



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

Titulación:

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE UN HORNO DE
FUNDIDO MEDIANTE ARDUINO Y LABVIEW.**

Fermín Pérez Diago

Ángel María Andueza Unanua

Pamplona, 26 de Febrero de 2016

ÍNDICE

RESUMEN	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. OBJETIVOS.....	8
1.2. ESTADO DEL ARTE.....	9
1.2.1. SENSORES DE CORRIENTE.....	11
1.2.2. TIPOS DE HORNOS.....	12
1.2.3. CONTROLADOR TODO O NADA.....	16
1.2.4. ARDUINO.....	17
2. PROPUESTA DE DISEÑO DEL PROTOTIPO	18
2.1. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO	18
2.2. SENSADO TEMPERATURA.....	20
2.2.1. TERMOPAR	20
2.2.2. LM35.....	21
2.2.3. HORNO INDUSTRIAL.....	22
2.3. SENSADO DE CORRIENTE.....	23
2.3.1. LEM 25A-NP.....	23
2.3.2. ACS 712.....	24
2.4. ACONDICIONAMIENTO	26
2.4.1. INA 118P.....	26
2.4.2. CONVERTIDOR DC-DC.....	27
2.5. ACTUADOR-RELÉ	27
2.5.1. ARDUINO	29
2.5.2. LABVIEW	30
3. DISEÑO Y DESARROLLO DEL HARDWARE	32
3.1. SISTEMA DE SENSADO DE TEMPERATURA.....	33
3.1.1. ALCANCE TERMOPAR.....	33
3.1.2. ACONDICIONAMIENTO	34
3.1.3. DISCUSIÓN LEM35.....	38
3.1.4. CALIBRACIÓN FINAL.....	40

3.2. SISTEMA DE SENSADO DE CORRIENTE.....	41
3.2.1. DISEÑO LEM25A.....	42
3.2.2. DISEÑO ACS712.....	44
3.2.3. DISCUSIÓN ENTRE LOS DOS SENSORES.....	46
3.2.4. CALIBRACIÓN FINAL.....	46
3.3 SISTEMA DE ACTUACIÓN.....	47
4. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SOFTWARE.....	48
4.1 SISTEMA DE TEMPERATURA.....	49
4.1.1. SOFTWARE DE ENTRADA DE DATOS.....	49
4.1.2. MONITORIZACIÓN DE TEMPERATURA.....	50
4.1.3. SOFTWARE DE CÁLCULO DE TIEMPO RESTANTE.....	51
4.2. SISTEMA DE CORRIENTE.....	54
4.2.1. MONITORIZACIÓN DE CORRIENTE.....	54
4.2.2. MONITORIZACIÓN DE POTENCIA.....	55
4.3. SISTEMA DE ACTUACIÓN.....	56
4.4. RELOJ Y ALARMA.....	57
5. ENSAMBLAJE Y CREACIÓN DE UNA PLACA.....	59
6. COMPROBACIÓN DE FUNCIONAMIENTO.....	61
7. CONCLUSIÓN.....	62
8. LÍNEAS FUTURAS.....	64
9. PRESUPUESTO.....	65
10. BIBLIOGRAFÍA.....	66
11. ANEXOS.....	67
11.1 ROGRAMA ARDUINO PARA ADQUISICIÓN DE DATOS CON PLX-DAQ.....	67
11.2 SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA. COMPROBACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL TERMOPAR..	68
11.3 COMPARACIÓN UTILIZACIÓN LM35 EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTE.....	69
11.4 COMPARACIÓN MEDICIÓN DATALOGGER Y SISTEMA DE SENSADO DE TEMPERATURA.....	72
11.5. ANÁLISIS SENSOR CORRIENTE LEM25A.....	93
11.6. ANÁLISIS SENSOR CORRIENTE ACS712.....	94
11.7. CALIBRACIÓN FINAL LEM25A.....	95
11.8. FUNCIONES DE TIEMPO RESTANTE.....	103
11.9 PROGRAMACIÓN TOTAL SISTEMA (PARTE 1).....	104

11.10 PROGRAMACIÓN TOTAL DEL SISTEMA (PARTE 2).....105

ÍNDICE FIGURAS

1. EFECTO HALL
2. HORNO DE COMBUSTIÓN
3. HORNO ELÉCTRICO
4. CONTROLADOR MICROBER
5. CONTROL TODO O NADA
6. EFECTO DE UN SISTEMA ARDUINO
7. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROYECTO
8. DIAGRAMA PROYECTO
9. TERMOPAR TIPO K
10. DISTRIBUCIÓN PINES de LM35
11. ESQUEMA DEL CIRCUITO DEL HORNO
12. HORNO Y AUTOTRANSFORMADOR
13. DIFERENTES CONFIGURACIONES DEL LEM 25^A
14. LEM 25^A
15. DISTRIBUCIÓN DE PINES ACS 712
16. MONTAJE CIRCUITO ARDUINO- SENSOR
17. ESQUEMA INTERNO DEL INA P
18. DISTRIBUCIÓN DE PINES DEL CONVERTIDOR
19. FUNCIONAMIENTO DE UN RELÉ
20. MONTAJE CIRCUITO ARDUINO
21. ARDUINO UNO
22. LOGOTIPO LABVIEW
23. REPRESENTACIÓN GRÁFICA TEMPERATURA (°C)
24. MEDICIÓN TEMPERATURA CON LM35
25. MEDICIÓN TEMPERATURA SIN LM35
26. COMPARACIÓN CONFIGURACIONES
27. CIRCUITO FINAL TEMPERATURA
28. COMPARACIÓN DATALOGGER - SISTEMA
29. ESQUEMA CIRCUITO CORRIENTE
30. RESULTADO MEDICIÓN CORRIENTE
31. COMPARATIVA SENSOR-POLÍMETRO
32. COMPARATIVA FINAL
33. SISTEMA DE ACTUACIÓN
34. PANEL FRONTAL DE MONITORIZACIÓN DEL SISTEMA
35. SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS
36. SOFTWARE DE MONITORIZACIÓN DE TEMPERATURA
37. EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA A LO LARGO DEL TIEMPO
38. REPRESENTACIÓN DEL TIEMPO FRENTE A TEMPERATURA

- 39. SOFTWARE DE CÁLCULO DE TIEMPO RESTANTE**
- 40. ALGORITMO DE MEDICIÓN DE CORRIENTE**
- 41. PROGRAMACIÓN MONITORIZACIÓN DE LA CORRIENTE**
- 42. PROGRAMACIÓN MONITORIZACIÓN DE LA POTENCIA**
- 43. PROGRAMACIÓN SISTEMA DE ACTUACIÓN**
- 44. PLACA ELECTRÓNICA**
- 45. PLACA ELECTRÓNICA FABRICADA**

ÍNDICE TABLAS

- 1. TIPOS DE SENSORES DE TEMPERATURA**
- 2. PRUEBA POLÍMETRO**
- 3. TABLA DE VERDAD SISTEMA DE ACTUACIÓN**
- 4. PRESUPUESTO**

RESUMEN

El proyecto consiste en el desarrollo de un sistema de control de un horno industrial. Se implementará un sistema que mida la temperatura instantánea de un horno. También se medirá la corriente que le esté llegando, con la finalidad de hacer un control integral.

Se pretende realizar un sistema flexible, para poder ser utilizado por un usuario. Interesa que sea también intuitivo y fácil de usar ya que, aunque va dirigido a un usuario experto en tecnología, pueda de alguna manera ser utilizado por algún otro tipo de usuario en algún momento puntual.

Finalmente, se desarrollará un software que abarcará todo el sistema de control. Este software será el que le dé funcionalidad al sistema. La relación sistema de control- usuario se realizará mediante el software LabView.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS

El objetivo del proyecto es realizar un sistema de control de un horno utilizando hardware Arduino. Se pretende hacer un sistema basado en sensado-actuación-control. Las motivaciones para la realización son principalmente las inquietudes personales sobre los sistemas electrónicos de medición de magnitudes físicas. La más que creciente digitalización de la electrónica también ha sido una de las razones por las que se ha decidido realizar el control mediante software.

Dado el carácter didáctico de un proyecto de fin de carrera se ha hecho hincapié principalmente al aspecto funcional.

Los objetivos funcionales del sistema son:

- Realización de un sistema de monitorización de la temperatura del horno en tiempo real.
- Realización de un sistema de monitorización de la potencia eléctrica requerida por el horno. Para este hecho necesariamente debe hacerse un análisis de la corriente consumida en cada instante.
- También se desea que el sistema pueda realizar otras funciones que sean útiles para el usuario.

Es importante que el sistema pueda interactuar con el usuario. Para ello se tratará de realizar un sistema sencillo y comprensible al usuario final. Esa sencillez se debe llevar también al aspecto estético tanto, del software como del hardware. Aun no siendo un objetivo principal, la estética cumple un papel importante. A la hora de trabajar si un software es estéticamente agradable, la comprensión es más rápida y la actitud del usuario también cambia notablemente.

La estética del hardware, también es importante porque si se desarrolla un hardware sencillo y que no ocupe apenas lugar, el trabajo se hace más cómodamente. Dicho de otra manera, la sencillez de un sistema juega un papel importante a la hora de trabajar.

Por ello se intentará en la medida de lo posible realizar un sistema sencillo y compacto, con el objetivo de ocupar el mínimo espacio.

1.2. ESTADO DEL ARTE

A continuación se realizará una pequeña contextualización del proyecto. Se analizarán a continuación diferentes aspectos necesarios para una correcta comprensión del proyecto.

