tanto, la magnitud a medir potencia es composición, eléctricamente hablando, del producto de la intensidad y la tensión para un instante dado. Con esto, quiero decir que cabe destacar la suma importancia de tomar medida de la intensidad y de la tensión en el mismo instante de tiempo para conocer realmente la magnitud real. Dicha naturaleza inductiva nos incluye un desfase, desacuerdo con *Lecciones de Física 3* (J.L. Manglano, ed. UPV 2009), en la toma de medidas, lo que cuando se quieren saber las medidas simultaneas.

Faltaría cuantificar dicho desfase y ver si es asumible para la exactitud que queremos en nuestro proyecto. Este problema está tecnológicamente resuelto con los transformadores de medida de corriente en el campo de la tecnología eléctrica con corrientes del orden de amperios y superiores a frecuencia industrial. Sin embargo, conforme aumenta el contenido de

armónicos de la corriente, como sucede con los consumos de tipo electrónico, el error aumenta considerablemente, limitando su campo de aplicación.

Otra tecnología interesante es la de los sensores basados en efecto Hall. Este nombre hace referencia al fenómeno que ocurre cuando circula corriente por un conductor sometido a un campo magnético perpendicular al movimiento de las cargas del dicho conductor, lo que se debe a la fuerza de Lorentz sobre las cargas debidas a dicho campo magnético. El fenómeno es medible y proporcional, según lo explicado en *Iniciación a la física, Volumen 2* (Julián Fernández Ferrer y Marcos Pujal Carrera, 1992), cosa que lo dota de interés a la hora de usarlo para el campo de la instrumentación.

Las ventajas de este tipo de sensores radican en su fácil aplicabilidad, aunque también deberíamos de destacar la naturaleza no invasiva de este tipo de sensores y, por tanto, su fácil integración para la medida del circuito sin apenas influencia sobre el mismo. Debido a la anterior independencia del circuito principal cabe decir que en ambos tipos de sensores podemos diferencia un circuito secundario completamente aislado del principal. Dicho circuito trabaja con magnitudes bastante inferiores con respecto al circuito principal. En estos circuitos de instrumentación trabajamos con tensiones de alimentación de 5 o 10 voltios para voltajes domésticos (≈230 V); en circuitos industriales de media y la alta tensión son algo superiores, alrededor de 20 V. Esta tensión de alimentación lleva asociada una potencia consumida muy inferior a la mencionada en la medida directa de magnitudes. Su mayor complejidad lleva asociado un precio normalmente superior al de un transformador de medida de corriente de similares características además de que sólo existen en el mercado para niveles de aislamiento de hasta unos pocos KV, lo que limita su aplicación a sistemas de baja tensión (el de interés del proyecto) o la parte baja del rango de medida de tensión.

A parte de estas ventajas, debemos decir que las corrientes resultantes de la transformación son del orden de miliamperios un orden más que suficiente para la segura manipulación del circuito y su fácil accesibilidad para reparaciones y ajustes. Esto también implica que los elementos del circuito secundario están menos expuestos a esfuerzos electrotérmicos y electrodinámicos así que, en principio, las exigencias con respecto a los materiales serán menores. Esto implica menor coste y más tiempo de servicio.

Tras evaluar todos los puntos llegamos a la conclusión de que el tipo de sensor idóneo seria un sensor de medida indirecta. Por otra parte destaca notablemente dentro de su campo el sensor de efecto Hall dadas todas sus ventajas y mínimas desventajas. De todas formas, como hemos dicho, deberíamos cuantificar si el desfase aportado por el sensor inductivo antes mencionado es asumible o no. También podríamos suponer el montaje de dicho sistema, con lo cual, y al tratarse nuestro dispositivo de un prototipo hemos propuesto un montaje de ambos sistemas para el posterior descarte del que no nos interese.

Al elegir entre los modelos que hay en el mercado para llevar a la realidad nuestro montaje hemos visto que, en lo que se refiere al sensor de efecto Hall, un modelo comercial que cumple nuestros parámetros de diseño es el que hemos montado en nuestro dispositivo, el LTS 6-NP de LEM. Sus características principales son:

Tabla 3-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±(0.625·I_p/I_{PN})[1] (10) I_p=0 0	V
Sensibilidad	104.16	mV/A
Tensión de alimentación (±5%)	5	V
Ancho de banda	0-200	kHz

[1] I_p: Intensidad circulando por el primario.

El esquema de representación del mismo con respecto a sus conexiones seria:

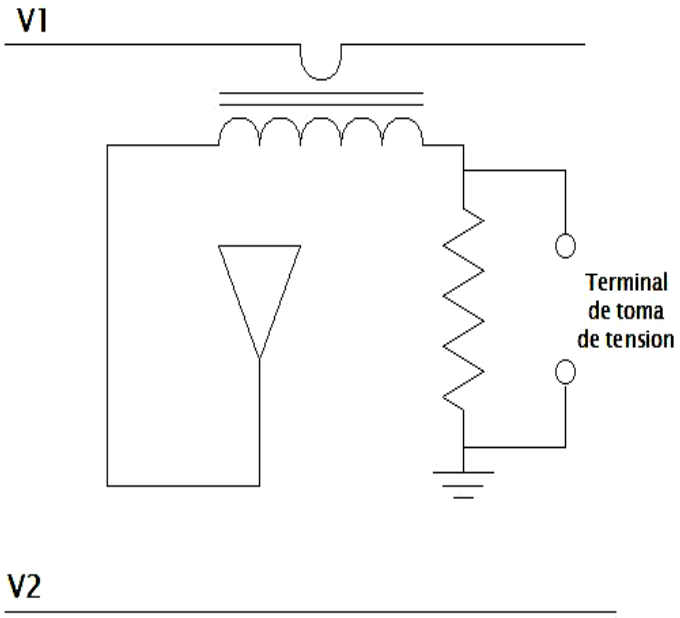


Figura 5 -Representación esquemática del sensor de efecto Hall con sus conexiones.

Para hacer uso del sensor de efecto Hall hace falta alimentarlo. En nuestro caso el sensor escogido requiere estar alimentado a 5 voltios. Para esta finalidad hemos escogido la fuente de alimentación de bajo consumo TMP 4105 de Traco Power.

Tabla 4-Parametros relevantes de la fuente de alimentación.

Parámetro	Valor	Unidades
Tensión de salida	5	V
Potencia	4	W

Respecto al transformador de corriente convencional un modelo que cumple nuestros parámetros de diseño, montado junto con el sensor de efecto Hall en nuestro equipo es el L01-6211 de Alttec. Sus características principales son:

Tabla 5-Parámetros relevantes del transformador de corriente escogido.

Parámetro	Valor	Unidades
Intensidad nominal del primario	10	A
Relación primario secundario	1000:1	V
Ancho de banda	50-60	Hz

El esquema de representación del mismo con sus conexiones serie el siguiente:

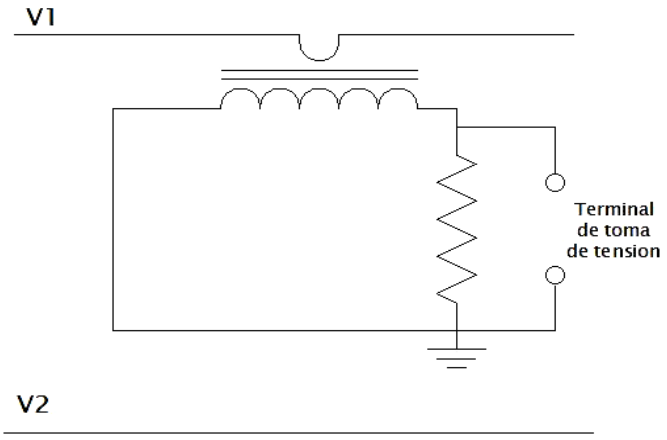


Figura 6 - Representación esquemática del transformador de corriente convencional y sus conexiones.

3.1.2 Sensores de tensión

En este campo de medida solo contamos con la existencia de sensores no invasivos por la naturaleza diferencial de la misma, de modo que el campo de elección se nos simplifica notablemente. En este caso los principales métodos que podemos utilizar son los transformadores de tensión y los divisores resistivos.

Hablemos primero del los transformadores de tensión. Este punto es muy similar al explicado en los transformadores de corriente dado que el principio de funcionamiento es muy similar salvo que esta vez en lugar de medir la corriente causada por dicha inducción medimos la fuerza electromotriz pues es la magnitud de interés en este momento. Los problemas asociados también son los mismos: el desfase de la toma de datos con respecto otro tipo de sistemas. También haría falta cuantificar y saber si dicho desfase nos podría resultar asumible o no. Finalmente debemos destacar que este tipo de dispositivos son muy económicos y pese a sus problemas, en general muestran buenas prestaciones con respecto al resto de características como el consumo de potencia, disipación de calor, etc.

Por otra parte podemos nombrar a los sensores basados en divisores resistivos. Estos se fundamentan en la utilización de una red de resistencias de valor conocido y calculado y la toma de muestras en un punto intermedio. Dicha muestra es proporcional a la tensión del circuito principal en función de las resistencias que conforman el divisor resistivo.

Para conseguir una medida precisa en corriente alterna en cualquier momento debemos de tener en cuenta que dicho divisor resistivo debe ser simétrico, es decir, igual en ambas líneas. Esto se debe a que ambas líneas, Fase y Neutro, pueden ser conductoras dependiendo de las conexiones que tengamos en la entrada. Del mismo modo debemos tener en cuenta que el valor óhmico equivalente del circuito de medida debe ser muy superior al del circuito principal, así minimizamos la influencia del circuito de medida en el consumo principal. Otra ventaja de hacer que sea un valor óhmico muy superior es que minimiza la corriente consumida y, por tanto, la potencia asociada a dicha corriente y al circuito de medida.

Se puede demostrar que la ley de proporcionalidad que sigue el circuito presentado es la siguiente:

$$V_0 = V_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \rightarrow V_0 = k * V_1 \qquad (11)$$

De esta manera podemos incluso controlar a nuestra voluntad el rango de conversión para compatibilizar con los elementos de toma de datos también podemos controlar la potencia consumida por el mismo circuito. Un divisor resistivo puede usarse como elemento intermedio dado su muy bajo precio y casi nula influencia en la muestra, salvo la proporcionalidad lineal. La principal desventaja es la falta de aislamiento entre el circuito principal y el circuito de medida, lo que no supone un problema significativo en el campo de la baja tensión.

En la elección de qué tipo de dispositivo montar en nuestro prototipo ocurre lo mismo que con los sensores de intensidad, es decir, nos faltaría cuantificar si el desfase aportado por el transformador de tensión es asumible o, incluso, si es asumible la combinación de ambos

desfases a la hora de calcular la potencia (de intensidad y tensión, respectivamente). A parte de la posibilidad anterior proponemos, por todos los puntos a favor, el montaje de un divisor resistivo; más adelante con el estudio exhaustivo veremos cuál de los dos sensores nos resulta más interesante.

Al analizar las posibilidades como nos hemos decantada por dos medidores diferentes a continuación pondremos sus parámetros más representativos. A la hora de montar el sensor de tensión con el divisor resistivo hemos elegido unas resistencias con buena fiabilidad y poca desviación en fabricación. Estas han sido las resistencias de KOA Speer resistencias axiales de serie MF.

Tabla 6 -Parámetros relevantes de las resistencias escogidas para el divisor resistivo.

Parámetro	**Valor**	**Unidades**
Resistencia	R1: 220 R2: 1	kΩ
Disipación de potencia	0.25	W
Tolerancia	±1	%

El circuito montado con las conexiones sería el siguiente:

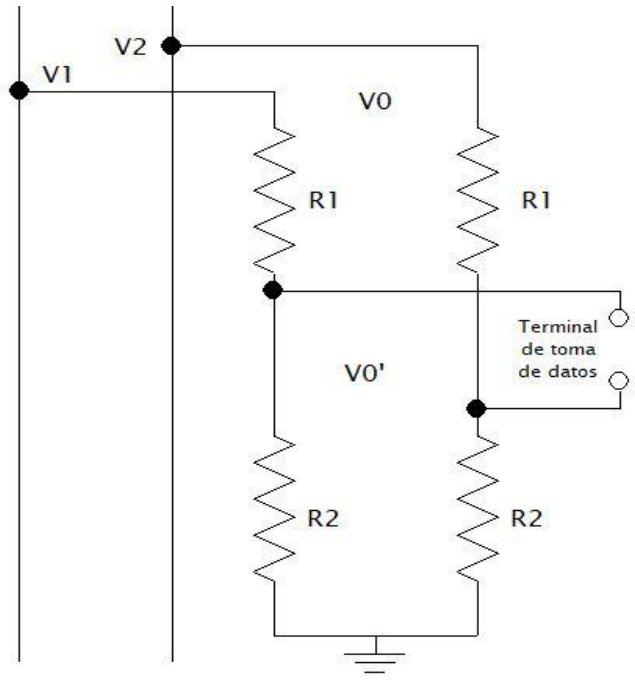


Figura 7- Representación esquemática del un divisor resistivo genérico para corriente alterna

Manteniendo la notación de las resistencias enunciadas en la tabla anterior en este circuito vemos que la formula sería la siguiente:

$$V_0' = V_0 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \rightarrow V_0{}' = k \cdot V_0 \qquad (12)$$

Dónde aplicando números con V_0 230V:

$$k = 4.525 \cdot 10^{-3} \rightarrow V_0^{'} = 1\ V$$

Por otra, a la hora de elegir el sensor de tensión basado en un transformador hemos elegido el transformador de fuente de alimentación VB 1,5/1/6 del fabricante Block.

Tabla 7-Parámetros relevantes del transformador de tensión escogido.

Parámetro	Valor	Unidad
Tensión en el primarios	230	V
Tensión máxima en el secundario	6	V
Ancho de banda	50-60	Hz

El esquema del montaje con sus conexiones sería el siguiente:

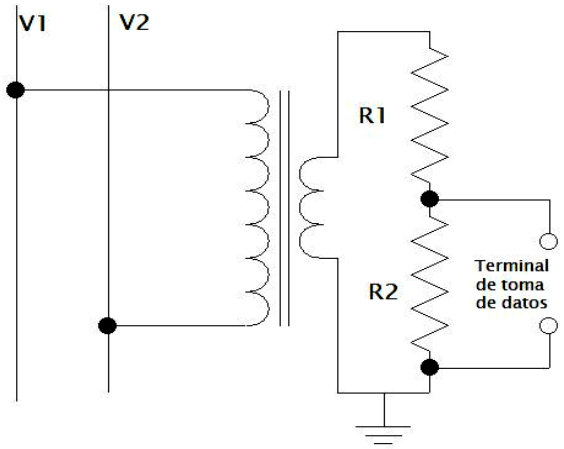


Figura 8- Representación esquemática genérica de un transformador de tensión con divisor resistivo en el circuito de medida

Nótese que en el circuito se ha montado un divisor resistivo para que el rango de tensión sea menor; esto se hace porque tal vez el rango de conversión es muy alto para el rango de los sistemas siguientes. En este caso hemos montados la siguientes resistencias de KOA Speer resistencias axiales de serie MF.

Tabla 8-Parámetros relevantes de las resistencias usadas como elementos auxiliares en el circuito de medida.

Parámetro	Valor	Unidades
Resistencia	R1: 1000 R2: 220	Ω
Disipación de potencia	0.25	W
Tolerancia	±1	%

Con estas resistencias, actuando de forma análoga al divisor resistivo antes calculado logramos una tensión a la salida de aproximadamente 1’1V.

3.2 Elementos de toma de datos

Otro de los elementos fundamentales de nuestro proyecto de sensado es el que se encarga de tomar la muestra y procesarlo en un valor interpretable para nuestro sistema. Principalmente los elementos que se encargan de hacer dicha conversión son convertidores analógico/digital. Estos elementos se encargan de transformar las señales analógicas (eléctricas en nuestro caso) en un valor en bits que un sistema de procesado de datos pueda entender. Dependiendo de la cantidad de bits que pueda procesar el convertidor y la tensión de alimentación tendremos mayor o menor exactitud.

Sus prestaciones deben ser:

- Capacidad de conversión dentro de los rangos de entrada.
- Resolución suficiente para que nos sea de interés.
- Velocidad de conversión suficiente con respecto a las muestras.

La problemática de estos elementos es que para procesar la información de modo secuencial hacen falta sistemas de apoyo para almacenado de muestra mientras estas se procesan dado que la conversión, pese a ser rápida, no es instantánea. Hoy en día la mayoría de ADC *(analogic-digital converter)* constan de un sistema integrado de toma de muestras y almacenamientos mientras se convierten, conocidos como *Sample and Hold* (muestreo y retención) lo cual nos quita el problema del almacenamiento externo mientras se ejecuta la conversión.

Otro punto que debemos concretar es la necesidad de tener un ADC para cada señal a muestrear si las queremos procesar y tomar al mismo tiempo, dado que un ADC solo puede acondicionar una sola señal a la vez. Otra alternativa seria la de contar de un dispositivo de

muestreo y retención y un único convertidor analógico que mediante el circuito pertinente de multiplexado distribuyera las conversiones de cada una de las señales en un orden conocido.

Otro parámetro que deberemos tener en cuenta para escoger nuestro convertidor es que tenga la resolución adecuada para los datos, este parámetro es dependiente del rango de valores de entrada en nuestro dispositivo. Grosso modo, lo que hace el convertidor es como una regla de cuantificación. Esta regla tiene más divisiones cuantos más bits de resolución tenga el convertidor (2^n-1, dónde *n* es el número de bits) siendo este valor también representativo del error de cuantificación de toma de datos. Por otra parte el origen y final de la regla viene dado por la diferencia entre el voltaje de referencia (origen) y el voltaje de escala completa (*Full Scale*) el cual es deseable hacer coincidir con el máximo de la magnitud a medir o acercarlo al máximo posible siempre sin sobrepasarlo. Sabiendo que solo miden voltajes tendríamos que idear un sistema intermedio de transformación de intensidades en voltajes lo cual es muy sencillo si usamos los transductores previamente descritos: transformador de corriente tradicional o de efecto hall.

Por otra parte, cabe destacar que las dimensiones de estos sistemas son reducidas potenciando así la capacidad de integración. Este tipo de convertidores son una buena opción a fin de acondicionar señales para almacenamiento digital o postprocesadores de datos, pero tiene una limitación importante que es la especificidad que tienen los mismos de trabajar solo a un rango de voltaje definido que ofrece poca flexibilidad.

Otro factor a tener en consideración es el bajo coste económico de este tipo de equipos. Así mismo, son equipos de uso muy frecuente en electrónica y hay una gran oferta extensamente probada y comprobada lo cual nos aporta fiabilidad en la posibilidad de usar este tipo de equipos.

Al ser este tipo de dispositivos componentes electrónicos haría falta diseñar una protección adecuada de riesgos mecánicos, ambientales y eléctricos a la hora de montarlos. Por ejemplo, haría falta plantear un envolvente de protección y un aislamiento de vibraciones y humedad, por nombrar algunos de los factores importantes a prever.

Por último, deberíamos mencionar la necesidad de una etapa de acondicionamiento previo de la señal antes de pasar por el convertidor. Esto se debe a que en cualquier señal puede existir ruido eléctrico, armónicos u otros elementos de la señal que haga que nuestro convertidor no tome bien los valores reales. Conviene decir que haría falta un circuito o algún elemento adicional para controlar las medidas y mantener la frecuencia de toma de datos que requerimos. Se necesitaría, por tanto, una programación con un microcontrolador o una CPU, de los cuales hablaremos más adelante. Con esto vemos que la simplicidad planteada, en principio, desaparece y la complejidad de utilizar este dispositivo crece.

Yendo un poco más allá, encontramos los dispositivos llamados tarjetas de adquisición de datos que son circuitos electrónicos integrados con múltiples canales de entrada salida y diversas funcionalidades según modelo. Estos circuitos electrónicos poseen todos los componentes necesarios para, mediante software, ordenar la toma de datos. Generalmente, incorporan varios canales de entrada y varios rangos de medida. La única problemática asociada a este tipo de dispositivos es que tienen la capacidad de medir solo tensiones y no intensidades pues sería necesario añadir en nuestro sistema un punto intermedio de conversión de intensidades en tensiones.

Estas tarjetas de adquisición de datos son bastante más cara que los componentes que conforman los dispositivos mencionados con anterioridad, pero usarlas es más sencillo. Son dispositivos usados industrialmente en la toma de datos, por tanto, podemos suponer que son fiables y de gran robustez testada en entornos poco favorables. También se presentan en el mercado gran variedad de configuraciones.

Aunque son más caras, las prestaciones adicionales, como las salidas y las entradas digitales y analógicas de algunos modelos, nos permitirían una futura ampliación de utilidades como la conexión o la desconexión de otros elementos para mantener un cierto consumo o la implementación con otros dispositivos de control asociados. Por otra parte, al ser dispositivos ideados para entornos industriales cuentan con protecciones más que suficientes contra la corrosión, el desgaste mecánico, los golpes, las vibraciones, etc.

Una vez expuestos los puntos a favor y en contra de diversas formas de medida, eligiendo la sencillez y el buen comportamiento en los posibles entornos de aplicación hemos decidido que el dispositivo idóneo para nuestra aplicación es el uso de una tarjeta de adquisición de datos. Como antes hemos elegido instalar cuatro dispositivos, al menos necesitaremos que tenga cuatro canales analógicos de entrada. Además, si queremos tomar muestras simultaneas en todos los canales nos hará falta que sea capaz de tomar 5000 muestras por segundo. Habitualmente como los catálogos estan en ingles los fabricantes denotan este parámetros como S/s (*Samples per second*) o múltiplos del mismo. Nosotros los denotaremos de la misma manera que en los catálogos.

También deberemos ver que los rangos de entrada de los canales son compatibles con los de los sensores de no ser el caso, podríamos recurrir a un divisor resistivo con la salida de los sensores, siempre y cuando la señal de los sensores sobrepasara el rango de los canales. En caso contrario deberíamos recurrir a amplificadores operacionales, dispositivos del campo de la electrónica, los cual añadiría un grado más de complejidad al montaje y podría inducir a más errores y mayor consumo de energía.

Finalmente el mejor método de conexión seria el USB. Esto se debe a que a mayoría de dispositivos de postprocesado se pueden conectar mediante un bus de datos USB de forma sencilla. Al recurrir a las webs comerciales de fabricantes hemos concluido que un modelo que nos resulta de interés y que cumple con nuestros parámetros sería el USB-201 de MC . Destacamos las siguientes características:

Tabla 9-Parámetros relevantes de la tarjeta de adquisición de datos USB-201.

Parámetros	**Valor**	**Unidades**
Canales de entrada	8	-
Tasa de muestreo (para cuatro canales)	25	kS/s·canal
Rango de tensión de entrada	10	V
Resolución	12	bits

Este modelo cuenta con conexión USB, y nos sería suficiente para nuestra aplicación. A la hora de implementarlo hemos decidido usar otro modelo de este equipo de adquisición de datos ya disponible en el laboratorio del Departamento de Ingeniería Eléctrica que cumple, sobradamente, con las características requeridas. El modelo es BTH-1208-LS de MC.

Tabla 10-Parámetros relevantes de la tarjeta de adquisición de datos usada.

Parámetros	Valor	Unidades
Canales de entrada (modo diferencial)	4	-
Tasa de muestreo máximo total	47	KS/s
Rango de tensión de entrada, seleccionables	±20,±10,±5,±4,±2.5,±2,±1.25,±1	V
Resolución(modo diferencial)	12	bits

3.3 Elemento de procesado de información

Empecemos por definir que características hace falta que cumpla nuestro sistema de procesado de datos. En nuestro campo de aplicación requerimos que nuestro sistema sea capaz de:

- Tomar muestras de forma automatizada durante largos periodos de tiempo.
- Almacenar datos de forma suficiente para tener un registro amplio de nuestras muestras.
- Procesar datos tomados con velocidad suficiente para nuestro periodo de muestreo.
- Tener capacidad de integración de la herramienta de procesado con el resto de elementos de nuestro sistema de una forma suficientemente compacta.
- Valer un precio razonable para las prestaciones cubiertas por el elemento de procesado.

Una vez claros los objetivos que tiene que cumplir, veamos que dispositivos relevantes recoge el mercado. Los dispositivos ideados para dicha finalidades que han resultados más relevantes han sido: el microcontrolador y los ordenadores personales.

Los microcontroladores son sistemas integrados por una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria y puertos de entrada y salida. La CPU o microprocesador es una placa de circuito impreso que permite realizar operaciones lógicas abriendo y cerrando el paso a señales de corriente mediante estructuras que forman puertas lógicas. Las unidades de memoria permiten almacenar información y los puertos de entrada y salida permiten la entrada y salida de señales de corriente.

Estos microcontroladores requieren un programa o conjunto de instrucciones para realizar una tarea específica, es decir haría falta un conjunto de instrucciones para cada tarea a realizar. También debemos destacar que estos microcontroladores son programables lo cual facilita al

usuario realizar un conjunto de instrucciones específicas y controladas por el mismo mediante la escritura de programas.

Los microcontroladores suelen ser de pequeño tamaño lo cual facilita la integración con otros sistemas .Éste también nos ayuda a limitar el consumo en potencia de los mismos siendo una buena alternativa de bajo consumo. Si nos fijamos en la velocidad de operaciones debemos decir que es más que suficiente para nuestro campo de aplicación. Dicho esto, también deberíamos comentar el hecho de que ese tamaño limita mucho la capacidad en volumen de información y en complejidad de operaciones a realizar.

Otro punto que debemos tener en cuenta es la especificidad que tiene los mismos, con lo anterior me refiero a que cuando diseñamos un sistema con un microprocesador, el mismo sistema solo podrá estar destinado a tal finalidad. Esto implica que si queremos añadir funcionalidades al sistema deberemos de añadir más microprocesadores o un sistema de almacenamiento y escritura de programas que varíe las instrucciones según interese. Por estos motivos, entre otros, es más complejo el hecho de ampliar las funcionalidades de los sistemas con microprocesadores así como la realización de tareas en paralelo. Finalmente, debemos decir que la automatización (toma continua de muestras a la par que el procesado) es más compleja y costosa en cuanto a recursos que con otros sistemas.

Por lo que se refiere a la parte económica los microprocesadores son elementos muy baratos y con una amplia gama de configuraciones. También debemos destacar la necesidad de proteger estos dispositivos aunque, generalmente, al estar montados en placas de mayor tamaño ya cuenta con ciertas protecciones como envolventes de plástico o de otros materiales ligeros. Así mismo, también haría falta tener en cuenta las conexiones requeridas de alimentación y de intercambio de información con el resto de elementos.

Si aumentáramos el grado de complejidad de estos conjuntos de elementos encontraríamos los ordenadores personales. Son elementos conformados por, entre otros múltiples elementos, microprocesadores, que hacen que sean elementos muy potentes apara el procesado y el almacenamiento de información. Dicho aumento de potencia y versatilidad viene acompañado, también, de un precio superior. Así mismo, los ordenadores también se les pueden encontrar en un rango destacablemente amplio de configuraciones y precios. Por otra parte, suelen contar con las protecciones adecuadas al ser montajes más complejos.

Visto que los ordenadores personales cumplen las necesidades veamos con que tipos nos podemos encontrar. Hay ordenadores con sistema operativo Windows son muy conocidos por todos nos aporta una gran variedad de aplicaciones y facilidades para cumplir nuestras necesidades. No se va a profundizar en el tema por el precio, ya que no es interesante desde el punto de vista de este proyecto. Por otra parte, contamos los ordenadores con sistema operativo MacOs conocidos pero ciertamente menos extendidos a nivel comercial por su mayor coste, aunque en varias aplicaciones aporta mayores prestaciones que los Ordenadores basadas en Windows, pero tampoco se va a profundizar aquí.

Otra clase que podemos destacar de ordenadores son los que cuentan con sistema operativo Linux y sus derivados. Dentro de esta subfamilia de ordenadores deberíamos destacar la existencia de los ordenadores llamados Raspberry Pi en todas sus versiones. Estos nos ofrecen una alternativa excelente donde destacan en la relación funcionalidad y precio. Estamos hablando de un ordenador completamente funcional muy potente conforme al tratamiento de

información tanto a nivel de toma de datos como al del procesado y almacenado de los mismos. Por otra parte, contamos con la versatilidad que nos aporta un ordenador y su enorme capacidad de aumentar, de forma más o menos sencilla, sus funcionalidades sin necesidad de alterar nada de su hardware.

Un valor añadido del mismo sistema es la gran comunidad que respalda a las Raspberry Pi con múltiples profesionales del sector de la programación informática y múltiple fuentes públicas y directas de consulta y resolución de dudas .La filosofía que sigue la comunidad de respaldo del Raspberry Pi facilita las fuentes de consulta, pues la mayoría de paquetes de software están basados en CVS (*Concurrent Versioning System*). Este sistema se centra en el mantener un control sobre las versiones siempre a partir de una versión base (código fuente). Esto hace que podamos desarrollar libremente y de forma gratuita nuestras propias aplicaciones de software.

Por último, tampoco se puede olvidar la posibilidad de desarrollar en el lenguaje de programación C, que es uno de los lenguajes de programación a utilizar con estos ordenadores, muy similar a los programas dados en nuestro grado (Informática primer cuatrimestre A de GITI, C++ muy similar a C) hace que sea una alternativa idónea para nuestro proyecto. Finalmente se puede destacar la compacidad del sistema que ocupa solo un espacio de unos pocos centímetros cúbicos de volumen.

Llegados a este punto, si queremos mantener un coste bajo, pero sin haber de sacrificar posibles funcionalidades, vemos que el uso de un Raspberry Pi es idóneo. Los puntos que nos ha hecho elegir éste tipo sobre el resto de elementos son la amplia comunidad en la cual nos podemos apoyar, el bajo coste y todas las funciones de conectividad que puede incluir como son: wi-fi, bluetooth, USB, Ethernet, etc.

Todas estas diferentes conexiones nos pueden servir para futuras integraciones en conjuntos más complejos o incluso, como ya hemos mencionado, uso de elementos auxiliares (PLC, por ejemplo) controlados por la misma. Dentro de las tipologías de procesadores Raspberry Pi hay diversos modelos. El modelo elegido e implementado en nuestro sistema ha sido el 3 B. los parámetros más destacables que nos han hecho decidirnos por este dispositivo son:

Tabla 11-Parámetros relevantes del modelo de Raspberry Pi 3 B.

Parámetro	**Descripción**
Conexiones	4 puertos USB y wi-fi
Sistema operativo	NOOBS (basado en Linux)
Leguajes compatibles de programación	Python, C,C++ (entre otros)

De ahora en adelante cuando nos refiramos al ordenador Rasberry Pi modelo 3 B los haremos con la abreviatura RPi.

3.4 Interfaz de intercambio de datos

A la hora de elegir una metodología para intercambio de datos, el método que hemos descubierto como más favorable usa el protocolo de intercambio creado por IBM llamado MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*). Hemos pensado en este tipo de comunicación por la facilidad que nos aporta al proyecto. También debemos destacar que nos facilita la comunicación de máquina a máquina vía conexión internet, independientemente de la red a la que estemos conectados usando un servidor externo. Este concepto de control e intercambio de información a través de internet también se conoce con el nombre de *Internet of Things* (internet de las cosas) para abreviar *IoT.* El protocolo MQTT está también muy extendido en dicha aplicación.

Con este método, el usuario puede acceder a la información en cualquier momento y desde cualquier lugar. Esta forma de intercambio de información también elimina el posible problema de compatibilidad entre elementos conectados, pues importa poco que sea un ordenador personal conectado o un dispositivo Android puesto que hay servicios compatibles con los diferentes sistemas operativos.

Con respecto a la representación de la información hemos optado por el uso de una aplicación para Android por la comodidad que esto presenta. Realizaremos esta aplicación en Android Studio un programa que facilita una plataforma para crear tanto aplicaciones en código como en aspecto gráfico. Además, si queremos representar en un ordenador personal la información, podríamos hacer uso de las herramientas de Microsoft Office o realizar una aplicación de gráficos en C que también nos podría valer para el RPi. Así obtendríamos una forma de evaluar la información in situ sin necesidad de extraer el dispositivo de su entorno de trabajo utilizando una interfaz como una pantalla táctil conectable que no necesariamente sea fija. Esta última opción no la hemos aplicado en nuestro proyecto, pero sería completamente valida si dispusiéramos de ella.

Cualquier solución propuesta anteriormente requiere de cierta cantidad de espacio de almacenamiento, por tanto, entre las muestras y las aplicaciones adicionales se estima que bastaría con unos 4 Gb de memoria de almacenamiento nos bastaría.

A consecuencia de haber elegido el RPi contamos con la interfaz en C y los protocolos MQTT asociados para el envío de información. Por otra parte, hemos dispuesto de un servidor gratuito en el servicio de la nube de MQTT CloudMqtt.com, cuya versión escogida nos presenta algunas limitaciones, pero para nuestra aplicación no supone problema. Las características principales de este servidor con respecto al intercambio de información son:

Tabla 12-Parámetros relevantes del servidor MQTT implementado.

Parámetros	**Valor**	**Unidad**
Número de conexiones simultaneas	10	Usuarios simultáneos
Cantidad de información	1	Kbit/s

Una vez hemos elegido todos los componentes vamos a redibujar los esquemas originales colocando en sus sitio los diferentes dispositivos seleccionados.

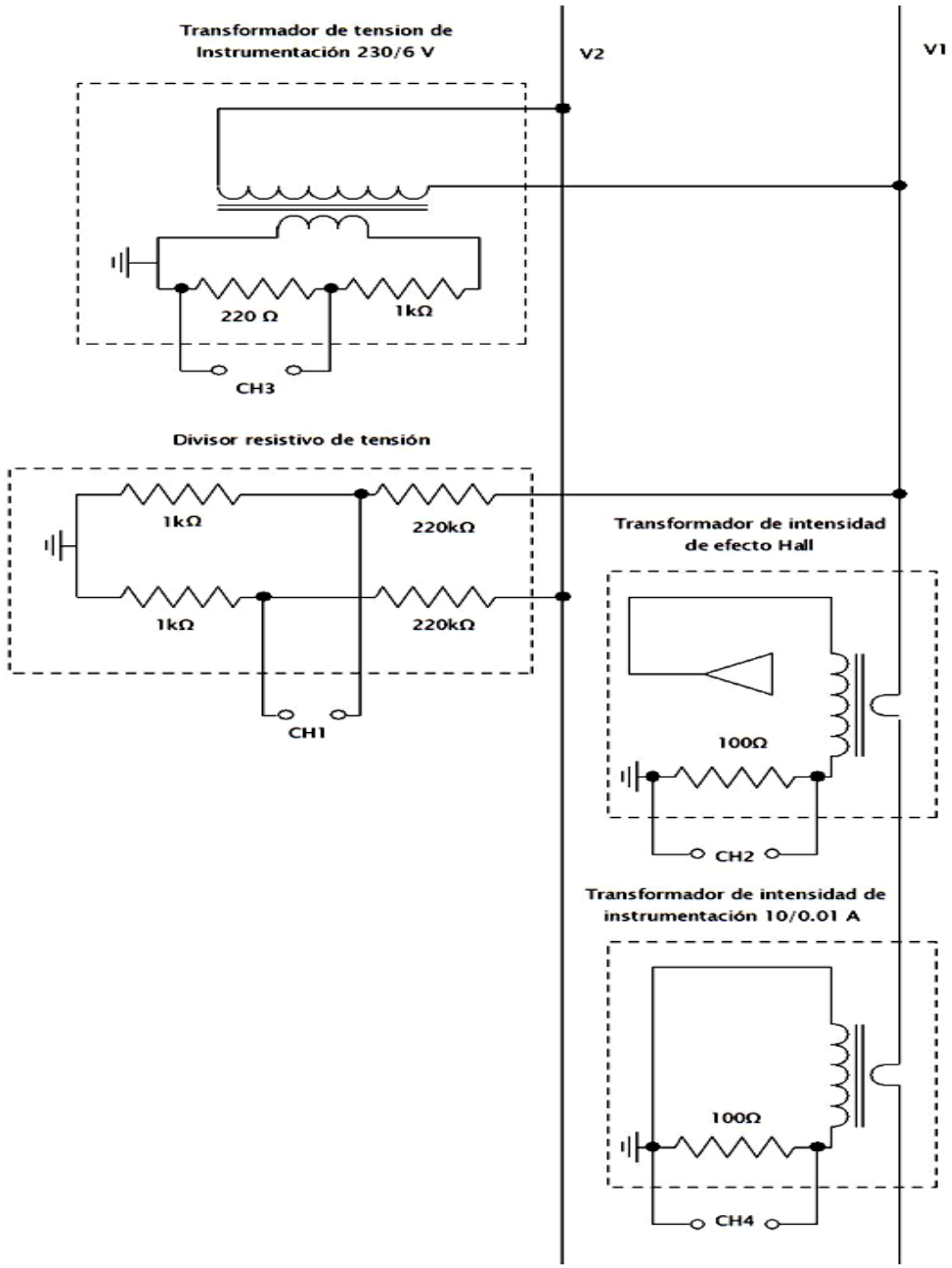


Figura 9-Esquema global de disposición y conexiones de los sensores instalados en el dispositivo después de la fase propuestas y selección de alternativas.

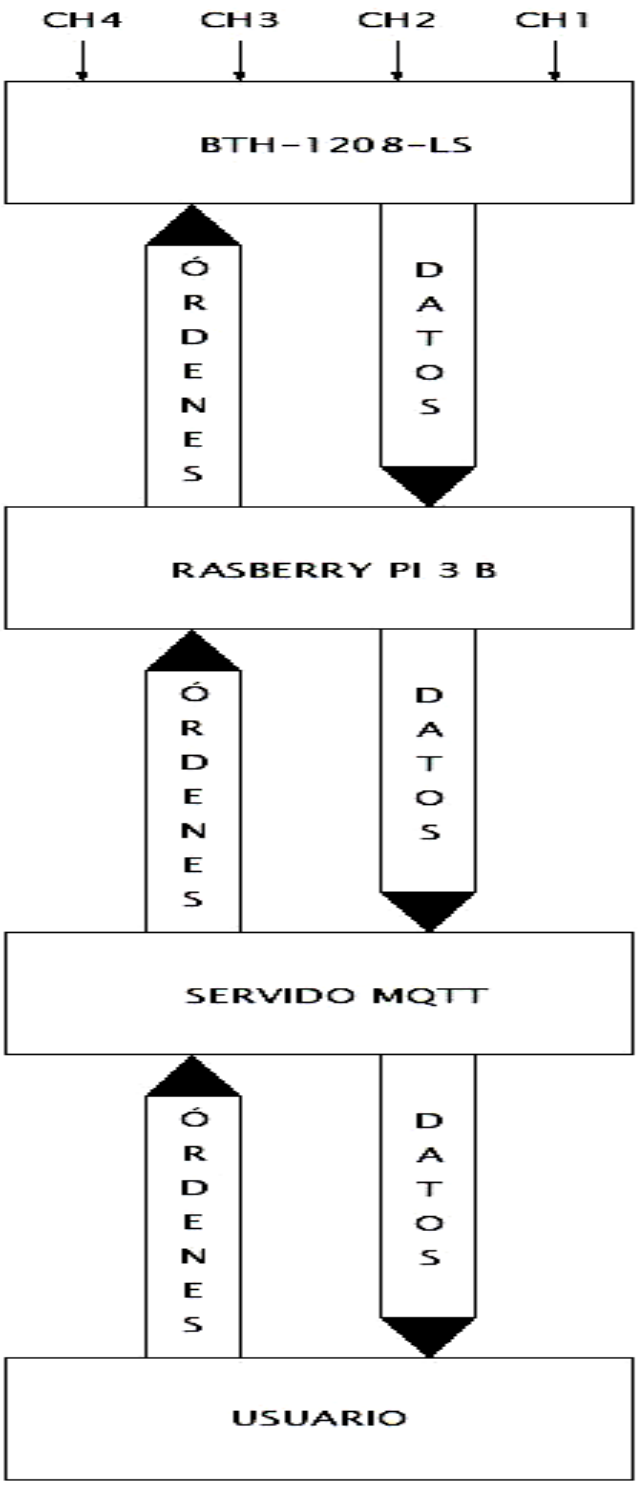


Figura 10- Esquema global de flujo de información con los elementos escogidos en la fase de propuesta y selección de alternativas

CAPÍTULO 4: EXPLICACIÓN DEL PROGRAMA

4.1 Introducción

A grandes rasgos podemos dividir el software en dos programas: el programa principal y la interfaz de usuario. El primero es el que se encargará de toda la parte de toma, procesado y reporte de datos mientras que el segundo será aquel que nos facilite una representación visual de los datos obtenidos por el primero.

Hemos usado un sistema de esquemas de flujo de información para facilitar la comprensión del funcionamiento interno del programa. A continuación se facilitara una leyenda de relaciones para conocer los significados de cada uno de los símbolos usados.

Tabla 13-Leyenda de signos usados en la explicación del programa

	Comienzo	Esto indica una acción de comienzo de programa. Cuando pongamos en marcha el programa empezara en este punto.
	Datos Directos	Indica que recibimos datos de una fuente de información directa como es la tarjeta de adquisición de datos.
	Proceso	Englobamos con este nombre todos los pasos o instrucciones a seguir para conseguir la finalidad expresada en el titulo del mismo.
	Datos	Englobamos en datos aquella información que obtenemos como output y/o usamos como input en los procesos.
	Documento	Indica que el programa genera un documento. En nuestro caso todos estos son documentos de texto.
	Display	Indica que hay una interfaz para ver, generar o recibir información. Este tipo de interfaces las maneja el usuario.
	Orden	Indica que se genera una orden o comando bajo el cual actuará nuestro dispositivo.
	Conector	Indica que confluyen o divergen varias posibles líneas de información que van a otro paso o elemento.
	Datos guardados	Indica que accedemos a los datos previamente generados.
	Flecha de flujo	Indica el sentido del flujo de información de nuestro programa.

4.2 Programa principal

El programa principal debe tener las siguientes funcionalidades:

- Muestreo y conversión de datos.
- Procesado y guardado de datos.
- Interfaz de intercambio de información.

Algunas de estas funciones no están completamente compartimentadas a lo largo del programa. Con esto me refiero a que en una misma función o subapartado puede que se implemente una funcionalidad de más de una de estas partes así como que no son independientes unas de otras. Por ejemplo, el bucle que explicamos más abajo de automatización afecta a todas las partes.

