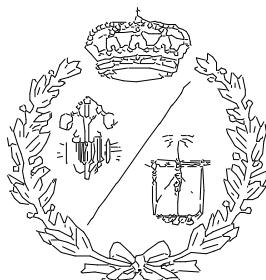


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



***Proyecto Fin de Grado***

**DESARROLLO DE PLATAFORMA DE  
ENSAYOS PARA ESTUDIO DE  
COMPORTAMIENTO TÉRMICO-ELÉCTRICO  
DE CABLES SUBTERRÁNEOS.**

**TEST PLATFORM DEVELOPMENT FOR IN-  
DEPTH INVESTIGATION INTO THERMO-  
ELECTRICAL SUBTERRANEAN CABLE  
BEHAVIOUR.**

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Autor: Miguel San Emeterio Roiz**

**Septiembre  
2017**

---

# ÍNDICE

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| ÍNDICE .....                                             | 2   |
| 1 INTRODUCCIÓN .....                                     | 3   |
| 2 ANTECEDENTES .....                                     | 5   |
| 3 OBJETIVOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS DEL TFG .....     | 13  |
| 4 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PILOTO .....                   | 14  |
| 4.1 Desarrollo del Sistema de medición .....             | 14  |
| 4.1.1 Raspberry .....                                    | 16  |
| 4.1.2 Pt100 .....                                        | 26  |
| 4.1.3 Sensores de humedad .....                          | 38  |
| 4.1.4 Amperímetro .....                                  | 39  |
| 4.1.5 Dispositivos de alimentación .....                 | 41  |
| 4.2 Desarrollo del piloto .....                          | 46  |
| 4.2.1 Conductor .....                                    | 46  |
| 4.2.2 Circuito y alimentación .....                      | 50  |
| 4.2.3 Cajón con tierra y disposición de las sondas ..... | 52  |
| 5 RESULTADOS .....                                       | 62  |
| 5.1 Primer ensayo .....                                  | 62  |
| 5.2 Segundo ensayo .....                                 | 65  |
| 6 CONCLUSIONES .....                                     | 71  |
| 7 REFERENCIAS .....                                      | 73  |
| 8 ANEXOS .....                                           | 75  |
| 8.1 Programación .....                                   | 75  |
| 8.1.1 Principal.py .....                                 | 75  |
| 8.1.2 Pantalla_LCD.py .....                              | 84  |
| 8.1.3 Pendrive.py .....                                  | 95  |
| 8.1.4 Lectura.py .....                                   | 96  |
| 8.1.5 Internet.py .....                                  | 97  |
| 8.1.6 Correo.py .....                                    | 98  |
| 8.2 Amplificadores .....                                 | 101 |
| 8.3 Resultados de los ensayos .....                      | 105 |
| 8.3.1 Primer ensayo .....                                | 105 |
| 8.3.2 Segundo ensayo .....                               | 110 |

# 1 INTRODUCCIÓN

Este documento se trata de un Trabajo de Final de Grado (TFG), del Grado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Cantabria (UC), el cual realiza un estudio sobre el comportamiento térmico que tienen los conductores en una distribución eléctrica, los cuales en ocasiones se encuentran soterrados y son estos tramos en los que el conductor se encuentra soterrado, los que generalmente tienen mayores problemas de sobrecalentamiento debido a una sobrecarga. Actualmente, la corriente máxima que puede transportar un cable se calcula con unas condiciones ambientales de contorno fijas y muy restrictivas (Ampacidad estática). Sin embargo, estudios de los últimos años valoran la posibilidad de que dicha corriente máxima, no sea fija y que varíe en función de las condiciones ambientales que rodean al conductor (Ampacidad dinámica).

De este modo, se define la ampacidad, como la corriente que puede transmitir un conductor sin superar su temperatura máxima. Es decir, es la intensidad con la que un conductor eléctrico, en régimen permanente, adquiere una temperatura, justo inferior a la temperatura a la cual empieza a generar desgastes y problemas en el mismo. Esta intensidad máxima no quiere decir que sea la intensidad máxima capaz de transmitir un conductor en un momento puntual, sino que podría llegar a conducir intensidades superiores en cortocircuitos o algún tipo de fallo puntual, sin necesariamente llegar a dañar el cable, ya que la temperatura del cable no aumenta instantáneamente con la intensidad, sino que lo hace de forma más pausada.

Concretamente, este TFG, realizará una pequeña plataforma de ensayos, ubicada dentro de un laboratorio de la UC, que permitirá obtener datos orientativos sobre el funcionamiento real de un conductor situado en una red de distribución. Esta plataforma estará fabricada con un conductor real, utilizado en redes de distribución, ubicado en una parte, dentro de un entorno soterrado, de forma que simule sus parámetros en el caso de estar en su totalidad enterrado.

Además, este TFG también abarca los elementos que se utilizaran para medir las diferentes condiciones del cable, temperatura, intensidad y además la humedad que experimentaría el cable en caso de estar el terreno mojado por fenómenos atmosféricos. Esta plataforma requerirá de planos realizados mediante AutoCAD [1], ya sea de los planos de la propia plataforma, como de sus conexiones, además, la programación de un elemento que permita obtener los resultados del estudio para un estudio posterior. Esta programación se realizará en lenguaje Python [2].

El objetivo final del TFG será comprobar el correcto funcionamiento de la plataforma además de apreciar las diferencias de temperatura que experimenta el conductor en caso de estar desenterrado o enterrado, con el fin de permitir realizar estudios posteriores para determinar la ampacidad del conductor y hasta qué punto podría aumentarse la intensidad de transmisión de este cable realizando modificaciones en los soterramientos de conductores eléctricos.

La finalidad de estos estudios, es meramente orientativa, ya que, aunque se simulen unas condiciones reales, solo existe una pequeña parte del conductor enterrado, además de no tener en cuenta otros factores que podrían afectar al cable, como diferentes terrenos o el desgaste del mismo conductor, entre otras cosas. Con lo cual se sobreentiende que se trata de un ensayo meramente orientativo y encaminado a la enseñanza y la investigación, capaz de ser posible el uso del mismo en innovaciones que deberán ser corroboradas en un cable real o en plataformas de mayor tamaño, como sería la de una plataforma situada en Astillero (Cantabria) que también forma parte de un proyecto realizado en la UC.

Por lo tanto, este TFG constará de los siguientes apartados:

1. Un primer apartado donde se explicarán todos los antecedentes y los objetivos de este TFG
2. El segundo apartado estará separado en dos partes, la primera expondrá la fabricación del conjunto de elementos que se utilizarán para las mediciones y la segunda parte explicará cómo ha sido fabricado el entorno que simulará el soterramiento del cable y el enterramiento del mismo con la ubicación de los sensores.
3. El tercer apartado expondrá los resultados, que se obtienen al realizar un estudio sin enterrar el cable y luego otro estudio con el cable enterrado.
4. Por último, se resaltan las conclusiones obtenidas con los estudios anteriores.

## 2 ANTECEDENTES

El sistema eléctrico español, ha visto aumentada en gran medida su capacidad de producción en los últimos años, por ejemplo, en el año 2013, la capacidad de producción era 2.5 veces superior a la de demanda, principalmente por la instalación de centrales de ciclo combinado, que sirven como centrales de apoyo, es decir funcionan para suministrar la energía eléctrica, que deja de generar una central de punta, una central de tipo renovable, especialmente eólicas y mareomotrices [3]. Esto implica que a medida que se aumente el número de centrales renovables, habrá que aumentar el número de centrales de apoyo, haciendo que la capacidad de producción aumente en gran medida como observamos en la fig. 1. [4]

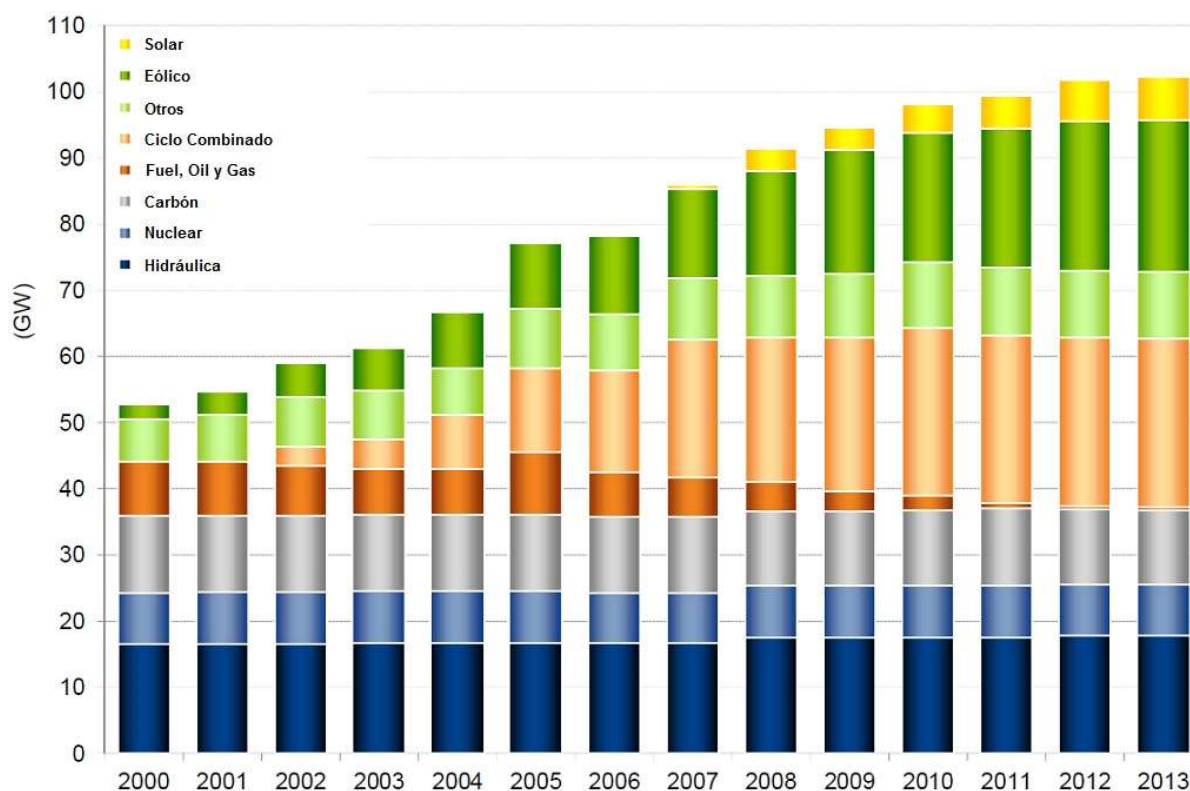


Fig. 1. Generación mix energético en España en GW.

En ella se observa el aumento de la producción eléctrica, lo que implica un aumento de la energía que deberán suministrar el sistema de distribución, unido a este aumento de generación se encuentra el problema que tiene el sistema eléctrico español, ya que el sistema español es uno de los sistemas en los que mayor diferencia existe en su demanda eléctrica dependiendo de la hora, lo cual implica una gran cantidad de centrales eléctricas capaces de generar dicha demanda, pero a su vez implica que gran parte de estas centrales de generación, deberán generar menor energía que su máximo o incluso estar apagadas, con el fin de no generar mayor energía que la que será consumida por la red.

Esta curva de demanda puede ser observada en cualquier día por medio de la página web de la Red Eléctrica Española [5], como podemos observar en la fig. 2 del consumo del día 10 de agosto de 2017.

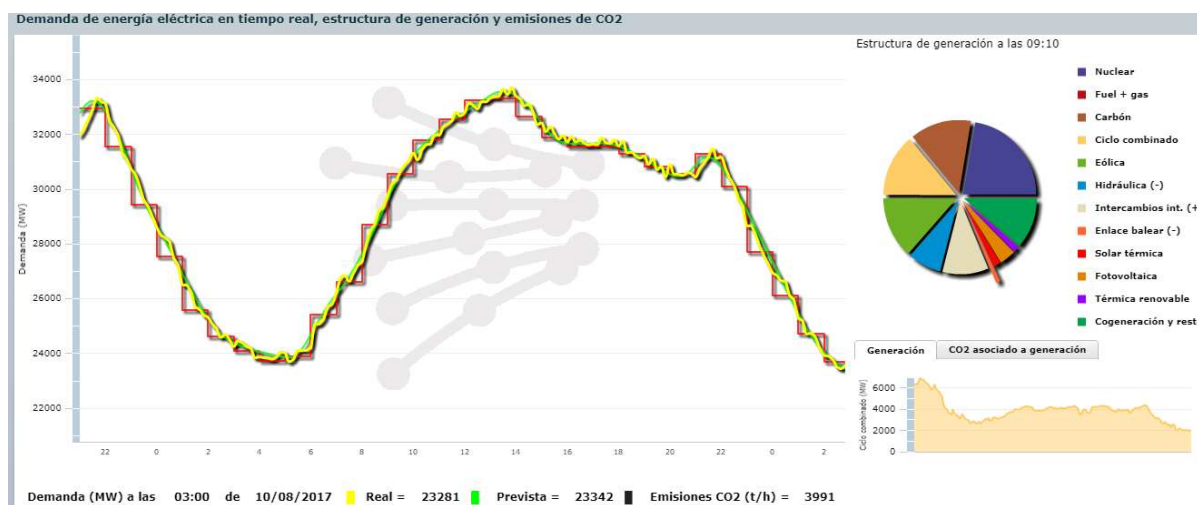


Fig. 2. Consumo eléctrico español del 10/08/2017

En esta imagen se puede observar que, a la hora de menor consumo, las 5 am aproximadamente existen casi 10000 MW menos consumidos que a la hora de mayor consumo que sería a la 1 pm, lo cual implica un incremento de casi el 33% respecto a la demanda máxima del sistema.

Este problema no ha hecho más que agravarse con la inclusión de las energías renovables, ya que el coeficiente entre el máximo y el mínimo consumo en España alcanza el 1.7 mientras que la media europea se encuentra sobre el 1.3 [6] además este parámetro en los últimos años es ampliamente superior al parámetro de la demanda como podemos observar en la fig. 3. [6]

Gráfico 6. Monótonas de la ratio de la demanda y del requerimiento en el año 2010

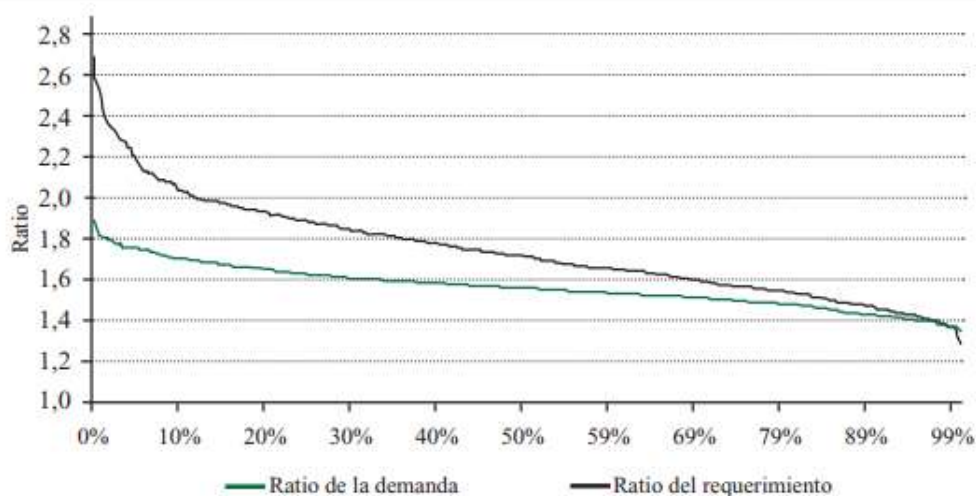


Fig. 3.

Además de que el coeficiente va aumentando cuanto mayor ha sido el número de centrales de energías renovables instaladas a lo largo de los años, como observamos en la fig. 4. [6]

**Gráfico 7. Monótonas de la ratio del requerimiento de 2004 a 2010**

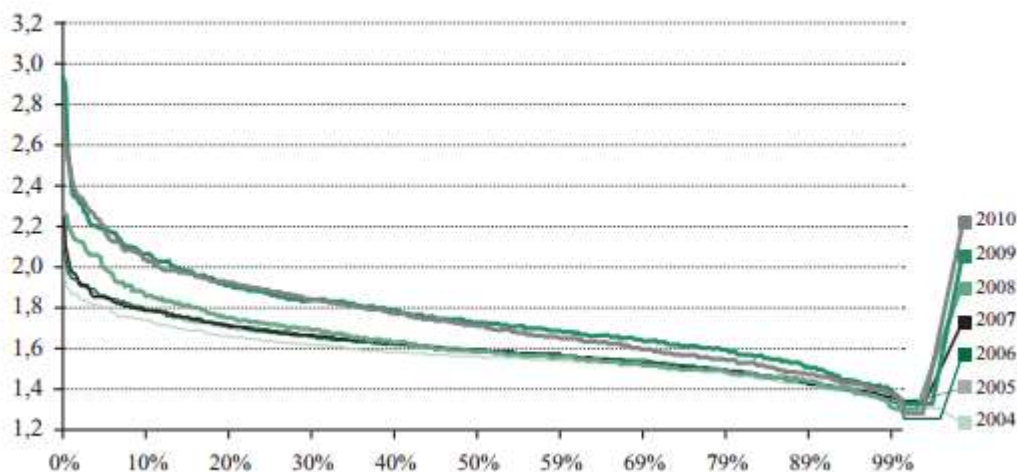


Fig. 4.

Además, en lo relativo a la generación eléctrica, la energía eólica es, sin duda, el vector energético más importante del régimen especial y un protagonista principal en el mix de generación y en la reducción de los niveles de emisiones de CO<sub>2</sub>, objetivo básico de las políticas nacionales e internacionales de eficiencia y sostenibilidad.

Según datos publicados por REE, la potencia instalada en el sistema eléctrico peninsular ascendía en 2012 a casi 103 GW, de los que 22,8 GW eran eólicos. Durante el periodo 2013-15 la instalación de potencia eólica ha sido residual. Es importante destacar que esta capacidad eólica de generación era en 2002 de unos 5 GW. En el caso de las empresas distribuidoras se ha producido la situación paradójica de comportarse en ciertas áreas como transportistas de facto, especialmente cuando se analizan zonas con una gran concentración de parques de generación eólica. A modo de ejemplo, Viesgo Distribución ha incrementado el ratio de capacidad de generación instalada frente a la demanda pico en sus zonas de influencia del Noroeste español un factor de 7,7 en los últimos 20 años [7].

Por lo tanto, se hace imprescindible una red de distribución que sea capaz de transmitir las grandes demandas energéticas en las horas punta, además de que este aumento de los parques eólicos de generación no ha ido acompañado, en general, de un crecimiento paralelo de la capacidad de las infraestructuras de transporte y distribución de energía eléctrica. Se hace por tanto necesario, incrementar la capacidad de evacuación de energía de los parques eólicos y controlar los flujos de potencia.

Para satisfacer esa nueva demanda energética, la solución más obvia es el aumento de la capacidad de las líneas de transporte y distribución mediante la construcción de nuevas líneas eléctricas, sin embargo, la construcción de nuevas infraestructuras supone, además de un mayor coste económico, largos plazos de ejecución debido a la necesidad de realizar estudios de impacto ambiental, expropiación de terrenos, etc. Asimismo, en determinadas ocasiones, es una opción inviable como consecuencia de las restricciones medioambientales que impiden que las nuevas líneas puedan ser ejecutadas.

Por lo tanto, es necesaria la modificación de las líneas actuales, una tarea bastante difícil debido a que las líneas son colocadas dentro de unos márgenes de seguridad que en caso de ser ampliadas pueden sobrepasar fácilmente esos márgenes. Por lo tanto, existen tres tipos de soluciones a dicho problema:

1. Reclasificar las líneas eléctricas y hacer factores de seguridad con menores márgenes y por tanto más específicos de cada tipo de línea. Esta medida responde a la clasificación actual de las líneas eléctricas la cual es muy conservadora para asegurar un funcionamiento idóneo de las líneas de transmisión, las cuales, en algunos casos están sobredimensionadas. Además de que los coeficientes de seguridad, tienen en cuenta hipótesis muy extremas, que, en muchos casos, no se llegan a cumplir ni están próximas a cumplirse.
2. Otra de las soluciones a este problema sería dirigirse a los puntos débiles de las líneas, los cuales son los que determinan los parámetros máximos que soporta esta línea y modificarlos con el fin de ampliar la capacidad de la línea a menor coste ya que se trata de pequeños tramos en vez de la totalidad de la línea, es decir la repotenciación de las líneas.
3. Por último, la otra solución, sería el análisis, desarrollo y puesta en marcha de un sistema capaz de recoger todos los parámetros de la línea en tiempo real con el fin de que un operador sea capaz de tomar decisiones del nivel de saturación que tiene la línea y la posibilidad de aumentar su transmisión de energía.

En el caso de la repotenciación de las infraestructuras existentes, los costes son inferiores a la construcción de nuevas infraestructuras y, en muchos casos, pueden llevarse a cabo sin necesidad de realizar nuevos estudios medioambientales ni expropiaciones. Sin embargo, el incremento de capacidad obtenido es más limitado, debiendo considerarse la indisponibilidad de las infraestructuras existentes durante el periodo de ejecución.

Por su parte, la opción basada en el análisis, desarrollo y puesta en marcha de un sistema que recoja los parámetros de la línea, requiere un nivel de inversión notablemente inferior (se estima que inferior al 2% del coste de nuevas infraestructuras), a la vez que presenta grandes ventajas en cuanto a tiempos mínimos de instalación y, por tanto, indisponibilidad de las líneas. Esta técnica se basa en la monitorización de la temperatura del conductor de forma dinámica para maximizar su capacidad de evacuación, teniendo en cuenta no sólo la intensidad que debe transportar sino también las condiciones ambientales externas.

Por lo tanto, hay que hacer hincapié en estos dos últimos puntos, teniendo en cuenta que una de los puntos débiles de las distribuciones eléctricas, suele ser la zona soterrada, debido a algunas de las siguientes desventajas [8]

- En los cables subterráneos la evacuación del calor por efecto Joule, se hace inferior debido al aislamiento de este tipo de conductores ya que además de ser aislantes eléctricos también son aislantes térmicos, además de no existir refrigeración por el aire.
- Al calentamiento por la dificultad de refrigeración hay que añadir que los cables subterráneos están sometidos a un calentamiento adicional debido a su campo eléctrico que es independiente a la intensidad que circula por él, sino que depende de la tensión de la línea.
- Además, a mayores tensiones, mayor ha de ser el aislamiento con lo cual peor será la refrigeración del mismo
- Otro de los factores a tener en cuenta, es que, en las líneas subterráneas, la tierra ejerce como material dieléctrico haciendo que los conductores se comporten como condensadores, apareciendo corrientes capacitivas que llegan a ser de 10 a 40 veces las que se generarían en una línea aérea.

Esto conlleva que la ampacidad de estos conductores suele ser menor que la del resto, además agravado por que la temperatura aumenta en mayor medida al no existir refrigeración por el aire. Aunque pueda llegar, el conductor, a ser refrigerado por fenómenos atmosféricos.

Por lo tanto, se podría pensar que la solución sería dejar de utilizar cables soterrados, sin embargo, estos son imprescindibles en nuestra red de distribución debido a múltiples razones citadas a continuación:

- Debido a múltiples estudios científicos desde la década de los ochenta, se ha sugerido una posible relación, entre la contaminación electromagnética de baja frecuencia y el riesgo de padecer enfermedades como leucemia, tumores cerebrales u otros cánceres, dependiendo del nivel y tiempo de exposición a estos campos electromagnéticos que rodean a estos conductores eléctricos. El parlamento europeo presentó en 1994 una resolución sobre la lucha contra estos efectos nocivos e invitó a la Comisión a proponer medidas para limitar la exposición de las personas a esta radiación electromagnética. Conforme a esta resolución, el consejo de la unión europea aprobó en 1999 una recomendación (1999/519/CE) con la cual los Estados miembros de la unión europea, adoptaran un nivel de protección a la salud contra campos magnéticos, adoptando restricciones básicas y niveles de referencia a la exposición de los ciudadanos. Además, el Comité de las Regiones aprobó un dictamen (1999/C293/03) sobre los efectos de las redes eléctricas de alta tensión en el que se apuesta por valores límites para los campos electromagnéticos y se solicitaba a las administraciones competentes que las redes de alta tensión se instalaran de forma subterránea al atravesar zonas urbanas. [9]

Además de los campos electromagnéticos, existen otras ventajas de las líneas soterradas respecto a las líneas aéreas como pueden ser las siguientes [8] [10] [11]:

- Para la misma corriente transportada y conductores con la misma resistencia, la caída de tensión en una línea subterránea es inferior al haber una menor reactancia inductiva.
- En muchas ocasiones, las líneas eléctricas se construyen en parajes naturales, los cuales pueden formar parte de rutas de aves. Durante el vuelo de estas aves, puede ocurrir que un ave de gran envergadura, toque con ambos extremos de sus alas dos fases diferentes de una línea aérea, ocasionando la consiguiente electrocución. Además, hay posibilidades de al estar el ave apoyada en un conductor, toque el cable de guarda o algún tipo de apoyo metálico, los cuales están conectados a tierra ocasionando más electrocuciones.
- Además de los problemas por electrocución de las aves, en días nublados, con niebla o de poca visibilidad, les puede resultar difícil apreciar estas líneas en mitad de su trayectoria, provocando que choquen contra ellas, ocasionándolas la muerte o pudiendo herir gravemente sus alas.
- Las líneas aéreas, pueden influir en gran medida al deterioro de lugares en los que el valor geológico, topográfico, antropológico, botánico o simplemente estético,

presentan un equilibrio en formas, líneas y colores. Los cuales pueden ser alterados por la intrusión de torres eléctricas de varios metros de altura y separadas con distancias de hasta medio kilómetro, las cuales son atravesadas por hasta 24 conductores de gran tamaño.

Por estas razones, además de otras, es recomendable el uso de líneas soterradas en determinadas situaciones. Además de que el constante crecimiento de las ciudades en los últimos años, ha provocado un aumento de las instalaciones subterráneas de media y baja tensión.

Este crecimiento del número de instalaciones subterráneas, junto con el problema de la alta generación eléctrica del sistema español citada anteriormente, hace imprescindible la optimización del diseño y la capacidad de transporte de la línea, con el fin de tener el menor número de pérdidas posibles, además de poder asegurar una seguridad suficiente y un mantenimiento prolongado de los conductores, es decir, no aumentar su capacidad de transmisión disminuyendo su vida útil.

Por lo tanto, es importante realizar estudios eficientes, capaces de calcular la capacidad de transporte de las líneas eléctricas para aumentar su rendimiento, la cual suele estar limitada por la temperatura, la cual puede llegar a perjudicar el aislamiento de los conductores.

El cálculo de la temperatura de un conductor en régimen permanente puede realizarse mediante su ecuación de equilibrio térmico, en base a la hipótesis de que el calor generado en cada momento en el conductor debe ser idéntico al disipado más el acumulado por su capacidad térmica. Las infraestructuras utilizadas habitualmente en las redes de distribución combinan líneas aéreas de conductores desnudos con cables aislados enterrados de forma directa o mediante tubos.

Los conductores desnudos de estructura concéntrica suelen estar formados por elementos de acero en su núcleo central y aluminio en sus capas exteriores. Los elementos interiores de acero proporcionan consistencia mecánica al cable mientras que las capas externas de aluminio actúan como elementos conductores de electricidad. En el caso de los conductores aislados la tipología es mucho más compleja, tanto en términos de estructura como de materiales.

Desde el punto de vista normativo, tanto el estándar IEEE 738 [12] como el procedimiento definido por CIGRE TB601 [13] definen metodologías para el cálculo de la capacidad de un conductor aéreo desnudo en base a la ecuación de equilibrio térmico en régimen permanente.

En lo relativo a los cables aislados el procedimiento CIGRE TB640 [14] proporciona una guía de aplicación. Dicho procedimiento no es una norma, aunque se apoya en IEC 60287 [15] e IEC 60853 [16].

### **3 OBJETIVOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS DEL TFG**

Teniendo lo anterior, este TFG se centrará en realizar los siguientes pasos:

- Creación de una plataforma de ensayo, que permita generar las condiciones de un cable soterrado, el cual transportará las mismas intensidades que transportaría acoplado a la red y por consiguiente alcanzará las temperaturas que alcanzaría en una situación real.
- Creación de un elemento o elementos con un conjunto de sensores, capaces de medir los parámetros necesarios para realizar un estudio posterior, entendiendo que los parámetros más importantes para el mismo son, la temperatura del conductor y sus alrededores, la intensidad que circula por el mismo y la humedad que generaría una lluvia sobre la tierra en la que está el conductor, lo cual afectaría a su refrigeración.
- Realizar un primer ensayo, en el cual se compruebe el funcionamiento de la plataforma, de forma que esta de resultados lógicos, además de servir como guía a estudios posteriores.
- Analizar los resultados obtenidos y comprobar hasta qué punto el conductor se ve afectado por estar en enterrado.

## 4 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PILOTO

Como se ha mencionado en el apartado anterior, este TFG, busca realizar un estudio sobre el comportamiento térmico de un conductor soterrado a determinadas condiciones, por lo tanto, al tratarse de un trabajo práctico, es necesario el estudio sobre un cable real, simulando las condiciones en las que estaría el conductor en caso de estar operativo en una red de suministro, es decir, es necesario utilizar un conductor, de los usados en la distribución eléctrica, enterrándolo, de forma que esa tierra pueda mojarse y haciendo pasar por el conductor una intensidad similar a la que circularía por el en servicio.

Todo lo anterior, llevo a la idea de usar un tramo de conductor de unos ocho metros de largo, en cortocircuito, es decir conectado a si mismo formando una espira, conectada a dos toros, los cuales son transformadores de intensidad, que a su vez están conectados a una fuente de tensión independiente, de forma que puedan hacer circular por el cable las intensidades tan elevadas que llevaría en servicio sin correr peligro el usuario que lo manipule. Este conductor tendrá un tramo de unos dos metros, en el cual se realizará el estudio, introducido en una caja de madera, con paredes impermeables, llena de tierra, con las dimensiones lo suficientemente grandes, para ser válida la simulación.

Para el estudio de ese tramo de dos metros, en el cual el conductor está enterrado, serán necesarios aparatos de medida, para los parámetros medibles necesarios para el estudio, los cuales se almacenarán en un sistema de medición.

### 4.1 Desarrollo del Sistema de medición

Debido a que para realizar el estudio del cable sobre el que trata este proyecto es necesario conocer las temperaturas que adquiere dicho cable en función de las intensidades que circulan por él, será necesario diseñar un sistema de medición; un dispositivo electrónico con medidas a tiempo real, que nos permita medir estos valores, además de la humedad que tiene la tierra en la que está enterrado el cable, para así tener unos datos más precisos de la temperatura.

Por lo tanto, a la hora de diseñar este sistema de medición tendremos que conseguir que sea capaz de medir la intensidad que circula por el cable, la temperatura a la que esta tanto el cable como la tierra adyacente, además de la humedad de la misma. Se hace necesario que todas estas medidas sean obtenidas en tiempo real y con la mayor fluidez posible, además de ser almacenadas para un estudio posterior.

Debido a todo lo anterior, se ha optado por el uso de una raspberry, a la cual se conectan diferentes instrumentos de medida como son: unas resistencias pt100 con las que medir

temperatura, unas sondas de humedad y un transformador de intensidad con el que se disminuirán las intensidades para poder ser medida. Todo ello conectado a diferentes elementos que ayudarán a la raspberry a realizar las medidas y transformaciones pertinentes. Todos estos elementos estarán colocados dentro de un armario de fusibles para facilitar su conexión, darle robustez y permitir que se pueda transportar con facilidad, además para facilitar esta posibilidad de transporte, no se conectará ninguna de las sondas de forma directa sino que se hará mediante conectores BNC fig. 5a para las sondas PT100 y el amperímetro y conectores de 3 hilos fig. 5b para las sondas de humedad, los cuales permiten conectar diferentes conductores sin tener apenas pérdidas permitiendo una fácil desconexión pero con una buena robustez.



Fig. 5a conector BNC. Fig. 5b conector de 3 hilos.

Además, con la ayuda de una etiquetadora se indicó donde conectar cada sonda como se puede apreciar en la fig. 6.



Fig. 6. Conexiones de las sondas en la caja del sistema de medición.

Todos los elementos principales que forman el sistema de medidas están explicados a continuación.

#### 4.1.1 Raspberry

La Raspberry [17] es un pequeño ordenador de placa única con varias conexiones USB, conexión a ethernet y alimentación mediante micro USB a 5V y 2A, además de disponer de múltiples pines con los que poder conectarse a diferentes accesorios diseñados para la misma, como son los conversores analógico digitales usados para leer los parámetros de entrada y también la pantalla LCD [18] para su lectura.

La Raspberry tiene un funcionamiento similar al de un ordenador convencional, con lo que es posible realizar hojas de cálculo, además de poder realizar programaciones en lenguaje Python, lo cual es idóneo para este proyecto y es la razón de su elección a la hora de crear el sistema de medición.

El esquema de la conexión de la raspberry a los diferentes elementos propuesto inicialmente fue el de la fig. 7.