1.2.1. SENSORES DE TEMPERATURA

Existen diferentes tipos de sensores de temperatura. Dependiendo del uso que se le vaya a dar se emplearán unos u otros. Los parámetros más destacados para el diseño de cualquier proyecto relacionado con estos sensores son la *precisión*, *tipo de medición* y *el rango temperatura de medida*.

Se debe tener claro la precisión requerida. De laboratorio o industrial. La precisión del sensor elegido no depende solo del error comprobado en el certificado de calibración sino también de sus propiedades físicas, mecánicas e intrínsecas como sistema de medición ya que se debe tener controlado su comportamiento en el medio de utilización y su deriva en el tiempo. Entre el amplio abanico de sensores en el mercado éste es un pequeño resumen en cuanto a la precisión de cada uno de ellos:

- Termómetros Patrón de Resistencia de Platino (SPRT) por su precisión de medida están especificados para uso de laboratorio
- Termómetros de Resistencia (RTD y PRT) Industriales. Ofrecen grandes beneficios por su exactitud y estabilidad. Las tolerancias de temperatura especificadas en la norma IEC-751 para sensores industriales se clasifican en clase A y B, para mayores precisiones se utilizan tolerancias de 1/3 y 1/10 DIN
- Termómetros de Termopar (TC). Tienen un alcance de temperatura muy amplio, sin embargo la precisión es limitada. Los errores máximos de los diferentes tipos de termopares se clasifican en clase 1 y clase 2.
- Termistores de semiconductor (NTC, PTC)

Normalmente se realizarán mediciones por inmersión (líquidos y gases) y en superficie. El principal problema en mediciones de temperatura superficial viene por conseguir el equilibrio térmico entre la superficie a medir y el sensor.

Las mediciones por inmersión presentan menos problemas, eso sí, es necesario asegurar una longitud correcta de inmersión; en líquidos entre 8 y 10 veces el diámetro del sensor y para gases de 10 a 15 veces el diámetro.

Sin embargo una de las características más importantes a la hora de definir la usabilidad de un sensor de temperatura está en rango de medida que esté presente. En función de que temperatura máxima necesitamos medir, deberemos elegir un sensor de un tipo o de otro. Así, los rangos de temperatura correspondientes a los métodos más comunes se muestran en la tabla 1

SISTEMA	RANGO EN °C
Termopares	200 a 2800
Sistemas de dilatación (capilares o bimetalicos)	-195 a 760
Termo resistencias	250 a 850
Termistores	-195 a 450
Pirómetros de radiación	-40 a 4000

Tabla 1: Tipos de sensores de temperatura

A parte de los sensores anteriormente expuestos, existen más tipos. En este proyecto se utilizarán termopares. La razón de esta elección se encuentra en la necesidad de medir de una forma sencilla y lineal altas temperaturas por encima de los 1000°C. Los termopares son sensores basados en la unión de dos metales, de forma que cuando es sometido a una diferencia de temperatura, aparece un potencial asociado y proporcional a dicha temperatura. Este comportamiento está basado en el efecto Seebeck y Peltier.

El efecto Seebeck y el efecto Peltier son dos efectos similares pero que no hay que confundir. El efecto Seebeck consiste en generar corriente eléctrica sometiendo a la unión de dos metales diferentes a diferentes temperaturas. El efecto Peltier sin embargo, consiste en que si se aplica una corriente eléctrica a la unión de 2 metales diferentes se apreciará una diferencia de temperaturas en las uniones.

Para escoger los materiales que forman el termopar se deben tener en cuenta algunos factores que garanticen su mantenimiento y comercialización. De esta forma se han desarrollado los siguientes tipos:

- Cobre-Constantano(tipo T):Están formados por un alambre de cobre como conductor positivo y una aleación de 60% de cobre y 40% de níquel como elemento conductor negativo. Tiene un costo relativamente bajo, se utiliza para medir temperaturas bajo o 0

°C. Y como límite superior se puede considerar los 350° C, ya que el cobre se oxida violentamente a partir de los 400° C.

- Hierro – Constantano(tipo J): En este tipo de junta el hierro es electropositivo y el constantano electronegativo. Mide temperaturas superiores que el anterior ya que el hierro empieza a oxidarse a partir de los 700° C. No se recomienda su uso en atmósfera donde exista oxígeno libre. Tiene un costo muy bajo y esto permite que su utilización sea generalizada.
- Chromel-Alumel(tipo K): Una aleación de 90% de níquel y 10% de cromo es el conductor positivo y un conductor compuesto de 94% de níquel, 2% de Aluminio, 3% de manganeso y 1% de Silicio como elemento negativo. Este termopar puede medir temperaturas de hasta 1200° C, ya que el níquel lo hace resistente a la oxidación. Se los utiliza con mucha frecuencia en los hornos de tratamientos térmicos. Su costo es considerable lo que limita su utilización.
- Platino Sodio – Platino(Tipo R): Tienen como conductor negativo un alambre de platino y como conductor positivo una aleación de 87% de platino con 13% de sodio. Este tipo de junta desarrollada últimamente con materiales de alta pureza son capaces de medir hasta 1500° C si se utilizan las precauciones debidas. Son muy resistentes a la oxidación pero no se aconseja su aplicación en atmósferas reductoras por su fácil contaminación con el hidrógeno y nitrógeno que modifican la respuesta del instrumento.
- Platino rodio- platino (Tipo S): El conductor positivo es una aleación de 90% de platino y 10% de Rodio mientras que conductor negativo es un alambre de platino. Sus características son casi similares al termopar anterior con la diferencia que no puede usarse a temperaturas elevadas porque los metales no son de alta pureza produciendo alteraciones de la lectura a partir de los 1000° C. en adelante.
- Molibdeno-Renio:Fue desarrollado recientemente y se utiliza para temperaturas inferiores a los 1650° C. Se recomienda usarlos en atmósferas inertes, reductoras o vacías ya que el oxígeno destruye al termopar.
-

1.2.2. SENSORES DE CORRIENTE

Dado que en este proyecto se desea monitorizar la potencia consumida por el horno es necesario medir la corriente que éste demanda a tiempo real. Para ello es necesario seleccionar un sensor de corriente que pueda ser empleado con Arduino y darnos dicha información. Podemos distinguir cuatro tipos de sensores principalmente. Estos son:

- Inductivos: Transformadores de Corriente. El cable a medir pasa por medio de un núcleo magnético que tiene bobinado un secundario que proporciona una tensión proporcional a la corriente que circula por el cable.
- Resistivos (Shunt) : Una resistencia provoca una caída de tensión proporcional a la corriente que circula por dicha resistencia Shunt
- Magnéticos (efecto Hall): El sensor mide el campo magnético de un núcleo, generado por la corriente que circula por el cable a medir, que bobina al núcleo
- Bobina rogovsky: Miden los cambios de campo magnético alrededor de un hilo que circula una corriente para producir una señal de voltaje que es proporcional a la derivada de la corriente.

El efecto Hall se produce cuando se ejerce un campo magnético transversal sobre un cable por el que circulan cargas. Como la fuerza magnética ejercida sobre ellas es perpendicular al campo magnético y a su velocidad (ley de la fuerza de Lorentz), las cargas son impulsadas hacia un lado del conductor y se genera en él un voltaje transversal o voltaje Hall.

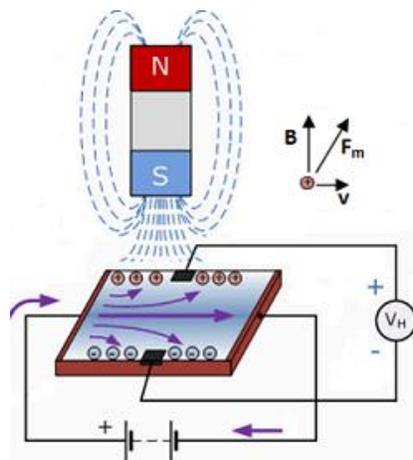


Figura 1: Efecto hall

1.2.3. TIPOS DE HORNOS

Los dos tipos más utilizados son los hornos de combustión y los hornos eléctricos. También existen hornos de leña pero como este proyecto incide principalmente en la parte de control veremos estos dos tipos.

- Hornos de combustión
 - Hornos verticales de cuba
 - Hornos de balsa
 - Hornos rotatorios
 - Hornos túnel
- Hornos eléctricos
 - Hornos de resistencias
 - Hornos de arco
 - Hornos de inducción

Horno combustión

Un horno industrial de gas es la instalación donde se transforma la energía química de un combustible en calor. Este calor es utilizado para aumentar la temperatura de aquellos materiales depositados en su interior y así llevarlos al estado necesario para posteriores procedimientos industriales.

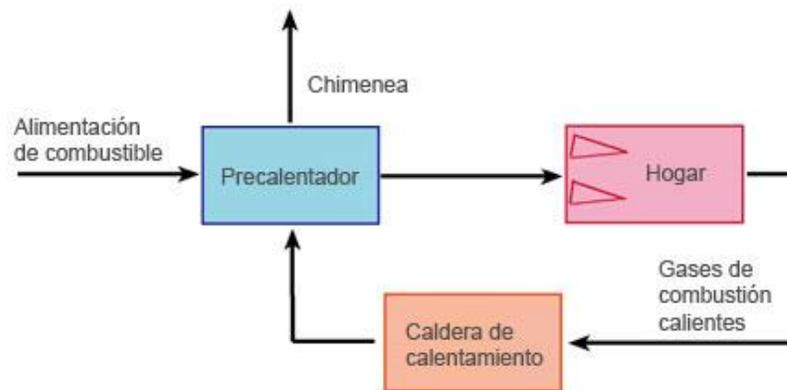


Figura 2: Horno de combustión

Horno eléctrico

Los hornos eléctricos calientan piezas en su interior por acción directa o indirecta del flujo eléctrico, es decir, del movimiento de electrones en el seno de un material.

