



UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA

ESCUELA DE INGENIEROS INDUSTRIALES DE ALBACETE

GRADUADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA IND. Y AUTOMÁTICA

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN DE
REDES ELÉCTRICAS EN EL ENTORNO DEL INTERNET
INDUSTRIAL DE LAS COSAS (IIOT)**

Nº DE TFG: 01EN1796/17XI

AUTOR: Rubén García Segovia

TUTOR: Miguel Martínez Inieta

Junio, 2018

En estos agradecimientos y dedicatorias quiero nombrar a varias personas,

Los primeros serán mis compañeros de carrera,

Por todo el tiempo pasado juntos, sin vosotros no habría sido posible.

La segunda dedicatoria va para mi madre,

Por todas aquellas veces que me dijo que estudiase,

y sin embargo, nunca le hice caso,

¡Qué razón llevaba!

*Por último quiero agradecerle a ese chaval de 18 años que escogió formarse
como ingeniero, ¡Menudos años me has hecho pasar!*

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	1
INTRODUCCIÓN	3
DESCRIPCIÓN	4
Calidad de la energía	4
Diagrama de bloques del dispositivo	6
Medición de parámetros de red	6
Comunicación mediante el protocolo SPI	6
Cálculo de parámetros de red	7
Almacenamiento de la información	8
Servidor Web	8
Aplicación móvil	8
Pantalla táctil	8
FTP	8
Sistema de alimentación ininterrumpida	8
DESARROLLO	9
1. Monitorización red eléctrica trifásica	9
1.1 Conversor analógico digital ADE7912	9
1.2 Medición voltaje	11
1.3 Medición intensidad	12
1.4 Protocolo de comunicación SPI (Serial Peripheral Interface)	13
1.5 Puesta en marcha del ADE7912	14
2. Actuadores	15
2.1 Relé de estado sólido	15
3. Diseño Hardware	16
4. Desarrollo software	17
5. Diagramas de flujo	20
5.1 Sistema	20
5.2 Servidor web	23

5.3 GUI táctil	25
5.4 Aplicación móvil para Android	27
6. Montaje	28
6.1 Fotos del montaje final	29
CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	30
BIBLIOGRAFÍA	32
LICENCIA DE USO	33

INTRODUCCIÓN

El objetivo general del TFG será la realización, diseño y prototipado de un dispositivo capaz de medir y calcular diversos parámetros de la red eléctrica de una industria y almacenar dicha información en una base de datos.

La base de datos será accesible a través de internet, contando con una interfaz de usuario funcional y que permita la visualización y ordenación de toda la información recogida por el dispositivo central.

También será accesible a través de una pantalla táctil, contando con una interfaz gráfica funcional y que permita la visualización y actuación sobre todo el sistema de una forma sencilla e intuitiva.

Por último, se va a desarrollar una aplicación móvil para el entorno Android para facilitar un acceso más rápido a la información, aunque dicha aplicación sólo permitirá la visualización limitada (los datos más importantes) de la información.

Con esto se pretende crear una herramienta que facilite a una empresa el control energético, el análisis de la red en busca de fallos o problemas en el suministro eléctrico, y encontrar fallos de rendimiento y/o funcionamiento en sus propias máquinas.

El objetivo general se va a dividir en diferentes objetivos parciales que se irán detallando a lo largo del desarrollo del TFG:

- Medición de voltajes e intensidades en una red eléctrica industrial, aislando el circuito de control de la toma de fuerza. La comunicación mediante el protocolo serie SPI de los distintos sensores con la unidad principal.
- Cálculo de parámetros básicos en base a las lecturas de voltajes e intensidades realizados: Potencia activa, potencia aparente, potencia reactiva, factor de potencia, etc.
- Almacenamiento de toda la información en una base de datos localizada en un computador de placa reducida. Comunicación entre el computador de placa reducida y la unidad principal para la obtención de toda la información obtenida y calculada.
- Creación de una interfaz de usuario que permita acceder a toda la información almacenada en la base de datos a través de un servidor web.
- Creación de una interfaz gráfica que permite acceder a toda la información almacenada en la base de datos a través de una pantalla táctil.
- Creación de una aplicación móvil que permita visualizar de forma simple la información más importante.

DESCRIPCIÓN

Primero se va a exponer y explicar qué es la calidad de la energía y el porqué de su importancia en la industria.

Calidad de la energía

La calidad de la energía es un factor muy importante a tener en cuenta en una industria, debido a que el deterioro, la avería o los problemas que son dados en las máquinas de la empresa están directamente relacionados con la calidad de la energía consumida. A continuación se exponen dos definiciones de calidad de energía según dos grandes organismos internacionales de ingeniería:

Según el IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), la calidad de la energía es la alimentación y puesta a tierra de los equipos electrónicos sensibles de un modo adecuado para su correcto funcionamiento.

Según el IEC (International Electrotechnical Commission) son las características de la electricidad en un punto dado de la red eléctrica, evaluadas con relación a un conjunto de parámetros técnicos de referencia.

El principal problema de la calidad de la energía es solventable a través de dos soluciones: construcción de máquinas menos sensibles y la instalación de dispositivos a medida que se encarguen de subsanar la mala calidad de la energía.

El concepto de calidad de energía no es nuevo, pero debido a la tendencia de la industria hacia usar semiconductores de potencia no lineales (como inversores, convertidores, tiristores, etc) y el aumento de la sensibilidad de los equipos finales han obligado a la industria a diseñar dispositivos específicos para mejorar este aspecto de la electricidad.

Prueba de que la preocupación por la calidad de la energía va en aumento es la creación de nuevas normas AENOR sobre las especificaciones de la tensión.

Característica	Especificaciones de la tensión según la norma EN 50160		Observaciones
	Baja tensión	Media tensión	
Frecuencia	50 Hz \pm 1% (10s / 95% / semana) 50 Hz + 4% (todo el tiempo / 100% / semana)		
Valor eficaz de la tensión	Valor nominal Un	Valor declarado Uc (1 \leq Uc \leq 35 kV)	
Variaciones de tensión	Un \pm 10% (10m / 95% / semana)	Uc \pm 10% (10m / 95% / semana)	
Variaciones rápidas de tensión	5% de Un 10% de Un esporádicamente Flicker: Plt \leq 1(10m / 95% / semana)	4% de Uc 6% de Uc esporádicamente Flicker: Plt \leq 1(10m / 95% / semana)	Pit: severidad del Flicker a largo término
Huecos de tensión	Unas decenas hasta 1000 por año, profundidad inferior a 60% de Un y duración inferior a 1s.	Unas decenas hasta 1000 por año, profundidad inferior a 60% de Uc y duración inferior a 1s.	Valores indicativos
Armónicos de tensión	U3 \leq 5% U9 \leq 1,5% U15 \leq 0,5% U21 \leq 0,5% U5 \leq 6% U7 \leq 5% U11 \leq 3,5% U13 \leq 3% U17 \leq 2% U19...U23 \leq 1,5% U2 \leq 2% U4 \leq 1% U6...U24 \leq 0,5% THD \leq 8% considerando hasta orden 40		Porcentajes de Uc o de Un
Desequilibrio de tensión	Componente de secuencia inversa inferior al 2% de la componente de la secuencia directa (10m / 95% / semana)		

Figura 1: Especificaciones de la tensión según AENOR en su norma 50160.

Característica	Especificaciones de la tensión según la norma EN 50160		Observaciones
	Baja tensión	Media tensión	
Interrupciones de corta duración	Orden de varios cientos por año, con duración inferior a 1s en el 70% de los casos.	Orden de varias decenas hasta cientos por año, con duración inferior a 1s en el 70% de los casos.	Valores indicativos
Interrupciones de larga duración	Duración superior a 3m De 10 a 50 por año, sin considerar interrupciones programadas		Valores indicativos
Sobretensiones repetitivas entre conductores y tierra	1,5 kV valor eficaz	1,7Uc en sistemas con neutro puesto tierra 2,0Uc en sistemas con neutro aislado o puesta a tierra resonante.	
Sobretensiones transitorias entre conductores y tierra	6 kV valor eficaz		
Interarmónicos	En estudio		
Transmisión de señales	3s / 99% / día	3s / 99% / día. En estudio para la banda comprendida entre 9 y 95 kHz	

Figura 2: Especificaciones de la tensión según AENOR en su norma 50160.

La inmunidad de los equipos es clasificada en tres índices distintos:

Índice	Inmunidad	Ejemplos
I	Alta	motores, transformadores, cargas resistivas
II	Moderada	Relés, PLCs, robótica
III	Baja	Ordenadores, DSPs, equipo médico

Tabla 1: Inmunidad frente a la calidad de la energía.

Diagrama de bloques del dispositivo

Antes de comenzar con la división estructural del proyecto en diferentes apartados o capítulos se ha realizado un diagrama de bloques para explicar de una forma más clara y sencilla el conjunto del dispositivo:

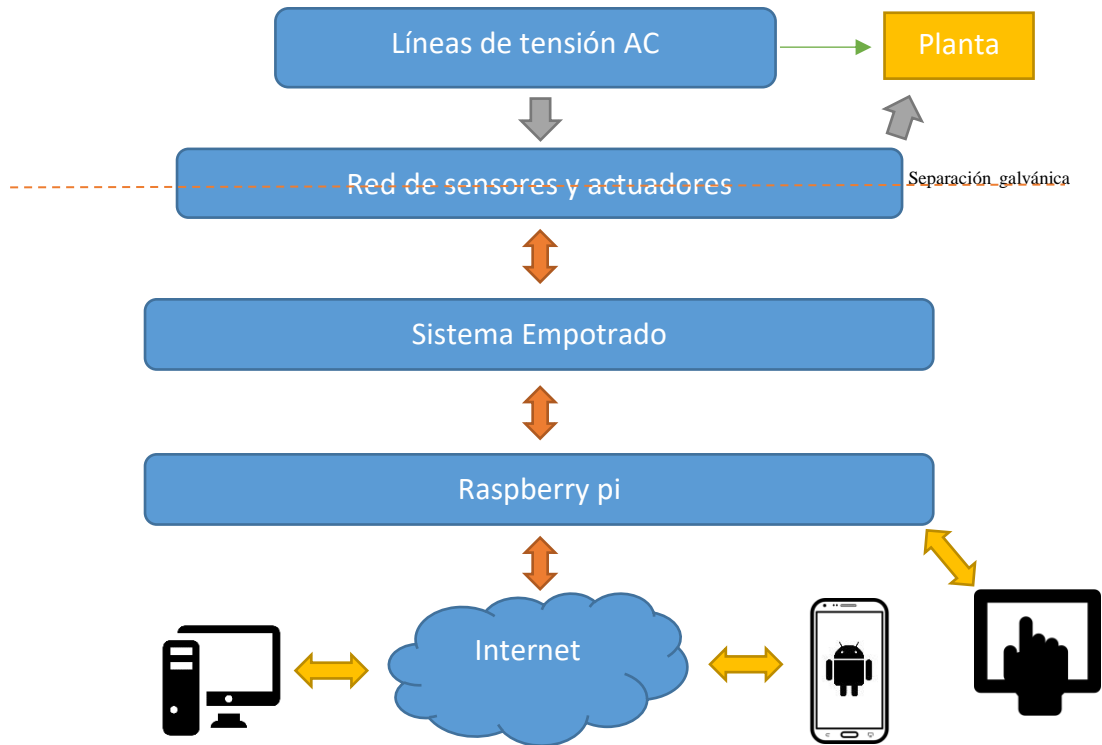


Figura 3: Diagrama de bloques del sistema completo.

El trabajo se ha estructurado en diferentes apartados o capítulos en los que se ha dividido el desarrollo del TFG para una mejor aclaración y entendimiento del sistema.