4.2.1 Muestreo y conversión de datos

En esta parte es donde nos dedicamos a tomar muestras de los sensores instalados y los procesamos mediante la tarjeta de adquisición de datos. En este punto tenemos que tener en cuenta principalmente cuatro puntos:

- Orden o comando de muestreo.
- Automatización del muestreo
- Conversión de valores proporcionales a reales
- Almacenamiento temporal de las muestras obtenidas para el postprocesado.

Para lo primero usamos las librerías de funciones en c facilitadas por el fabricante de la tarjeta de adquisición de datos. Así mismo, hemos usado de guía una función ejemplo facilitada en las funciones de test de la tarjeta de adquisición de datos. Por otra parte hemos encapsulado el programa principal en un bucle dependiente de la diferencia de fechas con el cual hacemos que, si la diferencia entra la fecha de inicio de toma de muestras y una fecha tomada al final del programa principal es mayor de 60 segundos, vuelva a disparar la función de toma de muestras.

A la hora de tomar los datos, cada canal de la tarjeta de adquisición de datos puede situarse en un rango de conversión de voltios diferentes. Para optimizar la definición de la toma de muestras hemos ajustado los rangos al inmediatamente superior requerido por el sensor en sus valores más elevados, de esta manera, nos aseguramos muestrear, dentro de nuestras posibilidades, con la mayor resolución posible.

También, como no sabemos con total precisión la constante de proporcionalidad entre la corriente del circuito de consumo y el valor final a la salida del circuito de medida, hemos sometido el equipo a un calibrado en diferentes rangos de carga utilizando un multímetro y una versión ligeramente modificada del programa de medida. Dado los medios de los que se disponía el proceso seguido ha sido ir comparando en varios rangos de una carga conocida de naturaleza muy cercana a resistiva pura, como ha sido una estufa, las medidas tomadas de tensión, intensidad, potencia aparente, potencia activa y potencia reactiva de los dos dispositivos. De esta manera hemos hallado unas constantes de ajuste que aplicaremos a los valores medidos antes de almacenarlos para el postprocesado.

Finalmente, para facilitar el acceso a los datos obtenidos hemos optado por usar como sistema de almacenamiento de las muestras un fichero con formato documento de texto. Este formato es muy fácil de acceder mediante diferentes lenguajes de programación. También nos es útil si queremos representar con Excel u otros programas externos. Esta forma de almacenamiento de datos nos permite incluso acceder a la muestras en cuestión con el programa fuera de ejecución si esto nos fuera de interés. Este formato de guardado lo hemos seguido empleando en todo el programa. Más adelante ahondaremos en el tema cuando lleguemos a su propio punto.

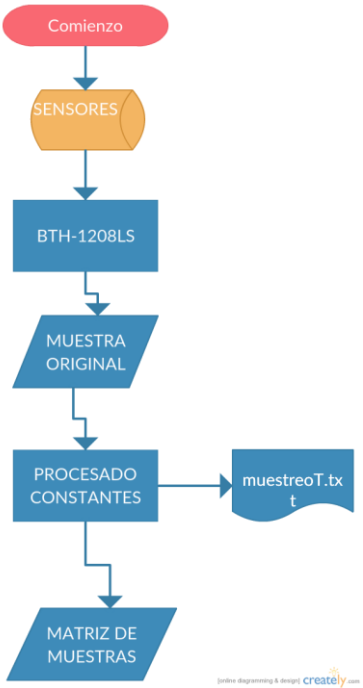


Figura 7 Esquema de flujo de información en proceso de muestreo y conversión de datos

4.2.2 Procesado y guardado de datos

En esta parte del programa realizamos el postprocesado de la información capturada y la organización de la misma. Todo esto mediante software en el elemento de procesado de información que en nuestro caso es la RaspberryPi 3 B. Hace falta tener en cuenta los siguientes puntos:

- Diferenciar la información según el periodo y la densidad temporal que requerimos.
- Organizar la información de una forma estructurada y entendible.
- Asegurar que la información guardada puede ser accedida tanto por el programa como para el usuario.
- Realizar las tareas de postprocesado de la información obtenida.

El sistema que hemos seguido ha sido el de compartimentar la información en varios rangos temporales. Hemos definido el tomar una muestra cada minuto durante 24 horas y almacenar

esta información tanto a nivel interno del programa como en documentos de texto. Después a partir de esta información con un sistema de contadores hemos organizado el resto de información de forma piramidal. Esto implica que los datos dependen de los anteriores. A partir de la matriz de muestras por minutos hemos sacado la media cada hora y la media de cada día y a partir de las medias de cada hora hemos sacado la media cada 12 horas. Estos valores nos han parecido los más significativos, pero siempre se podrían hacer modificaciones de forma relativamente sencilla para hallar otros valores medios. Por otra parte también hemos almacenado los máximos y mínimos de tensión e intensidad de cada periodo.

A la par que hemos guardado estos valores también hemos considerado interesante guardar los valores de la fecha en la que han sido realizadas las asociaciones de datos, por si buscando la información nos interesara saber que ha pasado a lo largo de un periodo determinado. Estos valores están guardados tanto en matrices a nivel interno del programa como en la salida en el mismo documento de texto.

La estructura seguida de cualquier dato de salida después del procesado se muestra a continuación. No se ha realizado una captura porque la longitud de la línea de datos es demasiado larga como para que se pueda ver con claridad. En su lugar, para facilitar la visualización, hemos insertado un salto de línea para cada magnitud. En la realidad se encontraría toda la información en una misma línea.

2017 07 21 18 30 05

227.562500 226.062500 226.849213

0.532700 0.526400 0.528935

119.558624 34.988480 125.651215

En la primera línea vemos la fecha de realización de muestreado en formato *aaaa mm dd hh mm ss* separado por espacio para que sea más fácil procesarlos por el programa. Después vemos que tenemos la tensión del canal 1 con sus valores máximo mínimo y medio del periodo muestreado en dicho orden también separado por espacios, análogamente la intensidad del canal 2 también se muestra, finalmente tenemos los valores de potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente en el orden enunciado. Estas potencias están calculadas con los valores de los canales 1 y 2. Análogamente escribimos los mismos datos para los canales 3 y 4 en el mismo orden.

Hemos almacenado toda esta información diferente por el hecho de que si decidimos en un futuro implementar una mejora de software para aumentar las posibilidades de información, contemos con datos suficiente de partida para realizar los procesados y cálculos necesarios.

Hemos optado por guardar los archivos de manera que tendremos dos disponibles para cada periodo denotado anteriormente. Uno completo, a partir del segundo periodo, denotado como nombre del periodo y anterior, y el periodo actual por ejemplo, el fichero que almacena las muestras de las semanas seria SemanaActual.txt, cuando pasamos de semana ese fichero cambia el nombre a SemanaPrevia.txt y se crea uno llamado SemanaActual.txt. De esta

manera podremos hacer una comparativa entre dos periodos relativamente cercanos entre sí, si lo deseamos.

Por otra parte, hemos usado funciones específicas para cada una de las acciones a realizar: media, máxima, mínima… Estas están realizadas en función de la longitud del fragmento a analizar así podremos usar la misma función para cada uno de los periodos de muestreo simplificando así el procesado de la información.

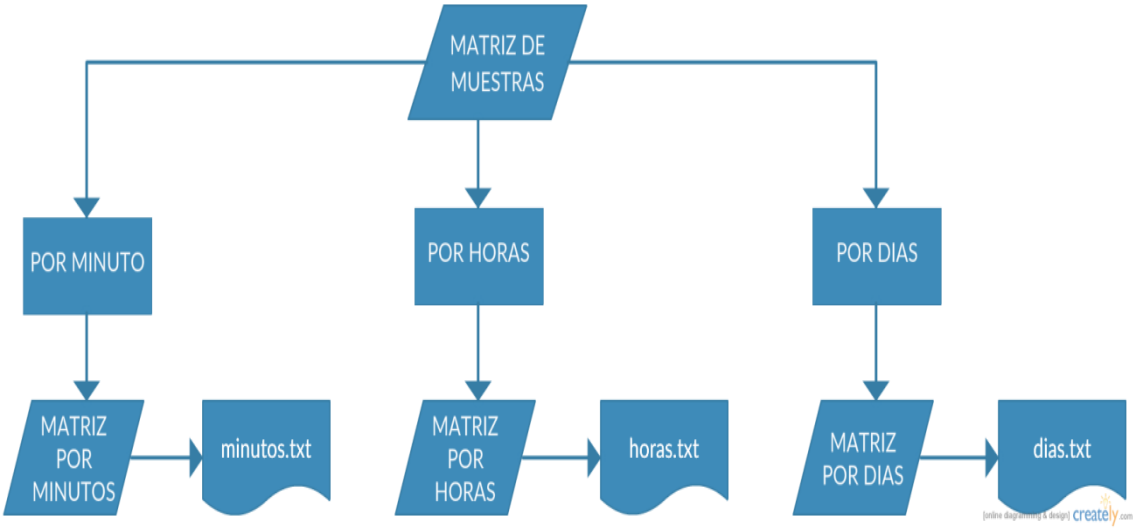


Figura 8 -Esquema de flujo de información en el proceso de guardado y procesado de datos.

4.2.3 Interfaz de intercambio de información.

En este apartado englobamos las herramientas usadas para poder intercambiar información entre el sistema y el usuario. Como hemos explicado anteriormente hemos usado el protocolo MQTT para intercambio de información.

A continuación vamos a explicar de forma sencilla como funciona este protocolo. Primero vamos a definir las figuras que intervienen en este intercambio: cliente, tanto como publicador como receptor y bróker. Así mismo primero deberíamos definir un concepto clave que es el de *topic.* Un *topic* lo podríamos definir en nuestro ámbito de uso como un hilo de intercambio de información que es escrito o "escuchado".

Por otra parte el cliente es el elemento que usamos para designar una dirección de envío y recepción de información. Un mismo dispositivo puede tener asignados varios clientes si lo consideramos necesario. El cliente puede funcionar indistintamente como punto de envío y de recepción de información. Para recibir información debemos suscribir nuestro cliente a un *topic.* Esto implica que el cliente estará "escuchando" los mensajes enviados en dicho hilo de comunicación. Un mismo cliente puede estar suscrito a varios *topics* así como enviar información en diferentes *topics*.

Finalmente el bróker es el elemento que se encarga de organizar y coordinar todos los hilos de información así como todos los clientes. En nuestro caso nos permite definir usuarios con

contraseña y evita que los mensajes fuera de esos usuarios se reciban. Nuestro bróker también nos permite gestionar los permisos que tiene cada cliente/usuario y permite elegir si puede leer y escribir en un tópico o solo hacer una de las dos cosas.

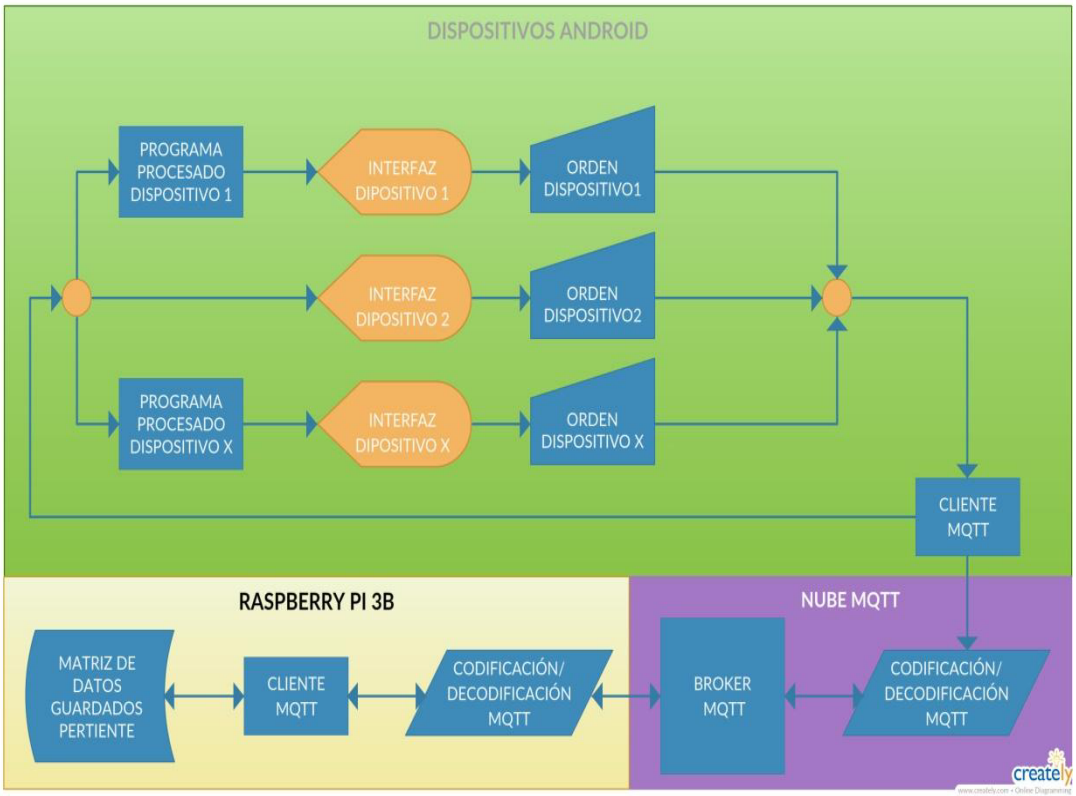


Figura 9-Esquema de funcionamiento del sistema de intercambios de mensajes con el protocolo MQTT.

Como se puede observar en el esquema, no necesariamente requerimos un programa de procesado como tal. Con esto nos referimos a que un programa de procesado implica que queremos dar cierta forma de representación grafica, estética, o procesada de alguna manera de los datos recibidos, pero perfectamente podríamos simplemente querer un número en pantalla (para realizar una medida puntual) y para esto no haría falta ningún tratamiento especial. Hemos denotado dispositivo *x*, siendo *x* el límite del que nos impone el bróker o el servidor, ya que en principio el protocolo MQTT no tiene limitado los clientes a lo largo del tiempo. En contraposición si tiene limitados los usuarios conectados simultáneamente dependiendo estos de la librería usada y del bróker implementados. Para nuestra librería usada (PAHO MQTT) podríamos tener múltiples clientes activos al mismo tiempo. Aún así cabe recordar que en nuestro caso el número máximo de dispositivos activos al mismo tiempo será nueve pues el servidor usado tiene máximo de diez dispositivos conectados al mismo tiempo de los cuales uno será la propia Raspberry Pi 3 B pues es el que hace función de elemento de toma y procesado de muestras.

Una vez realizada la explicación anterior situemos la interfaz de intercambio de información. En el programa después del muestreo y el postprocesado tiene un periodo de tiempo entre

muestra y muestra pues estos pasos apenas duran unos pocos segundos. En este hueco temporal hemos situado una función que escucha un *topic* llamado *órdenes* donde recibe unos comandos preestablecidos los cuales se identifican con una petición de información. Esto se podría complicar todos lo que quisiéramos, pero para simplificar, y como solo queremos demostrar la funcionalidad de nuestro dispositivo hemos definido cuatro comandos en principio:

- M: Envía los valores de tensión e intensidad media medida en los canales 0 y 1 así como los valores de potencia activa y aparente asociados a los mismo durante los últimos 60 minutos.
- H: Envía los valores anteriores salvo que esta vez son los correspondientes al periodo de las últimas 24 horas enviando los valores asociados a cada hora.
- D: Envía los valores asociados a los últimos 30 días enviado los valores correspondientes a los periodos de un día completo.
- I: Envía los valores asociados a la última muestra completa tomada siendo estos 100 valores de tensión intensidad y potencia aparente para representación gráfica, por otra parte envía también los valores medios de tensión, intensidad y potencia aparente.

Un ejemplo de la estructura enviada en respuesta a estos comandos sería la siguiente, que pertenece al valor medio de las últimas 24 horas:

Figura 10- Recorte del *websokect* del servidor en CloudMQTT de datos para ejecución del comando H.

Definimos que todos los mensajes enviados empiecen por *Z* a continuación escribimos el comando al que corresponde. Seguido lo anterior metemos el número de muestra enviado para controlar que no nos hayamos saltado ninguna muestra. Al final está la información útil que antes hemos enunciado. Todos los comandos siguen esta estructura. Nótese que hemos separado los datos por ";" dado que si queremos representar los datos en un Excel esto nos facilita la separación automática de datos.

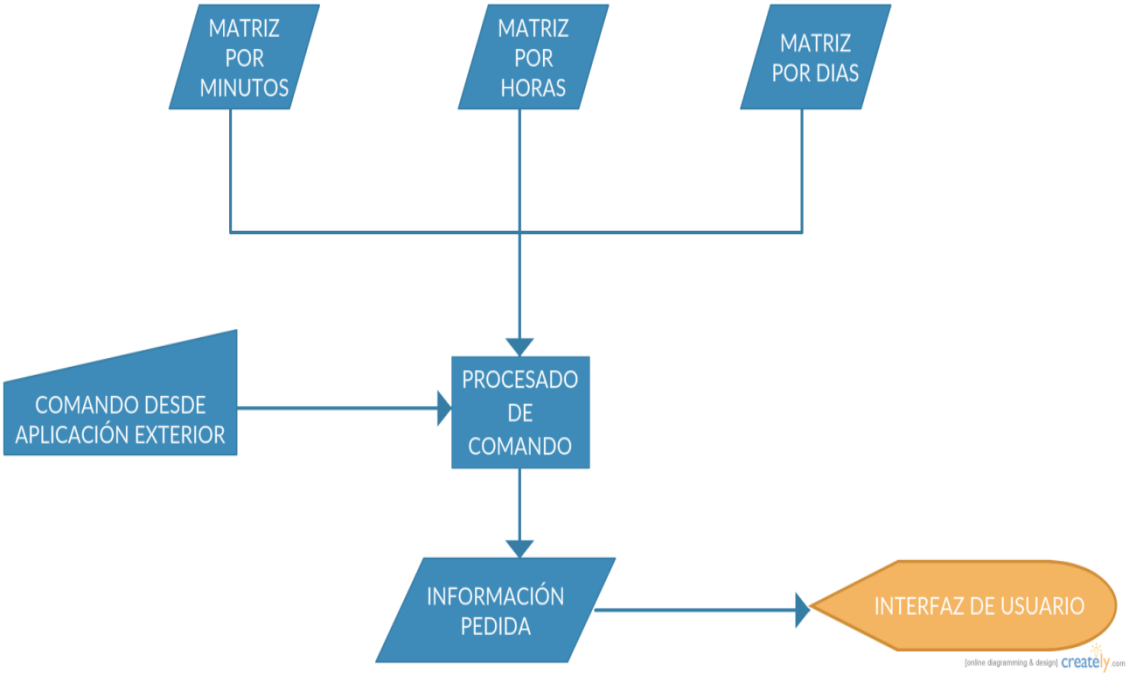


Figura 11-Esquema de flujo de información en la parte de envío de información a la interfaz de usuario.

Para terminar veamos un esquema completo con las funciones planteadas al principio de este apartado:

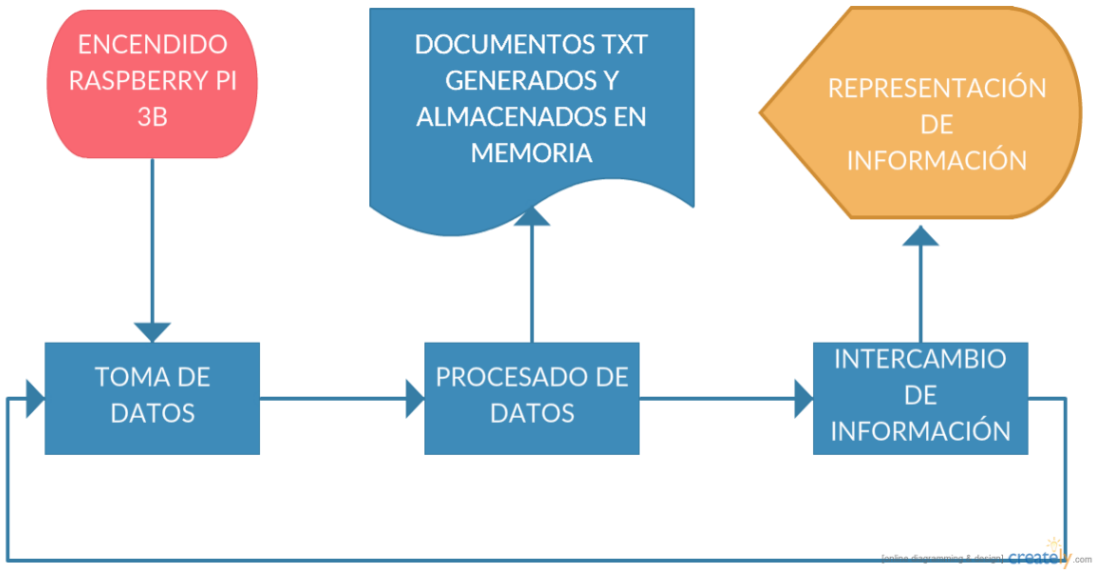


Figura 12-Representación de funcionamiento del programa por bloques según funcionalidad.

4.3 Interfaz de usuario

La otra gran parte del programa es la interfaz de visualización de datos. Esta nos ayudará a la comprensión visual de los mismos. Antes ya hemos nombrado que podemos hacerlo de una forma relativamente sencilla con Excel. Por otra parte hemos querido ir un paso más allá e integrar una interfaz similar en el programa. Para ello hemos realizado una interfaz gráfica en formato gráfico de barras vs muestras para tener una forma de representación integrada. Para ello hemos usado una librería grafica en java para su visualización en la aplicación de android.

En esta representamos la potencia consumida a lo largo de las muestras pedidas, tanto activa como reactiva. Una vez más dejamos abierto este campo a posibles mejoras en cuanto a software.

Esta parte del programa funciona simplemente registrando un comando en forma de carácter pasado desde el teclado por el usuario (los antes vistos M, H, D o I) y actúa en consecuencia pidiendo mediante el bróker la información requerida. Hemos tenido en cuenta la posibilidad que el usuario realice una petición de información la cual aún no haya estado completada (muestras horarias del último día cuando acabamos de encender el sistema y aun no han pasado 24h por ejemplo). Esto lo informaremos mediante pantalla al usuario y completamos las muestras restantes con 0 para que el programa las procese con normalidad.

A continuación, se adjunta una figura genérica para entender el formato de representación en el programa implementado:

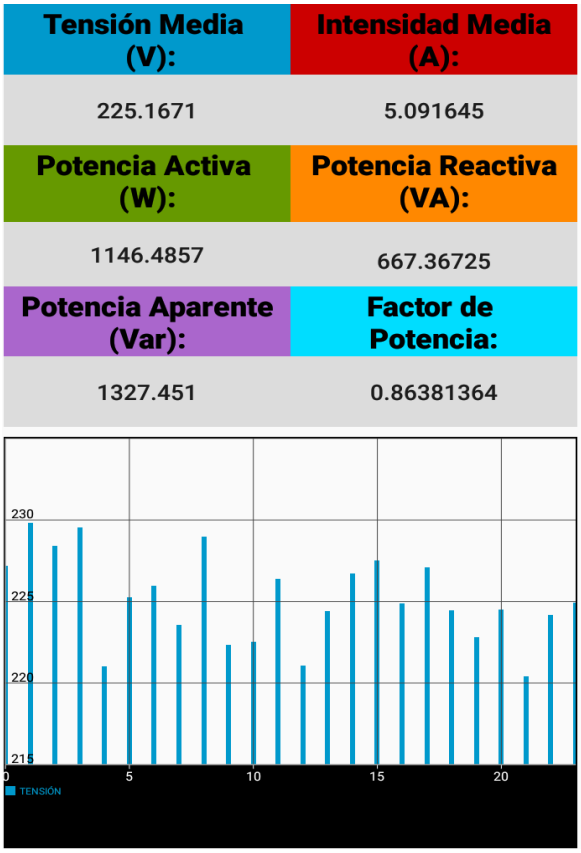


Figura 13-Representación genérica de valores obtenidos con el programa implementado en lenguaje de programación java.

Podemos diferenciar dos zonas en la pantalla. La zona superior vemos que es dónde están representadas todas las magnitudes medias a lo largo del periodo que hemos pedido mediante el menú. Nótese que cada magnitud tiene un color asociado, esto se debe a que cuando queramos que la aplicación nos represente una magnitud tocaremos en el titulo y el gráfico saldrá acorde con el color asociado a dicho título.

Mientras tanto en la zona inferior se encuentra el gráfico que se adapta a la escala de nuestra magnitud, podremos ampliar a voluntad si nos interesa una medida en especial. Están claramente situados los ejes de coordenadas siendo la *x* el número de muestra y la *y* la magnitud a representar. Por otra parte debemos decir que acepta también la posibilidad de representar números negativos. Lo último lo hemos implementado por si ejecutamos el comando I y así, manteniendo la interfaz básica, representar periodos cortos de muestreo en los cuales podemos ver valores de tensión e intensidad negativos por la naturaleza sinusoidal explicada anteriormente de las señales registradas. Por último véase que los periodos van marcados de 5 en 5 para su fácil identificación.

Pese a tener implementadas estas interfaces, por facilidad de edición, simplicidad de presentación y posibilidad de representación cruzada de datos, los estudios de aplicación los realizaremos con la herramienta de Microsoft Excel.

CAPÍTULO 5: ESTUDIO DE APLICACIÓN

A continuación se van a mostrar y explicar algunos casos de aplicación del dispositivo funcionando en situaciones reales. Todos los objetos de estudio son electrodomésticos de uno u otro tipo de los cuales podemos disponer en nuestro entorno doméstico. Para facilitar la comprensión de los datos conseguidos procederemos, en cada punto, a actuar mediante una determinada metodología. Ésta será la siguiente:

- Descripción de la carga: Tipo de carga, modelo y marca, tipo normal de funcionamiento en general.
- Descripción de los diferentes modos de funcionamiento (si los hay).
- Graficado de los resultados

Para facilitar la representación y la organización de los datos hemos decidido asociar los valores de los canales 1 y 2 por un lado, y 3 y 4 por otro lado. A la primera pareja y todos sus valores asociados los denotaremos con el número 1; así mismo la segunda pareja la denotaremos como pareja 2. Esto implica que cualquier valor que lleve un 1 acompañado del título o nombre de la magnitud corresponderá a la primera pareja de sensores, siendo la tensión 1 la medida por el divisor resistivo, y la intensidad 1 la medida por el sensor de efecto Hall. Otro punto a tener en cuenta es que los valores medios son valores medios eficaces. Si no, dada la naturaleza sinusoidal de las señales, los valores serían cero o muy cercanos a cero.

5.1 Caso 1: Convector de aire

Modelo y Marca: Convector de aire GSC evolution.

Tipo de carga: Principalmente resistiva

Tipo normal de funcionamiento: Constante a lo largo de todo su periodo activo.

Potencia: 750/1250W

En este aparato contamos con diferentes modos de funcionamiento. Estos son con un solo interruptor a 750W, con un solo interruptor a 1250W y combinando interruptores 2000W de potencia nominal. En este primer ejemplo nos extenderemos más pues queremos mostrar cómo varían las magnitudes en un periodo de muestreo según como esté trabajando el equipo. Hemos decidido representar un periodo de muestreo con la primera potencia de la carga y con la segunda potencia de la carga a parte de los valores medios por minuto que veremos más adelante.

En los otros ejemplos no ahondaremos tanto y nos fijaremos más en las variaciones en tiempo de trabajo dependiendo del aparato y su naturaleza de uso. En tónica general trataremos un ciclo como tiempo normal de funcionamiento, por ejemplo una lavadora tendría un tiempo normal de entorno a una hora y media, una cafetera eléctrica unos pocos minutos, etc. A continuación vamos a enseñar la representación gráfica de una muestra tomada.

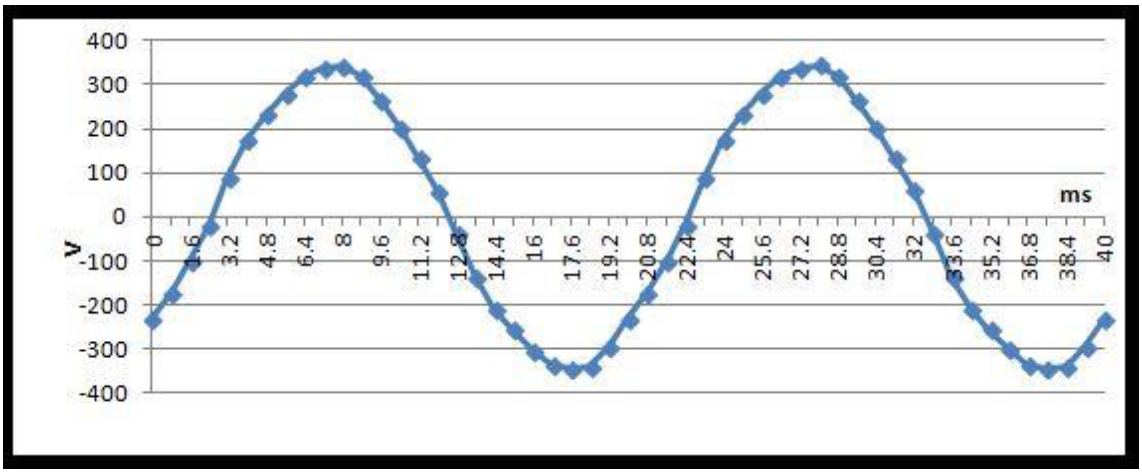


Figura 14- Tensión medida en el canal 1 en el muestreo para el caso 1 en posición de 750W.

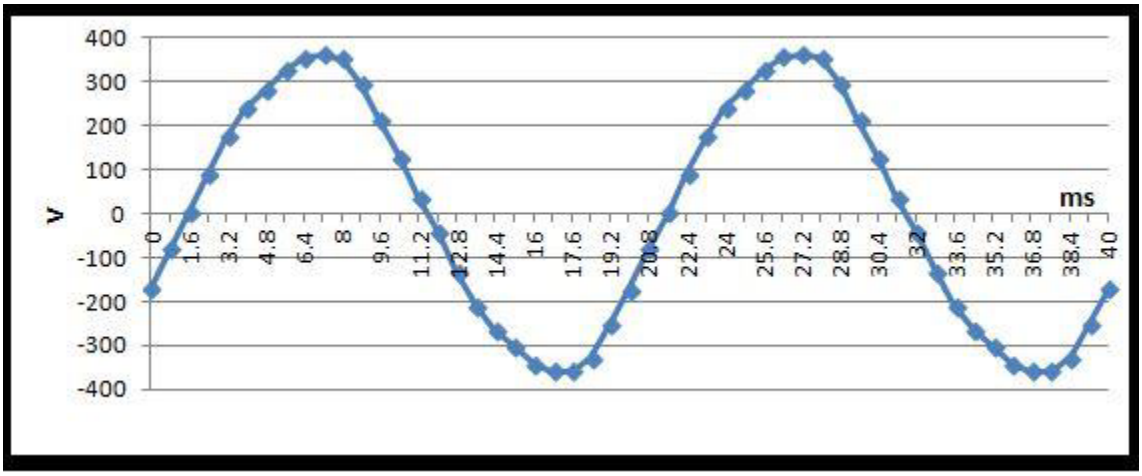


Figura 15-Tensión medida en el canal 3 durante el muestreo en el caso 1 en posición de 750W.

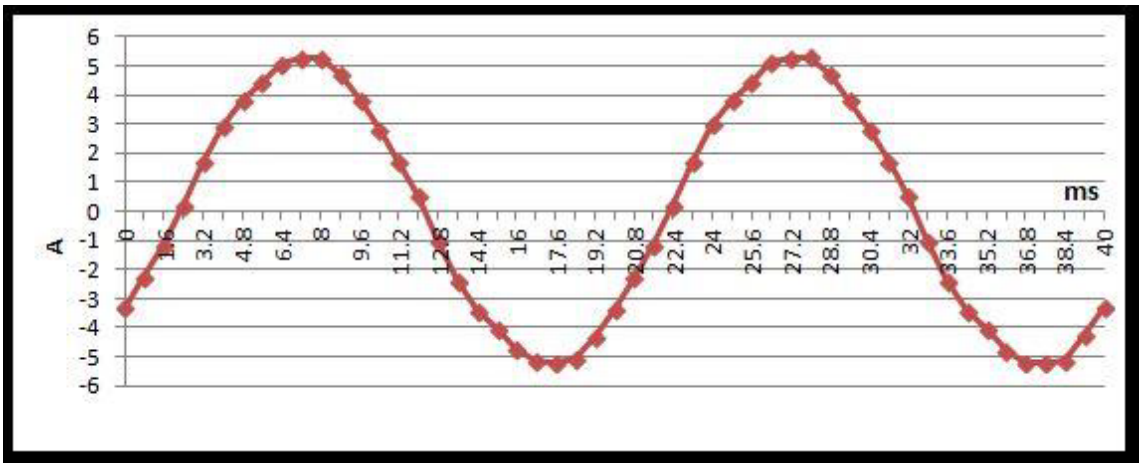


Figura 16-Intensidad medida por el canal 2 durante el muestreo en el caso 1 en posición de 750W.

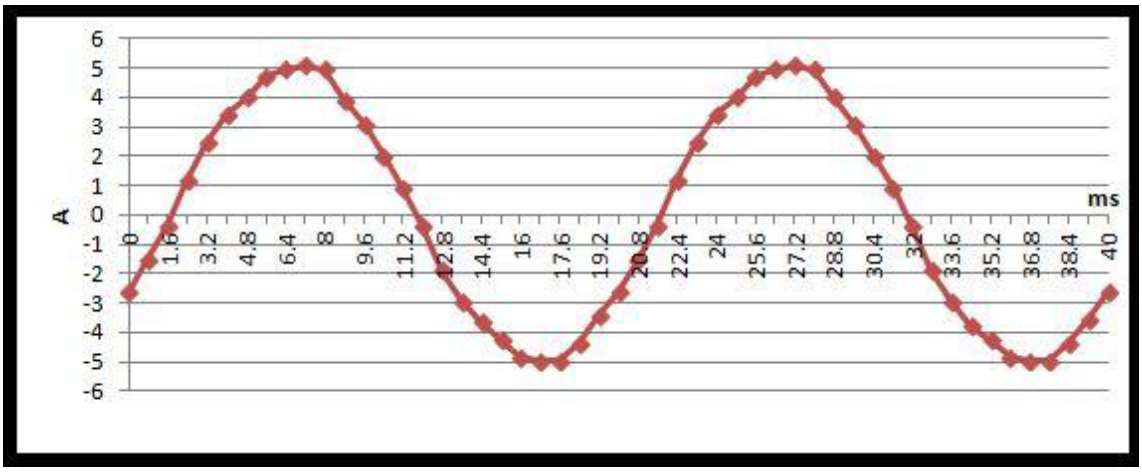


Figura 17-Intensidad medida por el canal 3 durante el muestreo del caso 1 en posición de 750W.

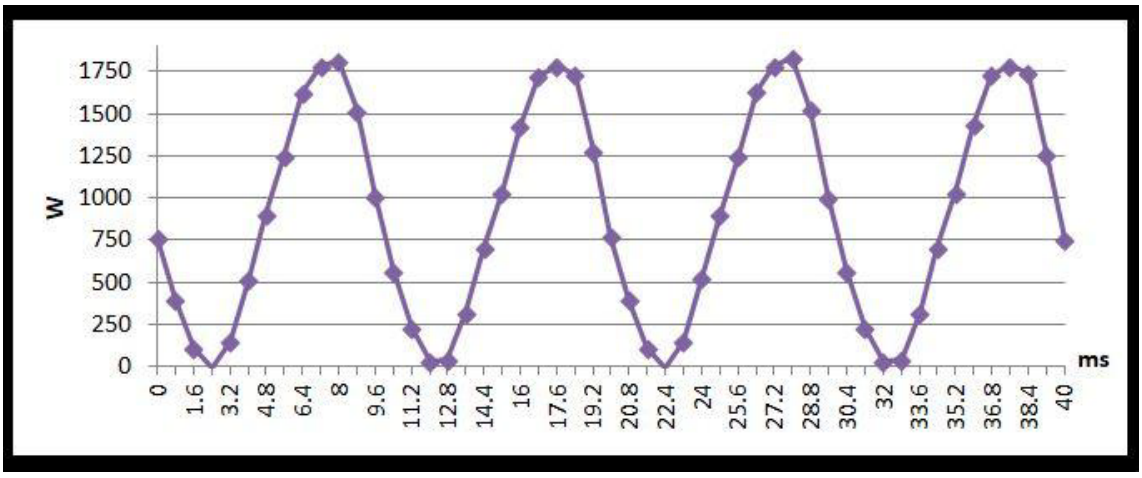


Figura 18-Potencia instantánea medida por la pareja 1 de sensores durante el muestreo del caso 1 en posición de 750W.

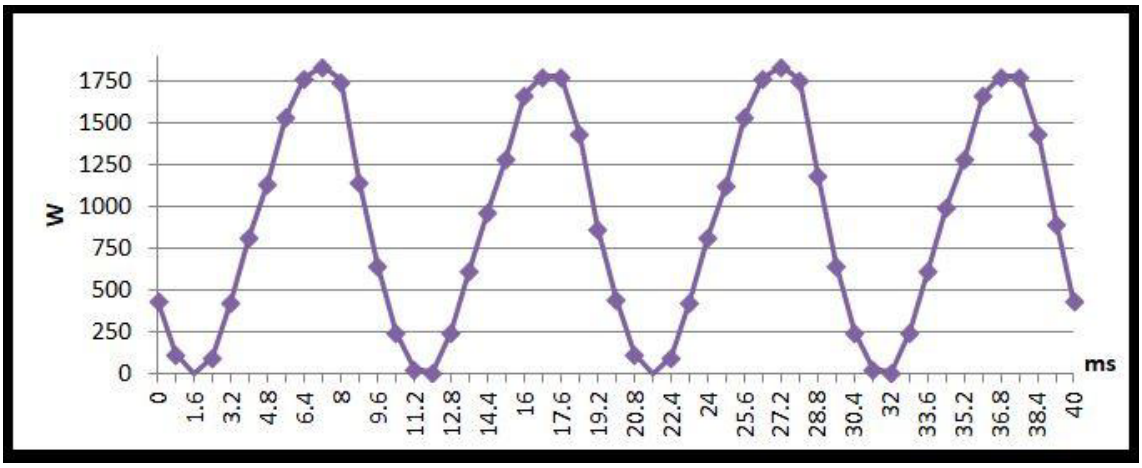


Figura 19-Potencia instantánea medida por la pareja 2 de sensores durante el muestreo del caso 1 en posición de 750W.

En el primer conjunto de valores podemos observar todas las magnitudes medidas diferentes con la carga conectada. Nos podemos fijar en que la potencia instantánea es una onda que tiene el doble de frecuencia que la intensidad y la tensión y que es siempre positiva. Lo anterior se debe a que esta última onda es composición de las dos anteriores además de que, al tratarse de una carga de naturaleza casi resistiva, el desfase que hay entre tensión e intensidad es mínimo. Si estudiáramos este fenómeno en otro tipo de dispositivo, como cualquiera que tuviera un motor eléctrico de alterna en su composición, esto variaría.

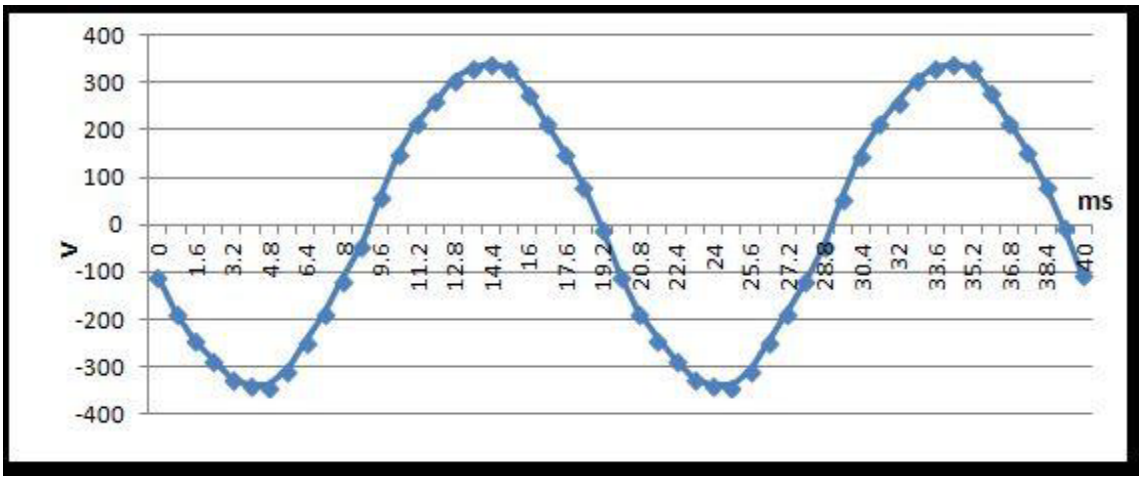


Figura 20-Tensión medida en el canal 1 durante el muestreo para el caso 1 en posición de 1250W.

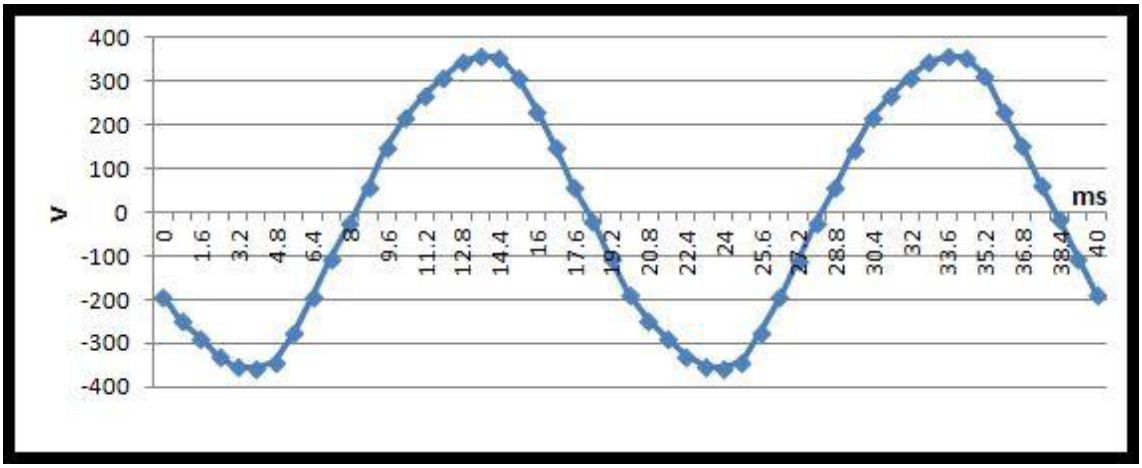


Figura 21-Tensión medida en el canal 3 durante el muestreo en el caso 1 en posición de 1250W.