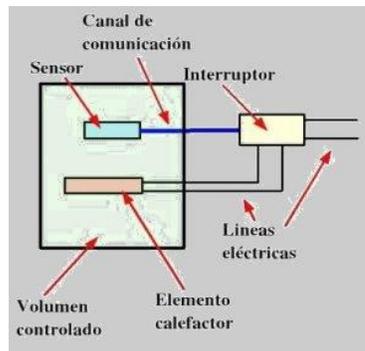


Figura 3: Horno eléctrico

La principal ventaja de los hornos de combustión es la rapidez de calentamiento. Como principalmente son de gas se alcanzan rápidamente las temperaturas deseadas. Sin embargo, esa es su mayor virtud pues tienen una gran desventaja frente a los hornos eléctricos. Los hornos eléctricos tienen mejor rendimiento ya que la energía eléctrica es una energía de gran calidad. Por otro lado, el coste dependiendo del combustible sí que puede ser más bajo que la electricidad. Un problema que tienen los hornos de combustión es la gran producción de gases (de combustión) que deben ser evacuados. Esos gases son muy perjudiciales para el medio ambiente. En la mayoría de los hornos a gas, existen métodos de recuperación de gases dirigidos a evitar la contaminación ambiental y también a reducir el coste de combustible (parte de los gases son recuperables para volver a ser quemados). Los hornos eléctricos no generan tantos gases y además al no ser productos de una combustión no son tan perjudiciales para el medio ambiente. Cabe destacar que en los hornos eléctricos, dada la naturaleza de determinados combustibles, existe riesgo de explosión.

Por otro lado, los hornos de combustión no permiten el calentamiento de partes de una pieza sino que solo puede hacerse de piezas enteras. Los hornos eléctricos pueden calentar diferentes partes de forma aislada.

Para finalizar, el control y la regulación son más eficaces en los hornos eléctricos, ya que puede hacerse su control desde la raíz.

Una vez visto esto, puede verse que para una correcta utilización de cualquier tipo de horno, es necesario un sistema de control.

Existen en la actualidad muchos tipos de controladores. Desde los manuales, hasta los sistemas que controlan todo a tiempo real. Por ejemplo en horno de combustión son necesarios sensores que informen sobre la calidad de los gases de combustión, la cantidad de los gases de combustión, la temperatura...etc. También en los eléctricos son necesarios sistemas que regulen de cierta manera todo lo que acontece en el horno. Así, tenemos en el mercado diferentes soluciones.

Por ejemplo la empresa MICROBER ha creado el siguiente sistema de control. El equipo de gestión automática del horno modelo MICROBER es una herramienta que persigue optimizar el rendimiento del horno sin el auxilio expreso de una persona encargada del mismo. . El equipo consta de un PLC, compuesto de varias tarjetas de entradas y salidas analógico-digitales que controlan todos los parámetros que intervienen en la regulación del horno y transmiten la información a un ordenador que registra los datos obtenidos.

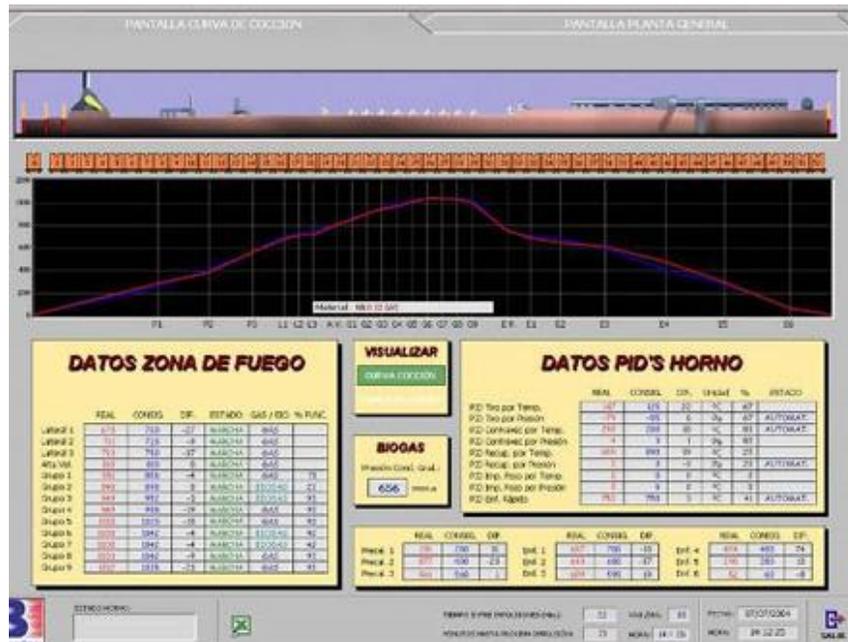


Figura 4: Controlador Microber

Por otro lado, la empresa Ingeteam ha desarrollado diferentes soluciones para el control de hornos de recalentamiento.

En su página podemos leer:” Dentro del campo de control de Hornos de Calentamiento, hemos desarrollado hasta tres diferentes aplicaciones materializadas en distintos medios físicos: PCs o PLCs, que comprenden el abanico de control y regulación de un Horno.”

Sus soluciones pasan por dos modalidades:

- Sistema de Control Secuencial: se ocupa de la cinemática del horno, maniobras de carga y descarga así como del control de auxiliares: hidráulicos, lubricación, refrigeración de horno, etc.
- Sistema de Control Tecnológico: se ocupa de todo el capítulo relacionado con la instrumentación y regulación específica en un horno: lazos PID de temperatura, regulación cruzada de aire / fuel o aire/gas, con un control preciso de la tasa aire / combustible, control del recuperador, etc.

En este proyecto, se pretende quedarse a medio camino entre estos sistemas que controlan todo detalladamente y un control manual al uso. Se utilizará una serie de sensores que rebelen el valor de algunas variables, y a partir de ahí se realizará el control mediante un sistema todo o nada.

1.2.4. CONTROLADOR TODO O NADA

Los controladores todo o nada son un tipo de controlador de lo más sencillos. Son unos controladores de lazo cerrado que en función de la que mide el sensor da una respuesta u otra. Normalmente se establece un valor consigna y cuando el sensor mide un valor superior a ese valor consigna la respuesta cambia de estado. Como su propio nombre indica, la respuesta puede tener dos y sólo dos estados diferentes, ya sea estado alto o bajo, 1 o 0, verdadero o falso,...en función de la aplicación se determinará ese estado. Es un tipo de controlador proclive a ser utilizado en un sistema digital.

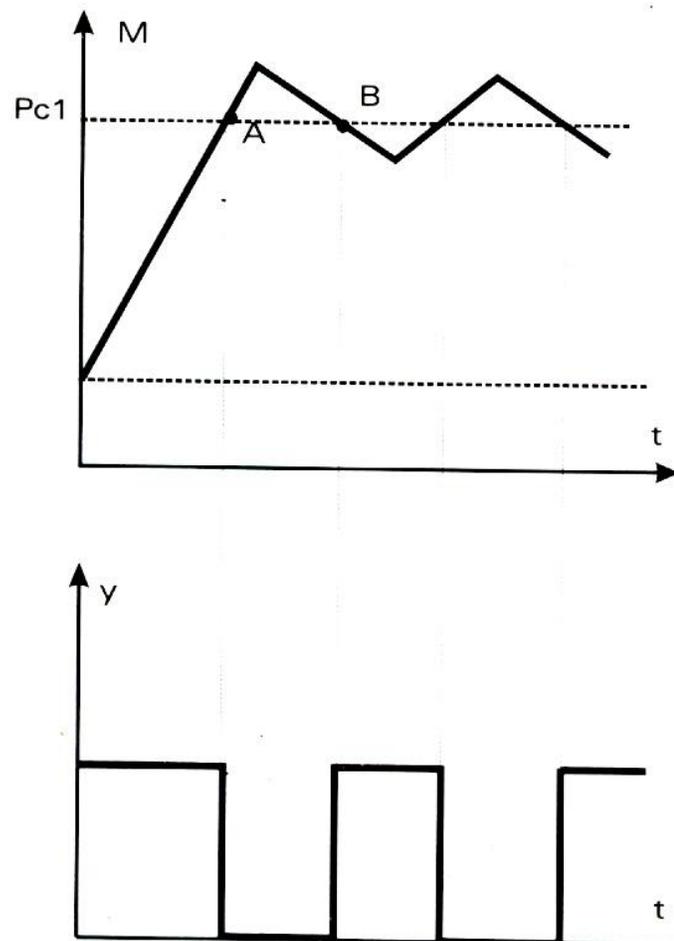


Figura 5: Control todo o nada

1.2.5. ARDUINO

Arduino es una plataforma de hardware libre basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

Existen diferentes tipos de placas desde el Arduino UNO, que es el hardware más simple, hasta Arduino muy potentes como el Arduino DUE o el Arduino YÚN. Cada uno diseñado para unas determinadas funciones en particular.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus entradas analógicas y digitales, puede controlar luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador.

También cuenta con su propio software que se puede descargar de su página oficial que ya incluye los drivers de todas las tarjetas disponibles lo que hace más fácil la carga de códigos desde el ordenador.

Arduino, puede utilizarse con otro tipo de programación. Así el abanico de posibilidades aumenta considerablemente pudiéndose diseñar infinidad de sistemas. En el caso de este proyecto se utilizará junto con LabView.

A continuación se verá el ejemplo de una aplicación basada en Arduino.

Es un ejemplo sencillo en el que cada cierto tiempo desde la salida digital 12 se manda un estado alto (HIGH) o un estado bajo (LOW). Así se consigue tener el led encendido o apagado. Este ejemplo suele utilizarse para crear un parpadeo intermitente. Es un pequeño diseño de Arduino muy utilizado en la iniciación en Arduino.