Medición de parámetros de red

La medición del voltaje de cada una de las tres líneas de fase con respecto a tierra y el voltaje de la línea neutra con respecto a la línea de tierra. También se va a medir las 4 intensidades circulantes por cada una de estas 4 líneas comentadas, así como la temperatura ambiente del cuadro eléctrico.

Todas estas mediciones se van a realizar en un circuito diferente al de control y se contará con un aislamiento galvánico para evitar fallos o problemas ocasionados por sobretensiones o fluctuaciones en la red.

Comunicación mediante el protocolo SPI

La transmisión de los parámetros de red y la unidad principal se harán a través del protocolo SPI, por lo que dicho protocolo será objeto de estudio.

Cálculo de parámetros de red

El post-procesado de los parámetros de red voltaje, intensidad y temperatura se realizará en el computador de placa reducida aprovechando su amplia capacidad de cálculo. Una vez que se tengan calculados dichos parámetros, se podrá realizar un cálculo más complejo de los siguientes parámetros:

- **Factor de potencia:** El factor de potencia es la relación existente entre la potencia activa del circuito y la potencia aparente. Es un parámetro de gran importancia a la hora de analizar si nuestra carga funciona correctamente. Además, las compañías comercializadoras de electricidad penalizan duramente el consumo eléctrico con un factor de potencia bajo.
- **Potencia aparente, activa y reactiva:** La potencia aparente es resultado de la suma vectorial de la potencia activa y reactiva y por tanto es el mejor indicador de potencia total consumida por una instalación eléctrica.

La potencia activa es aquella potencia eléctrica que se transforma en calor o trabajo, por lo que es el mejor indicador para designar el trabajo realizado por una máquina.

Por último, la potencia reactiva es aquella potencia consumida mediante la generación de campos eléctricos y magnéticos, necesarios para el correcto funcionamiento de muchas máquinas.

- **Desequilibrios entre las fases:** Mediante la comparación de intensidades y voltajes se puede averiguar si existen desequilibrios de carga entre las fases, lo que generará inestabilidad a la red eléctrica y generación de armónicos indeseados.
- **Huecos de tensión:** Disminución brusca de tensión a un valor de entre el 90% y el 1% de la tensión nominal por un período de tiempo comprendido entre 1ms y 1 minuto. Si la duración es mayor se considera interrupción.
- **Sobretensiones:** Aumento brusco de la tensión a un valor de entre el 10% y el 80% que duración usual de unos pocos ciclos.
- **Espectro frecuencial:** La realización de una transformada de Fourier para el análisis del espectro frecuencial de la señal permite encontrar armónicos no deseados en la red. Dichos armónicos pueden hacer que nuestras máquinas se sobrecalienten, disminuyan su vida útil, funcionen erróneamente y hasta la avería de las mismas en el peor de los casos.

- **THD:** La distorsión armónica total es una unidad de medida de componentes armónicos en nuestra red eléctrica.
- **Consumo eléctrico:** Aparte del cálculo de las potencias instantáneas, también es de interés el almacenar información sobre el consumo eléctrico por minutos, horas, días, meses y años.

Almacenamiento de la información

La información recolectada sobre todos los parámetros leídos y calculados se organizarán de forma correcta en una base de datos dentro del computador de placa reducida.

Servidor Web

Toda la base de datos tiene que ser accesible mediante un servidor web que contará con una interfaz de usuario simple que permita organizar y mostrar toda la información de forma clara y concisa. Este servidor web ha de ser accesible desde cualquier dispositivo con conexión a Internet.

Aplicación móvil

Se contará con una aplicación para la plataforma Android que facilitará la conexión con el servidor y base de datos a través de un teléfono móvil o Tablet. Desde esta aplicación será visible la información y los parámetros de red más importantes.

Pantalla táctil

Se contará con una pantalla táctil de siete pulgadas para la visualización de los parámetros más importantes del servidor. Desde la pantalla táctil se podrá actuar sobre los actuadores y el sistema en general.

FTP

Se ha implementado el protocolo FTP (File Transfer Protocol) para poder acceder a todos los datos guardados dentro del servidor. También se podrá actualizar el software del sistema a través de él.

Sistema de alimentación ininterrumpida

El dispositivo contará con un sistema de alimentación ininterrumpida de modo que si la alimentación de entrada se interrumpe, el sistema pueda funcionar con una batería y por tanto sea capaz de alertar del problema.

DESARROLLO

1. Monitorización red eléctrica trifásica

1.1 Conversor analógico digital ADE7912

Las características que se requieren del conversor analógico digital son las siguientes:

- Alta resolución para efectuar cálculos precisos, como la FFT (Fast Fourier Transform).
- Capacidad para medir distintos parámetros a la vez o capacidad de coexistir con otros conversores analógico digitales en paralelo.
- Interfaz de comunicación veloz y simple.
- Frecuencia de muestreo mayor que 1000Hz.
- Separación galvánica entre la entrada analógica y la salida digital.

El conversor seleccionado es el ADE7912 y el ADE7913 que se ajustan perfectamente a las necesidades del sistema, ya que se trata de un conversor específico para la monitorización trifásica y el control de la calidad de energía. Según el fabricante, este conversor está especialmente indicado para:

- Equipos de medida polifásicos.
- Monitorización de la calidad de la energía.
- Inversores solares.
- PLCs industriales.
- Interfaz de sensores con aislamiento galvánico.

Debido a que el conversor ADE7912/ADE7913 está específicamente desarrollado para la monitorización de una red eléctrica, ofrece la capacidad de medir los valores de tensión, intensidad y temperatura ambiente al mismo tiempo, con una precisión de 24 bits y una tasa de muestreo de hasta 8000Hz.

Permite sincronización automática entre 4 ADE diferentes y el funcionando con el mismo cristal. Posee un protocolo de comunicación SPI con una separación galvánica entre la entrada analógica y la salida digital que facilita el uso de un microcontronrolador para el sistema empotrado.

La única diferencia entre la versión 7912 y la versión 7913 radica en que la versión ADE7912 cuenta únicamente con 2 ADCs más la medición de temperatura y la versión 7913 cuenta con 3 ADCs. Como sólo se van a utilizar para la monitorización de voltaje, intensidad y temperatura, se usarán 4 ADE7912.

Tal y como se muestra en la figura 4, el propio fabricante propone un esquema de conexionado:

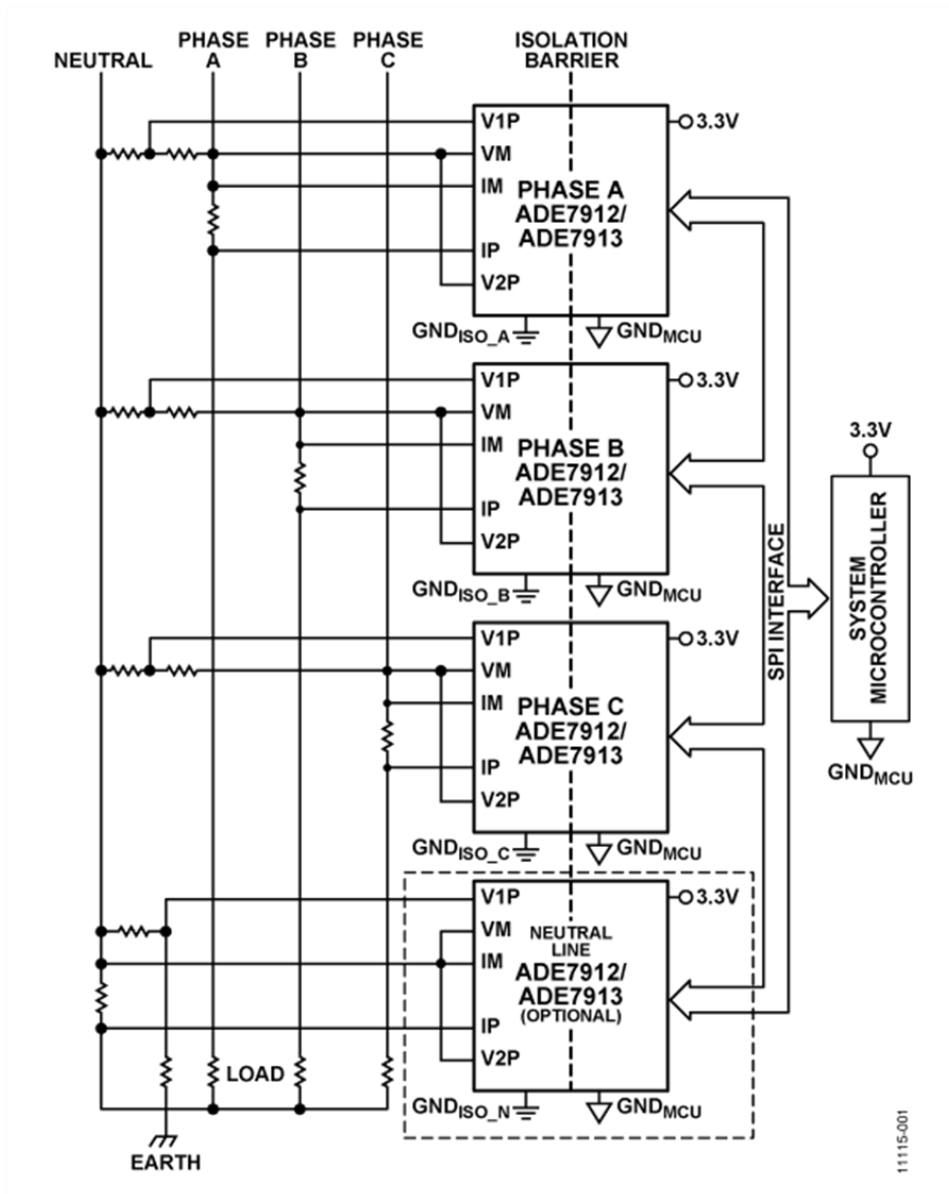


Figura 4: Esquema modelo del ADE7912/ADE7913.

Como se puede apreciar en la figura 4, este esquema modelo permite, mediante el uso de 4 conversores ADE, medir los voltajes entre cada una de las 3 fases con neutro y el voltaje de la línea neutro respecto a la línea de tierra (un parámetro importante a la hora de detectar desequilibrios) además de permitir la monitorización de las 4 corrientes circulantes y además, de necesitarse, la temperatura ambiente de los cables.

1.2 Medición voltaje

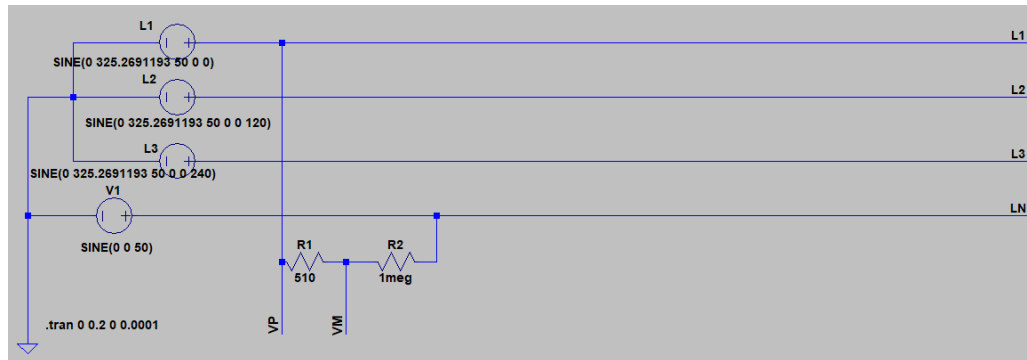


Figura 5: Circuito trifásico a monitorizar. Voltaje.