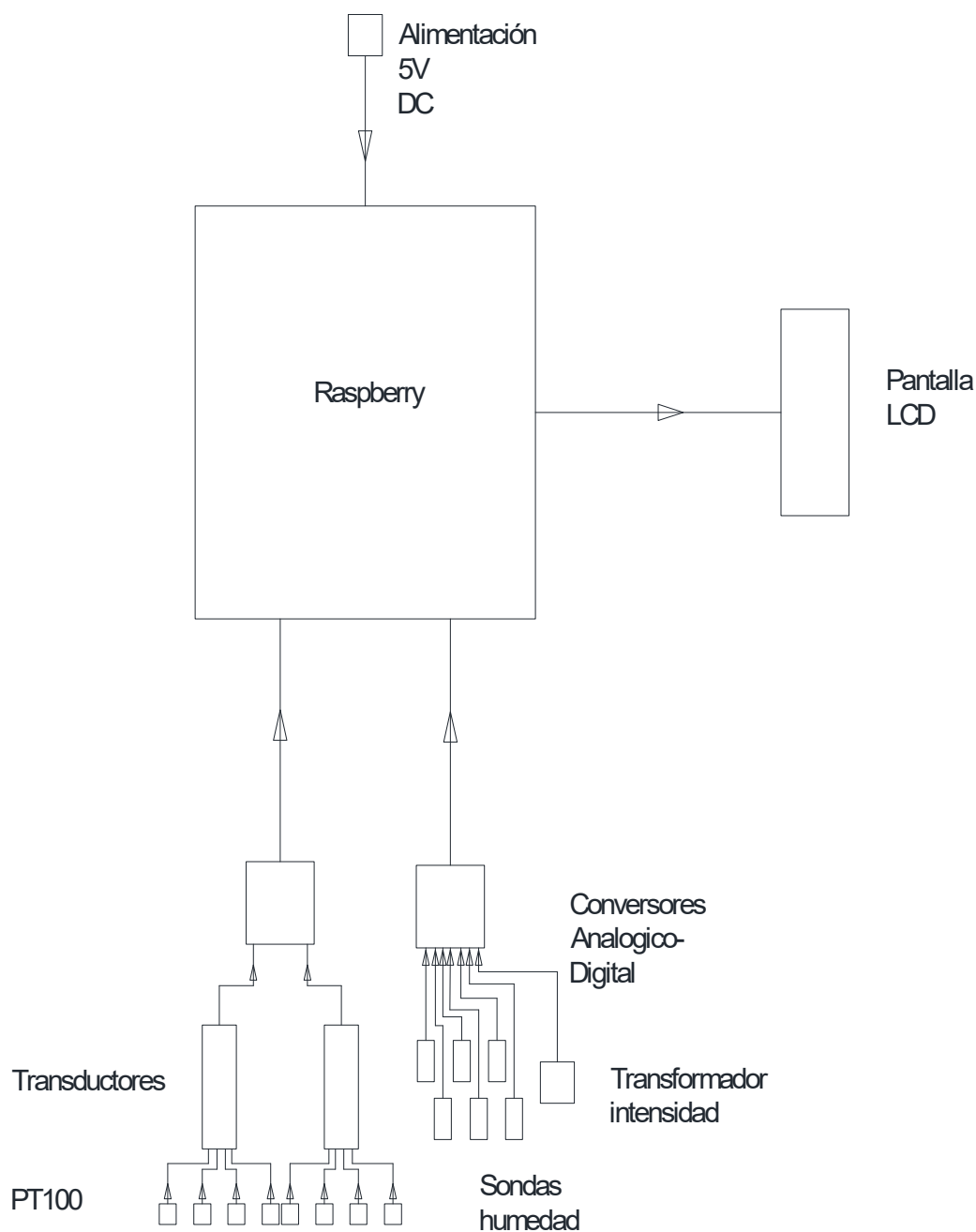


Fig. 7. Esquema inicial de conexiones

Como se aprecia en el esquema, a la raspberry irá conectada la pantalla LCD, y los dos conversores analógico digitales, que a su vez estarán conectados a diferentes elementos intermedios, todo ello será explicado en los siguientes apartados.

#### 4.1.1.1 Programación

Para la utilización de la raspberry como herramienta de medida y procesamiento de datos, será necesaria la utilización de diferentes programaciones en lenguaje Python [2] con el fin de llevar

a cabo las tareas que necesitamos: obtención de los diferentes valores de humedad, temperatura e intensidad, su conversión, ya que los aparatos de medida utilizados no proporcionan los parámetros que queremos conocer sino que son salidas de tensión proporcionales y por último la visualización de dichos datos y el guardado y clasificado por tipo de medida y fecha, para así poder realizar los estudios posteriores.

Los programas que permitirán las operaciones mencionadas anteriormente son dos: el primero de ellos, lleva a cabo la mayoría de funciones que necesitamos de la raspberry y por tanto es esencial su correcto funcionamiento, ya que este programa nos permite obtener todos los datos medidos con los diferentes elementos y convertirlos en los parámetros y unidades que necesitamos, además de ser guardados en dos tipos de documentos diferentes (.txt y .csv) correctamente clasificados por fecha y momento de medida. Este programa recibe el nombre de “principal.py”.

Como segundo programa principal, el cual no es esencial para la finalidad que queremos obtener de la raspberry y podremos poner en funcionamiento la misma sin ejecutarle, pero sí muy útil para comprobar su funcionamiento y ayudar al usuario con las medidas que se están realizando, será “pantalla\_LCD.py”. El cual permite la utilización de una pequeña pantalla LCD con dos líneas de 16 caracteres cada una y 5 botones para poder interactuar con ella. Esta pantalla la usaremos para mostrar las mediciones que se están llevando a cabo en ese preciso momento por “principal.py”, de forma que el usuario podrá observar tanto la temperatura y humedad del terreno en el que está situado nuestro conductor, como la intensidad que está circulando por él. De esta forma podrá interactuar con los diferentes parámetros del cable y ajustarlos a las exigencias de su estudio.

Añadido a estos dos programas, para facilitar la programación y simplicidad de los mismos, se optó por generar 4 subprogramas, a los cuales acceden los dos programas principales. Tres de estos subprogramas son de “principal.py” y uno de “pantalla\_LCD”, los cuales serán explicados posteriormente, tanto su funcionamiento como su finalidad. Además, existen 4 subprogramas en la raspberry, los cuales son extraídos de manuales de los elementos que se usan junto a la raspberry, que tienen un conjunto de comandos que puede utilizar el usuario. Por supuesto no han sido utilizados todos los comandos y al final de este apartado se hará una mención de dichos programas y los comando utilizados.

Explicación paso a paso de los diferentes programas

El primer programa llamado “principal.py” el cual es el programa fundamental como ya se mencionó anteriormente, cumple las funciones de obtención de datos, transformación y organización y guardado de los mismos, más detalladamente, lee los datos de temperatura, humedad e intensidad, obtenidos por las PT100 y transformados por los amplificadores en el caso de la temperatura; obtenidos por las sondas de humedad en el caso de la humedad y el valor de la intensidad del cable obtenida por el transformador. Todos estos datos son leídos en tensión, por lo tanto, se realiza diferentes transformaciones con el fin de obtener los valores en las unidades que requiere el usuario (grados centígrados, % de humedad y amperios). A continuación, muestra los datos por pantalla en caso de estar conectada la raspberry a un monitor. Por último, el programa guarda los datos obtenidos en un archivo txt y otro csv para así poder ser estudiados por el usuario final, estos datos, son escritos por fecha (años mes y día) en diferentes archivos y dentro de cada archivo organizados por horas, minutos y segundos, siendo escrita cada medición en una línea diferente con una leyenda superior en cada estudio y diferenciando claramente, en caso de obtención de varios datos de diferentes estudios en la misma fecha. Todo esto es guardado en un pendrive, situado en una ruta predefinida, además de poder ser enviado por correo cada hora en caso de que exista una conexión a internet conectada a la raspberry. Todo este proceso se hará dentro de un bucle el cual se repetirá cada 30 segundos

Los pasos llevados a cabo son:

1. Importación de las diferentes librerías que vamos a utilizar
2. Asignación de los puertos de entrada de las dos placas conversores
3. Obtención de la fecha y hora
4. Generación de los archivos txt y csv con su encabezado correspondiente
5. Asignación de los archivos sus nombres con las rutas correspondientes
6. Generación de las variables que se usaran en el código y las constantes de las PT100
7. Muestra por pantalla al usuario como parar el bucle
8. Generación el bucle
9. Segunda lectura de la fecha y creación de un condicional que se ejecutara la primera vez que se entre en el bucle
10. En caso de inicial el bucle se guardarán los archivos en la ruta del pendrive
11. Comprobación si ha pasado una hora y caso afirmativo comprobamos la conexión, en el caso de que exista conexión, enviamos un correo con los archivos
12. Lectura los parámetros de las sondas

13. Conversión en las unidades finales
14. Remplazo de los caracteres no necesarios para facilitar su conversión y lectura en un Excel
15. Muestra de los datos por pantalla
16. Guardado de los datos en los archivos csv y txt además de crear otros dos txt aparte para la utilización de la pantalla LCD
17. Asignación un tiempo de espera y finalizamos el bucle.

El segundo programa, el cual no es imprescindible para obtención de datos como ya se mencionó anteriormente, es “pantalla\_LCD.py” el cual es encargado de hacer funcionar una pequeña pantalla de dos líneas con 16 caracteres cada una y provista de 5 botones para su interacción, siendo cuatro para el movimiento (arriba, abajo, derecha e izquierda), los cuales nos permiten ir visualizando los diferentes valores que ha medido la raspberry y otro llamado select el cual se le ha asignado la función de actualizar los datos y apagar la pantalla si se pulsa 5 veces.

Todo esto permite general algo similar a la tabla 1. para visualizar y recorrer los diferentes datos.

|                 |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|
| T1              | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 |
| H1              | H2 | H3 | H4 | H5 | H6 |    |    |
| I1              |    |    |    |    |    |    |    |
| Fecha de medida |    |    |    |    |    |    |    |

Tabla 1. Valores que mostrara la pantalla LCD

Los pasos para la programación son los siguientes:

1. Importación de las librerías necesarias.
2. Inicio de los pines de la pantalla y ajuste del contraste.
3. Lectura de los datos de un fichero .txt.
4. Asignación de las funciones a cada botón.
5. Asignación de que por defecto el primer valor mostrado sea T1.
6. Generación de variables que nos permitan circular por el bucle y contar las veces que se pulse “select” seguidas.
7. Generación del bucle y hacemos que espere a que se pulsen botones.
8. Generación de las funciones de que se ejecutaran al pulsar cada botón, generando la tabla e impidiendo que se pueda ir a casillas sin información.

9. Por último, se introducen los valores en cada celda de la tabla.

Como ya se mencionó anteriormente, aparte de los dos programas principales, para simplificarlos, se utilizan una serie de subprogramas que son utilizados en los principales.

Uno de los subprogramas es “correo.py”, el cual se utiliza en principal.py para enviar los correos con los archivos txt y csv adjuntados, además de añadir un asunto y un texto en el mensaje.

Los pasos para la programación son los siguientes:

1. Importación de las librerías necesarias.
2. Introducción del correo desde el que se enviarán los mensajes (tiene que ser Gmail por los códigos que se ponen más adelante), la contraseña y el correo de destinatario.
3. Definición de la función con las entradas necesarias.
4. Creación del mensaje con su asunto, cuerpo y destinatario.
5. Adjunción de los archivos.
6. Envío del mensaje (aquí introducimos un código que solo se usa para Gmail, en caso de enviarlo desde otra plataforma de correo).

Otro de los subprogramas es “internet\_funciona.py” el cual está copiado de una página web [19] y solo se ha cambiado el nombre de las variables, este subprograma se usa en principal.py a la hora de enviar los correos. El programa comprueba la respuesta que ofrece la raspberry al intentar acceder a 3 páginas de internet, en caso de obtener respuesta devuelve un 1 confirmando que hay conexión en caso contrario devuelve un 0.

Los pasos para la programación son los siguientes:

1. Importación de las librerías necesarias.
2. Introducción de las páginas con las que comprobaremos la conexión.
3. Comprobación de la respuesta.
4. Generación de un condicional que nos devolverá 0 o 1 en función de la respuesta.

El último de los subprogramas de “principal.py” es “pendrive.py” el cual permite guardar los archivos csv y txt, por separado, de forma que haya que indicar el tipo antes de guardarlo en un pendrive de una ruta predefinida, aunque también podría ser en una carpeta de la propia raspberry.

Los pasos para esta programación son:

1. Importación de las librerías que vamos a usar.
2. Introducción de la ruta de guardado.
3. Generación de la función con las entradas necesarias.
4. Generación de un condicional para guardar cada tipo de archivo de una forma diferente.

El último de los subprograma es “lectura.py” el cual se usa en pantalla\_LCD.py” para leer los datos de unos ficheros txt, con el fin de luego usarlos para mostrarlos por pantalla, este programa genera dos funciones, la primera que lee los datos obtenidos de las sondas que están guardados en un txt llamado datos\_LCD y por otro lado una función que lee la hora de esos datos, para ello abre los txt para luego leer cada dato por individual y devolverlo en la función en forma de matriz, lo mismo para la hora aunque en este caso es un único dato.

Los pasos para la programación son los siguientes:

1. Generación de la función que lee los datos.
2. Lectura de cada una de las líneas, ya que en cada una se encuentra un dato diferente.
3. Devolución de los valores.
4. Generación de la función que lee la hora.
5. Lectura de la única línea que hay con la hora.
6. Devolución de la hora.

Por ultimo cabe destacar los comandos usados de los programas descargados de los manuales del conversor analógico-digital y de la pantalla LCD, los cuales no incluiré en la memoria ya que son demasiado extensos y se usan únicamente unas pocas funciones.

De los manuales de la pantalla LCD han sido usadas algunas funciones del programa Adafruit\_ChardLCD en el programa “pantalla\_LCD.py”, las funciones usadas son las siguientes:

- Créate\_chard: Cuya función es activar los pines de la pantalla.
- Color\_set: Cuya función es ajustar el color en caso de que exista la posibilidad, la cual no hay en la versión utilizada en este proyecto, pero si permite ajustar el contraste.
- Clear: Cuya función es limpiar la pantalla.
- Select, up, down, right y left: los cinco comandos tiene la función de asignar una función a los 5 botones de la pantalla.

- Message: Cuya función es escribir un mensaje en la pantalla.

Para “principal.py” se han usado dos programas, ABE\_ADCPi.py y ABE\_helpers.py, de ellos se han usado las funciones ABEHelpers y ABEPi, las cuales se usan para asignar los pines de las raspberry que se usaran para leer la información del conversor analógico-digital.

Todas las programaciones anteriores pueden ser encontradas en el apartado anexos al final de este documento, en el apartado 8.1.

#### 4.1.1.2 Pantalla LCD, conversor analógico-digital y reloj

Como ya se mencionó anteriormente la raspberry tiene conectada una pantalla LCD para el muestreo de datos y un conversor analógico-digital para la lectura de los datos.

Gracias a que la raspberry tiene multitud de pines para conexión con diferentes elementos, como se muestra en la fig. 8. [20]. es posible conectar estos dos elementos fácilmente a ella además del reloj.

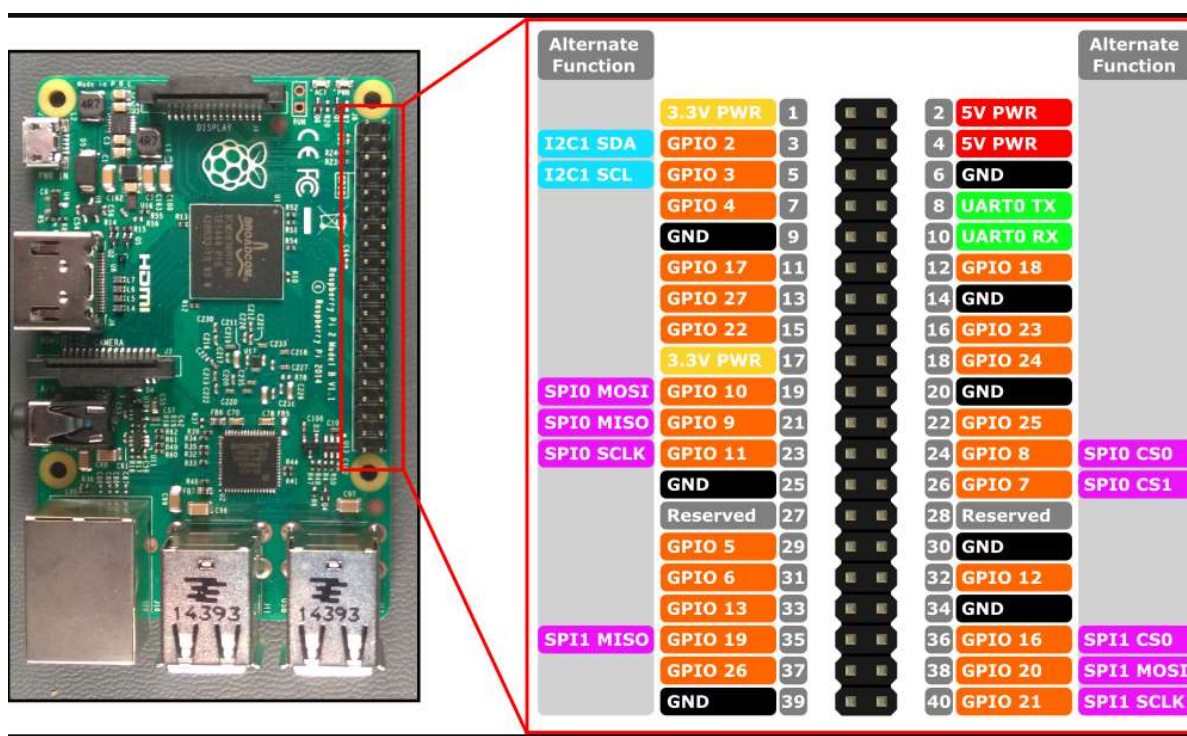


Fig. 8. Esquema de conexiones Raspberry

En la fig. 8, observamos que la raspberry, proporciona pines de alimentación a 3.3v y a 5v, pines de tierra, y los pines GPIO que son pines de transferencia de datos configurables.

Ambos elementos, el conversor y la pantalla únicamente requieren del uso de un pin de alimentación a 3.3V otro de 5V, el de tierra y dos pines GPIO, con lo cual podemos conectar todos los elementos a los pines 1, 2, 3, 5 y 6. El reloj no ira acoplado directamente a la raspberry por falta de espacio, sino que ira conectado a uno de los conversores, aunque esto no afectara en nada ya que únicamente se usan sus conexiones.

### Pantalla LCD

Para mostrar al usuario los datos obtenidos por la raspberry, sin necesidad de conectarla un monitor convencional, además de permitir al usuario una pequeña interacción con la muestra de datos, aunque exista ese monitor. Se optó por instalar una pequeña pantalla de 16x2 caracteres fig. 9, con 5 botones accesibles por el usuario, la cual es fácil mente instalable con las 5 conexiones mencionadas anteriormente y fácilmente configurable por una programación en Python [18].



Fig. 9. Pantalla LCD con 5 botones

### Convertor analógico-digital

Debido a que todos los datos obtenidos mediante los diferentes elementos, que son explicados en los siguientes apartados, son elementos con señales analógicas y la raspberry lee señales digitales, se hace imprescindible el uso de un convertor para su lectura. El convertor seleccionado es ADC Pi Plus fig. 10, el cual es un convertor de 17bit analógico a 8 canales digitales, con lo cual será necesario el uso de dos convertores, para las ocho PT100, los seis sensores de humedad y el transformador de intensidad, lo cual es factible con este convertor ya que es posible conectar hasta cuatro convertores a una única raspberry, únicamente cambiando la dirección de los puertos en la programación de Python, siendo en nuestro caso los puertos de salida: 0x6A y 0x6B para el primer convertidor y 0x6C y 0x6D para el segundo, los cuales pueden ser consultados en la página web de abelectronics [21]. Cabe destacar, que el convertor es solo capaz de leer señales analógicas de 0 a 5V lo cual será importante a tener en cuenta más adelante al instalar las Pt100. Las cuales van conectadas en los terminales numerados del 1 al 8 de la fig 10, en los que están dentro del cuadrado con sus tierras correspondientes en la parte superior. En las dos filas más largas de la parte inferior se conectará a la raspberry haciendo solo falta para este caso los mismos 5 que se usó para la pantalla LCD aunque se podría conectar directamente todos directamente a la raspberry.

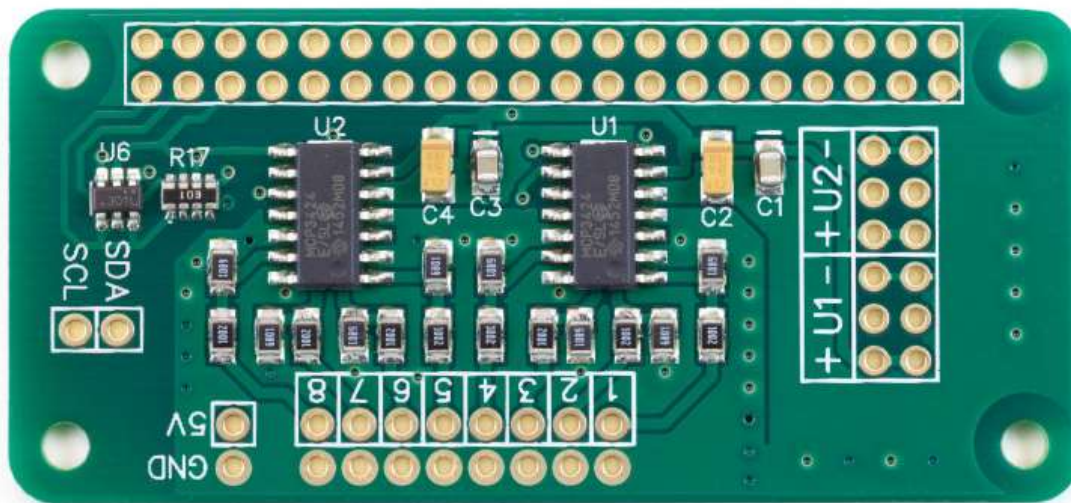


Fig. 10. Convertidor analógico-digital, (imagen al revés de cómo se describe)

### Reloj

Debido a que la raspberry no tiene ningún reloj interno y en el caso de no estar conectada a internet al encenderla tendría una hora incorrecta, se optó por acoplarla un pequeño reloj llamado Raspberry Pi (DS3231) fig. 11. gracias al cual la raspberry es capaz de recordar la hora incluso al no estar encendida ya que este pequeño reloj contiene un pequeño

condensador para su alimentación. El cual se conecta fácilmente en los pines de la raspberry y requiere de un par de líneas de programación para su instalación que podemos encontrar en la página web del fabricante.



Fig. 11. Reloj para raspberry

#### 4.1.2 Pt100

Un sensor Pt100 es una resistencia variable a la temperatura, de forma no lineal, pero si creciente y fácil de medir, de forma que resultan idóneas a la hora de medir temperaturas, ya que permiten la medida la temperatura midiendo la intensidad que pasa por ellas que es proporcional a la resistencia. Esto permite que sean idóneas para conectar a la raspberry ya que al tener una salida eléctrica es posible conectarlas a la raspberry sin demasiados elementos intermedios.

La relación que existen entre la resistencia y la temperatura de las Pt100 utilizadas es la de la ecuación 1.

$$T(^{\circ}C) = \frac{(-A * R_0) + \sqrt{(A * R_0)^2 - 4 * B * R_0 * (R_0 - R_1)}}{2 * B * R_0}$$

Ecuación. 1.  $A=3.9083^{-3}$ ,  $B=-5.775^{-7}$  y  $R_0=100\Omega$

Para el uso de estas sondas PT100 será, necesario un transmisor para poder obtener las tensiones de salida que serán leídas por la raspberry, ya que por sí solas las Pt100 no transmiten ninguna señal.

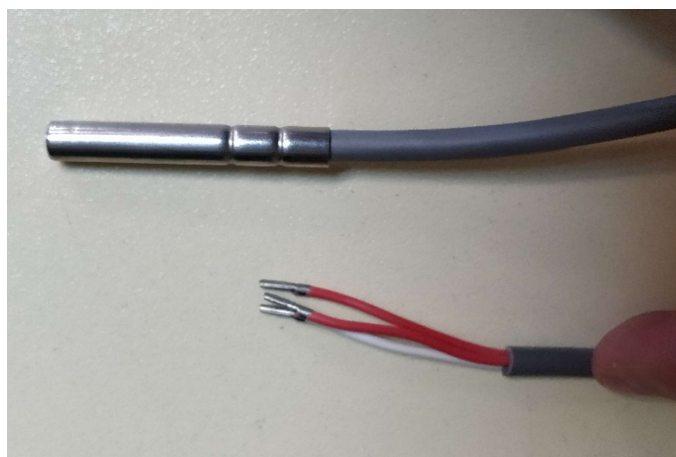


Fig. 12. Pt100

Como se puede observar en la fig. 12, la Pt100 consta de tres cables con los que conectarla al transmisor, aunque los dos cables rojos representan el mismo punto por lo tanto se pueden unir y tener solo dos cables el blanco y el rojo, con los que tener las dos polaridades de la resistencia.

Para obtener un mayor número de datos, de diferentes zonas alrededor del cable, se optó, por conectar ocho Pt100 las cuales se colocarán en diferentes partes alrededor del cable a distintas distancias para poder medir el calentamiento en las diferentes zonas.

#### Trasmisor de temperatura analógico

Este transmisor de temperatura nos permite una reacción rápida estabilización de las sondas pt100 conectadas a él gracias a la electrónica alojada en su interior, únicamente requiriendo una conexión auxiliar de 12 voltios de continua.

#### Esquema conexiones transmisor

Como se puede observar en la fig. 13., la conexión de las Pt100 al transmisor es sencilla, únicamente se conectarán las Pt100 a las 8 entradas superiores del transmisor de forma que los dos cables rojos de la primera Pt100 irán conectados a la primera o segunda entrada y el cable negro a la otra, así sucesivamente con las demás PT100 con lo que será posible conectar 4 Pt100 a cada transmisor, lo que hace que en nuestro estudio usemos dos transmisores.

Por otro lado, en la base se puede observar que hay 10 tornillos, de los 6 son entradas, los 4 primeros, del 5 al 8 son para las salidas de las tensiones, donde saldrá la señal de las pt100 que conectadas en la parte superior, la cual será un valor entre 0 y 10 voltios dependiendo de la temperatura.

Por las entradas 2 y 3 se conectará la alimentación del transmisor que serán 12 voltios en continua.

Estas dos partes, la superior y la inferior, van unidas mediante unas varillas situadas en la base de la parte superior, las cuales también actúan de conductor y van incrustadas en los agujeros de la base que se aprecian en la fig. 13.

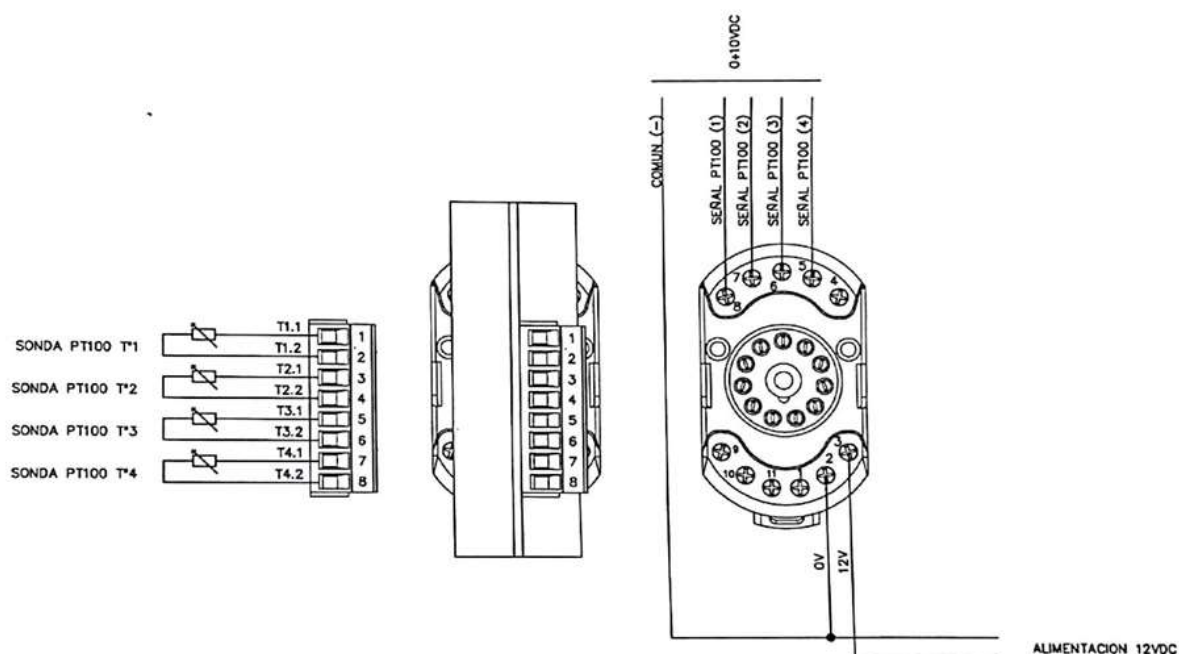


Fig. 13. Esquema transmisor

En la fig. 14. se puede observar una imagen del transmisor, siendo la placa la parte verde, con las ocho entradas situadas donde los ocho tornillos superiores y siendo la base la parte azul, la cual solo se puede acceder a sus conexiones separándola de la placa.

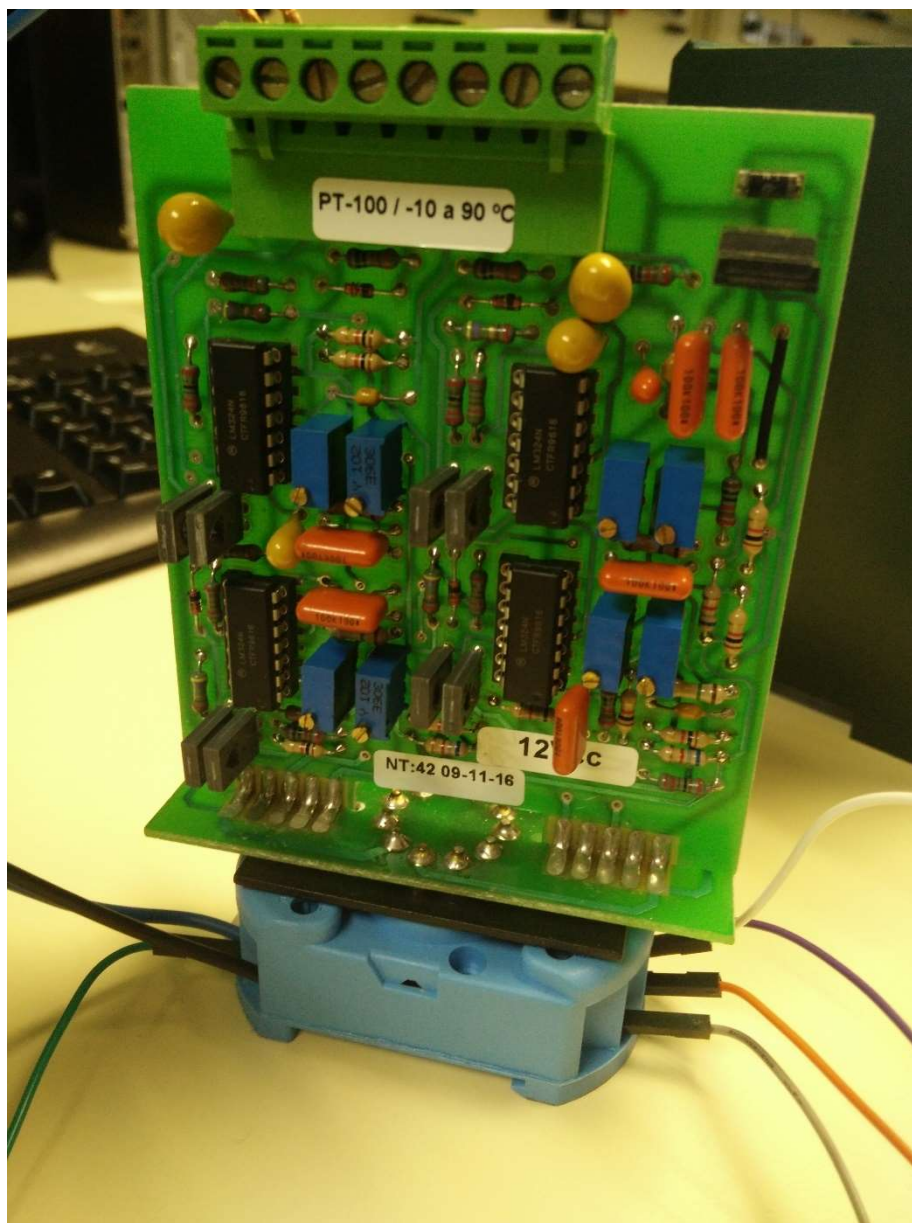


Fig. 14 Transmisor

Debido a la alimentación del transmisor es a 12V se ha optado por alimentarla gracias a un cargador de portátiles, explicado en el apartado 4.1.5.2 . Esta fuente de alimentación tiene una salida para alimentar portátiles, con lo que será necesario usar un conector de portátil para así poder sacar dos cables con los que poder alimentar al transmisor.

#### Conector para la alimentación

El conector utilizado es: 224-960 Farnel, fig. 15. el cual nos permite sacar la fase, neutro y tierra del cargador, aunque no sea necesario usar la tierra.

Las salidas de este conector serán, el neutro la central y la exterior, la fase, con lo que conectando estas dos a las entradas 2 y 3 del transmisor seremos capaces de alimentarlo. La tercera salida, la intermedia, es la tierra la cual dejaremos sin conectar.



Fig. 15 Conector de portátiles.