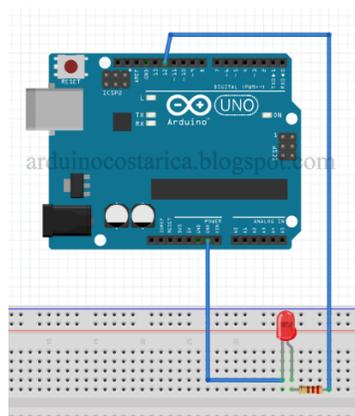


Figura 6: Ejemplo de un sistema Arduino.

2. PROPUESTA DE DISEÑO DEL PROTOTIPO

2.1. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

Este proyecto pretende realizar el control de un horno industrial. Se ha utilizado un pequeño horno de laboratorio pero si se diese el caso se podría realizar el control de cualquier otro horno realizando pequeñas modificaciones.

Este proyecto puede diferenciarse en tres partes; sensado, actuación y control. El sensado y la actuación se realizarán mediante hardware. El control se hará mediante software.



Figura 7: Diagrama de bloques del proyecto

Se analizará la etapa de sensado. En este proyecto se medirá corriente y temperatura. Para ello se dispondrá de sensores de temperatura y corriente. Con la medida de la corriente se obtendrá la potencia, como se verá más adelante.

Para la medición de temperatura se ha utilizado un termopar tipo K y una electrónica posterior para el acondicionamiento de señal. Entre otros elementos se han utilizado un amplificador de instrumentación, resistencias, condensadores, potenciómetros de precisión...etc.

En cuanto a la medición de la corriente, se ha utilizado un sensor de corriente LEM25. También se ha tenido que acondicionar la medida mediante una pequeña electrónica suplementaria.

La actuación se ha hecho mediante un relé sencillo, que tiene acoplado una pequeña electrónica a modo de acondicionamiento y protección. Se ha utilizado un sensor SRD-05VDC-SL-C.

El control se ha realizado mediante un software específico, utilizando un microcontrolador de hardware libre (Arduino) y el programa LabView. Se ha realizado un control de tres magnitudes, temperatura, corriente y potencia. El sistema de control es del tipo todo o nada, muy útil para magnitudes que cambiar de valor muy lentamente, como el caso de la temperatura.

Todo este control se ha realizado respecto de un horno industrial preparado para la docencia. No obstante, éste es un prototipo que puede ser utilizado para cualquier empresa que lo necesite, ya que es un dispositivo barato y fácil de usar. La única desventaja es que se deberá tener instalado en el pc el programa LabView, que es bastante costoso y opera bajo licencia.

El prototipo del sistema es el siguiente:

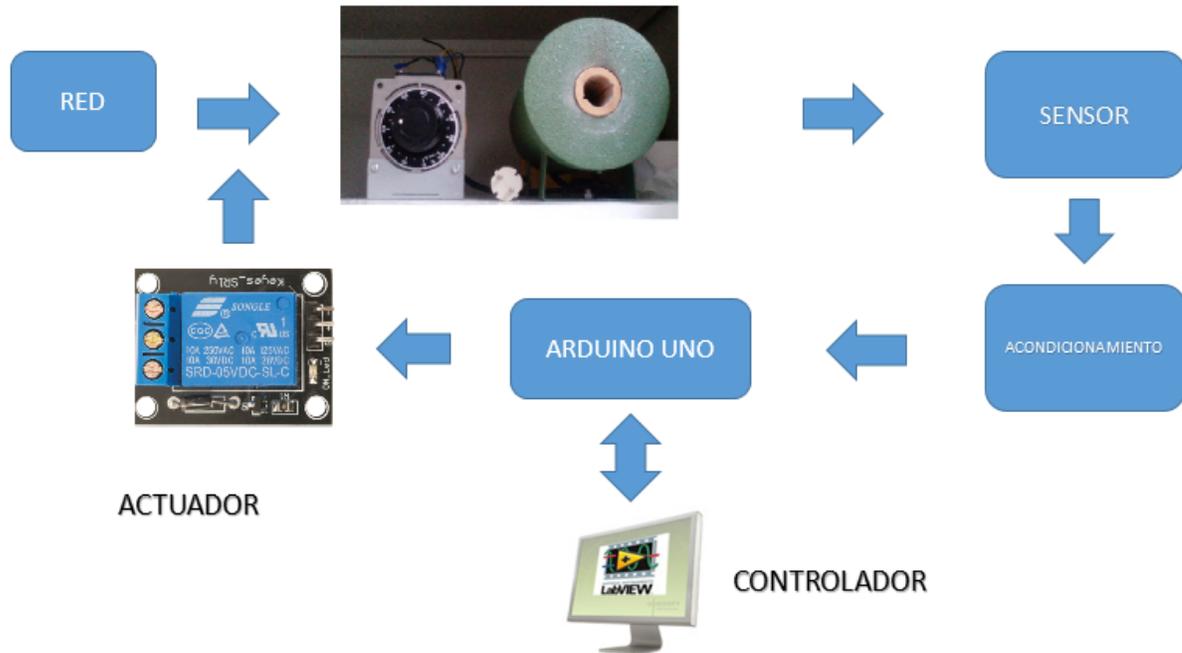


Figura 8: Diagrama proyecto.

Las distintas etapas podrán ser llevadas a cabo por distintos módulos. Los elementos que toman parte en los diferentes módulos, se especifican a continuación:

- Sensado: y acondicionamiento.
 - o Termopar tipo K
 - o LEM 25A
 - o INA 118P
 - o MCA05D12S
 - o LM35(inicialmente)
- Actuación
 - o SRD- 05- VCD- SL- C
- Control
 - o Arduino UNO
 - o Software LabView

2.2. SENSADO TEMPERATURA

2.2.1 TERMOPAR

Se empezará hablando de los termopares. Un termopar es un sensor basado en el efecto Seebeck. En este caso como van a medirse temperaturas de 0 a 1200 °C, es un sensor que cumple los requisitos del rango de operación. Además como ya estaba en el laboratorio no hace falta pedirlo, evitando así un gasto para la universidad. Como se verá a lo largo del proyecto, el diseño va a estar marcado además de por las exigencias funcionales del sistema, por la existencia o no de material en el laboratorio. En el caso de que un componente esté disponible en la universidad se optará por él. Dados los tiempos de crisis en los que se encuentra la sociedad y por tanto, también la universidad, la limitación económica va a estar presente. Se optará por un termopar tipo K.

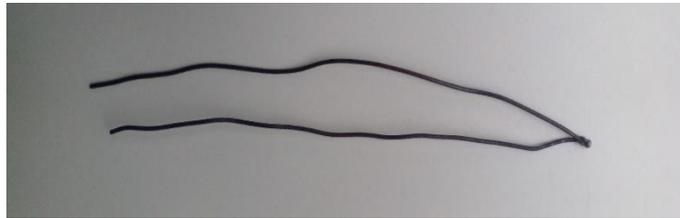


Figura 9: Termopar tipo K

En función de la temperatura que se mida en el horno tendremos un potencial. El potencial medido vendrá determinado por la siguiente ecuación:

$$T - T_A = V_o / S_k$$

Siendo:

- T = temperatura dentro del horno
- T_A = temperatura ambiente o temperatura en el otro extremo del termopar.
- S_k = coeficiente de Seebeck. Este coeficiente es de 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- V_o = Tensión a la salida del termopar.

2.2.2. LM35

Para que la medida del sensor de temperatura sea la adecuada, será necesario sumar al potencial de salida del termopar un potencial ligado a la temperatura ambiente, compensando así analógicamente el efecto de la unión fría. . Para ello, será necesario un sensor que mida la temperatura; el sensor que hará esa función será el LM35.

Se trata de un sensor de temperatura de los denominados de estado sólido. Esto quiere decir que no se utilizan partes móviles. Este sensor es capaz de medir la temperatura en un rango de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Es un sensor lineal y su relación tensión- temperatura es de 10 mV por cada grado Celsius.

Este sensor es muy útil ya que para este proyecto es necesario un sensor lineal que trabaje bien a temperatura ambiente. Además es bastante barato, su precio ronda el euro y medio. Además no necesita de ninguna electrónica extra para este propósito. Existen varios modelos dependiendo del uso que se le vaya a dar:

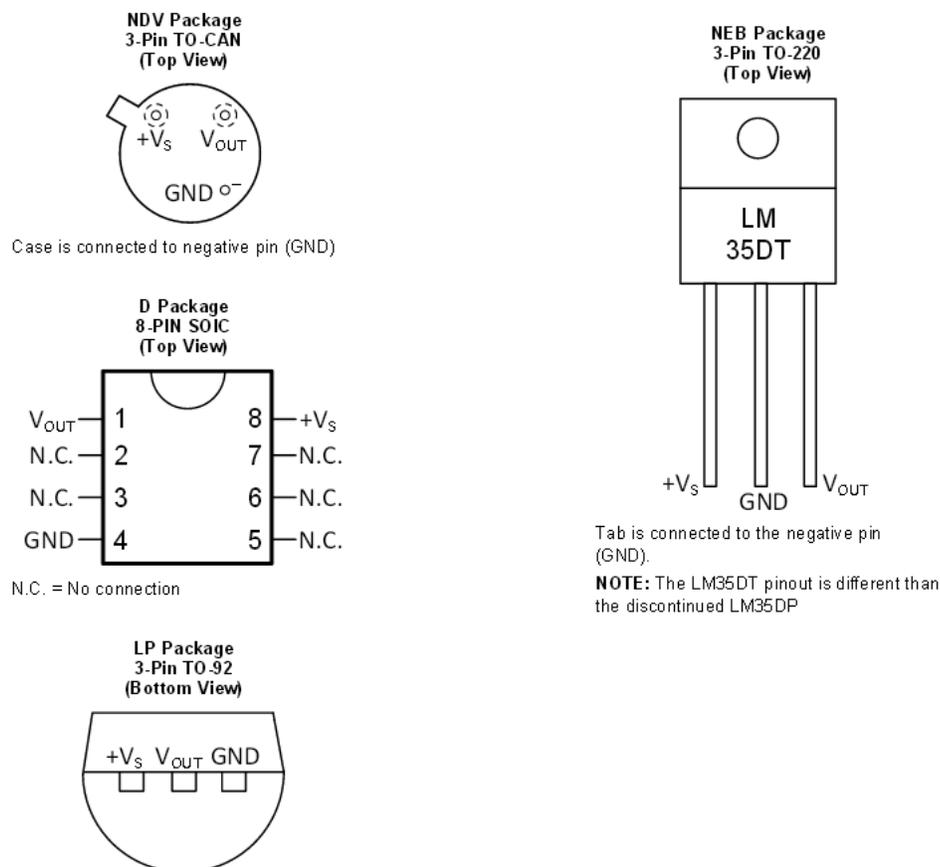


Figura 10: Distribución de los pines del LM35.