En la figura 5 se puede observar los valores escogidos de las resistencias para hacer el divisor de tensión. Para llegar a este cálculo hemos seguido los siguientes pasos:

Primero: Fijamos R2 en $1\text{M}\Omega$. Se ha elegido un valor de resistencia muy alta para evitar la pérdida de energía en la medida.

$$I = \frac{V}{R}; i = \frac{1000}{10^6 + R} \quad (1)$$

$$V = I * R; 0.5V = \frac{1000}{10^6 + R} * R \quad (2)$$

Operando con las ecuaciones (1) y (2) se saca un valor de $R=500.25\Omega$. Como es un valor no normalizado, se ha tomado $R=510\Omega$ y se realiza un estudio para averiguar hasta qué voltaje podrá ser capaz el sistema de medir:

$$0.5V = \frac{X}{10^6 + 510} * 510; X = 980.8921V \quad (3)$$

Teniendo en cuenta que no se han operado con valores eficaces, realizamos la última transformación:

$$V_{rms} = \frac{980.8921}{\sqrt{2}} = 693.5954V \quad (4)$$

Para comprobar todos estos cálculos, se ha realizado una simulación con una onda senoidal de amplitud $980.89V$, obteniendo la siguiente respuesta:

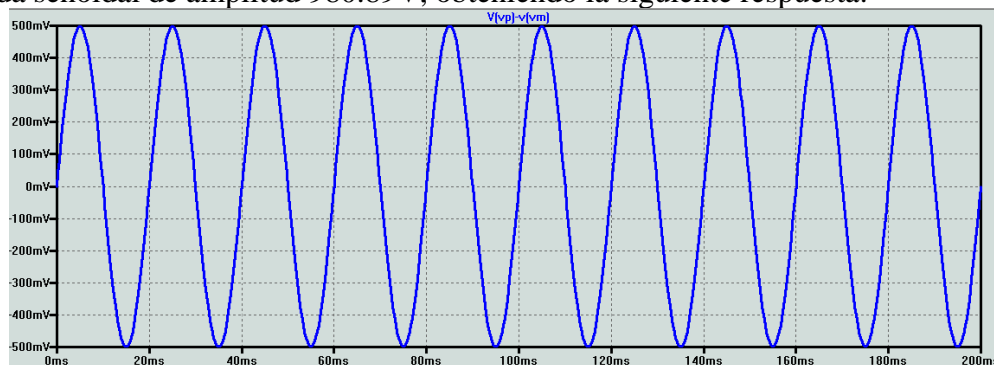


Figura 6: señal de voltaje condicionada para su medida.

1.3 Medición intensidad

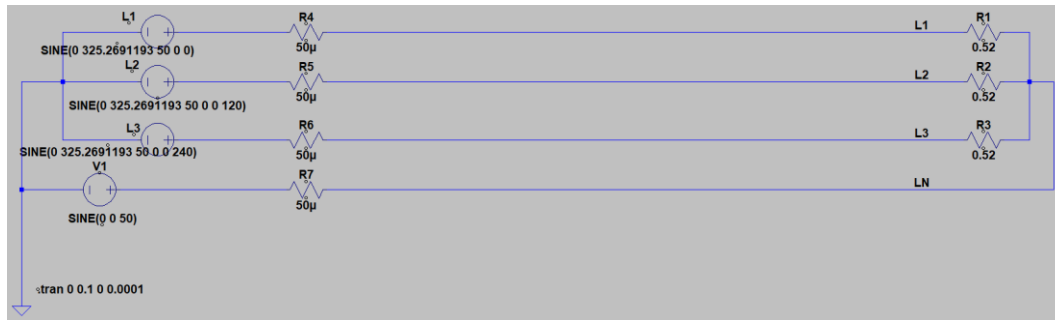


Figura 7: Circuito trifásico a monitorizar. Intensidad.

En la figura 7 se pueden observar los valores escogidos de la resistencia para realizar la medición de la intensidad circulante por la fase L1. De forma análoga, todas las demás líneas tendrán la misma resistencia para mantener el equilibrio de la red. Para llegar a este cálculo hemos seguido los siguientes pasos:

Primero se han de buscar los valores normalizados de las resistencias shunt. Para esto se ha realizado un seguimiento de mercado en los proveedores más reconocidos hasta encontrar la resistencia ‘WSBS8518L0500JK40’ de Vishay, cuyas características se encuentran en el anexo 1.

Una vez que ha sido seleccionada una resistencia, se va a proceder al cálculo de la máxima intensidad medible por el dispositivo:

$$V = I * R; 31.25mV = i * 50\mu\Omega \quad (6)$$

$$i = 625A \quad (7)$$

Se ha de tener en cuenta que este valor es la amplitud máxima alcanzable, no la Irms. Para comprobar todos estos cálculos, se ha realizado una simulación con una resistencia de carga igual a 0.52Ω , lo que genera una intensidad pico de 625A, obteniendo como resultado en nuestras resistencias shunt:

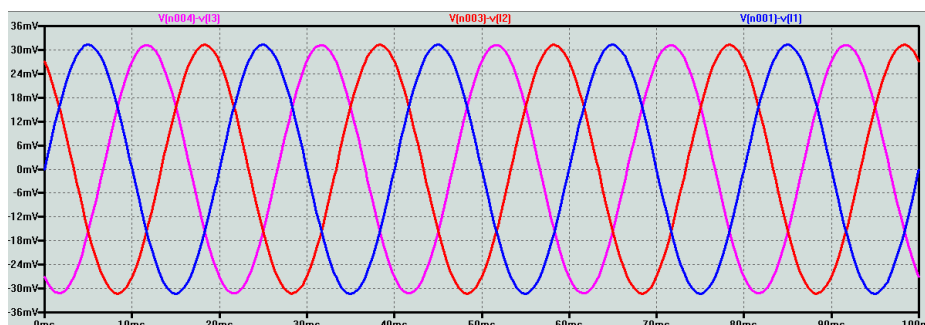


Figura 8: Señal de intensidad acondicionada para su medida.

1.4 Protocolo de comunicación SPI (Serial Peripheral Interface)

El protocolo SPI (Serial Peripheral Interface) es una interfaz de comunicación síncrona usado en comunicaciones de corta distancia, principalmente en los llamados sistemas empotrados. El protocolo fue elaborado por Motorola en los años ochenta y se ha convertido en uno de los mayores estándares de la industria electrónica.

El sistema tiene una comunicación full duplex usando una arquitectura maestro-esclavo, donde sólo puede haber un único maestro pero sí varios esclavos. Esto lo hace idóneo para su implementación en sistemas empotrados donde un único microprocesador PIC controla uno o varios circuitos integrados.

La principal ventaja de este sistema de comunicación es su versatilidad, dejando a decisión del diseñador cómo será su implementación. Esto, sin embargo, tiene los inconvenientes de que la implementación de un sistema a prueba de fallos tenga que ser vía software, junto con el tratamiento de los datos y el uso de los 4 pines necesarios para esta comunicación:

- **SCLK (Signal Clock):** Es el pin que transmite el pulso de sincronización. La gran ventaja del bus SPI es su gran versatilidad con este pin, ya que la frecuencia y los pulsos no tienen por qué ser regulares para una transmisión correcta de la información.
- **MOSI (Master Output Slave Input):** Pin usado para el envío de un dato por parte del maestro al esclavo.
- **MISO (Master Input Slave Output):** Pin usado para la recepción de un dato por parte del esclavo.
- **SS (Signal Select):** Cada esclavo se activará mediante un pin SS coordinado por el maestro. Esta es la mayor desventaja de un sistema de comunicación SPI, ya que requerirá de un uso excesivo de pines en el microcontrolador maestro.

Por lo tanto se ha decidido usar el protocolo de comunicación SPI para la transmisión de datos entre los sensores, el microcontrolador PIC y la raspberry Pi.

1.5 Puesta en marcha del ADE7912

Para un sistema con múltiples ADE7912 conectados a un microcontrolador y cuya frecuencia de reloj es suministrada gracias a un único cristal, habrá que seguir el siguiente procedimiento recomendado por el fabricante:

1. Suministrar Vdd a todos los dispositivos. Para garantizar un correcto encendido, la alimentación tiene que alcanzar los 2.97V en menos de 23ms desde el punto de los 2.6V. El primer dispositivo ADE7912A (fase A) estará conectado al cristal de 4.096 Mhz mientras que los demás dispositivos no están conectados aún a ninguna frecuencia de reloj.
2. El conversor DC-DC alimenta la parte protegida del circuito integrado. Es entonces cuando el modulador empieza a funcionar. Este proceso toma aproximadamente 100ms siempre y cuando el condensador recomendado para VDDiso haya sido colocado (figura 40). Después de este tiempo, el lado aislado galvánicamente del ADE7912A es totalmente funcional.
3. Para determinar cuando el ADE7912A está listo para aceptar comandos, se puede leer el registro STATUS0 y comprobar si su bit 0 está puesto en 0. Esto suele ocurrir a los 20ms del encendido.
4. Inicializar el registro CONFIG con el bit 0 puesto a 1. Esto habilitará la señal de reloj en el pin CLKOUT para los demás dispositivos.
5. El proceso de encendido de los otros 3 dispositivos ADE7912 se ejecutan tal y como se ha explicado en los pasos 2 y 3.
6. Inicializar correctamente los pines necesarios del registro CONFIG de todos los dispositivos, y conectar el pin DREADY del ADE7912C a una entrada del microcontrolador. Para esto el bit de CLKOUT del ADE7912C debe ser puesto a 0.
7. Inicializar el registro EMI_CTRL con los valores deseados.
8. Escribir en SYNC_SNAP un 0x01 de forma paralela en todos los dispositivos para empezar la lectura del ADC de todos los dispositivos en el mismo instante.
9. Bloquear la escritura de los registros de configuración.
10. Por último, cada unos pocos minutos comprobar la sincronización de las lecturas, tal y como se explicó en el apartado de sincronización de los ADE7912.

2. Actuadores

2.1 Relé de estado sólido

Un relé de estado sólido es un dispositivo electrónico capaz de interrumpir el paso de electricidad de una red de corriente alterna o continua. Este dispositivo electrónico es controlado por una señal de control aislada del sistema central y que en el caso de este proyecto, será una salida digital de 5V del sistema empotrado.

El relé de estado sólido no tiene partes mecánicas móviles (a diferencia de un relé normal), lo que conlleva un menor desgaste con el paso del tiempo. El relé de estado sólido (O SSR en inglés) utiliza semiconductores de potencia como tiristores y transistores, esto le permite poder cortar corrientes de muy alto amperaje y con una velocidad muy alta en comparación con los relés de partes mecánicas móviles.

El SSR *G3PH-5150B DC5-24* con función de paso por zero que se ha elegido es capaz de conmutar tensiones de hasta 480V y una intensidad de hasta 150A, podremos colocar tantos SSR como se requiera para poder controlar todos los dispositivos que se quieran controlar en el sistema. La única limitación viene dada por el número de salidas digitales del sistema empotrado, pero realizando un sistema de multiplexión, se podrán controlar tantos dispositivos como se necesiten.

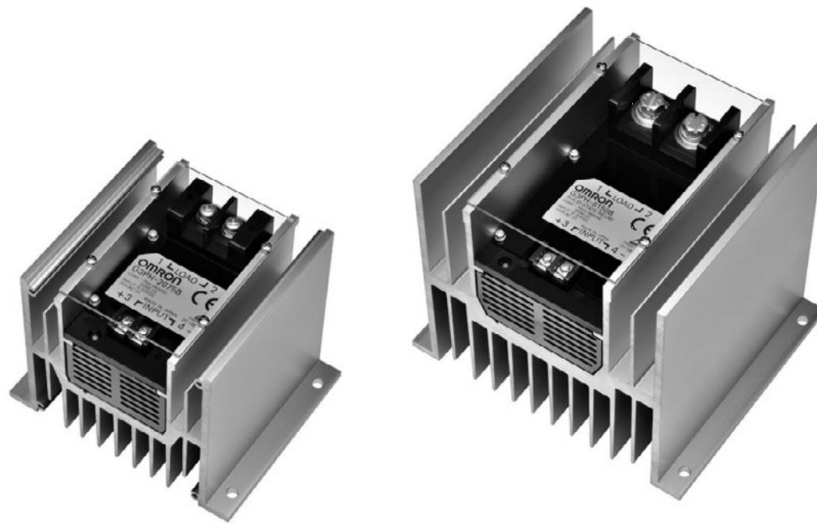


Figura 9: Relé de estado sólido G3PH-5150B DC5-24.