Una vez conocido todo esto surge un problema con las tensiones, ya que al conectar el transmisor a la pt100 obtenemos un rango de tensiones de salida de hasta 10V que es la tensión máxima del transmisor, esta tensión máxima de 10 V equivaldrá aproximadamente a los 90°C, como podemos observar en la tabla 2. proporcionada por él fabricante.

| Temperatura<br>°C | Ohmios Valor<br>Resistencia<br>PT-100 | Voltios<br>Salida<br>Conversora |
|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| -10               | 96,09                                 | 0,00                            |
| -5                | 98,04                                 | 0,50                            |
| -3                | 98,83                                 | 0,70                            |
| -2                | 99,22                                 | 0,80                            |
|                   |                                       |                                 |
| 1                 | 100,39                                | 1,10                            |
| 2                 | 100,78                                | 1,20                            |
| 3                 | 101,17                                | 1,30                            |
| 4                 | 101,56                                | 1,40                            |
| 5                 | 101,95                                | 1,50                            |
| 6                 | 102,34                                | 1,60                            |
| 7                 | 102,73                                | 1,70                            |
| 8                 | 103,12                                | 1,80                            |
| 9                 | 103,51                                | 1,90                            |
| 10                | 103,90                                | 2,00                            |
| 11                | 104,29                                | 2,10                            |
| 12                | 104,68                                | 2,20                            |
| 13                | 105,07                                | 2,30                            |
| 14                | 105,46                                | 2,40                            |
| 15                | 105,85                                | 2,50                            |
| 16                | 106,24                                | 2,60                            |
| 17                | 106,63                                | 2,70                            |
| 18                | 107,02                                | 2,80                            |
| 19                | 107,40                                | 2,90                            |
| 20                | 107,79                                | 3,00                            |
| 21                | 108,18                                | 3,10                            |
| 22                | 108,57                                | 3,20                            |
| 23                | 108,96                                | 3,30                            |
| 24                | 109,35                                | 3,40                            |
| 25                | 109,73                                | 3,50                            |
| 26                | 110,12                                | 3,60                            |
| 27                | 110,51                                | 3,70                            |
| 28                | 110,90                                | 3,80                            |
| 29                | 111,28                                | 3,90                            |
| 30                | 111,67                                | 4,00                            |
| 35                | 113,61                                | 4,50                            |
|                   |                                       |                                 |
| 45                | 117,47                                | 5,50                            |
| 50                | 119,40                                | 6,00                            |
| 55                | 121,32                                | 6,50                            |
| 60                | 123,24                                | 7,00                            |
| 65                | 125,16                                | 7,50                            |
| 70                | 127,07                                | 8,00                            |
| 75                | 128,99                                | 8,50                            |
| 80                | 130,89                                | 9,00                            |
| 85                | 132,80                                | 9,50                            |
| 90                | 134,70                                | 10,00                           |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1°C = 0,390 Ohmios = 0,1V         |
| 1 Ohmio = 2,56°C = 0,256V         |
| 1 V = 3,90 Ohmios = 10°C          |
| Corriente de Excitacion = 1,40 mA |

Tabla. 2

Por lo tanto, a pesar de que no obtengamos nunca esta tensión máxima de 10V es necesario reducir dicha tensión, ya que la máxima admisible por el conversor analógico digital es de 5V, para ello se utilizará un amplificador operacional, un elemento electrónico que permite alterar las ganancias eléctricas, el cual en este caso será de ganancia 0.5.

### Amplificador operacional

Debido a que estos amplificadores operacionales solo permiten obtener valores negativos para ganancias inferiores a 1, utilizaremos dos en cada Pt100 para así obtener un valor positivo.

A continuación, se expone la explicación de cómo obtener las resistencias conectadas al amplificador fig. 16.

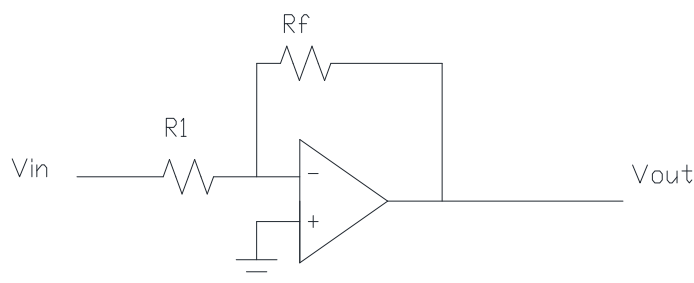


Fig. 16. Amplificador operacional ideal.

Debido a que las entradas + y – del amplificador ideal tienen que estar a la misma tensión y no pasa la intensidad por ellas, podemos obtener los resultados de la ecuación 2.:

$$V_{out} = -R_f * \frac{V_{in}}{R_1} \rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_1} = 0.5$$

Ecuación 2

Para nuestra aplicación, como no existen las resistencias negativas, la ganancia no podrá ser 0.5 sino -0.5 por lo tanto usaremos dos amplificadores en serie, el primero de -0.5 y el segundo de -1 como observamos en la Ecuación 3. que corresponde a la caída de tensión de la fig. 17.:

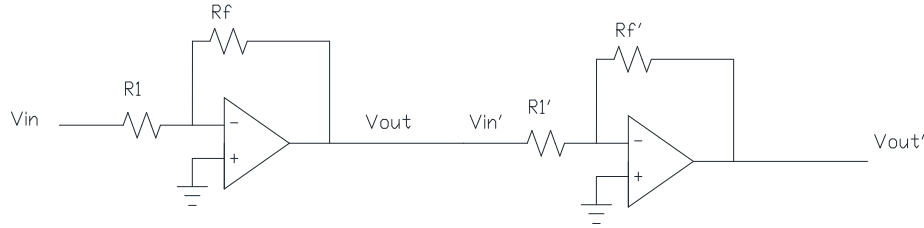


Fig.17. Conexión de dos amplificadores en serie.

De la misma forma que hicimos anteriormente obtenemos la siguiente relación entre  $V'_{out}$  y  $V_{in}$

$$V'_{out} = -R'_f * \frac{-R_f * \frac{V_{in}}{R_1}}{R'_1} = \frac{R'_f * R_f * V_{in}}{R'_1 * R_1} \rightarrow \frac{V'_{out}}{V_{in}} = \frac{R'_f * R_f}{R'_1 * R_1} = 0.5$$

Ecuación 3.

Como hemos dicho anteriormente usaremos uno de -0.5 y otro de -1 aunque podría haberse usado otra configuración. Para obtener esta se tendrá que cumplir la relación de la ecuación 4.:

$$\frac{-R_f}{R_1} = -0.5 \text{ y } \frac{-R'_f}{R'_1} = -1 \rightarrow 2R_f = R_1 \text{ y } R'_f = R'_1$$

Ecuación 4.

Debido a que tenemos ocho Pt100 necesitaremos 16 amplificadores, por cual optaremos por unos chips con el mayor número de amplificadores posibles. El amplificador utilizado es el TL084 CN fig. 18. el cual tiene 14 pines con las siguientes conexiones:

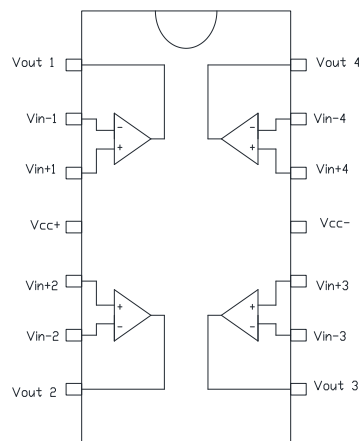


Fig. 18. TL084 CN

Donde Vcc+ y Vcc- es la alimentación del chip que se hace a +12 y -12 voltios respectivamente.

De forma que para conectar dos Pt100 se hará como se indica en la fig. 19.

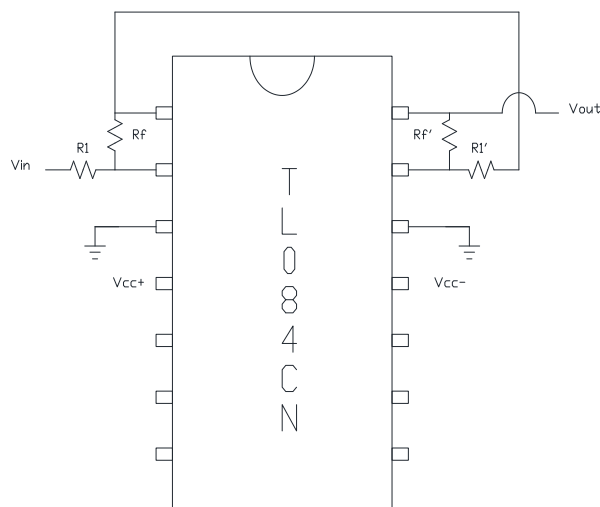


Fig. 19. Amplificador de ganancia 0.5

Para conectar las 8 Pt100 se hará como se indica en la fig. 20.:

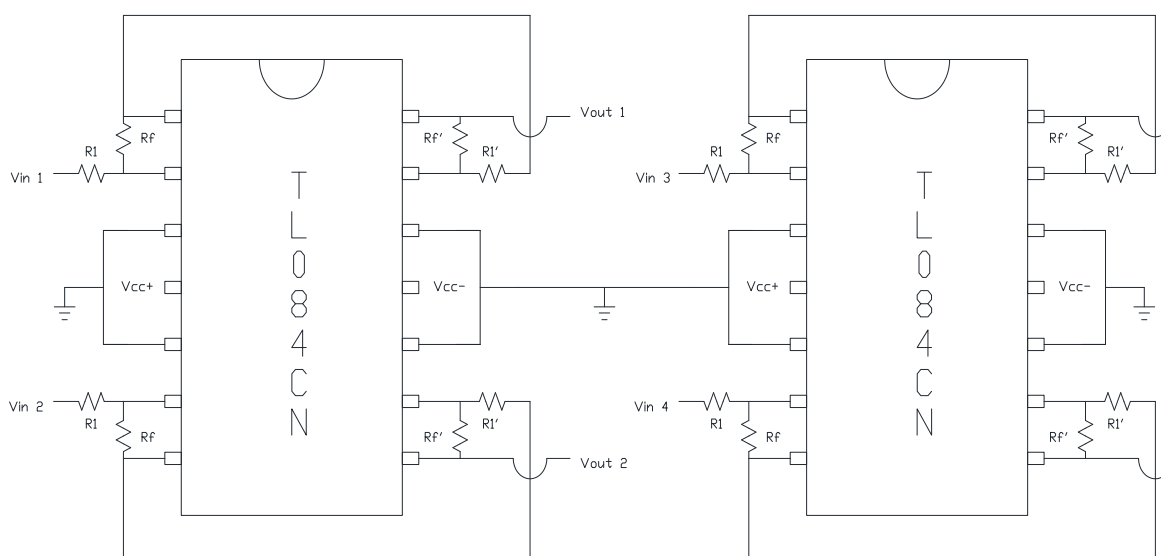


Fig. 20. 8 amplificadores de ganancia 0.5.

Como demostramos en la Ecuación. 4 será necesario usar 3 tipos de resistencias. Utilizando el programa de Texas Instruments [22], el cual selecciona las resistencias de forma que el amplificador sea lo más optimizado posible, obteniendo el resultado de la fig. 21. y fig. 22.:



## WEBENCH® Amplifier Design Report

Design : 4877763/4 TL084CN  
TL084CN Inverting Amp Design

Device = TL084CN  
Topology = Inverting  
Created = Dec 22 2016 1:32AM  
BOM Cost = \$NaN  
Footprint = NaN  
BOM Count = NaN

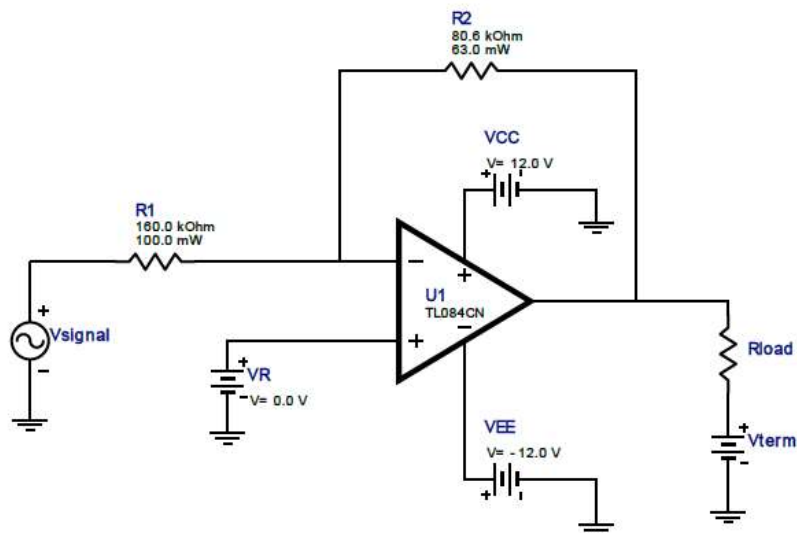


Fig. 21. Resistencias propuestas por Texas Instruments para la ganancia de -0.5



## WEBENCH® Amplifier Design Report

Design : 4877763/5 TL084CN  
TL084CN Inverting Amp Design

Device = TL084CN  
Topology = Inverting  
Created = Dec 22 2016 1:34AM  
BOM Cost = \$0.20  
Footprint = 221.1 mm²  
BOM Count = 3

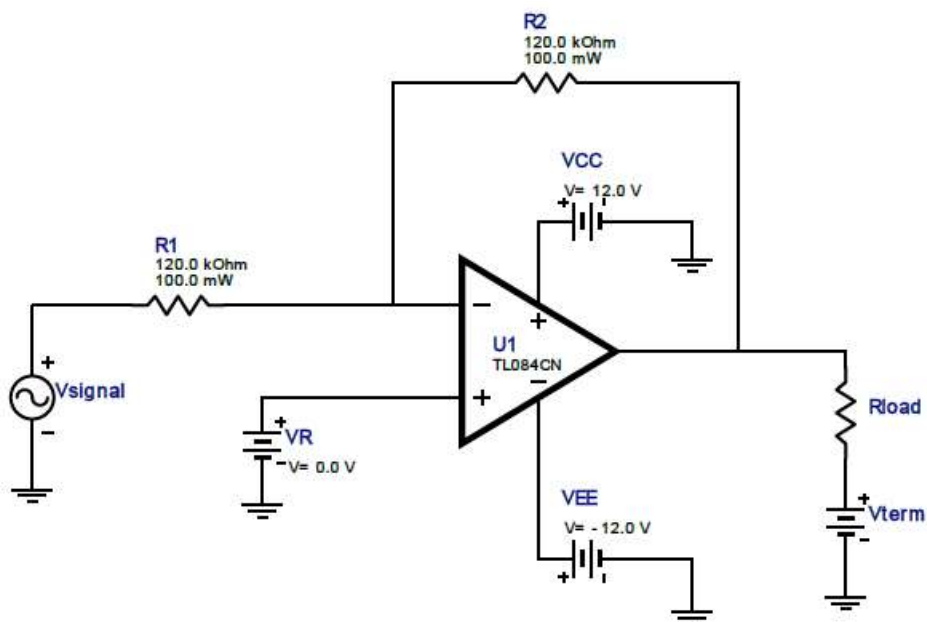


Fig. 22. Resistencias propuestas por Texas Instruments para ganancia -1.

Con lo cual necesitaremos las resistencias de la tabla 3 con su consiguiente código de colores indicado en la fig. 23.

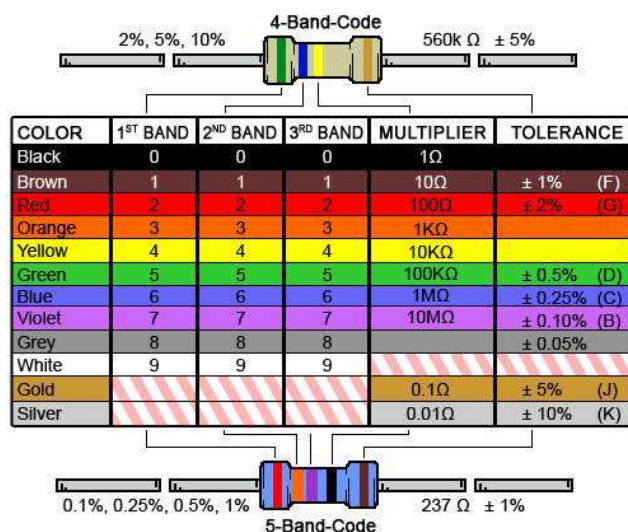


Fig. 23. Código de colores de resistencias.

| Resistencia     | Valor | 1 color<br>(centenas) | 2 color<br>(decenas) | 3 color<br>(unidades) | 4 color<br>(multiplicador) | Unidades |
|-----------------|-------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------|----------|
| $R'_f$ y $R'_1$ | 120kΩ | Marrón (1)            | Rojo (2)             | Negro (0)             | Naranja (1K)               | 8        |
| $R_1$           | 160KΩ | Marrón (1)            | Azul (6)             | Negro (0)             | Naranja (1K)               | 4        |
| $R_f$           | 80kΩ  | Gris (8)              | Negro (0)            | Azul (6)              | Rojo (100)                 | 4        |

Tabla 3.

El quinto color no está introducido en la tabla 3. ya que es la tolerancia y cuanto menor sea mejor.

Debido a que en el laboratorio no se disponía de esas resistencias y que no importaba demasiado una pequeña variación en la ganancia, finalmente se utilizaron resistencias de 120kΩ, 160kΩ y 82kΩ. Con lo cual se obtuvo amplificadores de una ganancia aproximada de 0.52. Sin embargo, se realizó un ensaño sobre estos conversores aplicándoles diferentes tensiones para comprobar su ganancia obteniendo los resultados incluidos en el apartado 8.2 de Anexos, obteniendo las siguientes ganancias:

$$V1 = -0.0011 \cdot v1^2 + 1.9455 \cdot v1 + 0.0169$$

$$V2 = -1E-04 \cdot v2^2 + 1.9491 \cdot v2 + 0.0215$$

$$V3 = -0.0034 \cdot v3^2 + 1.9553 \cdot v3 + 0.0107$$

$$V4 = -0.0059 \cdot v4^2 + 1.9244 \cdot v4 + 0.0598$$

$$V5 = -0.0009 \cdot v5^2 + 1.9408 \cdot v5 + 0.0471$$

$$V6 = -0.0021 \cdot v6^2 + 1.961 \cdot v6 + 0.0349$$

$$V7 = -0.0011 \cdot v7^2 + 1.9634 \cdot v7 + 0.0364$$

$$V8 = -0.0029 \cdot v8^2 + 1.9664 \cdot v8 + 0.0279$$

Donde “V” es la tensión de salida y “v” la de entrada dándonos en la práctica ganancias de entorno al 0.51.

Por ultimo será necesaria una protoboard donde conectar tanto las resistencias como los chips y conectarlo mediante cables, fig. 24.

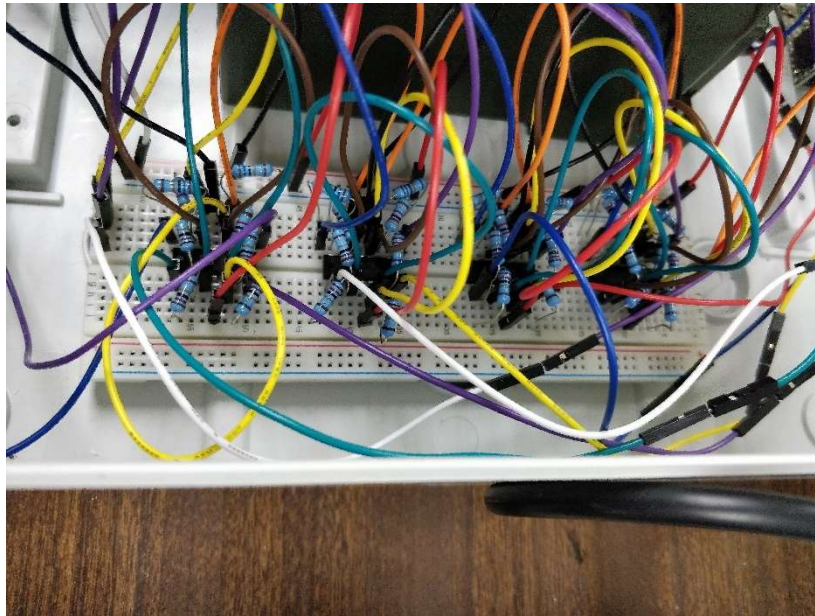


Fig. 24. Amplificadores colocados en la protoboard

Además, será necesario alimentar los chips con  $\pm 12V$  para lo que utilizaremos un transformador el cual esta explicado en el apartado 4.1.5.1 el cual está conectado a las líneas exteriores de la protoboard y con su toma a tierra correspondiente.

### 4.1.3 Sensores de humedad

Debido a que era necesario el conocimiento de los datos de humedad de la tierra en la que estaba enterrado el cable y gracias a la fácil interpretación de datos de la raspberry, se optó por utilizar unos sensores de humedad VH400 fig. 25. [23], unos pequeños dispositivos de humedad utilizados en la agricultura. Las cuales permiten obtener una precisión suficiente para este estudio a un bajo coste. Además, se pueden conectar con un gran rango de intensidades, en nuestro caso 12V ya que conectamos a esa tensión los transmisores, obteniendo una salida lineal de 0 a 3V, que en nuestro caso la salida son 1.73V debido a las resistencias intermedias que hay por lo que aplicamos una relación de semejanza para introducir los datos en la programación.

La conexión de este elemento es sencilla, ya que cuenta con tres cables, un cable rojo para la alimentación, un cable negro de tierra y un cable plateado con el que el sensor da la señal de salida. Por lo tanto, la conexión se realizará conectando los 12V al cable rojo y negro, siendo el polo positivo el rojo y por otro lado se conectará el cable plateado y el negro al amplificador operacional, siendo el cable plateado el polo positivo.



Fig. 25. Sonda de humedad.

#### 4.1.4 Amperímetro

Debido a las grandes dimensiones del cable sobre el que se realizará el estudio y a la dificultad de realizar cualquier tipo de empalme, se optó por utilizar un transformador de intensidad de relación 800:5 con el cual disminuir la intensidad 160 veces. Se trata de un transformador TC8 circuitor [24] fig. 26.



Fig. 26. Transformador de intensidad

El transformador se conecta introduciendo el cable por su abertura y sacando la salida de intensidad por dos cables que se pueden conectar a la parte superior transformador, debido a que la conversión es 800:5 y que el cable tendrá intensidades máximas entrono a los 200A, la intensidad de salida nunca podrá exceder los 2A, sin embargo la raspberry no es capaz de medir intensidades con lo cual es necesaria una conversión a tensión.

##### Conversor Intensidad-Tensión

Para conversión a tensiones será necesario el uso de un transformador intensidad-intensidad tensión. Debido a las características de este proyecto se optó por usar un convertidor KAINOS modelo KJ-2RMS fig. 27.



Fig. 27. Convertidor intensidad-tensión

Este conversor nos permite convertir intensidades inferiores a 5 amperios en tensiones equivalentes, por una relación lineal hasta 5 voltios en continua. Para ello únicamente es necesario conectarle una tensión auxiliar de 230 V de alterna.

Por lo tanto, las conexiones que se realizarán en este elemento serán:

Conectar las dos salidas de intensidad del transformador de intensidad a las entradas 1 y 2, conectar una alimentación auxiliar de 230V de alterna en las entradas 5 y 6 y por ultimo de las entradas 7 y 8 sacar dos cables para conectarlos al conversor analógico digital y leerlo en la raspberry. La cual únicamente se la indicara que la intensidad real del cable es 160 veces superior a la tensión que está recibiendo.

#### 4.1.5 Dispositivos de alimentación

Debido a la multitud de elementos electrónicos utilizados y a la diversidad de tensiones que utilizan se hace imprescindible el uso de varios elementos de alimentación para cubrir las tensiones de  $\pm 12V$  DC de los amplificadores,  $+12V$  DC de los transmisores y  $5V$  DC de la propia raspberry.

##### 4.1.5.1 Transformador $\pm 12V$ DC

Para la utilización de los amplificadores será necesaria su alimentación con una tensión  $12V$  superior y otra  $12V$  inferior a la tierra de las pt100 a las que están conectados, es decir necesitamos una fuente de alimentación capaz de proporcionarnos  $+12V$ ,  $-12V$  y una tierra intermedia que se conectara a la de las PT100, por todo lo anterior se optó por utilizar un transformador: Traco Power TML 15212 fig. 28., el cual es un transformador de pequeñas dimensiones el cual alimentándolo con una entrada de  $230V$  AC nos permite obtener tres salidas de  $+12V$ ,  $0V$  y  $-12V$  DC



Fig. 28. Transformador de  $\pm 12 V$

##### 4.1.5.2 Cargador portátil 12-24V DC + 5V DC USB

Otra de las tensiones a la cual trabajan los elementos de este sistema de medición es  $12V$  la cual es la tensión de alimentación de los transmisores y de las sondas de humedad, que podría ser cubierta por el transformador del apartado 4.1.5.1 pero no posee la potencia suficiente para todos los elementos, por lo tanto, es necesario el uso de algún otro tipo de transformador con el que generar esa tensión y con la suficiente potencia. Finalmente se optó por un transformador para portátiles fig. 29., el cual permite generar tensiones de  $12$  a  $24V$  AC variables por el usuario de  $4$  en  $4V$  además de un usb de  $5V$  el cual se iba a utilizar para alimentar la raspberry.

El transformador utilizado es el siguiente:

TooQ TQLC-100BS01M



Fig. 29. Cargador de portátiles.

El cual nos permite a través de una alimentación de 230V AC proporcionar las tensiones dichas anteriormente, además de poseer multitud de adaptadores para cualquier tipo de ordenador portátil a los cuales sacamos las tensiones mediante el adaptador explicado en el apartado 4.1.2.

Aunque en principio este cargador iba a ser capaz de alimentar los dos elementos, transmisor y sondas de humedad, en la práctica ocasionaba problemas entre ellas así que se optó por separarlos y utilizar dos transformadores.

#### 4.1.5.3 Cargador micro USB

Debido a que con el cargador de portátil fig. 29, que a pesar de tener alimentación por USB con las características para alimentar la raspberry, a la hora de alimentarla y alimentar el resto de elementos, cuando la raspberry realizaba algún proceso, como puede ser encenderse o compilar los programas aparecía un rayo amarillo en la parte superior derecha de la pantalla, el cual significa que la raspberry no tiene la suficiente alimentación, llegándose a apagar en alguna ocasión, se optó por añadir una alimentación adicional, con la que alimentar la raspberry. Esta alimentación adicional se lleva a cabo gracias a un cargador, similar al de un teléfono móvil, pero con un amperaje un poco mayor. El cargador es el modelo: Stontronics DSA-12CA-05 fig. 30.

Con una intensidad de 2A y una tensión de 5V AC lo cual permite holgadamente alimentar la raspberry utilizando una alimentación de 230V DC



Fig. 30. Cargador raspberry.

El resultado final del sistema de medición es el de la figura 31.



Fig. 31a y 31b. Sistema de medición con y sin tapa.

Donde podemos observar todos los elementos sujetos mediante tornillos o bridas, además de estar protegidos mediante una tapa y pudiendo desconectar todas las sondas para así poder transportar la caja sin demasiados problemas.

Cabe destacar que el sistema de medición requiere de al menos 5 tomas de corriente de 230V AC, 2 para los transformadores de 12V, uno para el transformador de  $\pm 12V$ , uno para el convertidor intensidad-tensión y uno para la alimentación de la raspberry.

El esquema de conexiones, con todos los elementos añadidos finalmente es la fig. 32.:

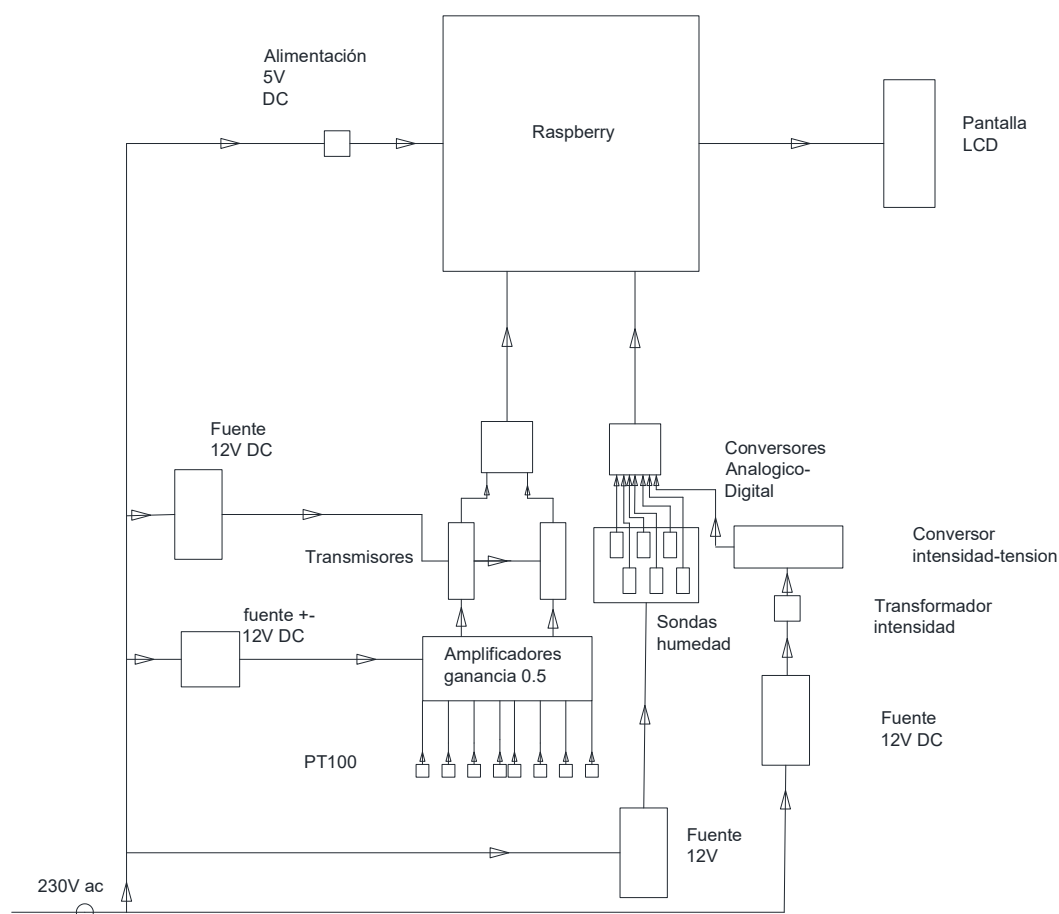


Fig. 32.

## **4.2 Desarrollo del piloto**

Una vez terminado el sistema de medición con el que poder medir todos los parámetros necesarios para este estudio de un cable soterrado, es necesaria la creación de una simulación, lo suficientemente realista respecto a un conductor real soterrado de una línea de distribución, con lo cual se hace necesario que exista un conductor con las mismas características que el real además de introducirlo en tierra, para generar esas mismas condiciones y además hacerlo en un lugar en el que sea posible mojar esa tierra para simular la refrigeración que obtendría esa tierra en el caso de llover.

Por lo tanto surgió la idea de colocar un conductor real de líneas de suministro soterradas, en forma de espira, es decir en cortocircuito, y colocarlo dentro de un cajón de madera con las dimensiones suficientes para albergar en su interior la suficiente cantidad de tierra como para realizar el estudio, y alimentar este conductor con la intensidad que llevaría en conducción, además, gracias a estar en cortocircuito, permite a un usuario tocarlo en caso de accidente sin riesgo a la electrocución, eso sí, con riesgo a quemaduras ya que el cable soporta temperaturas de hasta 80° centígrados.

Esto quiere decir que es necesaria la creación del cajón, introducir en él, un conductor y alimentarlo todo ello mediante algún tipo de fuente o transformador que permita generar esa intensidad tan elevada.

### **4.2.1 Conductor**

El conductor elegido para realizar este estudio es el, AL RHZ1-OL 1x150/16 fig. 33 para 12/20KV, el cual es un cable soterrado, normalizado por ENDESA y EON, indicado para distribuciones soterradas de media tensión y acorde a la norma de diseño [25].

Este conductor está construido de la siguiente manera.