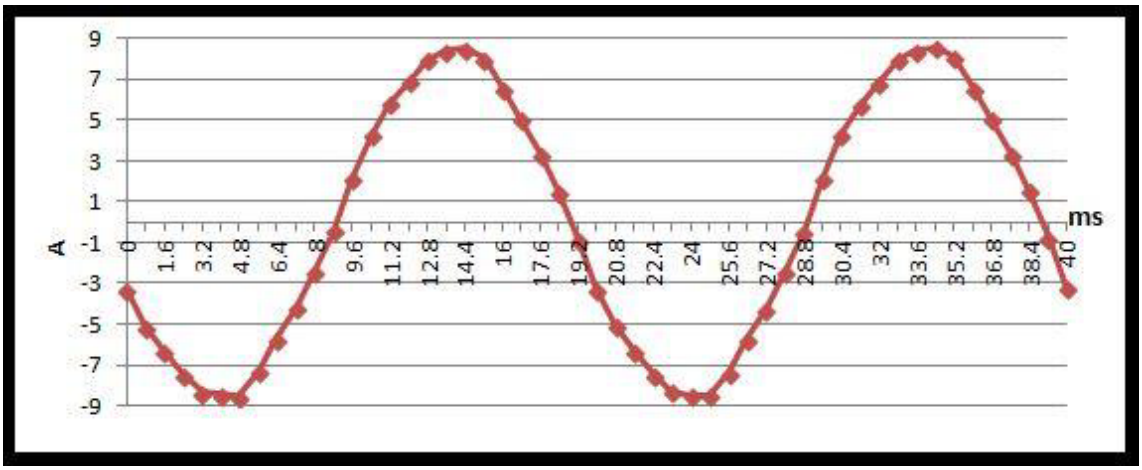


Figura 22-Intensidad medida por el canal 2 durante el muestreo en el caso 1 en posición de 1250W.

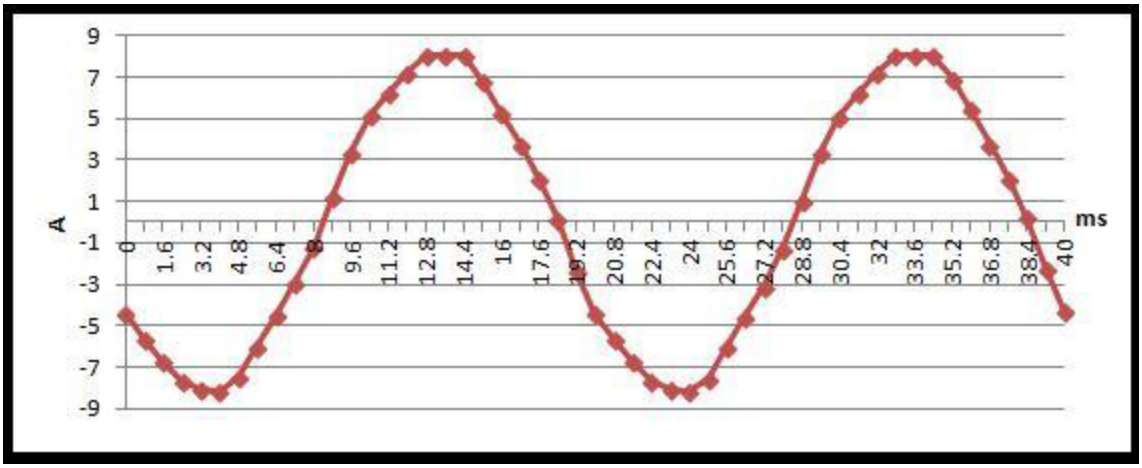


Figura 23- Intensidad medida por el canal 4 durante el muestreo en el caso 1 en posición de 1250W.

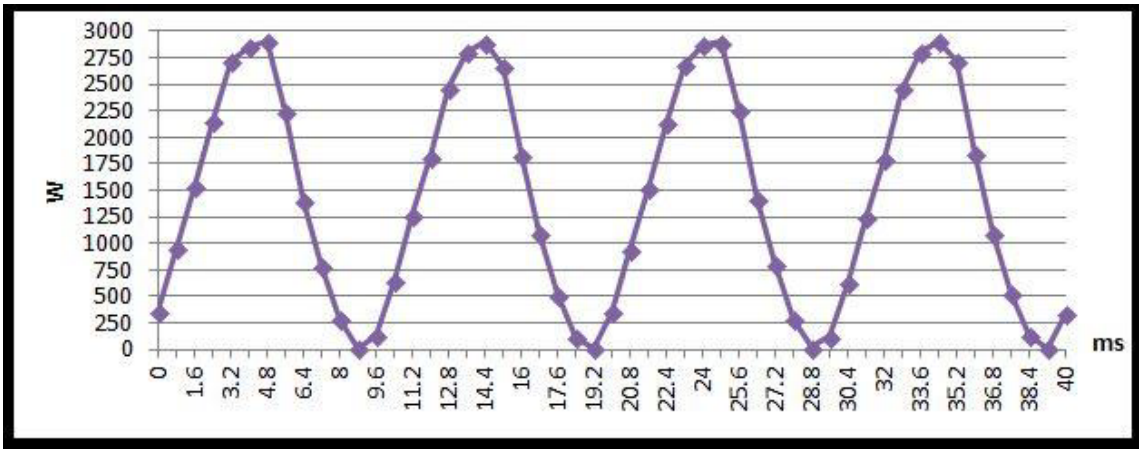


Figura 24-Potencia instantánea medida por la pareja 1 de sensores durante el muestreo en el caso 1 en posición de 1250W.

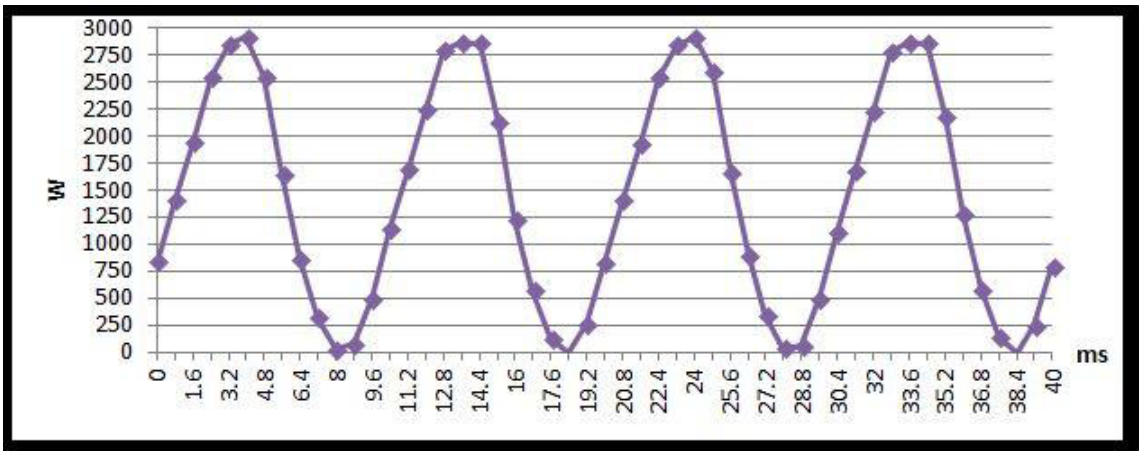


Figura 25- Potencia instantánea medida por la pareja 2 de sensores durante el muestreo en el caso 1 en posición de 1250W.

Hemos visto en nuestro dispositivo es capaz de tomar 100 muestras por periodo de muestreo, esto implica que estamos tomando 25 muestras en cada periodo para cada canal. Avancemos hacia una perspectiva más general que seguramente sea más útil desde nuestro punto de vista: los consumos que ha tenido nuestro convector de aire o estufa.

A la hora de ensayar el equipo hemos decidido que, dado la naturaleza resistiva del aparato y su forma de trabajar, con un muestreo de aproximadamente 15 minutos tendríamos suficiente. En estos 15 minutos hemos variado la carga y todos los tiempos de representación los haremos conjuntos. Hemos decidido centrarnos en la representación de los valores proporcionados por los dos primeros canales de toma de datos. A continuación mostraremos los resultados conseguidos:

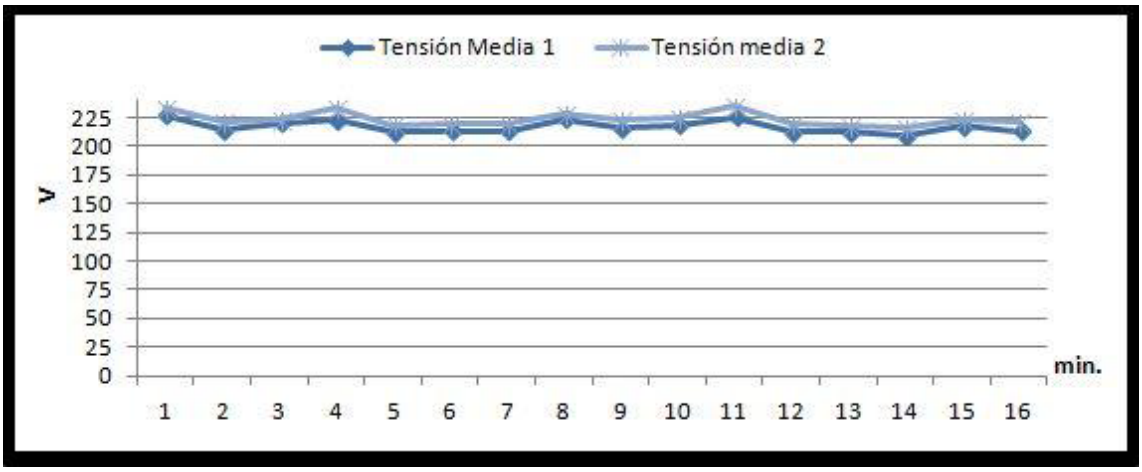


Figura 26-Comparativa de tensiones medias medidas por cada sensor de tensión para todo el tiempo de muestreo.

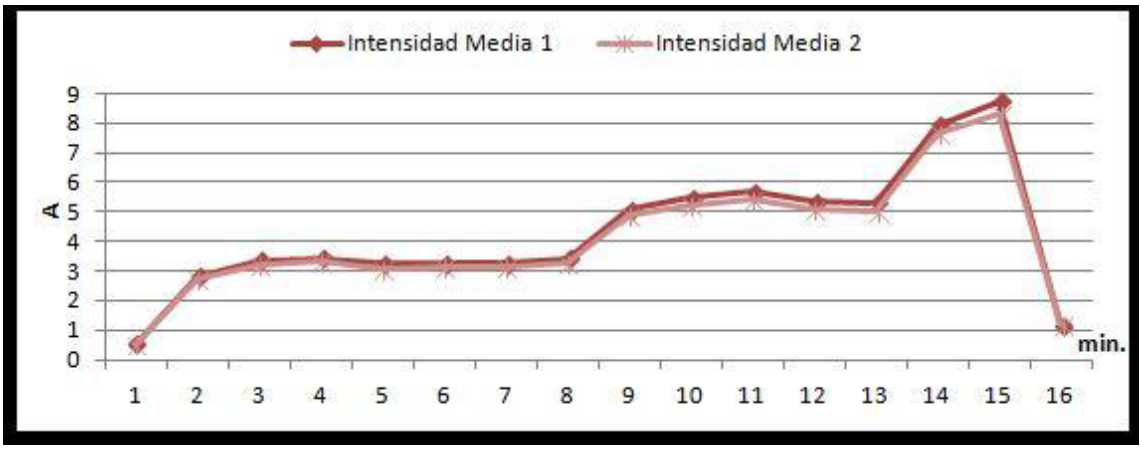


Figura 27-Comparativa de intensidades medias medida por los sensores de intensidad para todo el tiempo de muestreo.

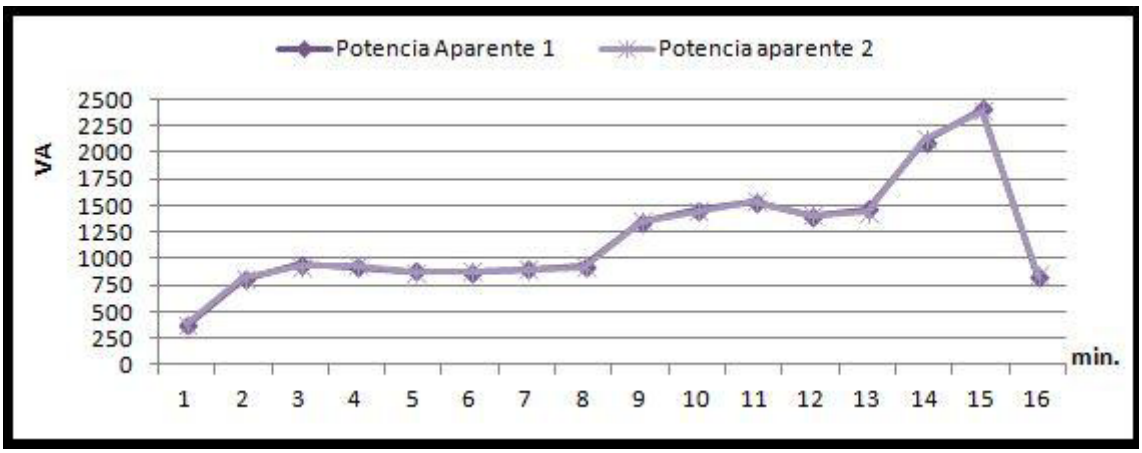


Figura 28- Comparativa de potencias aparentes medidas por cada pareja de sensores durante todo el tiempo de muestreo.

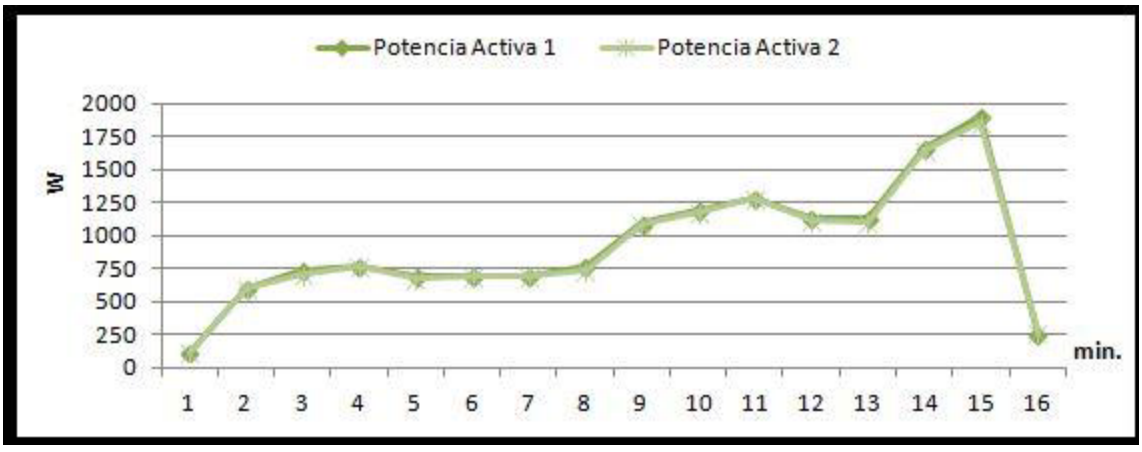


Figura 29-Comparativa de potencia activa medida por cada pareja de sensores durante todo el periodo de muestreo.

Nos hemos de fijar en que en ambos pares de canales las magnitudes son muy parecidas variando ligeramente entre ellos las tensiones únicamente. La diferencia en las tensiones es de un 2% y se debe asociar a la utilización de un sensor de menor precisión (transformador de baja potencia en vacío en lugar de un transformador de medida de tensión por comparación con el divisor resistivo implementado con resistencias de precisión). Por otra parte, podemos ver que la potencia activa es una parte muy importante de la potencia aparente sin llegar a ser iguales. Entendemos que la mayor parte de esta diferencia se debe al consumo de reactiva del pequeño motor eléctrico que fuerza el flujo de aire sobre las resistencias de calefacción. Al tratarse de un motor de muy baja potencia y además, monofásico, es normal esperar un factor de potencia muy bajo y, en consecuencia, un elevado consumo de reactiva por comparación con su potencia activa (aunque esta es mucho menor que la de las resistencias de calefactado).

Pasando a la descripción de la toma de muestras podemos observar que partimos de una situación en vacío donde el aparato a medir está apagado y en el siguiente periodo vemos que la potencia activa aumenta hasta situarse alrededor de 750 W. Como se puede observar esto se debe a que hemos encendido el dispositivo. Más adelante podemos ver otro cambio debido a la conmutación entre 750W y 1250W. En el tramo final hemos conectado ambos interruptores y hemos aumentado la potencia hasta casi 2000W que es el máximo que puede consumir el aparato. En el último periodo hemos vuelto a apagar el dispositivo para volver a la situación inicial. Observamos cierto retraso en el cambio de la potencia debido a la representación de valores medios por minuto. Por ejemplo: la muestra del minuto 14 corresponde a un periodo en el que parte del tiempo el convector estaba trabajando a 1250W y el resto a 2000W, resultando un valor medio de unos 1650W.

Un punto interesante es que, mientras que la tensión de red se mantiene oscilando en todo momento cercano a los 220 voltios, la intensidad sufre cambios más sustanciales. Por otra parte, también podemos observar que cuanta más intensidad circula menor es la tensión. Esto se debe con toda probabilidad a la caída de tensión desde el cuadro de protecciones de la vivienda debida a una carga que consume una potencia cercana a la potencia instalada o contratada. La diferencia observada entre valles de la gráfica de tensión es de alrededor del 2%, un valor aceptable y compatible con la normativa de instalaciones interiores en viviendas. También hay que tener en cuenta que no se puede asignar esa diferencia exclusivamente al consumo del convector ya que no se puede tener la certeza de que no se produjeran otras variaciones de carga significativas dentro de la propia vivienda o en instalaciones cercanas durante la realización del ensayo. Otras variaciones pueden deberse a que la propia instalación sufre variaciones a lo largo del tiempo en la tensión de suministro.

5.2 Caso 2: Frigorífico

Modelo y Marca: Frigorífico Fagor 2FC-48 NF no frost.

Tipo de carga: Carga con componente inductiva.

Tipo normal de funcionamiento: Constante a lo largo de todo su periodo activo.

Potencia: 102W motor del compresor, otros componentes desconocido.

Hemos considerado un ciclo como un periodo aproximado de tres horas de funcionamiento, porque sabemos que los refrigeradores, encienden o apagan el compresor dependiendo de la necesidad de frío y en este periodo de tiempo se podrá ver claramente ambos comportamientos. Aunque una parte importante del consumo la tiene el compresor, nuestro modelo tiene también otro tipo de dispositivos como ventiladores para la circulación interior de aire y varios sensores de control de temperatura, así como la luz de apertura en la parte de la nevera entre otros.

Empezaremos mostrando los datos obtenidos en un periodo de muestreo para después ver el consumo que ha tenido minuto a minuto en todo el tiempo de muestreo y las medias obtenidas por horas.

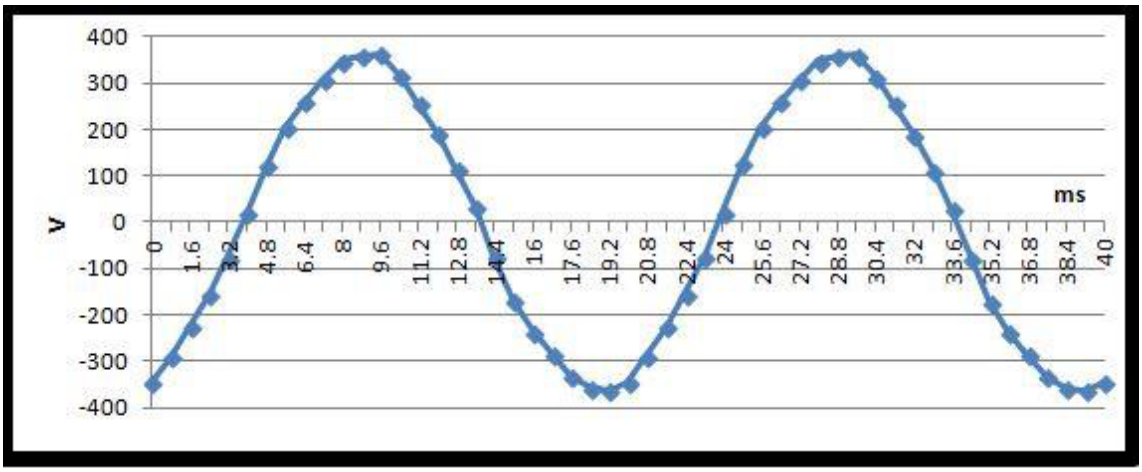


Figura 30-Tensión muestreada por el canal 1 durante el muestreo en el caso 2.

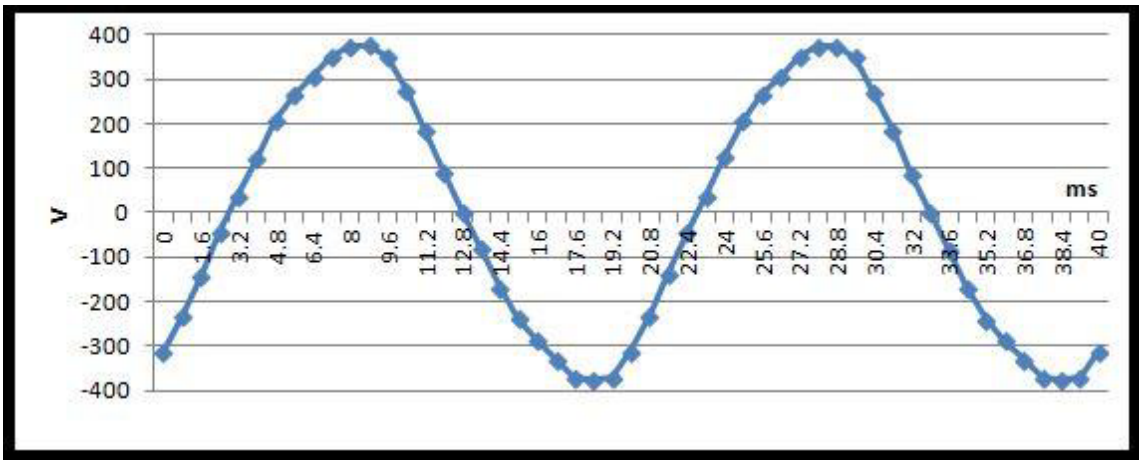


Figura 31- Tensión muestreada por el canal 3 durante el muestreo en el caso 2.

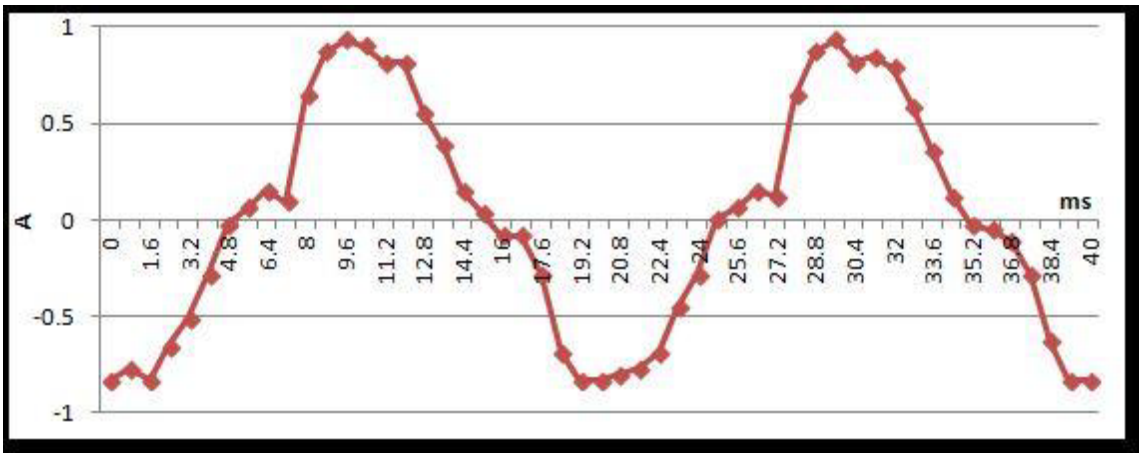


Figura 32-Intensidad media por el canal 2 durante el muestreo en el caso 2.

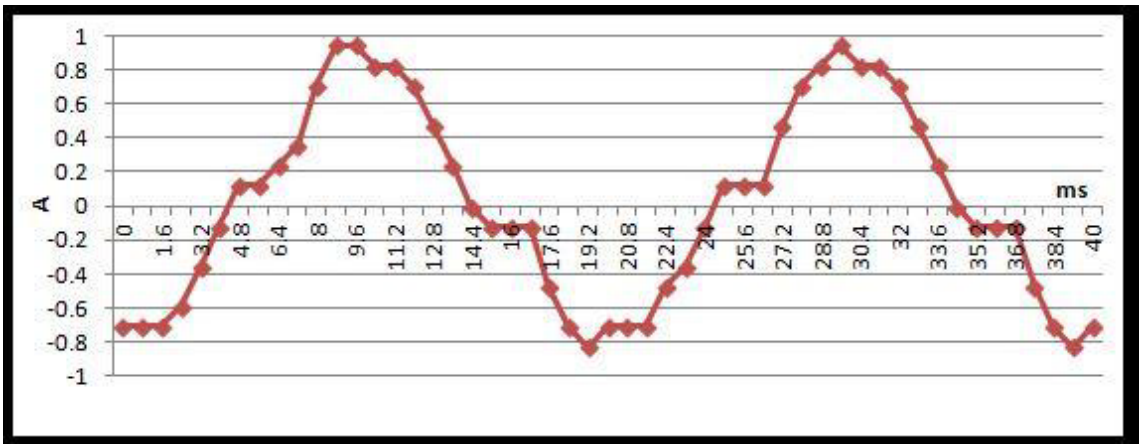


Figura 33-Intensidad medida por el canal 4 durante el muestreo en el caso 2.

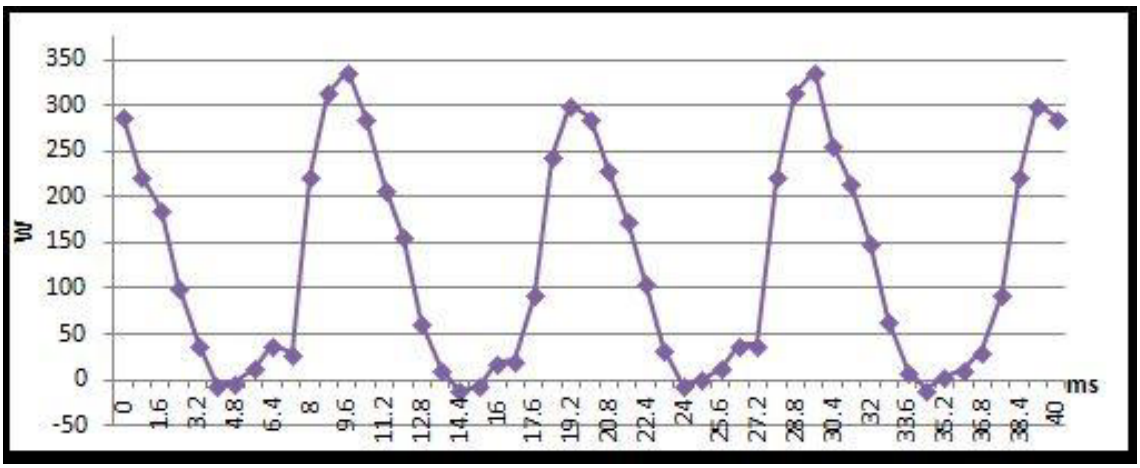


Figura 34-Potencia instantánea medida por la pareja de sensores 1 durante el muestreo en el caso 2.

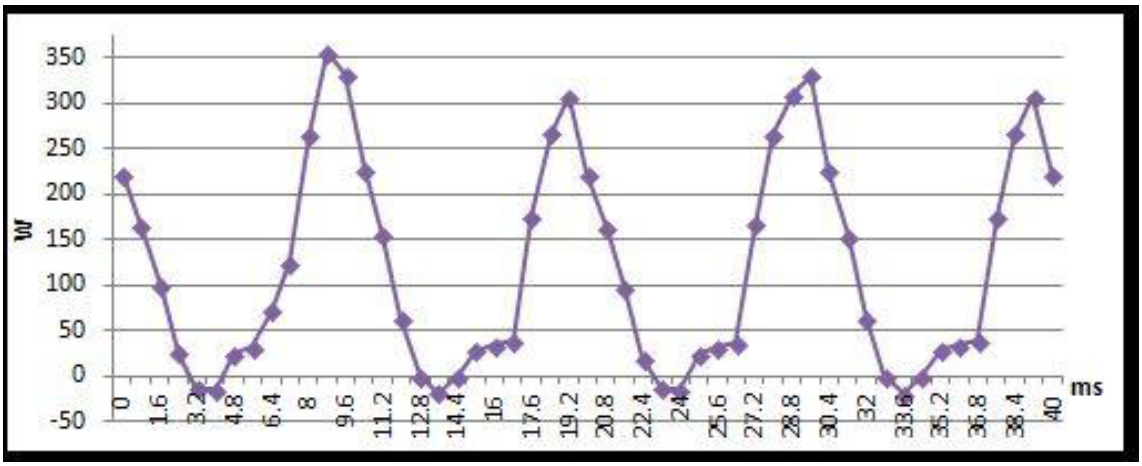


Figura 35-Potencia instantánea medida por la pareja de sensores 2 durante el muestreo en el caso 2.

Aquí ya podemos observar la naturaleza inductiva de la carga fijándonos en los intervalos de potencia instantánea negativa. Esto se debe a que hay una franja de tiempo en que tensión e intensidad tienen distinto signo haciendo que la potencia sea negativa. Estos intervalos de tiempo se deben al desfase de las magnitudes por la parte inductiva de la carga. Estos intervalos podemos observar que son más acusados en el par de sensores inductivos por el desfase propio debido a la medida con esos dispositivos.

Por otra parte, podemos ver también la forma poco sinusoidal que tiene la intensidad causada por el consumo de tipo electrónico con una etapa de entrada con rectificador no controlado que centra el consumo de corriente en los puntos del periodo en que la tensión es máxima, es decir, de nuevo asociado a la naturaleza de la carga. Recordamos que estos efectos son observables en la intensidad pues es la magnitud que demanda la carga mientras que la tensión es la aportada por la red la cual es mucho más difícil de alterar para cargas de tamaño doméstico.

Dada la peor precisión en cuanto a desfase y armónicos del segundo par de sensores a partir de ahora vamos a representar las magnitudes de interés del primer par de sensores. Así mismo procederemos a representarlos con gráficos de barras pues consideramos que es más fácil de observar e interpretar. Anteriormente hemos representado mediante gráfico de líneas pues queríamos mostrar su evolución aproximadamente sinusoidal o teníamos más de una magnitud a representar en cada gráfico y es más fácil observar diferencias y formas en este tipo de representación.

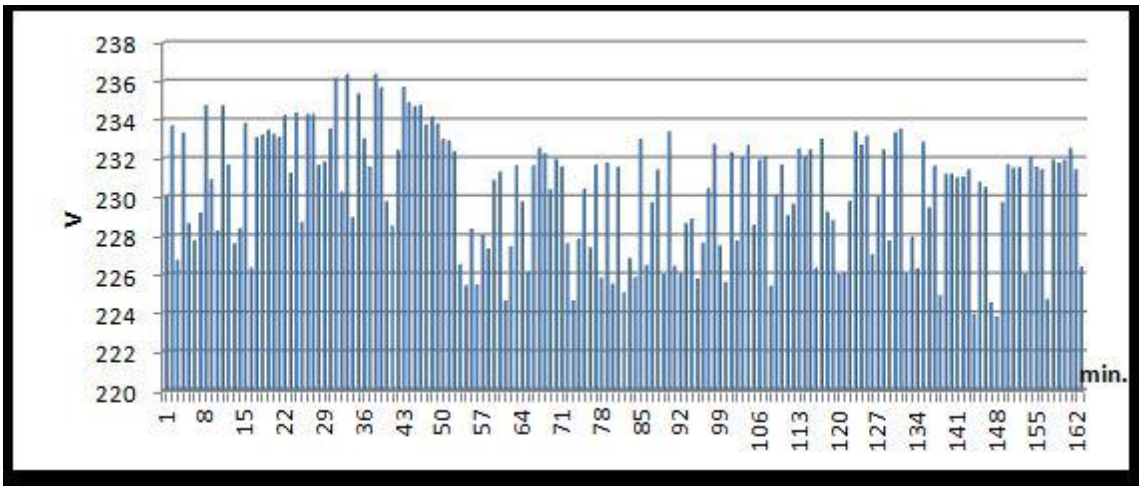


Figura 36- Tensión media 1 medida durante el ciclo de trabajo en el caso 2.

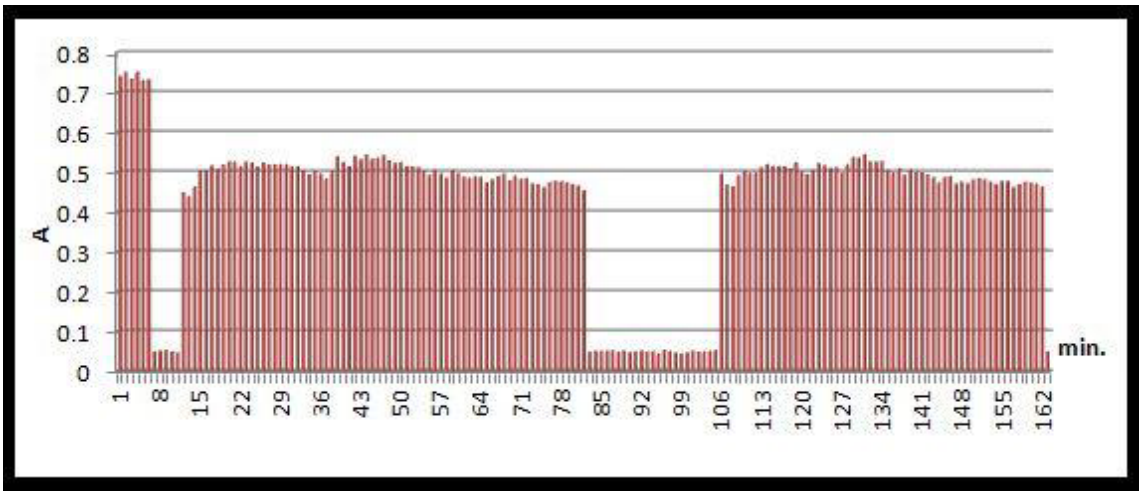


Figura 37-Intentensidad media 1 medida durante el ciclo de trabajo en el caso 2.

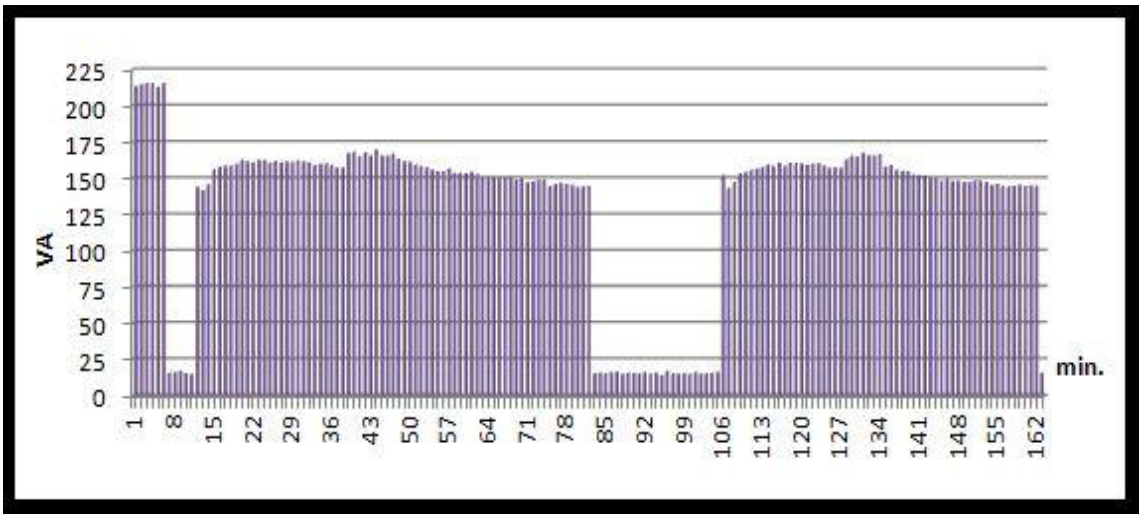


Figura 38-Potencia aparente 1 medida durante el ciclo de trabajo en el caso 2.

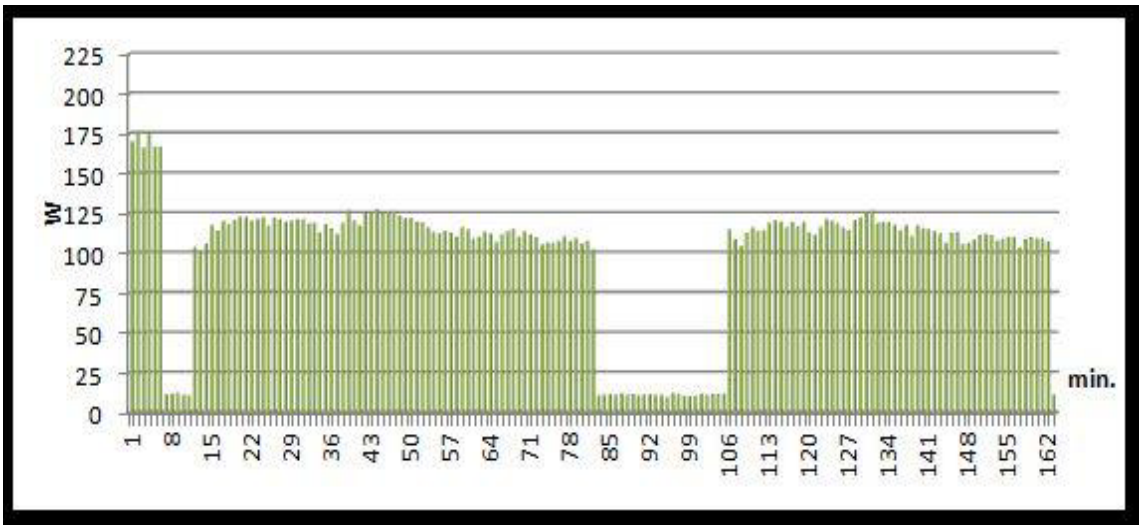


Figura 39-Potencia activa 1 medida durante el ciclo de trabajo en el caso 2.

En la representación gráfica podemos ver claramente tres tipos de funcionamiento. El primer tipo de funcionamiento es cuando acabamos de encender el equipo que tiene un pico de consumo por iniciar todos sus dispositivos y activar el compresor tanto para la nevera como para el congelador. El segundo tipo de funcionamiento es cuando vemos bajar drásticamente la potencia consumida sin bajar de todo a 0. Esto se debe a que una nevera funciona con una naturaleza de todo o nada con respecto al motor del compresor y, si los sensores detectan que no hace falta, lo apagan. El consumo base queda explicado claramente con el encendido permanente de los sensores y *displays* que tiene la nevera para su control. Finalmente el tercer tipo de consumo es en régimen permanente cuando el compresor actúa solo para la nevera cuando es requerido y ordenado por los sensores. Si la nevera permanece cerrada tendremos tiempos mayores de apagado dado que el frío se conserva gracias al aislamiento de las paredes.

Otro punto interesante es que la potencia aparente es muy similar a la potencia activa. Nuestro dispositivo es un electrodoméstico con la etiqueta de eficiencia energética A, lo cual nos informa de que, pese a tener un carácter inductivo, es el mínimo requerido para funcionar pues la potencia activa es la que nos resulta útil y la aparente es un valor asociado a la corriente consumida (para equipos que trabajan a tensión constante conectados a la red), en consecuencia, en términos generales, cuanto más parecidas sean estas magnitudes, menor consumo de corriente para la misma potencia activa, menos pérdidas en los conductores y más eficiente será el equipo.

Finalmente, pasaremos a presentar la medidas por horas, en nuestro caso han sido dos horas completas. Como podemos intuir la segunda hora completa tendrá unas medias de consumo más bajas pues de los periodos que la conforman (del periodo 61 a 120) hay bastantes periodos con el motor desconectado mientras que en la primera hora (del periodo 1 al 60) tenemos el pico inicial y a penas ciclos con el motor desconectado.