2.2.3. HORNO INDUSTRIAL

Existen muchos hornos en el mercado. Para este proyecto es necesario un horno que tenga una entrada fácil para el termopar, y este cumple perfectamente con las necesidades. Además como se verá posteriormente, es capaz de dar temperaturas muy elevadas. Otra de las razones por las que se ha utilizado este horno ha sido que es del que se disponía en el laboratorio. Por tanto cumpliendo bien los requisitos no se ha visto necesario disponer de un horno diferente.

Este horno funciona mediante un autotransformador. Éste autotransformador regula la del horno ajustando la tensión del secundario aplicada a la carga. Tiene dos modos de funcionamiento, por un lado se puede aplicar directamente la tensión de la red al horno, o bien se puede regular mediante una rueda el potencial de salida del secundario desde 0 a 230 V.

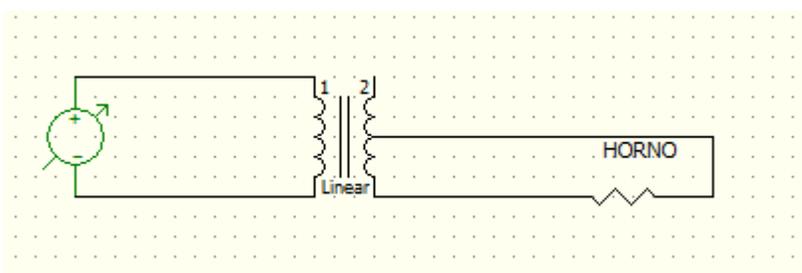


Figura 11: Esquema del circuito del horno

La segunda forma de funcionamiento es la que se implementará en este proyecto. Tiene la capacidad de calentar hasta temperaturas muy altas, llegando incluso hasta los 1200 grados centígrados.

En la siguiente figura se ve el horno, compacto y con la abertura para el termopar.

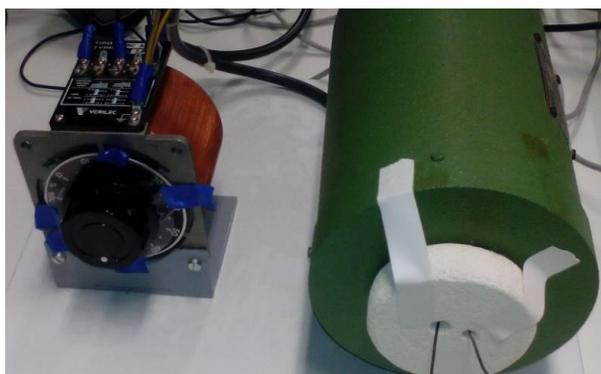


Figura 12: Horno y autotransformador.

2.3. SENSADO DE CORRIENTE.

Se han empleado dos sensores para medir la corriente entregada al horno. Según las ventajas e inconvenientes de uno u otro se utilizará el que mejor se ajuste a las necesidades del proyecto.

2.3.1. LEM 25A-NP

Para empezar se ha pensado en este sensor de efecto hall capaz de medir corrientes desde los 5 A hasta los 25 A dependiendo de la configuración empleada. En la Figura 13 se muestra un resumen de cómo puede operar este sensor.

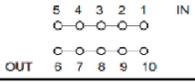
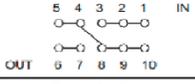
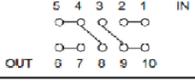
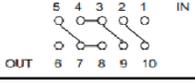
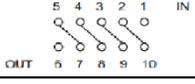
Number of primary turns	Primary current		Nominal output current I_{SN} [mA]	Turns ratio K_N	Primary resistance R_p [mΩ]	Primary insertion inductance L_p [μH]	Recommended connections
	nominal I_{PN} [A]	maximum I_P [A]					
1	25	36	25	1 / 1000	0.3	0.023	
2	12	18	24	2 / 1000	1.1	0.09	
3	8	12	24	3 / 1000	2.5	0.21	
4	6	9	24	4 / 1000	4.4	0.37	
5	5	7	25	5 / 1000	6.3	0.58	

Figura13: Diferentes configuraciones del LEM 25A.

En este caso se utilizará la configuración número 5. El funcionamiento es el siguiente. La corriente entra por el pin 1 y sale por el pin 6. En los pines + y - deberá ir conectado a Vcc+ y Vcc -. El pin M deberá ir conectado a una resistencia y de ahí a masa.

$$I = \frac{I_m}{N} \cdot 1000$$

La medida podrá ser tomada midiendo la tensión entre el pin M y la masa. Al hacerlo habrá que tener en cuenta la configuración en la que está dispuesto el sensor, así la corriente medida será:

$$I_m = \frac{V_0}{R_m}$$

Siendo:

- I = corriente a medir.
- I_m = corriente entre el pin M y masa.
- V_0 = tensión entre el pin M y masa.
- R_m = resistencia entre el pin M y masa.
- N = número de configuración del sensor utilizada en la medición.

El sensor tiene una buena resolución pero la desventaja es que no da el valor eficaz sino que la salida es una tensión alterna que deberemos acondicionar. Otra desventaja es que trabaja con +15 y -15 Por lo que habrá que alimentarlo mediante una fuente de tensión suplementaria.



Figura 14: LEM 25A

2.3.2. ACS 712

Otro de los sensores que se han pensado utilizar es el sensor ACS712. Éste es un sensor que mide diferentes corrientes, tanto en alterna como en continua. Los hay desde 5 A hasta 30 A. en este caso se utilizará el sensor que mide hasta 5 A.

La particularidad de este sensor es que está fabricado para trabajar con Arduino. Con esto se evita tener que utilizar una fuente externa de tensión ya que trabaja con Vcc de 5 V que es la misma que produce Arduino.

Sin embargo no tiene la misma resolución ni precisión del anterior sensor. La salida de corriente también es en alterna. El funcionamiento es muy sencillo. Solo hay que conectar el sensor en serie de la corriente que se quiere medir y conectar la salida a una entrada analógica de Arduino. O en su defecto de un voltímetro.

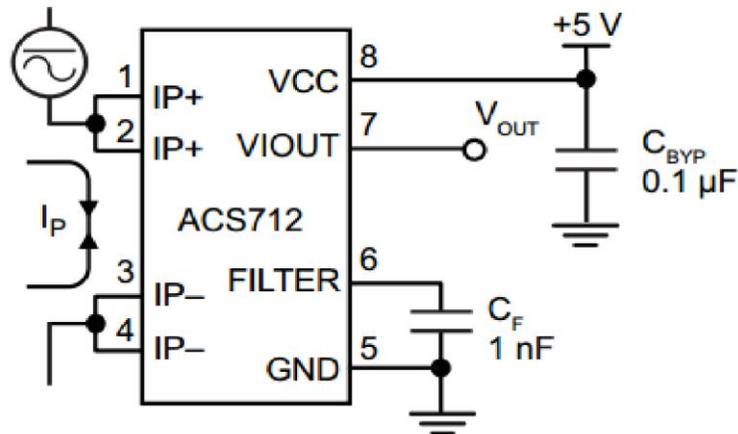


Figura 15: Distribución de pines ACS 712.

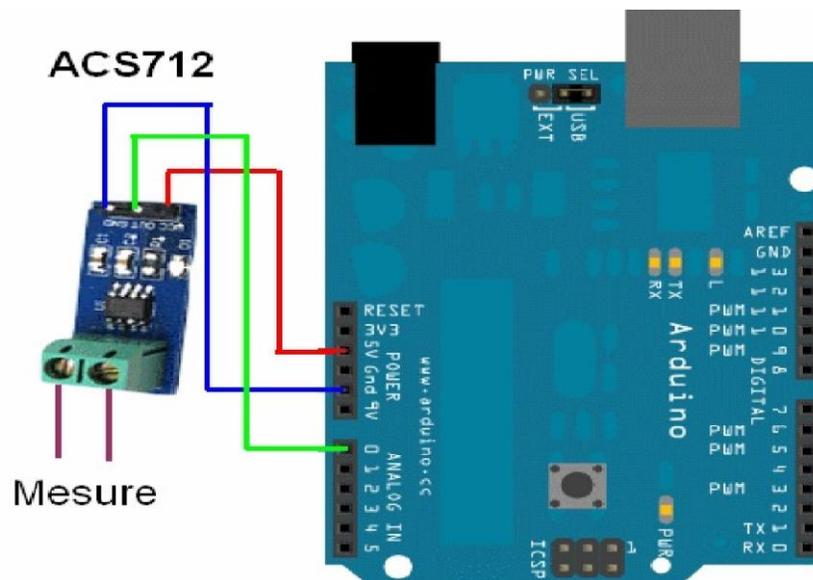


Figura 16: Montaje del circuito Arduino- sensor.