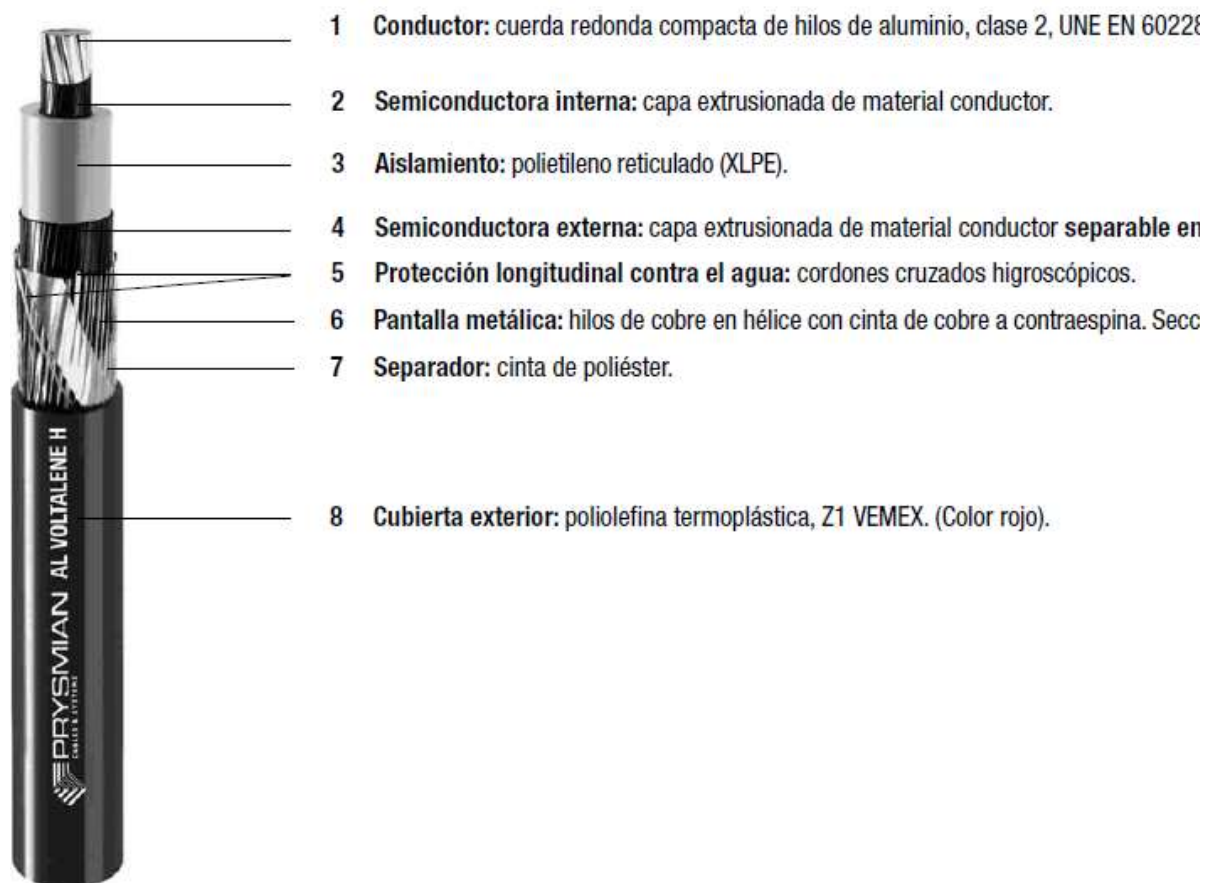


Fig. 33 Composición de AL RHZ1-OL 1x150/16

Con las características dimensionales de la tabla 3a, eléctricas de la tabla 3b y 3c. [26]

| 1 x sección conductor (Al)/sección pantalla (Cu) (mm <sup>2</sup> ) | Código   | ⇒ nominal aislamiento* (mm) | Espesor aislamiento (mm) | ⇒ nominal exterior* (mm) | Espesor cubierta (mm) | Peso aproximado* (kg/km) | Radio de curvatura estático (posición final) (mm) | Radio de curvatura dinámico (durante tendido) (mm) |
|---------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1x150/16 (1)                                                        | 20981089 | 26,2                        | 5,5                      | 34                       | 2,5                   | 1250                     | 510                                               | 680                                                |

|                                                                               | 12/20 kV | 18/30 kV |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|
| Tensión nominal simple, U <sub>0</sub> (kV)                                   | 12       | 18       |
| Tensión nominal entre fases, U (kV)                                           | 20       | 30       |
| Tensión máxima entre fases, U <sub>m</sub> (kV)                               | 24       | 36       |
| Tensión a impulsos, U <sub>p</sub> (kV)                                       | 125      | 170      |
| Temperatura máxima admisible en el conductor en servicio permanente (°C)      | 90       |          |
| Temperatura máxima admisible en el conductor en régimen de cortocircuito (°C) | 250      |          |

| 1 x sección conductor (Al)/sección pantalla (Cu) (mm <sup>2</sup> ) | Intensidad máxima admisible bajo tubo y enterrado* (A) | Intensidad máxima admisible directamente enterrado* (A) | Intensidad máxima admisible al aire** (A) | Intensidad máxima de cortocircuito en el conductor durante 1 s (A) | Intensidad máxima de cortocircuito en la pantalla durante 1 s*** (A) |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                                                                     | 12/20 kV y 18/30 kV                                    | 12/20 kV y 18/30 kV                                     | 12/20 kV y 18/30 kV                       | 12/20 kV y 18/30 kV                                                | 12/20 kV y 18/30 (pant, 16 mm <sup>2</sup> )                         |
| 1x95/16 (1)                                                         | 190                                                    | 205                                                     | 255                                       | 8930                                                               | 3130                                                                 |
| 1x150/16 (2)                                                        | 245                                                    | 260                                                     | 335                                       | 14100                                                              | 3130                                                                 |
| 1x240/16 (2)                                                        | 320                                                    | 345                                                     | 455                                       | 22560                                                              | 3130                                                                 |
| 1x400/16 (2)                                                        | 415                                                    | 445                                                     | 610                                       | 37600                                                              | 3130                                                                 |

Tablas 3a, 3b y 3c

Observando esta información del fabricante podemos obtener la siguiente conclusión sobre nuestro estudio: El conductor al estar soterrado al menos en una parte, para alcanzar su temperatura máxima a funcionamiento nominal, es decir los 90°C que indica el fabricante, debería circular por él una intensidad de 260A.

Después de haber seleccionado la información, de conductor elegido y teniendo suficiente longitud de cable, se hace imprescindible el uso de conectores en “T” para formar la espira sin necesidad de formar un circuito excesivamente grande. Debido a esto, a que se utilizaran conectores, que empeoran la conductividad, se utilizara un cable mayor para los laterales de la espira, siendo ese cable mayor un LA-280 el cual posee características eléctricas ampliamente superiores, con lo que minimizar las pérdidas, eso sí, debido a que los conductores en “T” producen grandes pérdidas además de tener una peor conductividad térmica con lo que se calentarán más, se ha optado por impregnar las uniones mediante estos conectores con grasa de aluminio.

Estos dos elementos: LA-280 y conectores en “T” están explicados a continuación.

### Conector en “T”

Estos conectores fig. 34 y 35. reciben su nombre de en “T” ya que permiten conectar dos cables con un ángulo de 90 grados, de formar que estos conectores son capaces de resistir las tracciones mecánicas a las que están sometidos dichos conductores y además son capaces de conducir una corriente eléctrica, por esa misma razón están fabricados de

aluminio. Además, poseen unas sujeciones, mediante una especie de abrazaderas y sujeto y apretado mediante tornillos de grandes dimensiones como se puede apreciar en la fig. 34.



Fig. 34. Conector en "T"

Además, debido a que no consiguen una conductividad perfecta y se calientan fácilmente, es recomendable el uso de grasas conductoras, en este caso se ha utilizado una grasa de aluminio, la cual aumenta la conductividad térmica y eléctrica de las conexiones haciendo que esta conexión disminuya en gran medida las pérdidas.

Finalmente obtendremos la siguiente unión, siendo el cable superior el LA-280 y el inferior derecho nuestro cable de estudio como observamos en la fig. 35.



Fig. 35. Conector en "T"

LA-280

El LA-280, también conocido como HAWK, es un conductor para distribuciones aéreas con características eléctricas bastante superiores al cable soterrado de este estudio, lo que se traduce en una mejor conductividad e intensidad máxima, con lo cual no debería dar ningún problema al usarlo junto con el soterrado ya que aguanta corrientes bastante superiores que además han sido comprobadas en ensayos anteriores, dando como resultado que el conductor que más se calentaba era el anterior.

Este cable posee las características de la tabla 4 [26].

|                                                        |                             |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Código</b>                                          | <b>242-AL1/39-ST1A</b>      |
| <b>Código antiguo</b>                                  | <b>LA-280<br/>HAWK</b>      |
| <b>Norma</b>                                           | <b>50182</b>                |
| <b>Formación (hilos de acero + hilos aluminio)</b>     | <b>7x2,68 +<br/>26x3,44</b> |
| <b>Diámetro hilos de acero</b>                         | <b>2,68</b>                 |
| <b>Diámetro alma de acero</b>                          | <b>8,04</b>                 |
| <b>Diámetro hilos de aluminio</b>                      | <b>3,44</b>                 |
| <b>Diámetro completo del conductor</b>                 | <b>21,8</b>                 |
| <b>Sección alma de acero</b>                           | <b>39,5</b>                 |
| <b>Sección aluminio</b>                                | <b>241,7</b>                |
| <b>Sección total conductor</b>                         | <b>281,2</b>                |
| <b>Peso Acero</b>                                      | <b>310</b>                  |
| <b>Peso Aluminio</b>                                   | <b>666,7</b>                |
| <b>Peso Total Conductor</b>                            | <b>977</b>                  |
| <b>Carga de ruptura Nominal</b>                        | <b>84,5</b>                 |
| <b>Resistencia en corriente continua a 20°C (máx.)</b> | <b>0.1194</b>               |

Tabla 4.

#### 4.2.2 Circuito y alimentación

Debido a que para simular las características sobre las que se encuentra el conductor, en caso de estar en una distribución eléctrica, es necesario hacer pasar por ese conductor intensidades superiores a los 200A, lo cual, teniendo en cuenta las dimensiones del conductor, se convierte en una tarea difícil a la hora de conectarlo de forma convencional a una fuente de tensión, ya que el conductor posee un radio bastante elevado. Por lo tanto, la opción tomada, fue la de conectar dos transformadores de intensidad, toroides, en paralelo,

de forma que, al alimentar a estos mediante una fuente de tensión, generasen las intensidades requeridas para nuestro estudio.

Estos transformadores fig. 36., a pesar de tener que generar una corriente bastante elevada, al tratarse de un conductor en cortocircuito no precisan de una gran potencia, ya que la intensidad no debería nunca llegar a los 300A y calculando la tensión en pruebas realizadas sobre él, la tensión es inferior a 3V.

A pesar de todo eso, se optó por encargar dos transformadores, de unas características concretas [27] que cumplieran unos requerimientos en otro proyecto de la UC, y observando las siguientes características comprobamos que cumplen ampliamente nuestros requerimientos:

- Potencia nominal: 5KVA
- Relación de transformación: 670:6,3
- $V_{cc}=5\%$
- $V_1=230V$

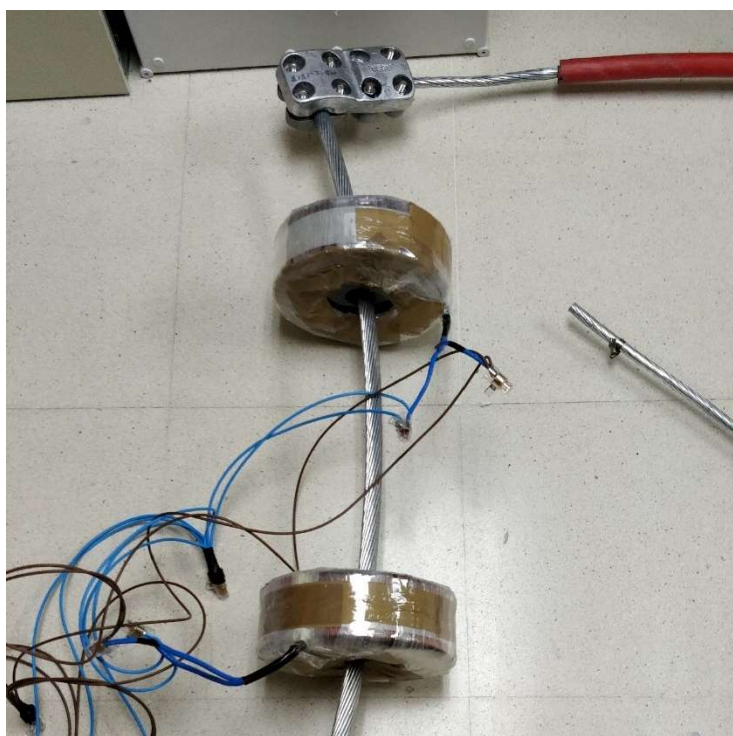


Fig. 36. Transformadores

Estos dos transformadores nos permiten, aplicándoles una tensión de 100V llegar a 197A estando el cable en reposo, con lo que con una tensión inferior a los 230V que tiene el transformador como tensión nominal, llegamos holgadamente a la intensidad máxima que puede soportar el conductor.

Conectando estos dos transformadores en paralelo, a la fuente de tensión y teniendo únicamente conectado al cable el transformador de intensidad que usamos para medir en el sistema de medición, obtenemos el circuito de la fig. 37.

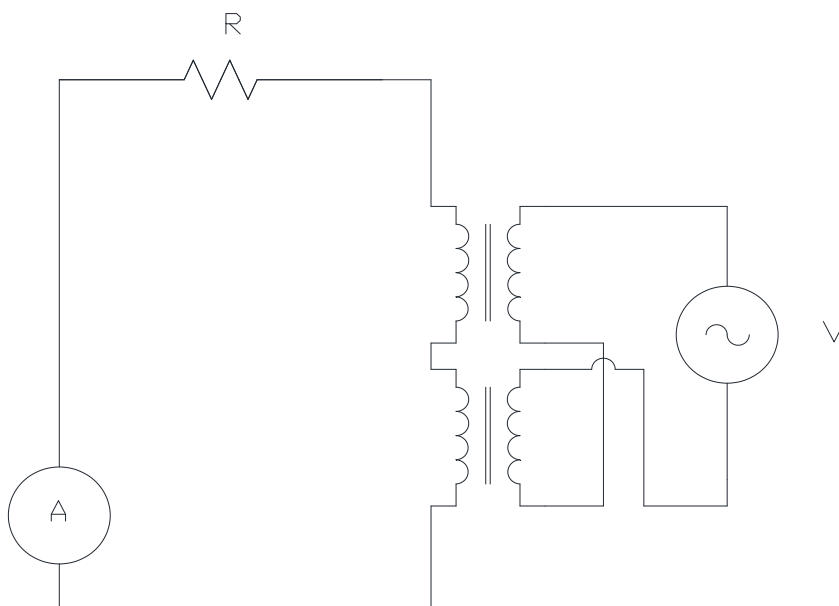


Fig. 37. Circuito de transformadores en paralelo

En este circuito tenemos conectado al cable únicamente un amperímetro y una resistencia equivalente a la resistencia total del cable que es aproximadamente 3 ohmios, además de los dos transformadores conectados al conductor en serie, pero conectados a la fuente de tensión en paralelo.

#### 4.2.3 Cajón con tierra y disposición de las sondas.

A la hora de diseñar el cajón donde ira enterrado el cable, hay que tener en cuenta dos limitaciones principalmente, tanto las limitaciones de espacio donde ira situado el cajón con el conductor, ya que únicamente el conductor mide 4 metros de largo y 1 de ancho. La otra

limitación que existe es que la tierra tiene una densidad de  $1.55 \frac{Kg}{dm^3}$ , con lo que cada metro cubico pesaría una tonelada y media. Por lo tanto y teniendo en cuenta que el cajón tendrá que tener las suficientes dimensiones como para que el estudio sea válido y las limitaciones anteriores se optó por construir un habitáculo de madera con dimensiones de 0.5x0.5x2 metros, además de estar impermeabilizado y para solucionar el problema del espacio se optó por colocarle unos soportes superiores con los que colocar el tramo del cable que no pasara por el interior de la caja.

Con todas estas especificaciones, el boceto del cajón es el de la fig. 38a, 38b, 38c y 38d .

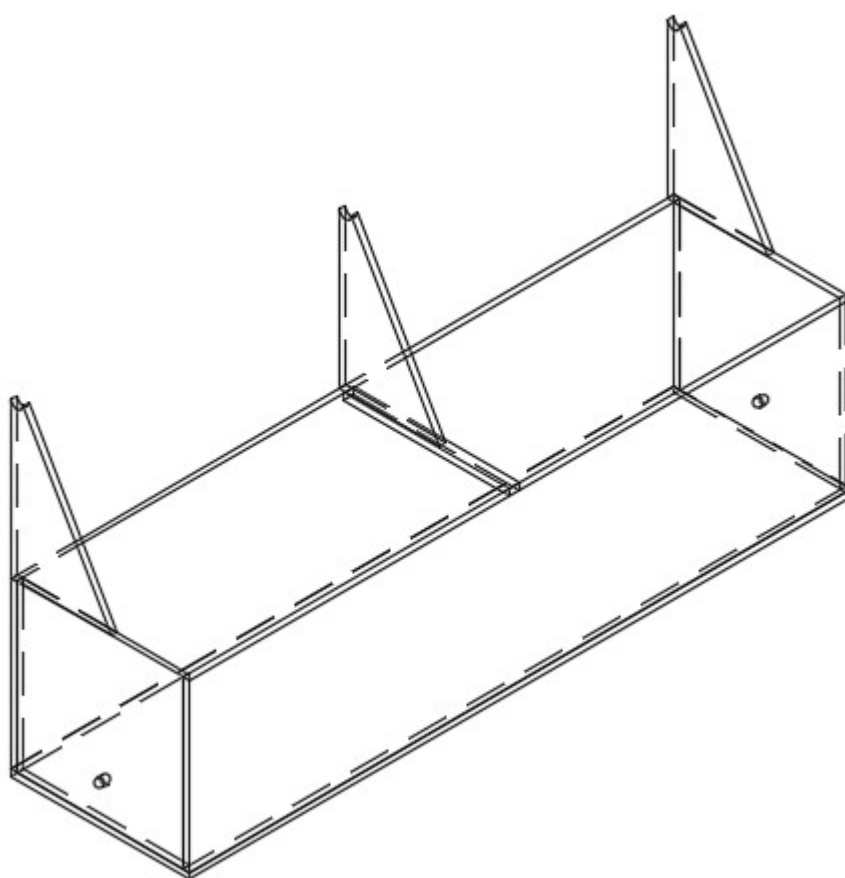


Fig. 38a. Boceto cajón

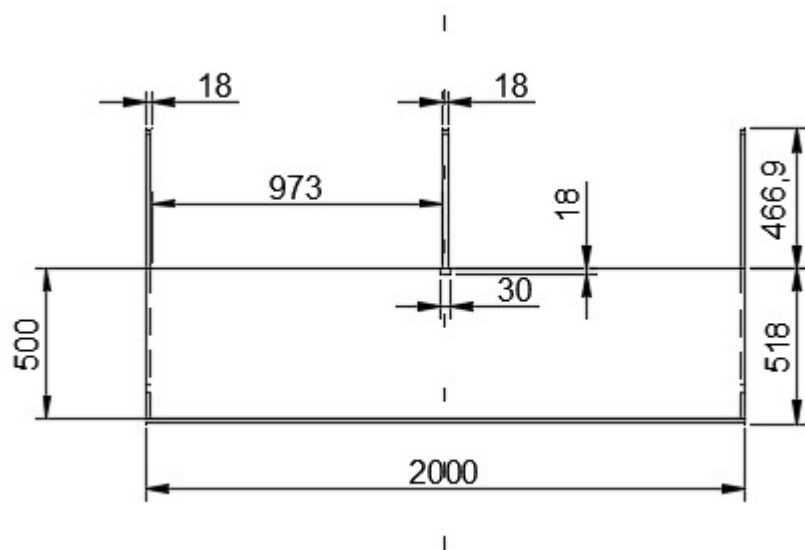


Fig. 38b. Alzado

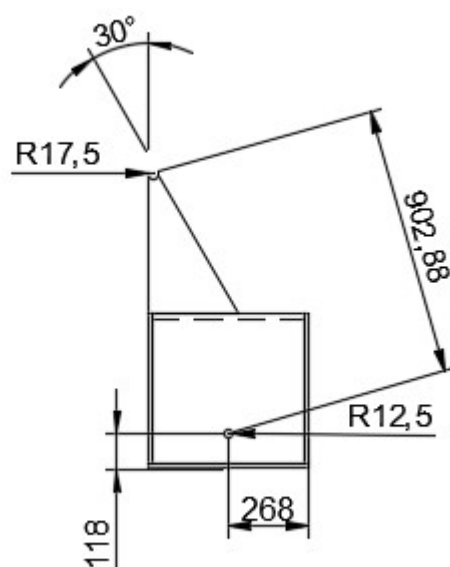


Fig. 38c. Perfil

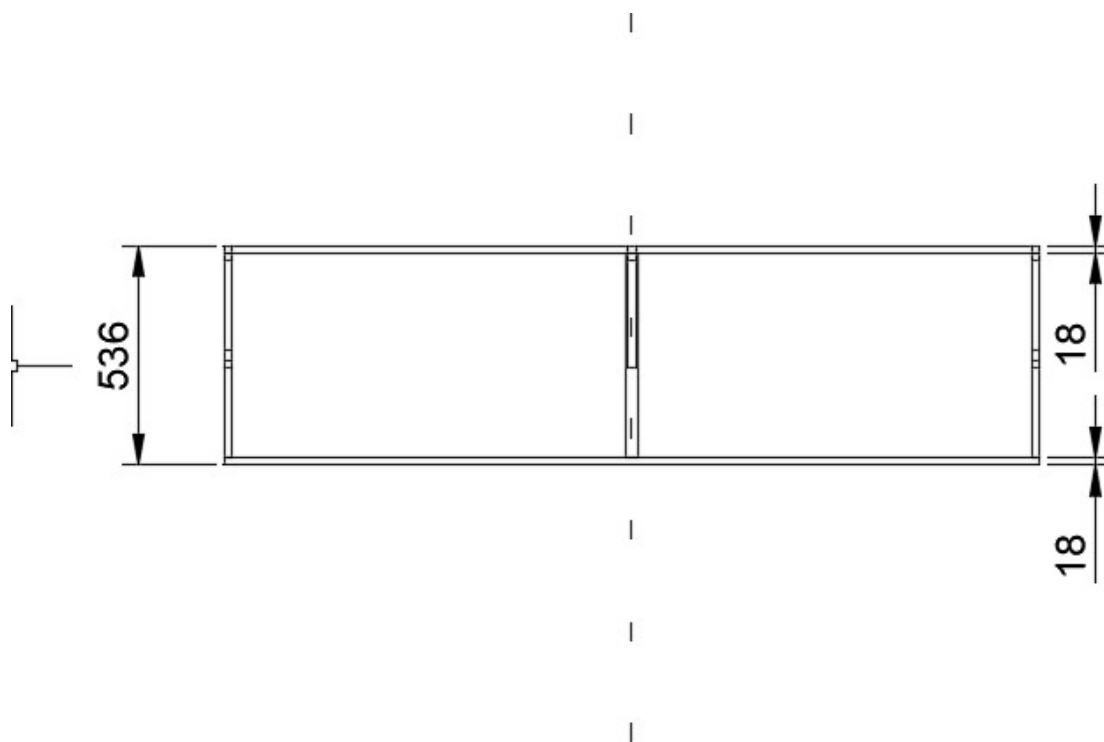


Fig. 38d. Planta

Este cajón puede ser fabricado mediante listones de madera de 2000x600x18mm con lo que utilizando cuatro listones sería suficiente, uno para la base, dos para los lados y el último para las tapas superior e inferior además de los tres soportes. Estas tapas superiores e inferiores contarán con un agujero para poder introducir el cable sobre él, además de unos pequeños orificios en una de las tapas para poder sacar el agua que drene la tierra. Debido a esto último, que existirá agua en el cajón, y que la madera no es impermeable, se recubrió el cajón con plástico aislante fig. 39., sujeto mediante grapas.



Fig. 39. Recubrimiento del cajón.

Para los tres soportes fig. 40., dos van colocados sobre las tapas del cajón y el tercer soporte va colocado sobre una tabla sujeta a la parte superior mediante tirafondos que además ayudara a que en caso de que la tierra ejerza demasiado empuje sobre los lados del cajón estos no cedan.

Todos los listones van sujetos mediante tirafondos, aproximadamente unos cincuenta, excepto los dos soportes de los lados que van colocados mediante tacos de madera introducidos en unos orificios hechos tanto en los soportes como en las tapas del cajón encolados.



Fig. 40. Cajón con soportes.

Una vez fabricado el cajón y recubierto del plástico aislante, se introdujo el cable por el orificio interior del cajón y aunque teóricamente el cable iría apoyado sobre los soportes superiores de la forma que se supuso al realizar el diseño del cajón fig. 41.

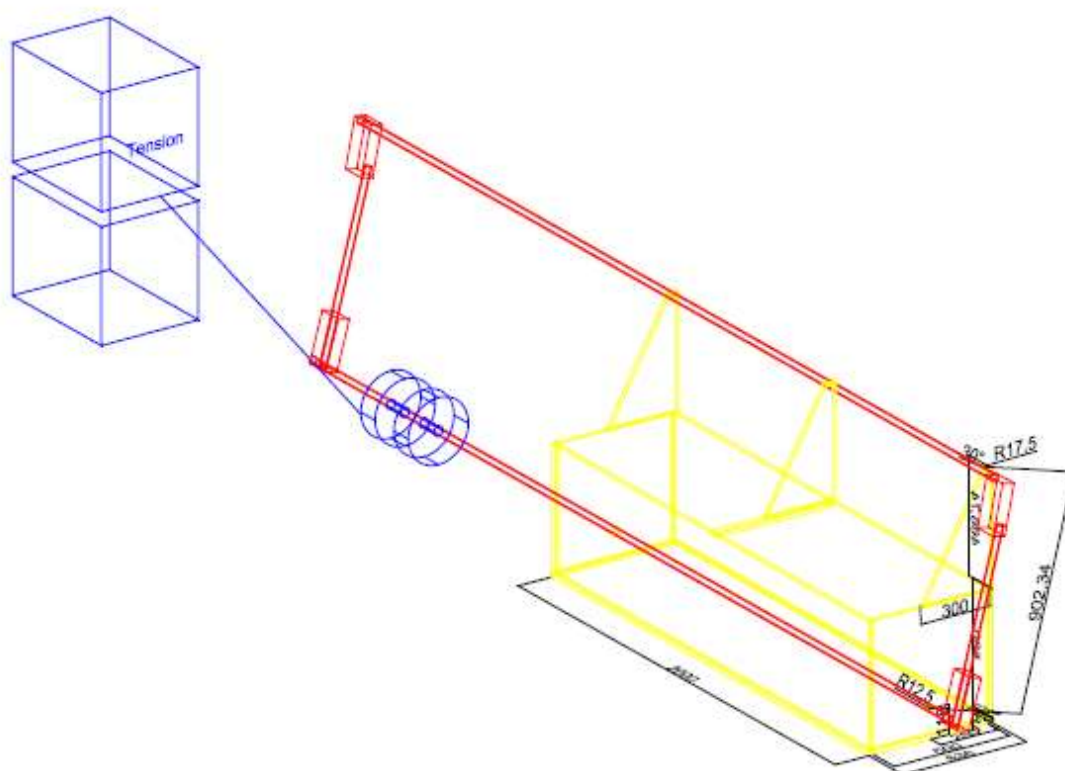


Fig. 41. Diseño previsto con el cable apoyado.

El cable se arquea debido a su propio peso, realizando fuerzas transversales en los apoyos exteriores, los cuales no eran capaces de aguantar. Debido a estas fuerzas transversales, se colocaron escuadras metalizas de dimensiones 40cm x 35 cm fig. 42. con el fin de reforzar los apoyos exteriores y al arquearse el cable no se apoyaba sobre el soporte central, por lo tanto, se retiró el soporte central dejando la tabla sobre la que iba apoyada para reforzar las paredes del cajón fig. 43.

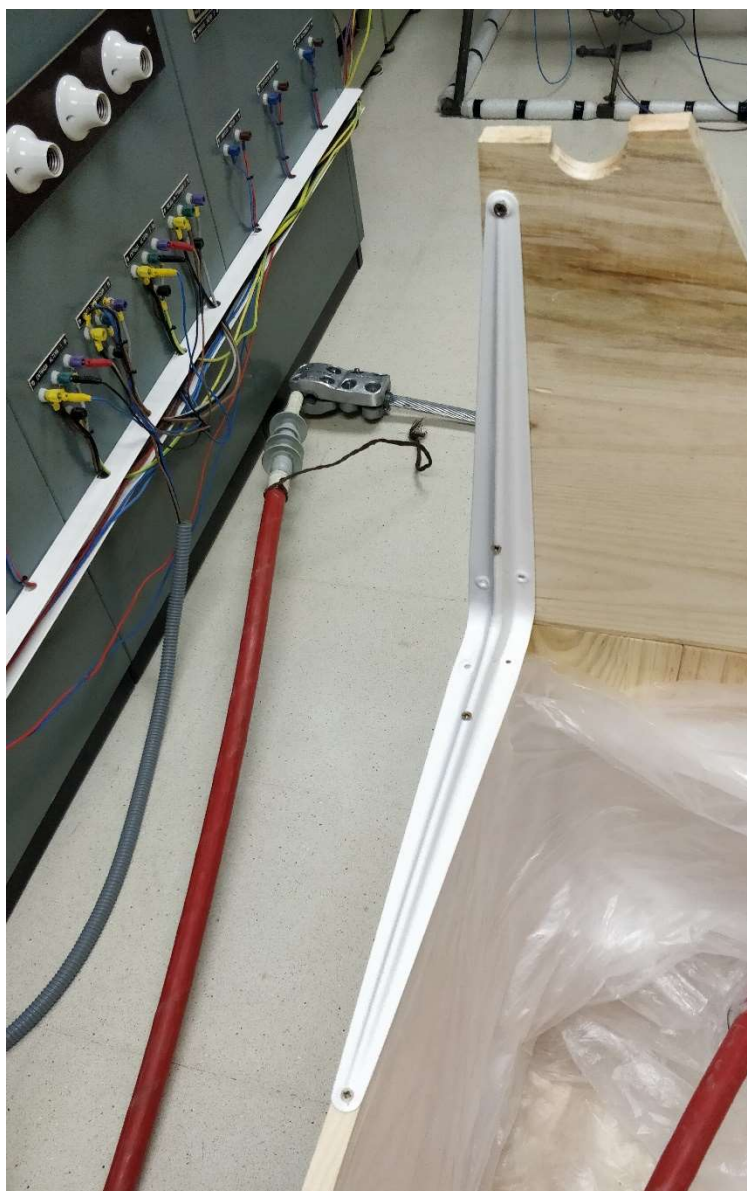


Fig. 42. Escuadras metálicas



Fig. 43. Disposición final del cable sobre los apoyos.

Por último, se coloca la tierra en el cajón fig. 44., colocando las sondas de temperatura en diferentes zonas, cercanas y alejadas del conductor, con el fin de medir las diferentes zonas del conductor y a diferentes distancias del mismo.

Debido a un problema de disponibilidad y de tiempo, se optó por introducir en el cajón media tonelada de arena en vez de tierra, colocando las sondas durante el llenado de la tierra, de la disposición señalada en la fig. 45., colocándolas cada 5 centímetros y estando colocadas: una abajo, dos a la derecha, dos encima y una por debajo además de colocar una junto al aislante del conductor. De forma que sea posible realizar una medición tanto de temperatura del conductor como de los puntos cercanos a él, ya que sabemos del primer ensayo sin tierra la relación que existe entre la temperatura del conductor y su aislamiento, la cual está reflejada en el punto dos del apartado 6.

En el caso de las sondas de humedad, irán colocadas sobre la superficie de la arena.



Fig. 44. Cajón con arena y sondas de temperatura

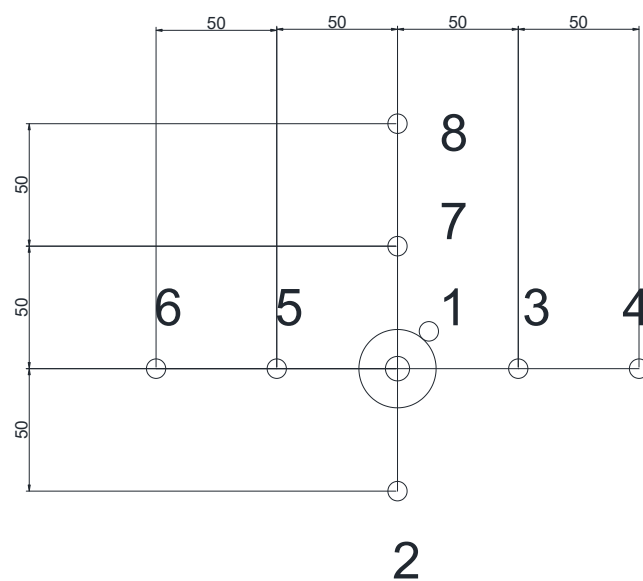


Fig. 45. Disposición de sondas.

## 5 RESULTADOS

Debido a una indisponibilidad de tiempo, ya que se finalizó la construcción de la plataforma de ensayos una semana antes de la entrega de este proyecto y además de que los objetivos de este proyecto eran la construcción de la plataforma y no la realización de los estudios posteriores, únicamente se realizaron dos ensayos, uno con el conductor desenterrado y otro con el enterrado.

### 5.1 Primer ensayo

Inicialmente se realizó un ensayo sobre el cable sin tierra, con la finalidad de medir la diferencia de temperatura a la que se encuentra el conductor en condiciones de estar enterrado o estar desenterrado.

Para este primer ensayo se mantuvo el cable cinco minutos sin ninguna intensidad para medir sus parámetros a condiciones ambientales. Se colocaron cuatro sondas de temperatura, la primera fuera del cajón, para medir la temperatura ambiental, la segunda dentro del cajón para medir la temperatura en su interior, aunque debería ser la misma al no estar tapado, el tercero sobre el aislante del conductor y el cuatro en una parte descubierta del conductor. Estas dos sondas fueron colocadas de esta forma para medir la diferencia de temperatura que existe entre el conductor y el aislante, ya que en la parte interior del cajón no existe ninguna zona descubierta y el estudio solo se podrá realizar en zonas de aislante. De esta forma se podrá obtener la diferencia de temperatura que existe entre estas dos zonas.

Cabe destacar, que el ensayo se realiza en un aula de la UC, el cual no tiene ventilación y se realiza con la puerta cerrada para evitar riesgos de que alguna persona pudiera tocar los elementos conectados durante el ensayo.

El primer ensayo realizado, fue separado en dos tramos:

- Un primer tramo en el que se conectan las cuatro sondas explicadas su ubicación al principio de este apartado y se realizan mediciones a condiciones ambientales, durante cinco minutos, sin hacer pasar ninguna intensidad por el conductor y comprobando que las temperaturas no varían, además de tomar estas temperaturas como las temperaturas iniciales. Este tramo tiene una duración aproximada de cinco minutos.
- El segundo tramo, en la cual a los transformadores se les aplica una tensión constante de 100V, los cuales generar una intensidad cercana a los 250A. Sin embargo, la resistencia de un conductor es variable con la temperatura, debería observarse una variación en la intensidad del conductor creciente, debida a la disminución de la resistencia. Este tramo tenía una duración aproximada de una hora, sin embargo,

debido a que no se estabilizaron las temperaturas se optó por alargarlo media hora más.