3. Diseño Hardware

El diseño hardware se ha repartido en tres secciones diferenciadas: El sistema de alimentación ininterrumpida, cuya finalidad es la generación de tensión de alimentación a 3.3V, 5V y carga de la batería. La placa central, que alojará todos los circuitos integrados necesarios y que contará con las salidas necesarias para el GPIO de la raspberry pi. Por último, la placa de acondicionamiento de señales, donde se alojarán las resistencias shunt y los bornes de conexión para la red eléctrica. Como muestra del proceso seguido en el documento completo del TFG, se expone la figura 3D y el negativo del PCB de la placa principal:

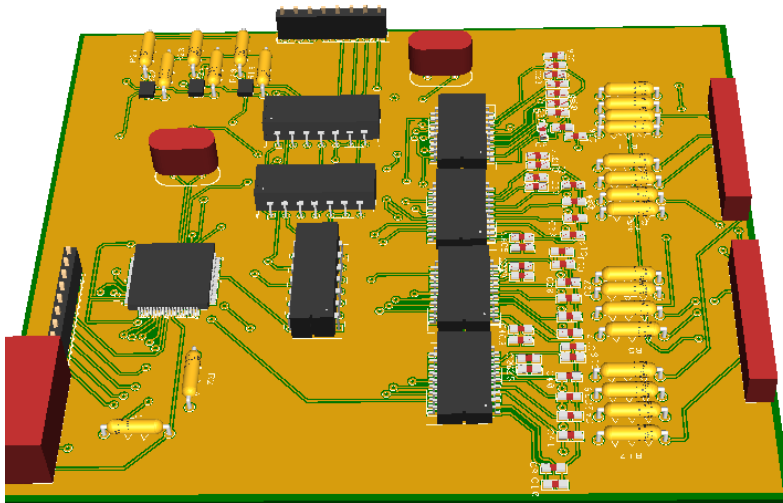
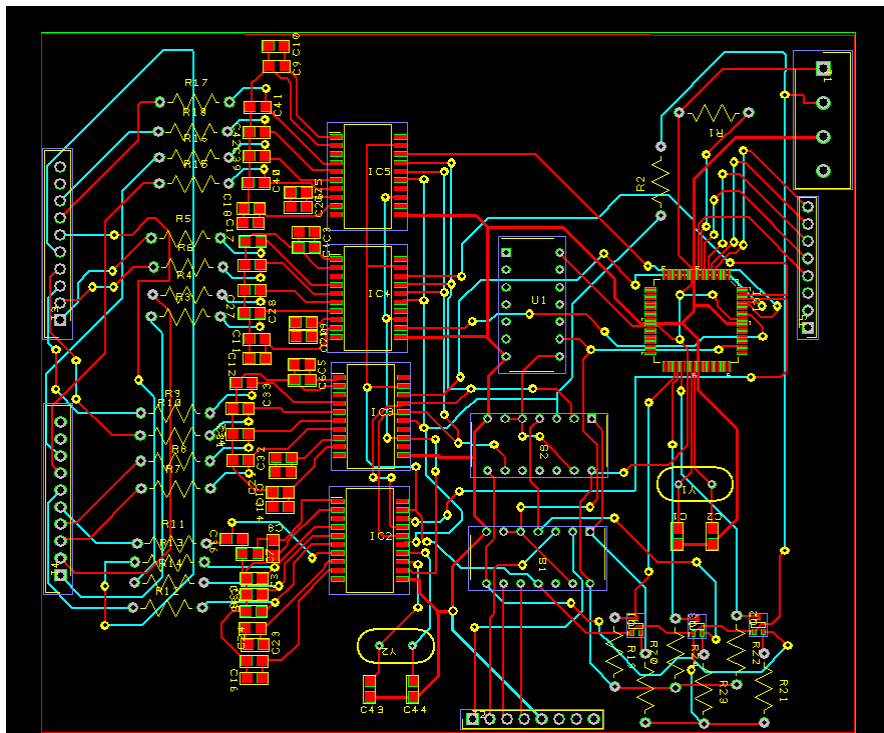


Figura 10: PCB placa principal en 3D.



4. Desarrollo software

El desarrollo software se va a separar en cuatro capas o niveles de programación: Sistema, web, aplicación android y GUI táctil. En la siguiente imagen se puede ver el diagrama de bloques del sistema:

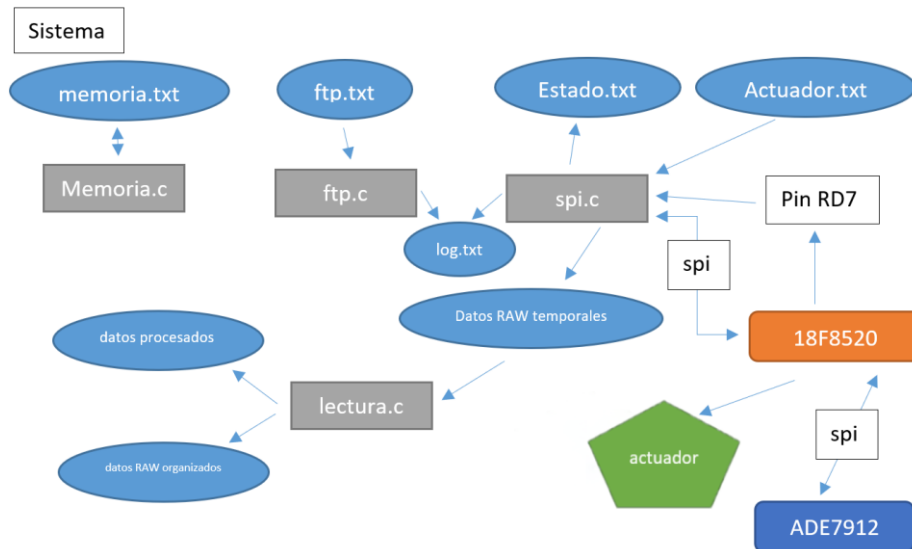


Figura 12: diagrama de bloques del sistema.

Nota: ‘*datos raw*’ son los archivos sin procesar del script `spi.c`, se almacenan los valores de la red eléctrica y tiempo relativo.

En el diagrama se pueden apreciar los archivos (en azul claro) que intervienen en el funcionamiento del sistema:

- **Memoria.txt:** Almacena el dato de la memoria ocupada por los datos *raw*. El script `memoria.c` lo crea y a su vez lo comprueba periódicamente.
- **Ftp.txt:** Archivo que almacena el estado del FTP (Activado – 1 o desactivado – 0). El script `ftp.c` comprueba periódicamente este fichero y se encarga de desactivar o activar el servidor ftp.
- **Estado.txt:** Archivo que almacena el estado de la red eléctrica (0 – Estable, 1- Corte).
- **Actuador.txt:** Archivo que almacena el estado del actuador. Si el contenido de este fichero es un 1, el script `spi.c` enviará de forma inmediata al PIC 18F8520 la orden de activar el actuador.
- **Datos raw / Datos procesados:** En primera instancia se tienen los datos *raw* por unidad de tiempo. Estos archivos *raw* desordenados los genera el script `spi.c`. Una vez por minuto, el script `lectura.c` lee estos datos, los procesa, y guarda dos copias de forma ordenada en la base de datos: Los datos procesados y los datos *raw*. Cuando esto es realizado, el script `spi.c` está capturando los nuevos datos *raw* del minuto siguiente.

- **Log.txt:** En el log se registran todos los eventos importantes del sistema así como la fecha y hora en el que se han producido.

A continuación se puede apreciar el diagrama de bloques de la capa del servidor web y la capa de la aplicación móvil:

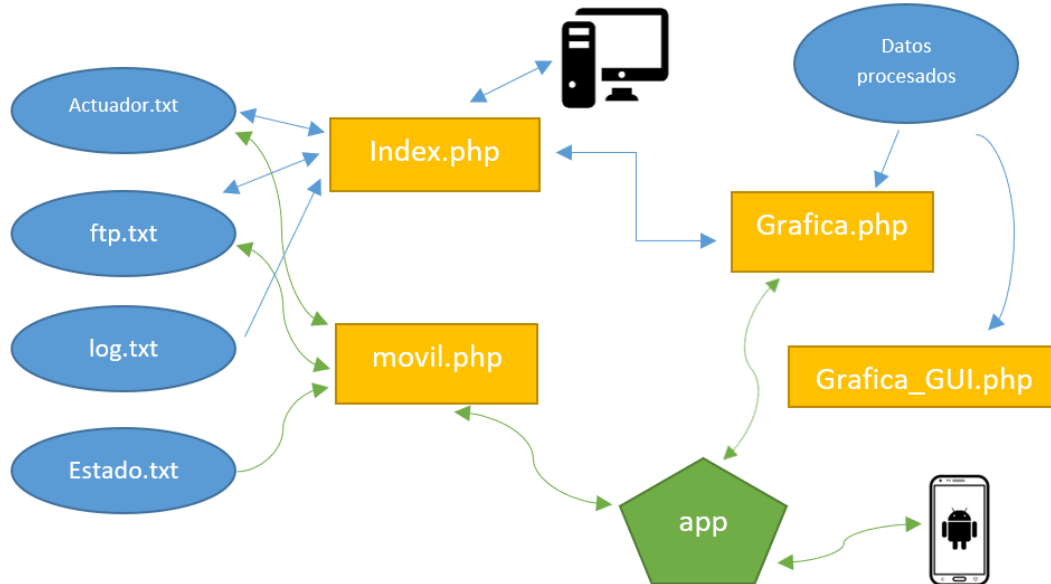


Figura 13: Diagrama de bloques servidor web y aplicación android

Capa servidor web:

- **Index.php:** Página web que presenta la gráfica seleccionada, permite actuar y leer los estados del actuador y del servidor ftp, y además muestra el log.txt para poder ver los eventos del sistema.
- **Grafica.php:** Al pasarle por url los parámetros de la gráfica requerida, devuelve una imagen de los datos correspondientes al día de la petición. Dichos datos los coge de la base de datos.
- **Grafica_GUI.php:** De igual forma que grafica.php, devuelve los parámetros de la gráfica requerida, sin embargo los devuelve en una imagen con una resolución especial para la interfaz gráfica requerida en la pantalla táctil. Se explicará con más detalle más adelante.

Capa aplicación móvil:

- **Movil.php:** Permite leer y actuar sobre el actuador y el servidor ftp (mediante sus respectivos ficheros .txt) y permite leer el estado actual de la red (estado.txt).
- **App:** Aplicación programada en Java que se conecta a movil.php y Grafica.php para obtener todos los datos necesarios para mostrar en la aplicación móvil. También permite activar o desactivar el actuador y servidor FTP.