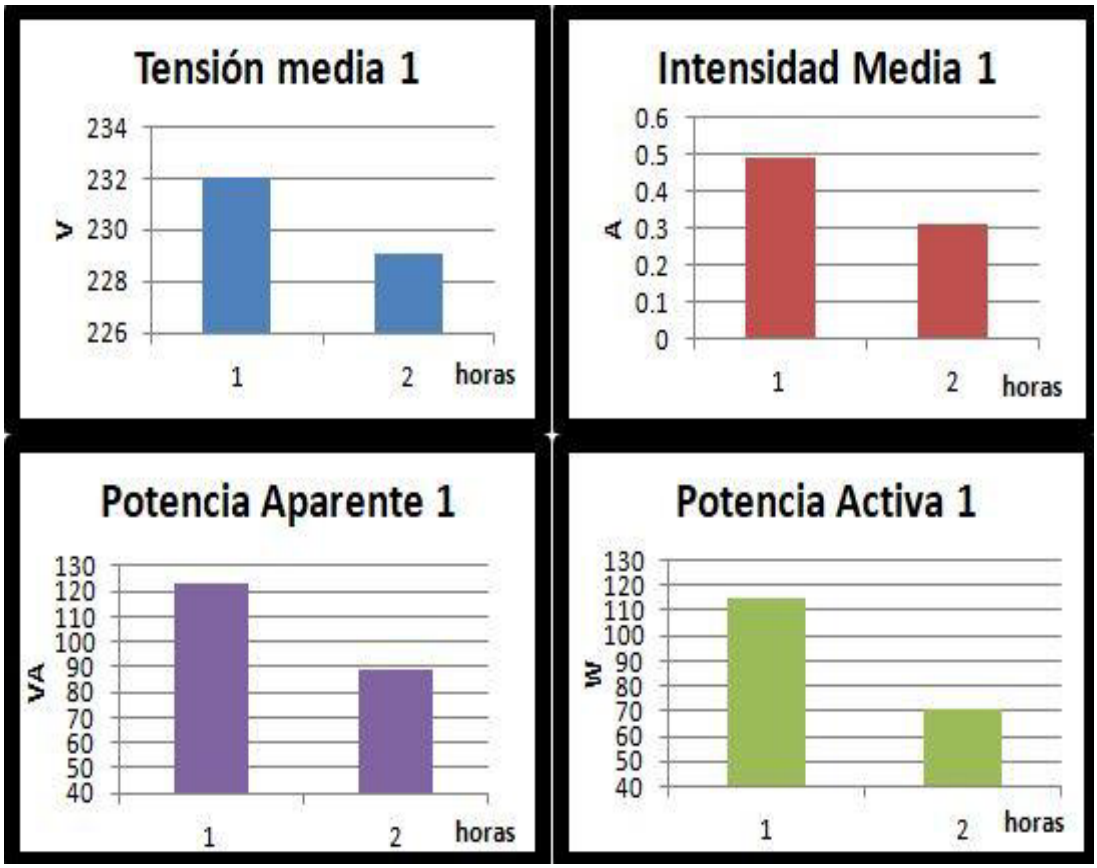


Figura 40- Gráficas de representación de magnitudes medias medidas, tensión, intensidad potencia activa y potencia reactiva a los largo del tiempo de trabajo por horas.

Si hiciéramos un muestreo más largo veríamos una tónica en general muy similar a la de las muestras tomadas. Lo único que observaríamos sería una variación sustancial entre las horas de más calor y uso como es la franja horaria del medio día y las horas nocturnas durante las cuales la nevera minimiza las pérdidas de calor. Aun así, consideramos que las muestras tomadas son suficientes para la comprensión y la demostración de aplicación en este caso.

5.3 Caso 3: Lavadora

Modelo y Marca: Lavadora Bosch WAQ24468ES EcoSilence 8 Kg 1200 Rpm A +++.

Tipo de carga: Carga múltiple dependiente del tiempo.

Tipo normal de funcionamiento: Variado dependiendo del programa de la vado y los parámetros modificados por el usuario.

Potencia: 2200-2400W de potencia máxima, nosotros trabajamos a menor potencia.

El ciclo de una lavadora es muy variado, por ello hemos desestimado la representación de periodos de muestreo dado la variación de estos. Esto se debe a que una lavadora está compuesta por múltiple cargas las cuales actúan según es necesario. Por ejemplo, tiene cargas resistivas para calentar el agua, mixtas en la bomba de agua y el motor de centrifugación, cargas variadas de sensores de diversos tipos, etc.

Por los motivos ya enunciados vamos a realizar el estudio de consumo por minuto en dos tipos diferentes de ciclos. Por una parte hemos realizado un ciclo corto en vacío con la temperatura del agua a 30 grados y la centrifugación a 600rpm y un ciclo normal de lavado de aproximadamente una hora con el agua a 30 grados y la centrifugación a 600rpm.

5.3.1 Ciclo corto

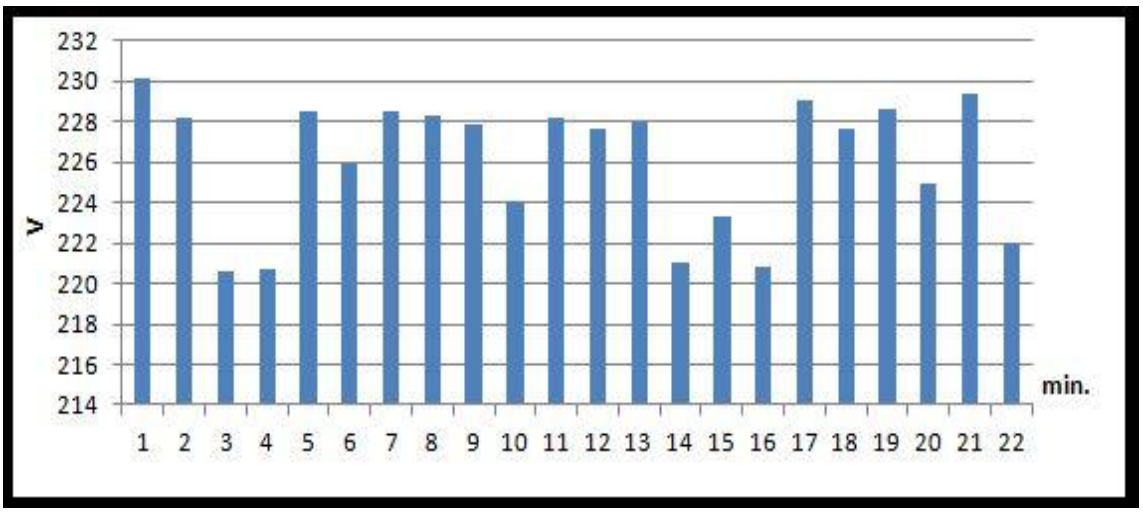


Figura 41-Tension media medida por el canal 1 durante el periodo muestreo del caso 3 en ciclo corto.

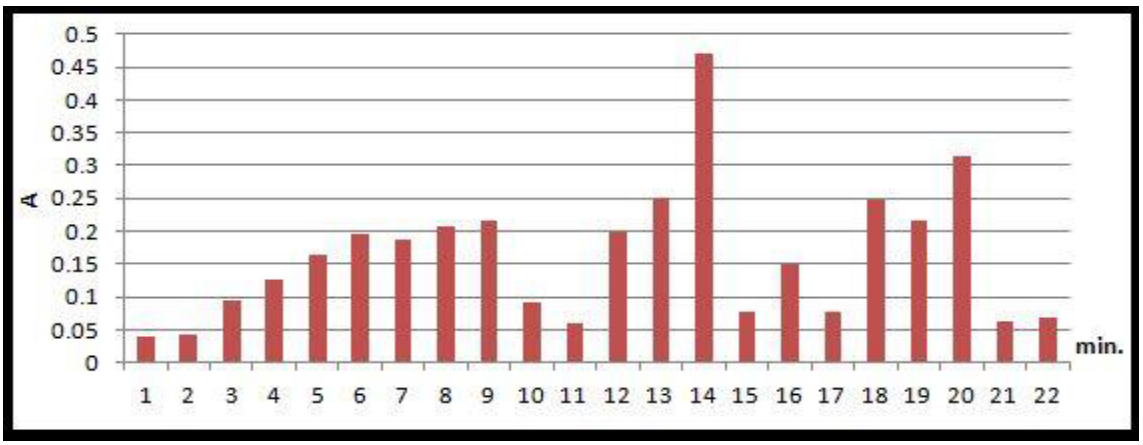


Figura 42-Intensida media medida por el canal 2 durante el periodo muestreo del caso 3 en ciclo corto.

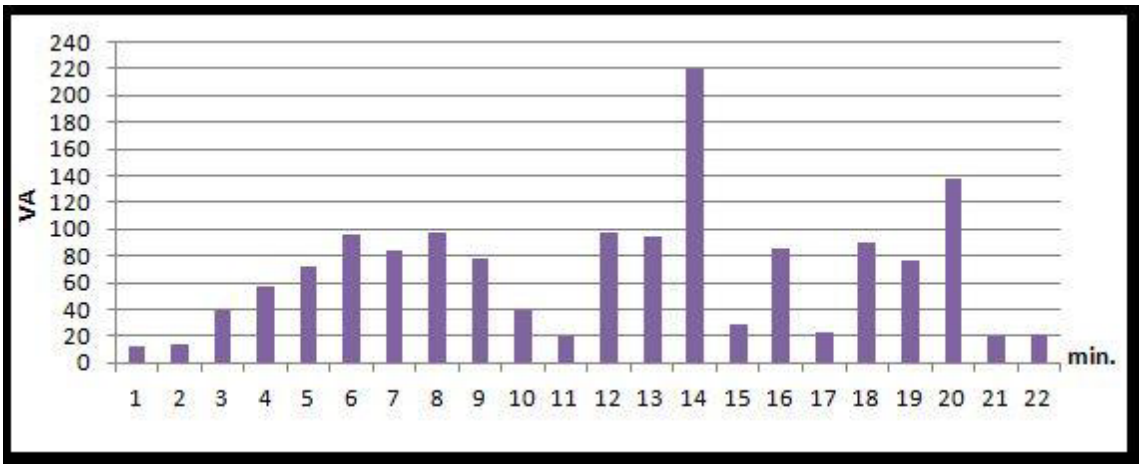


Figura 43-Potencia aparente media medida por la pareja de sensores 1 durante el periodo muestreo del caso 3 en ciclo corto.

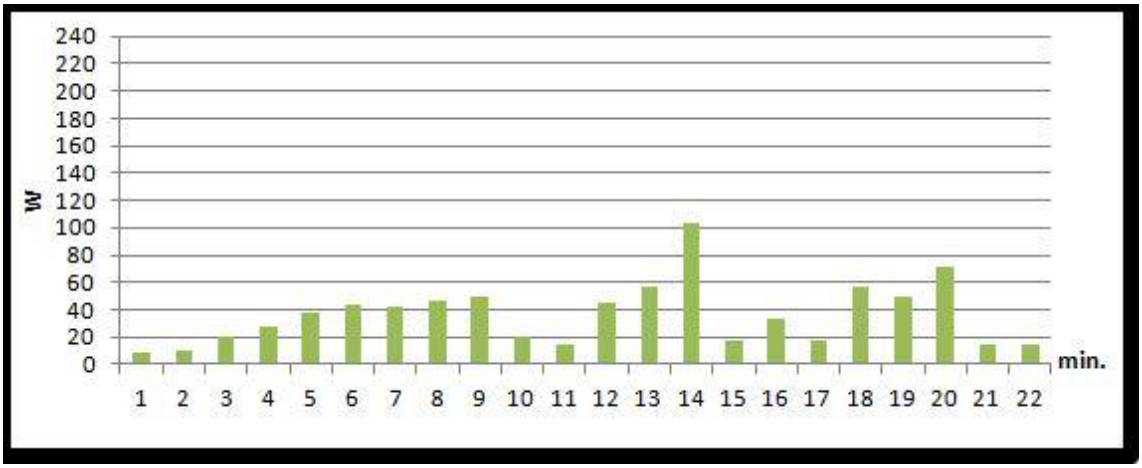


Figura 44-Potencia activa media medida por la pareja de sensores 1 durante el periodo muestreo del caso 3 en ciclo corto.

Como podemos observar el equipo a estudiar no tiene un patrón de comportamiento fácilmente identificable debido a su mayor complejidad. Lo que sí que podemos ver es que, en general, tiene un carácter bastante inductivo por la diferencia entre potencias aparente y activa. Observamos que hacia el final se producen dos periodos de consumo de corriente y de potencia activa crecientes. Esto se explica con el hecho de que al final de este ciclo corto es cuando se activa el centrifugado que junto con el calentamiento de agua usada es uno de los principales focos de consumo de la lavadora. Otro foco que podríamos considerar importante es, si se seleccionara un ciclo de lavado con temperatura más elevada, el consumo en las resistencias que se encargan de ello, aunque no es el caso del ensayo actual ya que se ha realizado en verano, a una temperatura de ciclo de 30 grados y con una temperatura de entrada del agua cercana a 20 grados. Destacaremos que el consumo en el periodo 14 es especialmente grande lo cual nos lleva a pensar que la muestra tomada ha coincidido con un funcionamiento del motor de centrifugado a velocidad elevada. Como vemos, la carga es notablemente más compleja de caracterizar que las anteriores.

5.3.1 Ciclo largo

Para ver de forma más representativa el comportamiento de la lavadora, a continuación hemos realizado el estudio de un ciclo normal con carga de ropa. Se puede observar que hay un punto especialmente anómalo por su gran magnitud con respecto los otros. Esto se debe a que hemos tomado ese periodo de muestra cuando hemos arrancado la lavadora y esto ha creado un pico de intensidad que explica el por qué todas la magnitudes son considerablemente superiores. Como se sale de los gráficos para mejorar la identificación del resto de periodos hemos cortado dicho periodo. A continuación, para no carecer de toda la información se ha realizado una tabla con los valores de las magnitudes en dicho periodo.

Tabla 14-Valores de las magnitudes medidas en el periodo 3 de la muestra

Tensión Media 1	Intensidad Media 1	Potencia Aparente 1	Potencia Activa 1
216,452 V	9,1653 A	2.545,1348 VA	1983,8646 W

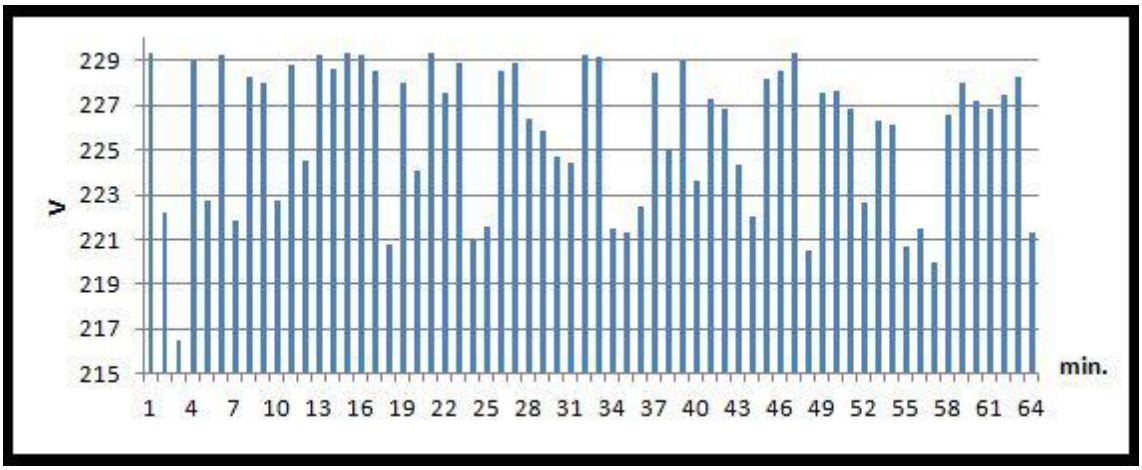


Figura 45-Tension media medida por el canal 1 durante el periodo de muestreo del caso 3 en ciclo largo.

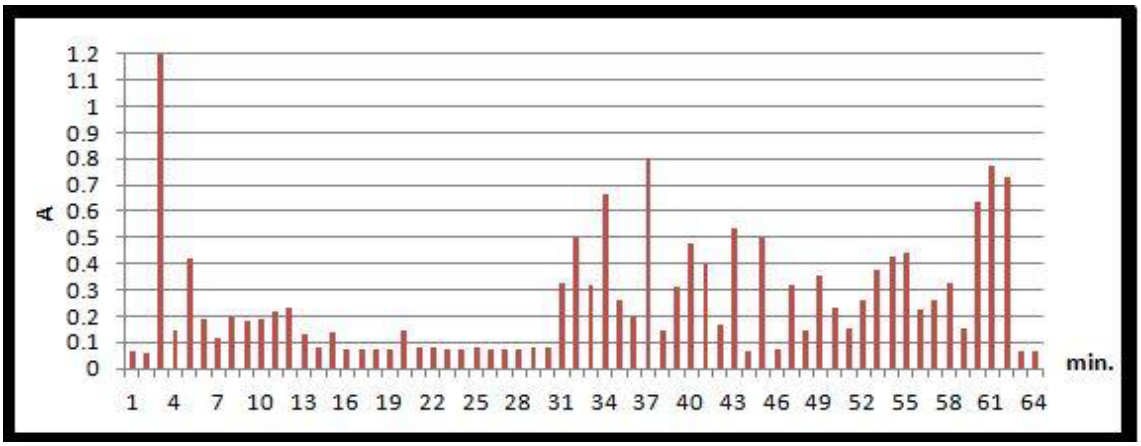


Figura 46-Intensidad media medida por el canal 2 durante el periodo de muestreo del caso 3 en ciclo largo.

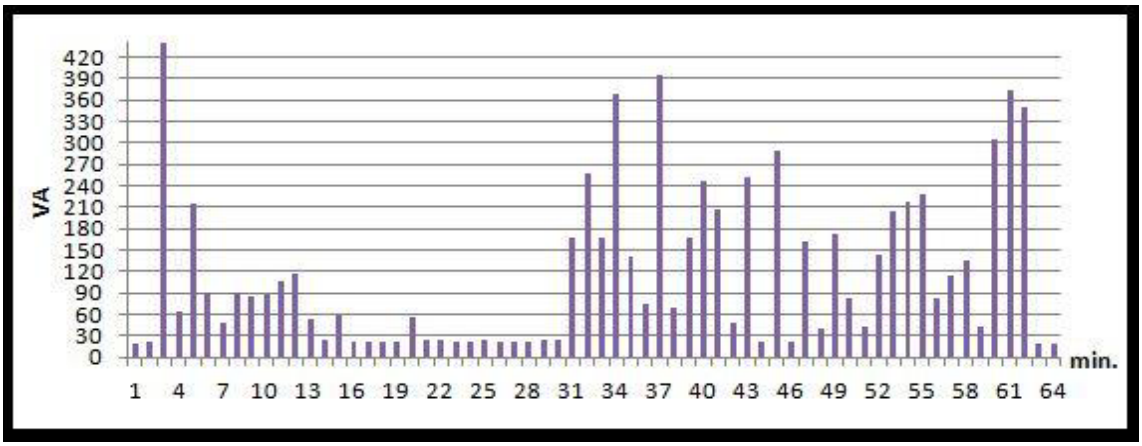


Figura 47-Potencia aparente media medida por la pareja 1 de sensores durante periodo el muestreo del caso 3 en ciclo largo.

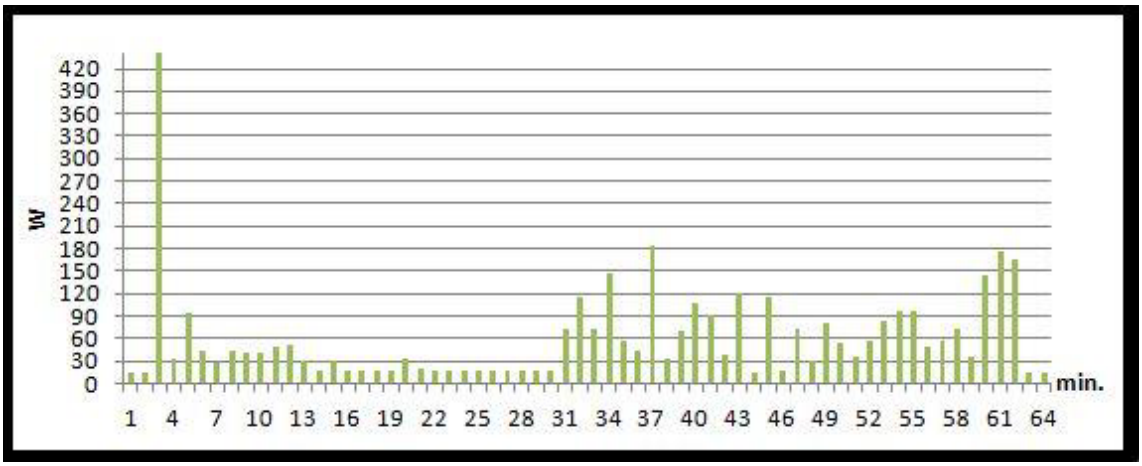


Figura 48-Potencia activa media medida por la pareja 1 de sensores durante el periodo de muestreo del caso 3 en ciclo largo.

Para este ciclo de trabajo de la carga es más fácil identificar las partes del proceso realizado por la lavadora. Primero tenemos el arranque y el calentamiento del agua donde se aprecia que hay un primer pico de consumo ya comentado. Después está el enjabonado y agitación del tambor en los que se observa que el consumo de potencia tiene un valle debido a que los movimientos del tambor son ligeros así como el consumo de las bombas de agua. Por último, se aprecia la zona de centrifugado en dos etapas en la que claramente hay un aumento de consumo por la duración y la potencia aplicada al tambor mientras se extrae el agua.

Finalmente se puede observar que el periodo de muestreo ha sido muy cercano a una hora, de esta manera podemos extraer los resultados del consumo durante este ciclo normal de lavadora. Para verlo de forma rápida y sencilla lo mostraremos en unos gráficos aunque solo se trate de un valor para cada magnitud.

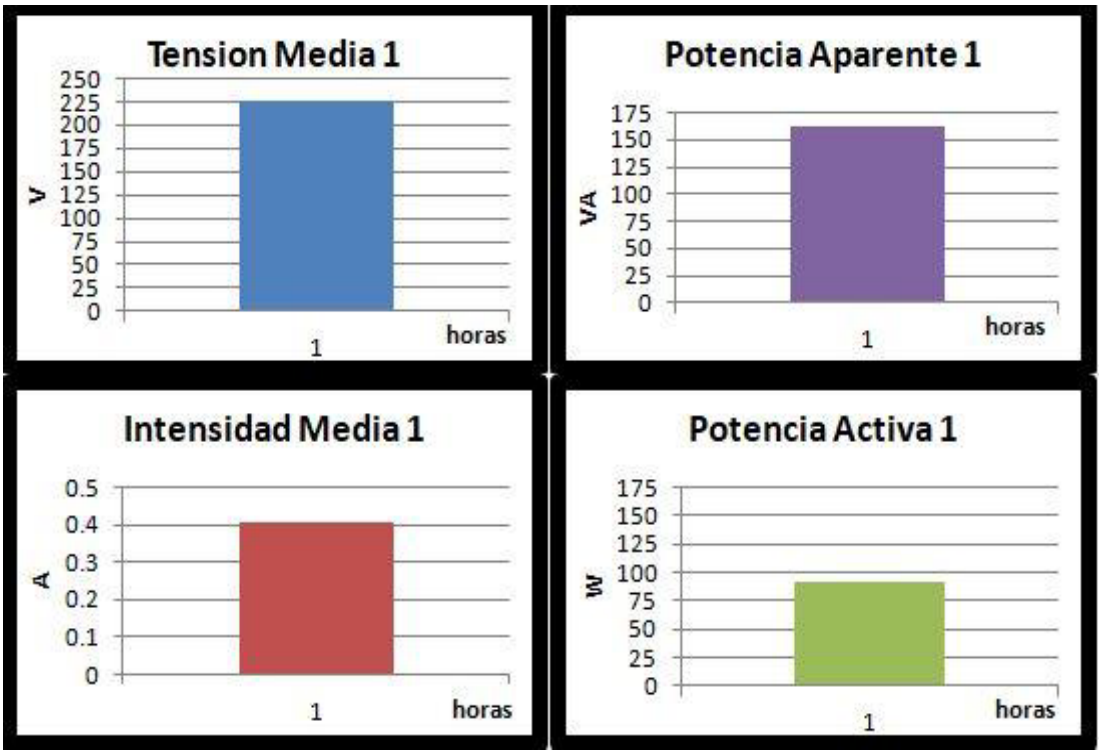


Figura 49- Gráficas de representación de magnitudes medidas, tensión, intensidad potencia activa y potencia reactiva a los largo del tiempo de trabajo por minuto.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

Recapitulando los objetivos propuestos queríamos un dispositivo que tomara medidas de forma automática y que fuera capaz de compartirlas con un dispositivo móvil. Con el proyecto desarrollado hemos cubierto todos los objetivos. El resultado final es el siguiente:

Figura 50-Resultado final.

Además, a lo largo del proyecto hemos conseguido implementar algunas posibilidades interesantes que suman interés al proyecto. Entre los aspectos más importantes del desarrollo de este proyecto cabe citar el diseño e implementación de:

- Una Interfaz de sensores eléctricos con una tarjeta de adquisición de datos industrial.
- Un sistema de captura y procesado de medidas eléctricas basada en equipo de bajo coste.
- Un sistema de gestión de la información procesada en diferentes niveles de detalle y densidad temporal.
- Una interfaz IoT de operación y reporte remoto.
- Una aplicación Android para dispositivos móviles para demostrar la funcionalidad del conjunto.

6.1 Interfaz de sensores eléctricos con tarjeta de adquisición de datos industrial

Figura 51-Detalle de localización en el resultado final de la interfaz de sensores y la tarjeta de adquisición de datos.

Con nuestro dispositivo hemos conseguido montar un sistema fiable para toma de medidas eléctricas de potencia que ofrece velocidad y robustez en la toma de datos presentando características suficientes para implementarse, tanto en aplicaciones domesticas como en entornos industriales.

El estudio nos ha ayudado a descartar los sistemas menos precisos quedándonos con los más adecuados para las aplicaciones planteadas, dejándonos un conjunto basado en dispositivos de capacidad industrial y coste reducido.

6.2 Sistema de captura y procesado de medidas eléctricas basado en equipo de bajo coste

Figura 52-Detalle de localización de procesado de datos, gestión de información e interfaz IoT.

Situándonos en el mercado actual vemos que dispositivos con características similares tienen un precio mucho más elevado que el nuestro. Esto se debe a que nuestro sistema está basado en un equipo de bajo coste a la hora de enviar, recibir y tratar información como es la RPi. Por otra parte, este mismo dispositivo nos aporta un gran potencial de cara a futuras mejoras de

tratamiento de datos. Este sistema también nos aporta flexibilidad a la hora de manejar el cómo y el cuándo queremos la toma de datos dotándonos de completo control del sistema.

6.3 Sistema de gestión de la información procesada en diferentes niveles de detalle y densidad temporal

Gracias al programa de software ideado podemos tomar muestras de diferentes características eléctricas a partir de la información muestreada en diferentes niveles de detalle: máximo, mínimo y media. Otra cosa que nos permite es tomar estos diferentes niveles de detalle para diferentes densidades temporales: minutos, horas y días.

Podemos, además, acceder y ordenar todos estos valores de forma independiente para, así, graficarlos como nos sea interesante o almacenarlos para posteriores estudios y postprocesados.

6.4 Interfaz IoT para operación y reporte remoto

Figura 53-Detalle de interfaz IoT para operación y reporte remoto.

Basándonos en el sencillo protocolo MQTT hemos conseguido desarrollar una manera de operar nuestro dispositivo a distancia tanto para procesado como para reporte de la información. Para esto nos hemos valido de una aplicación Android lo que facilita la disponibilidad de acceso para cualquier usuario dado que, como ya hemos mencionado antes, los dispositivos Android están muy extendidos. En caso de hacer falta comprar hay un amplio mercado con gran variedad de características y precios.

Algo que nos permite también el IoT en conjunción con la RPi es el hecho de poder hacer uso de actuadores y periféricos en la propia RPi dando mucho campo a mejoras en cuanto a la monitorización y control de instalaciones. Algunos de los elementos que podemos añadir a la RPi son: relés, actuadores, led, etc.

6.5 Aplicación Android para dispositivos móviles para demostrar funcionalidad del conjunto

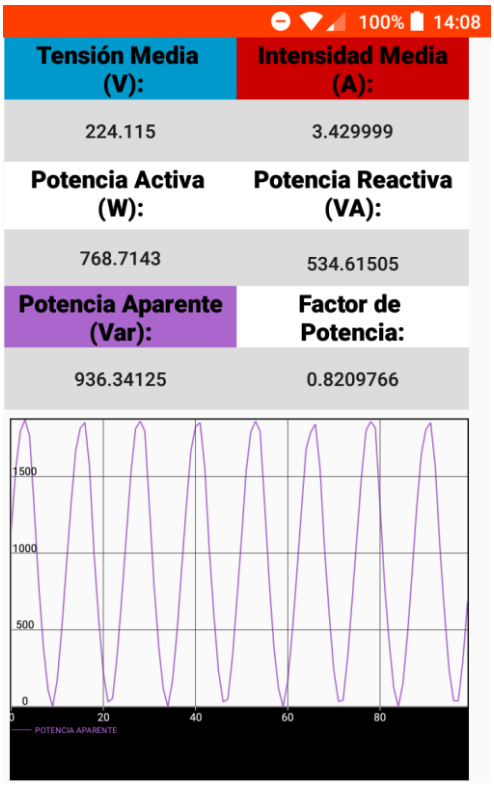


Figura 54-Detalle de captura de pantalla de aplicación mostrada en resultado final.

La aplicación desarrollada junto con el proyecto nos permite demostrar la funcionalidad de nuestro proyecto incluso si se requiriera en tiempo real. Además permite identificar de forma visual todas las magnitudes medidas y el comportamiento de estas a lo largo de un periodo definido por el usuario.

6.6 Posibles mejoras futuras del sistema

Para terminar queremos esbozar algunas ideas en las cuales nos podríamos basar para marcar el camino a seguir en la implementación de mejoras de nuestro dispositivo para aumentar la calidad final del mismo. Debemos decir que el resultado obtenido es bastante básico, cumpliendo todos los objetivos marcados Aun así, el campo de posibles mejoras es muy amplio y variado.

Empezando por la calibración y precisión que podríamos aumentar simplemente realizando los calibrados en un ambiente donde podamos tener todas las variables controladas y conocidas. Otro campo de mejora es la autonomía del dispositivo y la posibilidad de que este se independice completamente. La integración de una batería que alimente todo el dispositivo dotando de autonomía al mismo, así como la posibilidad de instalar un acceso a internet móvil para el dispositivo permitiría que este fuera completamente independiente del ambiente de trabajo.

Más posibilidades son, por ejemplo, la adaptación de nuestro dispositivo a un entorno industrial dotándolo de una envolvente sólida y capacidad de medir en equipos trifásicos. Por otra parte, se podría programar un sistema que realizara las medidas bajo demanda del usuario con sus limitaciones de toma de muestras por segundo.

La mayoría de parámetros empleados en la programación se han dejado fijos bajo configuración de fábrica, pero se podrían implementar métodos para que fueran personalizables dentro de unos rangos. Así mismo, podrían emularse dispositivos similares para mayores tensiones e intensidades eligiendo los instrumentos necesarios para las características requeridas siendo en concepto el mismo dispositivo. Finalmente podemos decir que nuestro dispositivo abre un amplísimo abanico de posibilidades en el campo de toma remota de medidas eléctricas de bajo coste y representación de información.

CAPÍTULO 7: PROGRAMAS INFORMÁTICOS UTILIZADOS

Los programas informáticos que se han empleado a lo largo de este estudio han sido:

- Compilador de código C/C++ Dev C++.
- Compilador Java para aplicaciones de dispositivos móviles Android Studio.
- Bróker De protocolo MQTT Mosquito MQTT.
- Librerías MQTT Paho java MQTT y Paho C MQTT.
- IDLE Python 2 en RPi.
- Creador de gráficos de flujo online Creatively.com.
- Paquete de programas Microsoft Office 2007.
- ProfiCad.

CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA

8.1 Recursos Online

Artículos:

- Domínguez, R. (2014). *Galvanometros: electromecanismos de los instrumentos analógicos.* Fundamentos de Electricidad. 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/
- Gonzáles 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/ppjjgdr/Electronics_Instrum/Electronics_Instrum_Files/temas/T4_med_imp_por.pdf
- Institut Valencià de l'Edificació (2017).*Base de precios del IVE 2017.* Valencia, España. Consultado desde http://www.five.es/productos/herramientas-on-line/visualizador-2017/
- Moya, R.; Invarato, R.; Cortes; D. (2017). Jarroba.com. Consultado desde https://jarroba.com/
- n/a (2013). *Microcontroladores*. Dispositivos lógicos microprogramables. Versión 3.2. Consultado desde http://perso.wanadoo.es/pictob/microcr.htm
- 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/
- Técnicas y Proyectos de mediciones (2017). *Watímetro*. Albacete, España. Consultado desde http://www.typ-instrumentos.com/watimetros.html
- 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
- Universidad Autónoma de Nuevo León (2017) *Módulo II- Transformadores de instrumentos*. México. Consultado desde http://gama.fime.uanl.mx/~omeza/pro/SE/5.pdf

Páginas web:

- http://gama.fime.uanl.mx/~omeza/pro/SE/5.pdf
- https://jarroba.com/
- http://scidle.com/es/category/ingenieria/
- https://www.prometec.net/

- https://www.youtube.com/watch?v=ZiUDgfX94pE
- http://perso.wanadoo.es/pictob/microcr.htm
- http://www.sgoliver.net/blog/
- Breuning, S. (2017).*Raspberry Web Server*. Reino Unido. Consultado desde http://raspberrywebserver.com/
- Eclipse Foundation (2017). *Mosquitto An Open Source MQTT v3.1/v3.1. Broker*. Eclipse Mosquito ™. Estados Unidos. Consultado desde https://mosquitto.org/
- Geeky Theory (2017). Geeky Theory. Open Source. Consultado desde https://geekytheory.com/
- GitHub (2017). *Eclipse Foundation*. Estados Unidos. Consultado desde https://github.com/eclipse/
- IBM (2017). *Getting started with IBM Knowledge Center*. Estados Unidos. Consultado desde https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/
- Measurement Computing Corporation (2017). Measurement computing. Consultado desde https://www.mccdaq.com/
- MQTT Protocol-Message Queuing Telemetry Transport (2017). *MQTT Protocol-Message Queuing Telemetry Transport*. Consultado desde http://mqtt.org/
- n/a (2017). Lavaradelrobot. Consultado desde https://lavaradelroboto.wordpress.com
- Raspberry Pi Foundation (2017). *Raspberry Pi documentation*. Reino Unido. Consultado desde https://www.raspberrypi.org/documentation/
- Stack Exchange Inc. (2017). *Raspberry Pi*. Consultado desde https://raspberrypi.stackexchange.com/
- Stack Exchange Inc. (2017). *Stackoverflow*. Estados Unidos. Consultado desde https://stackoverflow.com
- Tutorials point (2017). *C Standard Library Reference Tutorial*. India. Consultado desde https://www.tutorialspoint.com/c_standard_library/index.htm

Tiendas Online:

- Amazon (1996-2017). Consultado desde www.amazon.es
- Amidata (2017). *RS Productos*. Madrid, España. Consultado desde http://es.rs-online.com
- Farnell, Element 14 (2017). *Productos*. Madrid, España. Consultado desde http://es.farnell.com
- Fluke Corporation (1995-2017). Consultado desde www.fluke.com
- GT Firmengruppe (2017). *Alttec products*. Nabburg, Alemania. Consultado desde https://www.alttec.de/en/
- Mouser electronics (2017). *Products*. Munich, Alemania. Consultado desde http://www.mouser.com
- PCE Instruments (2017). Consultado desde www.pce-iberica.es
- Prometec (2017). Tienda Prometec.net. Consultado desde https://www.prometec.net/

8.2 Libros y Recursos de Texto

- *Lecciones de Física Tomo 3*. J.L. Manglano ed. UPV 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.
- *Analisis y sintesis 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 Ingenieria
- *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 82
1. Análisis de las Tecnologías Presentes en el Sector y Propuesta de Diseño 83
2. Montaje del Equipo de Hardware de Toma de Datos 83
3. Desarrollo de Software de Procesado para la Propuesta de Solución 85
4. Desarrollo de la Interfaz de Usuario Para Android 86
5. Estudio de Aplicación de la Solución Propuesta 86
Coste Total del Proyecto 87

INDICE DE TABLAS DEL PRESUPUESTO

Tabla 21- Presupuesto parcial perteneciente al paso del proyecto denotado como 1. 83
Tabla 22- Presupuesto parcial perteneciente al paso del proyecto denotados como 2. 84
Tabla 23- Presupuesto parcial perteneciente al paso del proyecto denotado como 3. 85
Tabla 24-Presupuesto parcial perteneciente al paso del proyecto denotado como 4. 86
Tabla 25-Presupuesto parcial perteneciente al paso del proyecto denotado como 5. 87
Tabla 26-Presupuesto total de ejecución del proyecto. 87

Introducción

A la hora de analizar el coste del proyecto hemos decidido dividir las tareas realizadas en el mismo en cinco apartados diferentes. Lo hemos decidido así porque consideramos que son los pasos lógicos que hemos seguido en el proceso del desarrollo del dispositivo. Así mismo también concuerdan temporalmente con los pasos seguidos en el desarrollo del trabajo.

Las cinco tareas principales han sido:

- Análisis de las tecnologías presentes en el sector y propuestas de diseño.
- Montaje del equipo de hardware de toma de datos.
- Desarrollo de software de procesado para nuestra propuesta de solución.
- Desarrollo de la interfaz de usuario android.
- Estudio de aplicación de solución propuesta.

Un pequeño inciso antes de seguir con el análisis en detalle de cada una de las partes. Para los valores económicos asignados hemos usado los precios presentes a día 20 de julio de 2017 en la página web de componentes www.rs-online.com, salvo que se indique lo contrario explícitamente. Hemos hecho esto pues consideramos que si quisiéramos realizar el proyecto sería una posible fuente a la que acudiríamos para el envío de material. Por otra parte, es un sitio web de confianza en el cual se han realizado compras por parte del Departamento de Ingeniería Eléctrica para los proyectos propios.

Por otra parte, el valor asignado de salario de 25 €/h de graduado en ingeniería en tecnologías industriales los hemos adoptado después de realizar un estudio de mercado y de salarios de los mismos dependiendo del sector. Así mismo, se han añadido a cada presupuesto parcial unos valores porcentuales adicionales. A continuación explicaremos que hemos englobado en este porcentaje:

- **Medios auxiliares**: Aquí hemos englobado todos aquellos costes que no podíamos cuantificar de forma directa como las herramientas necesarias para la realización de cada paso. Podríamos incluir aquí, por ejemplo, el coste de los cables de conexión del dispositivo, herramientas y su amortización, etc.
- **Costes directos complementarios:** Aquí incluimos los costes asociados a los pasos a seguir como pueden ser la electricidad consumida, los desplazamientos requeridos por el proyecto, etc.

Nótese que no hay ningún precio de licencia de software o de coste de servidores dado que para la opción que hemos seguido hemos usado programas de libre acceso (listados más adelante) con excepción del paquete de Microsoft. Hemos usado la licencia libre proporcionada por la universidad dado que el proyecto tiene finalidad docente.

No se ha tenido en cuenta de forma explícita la elaboración de la memoria como paso individual. Hemos considerado que la realización de este documento la incluimos en las horas realizadas por el Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, es decir yo mismo, el alumno, en cada uno de los pasos. Una vez clarificados los puntos anteriores procedamos al estudio detallado de cada uno de los pasos seguidos.

1. Análisis de las tecnologías presentes en el sector y propuesta de diseño

En este punto hemos incluido todo el estudio preliminar tanto de tecnologías disponibles similares a la de nuestro proyecto como las que nosotros usaremos en el desarrollo del mismo. A la par se ha realizado el análisis de antecedentes y de tecnologías así como la elección de los dispositivos y las configuraciones finalmente escogidas. Junto con este punto hemos realizado el apartado de nombre similar de la memoria.

Tabla 21- Presupuesto parcial perteneciente al paso del proyecto denotado como 1.

N.º Orden	Descripción	Unidades	Medición	Precio unitario (€/unidad)	Importe (€)
1	**Análisis de las tecnologías presentes en el sector y propuestas de diseño.**				
1.01	Ingeniero Técnico en Tecnologías Industriales	horas	50	25	1.250
1.02	Medios auxiliares	%	2	-	25
1.03	Costes directos complementarios	%	3	-	37,50
			TOTAL		1.312,50

2. Montaje del equipo de hardware de toma de datos

En este punto hemos incluido el montaje de la solución propuesta por parte del técnico de laboratorio. Si nos fijamos, vemos que es el grueso del coste material de nuestro proyecto. Digamos que esto sería aproximadamente lo que nos costaría a nosotros producir el dispositivo físico. El precio final es de 256,55€. Fijándonos en otros dispositivos que realizan funciones similares en las webs propias del fabricante: www.pce-iberica.es o www.fluke.com o la gama de productos listados en www.rs-oline.com es un precio muy inferior al que ofrecen estos fabricantes.

Con esto, podemos decir que estamos desarrollando un producto que tiene cabida en el mercado con las mejoras de software pertinentes y las adaptaciones propias. Nosotros situaríamos nuestro dispositivo en un punto intermedio entre los analizadores de energía montados en circuito y los analizadores de energía más especializados y con más posibilidades como son los producidos por Fluke, entre otros fabricantes. Ambos han sido comentados con anterioridad.

Tabla 22- Presupuesto parcial perteneciente al paso del proyecto denotados como 2.

N.º Orden	Descripción	Unidades	Medición	Precio unitario (€/unidad)	Importe (€)
2	**Montaje del dispositivo de hardware.**				
2.01	Especialista electricidad (De acuerdo con www.five.es,Valencia)	horas	1	15,7	15,70
2.02	LEM LTS 6-NP	Ud.	1	12,18	12,18
2.03	TracoPower TMP 4105	Ud.	1	15.64	15,64
2.04	Alttec L01-6211	Ud.	1	3,18	3,18
2.04	KOA Speer MF 220 KΩ	Ud.	2	0,19	0,38
2.05	KOA Speer MF 1 KΩ	Ud.	2	0,19	0,38
2.06	Block VB 1,5/1/6	Ud.	1	3,69	3,69
2.07	KOA Speer MF 220 Ω	Ud.	1	0,19	0,19
2.08	KOA Speer MF 1KΩ	Ud.	1	0,19	0,19
2.09	BTH 1208-LS con cables y accesorios (De acuerdo con www.mccdaq.com julio 2017)	Ud.	1	199	199,00
2.10	Conectores hembra de extensión recubiertos Schuko de 4 vías con conector macho	Ud.	1	4,56	4,56
2.09	Cable de alimentación RS Pro, 2,5m, Negro, C13, 10 A a Schuko, 250 V ac	Ud.	1	4,88	4,88
2.10	Medios auxiliares	%	2	-	5,20
2.11	Costes directos complementarios	%	3	-	7,80
			TOTAL		272,97

3. Desarrollo de software de procesado para la propuesta de solución

Hemos llegado a uno de los pasos de mayor importancia. Aquí está el grueso de horas invertidas en el desarrollo del dispositivo. Dentro de este punto incluimos la implementación de software de toma de datos, del procesado y del postprocesado de la información. En las horas asignadas al ingeniero se han incluido las horas dedicadas al aprendizaje básico de programación de comandos en Linux y la instalación de todos los elementos necesarios en el dispositivo para su funcionamiento.