En este ensayo no se utilizan las sondas de humedad, ya que estas no miden la humedad en ambiental y el cable no está enterrado. Por lo tanto, en los resultados solo existen medidas de intensidad y de las 4 primeras sondas.

A continuación, se comentarán los resultados obtenidos, pero pueden ser consultadas todas las mediciones en el apartado 8.3.1 de anexos.

Primer tramo:

- Tensión transformadores 0V
- Intensidad del conductor: 0A
- Sonda 1, colocada fuera del cajón: 23.17°C
- Sonda 2, colocada en el interior del cajón: 24.23°C
- Sonda 3, colocada sobre el aislante: 23.65°C
- Sonda 4, colocada en contacto con el conductor: 23.74°C
- Duración: 6 minutos, 36 segundos (12:00:40 - 12:07:16)

Segundo tramo

- Tensión transformadores 100V
- Intensidad del conductor fig. 46.
- Sonda 1, colocada fuera del cajón fig. 47
- Sonda 2, colocada en el interior del cajón fig. 47
- Sonda 3, colocada sobre el aislante fig.47
- Sonda 4, colocada en contacto con el conductor fig. 47
- Duración: 1 hora, 33 minutos, 47 segundos (12:07:46 - 13:41:33 )

A continuación, se mencionarán algunos valores característicos del ensayo utilizados en el análisis de los resultados:

Variación de temperaturas dentro y fuera del cajón:

- Exterior: (23.21 – 24.25) °C diferencia de 1.04°C
- Interior: (24.25-25.45)°C diferencia de 1.20°C

Diferencia de temperatura entre el conductor y el aislante: tabla. 5.

| Hora     | Aislante | Conductor | Diferencia |
|----------|----------|-----------|------------|
| 12:07:46 | 23,7     | 23,7      | 0,08       |
| 12:21:58 | 26,8     | 31,1      | 4,28       |
| 12:44:16 | 31,2     | 35,4      | 4,11       |
| 13:13:40 | 33,3     | 37,6      | 4,27       |
| 13:41:33 | 34,3     | 38,9      | 4,60       |

Tabla. 5.

Variación de la intensidad respecto a la temperatura: tabla. 6

| Hora                    | Temperatura | Intensidad |
|-------------------------|-------------|------------|
| 12:07:46                | 23,7        | 258,96     |
| 12:35:39                | 33,7        | 254,21     |
| 12:53:24                | 36,3        | 252,63     |
| 13:20:16                | 38,1        | 251,44     |
| 13:41:33                | 38,9        | 251,05     |
| Diferencia (inicio-fin) | 15,2        | 7,90       |

Tabla. 6.

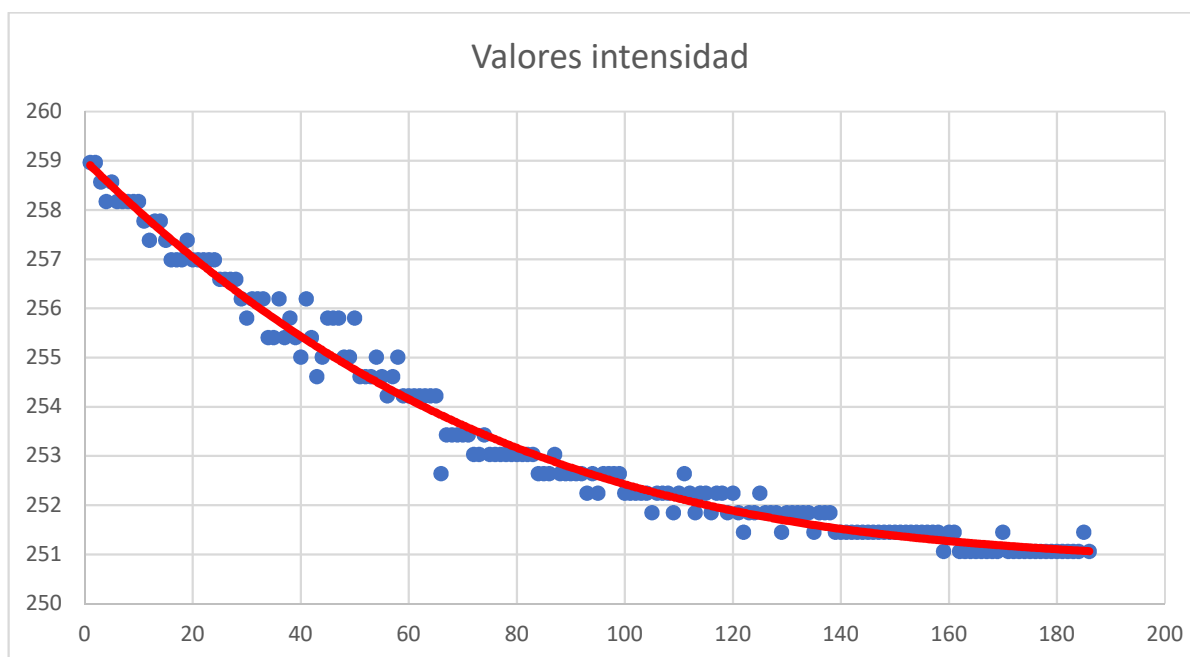


Fig. 46.

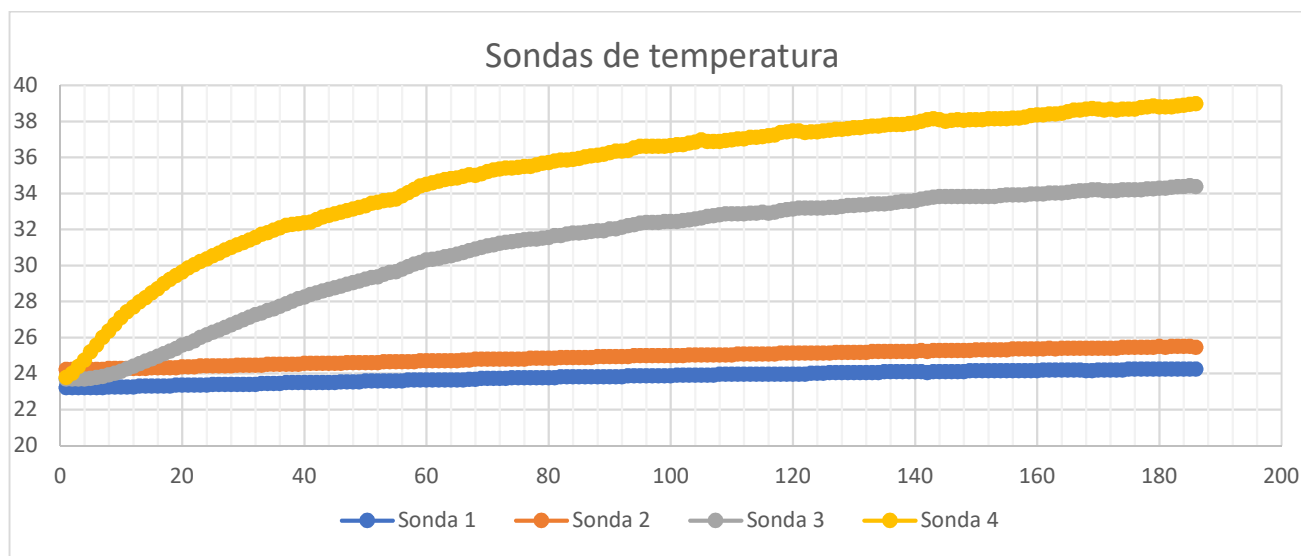


Fig. 47.

## 5.2 Segundo ensayo

El segundo ensayo se realizó una vez se enterró el cable con arena de sílice, estando el conductor sobre, aproximadamente 10cm de arena y recubierto por encima con otros 30cm aproximadamente, colocando las sondas en la disposición indicada en la fig.45. Esto quiere decir que únicamente se tomaron medidas del interior del cajón, habiéndolo dejado reposar 5 días desde el último ensayo, lo cual no aparece reflejado en los resultados del apartado 8.3.2, ya que no se había programado el reloj del apartado 4.1.1.2.

Este ensayo fue separado en tres tramos:

- Un primer tramo en el que se conectan las ocho sondas de temperatura y debido a que la arena estaba seca y las sondas de humedad inicialmente marcaban una humedad del 0% se omitió su colocación ya que no se iba a verter agua durante la prueba. Este tramo duró cinco minutos, sin hacer pasar ninguna intensidad por el conductor y comprobando que las temperaturas no varían, además de tomar estas temperaturas como las temperaturas iniciales. Este tramo tiene una duración aproximada de cinco minutos.
- El segundo tramo se realizó con una tensión constante de alimentación de los transformadores de 100V, generando otra vez una intensidad cercana a los 250A la cual se preveía que iría disminuyendo por el incremento de temperatura, además en este ensayo no había ninguna sonda colocada sobre el conductor sino que estaba sobre el aislante del mismo una vez sabida la diferencia de temperaturas estudiada

en el apartado anterior y explicada en el punto dos del apartado 6, este ensayo duro una hora aproximadamente.

- Por último, debido a que en principio no se esperaba un calentamiento tan tenue del conductor se realizó un tercer tramo aumentando la tensión a 120V alcanzando una intensidad cercana a los 300A la cual duro 30 minutos, sabiendo que esta intensidad era superior a la indicada en la tabla 3c. pero viendo que el cable no adquiría la temperatura máxima y sabiendo que las zonas que no estaban enterradas podían soportar intensidades de hasta 335A según la tabla 3c.

Como en el ensayo anterior los resultados completos se encuentran en la sección de anexos en el apartado 8.3.2.

Los resultados obtenidos fueron:

Primer tramo:

- Tensión transformadores 0V
- Intensidad del conductor: 0A
- Sonda 1: 20.94°C
- Sonda 2: 20.92°C
- Sonda 3: 21.33°C
- Sonda 4: 21.65°C
- Sonda 5: 21.42°C
- Sonda 6: 21.32°C
- Sonda 7: 21.26°C
- Sonda 8: 21.45°C
- Duración: 7 minutos, 46 segundos (14:02:39 - 14:10:15)

Segundo tramo:

- Tensión transformadores 100V
- Intensidad del conductor: fig. 48.
- Sonda 1: fig. 49.
- Sonda 2: fig. 49.
- Sonda 3: fig. 49.
- Sonda 4: fig. 49.
- Sonda 5: fig. 49.
- Sonda 6: fig. 49.
- Sonda 7: fig. 49.
- Sonda 8: fig. 49.
- Duración: 58 minutos, 17 segundos (14:10:46 - 15:09:03)

Tercer tramo:

- Tensión transformadores 120V
- Intensidad del conductor: fig. 50.
- Sonda 1: fig. 51.
- Sonda 2: fig. 51.
- Sonda 3: fig. 51.
- Sonda 4: fig. 51.
- Sonda 5: fig. 51.
- Sonda 6: fig. 51.
- Sonda 7: fig. 51.
- Sonda 8: fig. 51.
- Duración: 25 minutos, 51 segundos (15:09:34 - 15:35:25)

A continuación, se mencionarán algunos valores característicos del ensayo utilizados en el análisis de los resultados:

Variación de temperatura entre sondas equidistantes en el plano horizontal:

| hora     | sonda 3 | sonda 5 | diferencia |
|----------|---------|---------|------------|
| 14:10:46 | 21,4    | 21,4    | 0,05       |
| 14:35:36 | 21,6    | 21,5    | 0,10       |
| 15:09:03 | 21,9    | 21,9    | 0,007      |

Tabla 7.

Variación de la temperatura del conductor respecto a la intensidad fig. 52a y 52b.

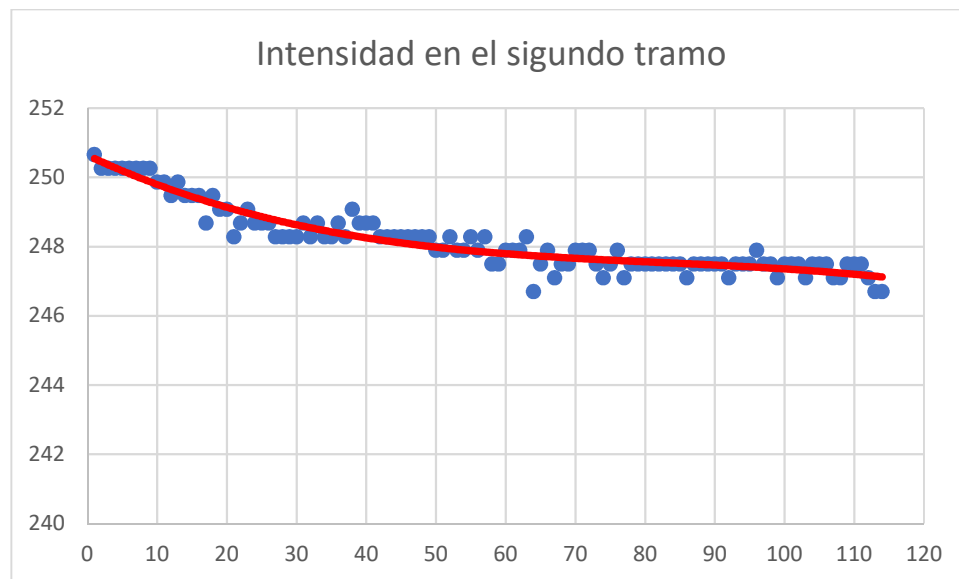


Fig. 48

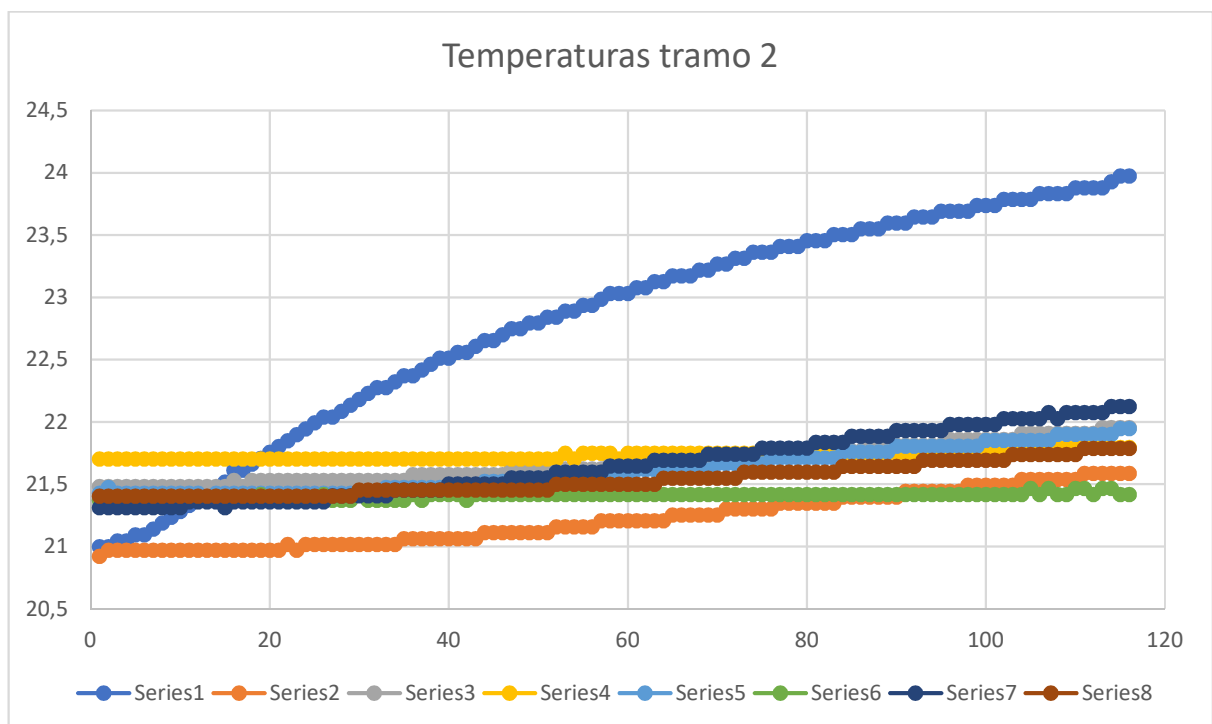


Fig. 49

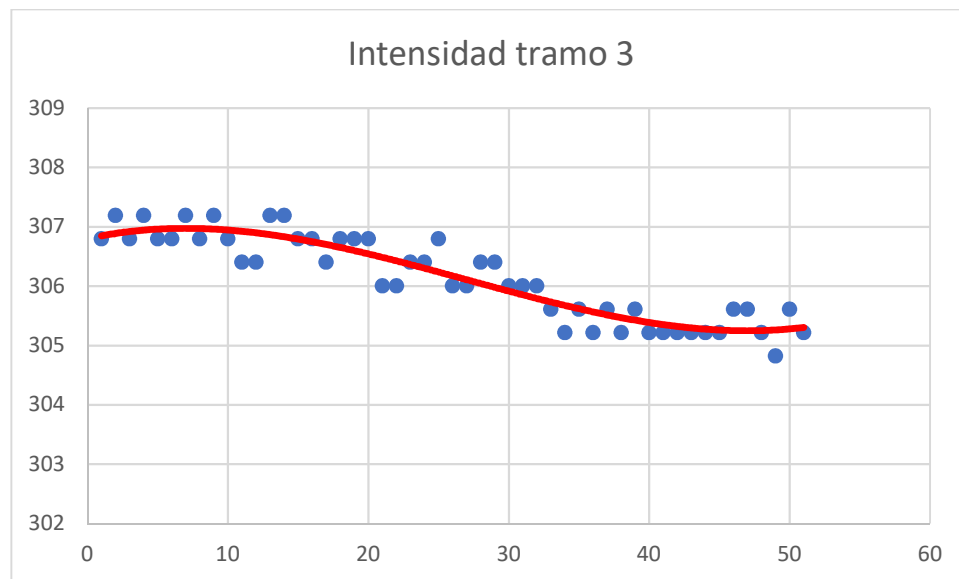


Fig. 50

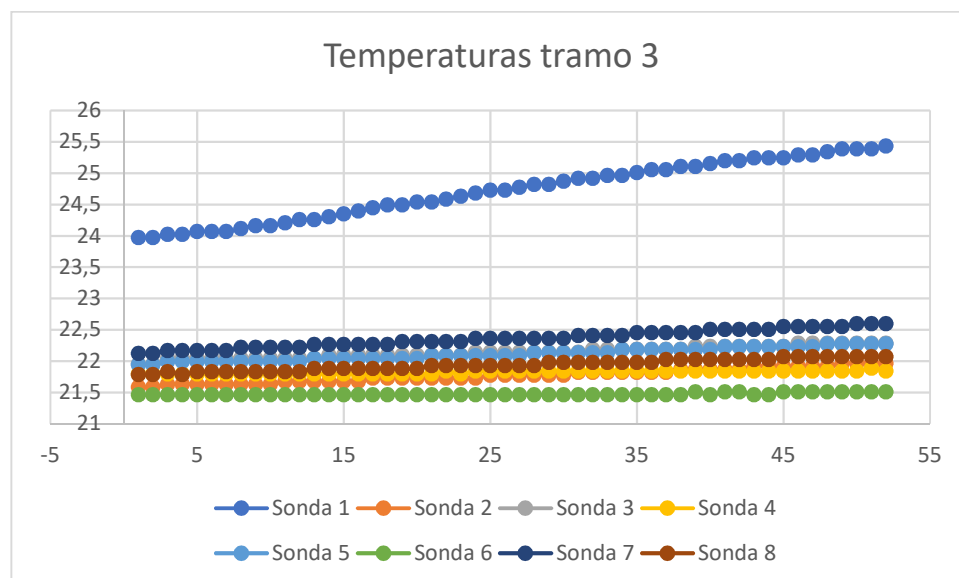


Fig. 51

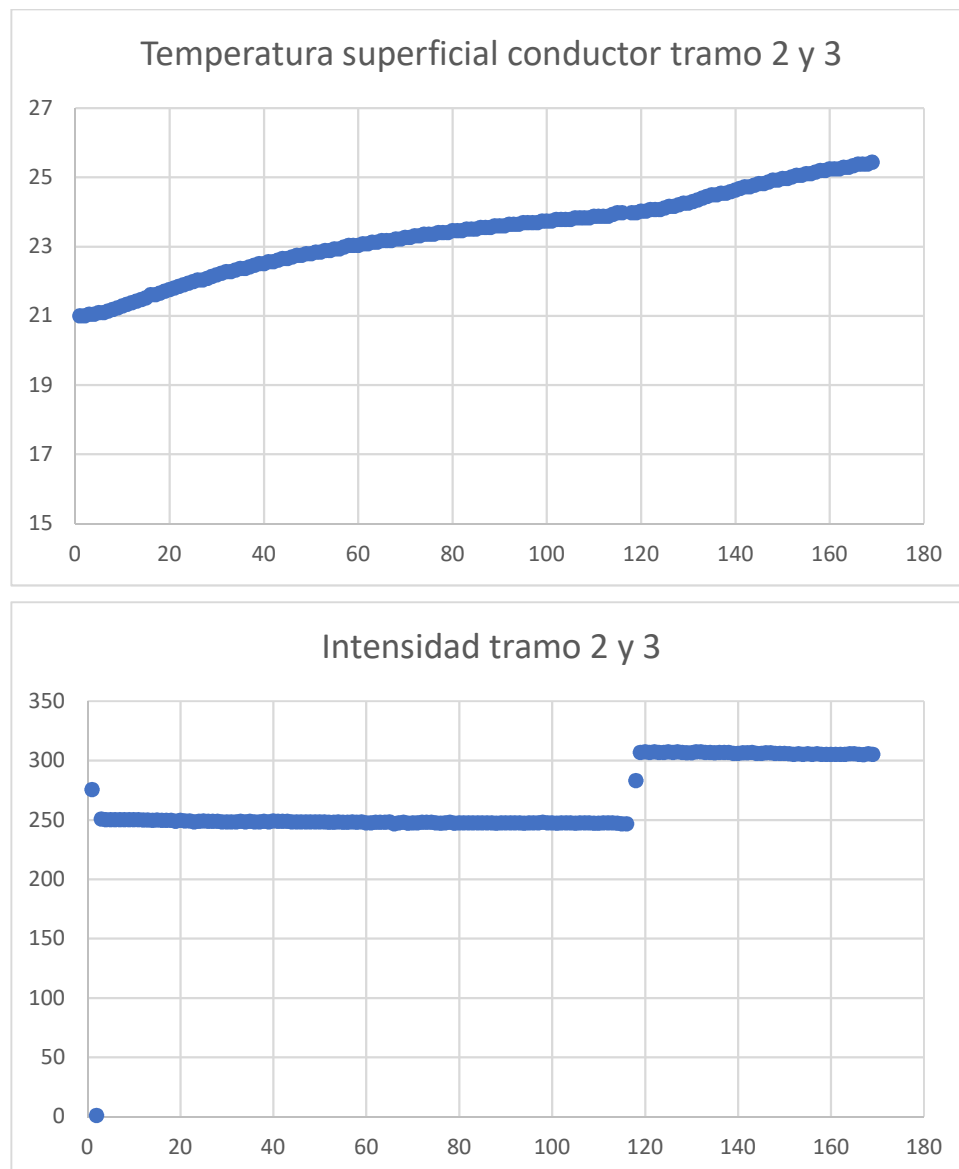


Fig. 52a y 52b.

## 6 CONCLUSIONES

Basándonos en el apartado anterior, a continuación, se enumerarán una serie de conclusiones tomadas de la plataforma de ensayos, además de la justificación de que la plataforma realiza ensayos con resultados coherentes.

1. Como cabría esperar, ya que la conductividad de los conductores o, por consiguiente, su inversa la resistividad, son afectados por la temperatura en sentido desfavorable al aumentar la temperatura, lo que quiere decir que la intensidad que circula por el cable disminuye como podemos apreciar tanto en las fig. 50, 48 y 46 y los valores de la tabla 6. Lo cual nos confirma que se obtienen los resultados esperados
2. Uno de los objetivos del primer ensayo fue la obtención de la diferencia de temperatura entre el conductor y el aislante, la cual podemos obtener de los valores de la tabla 5, pudiendo afirmar que existe una diferencia entre ambas partes de en torno a 4°C al menos en el caso de estar desenterrado el cable. Con lo que sería recomendable hacer una pequeña hendidura en el aislante de la zona enterrada para colocar otra sonda en ella y confirmar esta relación de temperaturas.
3. Como podemos observar en las fig. 46 - 52, observamos que existen puntos en los que tanto la temperatura como la intensidad tiende a estabilizarse, lo cual indica que no existen factores externos que afecten al ensayo ya que se esperaba esta estabilización.
4. En el primer ensayo, podemos observar como con una intensidad menor a la intensidad máxima de un conductor sin soterramiento, tabla 3c. Obtenemos una temperatura inferior a la temperatura máxima del conductor tabla 3b.
5. Sin embargo, en el segundo ensayo, una vez enterrado el cable, en el segundo tramo de tiempo con una intensidad cercana a la máxima indicada para un cable soterrado, tabla 3c, obtenemos una temperatura no solo muy inferior a la temperatura máxima del cable con solo diez amperios menos de la intensidad máxima, sino que tenemos una temperatura muy inferior a la que obtuvimos en el ensayo uno. Además, en el tercer tramo de este ensayo, con una intensidad superior a la indicada por el fabricante en la tabla 3c para un cable soterrado, obtenemos una temperatura por debajo de la temperatura máxima soportada por el conductor tabla 3b, lo cual podría indicar que se trata de un ensayo erróneo o de que la plataforma. Sin embargo, si observamos la

conductividad térmica de la arena, aproximadamente  $0.58\text{W/m}\cdot\text{K}$  y la de la tierra, aproximadamente  $0.12\text{W/m}\cdot\text{K}$ . Podemos afirmar que la arena disipa más calor por conducción que la tierra, además parece que la arena disipa mejor el calor por conducción que el propio aire por convección. Lo cual sería conveniente estudiar, como una alternativa a mejorar la ampacidad de los cables enterrándolos en arena en vez de en tierra.

## 7 REFERENCIAS

- [1] AutoCAD versión 2017
- [2] Python, versión 2.0 y versión 3.0
- [3] A. Madrazo Maza y J. Balbás García. Generación Eléctrica. Primera edición 2014.
- [4] Mercado eléctrico español: ¿Por qué la necesidad de vehículos eléctricos? Movele, 2014?
- [5] <https://demanda.ree.es/demanda.html>, (visitada por última vez el 16 de septiembre de 2017)
- [6] A. Carbajo Josa “La integración de las energías renovables en el sistema eléctrico español” (2012)
- [7] A. González, M. Mañana, R. Mínguez, R. Domingo, J. González, R. Garrote, A. Arroyo, R. Martínez, A. Laso; Operational Aspects of Dynamic Line Rating. Application to a Real Case of Grid-Integration of Wind Farms. B2-105. CIGRE, Paris 2016.
- [8] “Ventajas e inconvenientes de las líneas aéreas y subterráneas” IMSE. (2016)
- [9] Ararteko. Informe al parlamento vasco. (2002)
- [10] S. Hernánde Fernández “Impacto de los tendidos eléctricos sobre el medio ambiente”. Revista OP nº 16 1990.
- [11] J. Balbas Garcia, y J. Aranda Sierra,. Reductor de las colisiones y electrocuciones de aves en las líneas eléctricas aéreas. (2014)
- [12] IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Overhead Conductors, IEEE Std 738-2012.
- [13] CIGRE TB601. Guide for Thermal Rating Calculations of Overhead Lines. WG B2.43. December 2014.
- [14] CIGRE TB601. Guide for Thermal Rating Calculations of Overhead Lines. WG B2.43. December 2014.
- [15] IEC 60287. Electric cables. Calculation of the current rating.
- [16] IEC 60853. Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables.
- [17] “Raspberry Pi Guía Del Usuario 2da Ed. en Español” Eben Upton
- [18] <https://www.adafruit.com/product/1115> (visitada por última vez el 18 de septiembre de 2017)
- [19] <https://www.linuxito.com/programacion/635-netisup-py-script-python-para-verificar-el-estado-de-la-red>. (visitada por última vez el 18 de septiembre de 2017)
- [20] <https://pinout.xyz/>. (visitada por última vez el 16 de septiembre de 2017)
- [21] <https://www.abelectronics.co.uk/p/56/ADC-Pi-Plus-Raspberry-Pi-Analogue-to-Digital-converter>. (visitado por última vez el 18 de septiembre de 2017)
- [22] <https://www.ti.com/> (visitada por última vez el 16 de septiembre de 2017)

[23] <http://www.vegetronix.com/Products/VH400/> (ultima vez visitado el 18 de septiembre de 2017)

[24] “Transformador de corriente de perfil estrecho para medida” Circuitos

[25] UNE-HD 620-5-E-1:2007. Cables eléctricos de distribución con aislamiento extruido, de tensión asignada desde 3,6/6 (7,2) kV hasta 20,8/36 (42) kV. Parte 5: Cables unipolares y unipolares reunidos con aislamiento de XLPE. Sección E-1: Cables con cubierta de compuesto de poliolefina (Tipos 5E-1, 5E-4 y 5E-5).