2.4. ACONDICIONAMIENTO

Para el acondicionamiento de señal se utilizarán dos componentes principales. Un convertidor dc-dc y un amplificador de instrumentación. Además de estos dos componentes se utilizarán resistencias, potenciómetros de precisión, condensadores etc.

2.4.1. INA 118P

Una vez obtenida la señal del termopar será necesario amplificarla ya que se obtendrá una señal del orden de los mV para las temperaturas más altas. Para ello se utilizará un amplificador de instrumentación INA 118. Un amplificador de instrumentación es un dispositivo de precisión creado a partir de amplificadores operacionales que permite un ajuste de la ganancia dinámica. Está diseñado para tener una alta impedancia de entrada y un alto rechazo (CMRR). La operación que realiza es la diferencia de sus dos entradas multiplicada por su ganancia.

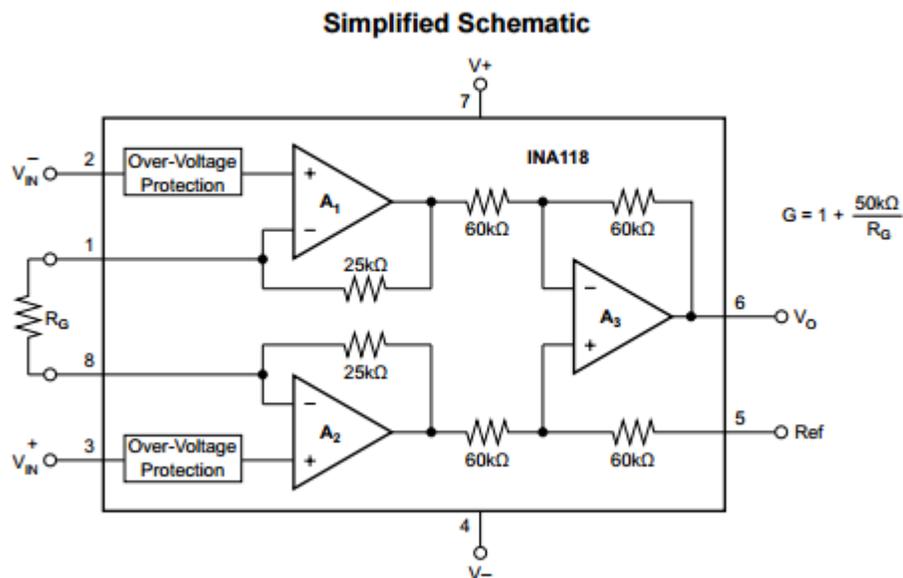


Figura 17: Esquema interno del INA118P

Como se verá más adelante, se ajustará la ganancia para que la salida esté entre los 0 y 5 V. Para ello se utilizará esta ecuación:

$$G = 1 + 50000/R_g$$

Donde:

- G = ganancia deseada
- R_g = Resistencia a colocar entre los pines 1 y 8 del amplificador de instrumentación.

Cabe destacar que la R_g deberá estar en Ω .

2.4.2. CONVERTIDOR DC-DC

Dado que se pretende que el sistema funcione mediante Arduino, lo que se hará será aprovechar su salida de 5 V para alimentar el amplificador de instrumentación. De este modo con un convertidor dc-dc se obtendrá a partir de 5V de entrada +/- la tensión necesaria para alimentar al INA118.

En este caso se utilizará un MCA05D12S. Este componente es capaz de suministrar +/- 12 V con una entrada de +5 V. Como el INA trabaja con hasta +/-18 V cumple perfectamente con las especificaciones.

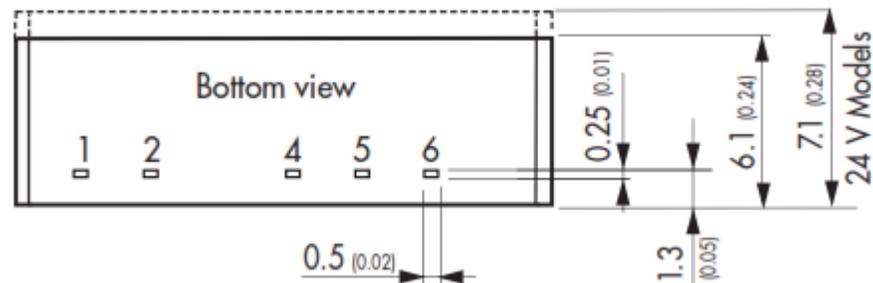


Figura 18: Distribución de pines del convertidor.

El dispositivo funciona conectando el pin 1 la tensión de entrada (+5 V) del Arduino y el pin 2 a masa. Los pines 4 y 6 son las salidas +/- Vcc que suministra el circuito. .

2.5. ACTUADOR-RELÉ

Este sistema trabajará mediante un control del tipo todo/nada, para ello el único actuador necesario, será un relé que permita circular la corriente cuando convenga.

Un relé es un interruptor accionado por un electroimán. Tiene dos partes diferenciadas. Por un lado está un electroimán y por otro lado un pequeño circuito de contactos.

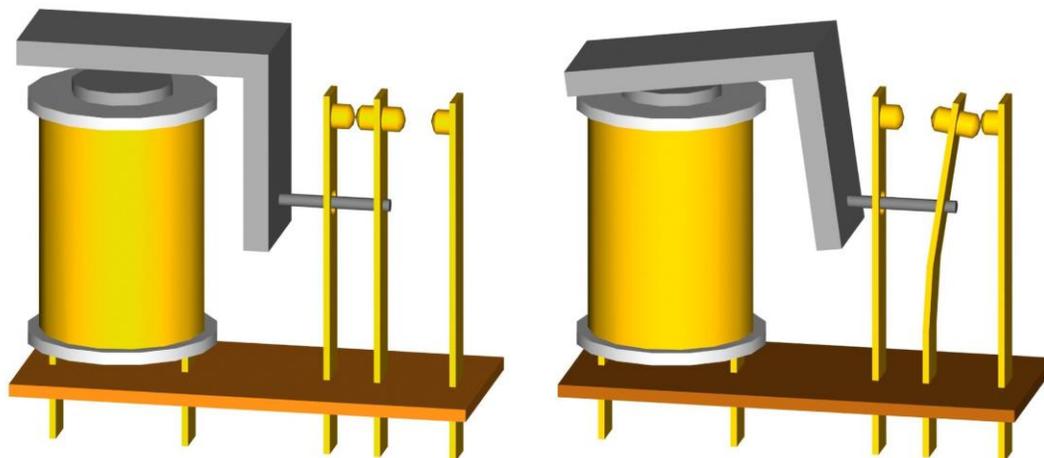


Figura 19: Funcionamiento de un relé.

Al principio el relé se encuentra en la primera posición de la figura. Al no pasar corriente por el electroimán no se induce campo magnético y el circuito se encuentra abierto. Sin embargo, al introducir corriente por el electroimán, se produce un campo magnético que tira del hierro. Así se consigue cerrar el circuito. Estos componentes son muy útiles en sistemas de todo o nada.

Para ello se utilizará un relé SRD-05-VDC. Realmente en el proyecto se utilizará una placa donde hay 8 relés instalados, pero como se ha mencionado anteriormente, como en el laboratorio no había un relé individual y se ha optado por éste.

El funcionamiento es sencillo, no hace falta más que introducir el cable de corriente por los bornes y conectar al Arduino las salidas Vcc, Gnd, y el pin del sensor que se quiera utilizar a una salida digital del arduino. Así, en función de si le llega un estado alto o bajo el relé abrirá o cerrará el interruptor.

En la siguiente figura se muestra el funcionamiento de dicho relé.

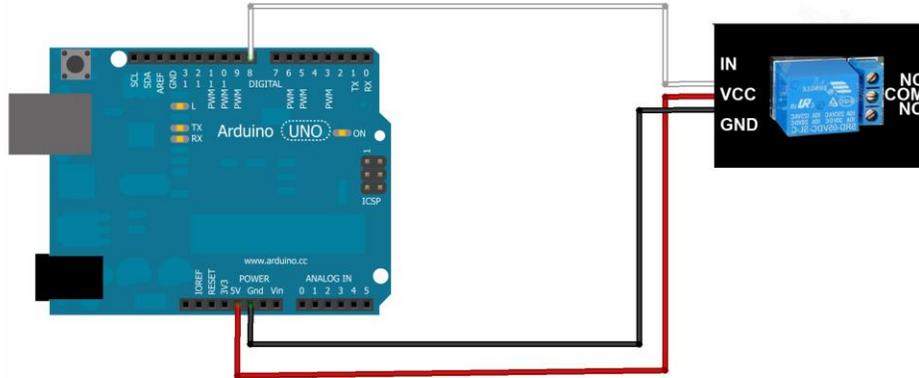


Figura 20: Montaje circuito Arduino UNO- relé.

2.5. CONTROL

El control del sistema se realizará mediante software. Aquí tomarán parte dos elementos. Por un lado, Arduino, que hará a la vez de hardware y software. Por otro lado se utilizará la interfaz gráfica LabView. Son por tanto los dos elementos que realizarán el control del sistema.

2.5.1 ARDUINO

Arduino será el nexo entre software y hardware así como entre el actuador y el sistema de control. Para ello se utilizará una placa Arduino UNO. Como se ve en la figura Arduino UNO consta entre otras cosas de pines analógicos y digitales, que pueden utilizarse para enviar o recibir información.