Tal vez se considere que las horas invertidas son excesivas pero ahí incluimos también los procesos de prueba y error que se tienen que realizar hasta encontrar la solución óptima. Esta forma de progresar es bastante costosa en cuanto a tiempo se refiere. Esto último lo justificamos alegando que muchos conocimientos de programación asociados se han adquirido durante la realización del proyecto. Tampoco hay coste de software en esta parte dado que nos hemos apoyado en la amplia comunidad de programadores de RPi ya sea por oficio o por afición que tiene el dispositivo. Cabe hacer una mención especial a la página web www.stackoverflow.com la cual nos ha acompañado a lo largo de toda la implementación resolviendo dudas con la claridad necesaria, y funcionando como fuente de consulta habitual.

Tabla 23- Presupuesto parcial perteneciente al paso del proyecto denotado como 3.

N.º Orden	Descripción	Unidades	Medición	Precio unitario (€/unidad)	Importe (€)
3	**Desarrollo de software de procesado para la plataforma Raspberry Pi y BTH1208-LS.**				
3.01	Raspberry Pi Modelo 3 B	Ud.	1	36.9	36,9
3.01	Fuente de alimentación Raspberry Pi, 5.1V, 2.5A Micro USB	Ud.	1	7.27	7,27
3.02	Cable HDMI 1 m	Ud.	1	3.35	3,35
3.03	Envolvente RS Pro Raspberry Pi 3	Ud.	1	5.03	5,03
3.04	Tarjeta micro SD SanDisk de 8gb (de acuerdo con www.amazon.es julio 2017)	Ud.	1	12.66	12,66
3.05	Ingeniero Técnico en Tecnologías Industriales	horas	160	25	4.000
3.06	Medios auxiliares	%	2	-	81,30
3.07	Costes directos complementarios	%	3	-	121,96
			TOTAL		4.268,47

4. Desarrollo de la interfaz de usuario para Android

En este punto sí que hemos incluido el aprendizaje de las herramientas, pero de forma parcial. Con esto me refiero a que se ha cursado una asignatura llamada "Desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles" para el aprendizaje del uso de Android Studio, pero no ha incluido todas las horas aportadas a dicha asignatura por el hecho de que no son necesarios todos los conocimientos adquiridos para la realización del proyecto . Aún así, si que se ha tenido en cuenta la parte estimada de horas en el cómputo total de horas trabajadas por el Ingeniero Técnico en Tecnologías Industriales.

Aquí hemos tenido en cuenta el tiempo empleado en la implementación con Android Studio de la aplicación para dispositivos Android:

Tabla 24-Presupuesto parcial perteneciente al paso del proyecto denotado como 4.

N.º Orden	Descripción	Unidades	Medición	Precio unitario (€/unidad)	Importe (€)
4	**Desarrollo de interfaz usuario Android.**				
4.01	Ingeniero Técnico en Tecnologías Industriales	horas	100	25	2.500
4.02	Medios auxiliares	%	2	-	50
4.03	Costes directos complementarios	%	3	-	75
			TOTAL		2.625

5. Estudio de aplicación de la solución propuesta

En este paso hemos incluido el estudio final de resultados de nuestra solución. Mayormente, hemos tenido en cuenta la parte de procesado de información y redacción de informe. Esto se debe a que, a la hora de hacer el estudio de implementación, debemos conectar una carga y esperar a que tenga variaciones; por ejemplo, si lo conectamos a una lavadora o a una nevera. Con esto a lo que me refiero es que no hace falta estar pendiente sino más bien lo podemos dejar funcionando y realizar otras tareas.

El grueso realizado por el ingeniero viene después cuando hemos tenido que representar los resultados y analizar los mismos. Por eso podemos observar que el tiempo invertido es poco en comparación con los demás apartados. Así mismo aunque lo hemos situado al final, se puede realizar una vez implementada la interfaz básica dado que los datos hemos querido representarlos con las herramientas de Microsoft Excel por los motivos ya antes justificados.

Tabla 25-Presupuesto parcial perteneciente al paso del proyecto denotado como 5.

N.º Orden	Descripción	Unidades	Medición	Precio unitario (€/unidad)	Importe (€)
5	**Estudios de aplicación de solución propuesta.**				
5.01	Ingeniero Técnico en Tecnologías Industriales	horas	25	25	625
5.02	Medios auxiliares	%	2	-	12,5
5.03	Costes directos complementarios	%	3	-	18,75
			TOTAL		656,25

Coste total del proyecto

Siguiendo todos los pasos anteriores y realizando la suma de los costes asociados a cada uno de ellos obtenemos a continuación el coste total de nuestro proyecto:

Tabla 26-Presupuesto total de ejecución del proyecto.

Nº Orden	Descripción	Importe (€)	Importe acumulado (€)
1	Estudio previo de tecnologías existentes en el mercado.	1,312.50	1.312,50
2	Montaje del dispositivo de hardware.	272,97	1.585,47
3	Desarrollo de software de procesado para la plataforma Raspberry Pi y BTH1208-LS.	4.268,47	5.853,94
4	Desarrollo de interfaz usuario Android.	2.625	8.478,94
5	Estudios de aplicación de solución propuesta.	656,25	9.135,19
		TOTAL	9.135,19

Estos costes son los de desarrollo e implementación de un elemento del producto proyectado. Aún así, podríamos reducir los costes físicos del producto usando los elementos propuestos en un principio bajando notablemente el coste de las tarjeta de adquisición de datos, reduciendo así el coste material o planteando el añadido de algún elemento más como puede ser una pantalla táctil de acceso a la RPI que tiene un coste 56,32 €.

ANEJOS

INDICE DE ANEJOS

1. Manual de usuario del dispositivo
2. Manual de usuario de la aplicación
3. Ficha de características de transformador de corriente L01-6211 de Alttec
4. Ficha de características del sensor de efecto Hall LTS 6-NP de LEM
5. Ficha de características fuente de alimentación TMP 4105 Traco Power
6. Ficha de características de la serie de resistencias axiales KOA Speer serie MF
7. Ficha de características del transformador de tensión VB 1,5/1/6 Block
8. Ficha de características de la tarjeta de adquisición de datos USB-201 MC
9. Ficha de características de la tarjeta de adquisición de datos BTH 1208-LS MC
10. Fichas de características de Raspberry Pi

ANEJO 1: Manual de usuario del dispositivo

1 .Primera instalación

La primera vez que encendamos la RPi deberemos acceder al dispositivo con un monitor para configurar la conexión a internet automática de la red que usaremos para intercambio de datos.

El sistema está preparado para conexión via wi-fi. Para hacer esta configuración debemos seguir los siguientes pasos:

1. Acceder a la consola de comandos de la RPi

2. Ejecutar el comando:
$ sudo nano /etc/network/interfaces

En este punto se mostrara el siguiente código o uno muy similar:

```
auto lo
iface lo inet loopback
iface eth0 inet dhcp
allow-hotplug wlan0
auto wlan0
iface wlan0 inet dhcp
        wpa-ssid "ssid"
        wpa-psk "password"
```

Figura 1- Ejemplo de fichero de declaración de interfaces de red de la RPi.

3. Deberemos editar las siguientes líneas de código:

```
wpa-ssid "ssid"
wpa-psk "password"
```

Figura 2-Detalle del fichero de configuración de interfaces de red de la RPi.

"ssid": aquí sustituiremos estas cadenas de caracteres por el nombre de nuestra red.

"password": aquí sustituiremos esta cadena de caracteres por la contraseña de acceso a nuestra red.

4. Guardamos los cambios realizados con la combinación de teclas "Ctrl+O" luego "Enter" o "S" según lo que nos pida nuestra RPi.

5. Acto seguido apagamos las RPi .

Una vez hecho esto deberíamos ver como nuestra RPi se conecta de forma automática a internet al conectarla a la luz.

2. Uso del programa

Para usar la aplicación tenemos dos posibilidades.

Primero tenemos la forma más sencilla pero de menos utilidad que es el uso en la consola del servidor a través de la página web www.cloudmqtt.com accediendo a la cuenta asignada al servidor tenemos una pestaña llamada “Websocket UI” en la cual podemos escribir comandos en el topic deseado y recibir la información necesaria. Esta venta la hemos usado como consola registradora de la información enviada.

La segunda forma mucho más útil es usar la aplicación android para obtener los resultados deseados de forma grafica y guardar la información en ficheros internos del teléfono. Aún así hemos ideado la aplicación android como una forma de monitorizar el funcionamiento del dispositivo de muestreo, reservando para más adelante extraes los ficheros de información de la RPi después de su desconexión obteniendo manualmente los ficheros para añadir a nuestro estudio de aplicación.

Hemos simplificado al máximo la conexión de servidores y usuarios teniendo por defecto un nombre y un usuario cada dispositivo sin posibilidad de cambiarlo a no ser que reprogramemos el código base de la aplicación. De todas formas podríamos idear un sistema por el cual podríamos cambiar los servidores de conexión y los nombre de los mismos pero hemos considerado que esto escapa al objetivo principal del proyecto y a los conocimientos de programación de servidores del que disponemos ahora mismo.

3. Acceso a ficheros en la RPi

Los ficheros de la RPi se guardan en el directorio donde ejecutamos el programa de c conectándonos de forma manual con teclado y ratón o con alguna interfaz que nos permita navegar por la RPi tenemos suficiente para acceder a los mismos y obtener la información como nos sea de mayor interés para nosotros.

4. Funcionamiento normal

Una vez hecha por primera vez la configuración la RPi debería de funcionar de forma normal una vez la conectáramos a la corriente mientras estuviera conectada la tarjeta de adquisición , de otra manera el programa se cerrara automáticamente.

ANEJO2: Manual de usuario de la aplicación

La aplicación asociada a nuestro dispositivo es muy sencilla aun así a continuación se realizara una breve explicación de las funcionalidades que ofrece

Nada más acceder a la aplicación la pantalla nos encontramos con la siguiente pantalla:

Figura 1-Pantalla de inicio de la aplicación.

En esta pantalla es donde, al tocar alguna de las opciones, enviamos el comando asociado a la misma:

- Mes: enviamos el comando asociado a los últimos 30 días.
- Días: enviamos el comando asociado al último día, es decir las últimas 24 h.
- Hora: enviamos el comando asociado a los últimos 60 minutos, es decir la última hora.
- ÚLTIMA MUESTRA: Nos envía la última muestra tomada, es decir, el último minuto.

Una vez hayamos pulsado una de las opciones, la aplicación nos llevara a otra pantalla. Todas las pan tallas son iguales excepto la asociada a muestras, que es muy similar pero tiene una peculiaridad que comentaremos más adelante.

Para seguir con el ejemplo nosotros hemos seleccionado la opción “Dia”.

Figura 2- Pantalla asociada a opción genérica.

Cuando entremos en dicha pantalla una notificación aparecerá en pantalla diciéndonos si ha sido posible conectarnos al servidor con el mensaje emergente CONNECTED. Si no fuera posible también nos avisara con el mensaje emergente CONNECTION FAILED.

Por otra parte, mientras no se haya recibido datos las magnitudes a representar en la casilla asignada al valor medio de dicha magnitud para nuestro periodo de muestreo aparecerá "N0N3".

Si hay algún mensaje de error o diferente a nuestro formato de envío definido ya mencionado antes aparecerá también en una notificación emergente en la pantalla.

Una vez hayamos recibido todos los mensajes asociados a nuestro comando recibiremos una notificación en pantalla diciéndonos ENVIO COMPLETADO. Las medias aparecerán automáticamente en sus casillas cuando esto suceda.

Por otra parte si queremos ver gráficamente representados los valores asociados a esa media para todo el periodo solo debemos de pulsar en la parte de color asociada a la variable. Automáticamente aparecerá abajo un grafico de barras con la escala adaptada a cada magnitud. En esta zona del grafico podemos, a voluntad, alejar y acercar el grafico de las magnitudes. Cada variable tiene su color asociado para la fácil identificación de lo que estamos viendo en pantalla, Por otra parte la magnitud representada aparece marcada en la leyenda, en la zona negra bajo el grafico.

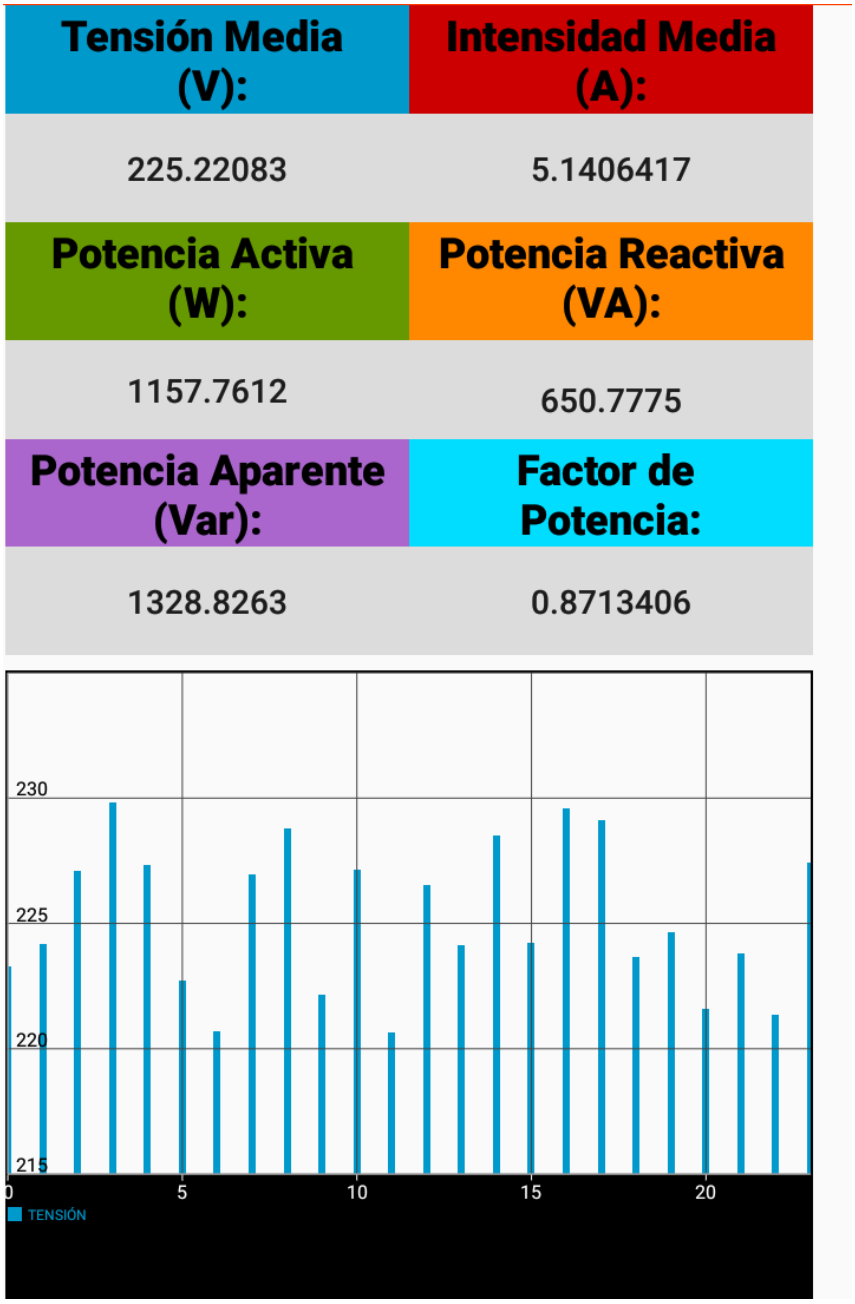


Figura 3- Detalle de gráfico asociado a magnitud media, en este caso tensión media.

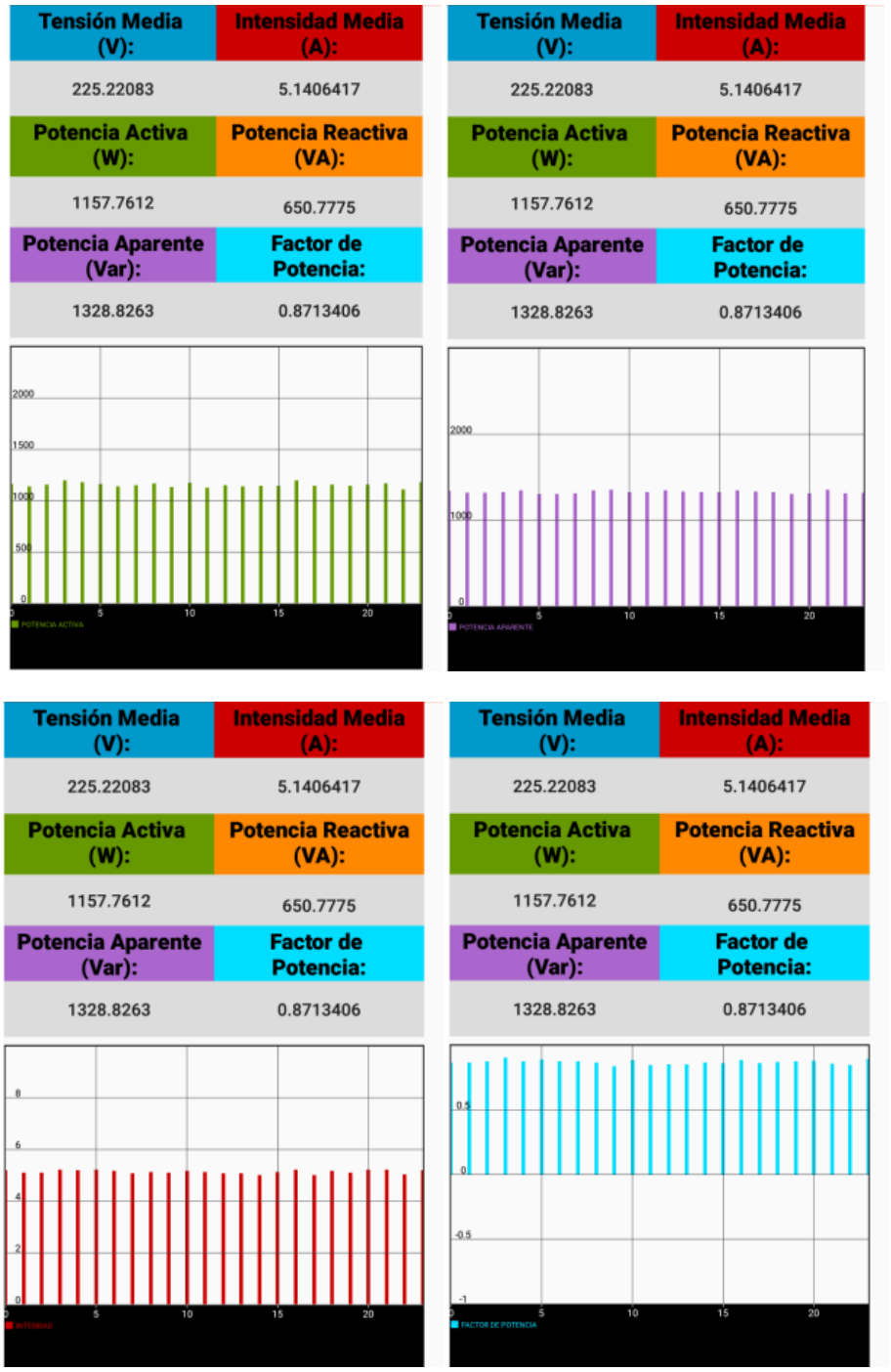


Figura 4- Otro gráficos asociados a otras magnitudes medias.

Si queremos elegir otro comando solo tenemos que pulsar el botón atrás y volveremos al menú borrando los datos de la muestra que teníamos en pantalla y volviendo a pedir los mismo datos.

La peculiaridad que debemos comentar de la pantalla asociada a la ultima muestras es que en esta solo están coloreadas las magnitudes de tensión intensidad y potencia aparente dado que son las únicas magnitudes que tenemos para cada uno de los instes de nuestro periodo. Esto se debe a que como ya hemos comentado antes las otras magnitudes son dependientes de la muestras. No obstante sí que podemos calcular las demás magnitudes asociadas al periodo que queremos representar.

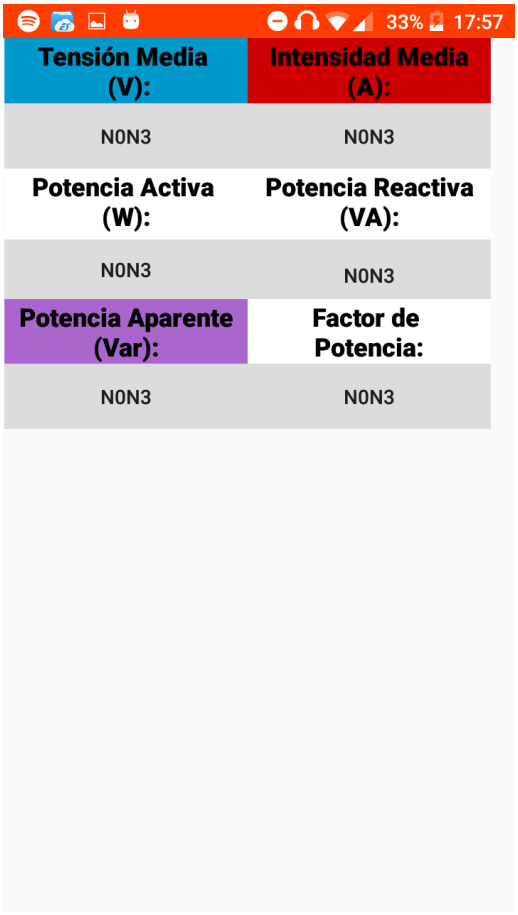


Figura 5-Detalle de pantalla de muestra.

Current Transducer LTS 6-NP

I_{PN} = 6 At

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed, mixed with galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).

16065

Electrical data

I_{PN}	Primary nominal current rms		6	At
I_{PM}	Primary current, measuring range		0 .. ± 19.2	At
$\hat{I}_P$	Overload capability		250	At
V_{OUT}	Output voltage (Analog) @ I_P		2.5 ± (0.625·I_P/I_{PN})	V
	I_P = 0		2.5 [1]	V
G	Sensitivity		104.16	mV/A
N_S	Number of secondary turns (± 0.1 %)		2000	
R_L	Load resistance		≥ 2	kΩ
R_{IM}	Internal measuring resistance (± 0.5 %)		208.33	Ω
TCR_{IM}	Temperature coefficient of R_{IM}		< 50	ppm/K
V_C	Supply voltage (± 5 %)		5	V
I_C	Current consumption @ V_C = 5 V	Typ	28+I_S [2]+(V_{OUT}/R_L)	mA

Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy @ I_{PN}, T_A = 25°C		± 0.2		%
	Accuracy with R_{IM} @ I_{PN}, T_A = 25°C		± 0.7		%
ε_L	Linearity error		< 0.1		%
			Typ	Max	
TCV_{OUT}	Temperature coefficient of V_{OUT} @ I_P= 0	- 10°C .. + 85°C	80	200	ppm/K
		- 40°C .. - 10°C		250	ppm/K
TCG	Temperature coefficient of G	- 40°C .. + 85°C		50 [3]	ppm/K
V_{OM}	Magnetic offset voltage @ I_P = 0,				
	after an overload of 3 x I_{PN}			± 0.5	mV
	5 x I_{PN}			± 2.0	mV
	10 x I_{PN}			± 2.0	mV
t_{ra}	Reaction time @ 10 % of I_{PN}		< 100		ns
t_r	Response time to 90 % of I_{PN} step		< 400		ns
di/dt	di/dt accurately followed		> 15		A/µs
BW	Frequency bandwidth (0 .. - 0.5 dB)		DC .. 100		kHz
	(- 0.5.. 1 dB)		DC .. 200		kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature	- 40 .. + 85	°C
T_S	Ambient storage temperature	- 40.. + 100	°C
m	Mass	10	g
	Standards	EN 50178: 1997	
		IEC 60950-1: 2001	

Notes: [1] Absolute value @ T_A = 25°C, 2.475 < V_{OUT} < 2.525

[2] I_S = I_P/N_S

[3] Only due to TCR_{IM}.

Features

- Closed loop (compensated) multi-range current transducer using the Hall effect
- Unipolar voltage supply
- Isolated plastic case recognized according to UL 94-V0
- Compact design for PCB mounting
- Incorporated measuring resistance
- Extended measuring range.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Very low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

Application domain

- Industrial.

LEM reserves the right to carry out modifications on its transducers, in order to improve them, without prior notice.

Current Transducer LTS 6-NP

Isolation characteristics

V_d	Rms voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 min	3	kV
$\hat{V}_w$	Impulse withstand voltage 1.2/50 µs	> 8	kV
		Min	
V_e	Rms voltage for partial discharge extinction @ 10pC	> 1.5	kV
dCp	Creepage distance [1]	15.5	mm
dCl	Clearance distance [2]	6.35	mm
CTI	Comparative Tracking Index (group IIIa)	175	

Notes: [1] On housing
[2] On PCB with soldering pattern UTEC93-703.

Applications examples

According to EN 50178 and IEC 61010-1 standards and following conditions:

- Over voltage category OV 3
- Pollution degree PD2
- Non-uniform field

	EN 50178	IEC 61010-1
dCp, **dCl**, $\hat{V}_w$	Rated insulation voltage	Nominal voltage
Single insulation	600 V	600 V
Reinforced insulation	300 V	300 V

Safety

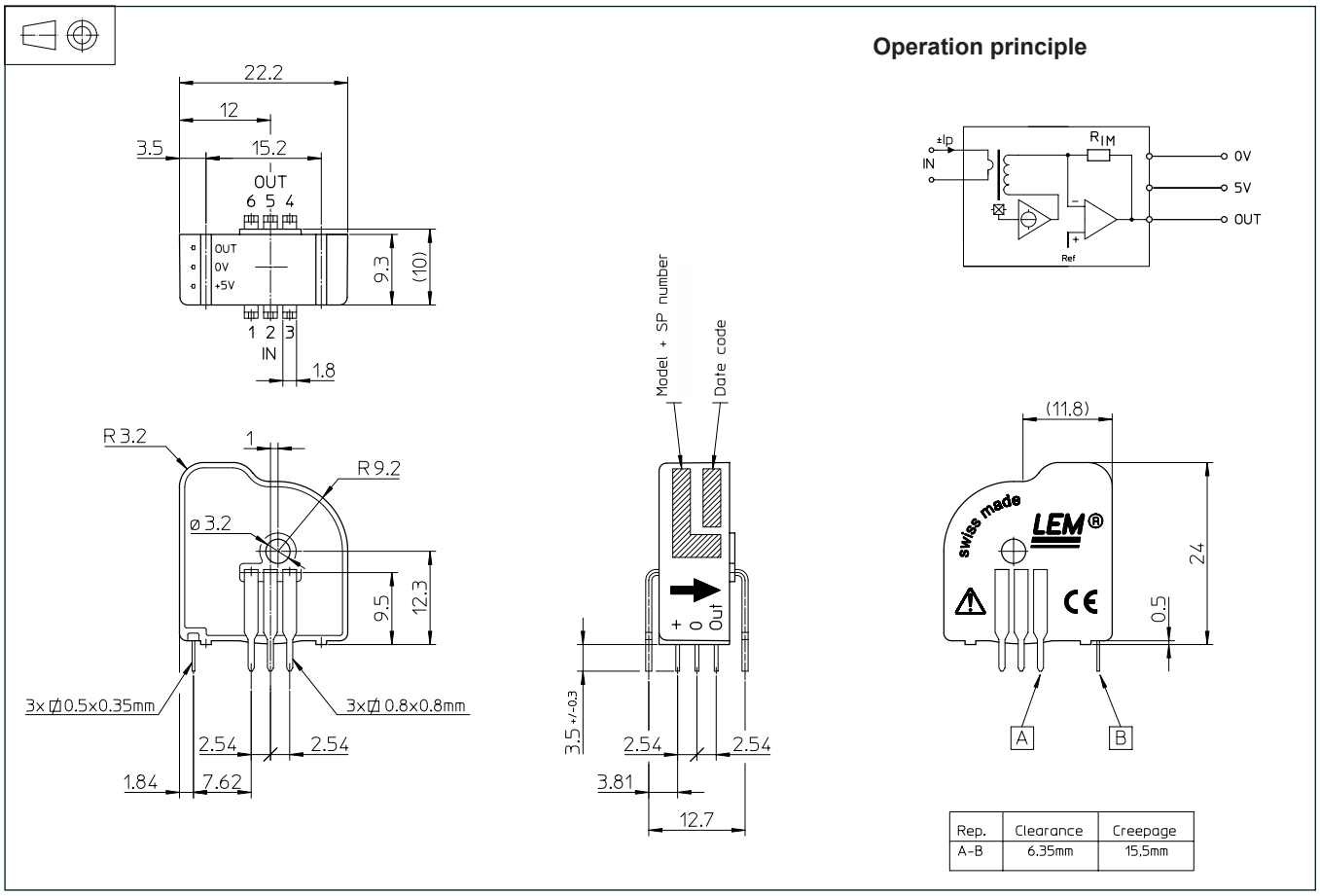
This transducer must be used in electric/electronic equipment with respect to applicable standards and safety requirements in accordance with the manufacturer's operating instructions.

Caution, risk of electrical shock

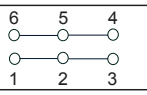
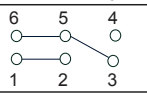
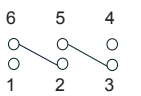
When operating the transducer, certain parts of the module can carry hazardous voltage (eg. primary busbar, power supply).
Ignoring this warning can lead to injury and/or cause serious damage.
This transducer is a build-in device, whose conducting parts must be inaccessible after installation.
A protective housing or additional shield could be used.
Main supply must be able to be disconnected.

LEM reserves the right to carry out modifications on its transducers, in order to improve them, without prior notice.

Dimensions LTS 6-NP (in mm.)



Rep.	Clearance	Creepage
A-B	6.35mm	15.5mm

Number of primary turns	Primary nominal current rms I_{PN} [A]	Nominal output voltage V_{OUT} [V]	Primary resistance R_P [mΩ]	Primary insertion inductance L_P [µH]	Recommended connections
1	± 6	2.5 ± 0.625	0.18	0.013	
2	± 3	2.5 ± 0.625	0.81	0.05	
3	± 2	2.5 ± 0.625	1.62	0.12	

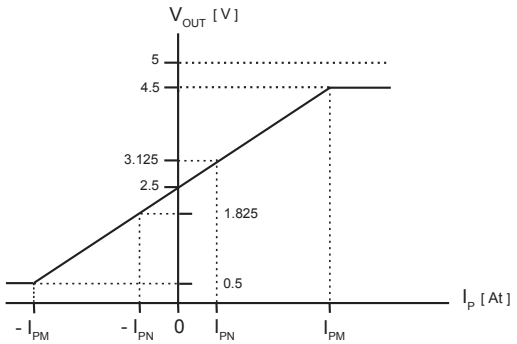
Mechanical characteristics

- General tolerance ± 0.2 mm
- Fastening & connection of primary 6 pins 0.8 x 0.8 mm
  Recommended PCB hole 1.3 mm
- Fastening & connection of secondary 3 pins 0.5 x 0.35 mm
  Recommended PCB hole 0.8 mm
- Additional primary through-hole Ø 3.2 mm

Remarks

- V_{OUT} swings above 2.5 V when I_P flows from terminals 1, 2, 3 to terminals 6, 5, 4 (with the arrow).
- Temperature of the primary jumper should not exceed 100°C.

Output Voltage - Primary Current



LEM reserves the right to carry out modifications on its transducers, in order to improve them, without prior notice.

alttec

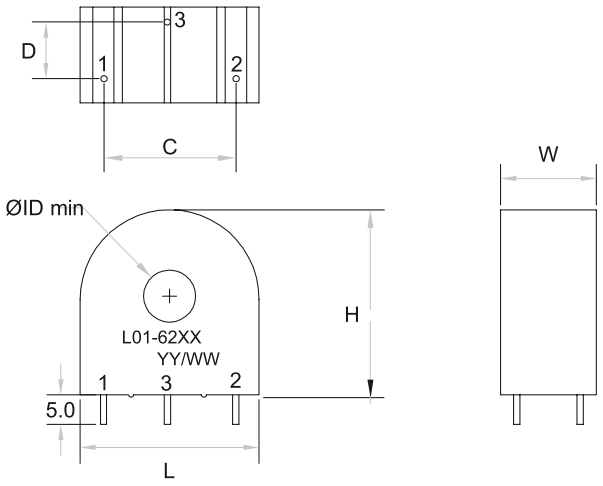
MESSWANDLER WICKELGÜTER

50/60 Hz CURRENT TRANSFORMERS FOR PCB MOUNTING

SERIES 621X / 622X

FEATURES

- Current range from 5 - 200 A · Frequency 50/60 Hz
- Fully encapsulated
- Primary to secondary insulation 4 kV AC
- Operating temperature range: -40° C to + 120° C
- Fully RoHS compliant
- Place of manufacture is certified according to ISO 9001:2008 / ISO 14001:2004
- More details on request or in the single data sheets



Part No.	I_p Amps	Turns Ratio	Terminating Resistor		DCR (Ω)	RCF	Volts/Amp @rated Ip for various loads (Ω)				I_{ex}	V_{ex}	Net Weight	Case Dimensions - mm					
			Ohms	Watt	Nominal	@ 10%	100	500	2K	5K	uArms	Vrms	(grams)	L	ID	H	W	C	D
L01-6210	5	1.000:1	100	0.0025	41.80	1.010	0.10	0.46	1.43	2.01	237	0.66	16.3	23.80	9.50	23.80	11.12	15.24	7.62
L01-6211	10	1.000:1	100	0.0100	41.80	1.010	0.10	0.45	1.10	1.42	386	1.32	16.3	23.80	9.50	23.80	11.12	15.24	7.62
L01-6212	15	1.000:1	100	0.0230	41.80	1.010	0.10	0.45	0.90	1.12	513	1.99	16.3	23.80	9.50	23.80	11.12	15.24	7.62
L01-6213	20	1.000:1	100	0.0400	41.80	1.010	0.10	0.43	0.76	0,93	628	2.65	16.3	23.80	9.50	23.80	11.12	15.24	7.62
L01-6214	25	1.000:1	100	0.0630	48.00	1.020	0.10	0.47	1.06	1.31	566	3.65	35.5	30.20	11.40	30.20	14.30	20.32	10.16
L01-6215	30	1.000:1	100	0.0900	48.00	1.020	0.10	0.47	0.95	1.16	644	4.38	35.5	30.20	11.40	30.20	14.30	20.32	10.16
L01-6216	40	1.000:1	100	0.1600	49.30	1.026	0.10	0.46	0.87	1.05	914	5.82	47.3	34.90	14.60	34.90	14.30	25.40	10.16
L01-6217	50	1.000:1	100	0.2500	49.30	1.026	0.10	0.43	0.76	0.90	1090	7.28	47.3	34.90	14.60	34.90	14.30	25.40	10.16
L01-6218	60	1.000:1	100	0.3600	24.00	1.001	0.10	0.44	0.66	0.76	1250	7.41	65.2	38.10	14.60	38.10	15.90	33.00	10.16
L01-6219	75	1.000:1	100	0.5700	24.00	1.001	0.10	0.39	0.57	0.65	1520	9.26	65.2	38.10	14.60	38.10	15.90	33.00	10.16
L01-6220	100	1.000:1	100	1.0000	21.30	1.001	0.10	0.34	0.50	0.56	1740	12.00	80.0	44.50	19.05	44.50	14.30	35.56	10.16
L01-6221	150	1.000:1	100	2.2500	11.00	1.002	0.10	0.37	0.50	0.55	1820	16.60	150.0	55.60	23.80	55.60	20.60	45.72	12.70
L01-6222	200	1.000:1	100	4.0000	11.00	1.002	0.10	0.31	0.41	0.45	2340	22.20	150.0	55.60	23.80	55.60	20.60	45.72	12.70

Notes:

1) Terminating resistor and the one-turn primary are available if requested.
2) Each Model adjusted to be most accurate at specified load.
3) Pin 3 for mechanical support only

Alttec GmbH | Sauerzapfstraße 14 | 92507 Nabburg
TEL +49 / (0) 9433 / 205 760 - 0 | FAX +49 / (0) 9433 / 205 760 - 29 | MAIL info@alttec.de | WEB www.alttec.de

AC/DC Power Modules

TMP & TMPM Series, 4 to 60 Watt

CB Scheme | UL 60950-1 | UL 508

Features

- Ultra compact, low profile plastic casing
- Fully encapsulated (pollution/dust)
- Single-, dual- and triple output models
- 2 standard package versions:
  - Screw terminal block for chassis mount
  - Solder pins for direct PCB mount
  - Optional pin-connector on request
- DIN-rail mount adaptor (optional)
- Universal input 85-264 VAC, 47-440 Hz
- Protection class II
- IEC/EN/UL 60950-1 approval, CB-report
- Over-temperature protection
- Protection against short circuit and oveload
- 3-year product warranty

The TMP & TMPM series AC/DC Power Modules is a new range of fully encapsulated power supplies in an ultra-compact casing. They feature easy chassis mounting with screw terminal block connection or direct PCB mounting with solder pins. Full compliance with International safety standards for industrial control equipment qualifies the products for worldwide markets.
These power supplies offer a cost effective solution for many space critical applications in commercial and industrial electronic equipment and for polluted and dusty environment.

Single Output Models 4 to 10 Watt

	Order code PCB-mount with solder pins	Output power max.	Output	Efficiency typ.
	TMPM 04103	**4 W**	3.3 VDC / 1200 mA	70 %
	TMPM 04105		5.0 VDC / 800 mA	72 %
	TMPM 04109		9.0 VDC / 444 mA	75 %
	TMPM 04112		12 VDC / 333 mA	76 %
	TMPM 04115		15 VDC / 267 mA	76 %
	TMPM 04124		24 VDC / 167 mA	77 %
	TMP 07103	4.6 W	3.3 VDC / 1400 mA	70 %
	TMP 07105	**7 W**	5.0 VDC / 1400 mA	73 %
	TMP 07112		12 VDC / 583 mA	78 %
	TMP 07115		15 VDC / 466 mA	78 %
	TMP 07124		24 VDC / 291 mA	78 %
Small footprint	**TMPM 10103**	8.3 W	3.3 VDC / 2500 mA	70 %
Small footprint	**TMPM 10105**	**10 W**	5.0 VDC / 2000 mA	72 %
Small footprint	**TMPM 10112**		12 VDC / 833 mA	76 %
Small footprint	**TMPM 10115**		15 VDC / 667 mA	75 %
Small footprint	**TMPM 10124**		24 VDC / 417 mA	72 %
Low profile	**TMP 10103**	6.6 W	3.3 VDC / 2000 mA	70 %
Low profile	**TMP 10105**	**10 W**	5.0 VDC / 2000 mA	73 %
Low profile	**TMP 10112**		12 VDC / 833 mA	76 %
Low profile	**TMP 10115**		15 VDC / 666 mA	76 %
Low profile	**TMP 10124**		24 VDC / 416 mA	76 %

15 to 60 Watt and multi output models see next page ->

Single Output Models 15 to 60 Watt

Order code		Output power max.	Output	Efficiency
PCB-mount with solder pins	Chassis mount, screw terminal			typ.
TMP 15105	**TMP 15105C**		5 VDC / 3000 mA	75 %
TMP 15112	**TMP 15112C**		12 VDC / 1250 mA	79 %
TMP 15115	**TMP 15115C**	**15 W**	15 VDC / 1000 mA	79 %
TMP 15124	**TMP 15124C**		24 VDC / 625 mA	79 %
TMP 15148	**TMP 15148C**		48 VDC / 310 mA	79 %
TMP 30105	**TMP 30105C**		5 VDC / 6000 mA	78 %
TMP 30112	**TMP 30112C**		12 VDC / 2500 mA	80 %
TMP 30115	**TMP 30115C**	**30 W**	15 VDC / 2000 mA	80 %
TMP 30124	**TMP 30124C**		24 VDC / 1250 mA	80 %
TMP 30148	**TMP 30148C**		48 VDC / 625 mA	80 %
TMP 60105	**TMP 60105C**	51 W	5.1 VDC / 10'000 mA	79 %
TMP 60112	**TMP 60112C**		12 VDC / 5000 mA	82 %
TMP 60115	**TMP 60115C**		15 VDC / 4000 mA	83 %
TMP 60124	**TMP 60124C**	**60 W**	24 VDC / 2500 mA	84 %
TMP 60136	**TMP 60136C**		36 VDC / 1665 mA	84 %
TMP 60148	**TMP 60148C**		48 VDC / 1250 mA	84 %

Multi Output Models 4 to 30 Watt

Order code		Output	Output 1	Output 2	Output 3	Eff.
PCB-mount	Chassis mount	power				typ.
Models with common ground						
TMPM 04212		**4 W**	+12 VDC / 166 mA	–12 VDC / 166 mA		77 %
TMPM 04215			+15 VDC / 133 mA	–15 VDC / 133 mA		77 %
TMPM 04253			+5.0 VDC / 600 mA	+3.3 VDC / 150 mA		72 %
TMPM 04225			+12 VDC / 250 mA	+5.0 VDC / 120 mA		75 %
TMP 10212		**10 W**	+12 VDC / 380 mA	–12 VDC / 380 mA		77 %
TMP 10215			+15 VDC / 300 mA	–15 VDC / 300 mA		77 %
TMP 15212	**TMP 15212C**	**15 W**	+12 VDC / 650 mA	–12 VDC / 650 mA		79 %
TMP 15215	**TMP 15215C**		+15 VDC / 500 mA	–15 VDC / 500 mA		79 %
TMP 30212	**TMP 30212C**	**30 W**	+12 VDC / 1300 mA	–12 VDC / 1300 mA		80 %
TMP 30215	**TMP 30215C**		+15 VDC / 1000 mA	–15 VDC / 1000 mA		80 %
TMP 15252	**TMP 15252C**		5.0 VDC / 1500 mA	12 VDC / 625 mA		72 %
TMP 15512	**TMP 15512C**	**15 W**	5.0 VDC / 2000 mA	+12 VDC / 200 mA	–12 VDC / 200 mA	74 %
TMP 15515	**TMP 15515C**		5.0 VDC / 2000 mA	+15 VDC / 150 mA	–15 VDC / 150 mA	74 %
Models with output 1 isolated from output 2/3 (floating)						
TMP 30252	**TMP 30252C**	**30 W**	5.0 VDC / 3000 mA[2]	12 VDC /1250 mA[2]		76 %
TMP 30512	**TMP 30512C**		5.0 VDC / 3000 mA[2]	+12 VDC / 600 mA[2]	–12 VDC / 600 mA[2]	76 %
TMP 30515	**TMP 30515C**		5.0 VDC / 3000 mA[2]	+15 VDC / 500 mA[2]	–15 VDC / 500 mA[2]	76 %
TMP 30522	**TMP 30522C**		5.0 VDC / 3000 mA[2]	+12 VDC / 1000 mA[2]	–12 VDC / 250 mA[3]	76 %
TMP 30316	**TMP 30316C**		3.3 VDC / 4000 mA[1]	+5.0 VDC / 1500 mA[1]	+12 VDC / 250 mA[3]	71 %
TMP 30317	**TMP 30317C**		5.0 VDC / 4500 mA[1]	+3.3 VDC / 1000 mA[2]	+12 VDC / 250 mA[3]	71 %

Peak current, total power not to exceede 30 Watt: [1] 133 %
[2] 150 %
[3] 200 %

Input Specifications

Input voltage	– nominal		100 – 240 VAC
	– AC range (universal input)		85 – 264 VAC
	– DC range		120 – 370 VDC
Input frequency	– nominal		50 / 60 Hz
	– range	4 – 30 W models:	47 – 440 Hz
		60 W models:	47 – 63 Hz
Input current at full load	– 115 VAC / 230 VAC input	4 W models:	80 mA / 55 mA typ.
		7 W models:	150 mA / 100 mA typ.
		10 W models:	200 mA / 130 mA typ.
		15 W models:	300 mA / 190 mA typ.
		30 W models:	550 mA / 330 mA typ.
		60 W models:	1050 mA / 670 mA typ.
External input fuse required (recommended value)		4 W models:	1.0 A slow blow
		7 – 15 W models:	2.0 A slow blow
		30 W models:	3.5 A slow blow
		60 W models:	6.3 A slow blow

Output Specifications

Voltage set accuracy			±2 % max.
Regulation	– Input variation Output 1		1 % max.
	– Input variation Output 2/3		3 % max.
	– Load variation	TMPM 04103 model (0–100%):	1.5 % max.
		single and floating outputs (10–100%):	1 % max. (0–100% for TMPM 04 models)
		common ground outputs balanced load (10–100%):	2.5 % max.
		common ground outputs unbalanced load (20/90%):	5.0 % max.
Minimum load		TMPM 04 single and sym.dual models:	not required
		TMPM 04 asym. dual models:	25% per output
		single and dual output models:	10 % of rated max. current
		triple output models main output:	10 % of rated max. current
		triple output models auxiliary outputs:	20 % of rated max. current
			operation at lower load condition will not damage these power supplies, however, they may not meet all listed specifications.
Ripple and noise (20MHz bandwidth)		3.3 VDC & 5.0 VDC outputs:	1.8 % of Vout [mVp-p]
		other outputs:	1.0 % of Vout [mVp-p]
Overload protection by current limit			105 % min. of Inom, fold back, automatic recovery (long term overload condition may cause damage to the power supply)
Overvoltage protection by Zehner diode (main output only)			120 % of Vout typ.
Start-up time			400 ms typ.
Hold-up time			20 ms typ.