Por último, se tiene el diagrama de la capa de la interfaz gráfica de la pantalla táctil:

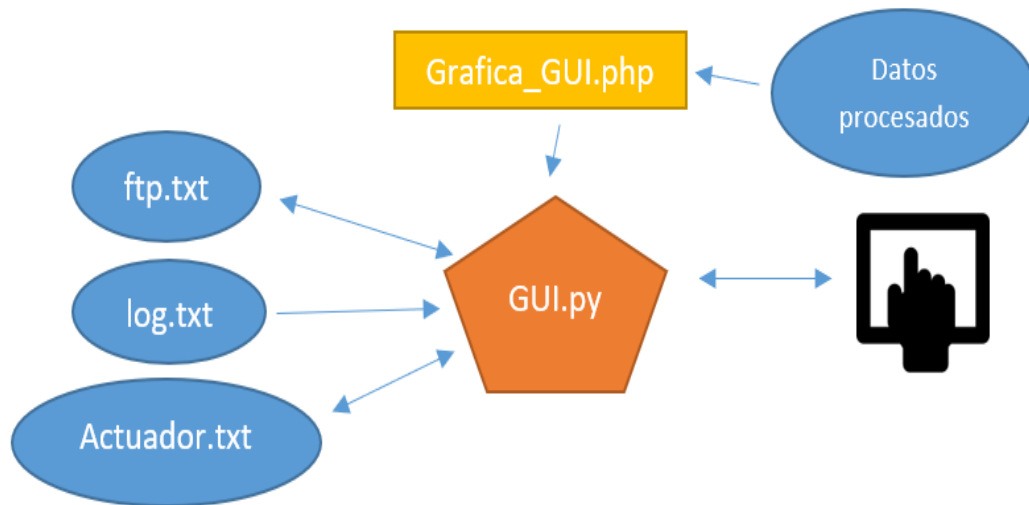


Figura 14: Diagrama de bloques interfaz gráfica

Como se puede ver en la imagen anterior, la interfaz gráfica y aplicación de la pantalla táctil está controlada por un archivo python central, el cual coge el archivo log.txt para mostrar todos los eventos del sistema, usa a su vez un script en el servidor web para descargarse las imágenes de las gráficas que se van a mostrar, y controla el estado del servidor FTP y del actuador a través de los ficheros de texto correspondientes.

Debido a la baja resolución de pantalla que posee la pantalla LCD táctil que se dispone, se ha tenido que modificar el script grafica.php y crear uno secundario (grafica_gui.php) para la creación de las gráficas en un formato y resolución acorde con la pantalla táctil.

5. Diagramas de flujo

5.1 Sistema

PIC18F8520

Se va empezar con el diagrama de flujo del código grabado en el PIC 18f8520:

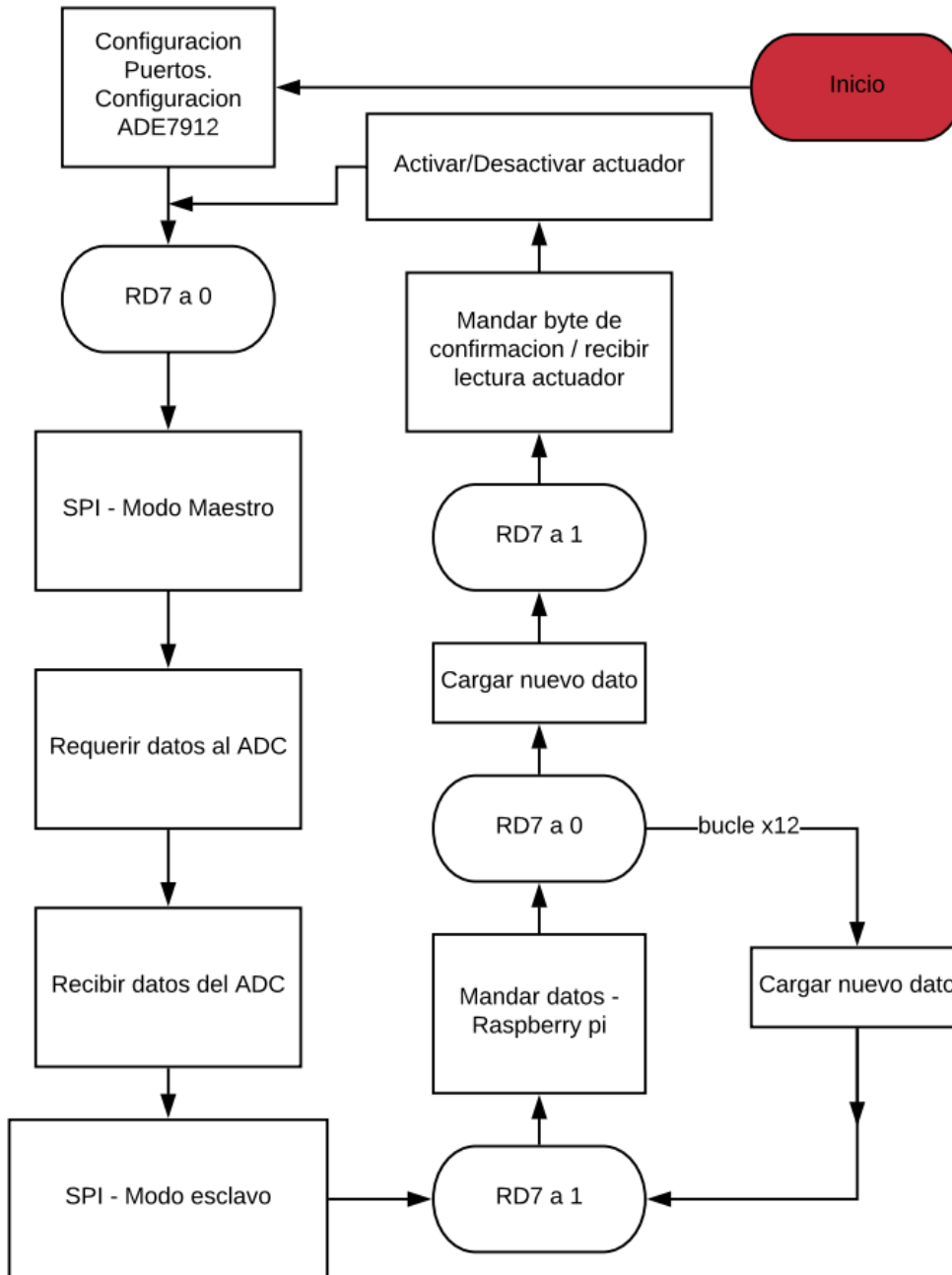


Figura 15: Diagrama de flujo PIC

Como se puede apreciar, se envían 12 bytes más uno de confirmación. Estos 12 bytes son los datos de 24 bits de resolución que ofrece el ADE7912. Estos datos son la intensidad, el voltaje circulante y la temperatura. Como se puede ver, el pin RD7 controla la comunicación entre el ADC y la Raspberry Pi.

SPI.c

A continuación se tiene el diagrama de flujo del script spi.c:

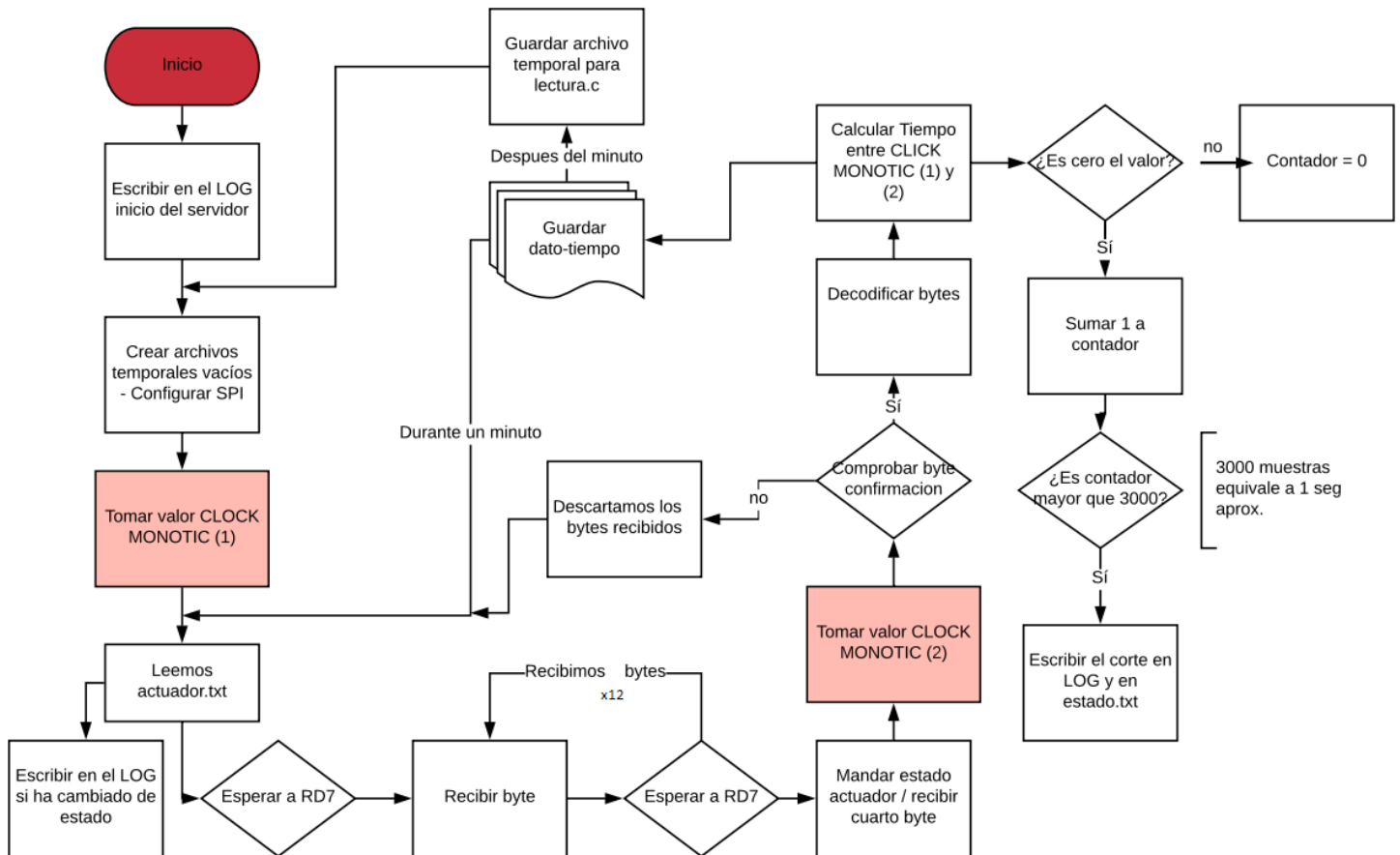


Figura 16: Diagrama de flujo script SPI

Como se puede apreciar en el diagrama de flujo, una vez arrancado el script no se detendrá hasta que se pare de forma manual. El script lee todos los datos del PIC durante un minuto y los almacena en diferentes archivos de texto que posteriormente lectura.c coge para su tratamiento. A la vez que realiza la operación de obtención de datos, también detecta en tiempo real los cortes en la alimentación y manda activar/desactivar al actuador depende de como lo ordenemos en el archivo de texto.

Se utiliza la función CLOCK MONOTIC de raspberry pi ya que es una función especialmente diseñada para la temporización, ya que es un contador que no depende de la fecha actual recolectada de un servidor, sino que siempre va en aumento, por ello es totalmente fiable y siempre que restemos el valor (1) al valor (2) obtendremos un valor positivo en microsegundos.