[26] Cables & Systems “Cables y Accesorios para Media Tensión” Prysmian. (2013)

## 8 ANEXOS

### 8.1 Programación

#### 8.1.1 Principal.py

```
# Nombre:      principal
# Autor:       Miguel San Emeterio Roiz
# Fecha:       27/03/17
# Descripción:  Archivo principal para el funcionamiento del data logger

# Importamos las librerías que vamos a usar
from ABE_ADCPi import ADCPi
from ABE_helpers import ABEHelpers
import time
import os
from correo import correo
import csv
from math import sqrt
from pendrive import ultimo_guardar, guardar
from internet import internet_funciona

# Placa conversora
# Indicamos los puertos de entrada de las dos placas
i2c_helper=ABEHelpers()
bus = i2c_helper.get_smbus()
adc1 = ADCPi(bus, 0x6A,0x6B, 12) # pt100
adc2 = ADCPi(bus, 0x6C,0x6D, 12) # humedad e intensidad

# obtenemos la fecha con estructura Año/Mes/Dia
fecha=time.strftime("%Y-%m-%d")

# Generamos el archivo txt

# Generamos el nombre de archivo donde se guardaran los datos
```

# Este archivo tendrá de nombre la ruta de guardado+ la fecha + .txt

nombre\_archivo\_txt="/home/pi/Desktop/Miguel/Sistema de  
medición/mi\_python/carpeta\_archivos/"+fecha+".txt"

# generamos el archivo

archivo\_txt=open(nombre\_archivo\_txt,'a')

# añadimos el encabezamiento de las columnas

archivo\_txt.write('Dia;Hora;Temperatura1;Temperatura2;Temperatura3;Temperatura4;Temp  
eratura5;Temperatura6;Temperatura7;Temperatura8;Humedad1;Humedad2;Humedad3;Hu  
medad4;Humedad5;Humedad6;Intensidad\n')

# Generamos el archivo csv

# Generamos el nombre de archivo donde se guardaran los datos

# Este archivo tendra de nombre la ruta de guardado+ la fecha + .csv

nombre\_archivo\_csv="/home/pi/Desktop/Miguel/Sistema de  
medición/mi\_python/carpeta\_archivos/"+fecha+".csv"

#generamos el archivo

archivo\_csv=open(nombre\_archivo\_csv,'a')

# añadimos el encabezamiento de las columnas

archivo\_csv.write('Dia;Hora;Temperatura1;Temperatura2;Temperatura3;Temperatura4;Tem  
peratura5;Temperatura6;Temperatura7;Temperatura8;Humedad1;Humedad2;Humedad3;Hu  
medad4;Humedad5;Humedad6;Intensidad\n')

# Se crean las siguientes variables que se

# utilizaran a lo largo del codigo

# variable para indicar que acaba de iniciar el programa

inicio=1

encendido=True

# constantes de las pt100

A=3.9083E-3

B=-5.775E-7

R0=100

print('Inicio de bucle')

---

```
print('Pulsa ctrl+C para pausar el bucle')
while encendido==True:

    # Leemos la fecha aunque en principio no cambiara durante el encendido
    fecha2=time.strftime("%d-%m-%Y")

    # Leemos la hora
    if inicio==0:
        hora_anterior=hora
    if inicio==1:
        hora_anterior=time.strftime("%H")
    hora=time.strftime("%H")
    hora_segundos=time.strftime("%H:%M:%S")

    # Hacemos un condicional para la primera vez que se usa el programa
    if inicio==1:
        # Generamos los archivos en el pendrive
        guardar(fecha,nombre_archivo_txt,0)
        archivo_txt.write('\n')
        guardar(fecha,nombre_archivo_csv,1)
        archivo_csv.write('\n')
        # Cambiamos la variable de inicio
        inicio=0

    # Hacemos un condicional para comprobar si ha cambiado la hora y mandar un correo
    cada cambio de hora
    if hora!=hora_anterior:
        # comprobamos si hay internet
        conexion_internet=internet_funciona()
        if conexion_internet==1:
            # En caso de que haya conexion a internet
            # se enviara un correo cada hora con los archivos
            correo(archivo_csv,nombre_archivo_csv,archivo_txt,nombre_archivo_txt)

            archivo_txt=open(nombre_archivo_txt,'a')
            archivo_csv=open(nombre_archivo_csv,'a')

        # se limpia la consola antes de obtener los datos para que no de problemas
        os.system('clear')
```

---

```
# se lee las entradas
# las de temperatura en la placa 1
T1=adc1.read_voltage(1)
T2=adc1.read_voltage(2)
T3=adc1.read_voltage(3)
T4=adc1.read_voltage(4)
T5=adc1.read_voltage(5)
T6=adc1.read_voltage(6)
T7=adc1.read_voltage(7)
T8=adc1.read_voltage(8)

os.system('clear')

# las de humedad y la de intensidad en la placa 2
H1=adc2.read_voltage(1)
H2=adc2.read_voltage(2)
H3=adc2.read_voltage(3)
H4=adc2.read_voltage(4)
H5=adc2.read_voltage(5)
H6=adc2.read_voltage(6)
I1=adc2.read_voltage(7)

# Hacemos las diferentes conversiones para obtener los valores reales de
# humedad, intensidad y temperatura

# Se aplica la conversion del amplifiacdor operacional a las PT100
t1=-0.0011*T1**2+1.9455*T1+0.0169
t2=-1E-04*T2**2+1.9491*T2+0.0215
t3=-0.0034*T3**2+1.9553*T3+0.0107
t4=-0.0059*T4**2+1.9244*T4+0.0598
t5=-0.0009*T5**2+1.9408*T5+0.0471
t6=-0.0021*T6**2+1.961*T6+0.0349
t7=-0.0011*T7**2+1.9634*T7+0.0364
t8=-0.0029*T8**2+1.9664*T8+0.0279

# Convertimos el voltage que nos da el transmisor en resistencia
```

---

```

R1=3E-7*t1**6-1E-5*t1**5-0.0002*t1**4-0.0011*t1**3-0.0014*t1**2+3.9118*t1+96.088
R2=3E-7*t2**6-1E-5*t2**5-0.0002*t2**4-0.0011*t2**3-0.0014*t2**2+3.9118*t2+96.088
R3=3E-7*t3**6-1E-5*t3**5-0.0002*t3**4-0.0011*t3**3-0.0014*t3**2+3.9118*t3+96.088
R4=3E-7*t4**6-1E-5*t4**5-0.0002*t4**4-0.0011*t4**3-0.0014*t4**2+3.9118*t4+96.088
R5=3E-7*t5**6-1E-5*t5**5-0.0002*t5**4-0.0011*t5**3-0.0014*t5**2+3.9118*t5+96.088
R6=3E-7*t6**6-1E-5*t6**5-0.0002*t6**4-0.0011*t6**3-0.0014*t6**2+3.9118*t6+96.088
R7=3E-7*t7**6-1E-5*t7**5-0.0002*t7**4-0.0011*t7**3-0.0014*t7**2+3.9118*t7+96.088
R8=3E-7*t8**6-1E-5*t8**5-0.0002*t8**4-0.0011*t8**3-0.0014*t8**2+3.9118*t8+96.088

```

# Se convierte la resistencia de las pt100 en temperatura

```

ValorT1=((-(A*R0)+sqrt((A*R0)**2-4*B*R0*(R0-R1)))/(2*B*R0))
ValorT2=((-(A*R0)+sqrt((A*R0)**2-4*B*R0*(R0-R2)))/(2*B*R0))
ValorT3=((-(A*R0)+sqrt((A*R0)**2-4*B*R0*(R0-R3)))/(2*B*R0))
ValorT4=((-(A*R0)+sqrt((A*R0)**2-4*B*R0*(R0-R4)))/(2*B*R0))
ValorT5=((-(A*R0)+sqrt((A*R0)**2-4*B*R0*(R0-R5)))/(2*B*R0))
ValorT6=((-(A*R0)+sqrt((A*R0)**2-4*B*R0*(R0-R6)))/(2*B*R0))
ValorT7=((-(A*R0)+sqrt((A*R0)**2-4*B*R0*(R0-R7)))/(2*B*R0))
ValorT8=((-(A*R0)+sqrt((A*R0)**2-4*B*R0*(R0-R8)))/(2*B*R0))

```

# calibramos las sondas

```

valorT1=ValorT1-1.783525
valorT2=ValorT2-2.0481
valorT3=ValorT3-2.80093
valorT4=ValorT4-1.2808
valorT5=ValorT5-1.5170
valorT6=ValorT6-1.278377
valorT7=ValorT7-1.658167
valorT8=ValorT8-0.715633

```

# variable para convertir las 6 sondas de humedad

```

sondas_humedad=0

```

```
# Introducimos las sondas en una matriz para facilitar su conversión
H=[H1,H2,H3,H4,H5,H6]

ValorH=[0,0,0,0,0,0]
valorH=[0,0,0,0,0,0]

# convertimos las tensiones tomadas en valores de humedad
# en caso de que alguna se salga de rango avisamos por pantalla y
# la asignamos el valor 0 a la salida

while sondas_humedad<6:
    if 0<=H[sondas_humedad]<1.1:
        ValorH[sondas_humedad]=10*H[sondas_humedad]-1
    elif 1.1<=H[sondas_humedad]<1.3:
        ValorH[sondas_humedad]=25*H[sondas_humedad]-17.5
    elif 1.3<=H[sondas_humedad]<1.82:
        ValorH[sondas_humedad]=48.08*H[sondas_humedad]-47.5
    elif 1.82<=H[sondas_humedad]<2.2:
        ValorH[sondas_humedad]=26.32*H[sondas_humedad]-7.89
    else:
        print('valor de humedad %s fuera de rango valor 0 por defecto'
              %(sondas_humedad+1))
        ValorH[sondas_humedad]=0
        sondas_humedad=sondas_humedad+1
# ajustamos las sondas de humedad ya que son lineales y teniendo en cuenta que
# al introducirlas en una botella de agua darán el 100% de humedad
sondas_humedad=0
while sondas_humedad<6:
    if ValorH[sondas_humedad]<0:
        valorH[sondas_humedad]=0
    elif ValorH[sondas_humedad]>41.5:
        valorH[sondas_humedad]=100
    else:
        valorH[sondas_humedad]=ValorH[sondas_humedad]*2.4096
        sondas_humedad=sondas_humedad+1
# obtenemos los valores de la matriz
valorH1=valorH[0]
```

---

```
valorH2=valorH[1]
```

```
valorH3=valorH[2]
```

```
valorH4=valorH[3]
```

```
valorH5=valorH[4]
```

```
valorH6=valorH[5]
```

```
# convertimos la intensidad con la constante inversa del transformador 800:5 y la  
relacion 1 a 1 del conversor
```

```
i1=i1*160
```

```
# Convertimos la intensidad en la tension con el convertidor
```

```
valorI1=i1
```

```
# Debido a que no existe tanta precision en nuestras medidas, redondeamos todas
```

```
# al 4 decimal para no llenar los numeros de decimales.
```

```
valorT1=round(valorT1,4)
```

```
valorT2=round(valorT2,4)
```

```
valorT3=round(valorT3,4)
```

```
valorT4=round(valorT4,4)
```

```
valorT5=round(valorT5,4)
```

```
valorT6=round(valorT6,4)
```

```
valorT7=round(valorT7,4)
```

```
valorT8=round(valorT8,4)
```

```
valorH1=round(valorH1,4)
```

```
valorH2=round(valorH2,4)
```

```
valorH3=round(valorH3,4)
```

```
valorH4=round(valorH4,4)
```

```
valorH5=round(valorH5,4)
```

```
valorH6=round(valorH6,4)
```

```
valorI1=round(valorI1,4)
```

```
# guardamos los datos y remplazamos los caracteres
```

```
# que no nos interesan por unos que si para
```

```
# generar los archivos correctamente
```

```
datos=str([fecha2,hora_segundos,valorT1,valorT2,valorT3,valorT4,valorT5,valorT6,valorT7,v  
alorT8,valorH1,valorH2,valorH3,valorH4,valorH5,valorH6,valorI1])
```

```
datos=datos.replace('[','')
```

```
datos=datos.replace(']','')
```

```
datos=datos.replace(' ','')
```

```
datos=datos.replace(',',';')
```

```
datos=datos.replace('.',',')
```

```
# Imprimimos en pantalla los datos
```

```
print('#####')
```

```
print('hora de medicion= %s' %hora_segundos)
```

```
print('T1=%s V' %valorT1)
```

```
print('T2=%s V' %valorT2)
```

```
print('T3=%s V' %valorT3)
```

```
print('T4=%s V' %valorT4)
```

```
print('T5=%s V' %valorT5)
```

```
print('T6=%s V' %valorT6)
```

```
print('T7=%s V' %valorT7)
```

```
print('T8=%s V' %valorT8)
```

```
print('H1=%s porciento' %valorH1)
```

```
print('H2=%s porciento' %valorH2)
```

```
print('H3=%s porciento' %valorH3)
```

```
print('H4=%s porciento' %valorH4)
```

```
print('H5=%s porciento' %valorH5)
```

```
print('H6=%s porciento' %valorH6)
```

```
print('I1=%s A' %valorI1)
```

```
print('#####')
```

```
# Se escriben los datos en los archivos
```

```
archivo_txt.write(datos + '\n')
```

```
archivo_csv.write(datos + '\n')
```

```
# Se genera un archivo donde guardar los datos para usarlos en la pantalla LCD
```

```
datos_LCD=open('datos_LCD.txt', 'w')
```

```
datos_LCD.write(str(valorT1)+'\n'+str(valorT2)+'\n'+str(valorT3)+'\n'+str(valorT4)+'\n'+str(valorT5)+'\n'+str(valorT6)+'\n'+str(valorT7)+'\n'+str(valorT8)+'\n'+str(valorH1)+'\n'+str(valorH2)+'\n'+str(valorH3)+'\n'+str(valorH4)+'\n'+str(valorH5)+'\n'+str(valorH6)+'\n'+str(valorI1)+'\n')
```

```
datos_LCD.close()
```

```
hora_LCD=open('hora_LCD.txt', 'w')
```

```
hora_LCD.write(str(hora_segundos)+'\n')
```

```
hora_LCD.close()
```

```
# Cerramos los archivos para guardar la informacion
```

```
archivo_csv.close()
```

```
archivo_txt.close()
```

```
# Los volvemos a abrir
```

```
archivo_csv=open(nombre_archivo_csv,'a')
```

```
archivo_txt=open(nombre_archivo_txt,'a')
```

```
time.sleep (3)
```

```
# fin bucle
```

```
# cerramos los archivos
```

```
archivo_csv.close()
```

```
archivo_txt.close()
```

```
# Fin
```

### 8.1.2 Pantalla\_LCD.py

```
# Nombre:      Pantalla y botones
# Autor:       Miguel San Emeterio Roiz
# Fecha:       11/04/17
# Descripcion:  Menu para imprimir informacion por pantalla
#              de las medidas realizadas

# Importamos las librerias necesarias
import time
import Adafruit_CharLCD as LCD
from lectura import lectura
from lectura import lecturah

# Iniciamos los pins del LCD
lcd = LCD.Adafruit_CharLCDPlate()

# Creamos los caracteres personalizados
lcd.create_char(1, [2, 3, 2, 2, 14, 30, 12, 0])
lcd.create_char(2, [0, 1, 3, 22, 28, 8, 0, 0])
lcd.create_char(3, [0, 14, 21, 23, 17, 14, 0, 0])
lcd.create_char(4, [31, 17, 10, 4, 10, 17, 31, 0])
lcd.create_char(5, [8, 12, 10, 9, 10, 12, 8, 0])
lcd.create_char(6, [2, 6, 10, 18, 10, 6, 2, 0])
lcd.create_char(7, [31, 17, 21, 21, 21, 21, 17, 31])

# Ponemos brillo a la pantalla para leer los mensajes
lcd.clear()
lcd.set_color(1.0, 0.0, 0.0)

# Ponemos un mensaje de bienvenida
lcd.message(' Bienvenido! \n  Version 1.0')
time.sleep(3.0)

# Utilizando las funciones de lectura y lectura de hora, leemos los datos en
```

```
# los archivos datos.txt y datos_hora.txt para poder mostrarlos por primera
# vez sin pulsar ningun boton
d=lectura()
d2=lecturah()
T1=d[0]
valorT1=str(T1)
T2=d[1]
valorT2=str(T2)
T3=d[2]
valorT3=str(T3)
T4=d[3]
valorT4=str(T4)
T5=d[4]
valorT5=str(T5)
T6=d[5]
valorT6=str(T6)
T7=d[6]
valorT7=str(T7)
T8=d[7]
valorT8=str(T8)
H1=d[8]
H1=float(H1)
H1=round(H1,10)
valorH1=str(H1)
H2=d[9]
valorH2=str(H2)
H3=d[10]
valorH3=str(H3)
H4=d[11]
valorH4=str(H4)
H5=d[12]
valorH5=str(H5)
H6=d[13]
valorH6=str(H6)
I1=d[14]
valorI1=str(I1)
# debido a que la hora lee solo una vez cada caracter generamos una variable con cada
```

---

---

```
# caracter y los juntamos en una matriz
```

```
k0=d2[0]
```

```
k1=d2[1]
```

```
k2=d2[2]
```

```
k3=d2[3]
```

```
k4=d2[4]
```

```
k5=d2[5]
```

```
k6=d2[6]
```

```
k7=d2[7]
```

```
hora_medicion=[k0,k1,k2,k3,k4,k5,k6,k7]
```

```
hora=str(hora_medicion)
```

```
# para mostrarlo de forma mas clara por pantalla le quitamos las comillas
```

```
# comas y espacios
```

```
hora=hora.replace("","")
```

```
hora=hora.replace(",","")
```

```
hora=hora.replace(" ","")
```

```
# La finalidad es generar una fila y columna de estas características
```

```
# fila\columna    1      2      3      4      5      6      7      8
# 1      tension      V1      V2      V3      V4      V5      V6      V7      V8
# 2      humedad              H1      H2      H3      H4      H5      H6
# 3 intensidad      I1
# 4 hora de la medidaº hora_medicion
```

```
# Asignamos las constantes de columna y fila iniciales
```

```
columna=1
```

```
fila=1
```

```
# Asignamos los botones
```

```
# Los valores de los botones son:
```

```
# SELECT      = 0
```

```
# RIGHT      = 1
```

```
# DOWN          = 2
# UP            = 3
# LEFT         = 4
```

```
buttons = ( (LCD.SELECT, 'Refrescar\nmedida'),
            (LCD.LEFT, 'Cambio medida\nizquierda' ),
            (LCD.UP, 'Cambio tipo\narriba' ),
            (LCD.DOWN, 'Cambio tipo\nabajo' ),
            (LCD.RIGHT, 'Cambio medida\nderecha' ) )
```

```
print('Pulsar 5 veces seguidas select para apagar.') # recordamos en la consola como cerrar
el programa por pantalla
```

```
# Ponemos por defecto que el primer valor mostrado sea V1 (columna y fila 1)
```

```
lcd.clear()
lcd.message('T1 es: \n')
lcd.message("%s" %valorT1)
lcd.message(' graC')
time.sleep(0.1)
```

```
# Creamos el ciclo que se movera por el menu segun el boton pulsado
```

```
# Creamos dos contadores que usaremos en el bucle
```

```
bucle=1
```

```
contador=1
```

```
while bucle==1:
```

```
    # Ciclo para ver el boton presionado
```

```
    for button in buttons:
```

```
        if lcd.is_pressed(button[0]):
```

```
            lcd.clear()
```

```
            time.sleep(0.1)
```

```
                # si el boton presionado es el de hacia la derecha cambiamos la columna
```

```
            if button[0]==1:
```

```
                # si la columna es la ultima columna disponible se reinicia las columnas
```

```
                    # ademas para evitar errores indicamos las columnas
```

```
maximas de cada fila
```

---

```
if fila==1:
    if columna==8:
        columna=1
        # sino le sumamos una abajo
    else:
        columna=columna+1
if fila==2:
    if columna==6:
        columna=1
    else:
        columna=columna+1
if fila==3 or fila==4:
    columna=1
# Si el boton presionado es el de hacia abajo cambiamos la fila
if button[0]==2:
    # si la fila es la ultima fila disponible se reinican las filas
    if fila==4:
        fila=1
        # sino le sumamos una a la derecha
    else:
        # para evitar errores impedimos ir a casillas sin datos
        fila=fila+1
        if fila==2 and columna==7:
            columna=6
        if fila==2 and columna==8:
            columna=6
        if fila==3 or fila==4:
            columna=1

# Si el boton presionado es el de hacia arriba cambiamos la fila
if button[0]==3:
    # si la fila es la primera fila disponible se reinican las filas
    if fila==1:
        fila=4
        columna=1
        # sino le sumamos una a la izquierda
    else:
```

---

```
fila=fila-1
    # para evitar problemas impedimos ir a casillas sin datos
    if fila==2 and columna==7:
        columna=6
    if fila==2 and columna==8:
        columna=6
# si el boton presionado es hacia la izquierda cambiamos la columna
if button[0]==4:
    # si la columna es la primera columna disponible se reinicia las columnas
    # Para evitar errores le indicamos las columnas maximas de cada fila
    if fila==1:
        if columna==1:
            columna=8
            # sino le restamos una abajo
        else:
            columna=columna-1
    if fila==2:
        if columna==1:
            columna=6
        else:
            columna=columna-1
    if fila==3 or fila==4:
        columna=1
# si el boton presionado es el de select refrescamos las medidas
# si le pulsamos 5 veces se apagara la pantalla y finalizara el programa
if button[0]==0:
    # si pulsamos este boton se actualizan los datos a los mas recientes
    # ademas si lo pulsamos 5 veces seguidas sin pulsar ningun otro boton
    # se apaga la pantalla
    contadori=5-contador
    lcd.clear()
    lcd.message('actualizando\n')
    lcd.message('datos')
    # actualizamos los datos
    # debido a que son 16 caracteres por linea, redondeamos los numeros
    # para que quepan con su unidad en la pantalla.
    d=lectura()
```

---

```
d2=lecturah()  
T1=d[0]  
T1=float(T1)  
T1=round(T1,8)  
valorT1=str(T1)  
T2=d[1]  
T2=float(T2)  
T2=round(T2,8)  
valorT2=str(T2)  
T3=d[2]  
T3=float(T3)  
T3=round(T3,8)  
valorT3=str(T3)  
T4=d[3]  
T4=float(T4)  
T4=round(T4,8)  
valorT4=str(T4)  
T5=d[4]  
T5=float(T5)  
T5=round(T5,8)  
valorT5=str(T5)  
T6=d[5]  
T6=float(T6)  
T6=round(T6,8)  
valorT6=str(T6)  
T7=d[6]  
T7=float(T7)  
T7=round(T7,8)  
valorT7=str(T7)  
T8=d[7]  
T8=float(T8)  
T8=round(T8,8)  
valorT8=str(T8)  
H1=d[8]  
H1=float(H1)  
H1=round(H1,10)  
valorH1=str(H1)
```

```
H2=d[9]
H2=float(H2)
H2=round(H2,10)
valorH2=str(H2)
H3=d[10]
H3=float(H3)
H3=round(H3,10)
valorH3=str(H3)
H4=d[11]
H4=float(H4)
H4=round(H4,10)
valorH4=str(H4)
H5=d[12]
H5=float(H5)
H5=round(H5,10)
valorH5=str(H5)
H6=d[13]
H6=float(H6)
H6=round(H6,10)
valorH6=str(H6)
I1=d[14]
I1=float(I1)
I1=round(I1,10)
valorI1=str(I1)
# como se hizo antes se lee la hora de forma especial
k0=d2[0]
k1=d2[1]
k2=d2[2]
k3=d2[3]
k4=d2[4]
k5=d2[5]
k6=d2[6]
k7=d2[7]
hora_medicion=[k0,k1,k2,k3,k4,k5,k6,k7]
hora=str(hora_medicion)
hora=hora.replace("","")
hora=hora.replace(",","")
```

---

```
hora=hora.replace(" ",")
time.sleep(0.5)
lcd.clear()
# generamos un condicional para la funcion de apagado
if contadori>0:
    lcd.message("pulsa %s mas\npara apagar" %contadori)
    time.sleep(0.5)
    lcd.clear()
else:
    lcd.message("  apagando  \n  pantalla  ")
    time.sleep(0.5)
    lcd.clear()
if contador==5:
    lcd.clear()
    lcd.set_color(0.0, 0.0, 0.0)
    bucle=0
    contador=contador+1
else:
    contador=1
# Introducimos los valores en una tabla
# Mostramos por pantalla los mensajes
if bucle==1:
    if fila==1 and columna==1:
        lcd.message('T1 es: \n')
        lcd.message("%s" %valorT1)
        lcd.message(' graC')
    if fila==1 and columna==2:
        lcd.message('T2 es: \n')
        lcd.message("%s" %valorT2)
        lcd.message(' graC')
    if fila==1 and columna==3:
        lcd.message('T3 es: \n')
        lcd.message("%s" %valorT3)
        lcd.message(' graC')
    if fila==1 and columna==4:
        lcd.message('T4 es: \n')
        lcd.message("%s" %valorT4)
```

```
    lcd.message(' graC')
if fila==1 and columna==5:
    lcd.message('T5 es: \n')
    lcd.message("%s" %valorT5)
    lcd.message(' graC')
if fila==1 and columna==6:
    lcd.message('T6 es: \n')
    lcd.message("%s" %valorT6)
    lcd.message(' graC')
if fila==1 and columna==7:
    lcd.message('T7 es: \n')
    lcd.message("%s" %valorT7)
    lcd.message(' graC')
if fila==1 and columna==8:
    lcd.message('T8 es: \n')
    lcd.message("%s" %valorT8)
    lcd.message(' graC')
if fila==2 and columna==1:
    lcd.message('H1 es: \n')
    lcd.message("%s" %valorH1)
    lcd.message(' %')
if fila==2 and columna==2:
    lcd.message('H2 es: \n')
    lcd.message("%s" %valorH2)
    lcd.message(' %')
if fila==2 and columna==3:
    lcd.message('H3 es: \n')
    lcd.message("%s" %valorH3)
    lcd.message(' %')
if fila==2 and columna==4:
    lcd.message('H4 es: \n')
    lcd.message("%s" %valorH4)
    lcd.message(' %')
if fila==2 and columna==5:
    lcd.message('H5 es: \n')
    lcd.message("%s" %valorH5)
    lcd.message(' %')
```

---

```
if fila==2 and columna==6:
    lcd.message('H6 es: \n')
    lcd.message("%s" %valorH6)
    lcd.message(' %')
if fila==3 and columna==1:
    lcd.message('I1 es: \n')
    lcd.message("%s" %valorI1)
    lcd.message(' A')
if fila==4 and columna==1:
    lcd.message('hora medicion: \n')
    lcd.message("%s" %hora)
```

```
# Fin
```

### 8.1.3 Pendrive.py

```
# Nombre:      pendrive
# Autor:       Miguel San Emeterio Roiz
# Fecha:       22/03/17
# Descripcion:  Se guardan los archivos txt y csv en un pendrive

# Importamos lo que vamos a usar
import os
import shutil
import time

# Generamos una funcion de la ultima ve que guardamos en el pendrive
# Si tipo=1 se guardaran archivos txt, si es tipo=0 se guardaran archivos csv
def ultimo_guardar(fecha,nombre_archivo,tipo):
    # Introducimos la ruta de guardado
    destino='/media/pi/116E-33A81/archivos_guardado_automatico_raspberry/'
    #dependiendo del tipo guardamos un txt o un csv
    if tipo==0:
        extension='.txt'
        shutil.copy2(nombre_archivo,destino+fecha+'_ultimo_archivo'+extension)
    if tipo==1:
        extension='.csv'
        shutil.copy2(nombre_archivo,destino+fecha+'_ultimo_archivo'+extension)
# definimos la funcion normal de guardado
def guardar(fecha,nombre_archivo,tipo):
    # Introducimos la ruta de guardado
    destino='/media/pi/116E-33A81/archivos_guardado_automatico_raspberry/'
    #dependiendo del tipo guardamos un txt o un csv
    if tipo==0:
        extension='.txt'
        shutil.copy2(nombre_archivo,destino+fecha+extension)
    if tipo==1:
        extension='.csv'
        shutil.copy2(nombre_archivo,destino+fecha+extension)
# Fin
```

### 8.1.4 Lectura.py

```
# Nombre:      lectura
# Autor:       Miguel San Emeterio Roiz
# Fecha:       24/04/17
# Descripcion: Estas funciones sirven para leer la primera linea del txt datos_LCD
#              para poder usarlo en la pantalla LCD y lo mismo para el hora_LCD
```

```
def lectura():
```

```
    # Abrimos el archivo
    txt=open('datos_LCD.txt', 'r')
    T1=txt.readline().rstrip()
    T2=txt.readline().rstrip()
    T3=txt.readline().rstrip()
    T4=txt.readline().rstrip()
    T5=txt.readline().rstrip()
    T6=txt.readline().rstrip()
    T7=txt.readline().rstrip()
    T8=txt.readline().rstrip()
    H1=txt.readline().rstrip()
    H2=txt.readline().rstrip()
    H3=txt.readline().rstrip()
    H4=txt.readline().rstrip()
    H5=txt.readline().rstrip()
    H6=txt.readline().rstrip()
    I1=txt.readline().rstrip()
    txt.close()
```

```
    return T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7,T8,H1,H2,H3,H4,H5,H6,I1
```

```
def lecturah():
```

```
    # Abrimos el archivo
    txt=open('hora_LCD.txt', 'r')
    hora=txt.readline().rstrip()
    txt.close()
    return hora
```

```
# Fin
```

### 8.1.5 Internet.py

```
# Nombre:      internet_funciona
# Autor:       Miguel San Emeterio Roiz
# Fecha:       22/03/17
# Descripcion:  El programa te comprueba si existe conexion a internet
#              devolviendote un 1 en caso afirmativo y un 0 en caso
negativo.
#              script basado en
https://www.linuxito.com/programacion/635-netisup-py-script-python-para-verificar-el-estado-de-la-red

# Importamos los datos que necesitaremos
import subprocess, time

# Introducimos las paginas con las que probaremos el ping
hosts=('8.8.8.8', 'kernel.org', 'yahoo.com')

def ping(host):
    ret=subprocess.call(['ping', '-c', '3', '-W', '5', host],
        stdout=open('/dev/null', 'w'),
        stderr=open('/dev/null', 'w'))
    return ret==0

conexion_internet=0
# Creamos la variable de comprobacion de internet
def internet_funciona():
    conexion_internet=0
    for h in hosts:
        if ping(h):
            conexion_internet=1
            break
    return conexion_internet
# Fin
```

### 8.1.6 Correo.py

```
# Nombre:      Funcion correo
# Autor:       Miguel San Emeterio Roiz
# Fecha:       22/03/17
# Descripcion:  Añadiendo un archivo csv y otro txt con sus respectivos nombres,
#              el programa te envia un correo automaticamente desde
#              un gmail.com
#              hasta otro correo, adjuntando dichos archivos.
```

```
# Importamos las funciones de enviar correo
import smtplib
```

```
# Importamos los modulos que vamos a necesitar
from email.mime.text import MIMEText
from email.mime.base import MIMEBase
from email.mime.multipart import MIMEMultipart
from email import encoders
```

```
# Indicamos los correos desde los que enviaremos el correo
# y el destinatario (para esta programacion el origen siempre
# tiene que ser un gmail.com
de='correotfg2017uc@gmail.com'
contrasena_de='*****' → Aquí se introduciría la contraseña pero en esta copia no esta
introducida.
para='msr79@alumnos.unican.es'
```

```
# definimos la funcion correo
def correo(archivo_csv,nombre_archivo_csv,archivo_txt,nombre_archivo_txt):
```

```
    # Cerramos los archivos para que no den problemas
    archivo_csv.close()
    archivo_txt.close()
```

```
    # Creamos el mensaje
    m=MIMEMultipart()
```

```
# Asunto
m['subject']='Mensaje automatico con el archivo %s' %nombre_archivo_csv

# Desde correo
m['From']=de

# Para correo
m['To']=para

# Cuerpo del mensaje
cuerpo='Hola\n \nMensaje enviado automaticamente desde la raspberry para la
comprobacion del correcto funcionamiento de la misma y adjuntar los archivos csv y txt\n \nUn
saludo\n\nMiguel San Emterio'

m.attach(MIMEText(cuerpo))


# Hacemos que el csv solo se lea
fp=open(nombre_archivo_csv, 'rb')
msg1=MIMEBase('multipart','plain')
msg1.set_payload(fp.read())
fp.close()


# Hacemos lo mismo para el txt
fp2=open(nombre_archivo_txt,'rb')
msg2=MIMEBase('multipart','plain')
msg2.set_payload(fp2.read())
fp2.close()


# adjuntamos los archivos
encoders.encode_base64(msg1)
encoders.encode_base64(msg2)
msg1.add_header('Content-Disposition','attachment',filename=nombre_archivo_csv)
msg2.add_header('Content-Disposition','attachment',filename=nombre_archivo_txt)


m.attach(msg1)
m.attach(msg2)


# Enviar mensaje atraves de @gmail.com
s=smtplib.SMTP('smtp.gmail.com',587)
s.ehlo()
s.starttls()
```

---

```
s.ehlo()
```

```
s.login(de,'TFGUC2017')
```

```
s.send_message(m)
```

```
s.quit()
```

```
archivo_txt=open(nombre_archivo_txt, 'a')
```

```
archivo_csv=open(nombre_archivo_csv, 'a')
```

```
# Fin
```

## 8.2 Amplificadores

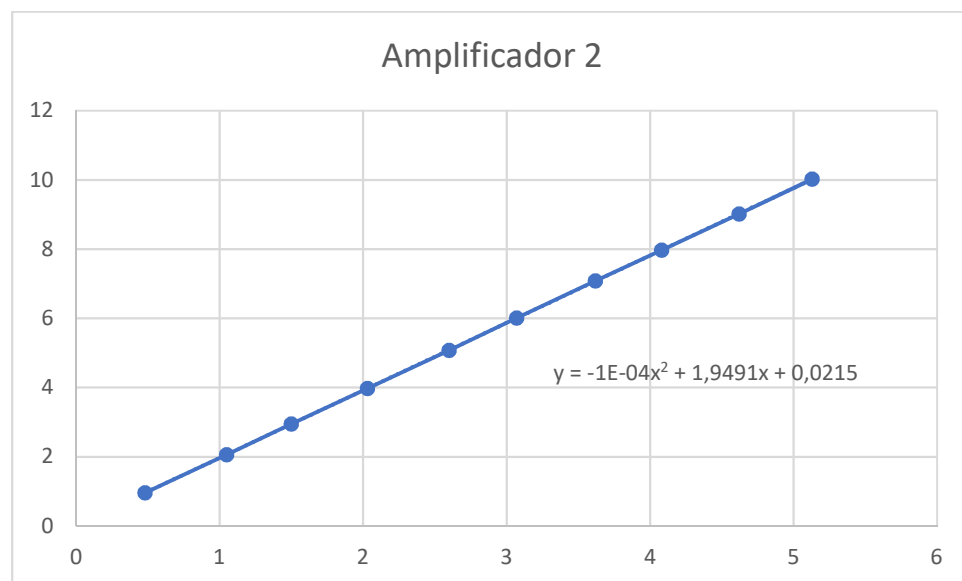
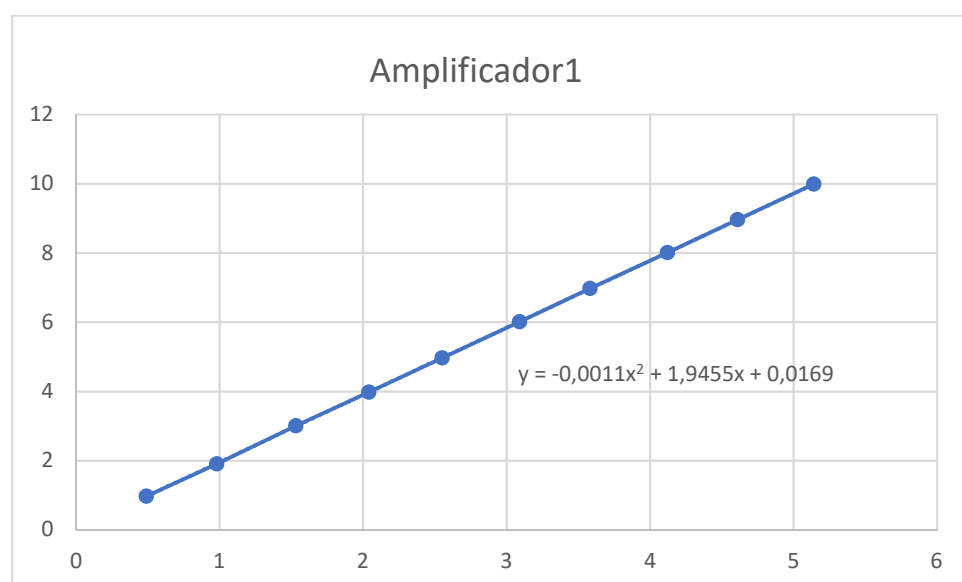
| Amplificador | 1    |      |            | 2    |       |            |
|--------------|------|------|------------|------|-------|------------|
| Medida       | Vout | Vin  | constante  | Vout | Vin   | constante  |
| 1            | 5,14 | 9,99 | 0,51451451 | 5,13 | 10,02 | 0,51197605 |
| 2            | 4,61 | 8,96 | 0,51450893 | 4,62 | 9,02  | 0,51219512 |
| 3            | 4,12 | 8,01 | 0,51435705 | 4,08 | 7,97  | 0,5119197  |
| 4            | 3,58 | 6,97 | 0,51362984 | 3,62 | 7,08  | 0,51129944 |
| 5            | 3,09 | 6,01 | 0,51414309 | 3,07 | 6,01  | 0,51081531 |
| 6            | 2,55 | 4,97 | 0,51307847 | 2,6  | 5,08  | 0,51181102 |
| 7            | 2,04 | 3,98 | 0,51256281 | 2,03 | 3,98  | 0,51005025 |
| 8            | 1,53 | 3,01 | 0,50830565 | 1,5  | 2,95  | 0,50847458 |
| 9            | 0,98 | 1,91 | 0,51308901 | 1,05 | 2,06  | 0,50970874 |
| 10           | 0,49 | 0,97 | 0,50515464 | 0,48 | 0,96  | 0,5        |