Max. capacitive load [µF]		Model series						
	Output:	TMPM 04	TMP 07	TMPM 10	TMP 10	TMP 15	TMP 30	TMP 60
Single output models:	3.3 VDC	1200	2200	2200	3900	-	-	-
	5.0 / 5.1 VDC	800	2200	2200	3300	3900	8000	8000
	9.0 VDC	440	-	-	-	-	-	-
	12 / 15 VDC	260	1000	1000	2200	2200	3900	3900
	24 VDC	160	680	680	1000	1000	1500	1500
	36 VDC	-	-	-	-	-	-	1000
	48 VDC	-	-	-	-	680	1000	800
Dual output models:	3.3 / 5.0 VDC	4700	-	-	-	2000	3900	-
	+12 / –12 / +15 / –15 VDC	260	-	-	1000	1500	1500	-
Triple output models:	3.3 / 5.0 VDC	-	-	-	-	2200	2200	-
	+12 / –12 / +15 / –15 VDC	-	-	-	-	1500	1500	-

All specifications valid at nominal input voltage, full load and +25°C after warm-up time unless otherwise stated.

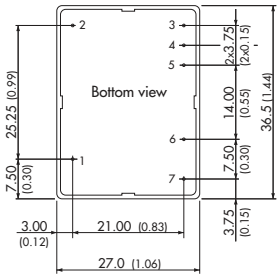
General Specifications

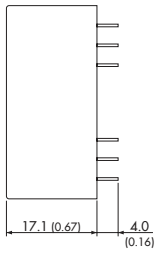
Temperature ranges	– Operating	TMPM 04 models:	–25°C to +60°C (no derating)
		TMP 10 models:	–25°C to +50°C (no derating)
		other models:	–25°C to +70°C (with derating)
	– Storage (non-operating)		–40°C to +85°C
Power derating			3.3 %/K above +50°C to +65°C 5.0 %/K above +65°C to +70°C (no derating aproved for TMPM04 and TMP10 models)
Over temperature protection			at 90°C (automatic recovery at 67°C)
Temperature coefficient			0.02 %/K
Humidity (non-condensing)			95 % rel. H max.
Switching frequency			100 kHz typ. fixed
Isolation voltage (60 sec.)	– Input/Output		3'000 VAC
Isolation resistance	– Input/Output		100 MOhm (at 500 VDC)
Altitude during operation		TMP 10, TMPM 04 & 10, :	2'000 m max. (6'560 ft) approved
		other models:	3'000 m max. (9'840 ft) approved
Electromagnetic compatibility (EMC), Emissions			EN 61000-6-3: 2007 EN 61204-3: 2000, class A EN 55022, level B, FCC Part 15 level B
Electromagnetic compatibility (EMC), Immunity			EN 61000-6-2: 2005 EN 61204-3: 2000, class A
	– Electrostatic discharge ESD		EN 61000-4-2 8 kV / 4 kV, criteria B
	– RF field susceptibility		EN 61000-4-3 10 V/m, criteria A
	– Electrical fast transient / burst immunity input		EN 61000-4-4 ±2 kV, criteria B
	– Electrical fast transient / burst immunity output		EN 61000-4-4 ±2 kV, criteria B
	– Surge immunity line – neutral		EN 61000-4-5, ±1 kV, criteria B
	– Surge immunity output		EN 61000-4-5 ±0.5 kV, criteria B
	– Immunity to conducted RF disturbances		EN 61000-4-6 10 V, criteria B
	– Mains voltage dips and interruptions		EN 61000-4-11 30 % 10 ms, criteria B 60 % 100 ms, criteria C 95 % 5000 ms, criteria C
EMC test certificates			www.tracopower.com/products/tmp-emc.pdf
Protection class II			to IEC/EN 60536
Safety standards	– Information technology equipment		IEC/EN 60950-1, UL 60950-1
	– Industrial control equipment		UL/cUL 508 (chassis mount single and symetric dual output models only)
Safety approvals	– CB certificate for IEC 60950-1	TMPM 04 models:	www.tracopower.com/products/tmpm04-cb.pdf
		TMP 07 models:	www.tracopower.com/products/tmp07-cb.pdf
		TMP 10 models:	www.tracopower.com/products/tmp10-cb.pdf
		TMPM 10 models:	www.tracopower.com/products/tmpm10-cb.pdf
		TMP 15 models:	www.tracopower.com/products/tmp15-cb.pdf
		TMP 30 single output models:	www.tracopower.com/products/tmp30-cb.pdf
		TMP 30 dual / triple output models:	www.tracopower.com/products/tmp30-cb2.pdf
		TMP 60 models:	www.tracopower.com/products/tmp60-cb.pdf
	– UL approvals for UL 60950-1		www.ul.com -> certifications -> File: e188913
	– UL approval for UL 508 (chassis mount models only)		www.ul.com -> certifications -> File: e322109
Reliability /calculated MTBF (MIL-HDBK-217F, at +25°C, ground benign)		TMP 07, TMPM 04 & 10 models:	>330'000 h
		TMP 10 models:	>300'000 h
		TMP 15 models:	>280'000 h
		TMP 30 models:	>250'000 h
		TMP 60 models:	>125'000 h
Casing material			plastic resin + fiberglass (UL 94V-0 rated)
Environmental compliance	– Reach		www.tracopower.com/overview/tmp
	– RoHS		RoHS directive 2011/65/EU

All specifications valid at nominal input voltage, full load and +25°C after warm-up time unless otherwise stated.

Outline Dimensions

TMPM 04 models:



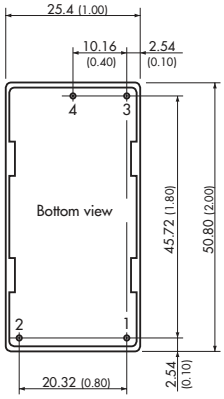


Pin diameter: 0.5 (0.02)
Weight: 26 g (0.92 oz)

Pinout		
Pin	**Single**	**Dual**
1	ntc	
2	ntc	
3	+Vout	Vout 1
4	–Vout	com.1/2
5	no pin	Vout 2
6	AC (N)	
7	AC (L)	

(ntc = not to connect)

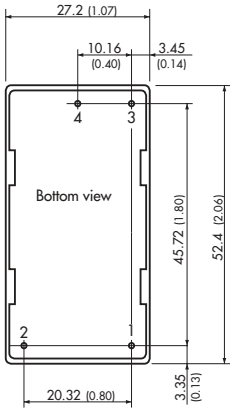
TMP 07 models:

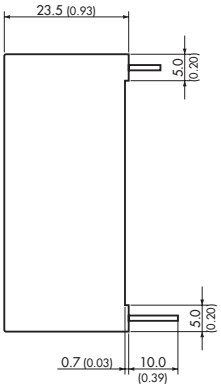


Pinout	
Pin	**Single**
1	AC (N)
2	AC (L)
3	+Vout
4	–Vout

Pin diameter: 1.0 (0.04)
Weight: 44 g (1.55 oz)

TMPM 10 models:

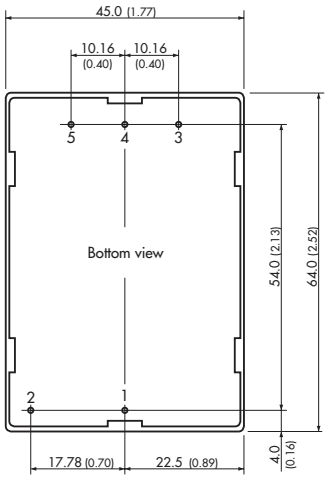


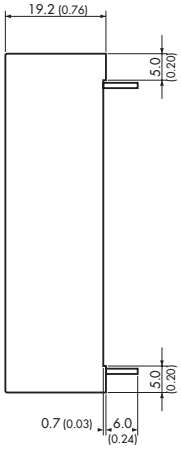


Pinout	
Pin	**Single**
1	AC (N)
2	AC (L)
3	+Vout
4	–Vout

Pin diameter: 1.0 (0.04)
Weight: 54 g (1.90 oz)

TMP 10 models:





Pinout		
Pin	**Single**	**Dual**
1	AC (N)	AC (N)
2	AC (L)	AC (L)
3	–Vout	Vout 2
4	ntc	com.1/2
5	+Vout	Vout 1

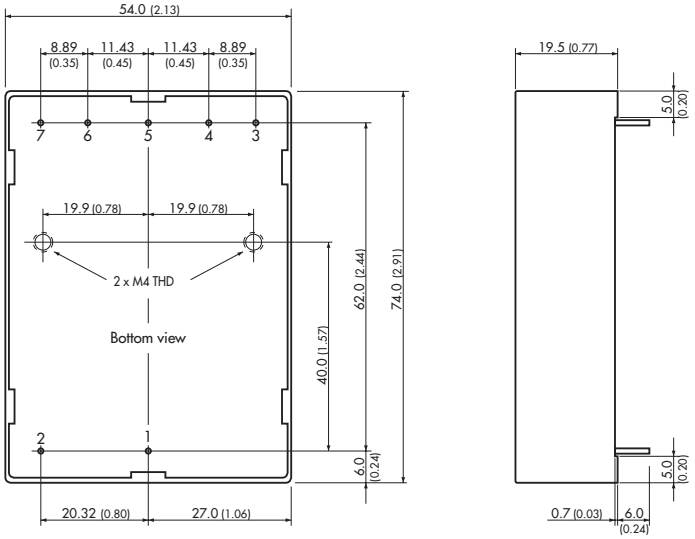
(ntc = not to connect)

Pin diameter: 1.0 (0.04)
Weight: 92 g (3.25 oz)

Dimensions in [mm], ( ) = Inches
Case tolerances: ±0.5 (±0.02)
Pin pich tolerance: ±0.25 (±0.01)

Outline Dimensions

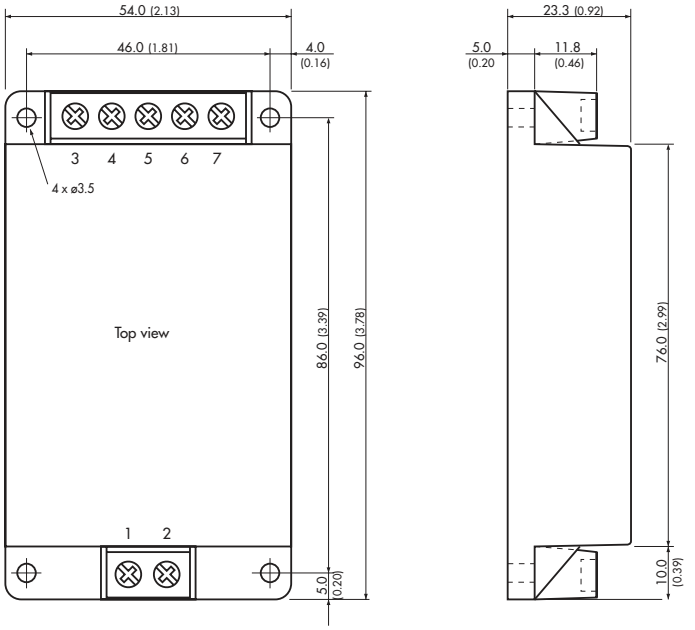
TMP 15 models for PCB mount:



Pin-Out				
Pin	**Single**	**Dual sym.**	**Dual asym.**	**Triple**
1	AC (N)			
2	AC (L)			
3	no pin			Vout 3
4	–Vout	Vout 2	–Vout 2	com.2/3
5	no pin	com.1/2	+Vout 2	Vout 2
6	+Vout	Vout 1	–Vout 1	–Vout 1
7	no pin		+Vout 1	+Vout 1

Max Screw penetration: 5.5 (0.21)
Pin diameter: 1.0 (0.04)
Weight: 114 g (4.02 oz)

TMP 15 models for chassis mount:



Connection				
Pin	**Single**	**Dual sym.**	**Dual asym.**	**Triple**
1	AC (N)			
2	AC (L)			
3	ntc			Vout 3
4	–Vout	Vout 2	–Vout 2	com.2/3
5	ntc	com.1/2	+Vout 2	Vout 2
6	+Vout	Vout 1	–Vout 1	–Vout 1
7	ntc		+Vout 1	+Vout 1

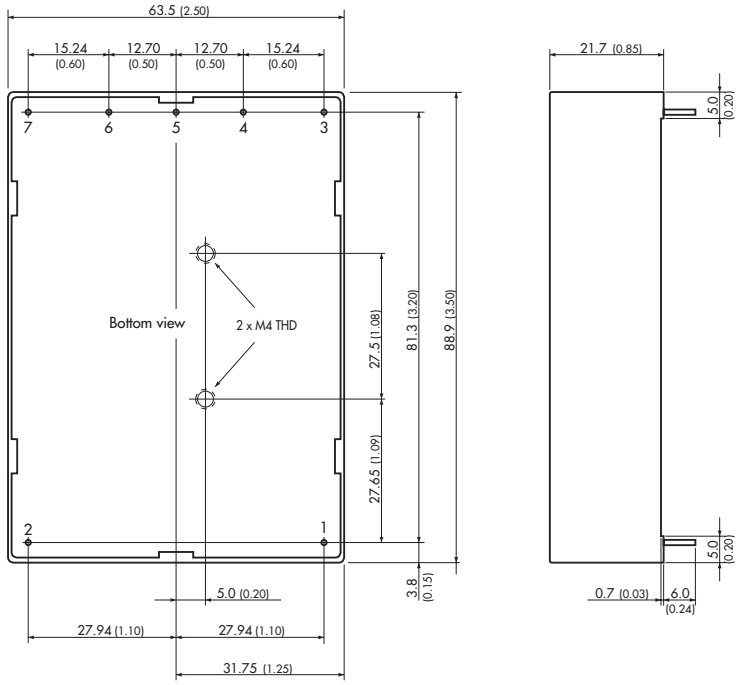
(ntc = not to connect)

Weight: 162 g (5.71 oz)

Dimensions in [mm], ( ) = Inches
Case tolerances: ±0.5 (±0.02)
Pin pich tolerance: ±0.25 (±0.01)
Mounting hole tolerance: ±0.5 (±0.02)

Outline Dimensions

TMP 30 models for PCB mount:



Pinout / Connection				
Pin	**Single**	**Dual sym.**	**Dual asym.**	**Triple**
1	AC (N)			
2	AC (L)			
3	+Vout	Vout 1	+Vout 2	Vout 2
4	no pin / ntc		+Vout 1	+Vout 1
5	–Vout	com.1/2	–Vout 2	com 2/3
6	no pin / ntc		–Vout 1	–Vout 1
7	ntc	Vout 2	ntc	Vout 3

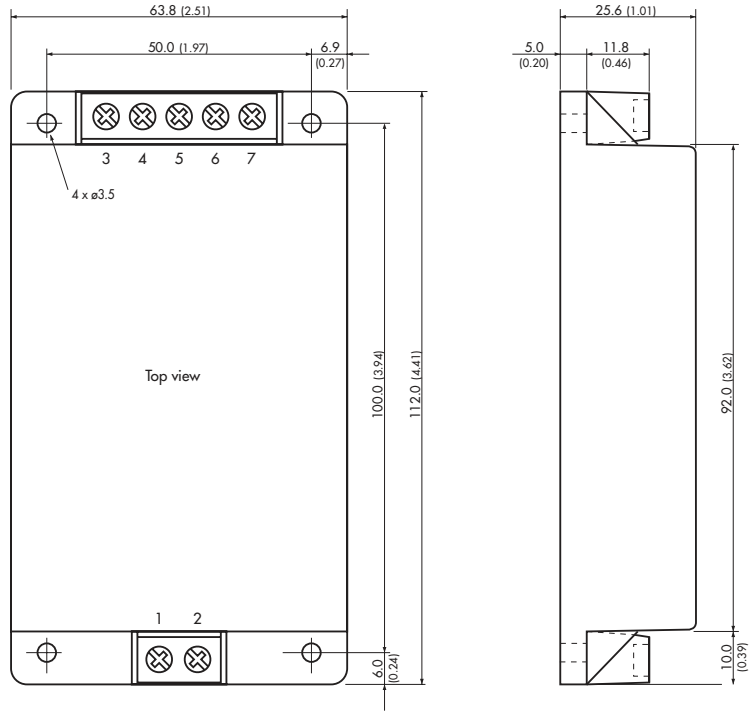
(ntc = not to connect)

Max Screw penetration: 5.5 (0.21)

Pin diameter: 1.0 (0.04)

Weight: 177 g (6.24 oz)

TMP 30 models for chassis mount:

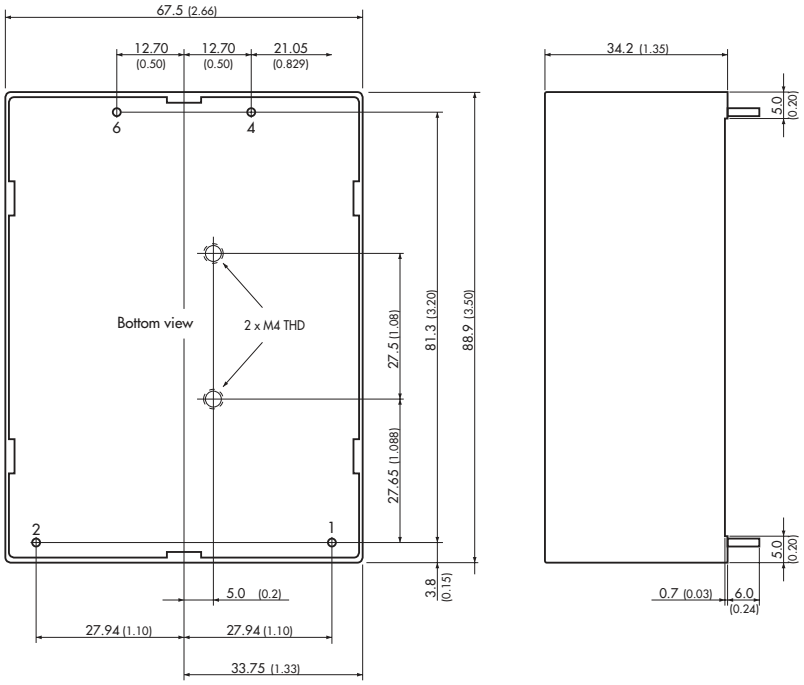


Weight: 191 g (6.74 oz)

Dimensions in [mm], ( ) = Inches
Case tolerances: ±0.5 (±0.02)
Pin pich tolerance: ±0.25 (±0.01)
Mounting hole tolerance: ±0.5 (±0.02)

Outline Dimensions

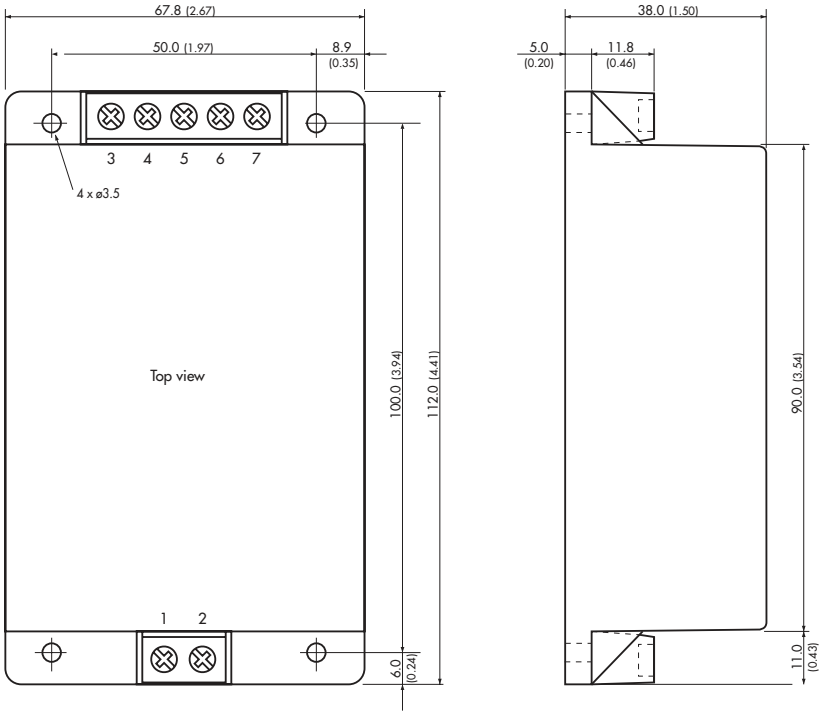
TMP 60 models for PCB mount:



Pinout	
Pin	**Single**
1	AC (N)
2	AC (L)
3	no pin
4	+Vout
6	–Vout
7	no pin

Max Screw penetration: 5.5 (0.21)
Pin diameter: 1.0 (0.04)
Weight: 345 g (12.17 oz)

TMP 60 models for chassis mount:



Connection	
Pin	**Single**
1	AC (N)
2	AC (L)
3	ntc
4	+Vout
5	ntc
6	–Vout
7	ntc

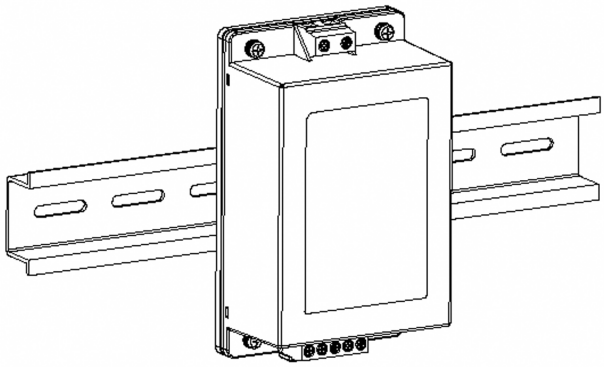
(ntc = not to connect)

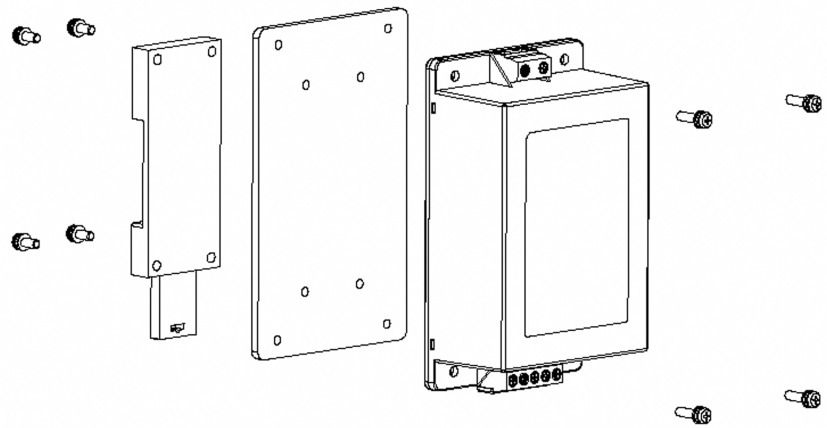
Weight: 357 g (12.95 oz)

Dimensions in [mm], ( ) = Inches
Case tolerances: ±0.5 (±0.02)
Mounting hole tolerance: ±0.5 (±0.02)

DIN-Rail Mounting Kit

Adapter for mounting on DIN-rails as per EN 50022-35 (snap-on mounting)





DIN-Rail Mounting Kit	
Order code	**For models**
TMP-MK1	TMP 15xxxC
TMP-MK2	TMP 30xxxC & TMP 60xxxC

Kit contains interface plate, DIN-rail clip and necessary screws.

KOA SPEER ELECTRONICS, INC.

MF, MFS, RK

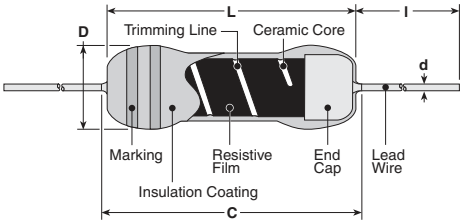
general purpose metal film leaded resistor

EU RoHS COMPLIANT

features

- Semi-precision metal film resistors
- The discharge path resistor is recognized by UL 1676 and c-UL (CAS-C22.2 No.1-M94). (File No. E159326) (RK only)
- Meets requirements of MIL-R-22684
- Suitable for automatic machine insertion
- MFS two times the power rating of the standard body type
- Marking: Blue-gray body color with color-coded bands
- Products with lead-free terminations meet EU RoHS and China RoHS requirements
- AEC-Q200 Qualified: MF1/4, MFS1/4, MFS1/2

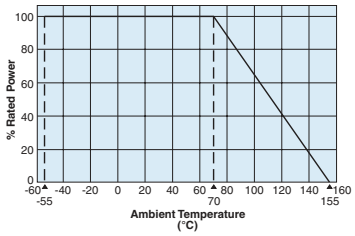
dimensions and construction



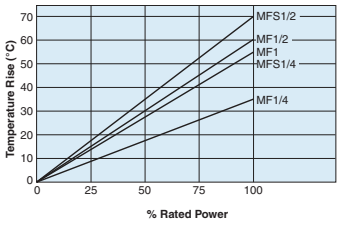
Type	Dimensions inches (mm) L (ref.)	C (max.)	D	d (nom.)	l*
MFS1/4	.126±.008 (3.2±0.2)	.133 (3.4)	.066 $^{+.007}_{-.004}$ (1.7 $^{+0.2}_{-0.1}$)	.018 (0.45)	1.10±.118 (28.0±3.0)
MF1/4	.248±.02 (6.3±0.5)	.280 (7.1)	.091±.012 (2.3±0.3)	.024 (0.6)	
MFS1/2	.248±.02 (6.3±0.5)	.280 (7.1)	.091±.012 (2.3±0.3)	.024 (0.6)	
MF1/2	.354±0.4 (9.0±1.0)	.437 (11.1)	.138±.016 (3.5±0.4)	.024 (0.6)	
MF1	.610±.02 (15.5±0.5)	.721 (18.3)	.217±.02 (5.5±0.5)	.031 (0.8)	1.50±.118 (38.0±3.0)
RK1/4	.248±.02 (6.3±0.5)	.280 (7.1)	.091±.012 (2.3±0.3)	.024 (0.6)	0.94 min. (24.0 min.)
RK1/2	.374±.04 (9.5±1.0)	.437 (11.1)	.138±.016 (3.5±0.4)	.024 (0.6)	
RK1	.610±.04 (15.5±1.0)	.720 (18.3)	.217±.02 (5.5±0.5)	.031 (0.8)	1.50±.118 (38.0±3.0)

* Lead length changes depending on taping and forming.

Derating Curve



Surface Temperature Rise



ordering information

New Part # — MF | 1/4 | L | C | T52 | R | R20 | J

Type	Power Rating	T.C.R.	Termination Material	Taping and Forming	Packaging	Nominal Resistance	Tolerance
MF	1/4: 0.25W	E: ±25	C: SnCu	1/4: T26, T52, VT, VTP, VTE, MT, M, U, M10, M12.5	A: Ammo	+2%: 2 significant figures + 1 multiplier	B: ±0.1%
MFS	1/2: 0.50W	C: ±50		1/2: T26, T52, VTP, VTE, M12.5, M15	R: Reel	+0.5%,+1%: 3 significant figures + 1 multiplier	C: ±0.25%
RK	1: 1W	D: ±100		1: T521		"R" indicates decimal on value <100Ω	D: ±0.5%
		L: ±200					F: ±1%
		G: ±250					G: ±2%
		B: ±350					J: ±5%

For further information on packaging, please refer to Appendix C.

applications and ratings

Part Designation	Power Rating @ 70°C	Minimum Dielectric Withstanding Voltage	T.C.R. (ppm/°C)	Resistance Range (Ω) (B±0.1%) E-96	(C±0.25%) E-96	(D±0.5%) E-24 E-192	(F±1.0%) E-24 E-96	(G±2.0%) E-24	(J±5.0%) E-24	Absolute Maximum Working Voltage	Absolute Maximum Overload Voltage	Operating Temperature Range
MFS1/4C	0.25W	300V	C: ±50	—	—	49.9 - 562k	10 - 1M	—	—	250V	500V	-55°C to +155°C
MFS1/4D			D: ±100									

Specifications given herein may be changed at any time without prior notice. Please confirm technical specifications before you order and/or use. 12/24/13

KOA SPEER ELECTRONICS, INC.

MF, MFS, RK

general purpose metal film leaded resistor

applications and ratings (continued)

Part Designation	Power Rating @ 70°C	Minimum Dielectric Withstanding Voltage	T.C.R. (ppm/°C)	Resistance Range (Ω) (B±0.1%) E-96	(C±0.25%) E-96	(D±0.5%) E-24 E-192	(F±1.0%) E-24 E-96	(G±2.0%) E-24	(J±5.0%) E-24	Absolute Maximum Working Voltage	Absolute Maximum Overload Voltage	Operating Temperature Range
MF1/4C	0.25W	500V	C: ±50	—	—	10- 2.21M	10 - 2.21M	—	—	250V	500V	-55°C to +155°C
MF1/4D			D: ±100	—	—							
MF1/4L			L: ±200	—	—	—	1.0 - 10	0.51 - 10				
MFS1/2C	0.50W	500V	C: ±50	—	—	10 - 1M	10 - 2.21M	10 - 2.2M	—	350V	700V	
MFS1/2D			D: ±100									
MF1/2C	0.50W	700V	C: ±50	—	—	10 - 5.05M	10 - 4.99M	—	—	350V	700V	
MF1/2D			D: ±100	—	—		10 - 5.11M					
MF1/2L			L: ±200	—	—	—	1.0 - 10	0.51 - 10Ω				
MF1C	1W	700V	C: ±50	47.5 - 1.0M	47.5 - 2.49M	10 - 5.11M	1.0 - 6.81M	—	—	350V	700V	
MF1D			D: ±100	—	—							
MF1E			E: ±25	47.5 - 1.0M	47.5 - 2.49M	47.5 - 4.64M	47.5 - 5.11M	—	—			
RK1/4D	0.25W	500V	D: ±100	—	—	—	3.09M - 25M	—	—	500V	700V	
RK1/4L			L: ±200	—	—	—	—	3.3M - 33M	3.3M - 33M			
RK1/4B			B: ±350	—	—	—	100k - 25M	100k - 33M	100k - 33M			
RK1/2D	0.50W	700V	D: ±100	—	—	—	5.11M - 33M	—	—	700V	1000V	
RK1/2L			L: ±200	—	—	—	—	6.2M - 33M	6.2M - 33M			
RK1/2B			B: ±350	—	—	—	100k - 35M	100k - 51M	100k - 51M			
RK1BC	1W	1000V	B: ±350	—	—	—	100k - 51M	100k - 100M	100k - 100M	1000V	1500V	
RK1/2G*	0.50W	700V	G: ±250	—	—	—	—	—	1M - 12M	350V	700V	

* Discharge path resistor

environmental applications

Performance Characteristics

Parameter	Requirement Δ R ±(% + 0.05Ω) Limit	Typical	Test Method
Resistance	Within specified tolerance	—	25°C
T.C.R.	Within specified T.C.R.	—	Room temperature, +100°C
Overload (Short Time)	RK: ±1%, RK1/2G: ±2.5% MF: ±0.5%	RK: ±0.6%, RK1/2G: ±1% MF: ±0.3%	Rated voltage x 2.5 or max. overload voltage for 5 seconds, whichever is less; MFS1/2: Rated voltage x 2 or max. overload voltage for 5 seconds, whichever is less
Resistance to Solder Heat	RK: ±1%; RK1/2G: ±5%; MFS: ±0.75%; MF1/4, MFS1/2, MF1/2: ±0.5%,	RK: ±0.5%; RK1/2G: ±1% MFS1/4: ±0.4%; MF1/4, MFS1/2, MF1/2: ±0.25%	260°C ± 5°C, 10 seconds ± 1 second or 350°C ± 10°C, 3.5 seconds ± 0.5 second
Dielectric Withstanding Voltage	No breakdown	—	1 minute
Insulation Resistance	Not less than 10,000MΩ	—	100V, 1 minute
Rapid Change of Temperature	RK,MF: ±1%; RK1/2G: ±5%	MF: ±0.3%; RK: ±0.5%, RK1/2G: ±1%	-55°C (30 minutes), +155°C (30 minutes), 5 cycles
Moisture Resistance	RK: ±5%; RK1/2G: ±10%; MFS1/4: ±1.5%; MF1/4, MFS1/2, MF1/2: ±1%	RK: ±2%; RK1/2G: ±5%; MFS1/4: ±1%; MF1/4, MFS1/2, MF1/2: ±0.75%	40°C ± 2°C, 90 - 95% RH, 1000 hours, 1.5 hr ON, 0.5 hr OFF cycle
Endurance at 70°C	RK: ±5%; RK1/2G: ±10%; MFS1/4: ±1.5%; MF1/4, MFS1/2, MF1/2: ±1%	RK: ±2%; RK1/2G: ±5%; MFS1/4: ±1%; MF1/4, MFS1/2, MF1/2: ±0.75%	70°C ± 2°C, 1000 hours, 1.5 hr ON, 0.5 hr OFF cycle
Resistance to Solvent	No abnormality in appearance. Marking shall be easily legible	—	The resistor shall be immersed for 5 seconds in IPA
Impulse	No such abnormalities as short-circuit, burnout, breakdown, etc.	—	Discharge from 1000pF capacitor 50 pulses. Internal 2.5 seconds. Charge voltage: 1.25kV (RK1/4), 2.5kV (RK1/2) and 6kV (RK1)

Specifications given herein may be changed at any time without prior notice. Please confirm technical specifications before you order and/or use.

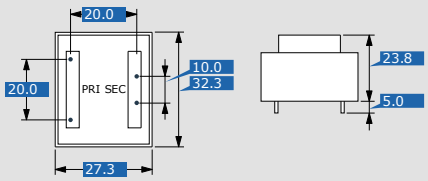
VB 1,5/1/6

Short circuit proof PCB transformer

- **Maximum power from minimum size**
- **Vacuum resin moulded (self extinguishing to UL 94 V-0)**

Short circuit proof safety isolating transformer to IEC 61558-2-6, DIN EN 61558-2-6, VDE 0570 part 2-6

*Transformer to IEC 61558-2-1, DIN EN 61558-2-1, VDE 0570 part 2-1 (without VDE-Approval)



Dimensions in mm

Errors and omissions excepted. Please note that product illustrations do not resemple all product variants.

VB 1,5/1/6

Short circuit proof PCB transformer

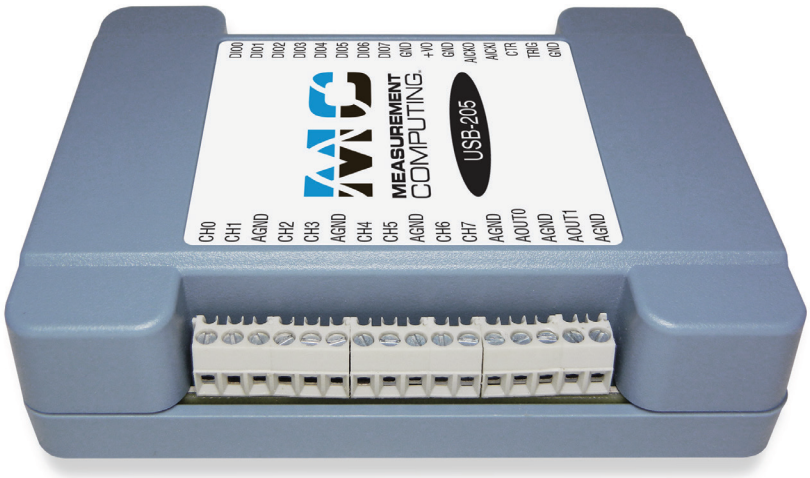
Input data	
Input voltage	230 V
Frequency range	50 - 60 Hz
No-load loss (typ.)	1.0 W
Output data	
Output voltage	6 V
No-load voltage (ca. x factor)	1.39
Efficiency	57 %
Power	1.50 VA
Standards and security	
Approvals	C-UL-US, ENEC 10 (VDE)
Short circuit strength	inherently short-circuit proof
Protection index	IP 00
Safety class (prepared)	II
Ambient temperature max.	70 °C
Class of Insulation System	VDE=B, UL=105
Test voltage	5000 V, 50 Hz
Mechanical data	
Type	encapsulated
Core type	EI 30/12,5
Terminals	Pins for printed circuit boards
Pin (ø)	0.8 mm
Weight	0.08 kg
Order numbers	
Order Number	VB 1,5/1/6

Errors and omissions excepted. Please note that product illustrations do not resemple all product variants.

BLOCK Transformatoren-Elektronik GmbH
Max-Planck-Straße 36-46
27283 Verden
Germany
Phone +49 4231 678-0
Fax +49 4231 678-177

USB-200 Series

12-Bit Multifunction DAQ Devices



The USB-205 (shown above) provides eight SE analog inputs, two analog outputs, a maximum sample rate of 500 kS/s, 8 digital I/O, and one event counter input.

Features

- Eight 12-bit analog inputs
- Sample rates up to 500 kS/s
- Up to two analog outputs
- Eight digital I/O lines
- One 32-bit event counter input
- External pacer I/O
- No external power required
- Available with enclosure and screw terminals or as board-only OEM with header connectors
- ACC-205 DIN-rail kit available

Supported Operating Systems

- Windows® 10/8/7/Vista®XP 32/64-bit
- Android™

Overview

The USB-200 Series provides improved cost/performance compared to our similarly priced 12-bit DAQ devices. Each device provides eight single-ended (SE) analog inputs, eight DIO channels, one event counter, and external pacer I/O.

The USB-202 and USB-205 also provide two analog output channels.

Analog Input

USB-200 Series devices provide eight 12-bit SE analog inputs. The analog input range is fixed at ±10 V.

Sample Rate

The maximum continuous scan rate is an aggregate rate. The following table lists the maximum rate per channel when scanning from one to eight channels.

Max Rate Per Channel (kS/s)*		
No. of Channels	USB-201, USB-202	USB-204, USB-205
1	100	500
2	50	250
3	33.33	166.67
4	25	125
5	20	100
6	16.67	83.33
7	14.29	71.43
8	12.50	62.50

* Sample rates apply to standard and OEM versions

Analog Output (USB-202 and USB-205)

The USB-202 and USB-205 standard and OEM versions have two 12-bit analog output channels. Both outputs can be updated simultaneously at a rate up to 125 S/s per channel. One output can be updated at a rate up to 250 S/s. The output range is fixed at 0 V to 5 V.