También se puede observar como los datos (Tanto intensidad, voltaje como temperatura) son descartados si el byte de confirmación recibido es erróneo. De esta forma se pueden evitar los valores incorrectos debido a la desincronización entre dispositivos.

lectura.c

En la siguiente figura se muestra el diagrama de flujo del script encargado de la trata de datos:

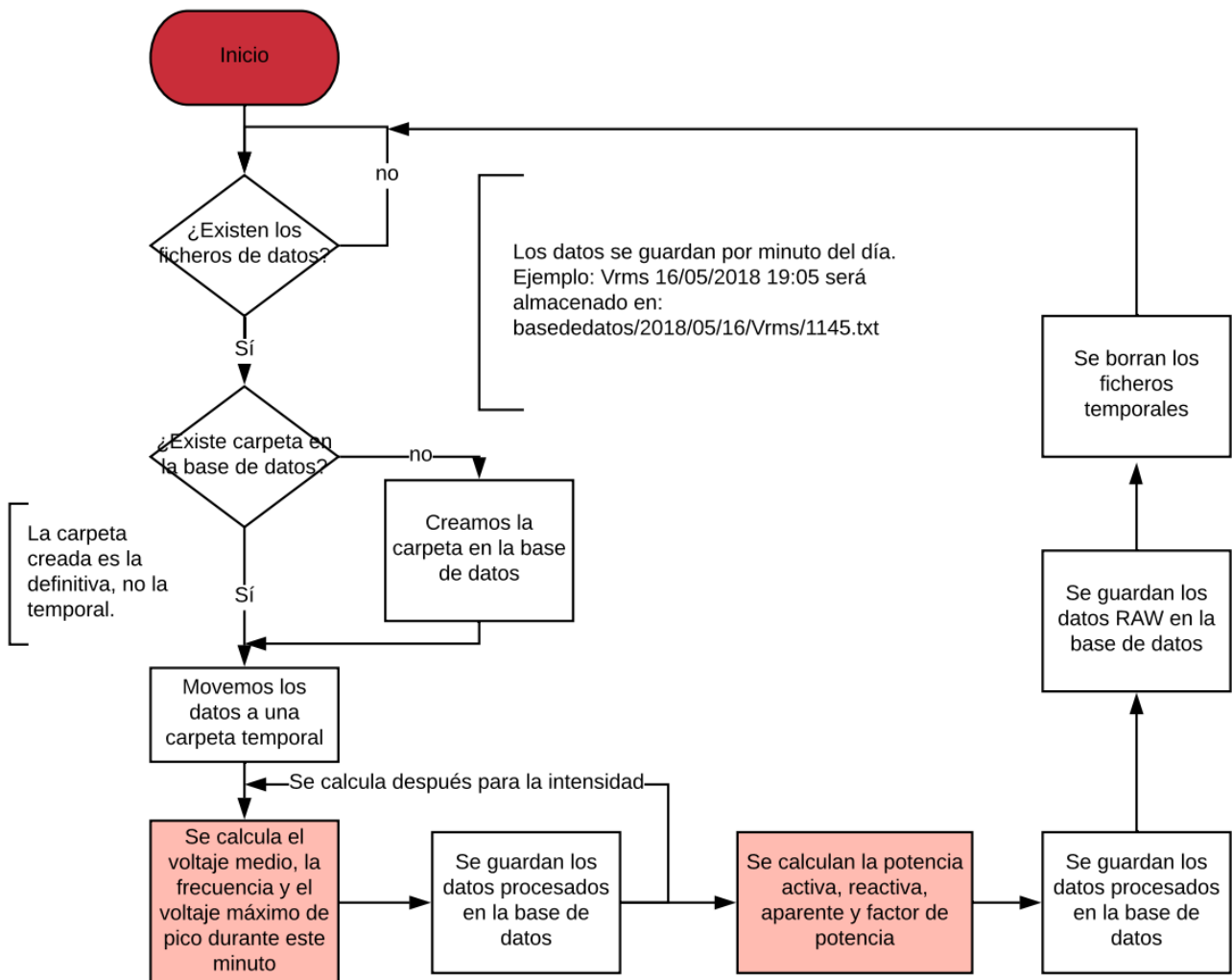


Figura 17: Diagrama de flujo script lectura

Primero se entra en un bucle infinito hasta que spi.c le cede los datos *raw*. Entonces crea la carpeta oportuna en la base de datos (según la fecha en la que se encuentre el sistema) y mueve los ficheros creados por el script spi.c hacia una carpeta temporal. Se calculan los valores medios de Vrms e Irms, Ifrec, Vfrec y Ipico, Vpico. Una vez que se tienen estos 6 datos calculados, se procede a calcular la potencia activa, reactiva y aparente del sistema, junto con el factor de potencia.

5.2 Servidor web

Index.php

En la siguiente figura se puede ver el resultado final del servidor web:

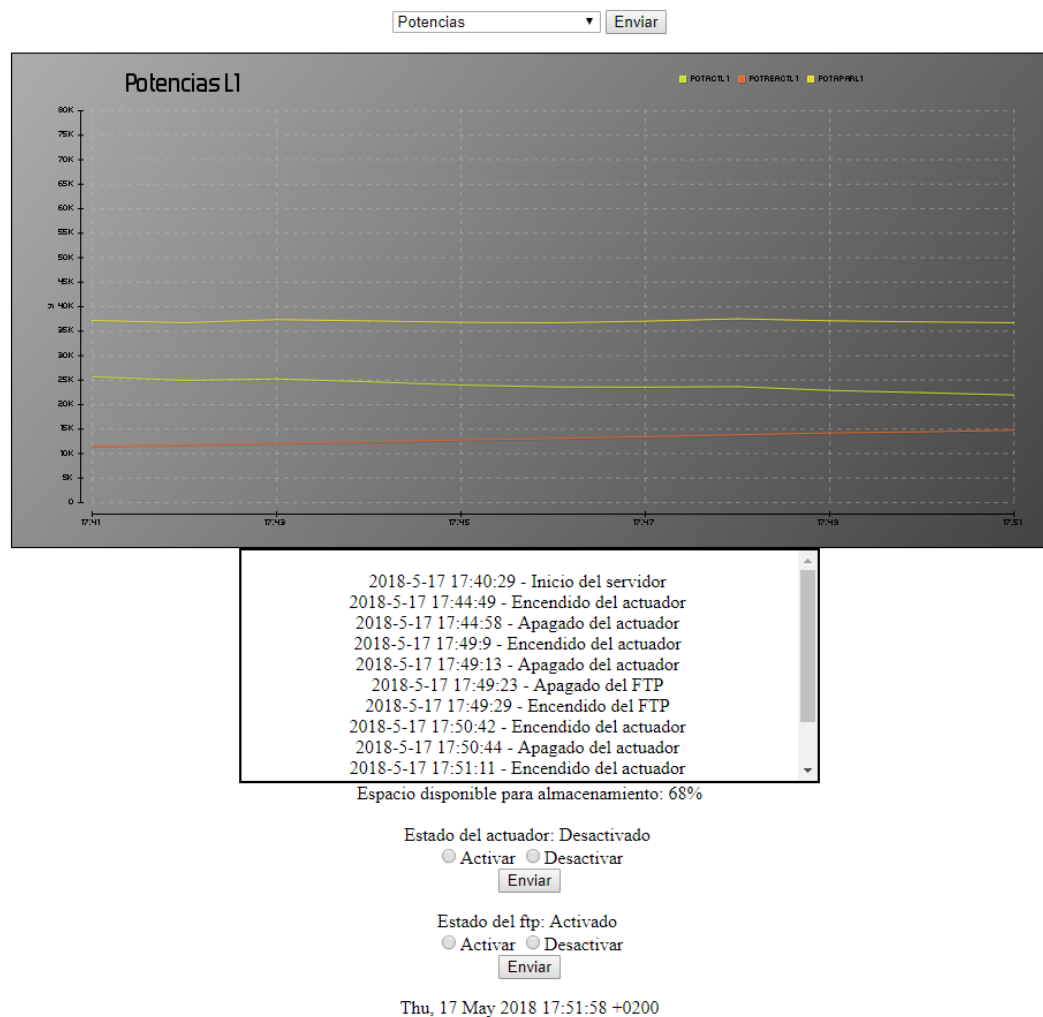


Figura 18: Página web.

Como se puede apreciar, se muestra la gráfica de las potencias en nuestro sistema (Aparente en amarillo, Activa en verde y reactiva en rojo). Con el primer botón de “enviar” junto con la lista desplegable podremos seleccionar que gráfica mostrar entre: Vrms/Irms, Potencias, frecuencias y factor de potencia.

También se puede ver como el log está presentado dentro de una caja de texto con un scroll vertical donde podremos ver todos los eventos importantes del sistema. Junto con esta caja de texto contamos con el estado del actuador y del ftp, ambos accionables desde la página web.

A continuación se pone el diagrama de flujo:

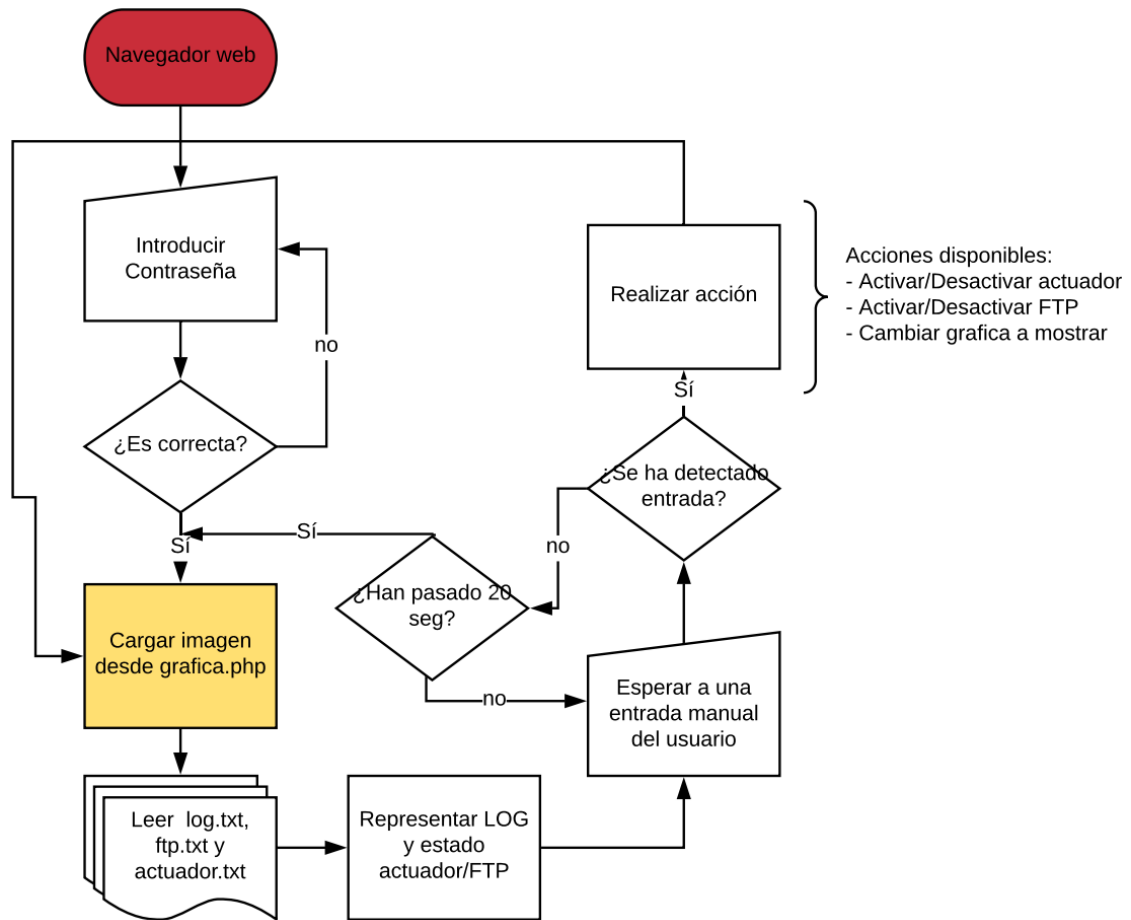


Figura 19: Diagrama de flujo pagina web.