Figura 21: Arduino UNO

Además de las funciones que desempeña en este proyecto, Arduino UNO tiene la capacidad de realizar otro tipo de tareas, como por ejemplo la comunicación SPI. Para la comprensión de este proyecto con lo mencionado es suficiente.

Aunque para el sistema final no haya que programar nada en Arduino en los pasos previos sí que se necesitara. El lenguaje utilizado en Arduino es un lenguaje similar a C.

2.5.2. LABVIEW

Labview es una herramienta muy útil a la hora de realizar sistemas de control. Es capaz de establecer comunicaciones con elementos externos (como es el caso de este proyecto), así como realizar otras muchas funciones entre las que se encuentran:



Figura 22: Logotipo LabView

- Adquirir datos y procesar señales
- Control de instrumentos
- Automatizar sistemas de pruebas y validación
- Sistemas embebidos de monitoreo y control

La principal ventaja de este tipo de software es que utiliza programación gráfica. No es necesario realizar una programación escrita secuencial, como en la mayoría de los programadores (incluido Arduino). Esto hace que la programación sea más intuitiva y sencilla.

En este caso LabView utilizará diferentes funciones:

- Comunicación con Arduino UNO
- Procesamiento de información
- Monitorización de información
- Comunicación con el usuario.

3. DISEÑO Y DESARROLLO DEL HARDWARE

El material necesario para la realización del diseño de hardware es el siguiente. En la lista aparecen elementos que aunque en el diseño final no sean necesarios, se han utilizado en el camino.

- Termopar tipo K
- LM 35
- Resistencias
- Potenciómetro de precisión
- Condensadores
- Datalogger Agilent
- LEM LA25
- ACS712
- Convertidor dc-dc MCA05D12S
- Polímetro
- Soldador
- Cables
- Estaño para soldadura
- Placa Ariston
- Fuente de tensión
- Osciloscopio
- Ordenador
- Placa Arduino UNO
- Design Spark

3.1. SISTEMA DE SENSADO DE TEMPERATURA

El sistema de sensado de temperatura se aplicará a un horno industrial del laboratorio. La medición se hará de la siguiente manera. Se introducirá un termopar tipo K dentro del horno. De ahí la información se transmitirá mediante unos cables a un sistema de acondicionamiento de señal que posteriormente se transmitirá la información al ordenador.

3.1.1 ALCANCE TERMOPAR

Para empezar el diseño será necesario que saber la temperatura a la que puede llegar el horno. Con la ayuda de un polímero se ha medido la tensión del termopar.

La medición final ha sido de 50mV. Por tanto, aplicando la siguiente ecuación se podrá saber la temperatura del horno.

$$T - T_A = V_o/S_k$$

Siendo:

- T = temperatura dentro del horno
- T_A = temperatura ambiente o temperatura en el otro extremo del termopar.
- S_k = coeficiente de Seebeck. Este coeficiente es de $41 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- V_o = Tensión a la salida del termopar.

$$T - T_A = \frac{39 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-6}}$$

$$T - T_A = 1219^\circ\text{C}$$

Lo siguiente que se ha hecho ha sido comprobar efectivamente que el termopar funciona correctamente. Se ha vertido agua en un recipiente y calentado con una resistencia. Una vez hecho esto, se ha conectado al termopar un multímetro. Cabe destacar que al llegar a un punto se ha desconectado la resistencia para ver también la evolución decreciente.

Para conocer la temperatura ambiente se ha medido con un termómetro de mercurio una temperatura de 24°C. Por precaución se ha desconectado la resistencia antes de que empezase a bullir. Como se puede ver en la gráfica la temperatura medida máxima está por debajo de los 100°C, por lo que se puede concluir que el termopar funciona correctamente.



Figura 23: Representación gráfica temperatura (°C) frente a tiempo (S).

3.1.2. ACONDICIONAMIENTO

La medición del termopar con la máxima temperatura del horno ha sido de 50 mV. Para poder trabajar de una manera óptima lo que se ha hecho ha sido amplificarlo. El circuito de acondicionamiento consta de lo siguiente:

- Amplificador de instrumentación INA 118
- Convertidor dc-dc MCA05D12S
- Resistencia de 470 Ω
- Potenciómetro de precisión de 100 Ω .
- Condensador de 0.1 μ F

La temperatura máxima que alcanzará el horno será de 1219°C. Por seguridad se tomará como temperatura máxima 1300°C. Este sistema trabaja con hardware arduino, esto quiere decir que la señal de trabajo tiene que estar entre 0 y 5 V.

Para calcular la ganancia del amplificador se asignará el valor de máxima tensión (5V) a los 1300°C medidos de temperatura máxima.

Se conoce que la ganancia se aplica de la siguiente manera:

$$G = 1 + 50000/R_g$$

Por tanto el diseño se hará así:

$$T - T_A = V_{termopar}/S_k$$

$$T - T_A = 1300^\circ\text{C}.$$

$$S_k = 41 \times 10^{-6} \mu\text{V}/^\circ\text{C}$$

$$V_0 = V_{termopar} \times G$$

$$V_0 = 5V$$

Entonces queda que:

$$G = \frac{V_0}{V_{termopar}} = \frac{V_0}{(T - T_A)S_k} = \frac{5}{1300 \times 41 \times 10^{-6}} = 93.8$$

La ganancia que se deberá imponer al INA será de 93.8. Para ello, será necesario calcular la R_g :

$$G = 1 + 50000/R_g$$

$$R_g = \frac{50000}{G - 1} = \frac{50000}{93.8 - 1} = 538\Omega$$

Para que el ajuste sea el correcto, lo que se hará será utilizar una resistencia de 470Ω junto con un potenciómetro de precisión. Así al conectarlos en serie se tendrá una resistencia equivalente de 538Ω .

Una vez diseñado este apartado, será necesario alimentar el amplificador. Esto lo se conseguirá aprovechando el hardware Arduino. Como Arduino tiene la opción de alimentar a 5 V, se utilizará un convertidor dc-dc que utilizando esa alimentación de Arduino dé salida de V_{cc}^+ y V_{cc}^- necesarios para alimentar el INA118.

Se ha elegido el MCA05D12S. Como se ha visto en apartados anteriores, este convertidor es capaz de dar de salida +/- 12V. Esa tensión es válida para el INA118 ya que va a trabajar entre 0 y 5 V.

Para empezar, la sensibilidad de los dos sensores de temperatura es diferente. Por tanto, deberá realizarse un pequeño circuito para adecuar ambas señales. Además hay que tener en cuenta la ganancia del INA118.

Partiendo de la siguiente ecuación:

$$V_0 - V_{ref} = G \times V_{termopar} = G \times S_k \times (T - T_A)$$

Por otro lado, con el sensor LM35 la tensión en la referencia queda de la siguiente manera:

$$V_{ref} = T_{ref} \cdot C \cdot K$$

Siendo:

- $C =$ Constante que adecúa la referencia al circuito principal
- $K =$ sensibilidad del LM35, $10\text{mV}/^\circ\text{C}$

Seguimos

Como es necesario compensar la temperatura ambiente se forzará a que se cumpla la condición de que a cero grados, la tensión de salida sea nula.

Por tanto:

$$V_0 = 0 \quad ; \quad T = 0$$

$$V_0 = T_{ref} \cdot C \cdot K + (T - T_A) S_k G$$

$$0 = T_{ref} \cdot C \cdot K - T_A S_k G$$

$$C = \frac{S_k G}{K} \quad ; \quad C = \frac{41 \cdot 10^{-6} \cdot 93.8}{10^{-2}} = 0.3845$$

$$C = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 0.3845$$

CIRCUITO SIN LM35

Circuito sin la instalación del LM35.

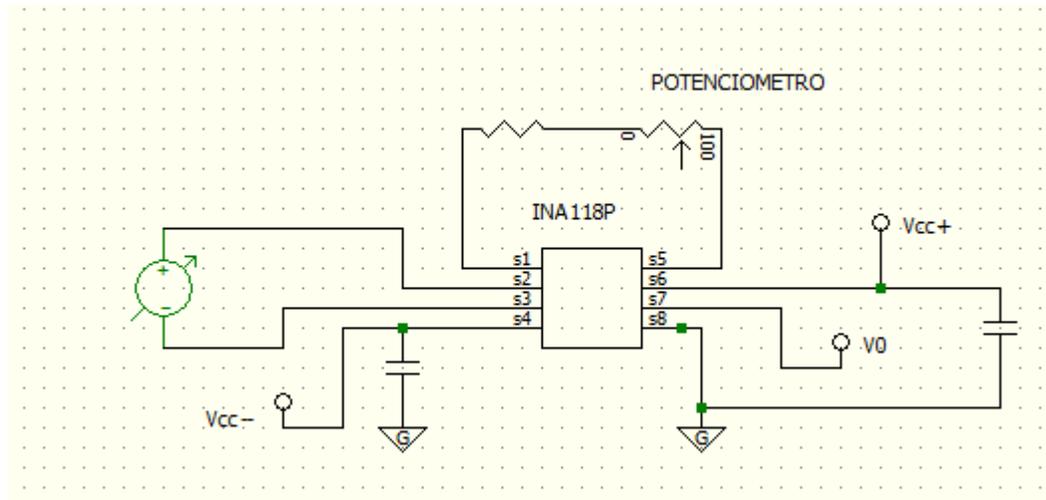


Figura 25. Medición temperatura sin LM35.

Con la nueva configuración:

$$\frac{V_{ref}}{G S_k} = 0$$

La temperatura final quedará determinada por la siguiente expresión:

$$T = \frac{V_0}{G x S_k} + T_A$$

Midiendo en el laboratorio con un termómetro de mercurio se ha medido medido 21°C. Se utilizará a partir de ahora de forma arbitraria esa temperatura como temperatura ambiente. Esta segunda forma de actuar es menos precisa pero puede que el error sea tan pequeño que pueda ser despreciado.