External Pacer I/O

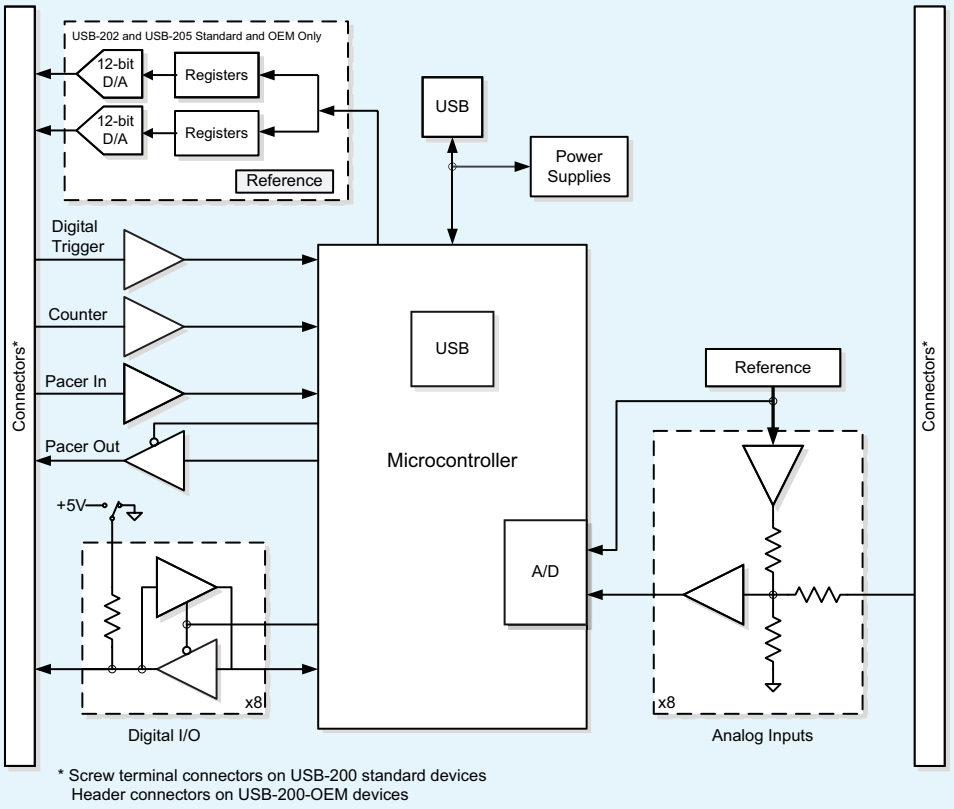
Each USB-200 Series device provides one external clock input and one clock output for the analog input pacer. You can connect an external clock signal to the external clock input terminal. When using the internal clock, each device outputs the ADC sample clock.

USB-200 Series Selection Chart				
Model	Analog Input 12-bit	Max Sample Rate	Analog Output	Digital Output Current per pin
USB-201	8 SE	100 kS/s	–	±24 mA
USB-202	8 SE	100 kS/s	2	±24 mA
USB-204	8 SE	500 kS/s	–	±24 mA
USB-205	8 SE	500 kS/s	2	±24 mA
USB-201-OEM	8 SE	100 kS/s	–	±24 mA
USB-202-OEM	8 SE	100 kS/s	2	±24 mA
USB-204-OEM	8 SE	500 kS/s	–	±24 mA
USB-205-OEM	8 SE	500 kS/s	2	±24 mA

USB-200 Series

Overview

USB-200 Series Block Diagram



Digital I/O

USB-200 Series devices provide eight TTL-level digital I/O lines. Each digital channel is software-selectable for input or output. When configured for input, you can use the digital I/O terminals to detect the state of any TTL-level input.

When configured for output, each digital channel can source/sink up to ±24 mA.

Pull-Up/Pull-Down Configuration

Each USB-200 Series device has a user-configurable internal jumper to configure the digital bits for pull-up or pull-down (default).

Counter Input

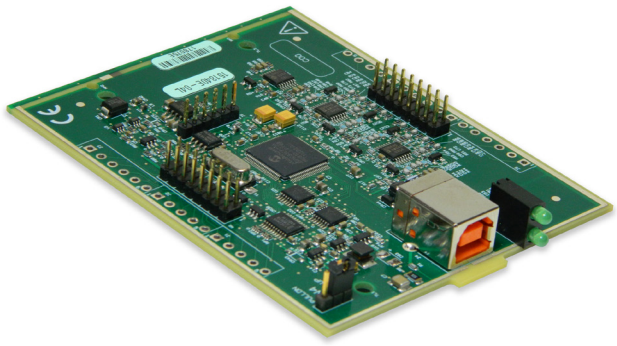
Each USB-200 Series device supports one 32-bit TTL-level event counter that accepts inputs up to 1 MHz.

Calibration

The USB-200 Series is factory-calibrated using a NIST-traceable calibration process. Specifications are guaranteed for one year. For calibration beyond one year, return the device to the factory for recalibration.

USB-200 Series OEM Versions

OEM versions have board-only form factors with header connectors for OEM and embedded applications. All devices can be further customized to meet customer needs.



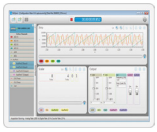
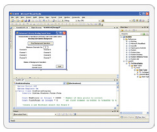
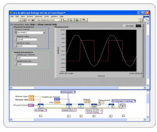
The OEM versions have the same specifications as the standard devices, but come in a board-only form factor with header connectors instead of screw terminals.

USB-200 Series

Software

Software Support

USB-200 Series devices are supported by the software in the table below.

Ready-to-Run Applications		
DAQami™		Data acquisition companion software with drag-and-drop interface that is used to acquire, view, and log data, and generate signals. DAQami can be configured to log analog, digital, and counter channels, and to view that data in real-time or post-acquisition on user-configurable displays. Logged data can be exported for use in Excel® or MATLAB®. Windows OS DAQami is included with the free MCC DAQ Software bundle (CD/download). Install DAQami and try the fully-functional software for 30 days. After 30 days, all features except for data logging and data export will continue to be available – data logging and data export features can be unlocked by purchasing the software.
InstaCal™		An interactive installation, configuration, and test utility for MCC hardware. Windows OS InstaCal is included with the free MCC DAQ Software bundle (CD/download).
TracerDAQ™ and TracerDAQ Pro		Virtual strip chart, oscilloscope, function generator, and rate generator applications used to generate, acquire, analyze, display, and export data. Supported features may vary by hardware. The Pro version provides enhanced features. Windows OS TracerDAQ is included with the free MCC DAQ Software bundle (CD/download). TracerDAQ Pro is available as a purchased software download.
General-Purpose Programming Support		
Universal Library™ (UL)		Library for developing applications in C, C++, VB, C# .Net, VB .Net, and Python. Windows OS The UL is included with the free MCC DAQ Software bundle (CD/download).
UL for Android™		Programming library of Java classes for programmers who develop apps for Android-based tablets and phones. UL for Android communicates with select MCC DAQ devices. Supports Android project development on Windows, Linux, Mac OS X UL for Android is included with the free MCC DAQ Software bundle (CD/download).
Linux® driver		Open-source Linux drivers are available for most MCC devices. Example programs are also provided.
Application-Specific Programming Support		
ULx for NI LabVIEW™		A comprehensive library of VIs and example programs for NI LabVIEW that is used to develop custom applications that interact with most MCC devices. Windows OS ULx for NI LabVIEW is included with the free MCC DAQ Software bundle (CD/download).
DASYLab®		Icon-based data acquisition, graphics, control, and analysis software that allows users to create complex applications in minimal time without text-based programming. Windows OS DASYLab is available as a purchased software download. An evaluation version is available for 28 days.
MATLAB® driver (USB-201/USB-204 standard and OEM))		High-level language and interactive environment for numerical computation, visualization, and programming. The Mathworks Data Acquisition Toolbox™ allows users to acquire data from most MCC PCI and USB devices. Visit www.MathWorks.com for more information about the Data Acquisition Toolbox.

Specifications

All specifications are subject to change without notice.
Typical for 25 °C unless otherwise specified.
These specifications apply to both standard and OEM versions unless otherwise specified.

Analog Input

A/D converter type: Successive approximation
ADC resolution: 12 bits
Number of channels: 8 SE
Input voltage range: ±10 V max
Absolute maximum input voltage
CHx to GND: ±25 V max (power on or power off)
Input impedance: 1 MΩ (power on or power off)
Input bias current
10 V input: –12 µA
0 V input: 2 µA
–10 V input: 12 µA
Input bandwidth, small signal (–3 dB)
USB-201/202: 150 kHz
USB-204/205: 1.0 MHz
Maximum working voltage
Input range relative to AGND: ±10.1 V max
Crosstalk (adjacent channels, DC to 10 kHz): –75 dB
Input coupling: DC
Sample rate
Internal pacer
USB-201/202: 0.016 S/s to 100 kS/s, software-selectable
USB-204/205: 0.016 S/s to 500 kS/s, software-selectable
External pacer
USB-201/202: 100 kS/s max
USB-204/205: 500 kS/s max
Sample clock source
Internal A/D clock
Pacer input terminal AICKI
Channel queue: Up to eight unique, ascending channels
Throughput
Software paced: 33 S/s to 4000 S/s typ, system dependent
Hardware paced
USB-201/202: 100 kS/s max, system dependent
USB-204/205: 500 kS/s max, system dependent
Warm-up time: 15 minutes min

Accuracy

Analog Input DC Voltage Measurement Accuracy

Range: ±10 V
Gain error (% of reading): 0.098
Offset error: 11 mV
Absolute accuracy at full scale: 20.8 mV
Gain temperature coefficient(% reading/°C): 0.016
Offset temperature coefficient (mV/°C): 0.87

Noise Performance

For peak to peak noise distribution, the input channel is connected to AGND at the input terminal block, and 12,000 samples are acquired at the maximum throughput.
Range: ±10 V
Counts: 5
LSBrms: 0.76

Analog Input Calibration

Recommended warm-up time: 15 minutes min
Calibration method: Factory
Calibration interval: 1 year

Analog Output (USB-202, USB-205 only)

Resolution: 12 bits, 1 in 4,096
Output range: 0 V to 5.0 V
Number of channels: 2
Throughput, software paced: 250 S/s single channel typ, PC dependent
Maximum throughput when scanning is machine dependent.
Power on and reset voltage, initializes to 000h code: 0 V, ±10 mV
Output drive, each D/A OUT: 5 mA, sourcing
Slew rate: 0.8 V/µs typ

Analog Output Accuracy

All values are (±); accuracy tested at no load.
Range: 0 V to 5.0 V
Accuracy (LSB): 5.0 typ, 45.0 max

Analog Output Accuracy Components

All values are (±)
Range: 0 V to 5.0 V
% of FSR: 0.08 typ, 0.72 max
Gain error at FS (mV): 4.0 typ, 36.0 max
Offset (mV): 1.0 typ, 9.0 max
Zero-scale offsets may result in a fixed zero-scale error producing a "dead-band" digital input code region. Changes in digital input code at values less than 0x040 may not produce a corresponding change in the output voltage. The offset error is tested and specified at code 0x040.
Accuracy at FS (mV): 5.0 typ, 45.0 max

Digital I/O

Digital type: TTL
Number of I/O: 8
Configuration: Each bit may be configured as input (power on default) or output
Pull-up configuration: The port has 47 kΩ resistors that may be configured as pull-up or pull-down with an internal jumper. The factory configuration is pull-down.
Digital I/O transfer rate (system-paced): 33 to 4000 port reads/writes per second typical, system dependent
Input low voltage threshold: 0.8 V max
Input high voltage threshold: 2.0 V min
Input voltage limits: 5.5 V absolute max, –0.5 V absolute min, 0 V recommended min
Output high voltage: 4.4 V min (IOH = –50 µA), 3.76 V min (IOH = –24 mA)
Output low voltage: 0.1 V max (IOL = 50 µA), 0.44 V max (IOL = 24 mA)
Output current: ±24 mA max

External Digital Trigger

Trigger source: TRIG input
Trigger mode: Software-selectable for edge or level sensitive, rising or falling edge, high or low level. Power on default is edge sensitive, rising edge.
Trigger latency: 1 µs + 1 pacer clock cycle max
Trigger pulse width: 125 ns min
Input type: Schmitt trigger, 47 kΩ pull-down to ground
Schmitt trigger hysteresis: 1.01 V typ, 0.6 V min, 1.5 V max
Input high voltage threshold: 2.43 V typ, 1.9 V min, 3.1 V max
Input low voltage threshold: 1.42 V typ, 1.0 V min, 2.0 V max
Input voltage limits: 5.5 V absolute max, –0.5 V absolute min, 0 V recommended min

External Pacer Input/Output

Terminal names: AICKI, AICKO
Terminal types
AICKI: Input, active on rising edge
AICKO: Output, power on default is 0 V, active on rising edge
Terminal descriptions
AICKI: Receives pacer clock from external source
AICKO: Outputs internal pacer clock
Input clock rate
USB-201/202: 100 kHz max
USB-204/205: 500 kHz max
Clock pulse width
AICKI: 400 ns min
AICKO: 400 ns min
Input type: Schmitt trigger, 47 kΩ pull-down to ground
Schmitt trigger hysteresis: 1.01 V typ, 0.6 V min, 1.5 V max
Input high voltage threshold: 2.43 V typ,1.9 V min, 3.1 V max
Input low voltage threshold: 1.42 V typ,1.0 V min, 2.0 V max
Input voltage limits: 5.5 V absolute max, –0.5 V absolute min, 0 V recommended min
Output high voltage: 4.4 V min (IOH = –50 µA), 3.80 V min (IOH = –8 mA)
Output low voltage: 0.1 V max (IOL = 50 µA), 0.44 V max (IOL = 8 mA)
Output current: ±8 mA max

Counter
Pin name: CTR
Counter type: Event counter
Number of channels: 1
Input type: Schmitt trigger, 47 kΩ pull-down to ground
Input source: CTR screw terminal
Resolution: 32 bits
Maximum input frequency: 1 MHz
Counter read/write rates (software paced): 33 to 4,000 reads/writes per second typ, system dependent
High pulse width: 25 ns min
Low pulse width: 25 ns min
Schmidt trigger hysteresis: 1.01 V typ, 0.6 V min, 1.5 V max
Input high voltage threshold: 2.43 V typ, 1.9 V min, 3.1 V max
Input high voltage limit: 5.5 V absolute max
Input low voltage threshold: 1.42 V typ, 1.0 V min, 2.0 V max
Input low voltage limit: –0.5 V absolute min, 0 V recommended min

Memory
Data FIFO: 12 K (12,288) analog input samples
Non-volatile memory: 2 KB (768 B calibration storage, 256 B UL user data, 1 KB system data)

Power
Supply current: 150 mA typ, 500 mA max (including user voltage, DIO and AICKO loading)
Total quiescent current requirement for the device, which includes up to 10 mA for the Status LED. This value does not include any potential loading of the digital I/O bits, AICKO, or user voltage.
User voltage output terminal (+VO): 4.5 V min, 5.25 V max
User voltage output current: 100 mA max

Environment
Operating temperature: 0 °C to 55 °C
Storage temperature: –40 °C to 85 °C
Relative humidity: 0% to 90% non-condensing

Mechanical
Signal I/O connector
Standard versions: Two banks of screw-terminal blocks
OEM versions: Two 2 × 8 0.1 in. pitch headers, labeled W1 and W3
Dimensions (L × W × H)
Standard versions: 117.86 × 82.80 × 28.96 mm (4.64 × 3.26 × 1.14 in.) max
OEM versions: 98.30 × 76.71 × 14.61 mm (3.87 × 3.02 × 0.575 in.) max

Order Information

Hardware

Part No.	Description
USB-201	USB-based DAQ device with eight 12-bit analog inputs, 100 kS/s sampling, and 8 digital I/O lines; includes USB cable and MCC DAQ software CD
USB-202	USB-based DAQ device with eight 12-bit analog inputs, 100 kS/s sampling, two 12-bit analog outputs, and 8 digital I/O lines (includes USB cable and MCC DAQ software CD)
USB-204	USB-based DAQ device with eight 12-bit analog inputs, 500 kS/s sampling, and 8 digital I/O lines; includes USB cable and MCC DAQ software CD
USB-205	USB-based DAQ device with eight 12-bit analog inputs, 500 kS/s sampling, two 12-bit analog outputs, and 8 digital I/O lines (includes USB cable and MCC DAQ software CD)
USB-201-OEM	Board-only USB-based DAQ device with eight 12-bit analog inputs, 100 kS/s sampling, and 8 digital I/O lines
USB-202-OEM	Board-only USB-based DAQ device with eight 12-bit analog inputs, 100 kS/s sampling, two 12-bit analog outputs, and 8 digital I/O lines
USB-204-OEM	Board-only USB-based DAQ device with eight 12-bit analog inputs, 500 kS/s sampling, and 8 digital I/O lines
USB-205-OEM	Board-only USB-based DAQ device with eight 12-bit analog inputs, 500 kS/s sampling, two 12-bit analog outputs, and 8 digital I/O lines

Accessories

Part No.	Description
ACC-205	DIN-rail kit; standard devices only

Software also Available from MCC

Part No.	Description
DAQami	Data acquisition companion software for acquiring data and generating signals
TracerDAQ Pro	Out-of-the-box virtual instrument suite with strip chart, oscilloscope, function generator, and rate generator – professional version
DASYLab	Icon-based data acquisition, graphics, control, and analysis software

© Measurement Computing Corporation

BTH-1208LS

Wireless Multifunction DAQ Device

The BTH-1208LS acquires wireless data acquisition at rates up to 1 kS/s and can be hosted by either a Windows-based or Android-based device.

Features

- Eight single-ended (SE) or four differential (DIFF) analog inputs
- Maximum Bluetooth® sample rates of 47 kS/s (BURSTIO) or 1 kS/s (hardware paced) over Bluetooth
- Maximum USB sample rates of 47 kS/s (hardware paced)
- Two 12-bit analog outputs
- Eight digital I/O and one 32-bit counter input
- Battery and USB power options

Supported Operating Systems

- Windows 10/8/7/Vista®/XP 32/64-bit
- Android™

Overview

The BTH-1208LS offers Bluetooth communication in a multifunction DAQ device. When paired with a compatible Windows-based or Android-based host device, the BTH-1208LS offers short-range wireless communication of acquired data.

The BTH-1208LS offers analog I/O, digital I/O, and event counter input over either a wireless Bluetooth or physical USB connection.

Bluetooth or USB Operation

The BTH-1208LS can operate wirelessly as a Bluetooth device or as a physically-connected USB device.

When operating as a Bluetooth device, the BTH-1208LS must be *paired* with the host device before it can wirelessly communicate acquired data. Pairing is a one-time procedure that establishes a bond with the host device.

The BTH-1208LS can transmit data up to 10 meters when operating as a Bluetooth device.

Analog Input

The BTH-1208LS provides up to eight 11-bit SE analog inputs or four 12-bit DIFF analog inputs.

The device offers a fixed ±10 V range for SE measurements, and ±20 V, ±10 V, ±5 V, ±4 V, ±2.5 V, ±2.0 V, ±1.25 V, and ±1.0 V ranges for DIFF measurements.

When performing a hardware-paced scan as a Bluetooth device, the BTH-1208LS supports a maximum aggregate sample rate of 1024 S/s. The total rate for all channels cannot exceed 1024 S/s.

The following table lists the per-channel sample rates (hardware paced) for one to eight channels in Bluetooth mode.

Maximum Per Channel Sample Rates (Bluetooth Mode – Hardware Paced))	
# of Channels in Acquisition	Maximum Sample Rate
1	1024 S/s
2	512 S/s
3	341.33 S/s
4	256 S/s
5	204.8 S/s
6	170.67 S/s
7	146.28 S/s
8	128 S/s

When operating in BURSTIO mode as a Bluetooth device, the BTH-1208LS can acquire data at a maximum aggregate rate of 47 kS/s. BURSTIO scans are limited to the depth of the onboard memory, as the data is acquired at a rate faster than it can be transferred to the computer.

When operating as a USB device, the device supports a maximum aggregate scan rate of 47 kS/s. The total acquisition rate for all channels cannot exceed 47 kS/s.

The following table lists the per-channel sample rates (hardware paced) for one to eight channels in USB mode.

Maximum Per Channel Sample Rates (USB Mode – Hardware Paced)	
# of Channels in Acquisition	Maximum Sample Rate
1	47 kS/s
2	23.5 kS/s
3	15.67 kS/s
4	11.75 kS/s
5	9.40 kS/s
6	7.83 kS/s
7	6.70 kS/s
8	5.88 kS/s

BTH-1208LS

Overview

Channel-Gain Queue

The channel-gain queue feature lets you configure a list of channels and gains for each scan. Each channel can have a different gain setting. The gain settings are stored in a channel-gain queue list that is written to local memory on the device. The channel-gain queue list can contain up to 8 elements in SE mode or four elements in DIFF mode. The elements must be unique and listed in ascending order.

Trigger Input

The BTH-1208LS external digital trigger input can be configured for either rising/falling edge, or high/low level.

External Clock Input

An external clock signal connection is provided to pace input scanning operations.

Analog Output

The BTH-1208LS includes two 12-bit analog outputs, each with an output range of 0 V to 2.5 V. The D/A is software paced, and throughput is system-dependent.

Digital I/O

The BTH-1208LS supports up to eight digital I/O lines. When configured for input, the digital terminals can detect the state of any TTL-level input.

Digital input voltage ranges of up to 0 V to 5.5 V are permitted, with thresholds of 0.8 V (low) and 2.0 V (high).

Each DIO channel is an open-drain output which can sink up to 50 mA for direct drive applications when used as an output.

Inputs are pulled high by default to 3.3 V through 47.5 kΩ resistors on the circuit board. The pull-up voltage is common to all 47.5 kΩ resistors.

Counter Input

The BTH-1208LS has a 32-bit event counter that can accept frequency inputs up to 1 MHz. The internal counter increments when the TTL levels transition from low to high.

Power Options

When connected to a USB power supply, BTH-1208LS receives 5 V power. When the device is connected to a host USB port, USB provides both power and communication.

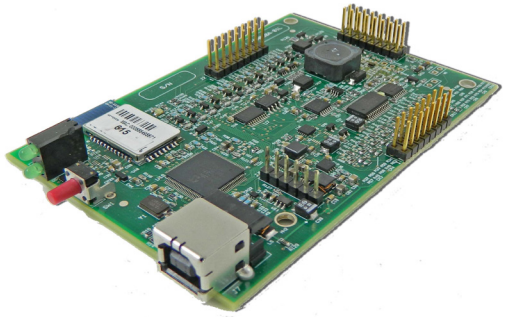
If rechargeable NiMH or NiCd batteries are installed, the batteries recharge when the device is connected to a USB host or USB power supply.

Calibration

The BTH-1208LS is factory-calibrated using a NIST-traceable calibration process. Specifications are guaranteed for one year. For calibration beyond one year, return the device to the factory for recalibration.

BTH-1208LS-OEM Version

The BTH-1208LS-OEM has a board-only form factor with header connectors for OEM and embedded applications (no case, CD, or network cable included). All devices can be further customized to meet customer needs.



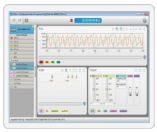
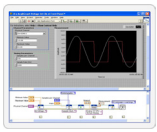
The BTH-1208LS-OEM has the same specifications as the standard device, but in a board-only form factor with header connectors instead of screw terminals. In Bluetooth mode, power options from an external 5 V supply or a USB power supply are available.

BTH-1208LS

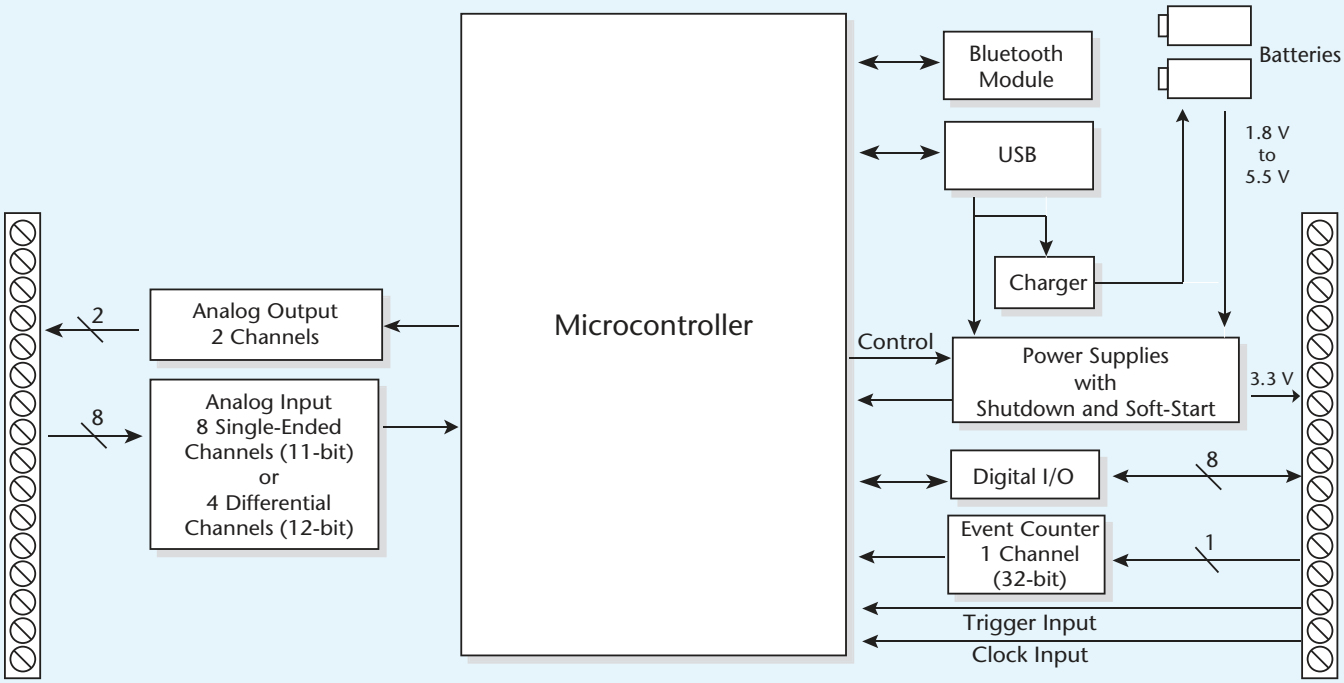
Software

Software Support

The BTH-1208LS is supported by the software in the table below.

Ready-to-Run Applications		
DAQami™		Data acquisition companion software with drag-and-drop interface that is used to acquire, view, and log data, and generate signals. DAQami can be configured to log analog, digital, and counter channels, and to view that data in real-time or post-acquisition on user-configurable displays. Logged data can be exported for use in Excel® or MATLAB®. Windows OS DAQami is included with the free MCC DAQ Software bundle (CD/download). Install DAQami and try the fully-functional software for 30 days. After 30 days, all features except for data logging and data export will continue to be available – data logging and data export features can be unlocked by purchasing the software.
InstaCal™		An interactive installation, configuration, and test utility for MCC hardware. Windows OS InstaCal is included with the free MCC DAQ Software bundle (CD/download).
TracerDAQ® and TracerDAQ Pro		Virtual strip chart, oscilloscope, function generator, and rate generator applications used to generate, acquire, analyze, display, and export data. Supported features may vary by hardware. The Pro version provides enhanced features. Windows OS TracerDAQ is included with the free MCC DAQ Software bundle (CD/download). TracerDAQ Pro is available as a purchased software download.
General-Purpose Programming Support		
Universal Library™ (UL)		Library for developing applications in C, C++, VB, C# .Net, VB .Net, and Python. Windows OS The UL is included with the free MCC DAQ Software bundle (CD/download).
UL for Android™		Programming library of Java classes for programmers who develop apps for Android-based tablets and phones. UL for Android communicates with select MCC DAQ devices. Supports Android project development on Windows, Linux, Mac OS X UL for Android is included with the free MCC DAQ Software bundle (CD/download).
Application-Specific Programming Support		
ULx for NI LabVIEW™		A comprehensive library of VIs and example programs for NI LabVIEW that is used to develop custom applications that interact with most MCC devices. Windows OS ULx for NI LabVIEW is included with the free MCC DAQ Software bundle (CD/download).
DASYLab®		Icon-based data acquisition, graphics, control, and analysis software that allows users to create complex applications in minimal time without text-based programming. Windows OS DASYLab is available as a purchased software download.

BTH-1208LS Block Diagram



Specifications

All specifications are subject to change without notice.
Typical for 25°C unless otherwise specified.

Analog Input

A/D converter type: Successive approximation type
Input Voltage Range for Linear Operation (CHx to GND)
Single-ended mode: ±10 V max
Differential mode: –10 V min, 20 V max
Absolute maximum input voltage (CHx to GND): ±25 V max
Input impedance: 140 kΩ
Input current
Vin = 10 V: 70 µA typ
Vin = 0 V: –12 µA typ
Vin = –10 V: –94 µA typ
Input current is a function of applied voltage on the analog input channels. For a given input voltage, Vin, the input leakage is approximately equal to (8.181 * Vin – 12) µA.
Number of channels: 8 single-ended or 4 differential; software-selectable
Input ranges (software-selectable)
Single-ended: ±10 V, G=2
Differential: ±20 V, G=1; ±10 V, G=2; ±5 V, G=4; ±4 V, G=5; ±2.5 V, G=8; ±2.0 V, G=10; ±1.25 V, G=16; ±1.0 V,G=20;

Throughput
Maximum throughput when scanning is system-dependent
Software paced
10 S/s typ, system-dependent (Bluetooth)
250 S/s typ, system-dependent (USB)
Hardware paced
0.014 S/s to 1024 S/s (Bluetooth)
0.014 S/s to 47 kS/s (USB)
BURSTIO: 0.014 S/s to 47 kS/s to 12K (12,288) sample FIFO. Transfer rate to host is limited to 1024 S/s (Bluetooth)
Channel gain queue (software-selectable): 8 elements in SE mode, 4 elements in DIFF mode. One gain element per channel. Elements must be unique and listed in ascending order.
Resolution
Differential: 12 bits, no missing codes
Single-ended: 11 bits (The AD7870 converter only returns 11 bits [0 to 2,047 codes] in single-ended mode)
Integral linearity error: ±1 LSB typ
Differential linearity error: ±0.5 LSB typ
Repeatability: ±1 LSB typ
Trigger source (software-selectable): External digital (TRIG)
Pacer source (software-selectable)
Internal
External (AICKI), rising edge triggered

BTH-1208LS

Specifications

Analog Input Accuracy Differential Mode	
Range	**Accuracy (LSB)**
±20 V	5.1
±10 V	6.1
±5 V	8.1
±4 V	9.1
±2.5 V	12.1
±2 V	14.1
±1.25 V	20.1
±1 V	24.1
Single-Ended Mode	
±10 V	4.0

Analog Input Accuracy Components Differential Mode (All Values are (±))				
Range	**% of Reading**	**Gain Error at Full Scale**	**Offset**	**Accuracy at Full Scale**
±20 V	0.2	40 mV	9.766 mV	49.766 mV
±10 V	0.2	20 mV	9.766 mV	29.766 mV
±5 V	0.2	10 mV	9.766 mV	19.766 mV
±4 V	0.2	8 mV	9.766 mV	17.766 mV
±2.5 V	0.2	5 mV	9.766 mV	14.766 mV
±2 V	0.2	4 mV	9.766 mV	13.766 mV
±1.25 V	0.2	2.5 mV	9.766 mV	12.266 mV
±1 V	0.2	2 mV	9.766 mV	11.766 mV
Single-Ended Mode (All Values are (±)				
±10 V	0.2	20	19.531	39.531

Noise Performance Differential Mode		
Range	**Typical Counts**	**LSBrms**
±20 V	3	0.45
±10 V	3	0.45
±5 V	3	0.45
±4 V	4	0.61
±2.5 V	5	0.76
±2 V	7	1.06
±1.25 V	10	1.52
±1 V	12	1.82
Single-Ended Mode		
±10 V	6	0.91

Analog Output

Resolution: 12-bits, 1 in 4,096
Output range: 0 V to 2.5 V
Number of channels: 2
Throughput (software paced): 10 S/s single channel typ, system-dependent
Zero-scale offsets may result in a fixed zero-scale error producing a *dead-band* digital input code region. In this case, changes in digital input code at values less than 0x040 may not produce a corresponding change in the output voltage. The offset error is tested and specified at code 0x040.
Power on and reset voltage
USB operation: Initializes to 000h code
Bluetooth operation: The outputs can be individually configured to initialize to 000h or to have user-configurable values written to the outputs when the Bluetooth host device is connected or disconnected.
Output current drive (each D/A OUT): 5 mA source capability
Slew rate: 0.75 V/ µs typ

Analog Output Accuracy

All values are (±) accuracy tested at no load
Range: 0 V to 2.5 V
Accuracy (LSB): 8.0 typ, 73.0 max

Analog Output Accuracy Components (All Values are (±))

Range: 0 V to 2.5 V
% of Reading: 0.16 typ, 1.44 max
Gain error at full scale: 4.0 mV typ, 36.0 mV max
Offset: 1.0 mV typ, 9.0 mV max
Zero-scale offsets may result in a fixed zero-scale error producing a dead-band digital input code region. In this case, changes in digital input code at values less than 0x040 may not produce a corresponding change in the output voltage. The offset error is tested and specified at code 0x040.
Accuracy at full scale: 5.0 mV typ, 45.0 mV max

Digital Input/Output

Digital type: 3.3 V open drain
Output value mapping
0 written: Output drives to DGND
1 written: Output is pulled up to 3.3 V by internal resistor
Number of I/O: 8
Configuration: Individually configurable
Input voltage range: 0 V to 5.5 V
Each transistor source pin is internally connected to DGND
Pull up/pull-down configuration:47.5 kΩ pull-up resistors (to 3.3 V), 2.2 kΩ series resistors
Input high voltage threshold: 2.0 V min
Input high voltage limit: 5.5 V absolute max
Input low voltage threshold: 0.8 V max
Input Low voltage limit: –0.5 V absolute min, 0 V recommended min
Output Voltage range: 0 V to 3.3 V (no external pull up resistor), 0 V to 5.5 V max
The external pull-up is connected to the digital output bit through an external pull-up resistor. Adding an external pull-up resistor connects it in parallel with the internal 47.5 kΩ pull-up resistor of that particular digital input/output bit. Careful consideration should be made when considering the external pull-up resistor value and the resultant pull-up voltage produced at the load.
Output off state leakage current: 1.0 µA typ
Does not include the additional leakage current contribution through the internal or any external pull-up resistor.
Sink Current capability: 50 mA max (continuous) per pin
Transistor on resistance: 0.7 Ω max
Power on and reset state
USB operation: All input
Bluetooth operation: The digital I/O can either be all input at power on / reset or may be configured to have user-configurable patterns written to the DIO when the Bluetooth host is connected or disconnected. Each transistor source pin is internally connected to DGND.

May 2017. Rev 6
© Measurement Computing Corporation

BTH-1208LS

Ordering

External Trigger
Trigger source: External digital; TRIG terminal
Trigger mode: Software configurable for edge or level sensitive, rising or falling edge, high or low level.
Trigger latency: 10 µs max
Trigger pulse width: 1 µs min
Input type: Schmitt trigger, 47 kΩ pull-down to ground
Schmitt trigger hysteresis: 0.76 V typ, 0.4 V min, 1.2 V max
Input high voltage threshold:1.74 V typ, 1.3 V min, 2.2 V max
Input high voltage limit: 5.5 V absolute max
Input low voltage threshold: 0.98 V typ, 0.6 V min, 1.5 V max
Input low voltage limit: –0.5 V absolute min, 0 V recommended min

External Clock Input
Terminal name: AICKI
Terminal type: Input
Input clock rate: 50 kHz, max
Clock pulse width: 1 µs min
Input type: Schmitt trigger, 47 kΩ pull-down to ground
Schmitt trigger hysteresis: 0.76 V typ, 0.4 V min, 1.2 V max
Input high voltage threshold: 1.74 V typ, 1.3 V min, 2.2 V max
Input high voltage limit: 5.5 V absolute max
Input low voltage threshold: 0.98 V typ, 0.6 V min, 1.5 V max
Input low voltage limit: –0.5 V absolute min, 0 V recommended min

Counter
Pin name: CTR
Counter type: Event counter
Number of channels: 1
Input type: Schmitt trigger, 47 kΩ pull-down to ground, rising edge triggered
Input source: CTR screw terminal
Resolution: 32 bits
Maximum input frequency: 1 MHz
High pulse width: 500 ns min
Low pulse width: 500 ns min
Schmitt trigger hysteresis: 0.76 V typ, 0.4 V min, 1.2 V max
Input high voltage threshold: 1.74 V typ, 1.3 V min, 2.2 V max
Input high voltage limit: 5.5 V absolute max
Input low voltage threshold: 0.98 V typ, 0.6 V min, 1.5 V max
Input low voltage limit: –0.5 V absolute min, 0 V recommended min

Memory
FIFO: 12K (12,288) samples
Non-volatile EEPROM: 2,048 bytes (768 bytes calibration, 256 bytes user, 1,024 bytes firmware use)

Microcontroller
Type: High performance 16-bit RISC microcontroller

Power
Supply current, USB Source
During enumeration: < 100 mA
After USB enumeration or connected to USB charger/supply: < 500 mA
Battery power: Two AA cells; alkaline, NiCd, and NiMH cells supported
Battery charging: NiMH and NiCd charging supported. Alkaline cells automatically detected and not charged.
When operating from batteries, there is a user configurable power-off timer that will turn the device off when there is no host connection for the specified amount of time. The timer can be disabled or set to a value from 1 – 255 minutes.
+VO power available (after USB enumeration or Bluetooth connection): 3.3 V nominal
+VO output current (after USB enumeration or Bluetooth connection: 50 mA max

Bluetooth
The Bluetooth radio is disabled when the device is connected to a USB host.
Device type: Bluetooth 2.1
Device compatibility: Backwards compatible with Bluetooth 2.0, 1.2, and 1.1
Bluetooth profile: Serial Port Profile (SPP)
Radio range: Class II, 10 m typ

USB
Device type: USB 2.0 full speed
Device compatibility: USB 1.1, USB 2.0

Environmental
Operating temperature range: 0 °C to 50 °C (32 °F to 122 °F)
Storage temperature range: –40 °C to 70 °C (–40 °F to 158 °F)
Humidity: 0% to 90% non-condensing

Mechanical
Dimensions (L × W × H)
BTH-1208LS: 146.56 × 81.31 × 27.18 mm (5.77 × 3.28 × 1.07 in.)
BTH-1208LS-OEM (PCB dimensions): 99.06 × 68.58 × 14.61 mm (3.90 × 2.70 × 0.58 in.)
USB cable length: 3 m (9.84 ft) max
User connection length: 3 m (9.84 ft) max

Signal Connector
Connector type
BTH-1208LS: Screw terminal
BTH-1208LS-OEM: Three 2 × 8 pin, 0.1 in. pitch headers
Wire gauge range: 16 AWG to 30 AWG

Ordering Information

Part No.	Description
BTH-1208LS	Wireless DAQ device with 8 SE/4 DIFF analog inputs, 1 kS/s throughput in Bluetooth mode; 2 analog outputs; 8 digital I/O lines; and one 32-bit counter input channel
BTH-1208LS-OEM	Board-only wireless DAQ device with 8 SE/4 DIFF analog inputs, 1 kS/s throughput in Bluetooth mode; 2 analog outputs; 8 digital I/O lines; and one 32-bit counter input channel

Accessories and Cables

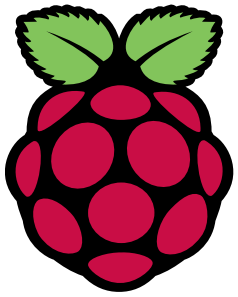
Part No.	Description
ACC-205	DIN-rail kit; compatible with the BTH-1208LS standard device.

Software also Available from MCC

Part No.	Description
DAQami	Data acquisition companion software for acquiring data and generating signals
TracerDAQ Pro	Out-of-the-box virtual instrument suite with strip chart, oscilloscope, function generator, and rate generator – professional version
DASYLab	Icon-based data acquisition, graphics, control, and analysis software

May 2017. Rev 6
© Measurement Computing Corporation

DATASHEET



Raspberry Pi Compute Module (CM1)

Raspberry Pi Compute Module 3 (CM3)

Raspberry Pi Compute Module 3 Lite (CM3L)

Version 1.0, October 2016

Copyright 2016 Raspberry Pi (Trading) Ltd. All rights reserved.

Table 1: Revision History

Revision	Date	Description
1.0	13/10/2016	First release

Contents

1 Introduction **5**

2 Features **6**
2.1 Hardware 6
2.2 Peripherals 6
2.3 Software 6

3 Block Diagram **7**

4 Mechanical Specification **9**

5 Pin Assignments **11**

6 Electrical Specification **13**

7 Power Supplies **14**
7.1 Supply Sequencing 15
7.2 Power Requirements 15

8 Booting **16**

9 Peripherals **17**
9.1 GPIO 17
9.1.1 GPIO Alternate Functions 18
9.1.2 Secondary Memory Interface (SMI) 19
9.1.3 Display Parallel Interface (DPI) 19
9.1.4 SD/SDIO Interface 20
9.2 CSI (MIPI Serial Camera) 20
9.3 DSI (MIPI Serial Display) 20
9.4 USB 20
9.5 HDMI 20
9.6 Composite (TV Out) 21

10 Thermals **21**
10.1 Temperature Range 21

11 Availability **21**

12 Support **21**

List of Figures

1 CM1 Block Diagram 7
2 CM3/CM3L Block Diagram 8
3 CM1 Mechanical Dimensions 9
4 CM3 and CM3L Mechanical Dimensions 10
5 Digital IO Characteristics 14

List of Tables

1 Revision History 1
2 Compute Module SODIMM Connector Pinout 11
3 Pin Functions 12
4 Absolute Maximum Ratings 13
5 DC Characteristics 13
6 Digital I/O Pin AC Characteristics 14
7 Power Supply Operating Ranges 15
8 Mimimum Power Supply Requirements 16
9 GPIO Bank0 Alternate Functions 18
10 GPIO Bank1 Alternate Functions 19

1 Introduction

The Raspberry Pi Compute Module (CM1), Compute Module 3 (CM3) and Compute Module 3 Lite (CM3L) are DDR2-SODIMM-mechanically-compatible System on Modules (SoMs) containing processor, memory, eMMC Flash (for CM1 and CM3) and supporting power circuitry. These modules allow a designer to leverage the Raspberry Pi hardware and software stack in their own custom systems and form factors. In addition these module have extra IO interfaces over and above what is available on the Raspberry Pi model A/B boards opening up more options for the designer.

The CM1 contains a BCM2835 processor (as used on the original Raspberry Pi and Raspberry Pi B+ models), 512MByte LPDDR2 RAM and 4Gbytes eMMC Flash. The CM3 contains a BCM2837 processor (as used on the Raspberry Pi 3), 1Gbyte LPDDR2 RAM and 4Gbytes eMMC Flash. Finally the CM3L product is the same as CM3 except the eMMC Flash is not fitted, and the SD/eMMC interface pins are available for the user to connect their own SD/eMMC device.