Lo primero que se pide es acceder con una contraseña. En este caso se ha seleccionado ‘rubenelportero’ para tal efecto. Una vez que hemos introducido la contraseña, el sistema pedirá la gráfica al archivo grafica.php (la función que genera la representación que se le pida). Después lee el archivo log, ftp y actuador y representa toda la información recogida en el navegador web desde el cual se está accediendo. Esperamos a una entrada manual del usuario (activar/desactivar actuador-ftp o cambiar de gráfica a representar) y si no se ha realizado ninguna entrada manual en 20 segundos, la página se recargará automáticamente.

5.3 GUI táctil

gui.py

En las siguientes capturas se puede apreciar la interfaz gráfica desarrollada para la pantalla táctil:

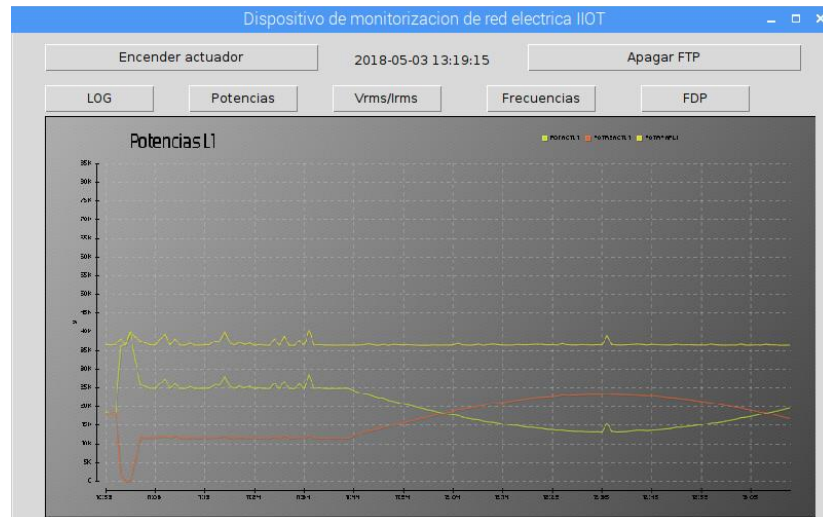


Figura 20: Interfaz gráfica táctil.



Figura 21: Interfaz gráfica táctil.

Como se puede apreciar, disponemos de un total de 5 botones para seleccionar entre los datos que se quieren mostrar y dos botones más para activar o desactivar el actuador y el ftp (A la vez que se muestran sus estados actuales).

El diagrama de flujo se muestra en la siguiente imagen:

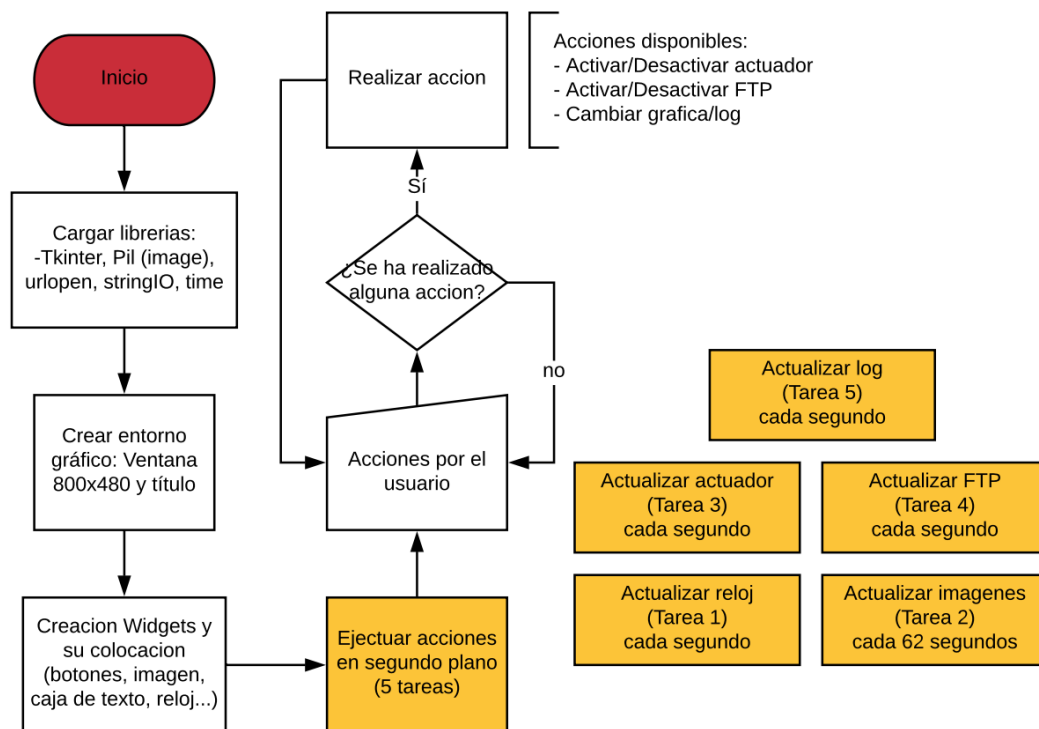


Figura 22: Diagrama de flujo interfaz gráfica.

Primeramente se cargan las librerías necesarias para el tratamiento de los datos leídos. Seguidamente se colocan los widgets en su respectivo lugar y se inician todas las acciones que se ejecutan en segundo plano. Una vez todo representado en pantalla, simplemente se espera a que el usuario pulse alguno de los botones que se muestran por pantalla para realizar la acción requerida.

Las cinco tareas en segundo plano son la siguientes:

1. Actualizar el reloj (A cada segundo).
2. Actualizar imágenes: Se descargarán todas las imágenes del servidor (Grafica_GUI.php) y se guardan en la carpeta de la interfaz gráfica, así la navegación entre gráficas es más fluida cuando vamos interactuando con la interfaz gráfica.
3. Actualizar actuador: A cada segundo leemos el archivo actuador.txt para ver si se ha producido algún cambio en el actuador desde otro periférico: La aplicación en android o el servidor web.
4. Actualizar FTP: A cada segundo leemos el archivo ftp.txt para comprobar si se ha producido algún cambio desde otro periférico: La aplicación para android o desde el servidor web.
5. Actualizar LOG: A cada segundo borramos todo el texto disponible en la caja de texto y re-escribimos el contenido de LOG.txt. Esto lo realizamos para estar totalmente actualizados de los eventos que ocurren en el sistema.

5.4 Aplicación móvil para Android

La aplicación móvil esta compuesta por un proyecto en android studio disponible en el CD del trabajo.

A continuación se exponen unas imágenes de la aplicación móvil:

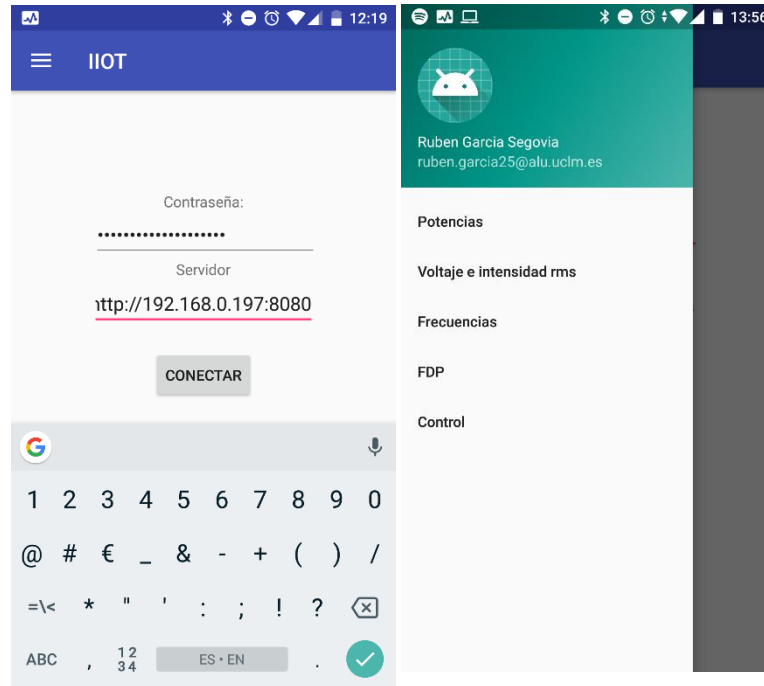


Figura 23: Capturas de pantalla de la aplicación

Como se puede ver en las imágenes, se ha utilizado un estilo conocido como material design (diseñada por google) que ofrece una interfaz clara y sencilla de utilizar, aparte de ajustarse de manera correcta a todo tipo de pantallas y teléfonos. Sin embargo, a la hora de representar las gráficas se expone la imagen descargada del servidor con una resolución y zoom específico para móviles con pantalla táctil de 5,5 pulgadas.

Todo el proceso de programación, diagramas de flujo y ecosistema de android viene explicado en detalle en el documento completo del TFG.

6. Montaje

Debido a la limitación de componentes electrónicos disponibles en la Universidad, se ha realizado el siguiente montaje en el laboratorio:

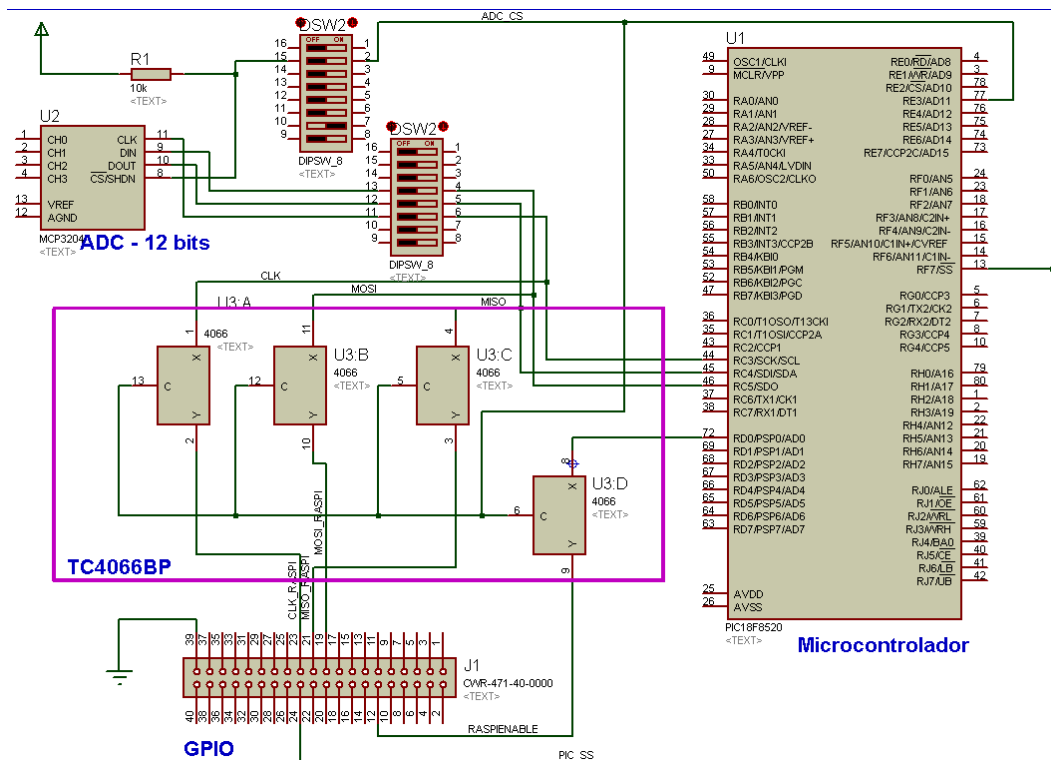


Figura 24: Montaje para la captación de datos.

Como se puede apreciar, el circuito está simplificado respecto al circuito hardware diseñado anteriormente, sin embargo, es suficiente para realizar las pruebas en el laboratorio y comprobar la viabilidad del proyecto.