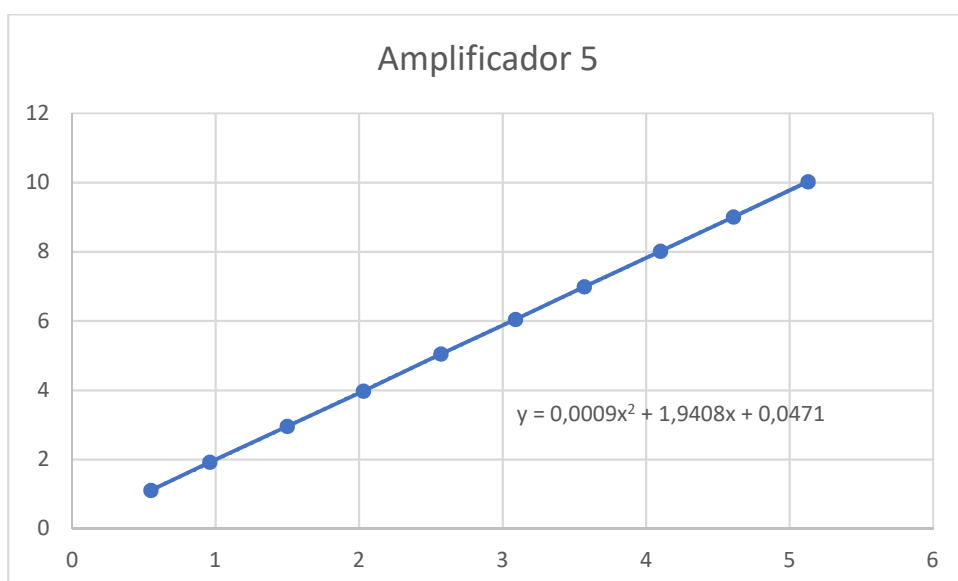
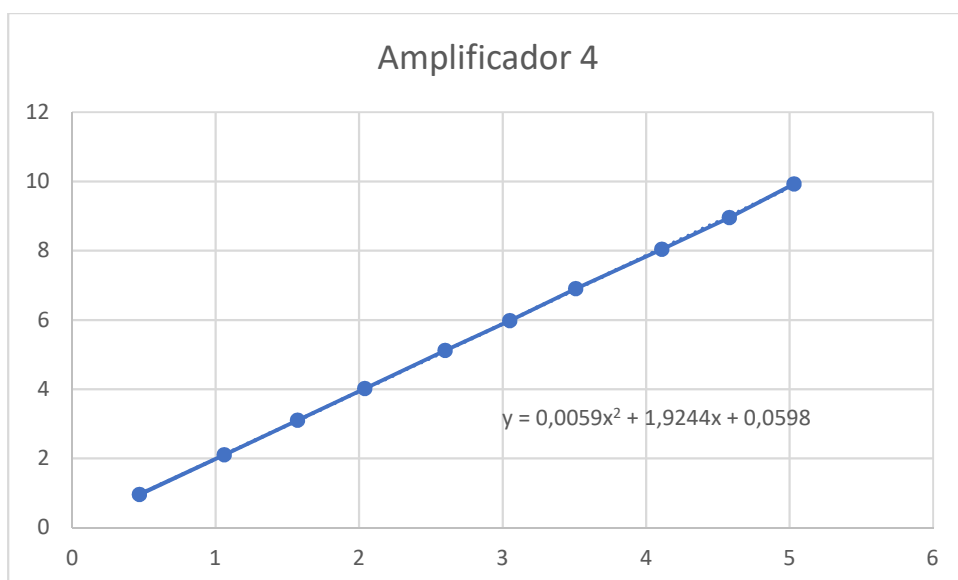
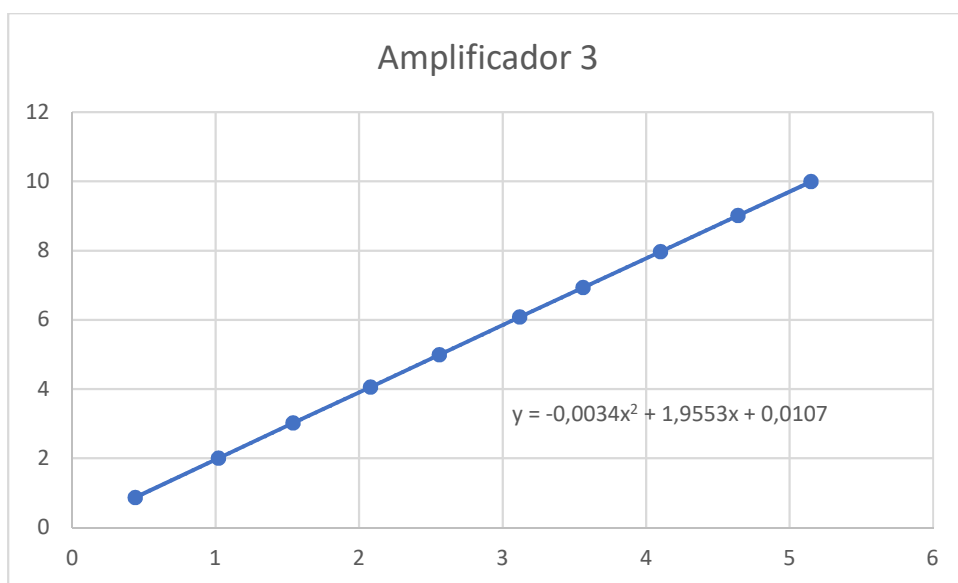
| Amplificador | 3    |      |            | 4    |      |            |
|--------------|------|------|------------|------|------|------------|
| Medida       | Vout | Vin  | constante  | Vout | Vin  | constante  |
| 1            | 5,15 | 9,99 | 0,51551552 | 5,03 | 9,93 | 0,50654582 |
| 2            | 4,64 | 9,01 | 0,51498335 | 4,58 | 8,96 | 0,51116071 |
| 3            | 4,1  | 7,97 | 0,51442911 | 4,11 | 8,04 | 0,51119403 |
| 4            | 3,56 | 6,93 | 0,51370851 | 3,51 | 6,9  | 0,50869565 |
| 5            | 3,12 | 6,08 | 0,51315789 | 3,05 | 5,98 | 0,51003344 |
| 6            | 2,56 | 4,99 | 0,51302605 | 2,6  | 5,12 | 0,5078125  |
| 7            | 2,08 | 4,06 | 0,51231527 | 2,04 | 4,02 | 0,50746269 |
| 8            | 1,54 | 3,02 | 0,50993377 | 1,57 | 3,1  | 0,50645161 |
| 9            | 1,02 | 2    | 0,51       | 1,06 | 2,1  | 0,5047619  |
| 10           | 0,44 | 0,87 | 0,50574713 | 0,47 | 0,96 | 0,48958333 |

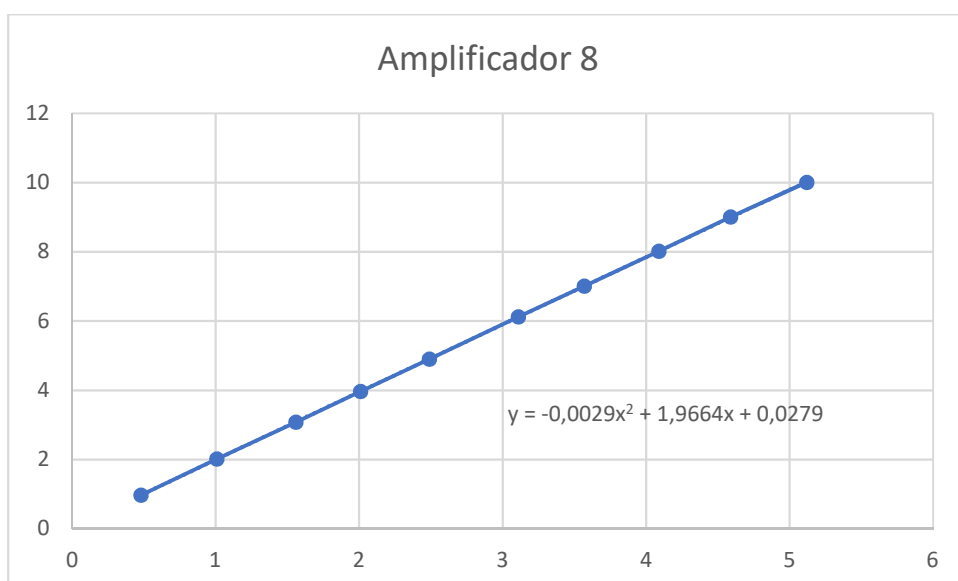
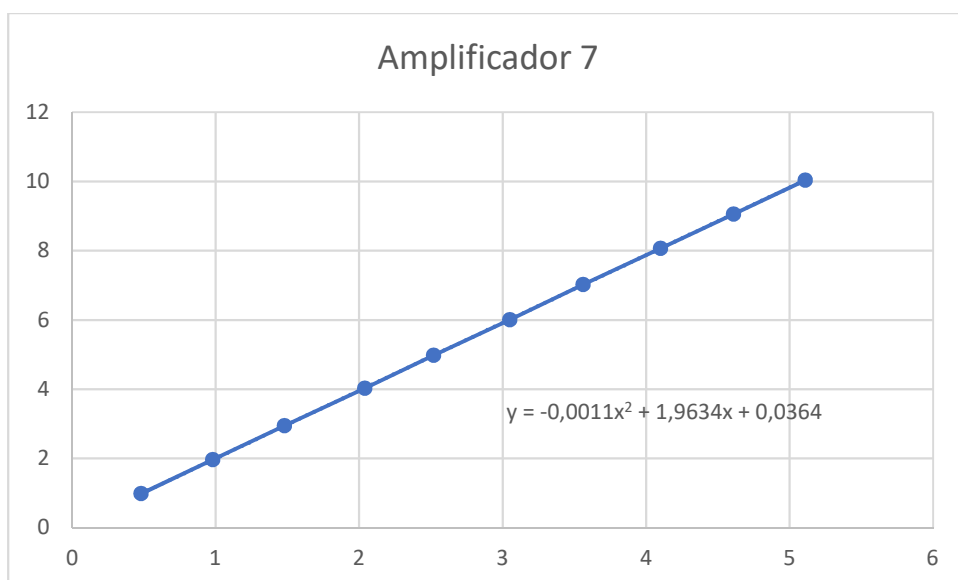
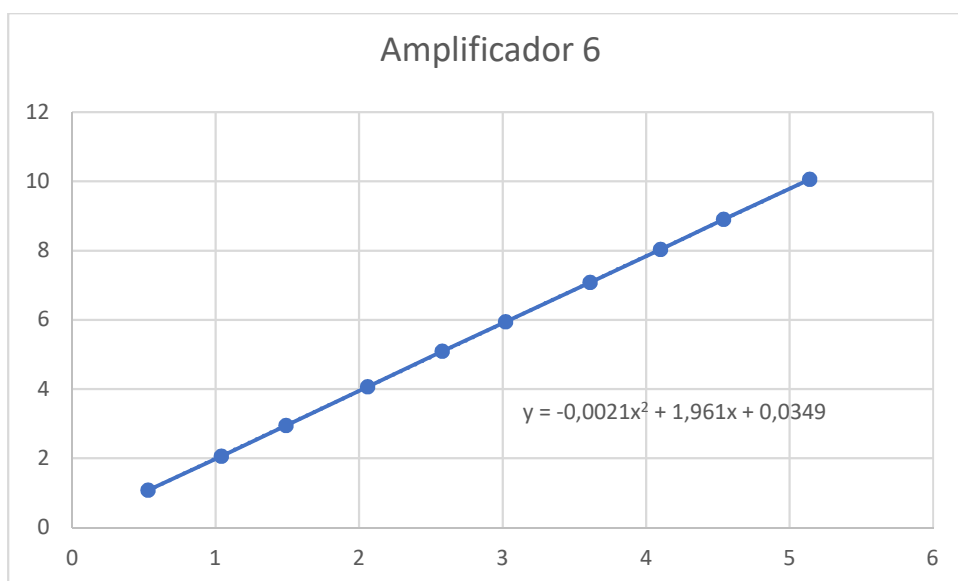
| Amplificador | 5    |       |            | 6    |       |            |
|--------------|------|-------|------------|------|-------|------------|
| Medida       | Vout | Vin   | constante  | Vout | Vin   | constante  |
| 1            | 5,13 | 10,03 | 0,5114656  | 5,14 | 10,06 | 0,51093439 |
| 2            | 4,61 | 9,01  | 0,51165372 | 4,54 | 8,9   | 0,51011236 |
| 3            | 4,1  | 8,02  | 0,51122195 | 4,1  | 8,03  | 0,51058531 |
| 4            | 3,57 | 6,99  | 0,51072961 | 3,61 | 7,08  | 0,50988701 |
| 5            | 3,09 | 6,05  | 0,5107438  | 3,02 | 5,94  | 0,50841751 |
| 6            | 2,57 | 5,05  | 0,50891089 | 2,58 | 5,09  | 0,50687623 |
| 7            | 2,03 | 3,98  | 0,51005025 | 2,06 | 4,07  | 0,50614251 |
| 8            | 1,5  | 2,96  | 0,50675676 | 1,49 | 2,95  | 0,50508475 |
| 9            | 0,96 | 1,92  | 0,5        | 1,04 | 2,06  | 0,50485437 |
| 10           | 0,55 | 1,11  | 0,4954955  | 0,53 | 1,08  | 0,49074074 |

| Amplificador | 7    |       |            | 8    |       |            |
|--------------|------|-------|------------|------|-------|------------|
| Medida       | Vout | Vin   | constante  | Vout | Vin   | constante  |
| 1            | 5,11 | 10,04 | 0,50896414 | 5,12 | 10,01 | 0,51148851 |
| 2            | 4,61 | 9,06  | 0,50883002 | 4,59 | 9,01  | 0,50943396 |
| 3            | 4,1  | 8,07  | 0,50805452 | 4,09 | 8,02  | 0,50997506 |
| 4            | 3,56 | 7,02  | 0,50712251 | 3,57 | 7,01  | 0,50927247 |
| 5            | 3,05 | 6,01  | 0,50748752 | 3,11 | 6,12  | 0,50816993 |
| 6            | 2,52 | 4,98  | 0,5060241  | 2,49 | 4,9   | 0,50816327 |
| 7            | 2,04 | 4,03  | 0,50620347 | 2,01 | 3,97  | 0,50629723 |
| 8            | 1,48 | 2,94  | 0,50340136 | 1,56 | 3,08  | 0,50649351 |
| 9            | 0,98 | 1,96  | 0,5        | 1,01 | 2,02  | 0,5        |
| 10           | 0,48 | 0,98  | 0,48979592 | 0,48 | 0,97  | 0,49484536 |

La representación de los datos anteriores es la siguiente, representando valores casi lineales







## 8.3 Resultados de los ensayos

### 8.3.1 Primer ensayo

#### Primer tramo

| Día        | Hora     | Temperatura1 | Temperatura2 | Temperatura3 | Temperatura4 | Intensidad |
|------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| 14/09/2017 | 12:00:40 | 23,1717      | 24,2386      | 23,6548      | 23,7424      | 0          |
| 14/09/2017 | 12:01:11 | 23,1717      | 24,2386      | 23,6548      | 23,7424      | 0          |
| 14/09/2017 | 12:01:41 | 23,1717      | 24,2386      | 23,6548      | 23,7424      | 0          |
| 14/09/2017 | 12:02:12 | 23,1717      | 24,2386      | 23,6548      | 23,7424      | 0          |
| 14/09/2017 | 12:02:42 | 23,1717      | 24,2386      | 23,6548      | 23,7424      | 0          |
| 14/09/2017 | 12:03:12 | 23,1717      | 24,2386      | 23,6548      | 23,7424      | 0          |
| 14/09/2017 | 12:03:43 | 23,1717      | 24,2386      | 23,6548      | 23,7424      | 0          |
| 14/09/2017 | 12:04:13 | 23,1717      | 24,2386      | 23,6548      | 23,7424      | 0          |
| 14/09/2017 | 12:04:44 | 23,1717      | 24,2386      | 23,6548      | 23,7424      | 0          |
| 14/09/2017 | 12:05:14 | 23,1717      | 24,2386      | 23,6548      | 23,7424      | 0          |
| 14/09/2017 | 12:05:45 | 23,1717      | 24,2386      | 23,702       | 23,7424      | 0          |
| 14/09/2017 | 12:06:15 | 23,1717      | 24,2386      | 23,6548      | 23,7424      | 0          |
| 14/09/2017 | 12:06:45 | 23,1717      | 24,2386      | 23,702       | 23,7424      | 0          |
| 14/09/2017 | 12:07:16 | 23,1717      | 24,2386      | 23,702       | 23,7424      | 0          |

#### Segundo tramo

| Día        | Hora     | Temperatura1 | Temperatura2 | Temperatura3 | Temperatura4 | Intensidad |
|------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| 14/09/2017 | 12:07:46 | 23,2189      | 24,2386      | 23,702       | 23,7887      | 258,9608   |
| 14/09/2017 | 12:08:17 | 23,2189      | 24,2386      | 23,702       | 24,0202      | 258,9608   |
| 14/09/2017 | 12:08:47 | 23,2189      | 24,2386      | 23,702       | 24,3903      | 258,5654   |
| 14/09/2017 | 12:09:18 | 23,2189      | 24,2386      | 23,702       | 24,7602      | 258,1701   |
| 14/09/2017 | 12:09:48 | 23,2189      | 24,2386      | 23,7492      | 25,2222      | 258,5654   |
| 14/09/2017 | 12:10:18 | 23,2189      | 24,2386      | 23,7964      | 25,5915      | 258,1701   |
| 14/09/2017 | 12:10:49 | 23,2189      | 24,2386      | 23,8435      | 26,0067      | 258,1701   |
| 14/09/2017 | 12:11:19 | 23,2661      | 24,2859      | 23,9378      | 26,3754      | 258,1701   |
| 14/09/2017 | 12:11:50 | 23,2661      | 24,2859      | 24,0322      | 26,7439      | 258,1701   |
| 14/09/2017 | 12:12:20 | 23,2661      | 24,2859      | 24,1264      | 27,1122      | 258,1701   |
| 14/09/2017 | 12:12:51 | 23,2661      | 24,2859      | 24,2679      | 27,4341      | 257,7747   |
| 14/09/2017 | 12:13:21 | 23,2661      | 24,2859      | 24,4092      | 27,71        | 257,3794   |
| 14/09/2017 | 12:13:51 | 23,3133      | 24,2859      | 24,5506      | 27,9856      | 257,7747   |
| 14/09/2017 | 12:14:22 | 23,3133      | 24,2859      | 24,6919      | 28,2152      | 257,7747   |
| 14/09/2017 | 12:14:52 | 23,3133      | 24,3332      | 24,8332      | 28,4906      | 257,3794   |
| 14/09/2017 | 12:15:23 | 23,3133      | 24,3332      | 24,9744      | 28,7199      | 256,984    |

|            |          |         |         |         |         |          |
|------------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 14/09/2017 | 12:15:53 | 23,3133 | 24,3332 | 25,1156 | 28,995  | 256,984  |
| 14/09/2017 | 12:16:23 | 23,3133 | 24,3332 | 25,2568 | 29,2241 | 256,984  |
| 14/09/2017 | 12:16:54 | 23,3605 | 24,3332 | 25,3979 | 29,4531 | 257,3794 |
| 14/09/2017 | 12:17:24 | 23,3605 | 24,3805 | 25,586  | 29,6362 | 256,984  |
| 14/09/2017 | 12:17:55 | 23,3605 | 24,3805 | 25,68   | 29,8649 | 256,984  |
| 14/09/2017 | 12:18:25 | 23,3605 | 24,3805 | 25,821  | 30,0478 | 256,984  |
| 14/09/2017 | 12:18:56 | 23,3605 | 24,4277 | 26,009  | 30,2307 | 256,984  |
| 14/09/2017 | 12:19:26 | 23,3605 | 24,4277 | 26,1499 | 30,3678 | 256,984  |
| 14/09/2017 | 12:19:56 | 23,4077 | 24,4277 | 26,2908 | 30,5505 | 256,5886 |
| 14/09/2017 | 12:20:27 | 23,4077 | 24,4277 | 26,4317 | 30,6875 | 256,5886 |
| 14/09/2017 | 12:20:57 | 23,4077 | 24,4277 | 26,5725 | 30,87   | 256,5886 |
| 14/09/2017 | 12:21:28 | 23,4077 | 24,4277 | 26,7133 | 31,0069 | 256,5886 |
| 14/09/2017 | 12:21:58 | 23,4077 | 24,475  | 26,854  | 31,1438 | 256,1933 |
| 14/09/2017 | 12:22:29 | 23,4077 | 24,475  | 26,9947 | 31,2805 | 255,7979 |
| 14/09/2017 | 12:22:59 | 23,4077 | 24,475  | 27,1354 | 31,4173 | 256,1933 |
| 14/09/2017 | 12:23:29 | 23,4077 | 24,475  | 27,276  | 31,554  | 256,1933 |
| 14/09/2017 | 12:24:00 | 23,4549 | 24,475  | 27,3698 | 31,7362 | 256,1933 |
| 14/09/2017 | 12:24:30 | 23,4549 | 24,5223 | 27,5103 | 31,8272 | 255,4026 |
| 14/09/2017 | 12:25:01 | 23,4549 | 24,5223 | 27,604  | 31,9638 | 255,4026 |
| 14/09/2017 | 12:25:31 | 23,4549 | 24,5223 | 27,7445 | 32,1003 | 256,1933 |
| 14/09/2017 | 12:26:01 | 23,502  | 24,5223 | 27,8849 | 32,2368 | 255,4026 |
| 14/09/2017 | 12:26:32 | 23,502  | 24,5223 | 28,0253 | 32,2822 | 255,7979 |
| 14/09/2017 | 12:27:02 | 23,502  | 24,5223 | 28,1657 | 32,3277 | 255,4026 |
| 14/09/2017 | 12:27:33 | 23,502  | 24,5696 | 28,2593 | 32,3732 | 255,0072 |
| 14/09/2017 | 12:28:03 | 23,502  | 24,5696 | 28,3996 | 32,4186 | 256,1933 |
| 14/09/2017 | 12:28:34 | 23,502  | 24,5696 | 28,4931 | 32,555  | 255,4026 |
| 14/09/2017 | 12:29:04 | 23,502  | 24,5696 | 28,5866 | 32,6913 | 254,6118 |
| 14/09/2017 | 12:29:34 | 23,502  | 24,5696 | 28,68   | 32,7821 | 255,0072 |
| 14/09/2017 | 12:30:05 | 23,502  | 24,5696 | 28,7735 | 32,8729 | 255,7979 |
| 14/09/2017 | 12:30:35 | 23,5492 | 24,5696 | 28,8669 | 32,9637 | 255,7979 |
| 14/09/2017 | 12:31:06 | 23,5492 | 24,6168 | 28,9603 | 33,0545 | 255,7979 |
| 14/09/2017 | 12:31:36 | 23,5492 | 24,6168 | 29,0537 | 33,1453 | 255,0072 |
| 14/09/2017 | 12:32:06 | 23,5492 | 24,6168 | 29,1471 | 33,236  | 255,0072 |
| 14/09/2017 | 12:32:37 | 23,5964 | 24,6168 | 29,2405 | 33,3267 | 255,7979 |
| 14/09/2017 | 12:33:07 | 23,5964 | 24,6168 | 29,3338 | 33,4627 | 254,6118 |
| 14/09/2017 | 12:33:38 | 23,5964 | 24,6168 | 29,3805 | 33,5081 | 254,6118 |
| 14/09/2017 | 12:34:08 | 23,5964 | 24,6641 | 29,5204 | 33,5987 | 254,6118 |
| 14/09/2017 | 12:34:38 | 23,5964 | 24,6641 | 29,6137 | 33,644  | 255,0072 |
| 14/09/2017 | 12:35:09 | 23,5964 | 24,6641 | 29,6603 | 33,6893 | 254,6118 |
| 14/09/2017 | 12:35:39 | 23,5964 | 24,6641 | 29,8002 | 33,8705 | 254,2165 |
| 14/09/2017 | 12:36:10 | 23,6435 | 24,6641 | 29,94   | 34,0516 | 254,6118 |
| 14/09/2017 | 12:36:40 | 23,6435 | 24,6641 | 30,0798 | 34,2326 | 255,0072 |
| 14/09/2017 | 12:37:11 | 23,6435 | 24,7113 | 30,173  | 34,4135 | 254,2165 |
| 14/09/2017 | 12:37:41 | 23,6435 | 24,7113 | 30,3127 | 34,5039 | 254,2165 |
| 14/09/2017 | 12:38:11 | 23,6435 | 24,7113 | 30,3592 | 34,5943 | 254,2165 |

|            |          |         |         |         |         |          |
|------------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 14/09/2017 | 12:38:42 | 23,6435 | 24,7113 | 30,4058 | 34,6847 | 254,2165 |
| 14/09/2017 | 12:39:12 | 23,6435 | 24,7113 | 30,4989 | 34,775  | 254,2165 |
| 14/09/2017 | 12:39:43 | 23,6435 | 24,7113 | 30,5454 | 34,8202 | 254,2165 |
| 14/09/2017 | 12:40:13 | 23,6435 | 24,7113 | 30,6385 | 34,8654 | 254,2165 |
| 14/09/2017 | 12:40:44 | 23,6435 | 24,7586 | 30,7315 | 34,9557 | 252,635  |
| 14/09/2017 | 12:41:14 | 23,6907 | 24,7586 | 30,8245 | 35,0459 | 253,4258 |
| 14/09/2017 | 12:41:44 | 23,6907 | 24,8058 | 30,9175 | 35,0008 | 253,4258 |
| 14/09/2017 | 12:42:15 | 23,7379 | 24,8058 | 31,0105 | 35,0911 | 253,4258 |
| 14/09/2017 | 12:42:45 | 23,7379 | 24,8058 | 31,1035 | 35,2264 | 253,4258 |
| 14/09/2017 | 12:43:16 | 23,7379 | 24,8058 | 31,1499 | 35,3166 | 253,4258 |
| 14/09/2017 | 12:43:46 | 23,7379 | 24,8058 | 31,2429 | 35,3617 | 253,0304 |
| 14/09/2017 | 12:44:16 | 23,7379 | 24,8058 | 31,2893 | 35,4068 | 253,0304 |
| 14/09/2017 | 12:44:47 | 23,785  | 24,8058 | 31,3358 | 35,4068 | 253,4258 |
| 14/09/2017 | 12:45:17 | 23,785  | 24,8058 | 31,3822 | 35,4519 | 253,0304 |
| 14/09/2017 | 12:45:48 | 23,785  | 24,8058 | 31,4286 | 35,497  | 253,0304 |
| 14/09/2017 | 12:46:18 | 23,785  | 24,8531 | 31,4751 | 35,497  | 253,0304 |
| 14/09/2017 | 12:46:49 | 23,785  | 24,8531 | 31,4751 | 35,5871 | 253,0304 |
| 14/09/2017 | 12:47:19 | 23,785  | 24,8531 | 31,5215 | 35,6772 | 253,0304 |
| 14/09/2017 | 12:47:49 | 23,785  | 24,8531 | 31,5679 | 35,7223 | 253,0304 |
| 14/09/2017 | 12:48:20 | 23,785  | 24,8531 | 31,6608 | 35,8124 | 253,0304 |
| 14/09/2017 | 12:48:50 | 23,8322 | 24,9003 | 31,6608 | 35,8574 | 253,0304 |
| 14/09/2017 | 12:49:21 | 23,8322 | 24,9003 | 31,7536 | 35,8574 | 253,0304 |
| 14/09/2017 | 12:49:51 | 23,8322 | 24,9003 | 31,8    | 35,9024 | 252,635  |
| 14/09/2017 | 12:50:21 | 23,8322 | 24,9003 | 31,8    | 35,9474 | 252,635  |
| 14/09/2017 | 12:50:52 | 23,8322 | 24,9003 | 31,8463 | 36,0374 | 252,635  |
| 14/09/2017 | 12:51:22 | 23,8322 | 24,9003 | 31,8927 | 36,0824 | 253,0304 |
| 14/09/2017 | 12:51:53 | 23,8322 | 24,9476 | 31,9391 | 36,1274 | 252,635  |
| 14/09/2017 | 12:52:23 | 23,8322 | 24,9476 | 31,9391 | 36,1724 | 252,635  |
| 14/09/2017 | 12:52:53 | 23,8322 | 24,9476 | 32,0319 | 36,2624 | 252,635  |
| 14/09/2017 | 12:53:24 | 23,8322 | 24,9476 | 32,0319 | 36,3523 | 252,635  |
| 14/09/2017 | 12:53:54 | 23,8322 | 24,9476 | 32,1246 | 36,3523 | 252,635  |
| 14/09/2017 | 12:54:25 | 23,8793 | 24,9476 | 32,2173 | 36,3972 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 12:54:55 | 23,8793 | 24,9948 | 32,2636 | 36,5321 | 252,635  |
| 14/09/2017 | 12:55:25 | 23,8793 | 24,9948 | 32,3563 | 36,6219 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 12:55:56 | 23,8793 | 24,9948 | 32,4026 | 36,6219 | 252,635  |
| 14/09/2017 | 12:56:26 | 23,8793 | 24,9948 | 32,4026 | 36,6219 | 252,635  |
| 14/09/2017 | 12:56:57 | 23,8793 | 24,9948 | 32,4026 | 36,6219 | 252,635  |
| 14/09/2017 | 12:57:27 | 23,8793 | 24,9948 | 32,4489 | 36,6219 | 252,635  |
| 14/09/2017 | 12:57:58 | 23,8793 | 24,9948 | 32,4489 | 36,6668 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 12:58:28 | 23,9265 | 24,9948 | 32,4489 | 36,7118 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 12:58:58 | 23,9265 | 24,9948 | 32,4952 | 36,7118 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 12:59:29 | 23,9265 | 25,042  | 32,5416 | 36,8016 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 12:59:59 | 23,9265 | 25,042  | 32,5879 | 36,8465 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 13:00:30 | 23,9265 | 25,042  | 32,6342 | 36,9811 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:01:00 | 23,9265 | 25,042  | 32,7267 | 36,8913 | 252,2397 |

|            |          |         |         |         |         |          |
|------------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 14/09/2017 | 13:01:31 | 23,9265 | 25,042  | 32,773  | 36,8913 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 13:02:01 | 23,9736 | 25,042  | 32,8193 | 36,8913 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 13:02:31 | 23,9736 | 25,042  | 32,8656 | 36,9362 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:03:02 | 23,9736 | 25,042  | 32,8656 | 36,9811 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 13:03:32 | 23,9736 | 25,0893 | 32,8656 | 37,026  | 252,635  |
| 14/09/2017 | 13:04:03 | 23,9736 | 25,0893 | 32,8656 | 37,026  | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 13:04:33 | 23,9736 | 25,0893 | 32,9118 | 37,1157 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:05:03 | 23,9736 | 25,0893 | 32,9118 | 37,1157 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 13:05:34 | 23,9736 | 25,0893 | 32,9581 | 37,1605 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 13:06:04 | 23,9736 | 25,0893 | 32,9118 | 37,2054 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:06:35 | 23,9736 | 25,0893 | 32,9581 | 37,2502 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 13:07:05 | 23,9736 | 25,1365 | 33,0506 | 37,3847 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 13:07:35 | 23,9736 | 25,1365 | 33,0968 | 37,4295 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:08:06 | 23,9736 | 25,1365 | 33,1431 | 37,4743 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 13:08:36 | 23,9736 | 25,1365 | 33,1893 | 37,4743 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:09:07 | 23,9736 | 25,1365 | 33,1893 | 37,3847 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:09:37 | 24,0208 | 25,1365 | 33,1893 | 37,4295 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:10:08 | 24,0208 | 25,1365 | 33,1893 | 37,4295 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:10:38 | 24,0208 | 25,1365 | 33,1893 | 37,4743 | 252,2397 |
| 14/09/2017 | 13:11:08 | 24,0679 | 25,1365 | 33,2355 | 37,5191 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:11:39 | 24,0679 | 25,1837 | 33,2355 | 37,5639 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:12:09 | 24,0679 | 25,1837 | 33,2817 | 37,5639 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:12:40 | 24,0679 | 25,1837 | 33,3279 | 37,6087 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:13:10 | 24,0679 | 25,1837 | 33,3279 | 37,6534 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:13:40 | 24,0679 | 25,1837 | 33,3742 | 37,6534 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:14:11 | 24,0679 | 25,1837 | 33,3742 | 37,6982 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:14:41 | 24,0679 | 25,2309 | 33,4204 | 37,743  | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:15:12 | 24,0679 | 25,2309 | 33,4204 | 37,743  | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:15:42 | 24,115  | 25,2309 | 33,4204 | 37,7877 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:16:12 | 24,115  | 25,2309 | 33,4665 | 37,8325 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:16:43 | 24,115  | 25,2309 | 33,5127 | 37,8325 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:17:13 | 24,115  | 25,2309 | 33,5589 | 37,8325 | 251,8443 |
| 14/09/2017 | 13:17:44 | 24,115  | 25,2309 | 33,5589 | 37,8772 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:18:14 | 24,115  | 25,2309 | 33,6051 | 37,922  | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:18:45 | 24,115  | 25,2781 | 33,6974 | 38,0114 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:19:15 | 24,0679 | 25,2309 | 33,7436 | 38,1008 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:19:45 | 24,115  | 25,2781 | 33,7898 | 38,1456 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:20:16 | 24,115  | 25,2781 | 33,8359 | 38,1008 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:20:46 | 24,115  | 25,2781 | 33,8359 | 38,0114 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:21:17 | 24,115  | 25,2781 | 33,8359 | 38,0561 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:21:47 | 24,115  | 25,2781 | 33,8359 | 38,1008 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:22:17 | 24,115  | 25,2781 | 33,8359 | 38,0561 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:22:48 | 24,1622 | 25,2781 | 33,8359 | 38,1008 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:23:18 | 24,1622 | 25,3254 | 33,8359 | 38,1008 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:23:49 | 24,1622 | 25,3254 | 33,8359 | 38,1008 | 251,449  |

|            |          |         |         |         |         |          |
|------------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 14/09/2017 | 13:24:19 | 24,1622 | 25,3254 | 33,8359 | 38,1456 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:24:50 | 24,1622 | 25,3254 | 33,8359 | 38,1456 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:25:20 | 24,1622 | 25,3254 | 33,882  | 38,1456 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:25:50 | 24,1622 | 25,3254 | 33,9282 | 38,1456 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:26:21 | 24,1622 | 25,3726 | 33,9282 | 38,1903 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:26:51 | 24,1622 | 25,3726 | 33,9282 | 38,1903 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:27:22 | 24,1622 | 25,3726 | 33,9282 | 38,2349 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:27:52 | 24,1622 | 25,3726 | 33,9743 | 38,3243 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:28:22 | 24,1622 | 25,3726 | 33,9743 | 38,369  | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:28:53 | 24,2093 | 25,3726 | 33,9743 | 38,369  | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:29:23 | 24,2093 | 25,4198 | 34,0204 | 38,4136 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:29:54 | 24,2093 | 25,3726 | 34,0204 | 38,4136 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:30:24 | 24,2093 | 25,4198 | 34,0204 | 38,4583 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:30:54 | 24,2093 | 25,4198 | 34,0666 | 38,5476 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:31:25 | 24,2093 | 25,4198 | 34,1127 | 38,6369 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:31:55 | 24,2093 | 25,4198 | 34,1588 | 38,6369 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:32:26 | 24,1622 | 25,4198 | 34,1588 | 38,6815 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:32:56 | 24,1622 | 25,4198 | 34,2049 | 38,7261 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:33:27 | 24,2093 | 25,4198 | 34,2049 | 38,6815 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:33:57 | 24,2093 | 25,4198 | 34,1588 | 38,6369 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:34:27 | 24,2093 | 25,4198 | 34,1588 | 38,6815 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:34:58 | 24,2093 | 25,4198 | 34,1588 | 38,6369 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:35:28 | 24,2093 | 25,467  | 34,2049 | 38,6815 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:35:59 | 24,2564 | 25,467  | 34,2049 | 38,6815 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:36:29 | 24,2564 | 25,467  | 34,2049 | 38,6815 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:36:59 | 24,2564 | 25,467  | 34,2049 | 38,7707 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:37:30 | 24,2564 | 25,467  | 34,251  | 38,8153 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:38:00 | 24,2564 | 25,467  | 34,251  | 38,8599 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:38:31 | 24,2564 | 25,5142 | 34,2971 | 38,8153 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:39:01 | 24,2564 | 25,467  | 34,2971 | 38,8153 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:39:31 | 24,2564 | 25,5142 | 34,3431 | 38,8153 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:40:02 | 24,2564 | 25,5142 | 34,3892 | 38,8599 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:40:32 | 24,2564 | 25,5142 | 34,3892 | 38,9045 | 251,0536 |
| 14/09/2017 | 13:41:03 | 24,2564 | 25,5142 | 34,4353 | 38,9491 | 251,449  |
| 14/09/2017 | 13:41:33 | 24,2564 | 25,467  | 34,3892 | 38,9937 | 251,0536 |

### 8.3.2 Segundo ensayo

La primera columna ha sido omitida ya que solo indica el día de la medición que fue el 18/09/2017 y el encabezado ha sido alterado para que la tabla cupiera en la hoja.