Note that the BCM2837 processor is an evolution of the BCM2835 processor. The only real differences are that the BCM2837 can address more RAM (up to 1Gbyte) and the ARM CPU complex has been upgraded from a single core ARM11 in BCM2835 to a Quad core Cortex A53 with dedicated 512Kbyte L2 cache in BCM2837. All IO interfaces and peripherals stay the same and hence the two chips are largely software and hardware compatible.

The pinout of CM1 and CM3 are identical. Apart from the CPU upgrade and increase in RAM the other significant hwardware differences to be aware of are that CM3 has grown from 30mm to 31mm in height, the VBAT supply can now draw significantly more power under heavy CPU load, and the HDMI_HPD_N_1V8 (GPIO46_1V8 on CM1) and EMMC_EN_N_1V8 (GPIO47_1V8 on CM1) are now driven from an IO expander rather than the processor. If a designer of a CM1 product has a suitably specified VBAT, can accomodate the extra 1mm module height increase and has followed the design rules with respect to GPIO46_1V8 and GPIO47_1V8 then a CM3 should work fine in a board designed for a CM1.

2 Features

2.1 Hardware

- Low cost
- Low power
- High availability
- High reliability
  - Tested over millions of Raspberry Pis Produced to date
  - Module IO pins have 35u hard gold plating

2.2 Peripherals

- 48x GPIO
- 2x I2C
- 2x SPI
- 2x UART
- 2x SD/SDIO
- 1x HDMI 1.3a
- 1x USB2 HOST/OTG
- 1x DPI (Parallel RGB Display)
- 1x NAND interface (SMI)
- 1x 4-lane CSI Camera Interface (up to 1Gbps per lane)
- 1x 2-lane CSI Camera Interface (up to 1Gbps per lane)
- 1x 4-lane DSI Display Interface (up to 1Gbps per lane)
- 1x 2-lane DSI Display Interface (up to 1Gbps per lane)

2.3 Software

- ARMv6 (CM1) or ARMv7 (CM3, CM3L) Instruction Set
- Mature and stable Linux software stack
  - Latest Linux Kernel support
  - Many drivers upstreamed
  - Stable and well supported userland
  - Full availability of GPU functions using standard APIs

3 Block Diagram

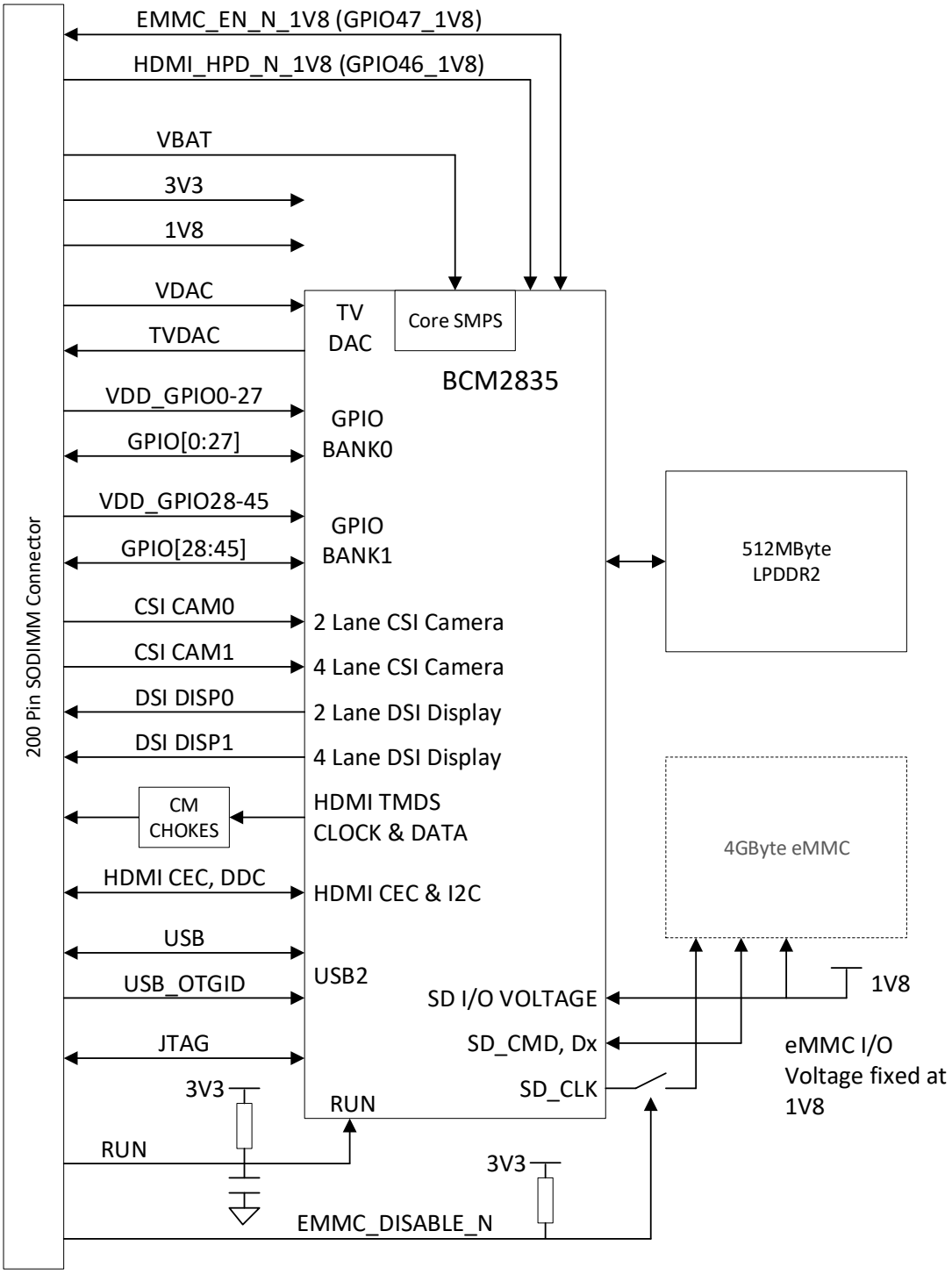


Figure 1: CM1 Block Diagram

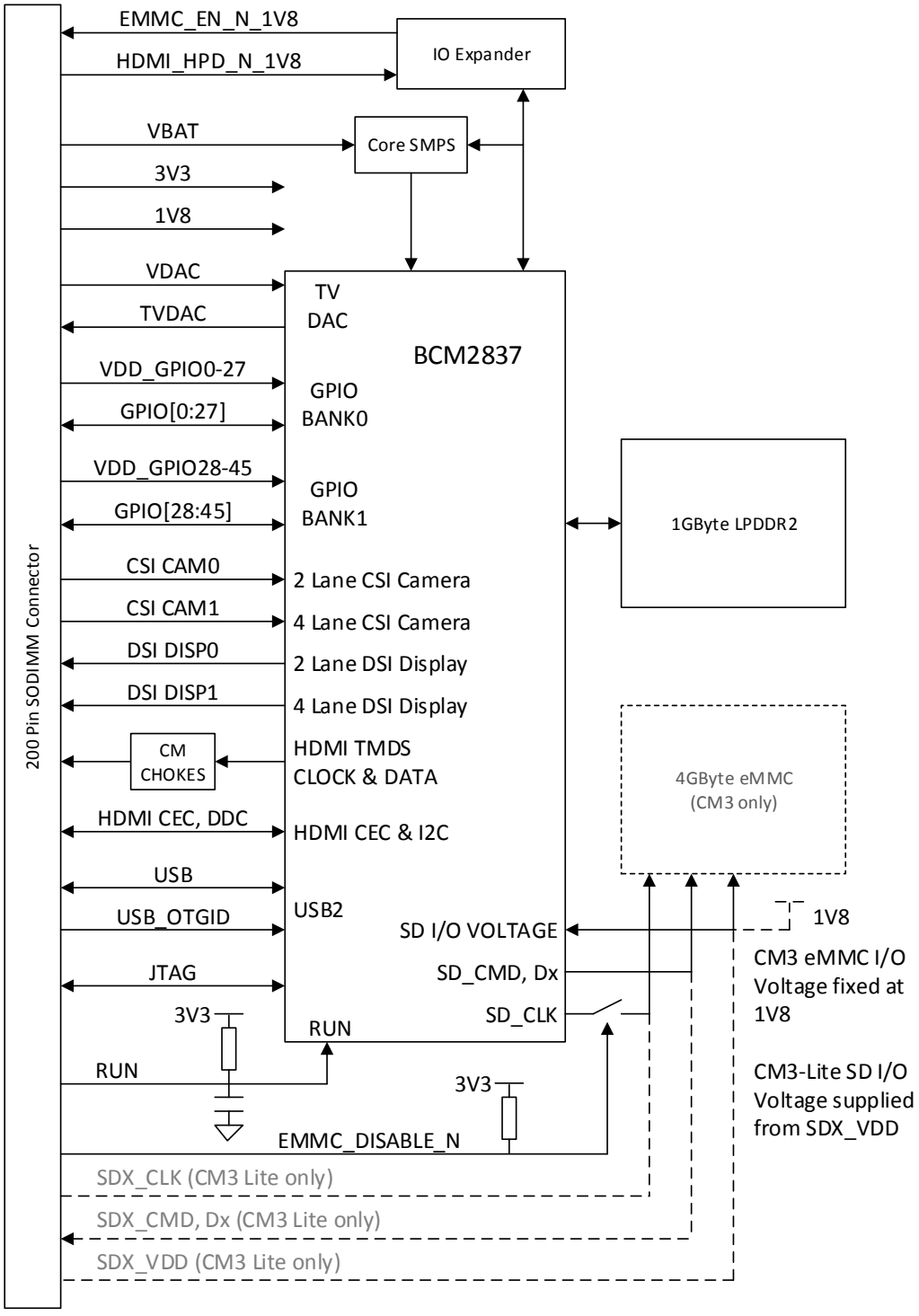


Figure 2: CM3/CM3L Block Diagram

4 Mechanical Specification

The Compute Modules conform to JEDEC MO-224 mechanical specification for 200 pin DDR2 (1.8V) SODIMM modules (with the exception that the CM3, CM3L modules are 31mm in height rather than 30mm of CM1) and therefore should work with the many DDR2 SODIMM sockets available on the market. **(Please note that the pinout of the Compute Module is not the same as a DDR2 SODIMM module; they are not electrically compatible.)**

The SODIMM form factor was chosen as a way to provide the 200 pin connections using a standard, readily available and low cost connector compatible with low cost PCB manufacture.

The maximum component height on the underside of the Compute Module is 1.2mm.

The maximum component height on the top side of the Compute Module is 1.5mm.

The Compute Module PCB thickness is 1.0mm +/- 0.1mm.

Note that the location and arrangement of components on the Compute Module may change slightly over time due to revisions for cost and manufacturing considerations; however, maximum component heights and PCB thickness will be kept as specified.

Figure 3 gives the CM1 mechanical dimensions. Figure 4 gives the CM3 and CM3L mechanical dimensions.

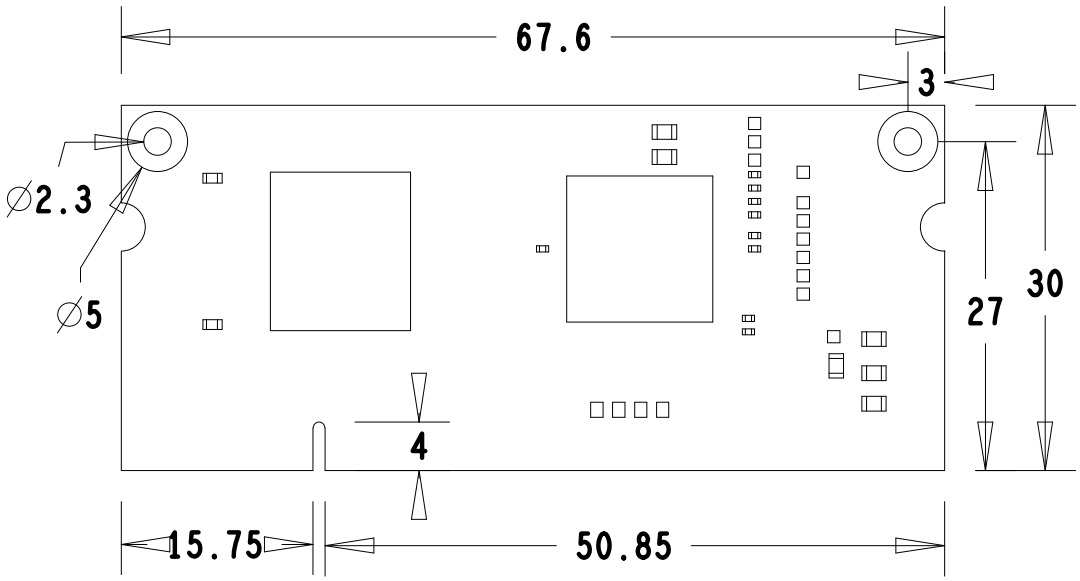


Figure 3: CM1 Mechanical Dimensions

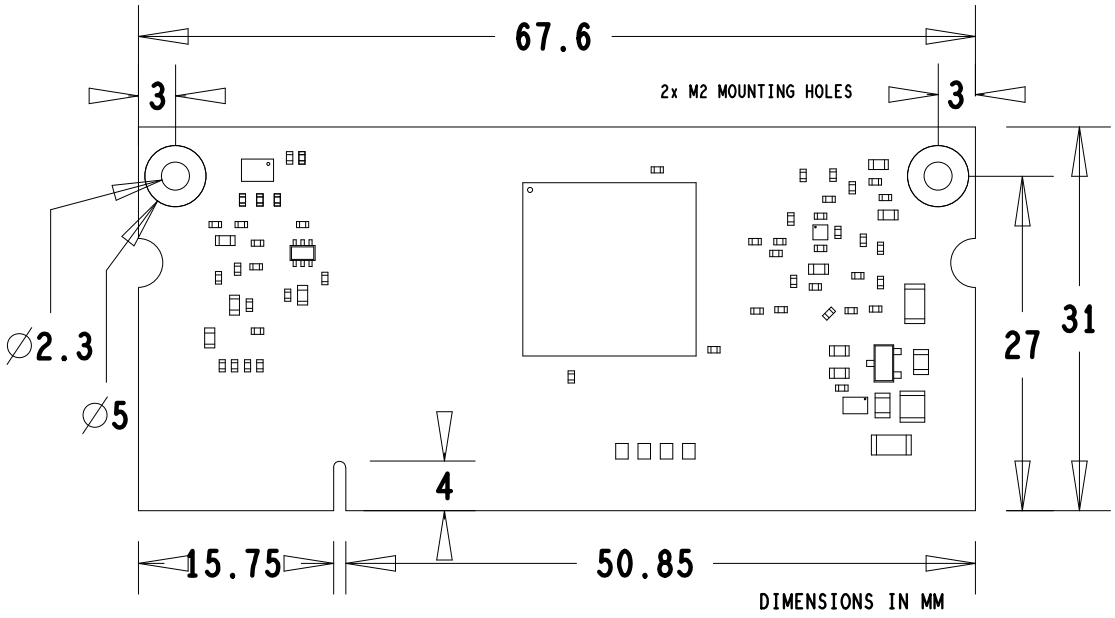


Figure 4: CM3 and CM3L Mechanical Dimensions

5 Pin Assignments

CM1	CM3-Lite	CM3	PIN		PIN	CM3	CM3-Lite	CM1
GND			1		2	EMMC_DISABLE_N		
GPIO0			3		4	NC	SDX_VDD	NC
GPIO1			5		6	NC	SDX_VDD	NC
GND			7		8	GND		NC
GPIO2			9		10	NC	SDX_CLK	NC
GPIO3			11		12	NC	SDX_CMD	NC
GND			13		14	GND		NC
GPIO4			15		16	NC	SDX_D0	NC
GPIO5			17		18	NC	SDX_D1	NC
GND			19		20	GND		NC
GPIO6			21		22	NC	SDX_D2	NC
GPIO7			23		24	NC	SDX_D3	NC
GND			25		26	GND		
GPIO8			27		28	GPIO28		
GPIO9			29		30	GPIO29		
GND			31		32	GND		
GPIO10			33		34	GPIO30		
GPIO11			35		36	GPIO31		
GND			37		38	GND		
GPIO0-27_VDD			39		40	GPIO0-27_VDD		
			KEY					
GPIO28-45_VDD			41		42	GPIO28-45_VDD		
GND			43		44	GND		
GPIO12			45		46	GPIO32		
GPIO13			47		48	GPIO33		
GND			49		50	GND		
GPIO14			51		52	GPIO34		
GPIO15			53		54	GPIO35		
GND			55		56	GND		
GPIO16			57		58	GPIO36		
GPIO17			59		60	GPIO37		
GND			61		62	GND		
GPIO18			63		64	GPIO38		
GPIO19			65		66	GPIO39		
GND			67		68	GND		
GPIO20			69		70	GPIO40		
GPIO21			71		72	GPIO41		
GND			73		74	GND		
GPIO22			75		76	GPIO42		
GPIO23			77		78	GPIO43		
GND			79		80	GND		
GPIO24			81		82	GPIO44		
GPIO25			83		84	GPIO45		
GND			85		86	GND		
GPIO26			87		88	HDMI_HPD_N_1V8		GPIO46_1V8
GPIO27			89		90	EMMC_EN_N_1V8		GPIO47_1V8
GND			91		92	GND		
DSI0_DN1			93		94	DSI1_DP0		
DSI0_DP1			95		96	DSI1_DN0		
GND			97		98	GND		
DSI0_DN0			99		100	DSI1_CP		
DSI0_DP0			101		102	DSI1_CN		
GND			103		104	GND		
DSI0_CN			105		106	DSI1_DP3		
DSI0_CP			107		108	DSI1_DN3		
GND			109		110	GND		
HDMI_CLK_N			111		112	DSI1_DP2		
HDMI_CLK_P			113		114	DSI1_DN2		
GND			115		116	GND		
HDMI_D0_N			117		118	DSI1_DP1		
HDMI_D0_P			119		120	DSI1_DN1		
GND			121		122	GND		
HDMI_D1_N			123		124	NC		
HDMI_D1_P			125		126	NC		
GND			127		128	NC		
HDMI_D2_N			129		130	NC		
HDMI_D2_P			131		132	NC		
GND			133		134	GND		
CAM1_DP3			135		136	CAM0_DP0		
CAM1_DN3			137		138	CAM0_DN0		
GND			139		140	GND		
CAM1_DP2			141		142	CAM0_CP		
CAM1_DN2			143		144	CAM0_CN		
GND			145		146	GND		
CAM1_CP			147		148	CAM0_DP1		
CAM1_CN			149		150	CAM0_DN1		
GND			151		152	GND		
CAM1_DP1			153		154	NC		
CAM1_DN1			155		156	NC		
GND			157		158	NC		
CAM1_DP0			159		160	NC		
CAM1_DN0			161		162	NC		
GND			163		164	GND		
USB_DP			165		166	TVDAC		
USB_DM			167		168	USB_OTGID		
GND			169		170	GND		
HDMI_CEC			171		172	VC_TRST_N		
HDMI_SDA			173		174	VC_TDI		
HDMI_SCL			175		176	VC_TMS		
RUN			177		178	VC_TDO		
VDD_CORE (DO NOT CONNECT)			179		180	VC_TCK		
GND			181		182	GND		
1V8			183		184	1V8		
1V8			185		186	1V8		
GND			187		188	GND		
VDAC			189		190	VDAC		
3V3			191		192	3V3		
3V3			193		194	3V3		
GND			195		196	GND		
VBAT			197		198	VBAT		
VBAT			199		200	VBAT		

Table 2: Compute Module SODIMM Connector Pinout

Table 2 gives the Compute Module pinout and Table 3 gives the Compute Module pin functions.

Pin Name	DIR	Voltage Ref	PDN[a] State	If Unused	Description/Notes
RUN and Boot Control (see text for usage guide)					
RUN	I	3V3[b]	Pull High	Leave open	Has internal 10k pull up
EMMC_DISABLE_N	I	3V3[b]	Pull High	Leave open	Has internal 10k pull up
EMMC_EN_N_1V8	O	1V8	Pull High	Leave open	Has internal 2k2 pull up
GPIO					
GPIO[27:0]	I/O	GPIO0-27_VDD	Pull or Hi-Z[c]	Leave open	GPIO Bank 0
GPIO[45:28]	I/O	GPIO28-45_VDD	Pull or Hi-Z[c]	Leave open	GPIO Bank 1
Primary SD Interface[d,e]					
SDX_CLK	O	SDX_VDD	Pull High	Leave open	Primary SD interface CLK
SDX_CMD	I/O	SDX_VDD	Pull High	Leave open	Primary SD interface CMD
SDX_Dx	I/O	SDX_VDD	Pull High	Leave open	Primary SD interface DATA
USB Interface					
USB_Dx	I/O	-	Z	Leave open	Serial interface
USB_OTGID	I	3V3		Tie to GND	OTG pin detect
HDMI Interface					
HDMI_SCL	I/O	3V3[b]	Z[f]	Leave open	DDC Clock (5.5V tolerant)
HDMI_SDA	I/O	3V3[b]	Z[f]	Leave open	DDC Data (5.5V tolerant)
HDMI_CEC	I/O	3V3	Z	Leave open	CEC (has internal 27k pull up)
HDMI_CLKx	O	-	Z	Leave open	HDMI serial clock
HDMI_Dx	O	-	Z	Leave open	HDMI serial data
HDMI_HPD_N_1V8	I	1V8	Pull High	Leave open	HDMI hotplug detect
CAM0 (CSI0) 2-lane Interface					
CAM0_Cx	I	-	Z	Leave open	Serial clock
CAM0_Dx	I	-	Z	Leave open	Serial data
CAM1 (CSI1) 4-lane Interface					
CAM1_Cx	I	-	Z	Leave open	Serial clock
CAM1_Dx	I	-	Z	Leave open	Serial data
DSI0 (Display 0) 2-lane Interface					
DSI0_Cx	O	-	Z	Leave open	Serial clock
DSI0_Dx	O	-	Z	Leave open	Serial data
DSI1 (Display 1) 4-lane Interface					
DSI1_Cx	O	-	Z	Leave open	Serial clock
DSI1_Dx	O	-	Z	Leave open	Serial data
TV Out					
TVDAC	O	-	Z	Leave open	Composite video DAC output
JTAG Interface					
TMS	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TRST_N	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TCK	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TDI	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TDO	O	3V3	O	Leave open	Has internal 50k pull up

[a] The PDN column indicates power-down state (when RUN pin LOW)
[b] Must be driven by an open-collector driver
[c] GPIO have software enabled pulls which keep state over power-down
[d] Only available on Lite variants
[e] The CM will always try to boot from this interface first
[f] Requires external pull-up resistor to 5V as per HDMI spec

Table 3: Pin Functions

6 Electrical Specification

Caution! Stresses above those listed in Table 4 may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device under these or any other conditions above those listed in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Symbol	Parameter	Minimum	Maximum	Unit
VBAT	Core SMPS Supply	-0.5	6.0	V
3V3	3V3 Supply Voltage	-0.5	4.10	V
1V8	1V8 Supply Voltage	-0.5	2.10	V
VDAC	TV DAC Supply	-0.5	4.10	V
GPIO0-27_VDD	GPIO0-27 I/O Supply Voltage	-0.5	4.10	V
GPIO28-45_VDD	GPIO28-27 I/O Supply Voltage	-0.5	4.10	V
SDX_VDD	Primary SD/eMMC Supply Voltage	-0.5	4.10	V

Table 4: Absolute Maximum Ratings

DC Characteristics are defined in Table 5

Symbol	Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Unit
V_{IL}	Input low voltage[a]	VDD_IO = 1.8V	-	-	0.6	V
		VDD_IO = 2.7V	-	-	0.8	V
V_{IH}	Input high voltage[a]	VDD_IO = 1.8V	1.0	-	-	V
		VDD_IO = 2.7V	1.3	-	-	V
I_{IL}	Input leakage current	TA = +85°C	-	-	5	μA
C_{IN}	Input capacitance	-	-	5	-	pF
V_{OL}	Output low voltage[b]	VDD_IO = 1.8V, IOL = -2mA	-	-	0.2	V
		VDD_IO = 2.7V, IOL = -2mA	-	-	0.15	V
V_{OH}	Output high voltage[b]	VDD_IO = 1.8V, IOH = 2mA	1.6	-	-	V
		VDD_IO = 2.7V, IOH = 2mA	2.5	-	-	V
I_{OL}	Output low current[c]	VDD_IO = 1.8V, VO = 0.4V	12	-	-	mA
		VDD_IO = 2.7V, VO = 0.4V	17	-	-	mA
I_{OH}	Output high current[c]	VDD_IO = 1.8V, VO = 1.4V	10	-	-	mA
		VDD_IO = 2.7V, VO = 2.3V	16	-	-	mA
R_{PU}	Pullup resistor	-	50	-	65	kΩ
R_{PD}	Pulldown resistor	-	50	-	65	kΩ

[a] Hysteresis enabled
[b] Default drive strength (8mA)
[c] Maximum drive strength (16mA)

Table 5: DC Characteristics

AC Characteristics are defined in Table 6 and Fig. 5.

Pin Name	Symbol	Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Digital outputs	t_{rise}	10-90% rise time[a]	-	1.6	-	ns
Digital outputs	t_{fall}	90-10% fall time[a]	-	1.7	-	ns
GPCLK	t_{JOSC}	Oscillator-derived GPCLK cycle-cycle jitter (RMS)	-	-	20	ps
GPCLK	t_{JPLL}	PLL-derived GPCLK cycle-cycle jitter (RMS)	-	-	48	ps

[a] Default drive strength, CL = 5pF, VDD_IOx = 3.3V

Table 6: Digital I/O Pin AC Characteristics

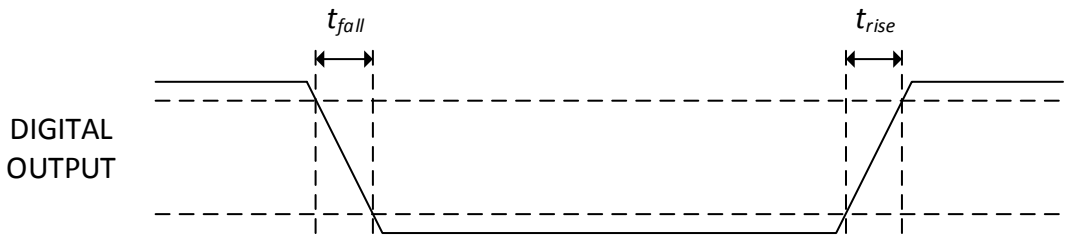


Figure 5: Digital IO Characteristics

7 Power Supplies

The Compute Module has six separate supplies that must be present and powered at all times; you cannot leave any of them unpowered, even if a specific interface or GPIO bank is unused. The six supplies are as follows:

1. VBAT is used to power the BCM283x processor core. It feeds the SMPS that generates the chip core voltage.
2. 3V3 powers various BCM283x PHYs, IO and the eMMC Flash.
3. 1V8 powers various BCM283x PHYs, IO and SDRAM.
4. VDAC powers the composite (TV-out) DAC.
5. GPIO0-27_VREF powers the GPIO 0-27 IO bank.
6. GPIO28-45_VREF powers the GPIO 28-45 IO bank.

Supply	Descripion	Minimum	Typical	Maximum	Unit
VBAT	Core SMPS Supply	2.5	-	5.0 + 5%	V
3V3	3V3 Supply Voltage	3.3 - 5%	3.3	3.3 + 5%	V
1V8	1V8 Supply Voltage	1.8 - 5%	1.8	1.8 + 5%	V
VDAC	TV DAC Supply[a]	2.5 - 5%	2.8	3.3 + 5%	V
GPIO0-27_VDD	GPIO0-27 I/O Supply Voltage	1.8 - 5%	-	3.3 + 5%	V
GPIO28-45_VDD	GPIO28-27 I/O Supply Voltage	1.8 - 5%	-	3.3 + 5%	V
SDX_VDD	Primary SD/eMMC Supply Voltage	1.8 - 5%	-	3.3 + 5%	V

[a] Requires a clean 2.5-2.8V supply if TV DAC is used, else connect to 3V3

Table 7: Power Supply Operating Ranges

7.1 Supply Sequencing

Supplies should be staggered so that the highest voltage comes up first, then the remaining voltages in descending order. This is to avoid forward biasing internal (on-chip) diodes between supplies, and causing latch-up. Alternatively supplies can be synchronised to come up at exactly the same time as long as at no point a lower voltage supply rail voltage exceeds a higher voltage supply rail voltage.

7.2 Power Requirements

Exact power requirements will be heavily dependent upon the individual use case. If an on-chip subsystem is unused, it is usually in a low power state or completely turned off. For instance, if your application does not use 3D graphics then a large part of the core digital logic will never turn on and need power. This is also the case for camera and display interfaces, HDMI, USB interfaces, video encoders and decoders, and so on.

Powerchain design is critical for stable and reliable operation of the Compute Module. We strongly recommend that designers spend time measuring and verifying power requirements for their particular use case and application, as well as paying careful attention to power supply sequencing and maximum supply voltage tolerance.

Table 8 specifies the recommneded minimum power supply outputs required to power the Compute Module.

Supply	Minimum Requirement	Unit
VBAT (CM1)	2000[a]	mW
VBAT (CM3,3L)	3500[a]	mW
3V3	250	mA
1V8	250	mA
VDAC	25	mA
GPIO0-27_VDD	50[b]	mA
GPIO28-45_VDD	50[b]	mA
SDX_VDD	50[b]	mA

[a] Recommended minimum. Actual power drawn is very dependent on use-case
[b] Each GPIO can supply up to 16mA, aggregate current per bank must not exceed 50mA

Table 8: Mimimum Power Supply Requirements

8 Booting

The 4GB eMMC Flash device on CM3 is directly connected to the primary BCM2837 SD/eMMC interface. These connections are not accessible on the module pins. On CM3L this SD interface is available on the SDX_ pins.

When initially powered on, or after the RUN pin has been held low and then released, the BCM2837 will try to access the primary SD/eMMC interface. It will then look for a file called bootcode.bin on the primary partition (which must be FAT) to start booting the system. If it cannot access the SD/eMMC device or the boot code cannot be found, it will fall back to waiting for boot code to be written to it over USB; in other words, its USB port is in slave mode waiting to accept boot code from a suitable host.

A USB boot tool is available on Github which allows a host PC running Linux to write the BCM2837 boot code over USB to the module. That boot code then runs and provides access to the SD/eMMC as a USB mass storage device, which can then be read and written using the host PC. Note that a Raspberry Pi can be used as the host machine. For those using Windows a precompiled and packeged tool is available. For more information see here.

The Compute Module has a pin called EMMC_DISABLE_N which when shorted to GND will disable the SD/eMMC interface (by physically disconnecting the SD_CMD pin), forcing BCM2837 to boot from USB. Note that when the eMMC is disabled in this way, it takes a couple of seconds from powering up for the processor to stop attempting to talk to the SD/eMMC device and fall back to booting from USB.

Note that once booted over USB, BCM2837 needs to re-enable the SD/eMMC device (by releasing EMMC_DISABLE_N) to allow access to it as mass storage. It expects to be able to do this by driving the EMMC_EN_N_1V8 pin LOW, which at boot is initially an input with a pull up to 1V8. If an end user wishes to add the ability to access the SD/eMMC over USB in their product, similar circuitry to that used on the Compute Module IO Board to enable/disable the USB boot and SD/eMMC must be used; that is, EMMC_DISABLE_N pulled low via MOSFET(s) and released again by MOSFET, with the gate controlled by EMMC_EN_N_1V8. Ensure you use MOSFETs suitable for switching at 1.8V (i.e. use a device with gate threshold voltage, Vt, suitable for 1.8V switching).

9 Peripherals

9.1 GPIO

BCM283x has in total 54 GPIO lines in 3 separate voltage banks. All GPIO pins have at least two alternative functions within the SoC. When not used for the alternate peripheral function, each GPIO pin may be set as an input (optionally as an interrupt) or an output. The alternate functions are usually peripheral I/Os, and most peripherals appear twice to allow flexibility on the choice of I/O voltage.

On CM1, CM3 and CM3L bank2 is used on the module to connect to the eMMC device and, on CM3 and CM3L, for an on-board I2C bus (to talk to the core SMPS and control the special function pins). On CM3L most of bank 2 is exposed to allow a user to connect their choice of SD card or eMMC device (if required).

Bank0 and 1 GPIOs are available for general use. GPIO0 to GPIO27 are bank 0 and GPIO28-45 make up bank1. GPIO0-27_VDD is the power supply for bank0 and GPIO28-45_VDD is the power supply for bank1. SDX_VDD is the supply for bank2 on CM3L. These supplies can be in the range 1.8V-3.3V (see Table 7) and are not optional; each bank must be powered, even when none of the GPIOs for that bank are used.

Note that the HDMI_HPD_N_1V8 and EMMC_EN_N_1V8 pins (on CM1 these were called GPIO46_1V8 and GPIO47_1V8 respectively) are 1.8V IO and are used for special functions (HDMI hot plug detect and boot control respectively). Please do not use these pins for any other purpose, as the software for the Compute Module will always expect these pins to have these special functions. If they are unused please leave them unconnected.

All GPIOs except GPIO28, 29, 44 and 45 have weak in-pad pull-ups or pull-downs enabled when the device is powered on. It is recommended to add off-chip pulls to GPIO28, 29, 44 and 45 to make sure they never float during power on and initial boot.

9.1.1 GPIO Alternate Functions

GPIO	Default Pull	ALT0	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5
0	High	SDA0	SA5	PCLK	-	-	-
1	High	SCL0	SA4	DE	-	-	-
2	High	SDA1	SA3	LCD_VSYNC	-	-	-
3	High	SCL1	SA2	LCD_HSYNC	-	-	-
4	High	GPCLK0	SA1	DPI_D0	-	-	ARM_TDI
5	High	GPCLK1	SA0	DPI_D1	-	-	ARM_TDO
6	High	GPCLK2	SOE_N	DPI_D2	-	-	ARM_RTCK
7	High	SPI0_CE1_N	SWE_N	DPI_D3	-	-	-
8	High	SPI0_CE0_N	SD0	DPI_D4	-	-	-
9	Low	SPI0_MISO	SD1	DPI_D5	-	-	-
10	Low	SPI0_MOSI	SD2	DPI_D6	-	-	-
11	Low	SPI0_SCLK	SD3	DPI_D7	-	-	-
12	Low	PWM0	SD4	DPI_D8	-	-	ARM_TMS
13	Low	PWM1	SD5	DPI_D9	-	-	ARM_TCK
14	Low	TXD0	SD6	DPI_D10	-	-	TXD1
15	Low	RXD0	SD7	DPI_D11	-	-	RXD1
16	Low	FL0	SD8	DPI_D12	CTS0	SPI1_CE2_N	CTS1
17	Low	FL1	SD9	DPI_D13	RTS0	SPI1_CE1_N	RTS1
18	Low	PCM_CLK	SD10	DPI_D14	-	SPI1_CE0_N	PWM0
19	Low	PCM_FS	SD11	DPI_D15	-	SPI1_MISO	PWM1
20	Low	PCM_DIN	SD12	DPI_D16	-	SPI1_MOSI	GPCLK0
21	Low	PCM_DOUT	SD13	DPI_D17	-	SPI1_SCLK	GPCLK1
22	Low	SD0_CLK	SD14	DPI_D18	SD1_CLK	ARM_TRST	-
23	Low	SD0_CMD	SD15	DPI_D19	SD1_CMD	ARM_RTCK	-
24	Low	SD0_DAT0	SD16	DPI_D20	SD1_DAT0	ARM_TDO	-
25	Low	SD0_DAT1	SD17	DPI_D21	SD1_DAT1	ARM_TCK	-
26	Low	SD0_DAT2	TE0	DPI_D22	SD1_DAT2	ARM_TDI	-
27	Low	SD0_DAT3	TE1	DPI_D23	SD1_DAT3	ARM_TMS	-

Table 9: GPIO Bank0 Alternate Functions

GPIO	Default Pull	ALT0	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5
28	None	SDA0	SA5	PCM_CLK	FL0	-	-
29	None	SCL0	SA4	PCM_FS	FL1	-	-
30	Low	TE0	SA3	PCM_DIN	CTS0	-	CTS1
31	Low	FL0	SA2	PCM_DOUT	RTS0	-	RTS1
32	Low	GPCLK0	SA1	RING_OCLK	TXD0	-	TXD1
33	Low	FL1	SA0	TE1	RXD0	-	RXD1
34	High	GPCLK0	SOE_N	TE2	SD1_CLK	-	-
35	High	SPI0_CE1_N	SWE_N	-	SD1_CMD	-	-
36	High	SPI0_CE0_N	SD0	TXD0	SD1_DAT0	-	-
37	Low	SPI0_MISO	SD1	RXD0	SD1_DAT1	-	-
38	Low	SPI0_MOSI	SD2	RTS0	SD1_DAT2	-	-
39	Low	SPI0_SCLK	SD3	CTS0	SD1_DAT3	-	-
40	Low	PWM0	SD4	-	SD1_DAT4	SPI2_MISO	TXD1
41	Low	PWM1	SD5	TE0	SD1_DAT5	SPI2_MOSI	RXD1
42	Low	GPCLK1	SD6	TE1	SD1_DAT6	SPI2_SCLK	RTS1
43	Low	GPCLK2	SD7	TE2	SD1_DAT7	SPI2_CE0_N	CTS1
44	None	GPCLK1	SDA0	SDA1	TE0	SPI2_CE1_N	-
45	None	PWM1	SCL0	SCL1	TE1	SPI2_CE2_N	-

Table 10: GPIO Bank1 Alternate Functions

Table 9 and Table 10 detail the default pin pull state and available alternate GPIO functions. Most of these alternate peripheral functions are described in detail in the Broadcom Peripherals Specification document and have Linux drivers available.

9.1.2 Secondary Memory Interface (SMI)

The SMI peripheral is an asynchronous NAND type bus supporting Intel mode80 type transfers at 8 or 16 bit widths and available in the ALT1 positions on GPIO banks 0 and 1 (see Table 9 and Table 10). It is not publicly documented in the Broadcom Peripherals Specification but a Linux driver is available in the Raspberry Pi Github Linux repository (bcm2835_smi.c in linux/drivers/misc).

9.1.3 Display Parallel Interface (DPI)

A standard parallel RGB (DPI) interface is available on bank 0 GPIOs. This up-to-24-bit parallel interface can support a secondary display. Again this interface is not documented in the Broadcom Peripherals Specification but documentation can be found here.

9.1.4 SD/SDIO Interface

The BCM283x supports two SD card interfaces, SD0 and SD1.

The first (SD0) is a proprietary Broadcom controller that does not support SDIO and is the primary interface used to boot and talk to the eMMC or SDX_x signals.

The second interface (SD1) is standards compliant and can interface to SD, SDIO and eMMC devices; for example on a Raspberry Pi 3 it is used to talk to the on-board BCM43438 WiFi device in SDIO mode.

Both interfaces can support speeds up to 50MHz single ended (SD High Speed Mode).

9.2 CSI (MIPI Serial Camera)

Currently the CSI interface is not openly documented and only CSI camera sensors supported by the official Raspberry Pi firmware will work with this interface. Supported sensors are the OmniVision OV5647 and Sony IMX219.

It is recommended to attach other cameras via USB.

9.3 DSI (MIPI Serial Display)

Currently the DSI interface is not openly documented and only DSI displays supported by the official Raspberry Pi firmware will work with this interface.

Displays can also be added via the parallel DPI interface which is available as a GPIO alternate function - see Table 9 and Section 9.1.3

9.4 USB

The BCM283x USB port is On-The-Go (OTG) capable. If using either as a fixed slave or fixed master, please tie the USB_OTGID pin to ground.

The USB port (Pins USB_DP and USB_DM) must be routed as 90 ohm differential PCB traces.

Note that the port is capable of being used as a true OTG port however there is no official documentation. Some users have had success making this work.

9.5 HDMI

BCM283x supports HDMI V1.3a.

It is recommended that users follow a similar arrangement to the Compute Module IO Board circuitry for HDMI output.

The HDMI CK_P/N (clock) and D0-D2_P/N (data) pins must each be routed as matched length 100 ohm differential PCB traces. It is also important to make sure that each differential pair is closely phase matched. Finally, keep HDMI traces well away from other noise sources and as short as possible.

Failure to observe these design rules is likely to result in EMC failure.

9.6 Composite (TV Out)

The TVDAC pin can be used to output composite video (PAL or NTSC). Please route this signal away from noise sources and use a 75 ohm PCB trace.

Note that the TV DAC is powered from the VDAC supply which must be a clean supply of 2.5-2.8V. It is recommended users generate this supply from 3V3 using a low noise LDO.

If the TVDAC output is not used VDAC can be connected to 3V3, but it must be powered even if the TV-out functionality is unused.

10 Thermals

The BCM283x SoC employs DVFS (Dynamic Voltage and Frequency Scaling) on the core voltage. When the processor is idle (low CPU utilisation), it will reduce the core frequency and voltage to reduce current draw and heat output. When the core utilisation exceeds a certain threshold the core votlage is increased and the core frequency is boosted to the maximum working frerquency. The voltage and frequency are throttled back when the CPU load reduces back to an 'idle' level OR when the silicon temperature as mesured by the on-chip temperature sensor exceeds 85C (thermal throttling).

A designer must pay careful attention to the thermal design of products using the CM3/CM3L so that performance is not artificially curtailed due to the processor thermal throttling, as the Quad ARM complex in the BCM2837 can generate significant heat output.

10.1 Temperature Range

The operating temperature range of the module is set by the lowest maximum and highest minimum of any of the components used.

The eMMC and LPDDR2 have the narrowest range, these are rated for -25 to +80 degrees Celsius. Therefore the nominal range for the CM3 and CM3L is -25C to +80C.

However, this range is the maximum for the silicon die; therefore, users would have to take into account the heat generated when in use and make sure this does not cause the temperature to exceed 80 degrees Celsius.

11 Availability

Raspberry Pi guarantee availability of CM1, CM3 and CM3 Lite until at least January 2023.

12 Support

For support please see the hardware documentation section of the Raspberry Pi website and post questions to the Raspberry Pi forum.