6.1 Fotos del montaje final

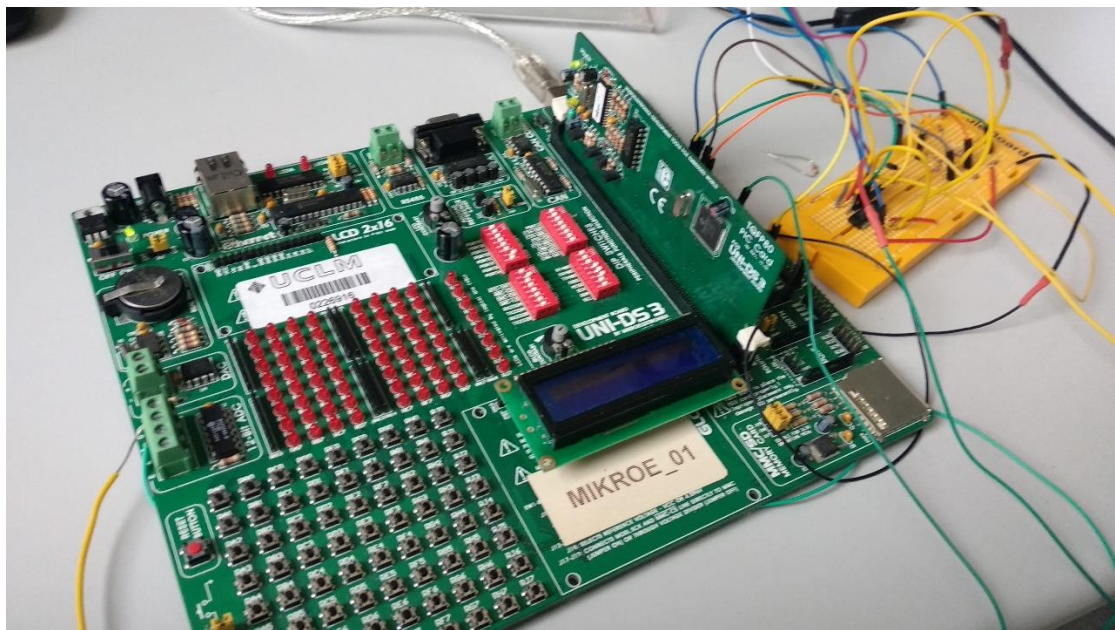


Figura 25: UNI-DS3 con las conexiones pertinentes.

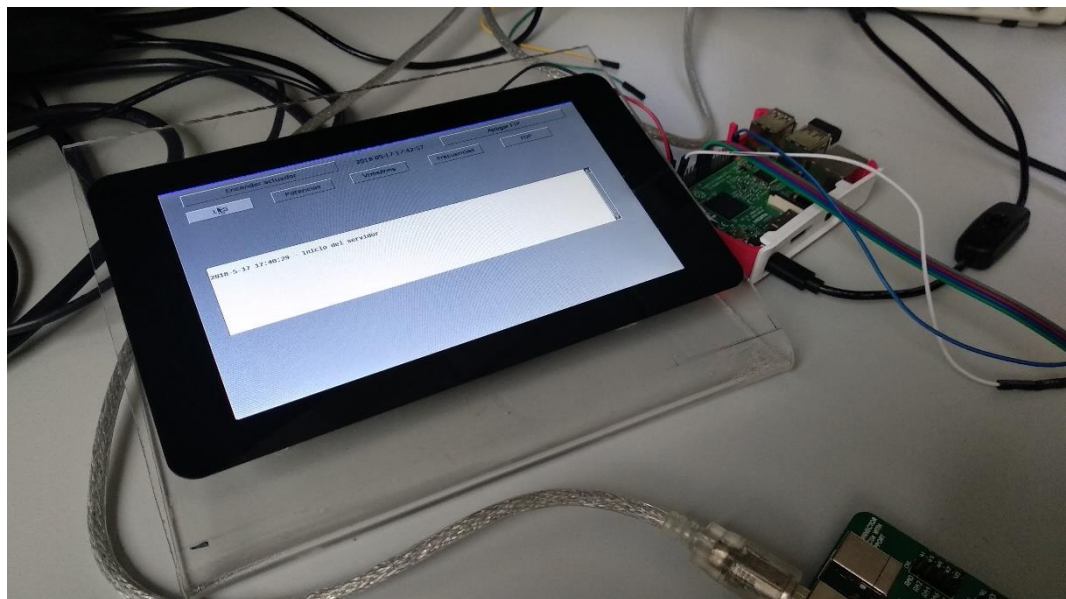


Figura 26: Pantalla táctil con la interfaz gráfica en ella.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Al término de este Trabajo Fin de Grado, se recogen una serie de conclusiones descritas a continuación:

En primer lugar, se comprueba cómo un alumno que ha superado con éxito todas las asignaturas que este grado propone es capaz de identificar una necesidad, o una posible mejora en un determinado proceso (en este caso, en una instalación eléctrica), y aplicar los conocimientos no sólo aprendidos a lo largo de su etapa estudiantil, sino aprendiendo e investigando nuevos campos de la ingeniería y del conocimiento para resolver el problema de la mejor forma posible. En este caso específico, se han utilizado conocimientos de tres campos distintos de la ingeniería: informática, electrónica y electricidad para el diseño integral de una solución IIOT (Industrial Internet Of Things). A pesar de los recursos limitados con los que se cuentan en la Escuela de Ingenieros Industriales de Albacete, ha sido posible diseñar el sistema de forma teórica y de una forma práctica, quedando así demostrado la viabilidad del proyecto llevado a cabo.

Se ha podido comprobar también cómo las nuevas tecnologías tienden a convertirse en sistemas autónomos en un solo encapsulado, siendo prácticamente una pérdida de tiempo diseñar por uno mismo una solución específica. Esto se ha podido ver claramente con el encapsulado ADE7912, donde podemos ver que la industria ha diseñado un circuito integrado que recoge una señal analógica, la convierte a señal digital junto con una barrera de separación galvánica y habilitando al ingeniero su uso en una alta gama de microcontroladores disponibles. Esto, además, muestra el interés de los fabricantes por impulsar el IIOT/IOT y la monitorización eléctrica, cada vez más presente en hogares y fábricas. Sobre todo con la llegada de las Smart Cities, la revolución de los coches eléctricos y las energías renovables, un tema que daría para otro Trabajo Fin de Grado completo.

Por último, se ha demostrado el potencial del software libre y tener una comunidad detrás de ella, habiendo usado para este proyecto numerosos software con licencias de este estilo: Python, PHP, Android, Raspbian, Apache... A parte de haber encontrado ayuda y tutoriales de aprendizaje de forma desinteresada en sitios web como StackOverFlow y GitHub. Por este mismo motivo, y para fomentar la investigación, aprendizaje y mejora de este proyecto, se ha licenciado este TFG bajo una licencia Creative Commons.

En cuanto a trabajos futuros se recogen varias líneas de mejora:

- Fabricación de las placas PCB diseñadas. Debido a no tener la tecnología de fabricación de PCB disponible, no se han podido fabricar las placas de circuito impreso, por ello se ha dejado el desarrollo teórico de las mismas para ser aplicado en un futuro.
- Implementación de red GSM para el envío de los datos a través de internet de una forma totalmente autónoma e inalámbrica, permitiendo así colocar el sistema en fábricas o ubicaciones de difícil acceso o sin conexión a internet.
- Seguridad: A pesar de haber instalado una contraseña de acceso a ciertas áreas de la página web, un punto a mejorar es la seguridad del servidor, ya que de preparar el servidor para ser accesible mediante internet (con la ip externa de nuestra instalación) puede ser fácilmente controlada por algún Cracker.
- Dotar al software de mayor adaptación y configurabilidad: En este trabajo no es posible, pero un sistema de alertas o accionadores automáticos podría mejorar mucho el sistema. Por ejemplo: Cuando la tensión de V11 baje de 180V, desactivar el actuador1 de forma automática, y activar el actuador2.
- Análisis de armónicos: Aunque se poseen los datos sin procesar necesarios para analizar el espectro frecuencial de nuestra instalación usando un software específico, se podría haber implementado una FFT en algún lenguaje de programación.
- Realización de cajón: Modelar un cajón o caja donde incluir toda la electrónica del sistema y poder colocarla en la pared junto con el cuadro eléctrico monitorizado.
- Detección de errores y fallos: El sistema actual sólo posee un sistema de detección de corte en la red eléctrica. Se pueden programar la detección de múltiples errores y problemas: Desequilibrios, bajadas de tensión, huecos de tensión, sobretensiones, armónicos, etc.

BIBLIOGRAFÍA

1. PIC 18F8520 Datasheet: Microchip Technology.
2. ADE7912 Datasheet: Analog Devices.
3. Relé de estado solido G3PH Datasheet: Omron.
4. TC4066BP Datasheet: Toshiba
5. Resistencia Shunt Datasheet: Vishay.
6. DM7404 Datasheet: Fairchild.
7. BSS138 Datasheet: Infineon.
8. Uni-DS3 manual de usuario: MikroElektronika.
9. MSP3204 Datasheet: Microchip Technology.
10. David Lineweber y Shawn McNulty. (2001). The Cost of Power Disturbances to Industrial & Digital Economy Companies, *Primen*.
11. Jose Salas. 2013. Comunicación entre dos pics maestro-esclavo mediante SPI. Link: <http://todoelectrodo.blogspot.com.es/2013/03/comunicacion-entre-2-pics-maestro.html>
12. WiringPi Library. Link: <http://wiringpi.com/>
13. Raspberry Pi Foundation. Link: <https://www.raspberrypi.org/>
14. Python Software Foundation. Link: <https://www.python.org/>
15. Tkinter library. Link: <https://wiki.python.org/moin/TkInter>
16. Joan Ribas Lequerica. 2013. Desarrollo de aplicaciones para android, *Anaya*
17. David Sastre. 2012. Descargar imagen desde URL en android. Link: <https://sekthdroid.wordpress.com/2012/11/29/descargar-imagen-desde-url-en-android/>
18. Pchart library. Link: <http://www.pchart.net/>
19. Rubén García Segovia. MakingBytes. Link: <https://github.com/rubenelportero/MakingBytes>
20. AENOR. Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución. UNE-EN 50160, 2015.

LICENCIA DE USO

Rubén García Segovia, autor de este trabajo fin de grado, pongo todo el documento, excepto anexos, bajo la licencia Creative Commons internacional 4.0 de reconocimiento y compartir igual.



Bajo esta licencia, usted está autorizado a leer, redistribuir, cambiar, adaptar y hacer uso comercial de esa obra siempre y cuando se cumplan los siguientes términos y condiciones:

1. Dar autoría al autor original de la obra (Rubén García Segovia – <https://github.com/rubenelportero/>).
2. Poner su trabajo bajo esta misma licencia u otra similar.

Para leer la licencia completa u obtener más información, visitar el siguiente enlace o ver la licencia completa adjuntada en el CD (En inglés):

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>

El anexo 1 queda exento de esta licencia debido a que se trata de datasheets y hojas de fabricante, material con licencias propietarias que dependen únicamente de los fabricantes.

El anexo 2, junto con todo el código de programación en los distintos lenguajes de programación usados y adjuntados en este trabajo están bajo la licencia GLPv3 de GNU, siendo código de software libre, permitiendo la modificación, redistribución, mejora e incluso uso comercial de todo el código incluido en el trabajo de fin de grado siempre y cuando se mantenga la licencia. Para más detalles, revisar la licencia completa en la siguiente url o ver la licencia completa adjuntada en el CD (En inglés):

<https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html>

Todo el proyecto está disponible en el repositorio GitHub correspondiente:

<https://github.com/rubenelportero/Design-of-a-electrical-networking-and-control-system>