#### Primer tramo

| Hora     | Temp 1  | Temp 2  | Temp 3  | Temp 4  | Temp 5  | Temp 6  | Temp 7  | Temp 8  | Intensidad |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|
| 14:02:39 | 20,9498 | 20,9204 | 21,3387 | 21,6553 | 21,4264 | 21,3218 | 21,2621 | 21,452  | 0,7907     |
| 14:03:10 | 20,9498 | 20,9204 | 21,3387 | 21,6553 | 21,4264 | 21,3218 | 21,2621 | 21,452  | 0,7907     |
| 14:03:40 | 20,9498 | 20,9204 | 21,3387 | 21,6553 | 21,4264 | 21,3218 | 21,2621 | 21,452  | 0,7907     |
| 14:04:10 | 20,9498 | 20,9204 | 21,3387 | 21,6553 | 21,4264 | 21,3218 | 21,2621 | 21,4042 | 0,7907     |
| 14:04:41 | 20,9498 | 20,9204 | 21,3387 | 21,6553 | 21,4264 | 21,3218 | 21,2621 | 21,4042 | 0,7907     |
| 14:05:11 | 20,9498 | 20,9204 | 21,3387 | 21,6553 | 21,4264 | 21,3218 | 21,2621 | 21,4042 | 0,7907     |
| 14:05:42 | 20,9498 | 20,9204 | 21,3387 | 21,6553 | 21,4736 | 21,3218 | 21,2621 | 21,4042 | 0,7907     |
| 14:06:12 | 20,9498 | 20,9204 | 21,3387 | 21,6553 | 21,4736 | 21,3695 | 21,2621 | 21,4042 | 0,7907     |
| 14:06:42 | 20,9498 | 20,9204 | 21,3861 | 21,6553 | 21,4736 | 21,3695 | 21,2621 | 21,4042 | 0,7907     |
| 14:07:13 | 20,9498 | 20,9204 | 21,3861 | 21,6553 | 21,4736 | 21,3695 | 21,2621 | 21,4042 | 0,7907     |
| 14:07:43 | 20,9498 | 20,9204 | 21,3861 | 21,6553 | 21,4736 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 0,7907     |
| 14:08:14 | 20,9498 | 20,9204 | 21,3861 | 21,7017 | 21,4736 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 0,7907     |
| 14:08:44 | 20,9498 | 20,9204 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4736 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 0,7907     |
| 14:09:15 | 20,9498 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 0,7907     |
| 14:09:45 | 20,9498 | 20,9204 | 21,4808 | 21,6553 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 0,7907     |
| 14:10:15 | 20,9498 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 0,7907     |

#### Segundo tramo

Las dos primeras mediciones se pueden omitir ya que son mediciones que se tomaron mientras se regulaba la fuente de tensión.

| Hora     | Temp 1  | Temp 2  | Temp 3  | Temp 4  | Temp 5  | Temp 6  | Temp 7  | Temp 8  | Intensidad |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|
| 14:10:46 | 20,9971 | 20,9204 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 275,5659   |
| 14:11:16 | 20,9971 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4736 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 0,7907     |
| 14:11:47 | 21,0445 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 250,6582   |
| 14:12:17 | 21,0445 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 250,2629   |
| 14:12:47 | 21,0918 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 250,2629   |
| 14:13:18 | 21,0918 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 250,2629   |
| 14:13:48 | 21,1392 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 250,2629   |
| 14:14:19 | 21,1865 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 250,2629   |
| 14:14:49 | 21,2338 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 250,2629   |
| 14:15:19 | 21,2812 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 250,2629   |
| 14:15:50 | 21,3285 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3577 | 21,4042 | 250,2629   |
| 14:16:20 | 21,3758 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3577 | 21,4042 | 249,8675   |
| 14:16:51 | 21,4231 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,3791 | 21,3695 | 21,3577 | 21,4042 | 249,8675   |
| 14:17:21 | 21,4704 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3577 | 21,4042 | 249,4722   |
| 14:17:52 | 21,5177 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3099 | 21,4042 | 249,8675   |

|          |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 14:18:22 | 21,6124 | 20,9679 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3577 | 21,4042 | 249,4722 |
| 14:18:52 | 21,6124 | 20,9679 | 21,4808 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3577 | 21,4042 | 249,4722 |
| 14:19:23 | 21,6597 | 20,9679 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3577 | 21,4042 | 249,4722 |
| 14:19:53 | 21,707  | 20,9679 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,4171 | 21,3577 | 21,4042 | 248,6814 |
| 14:20:24 | 21,7543 | 20,9679 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3577 | 21,4042 | 249,4722 |
| 14:20:54 | 21,8016 | 20,9679 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3577 | 21,4042 | 249,0768 |
| 14:21:24 | 21,8488 | 21,0154 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3577 | 21,4042 | 249,0768 |
| 14:21:55 | 21,8961 | 20,9679 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3577 | 21,4042 | 248,2861 |
| 14:22:25 | 21,9434 | 21,0154 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3577 | 21,4042 | 248,6814 |
| 14:22:56 | 21,9907 | 21,0154 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,3577 | 21,4042 | 249,0768 |
| 14:23:26 | 22,038  | 21,0154 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,4171 | 21,3577 | 21,4042 | 248,6814 |
| 14:23:57 | 22,038  | 21,0154 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,4055 | 21,4042 | 248,6814 |
| 14:24:27 | 22,0852 | 21,0154 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,4055 | 21,4042 | 248,6814 |
| 14:24:57 | 22,1325 | 21,0154 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,4055 | 21,4042 | 248,2861 |
| 14:25:28 | 22,1798 | 21,0154 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,4171 | 21,4055 | 21,452  | 248,2861 |
| 14:25:58 | 22,2271 | 21,0154 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,4055 | 21,452  | 248,2861 |
| 14:26:29 | 22,2743 | 21,0154 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4264 | 21,3695 | 21,4055 | 21,452  | 248,2861 |
| 14:26:59 | 22,2743 | 21,0154 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4736 | 21,3695 | 21,4055 | 21,452  | 248,6814 |
| 14:27:29 | 22,3216 | 21,0154 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4736 | 21,3695 | 21,4533 | 21,452  | 248,2861 |
| 14:28:00 | 22,3688 | 21,0629 | 21,5281 | 21,7017 | 21,4736 | 21,3695 | 21,4533 | 21,452  | 248,6814 |
| 14:28:30 | 22,3688 | 21,0629 | 21,5754 | 21,7017 | 21,4736 | 21,4171 | 21,4533 | 21,452  | 248,2861 |
| 14:29:01 | 22,4161 | 21,0629 | 21,5754 | 21,7017 | 21,4736 | 21,3695 | 21,4533 | 21,452  | 248,2861 |
| 14:29:31 | 22,4633 | 21,0629 | 21,5754 | 21,7017 | 21,4736 | 21,4171 | 21,4533 | 21,452  | 248,6814 |
| 14:30:02 | 22,5106 | 21,0629 | 21,5754 | 21,7017 | 21,4736 | 21,4171 | 21,4533 | 21,452  | 248,2861 |
| 14:30:32 | 22,5106 | 21,0629 | 21,5754 | 21,7017 | 21,4736 | 21,4171 | 21,5011 | 21,452  | 249,0768 |
| 14:31:02 | 22,5578 | 21,0629 | 21,5754 | 21,7017 | 21,4736 | 21,4171 | 21,5011 | 21,452  | 248,6814 |
| 14:31:33 | 22,5578 | 21,0629 | 21,5754 | 21,7017 | 21,4736 | 21,3695 | 21,5011 | 21,452  | 248,6814 |
| 14:32:03 | 22,6051 | 21,0629 | 21,5754 | 21,7017 | 21,4736 | 21,4171 | 21,5011 | 21,452  | 248,6814 |
| 14:32:34 | 22,6523 | 21,1104 | 21,5754 | 21,7017 | 21,5209 | 21,4171 | 21,5011 | 21,452  | 248,2861 |
| 14:33:04 | 22,6523 | 21,1104 | 21,5754 | 21,7017 | 21,5209 | 21,4171 | 21,5011 | 21,452  | 248,2861 |
| 14:33:34 | 22,6995 | 21,1104 | 21,5754 | 21,7017 | 21,5209 | 21,4171 | 21,5011 | 21,452  | 248,2861 |
| 14:34:05 | 22,7468 | 21,1104 | 21,6228 | 21,7017 | 21,5209 | 21,4171 | 21,5489 | 21,452  | 248,2861 |
| 14:34:35 | 22,7468 | 21,1104 | 21,6228 | 21,7017 | 21,5209 | 21,4171 | 21,5489 | 21,452  | 248,2861 |
| 14:35:06 | 22,794  | 21,1104 | 21,6228 | 21,7017 | 21,5209 | 21,4171 | 21,5489 | 21,452  | 248,2861 |
| 14:35:36 | 22,794  | 21,1104 | 21,6228 | 21,7017 | 21,5209 | 21,4171 | 21,5489 | 21,452  | 248,2861 |
| 14:36:06 | 22,8412 | 21,1104 | 21,6228 | 21,7017 | 21,5209 | 21,4171 | 21,5489 | 21,452  | 248,2861 |
| 14:36:37 | 22,8412 | 21,1579 | 21,6228 | 21,7017 | 21,5209 | 21,4171 | 21,5966 | 21,4998 | 247,8907 |
| 14:37:07 | 22,8884 | 21,1579 | 21,6228 | 21,7482 | 21,5682 | 21,4171 | 21,5966 | 21,4998 | 247,8907 |
| 14:37:38 | 22,8884 | 21,1579 | 21,6228 | 21,7017 | 21,5682 | 21,4171 | 21,5966 | 21,4998 | 248,2861 |
| 14:38:08 | 22,9357 | 21,1579 | 21,6228 | 21,7482 | 21,5682 | 21,4171 | 21,5966 | 21,4998 | 247,8907 |
| 14:38:39 | 22,9357 | 21,1579 | 21,6228 | 21,7482 | 21,5682 | 21,4171 | 21,5966 | 21,4998 | 247,8907 |
| 14:39:09 | 22,9829 | 21,2054 | 21,6228 | 21,7482 | 21,5682 | 21,4171 | 21,5966 | 21,4998 | 248,2861 |
| 14:39:39 | 23,0301 | 21,2054 | 21,6701 | 21,7482 | 21,5682 | 21,4171 | 21,6444 | 21,4998 | 247,8907 |
| 14:40:10 | 23,0301 | 21,2054 | 21,6701 | 21,7017 | 21,5682 | 21,4171 | 21,6444 | 21,4998 | 248,2861 |
| 14:40:40 | 23,0301 | 21,2054 | 21,6701 | 21,7482 | 21,5682 | 21,4171 | 21,6444 | 21,4998 | 247,4954 |

|          |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 14:41:11 | 23,0773 | 21,2054 | 21,6701 | 21,7482 | 21,6154 | 21,4171 | 21,6444 | 21,4998 | 247,4954 |
| 14:41:41 | 23,0773 | 21,2054 | 21,6701 | 21,7482 | 21,6154 | 21,4171 | 21,6444 | 21,4998 | 247,8907 |
| 14:42:11 | 23,1245 | 21,2054 | 21,6701 | 21,7482 | 21,6154 | 21,4171 | 21,6922 | 21,4998 | 247,8907 |
| 14:42:42 | 23,1245 | 21,2054 | 21,6701 | 21,7482 | 21,6154 | 21,4171 | 21,6922 | 21,5476 | 247,8907 |
| 14:43:12 | 23,1717 | 21,2529 | 21,6701 | 21,7482 | 21,6154 | 21,4171 | 21,6922 | 21,5476 | 248,2861 |
| 14:43:43 | 23,1717 | 21,2529 | 21,6701 | 21,7482 | 21,6154 | 21,4171 | 21,6922 | 21,5476 | 246,7046 |
| 14:44:13 | 23,1717 | 21,2529 | 21,6701 | 21,7482 | 21,6154 | 21,4171 | 21,6922 | 21,5476 | 247,4954 |
| 14:44:44 | 23,2189 | 21,2529 | 21,7174 | 21,7482 | 21,6154 | 21,4171 | 21,6922 | 21,5476 | 247,8907 |
| 14:45:14 | 23,2189 | 21,2529 | 21,7174 | 21,7482 | 21,6154 | 21,4171 | 21,74   | 21,5476 | 247,1    |
| 14:45:44 | 23,2661 | 21,2529 | 21,7174 | 21,7482 | 21,6627 | 21,4171 | 21,74   | 21,5476 | 247,4954 |
| 14:46:15 | 23,2661 | 21,3004 | 21,7174 | 21,7482 | 21,6627 | 21,4171 | 21,74   | 21,5476 | 247,4954 |
| 14:46:45 | 23,3133 | 21,3004 | 21,7174 | 21,7482 | 21,6627 | 21,4171 | 21,74   | 21,5476 | 247,8907 |
| 14:47:16 | 23,3133 | 21,3004 | 21,7174 | 21,7482 | 21,6627 | 21,4171 | 21,74   | 21,5954 | 247,8907 |
| 14:47:46 | 23,3605 | 21,3004 | 21,7174 | 21,7482 | 21,6627 | 21,4171 | 21,74   | 21,5954 | 247,8907 |
| 14:48:16 | 23,3605 | 21,3004 | 21,7174 | 21,7482 | 21,6627 | 21,4171 | 21,7878 | 21,5954 | 247,4954 |
| 14:48:47 | 23,3605 | 21,3004 | 21,7647 | 21,7482 | 21,71   | 21,4171 | 21,7878 | 21,5954 | 247,1    |
| 14:49:17 | 23,4077 | 21,3478 | 21,7647 | 21,7482 | 21,71   | 21,4171 | 21,7878 | 21,5954 | 247,4954 |
| 14:49:48 | 23,4077 | 21,3478 | 21,7647 | 21,7482 | 21,71   | 21,4171 | 21,7878 | 21,5954 | 247,8907 |
| 14:50:18 | 23,4077 | 21,3478 | 21,7647 | 21,7482 | 21,71   | 21,4171 | 21,7878 | 21,5954 | 247,1    |
| 14:50:48 | 23,4549 | 21,3478 | 21,7647 | 21,7482 | 21,71   | 21,4171 | 21,7878 | 21,5954 | 247,4954 |
| 14:51:19 | 23,4549 | 21,3478 | 21,7647 | 21,7482 | 21,71   | 21,4171 | 21,8356 | 21,5954 | 247,4954 |
| 14:51:49 | 23,4549 | 21,3478 | 21,7647 | 21,7482 | 21,71   | 21,4171 | 21,8356 | 21,5954 | 247,4954 |
| 14:52:20 | 23,502  | 21,3478 | 21,7647 | 21,7482 | 21,71   | 21,4171 | 21,8356 | 21,5954 | 247,4954 |
| 14:52:50 | 23,502  | 21,3953 | 21,7647 | 21,7482 | 21,7572 | 21,4171 | 21,8356 | 21,6431 | 247,4954 |
| 14:53:21 | 23,502  | 21,3953 | 21,7647 | 21,7482 | 21,7572 | 21,4171 | 21,8833 | 21,6431 | 247,4954 |
| 14:53:51 | 23,5492 | 21,3953 | 21,7647 | 21,7482 | 21,7572 | 21,4171 | 21,8833 | 21,6431 | 247,4954 |
| 14:54:21 | 23,5492 | 21,3953 | 21,8121 | 21,7482 | 21,7572 | 21,4171 | 21,8833 | 21,6431 | 247,4954 |
| 14:54:52 | 23,5492 | 21,3953 | 21,8121 | 21,7482 | 21,7572 | 21,4171 | 21,8833 | 21,6431 | 247,1    |
| 14:55:22 | 23,5964 | 21,3953 | 21,8121 | 21,7482 | 21,7572 | 21,4171 | 21,8833 | 21,6431 | 247,4954 |
| 14:55:53 | 23,5964 | 21,3953 | 21,8121 | 21,7482 | 21,8045 | 21,4171 | 21,9311 | 21,6431 | 247,4954 |
| 14:56:23 | 23,5964 | 21,4428 | 21,8121 | 21,7482 | 21,8045 | 21,4171 | 21,9311 | 21,6431 | 247,4954 |
| 14:56:53 | 23,6435 | 21,4428 | 21,8121 | 21,7482 | 21,8045 | 21,4171 | 21,9311 | 21,6431 | 247,4954 |
| 14:57:24 | 23,6435 | 21,4428 | 21,8121 | 21,7482 | 21,8045 | 21,4171 | 21,9311 | 21,6909 | 247,4954 |
| 14:57:54 | 23,6435 | 21,4428 | 21,8121 | 21,7482 | 21,8045 | 21,4171 | 21,9311 | 21,6909 | 247,1    |
| 14:58:25 | 23,6907 | 21,4428 | 21,8121 | 21,7482 | 21,8045 | 21,4171 | 21,9311 | 21,6909 | 247,4954 |
| 14:58:55 | 23,6907 | 21,4428 | 21,8594 | 21,7482 | 21,8045 | 21,4171 | 21,9789 | 21,6909 | 247,4954 |
| 14:59:26 | 23,6907 | 21,4428 | 21,8594 | 21,7482 | 21,8045 | 21,4171 | 21,9789 | 21,6909 | 247,4954 |
| 14:59:56 | 23,6907 | 21,4903 | 21,8594 | 21,7482 | 21,8045 | 21,4171 | 21,9789 | 21,6909 | 247,8907 |
| 15:00:26 | 23,7379 | 21,4903 | 21,8594 | 21,7482 | 21,8045 | 21,4171 | 21,9789 | 21,6909 | 247,4954 |
| 15:00:57 | 23,7379 | 21,4903 | 21,8594 | 21,7482 | 21,8517 | 21,4171 | 21,9789 | 21,6909 | 247,4954 |
| 15:01:27 | 23,7379 | 21,4903 | 21,8594 | 21,7482 | 21,8517 | 21,4171 | 21,9789 | 21,6909 | 247,1    |
| 15:01:58 | 23,785  | 21,4903 | 21,8594 | 21,7482 | 21,8517 | 21,4171 | 22,0266 | 21,6909 | 247,4954 |
| 15:02:28 | 23,785  | 21,4903 | 21,8594 | 21,7482 | 21,8517 | 21,4171 | 22,0266 | 21,7387 | 247,4954 |
| 15:02:58 | 23,785  | 21,5378 | 21,9067 | 21,7482 | 21,8517 | 21,4171 | 22,0266 | 21,7387 | 247,4954 |
| 15:03:29 | 23,785  | 21,5378 | 21,9067 | 21,7482 | 21,8517 | 21,4648 | 22,0266 | 21,7387 | 247,1    |

|          |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 15:03:59 | 23,8322 | 21,5378 | 21,9067 | 21,7947 | 21,8517 | 21,4171 | 22,0266 | 21,7387 | 247,4954 |
| 15:04:30 | 23,8322 | 21,5378 | 21,9067 | 21,7482 | 21,8517 | 21,4648 | 22,0744 | 21,7387 | 247,4954 |
| 15:05:00 | 23,8322 | 21,5378 | 21,9067 | 21,7947 | 21,899  | 21,4171 | 22,0266 | 21,7387 | 247,4954 |
| 15:05:31 | 23,8322 | 21,5378 | 21,9067 | 21,7947 | 21,899  | 21,4171 | 22,0744 | 21,7387 | 247,1    |
| 15:06:01 | 23,8793 | 21,5378 | 21,9067 | 21,7947 | 21,899  | 21,4648 | 22,0744 | 21,7387 | 247,1    |
| 15:06:31 | 23,8793 | 21,5852 | 21,9067 | 21,7947 | 21,899  | 21,4648 | 22,0744 | 21,7864 | 247,4954 |
| 15:07:02 | 23,8793 | 21,5852 | 21,9067 | 21,7947 | 21,899  | 21,4171 | 22,0744 | 21,7864 | 247,4954 |
| 15:07:32 | 23,8793 | 21,5852 | 21,954  | 21,7947 | 21,899  | 21,4648 | 22,0744 | 21,7864 | 247,4954 |
| 15:08:03 | 23,9265 | 21,5852 | 21,954  | 21,7947 | 21,899  | 21,4648 | 22,1221 | 21,7864 | 247,1    |
| 15:08:33 | 23,9736 | 21,5852 | 21,954  | 21,7947 | 21,9462 | 21,4171 | 22,1221 | 21,7864 | 246,7046 |
| 15:09:03 | 23,9736 | 21,5852 | 21,954  | 21,7947 | 21,9462 | 21,4171 | 22,1221 | 21,7864 | 246,7046 |

### Tercer tramo

Las dos primeras mediciones se pueden omitir ya que son mediciones que se tomaron mientras se regulaba la fuente de tensión.

| Hora     | Temp 1  | Temp 2  | Temp 3  | Temp 4  | Temp 5  | Temp 6  | Temp 7  | Temp 8  | Intensidad |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|
| 15:09:34 | 23,9736 | 21,5852 | 21,954  | 21,7947 | 21,9462 | 21,4648 | 22,1221 | 21,7864 | 283,0778   |
| 15:10:04 | 23,9736 | 21,5852 | 21,954  | 21,7947 | 21,9462 | 21,4648 | 22,1221 | 21,7864 | 306,7994   |
| 15:10:35 | 24,0208 | 21,6327 | 22,0486 | 21,7947 | 21,9934 | 21,4648 | 22,1699 | 21,8342 | 307,1947   |
| 15:11:05 | 24,0208 | 21,6327 | 22,0486 | 21,7947 | 21,9934 | 21,4648 | 22,1699 | 21,7864 | 306,7994   |
| 15:11:36 | 24,0679 | 21,6327 | 22,0486 | 21,7947 | 21,9934 | 21,4648 | 22,1699 | 21,8342 | 307,1947   |
| 15:12:06 | 24,0679 | 21,6327 | 22,0486 | 21,7947 | 21,9934 | 21,4648 | 22,1699 | 21,8342 | 306,7994   |
| 15:12:36 | 24,0679 | 21,6327 | 22,0486 | 21,7947 | 21,9934 | 21,4648 | 22,1699 | 21,8342 | 306,7994   |
| 15:13:07 | 24,115  | 21,6327 | 22,0486 | 21,7947 | 21,9934 | 21,4648 | 22,2176 | 21,8342 | 307,1947   |
| 15:13:37 | 24,1622 | 21,6327 | 22,0486 | 21,7947 | 21,9934 | 21,4648 | 22,2176 | 21,8342 | 306,7994   |
| 15:14:08 | 24,1622 | 21,6327 | 22,0486 | 21,7947 | 21,9934 | 21,4648 | 22,2176 | 21,8342 | 307,1947   |
| 15:14:38 | 24,2093 | 21,6802 | 22,0486 | 21,7947 | 21,9934 | 21,4648 | 22,2176 | 21,8342 | 306,7994   |
| 15:15:08 | 24,2564 | 21,6802 | 22,0486 | 21,7947 | 21,9934 | 21,4648 | 22,2176 | 21,8342 | 306,404    |
| 15:15:39 | 24,2564 | 21,6802 | 22,0486 | 21,7947 | 22,0407 | 21,4648 | 22,2654 | 21,882  | 306,404    |
| 15:16:09 | 24,3035 | 21,6802 | 22,0959 | 21,7947 | 22,0407 | 21,4648 | 22,2654 | 21,882  | 307,1947   |
| 15:16:40 | 24,3507 | 21,6802 | 22,0959 | 21,7947 | 22,0407 | 21,4648 | 22,2654 | 21,882  | 307,1947   |
| 15:17:10 | 24,3978 | 21,6802 | 22,0959 | 21,7947 | 22,0407 | 21,4648 | 22,2654 | 21,882  | 306,7994   |
| 15:17:40 | 24,4449 | 21,7276 | 22,0959 | 21,7947 | 22,0407 | 21,4648 | 22,2654 | 21,882  | 306,7994   |
| 15:18:11 | 24,492  | 21,7276 | 22,0959 | 21,7947 | 22,0407 | 21,4648 | 22,2654 | 21,882  | 306,404    |
| 15:18:41 | 24,492  | 21,7276 | 22,0959 | 21,7947 | 22,0407 | 21,4648 | 22,3131 | 21,882  | 306,7994   |
| 15:19:12 | 24,5391 | 21,7276 | 22,0959 | 21,7947 | 22,0407 | 21,4648 | 22,3131 | 21,882  | 306,7994   |
| 15:19:42 | 24,5391 | 21,7276 | 22,0959 | 21,7947 | 22,0879 | 21,4648 | 22,3131 | 21,9297 | 306,7994   |
| 15:20:12 | 24,5862 | 21,7276 | 22,0959 | 21,8411 | 22,0879 | 21,4648 | 22,3131 | 21,9297 | 306,0086   |
| 15:20:43 | 24,6333 | 21,7276 | 22,0959 | 21,7947 | 22,0879 | 21,4648 | 22,3131 | 21,9297 | 306,0086   |
| 15:21:13 | 24,6804 | 21,7276 | 22,1432 | 21,8411 | 22,0879 | 21,4648 | 22,3609 | 21,9297 | 306,404    |
| 15:21:44 | 24,7275 | 21,7751 | 22,1432 | 21,8411 | 22,0879 | 21,4648 | 22,3609 | 21,9297 | 306,404    |
| 15:22:14 | 24,7275 | 21,7751 | 22,1432 | 21,8411 | 22,0879 | 21,4648 | 22,3609 | 21,9297 | 306,7994   |
| 15:22:44 | 24,7745 | 21,7751 | 22,1432 | 21,8411 | 22,0879 | 21,4648 | 22,3609 | 21,9297 | 306,0086   |

|          |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 15:23:15 | 24,8216 | 21,7751 | 22,1432 | 21,8411 | 22,1351 | 21,4648 | 22,3609 | 21,9297 | 306,0086 |
| 15:23:45 | 24,8216 | 21,7751 | 22,1432 | 21,8411 | 22,1351 | 21,4648 | 22,3609 | 21,9775 | 306,404  |
| 15:24:16 | 24,8687 | 21,7751 | 22,1432 | 21,8411 | 22,1351 | 21,4648 | 22,3609 | 21,9775 | 306,404  |
| 15:24:46 | 24,9158 | 21,8225 | 22,1432 | 21,8411 | 22,1351 | 21,4648 | 22,4086 | 21,9775 | 306,0086 |
| 15:25:16 | 24,9158 | 21,8225 | 22,1905 | 21,8411 | 22,1351 | 21,4648 | 22,4086 | 21,9775 | 306,0086 |
| 15:25:47 | 24,9629 | 21,8225 | 22,1905 | 21,8411 | 22,1351 | 21,4648 | 22,4086 | 21,9775 | 306,0086 |
| 15:26:17 | 24,9629 | 21,8225 | 22,1905 | 21,8411 | 22,1824 | 21,4648 | 22,4086 | 21,9775 | 305,6133 |
| 15:26:48 | 25,0099 | 21,8225 | 22,1905 | 21,8411 | 22,1824 | 21,4648 | 22,4564 | 21,9775 | 305,2179 |
| 15:27:18 | 25,057  | 21,8225 | 22,1905 | 21,8411 | 22,1824 | 21,4648 | 22,4564 | 21,9775 | 305,6133 |
| 15:27:48 | 25,057  | 21,8225 | 22,1905 | 21,8411 | 22,1824 | 21,4648 | 22,4564 | 22,0252 | 305,2179 |
| 15:28:19 | 25,104  | 21,87   | 22,1905 | 21,8411 | 22,1824 | 21,4648 | 22,4564 | 22,0252 | 305,6133 |
| 15:28:49 | 25,104  | 21,87   | 22,2378 | 21,8411 | 22,1824 | 21,5125 | 22,4564 | 22,0252 | 305,2179 |
| 15:29:20 | 25,1511 | 21,87   | 22,2378 | 21,8411 | 22,1824 | 21,4648 | 22,5041 | 22,0252 | 305,6133 |
| 15:29:50 | 25,1981 | 21,87   | 22,2378 | 21,8411 | 22,2296 | 21,5125 | 22,5041 | 22,0252 | 305,2179 |
| 15:30:20 | 25,1981 | 21,87   | 22,2378 | 21,8411 | 22,2296 | 21,5125 | 22,5041 | 22,0252 | 305,2179 |
| 15:30:51 | 25,2452 | 21,9174 | 22,2378 | 21,8411 | 22,2296 | 21,4648 | 22,5041 | 22,0252 | 305,2179 |
| 15:31:21 | 25,2452 | 21,9174 | 22,2378 | 21,8411 | 22,2296 | 21,4648 | 22,5041 | 22,0252 | 305,2179 |
| 15:31:52 | 25,2452 | 21,9174 | 22,2378 | 21,8411 | 22,2296 | 21,5125 | 22,5518 | 22,073  | 305,2179 |
| 15:32:22 | 25,2922 | 21,9174 | 22,2851 | 21,8411 | 22,2296 | 21,5125 | 22,5518 | 22,073  | 305,2179 |
| 15:32:53 | 25,2922 | 21,9174 | 22,2851 | 21,8411 | 22,2296 | 21,5125 | 22,5518 | 22,073  | 305,6133 |
| 15:33:23 | 25,3393 | 21,9174 | 22,2851 | 21,8411 | 22,2768 | 21,5125 | 22,5518 | 22,073  | 305,6133 |
| 15:33:53 | 25,3863 | 21,9649 | 22,2851 | 21,8411 | 22,2768 | 21,5125 | 22,5518 | 22,073  | 305,2179 |
| 15:34:24 | 25,3863 | 21,9649 | 22,2851 | 21,8411 | 22,2768 | 21,5125 | 22,5995 | 22,073  | 304,8226 |
| 15:34:54 | 25,3863 | 21,9649 | 22,2851 | 21,8875 | 22,2768 | 21,5125 | 22,5995 | 22,073  | 305,6133 |
| 15:35:25 | 25,4334 | 21,9649 | 22,2851 | 21,8411 | 22,2768 | 21,5125 | 22,5995 | 22,073  | 305,2179 |