3.1.3. DISCUSIÓN LEM35

Es necesario tomar una decisión. Hay que decidir si merece la pena instalar el circuito de compensación o no. Para ello se ha hecho una comparativa de la diferencia de temperatura al utilizar referencia y sin utilizar referencia.

Se han añadido unos ejemplos con temperatura ambiente desde los 10 hasta los 30 grados C. Cada ejemplo se ha realizado con diferente tensión de salida. La tensión de salida va desde

1 V hasta 5 V. Si se desea observarlos se encuentran en la sección de anexos. En la gráfica de la imagen se puede observar ejemplo que obtenemos con una tensión de salida 5V.

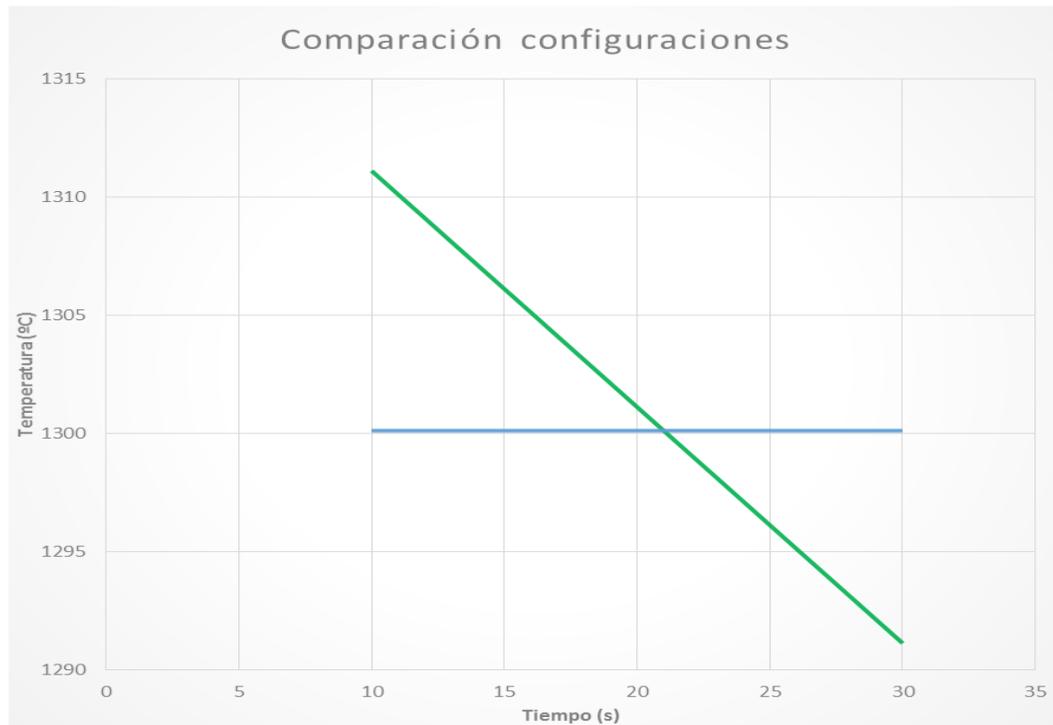


Figura 26: Comparación configuraciones

Se muestra en esta tabla que en el caso más extremo, la diferencia solo es del 4%, esto es de unos 11°C. Teniendo en cuenta que normalmente no se trabaja a esa temperatura la diferencia es menor. Se ha calculado el error relativo y los resultados han sido bastante concluyentes. Con una temperatura ambiente de 30°C se comete un error relativo del 0.69% con una tensión de salida de 5V. Con la tensión de salida de 1V se comete un error del 3.46%. En el caso contrario, cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los 21°C los resultados son similares. Se obtiene un error relativo del 0.84% con temperatura ambiente de 10°C y una tensión de salida de 5V. Con una tensión de salida de 1 V el error es del 4.22%. Los Errores del 4% son errores que dependiendo del caso podrían ser inasumibles. Sin embargo, este no es el caso. El sensor está diseñado para operar en temperaturas altas (la tensión de salida será muy superior a 1 V). También cabe destacar que la temperatura ambiente de trabajo cotidiana suele rondar los 20°C y rara vez se trabaja a 10°C o 30°C. Por el contrario lo que se hará es compensar la temperatura ambiente por software a través de Labview, cuando se procesen los datos enviados por Arduino desde el convertidor analógico digital de 10 bits.

Se decide por tanto que la diferencia no afecta lo suficiente como para introducir el sistema de compensación. Actuando así se ahorra en precio y espacio de placa.

3.1.4. CALIBRACIÓN FINAL

El circuito de sensado de temperatura es el siguiente:

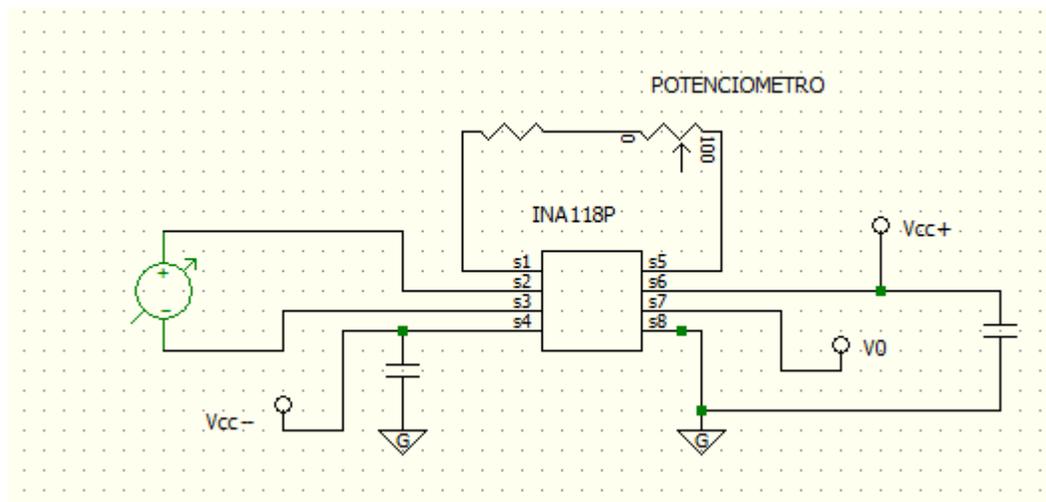


Figura 27: Circuito final temperatura

Una vez diseñado el circuito, lo que se ha hecho ha sido probar si las lecturas de temperatura son correctas. Para ello se ha utilizado lo siguiente:

- Placa arduino UNO
- Macro Excel PLX-DAQ
- Datalogger Agilent 34970A

Por un lado se ha conectado la salida del circuito de sensado de temperatura a una entrada analógica de Arduino. Se ha programado un pequeño programa para adquisición de datos en Excel. Si se desea conocer el programa Arduino para la adquisición de datos, se encuentra en los anexos.

Así se ha podido hacer una tabla con los datos obtenidos y se ha realizado una gráfica. Por otro lado, se ha conectado la salida del termopar directamente al datalogger. Así, se ha obtenido la misma medida utilizando dos sistemas diferentes. Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

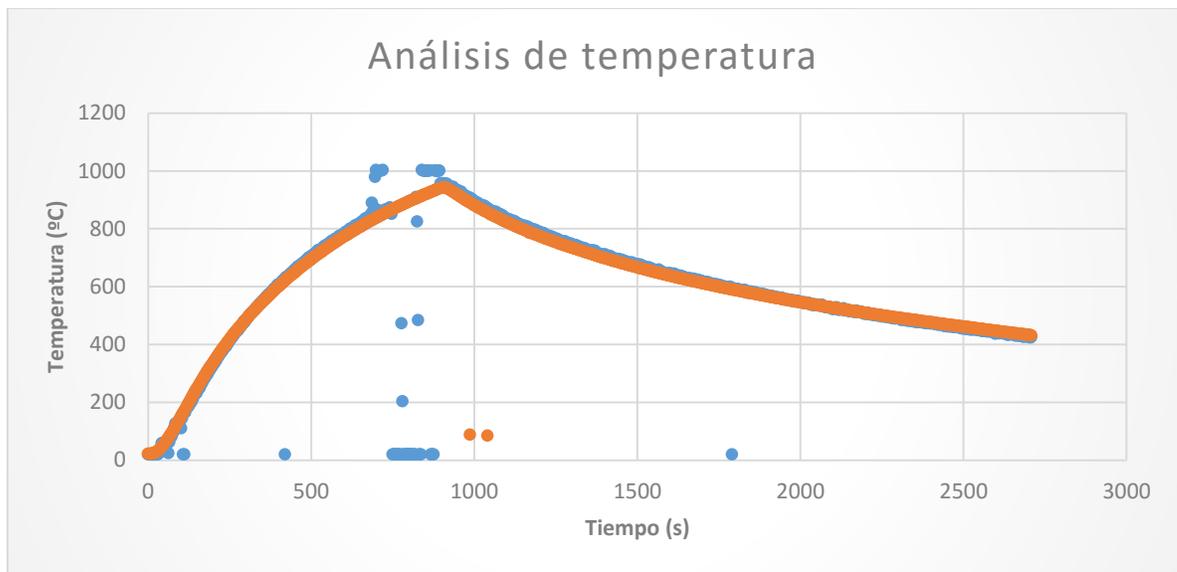


Figura 28: Comparación datalogger –sistema diseñado

La temperatura medida por el datalogger y la medida por el circuito es muy parecida. Al llegar a los 840°C parece que ha habido un pequeño fallo en la medición. No obstante los fallos no afectan a la hora de determinar la precisión de la medición. . En los anexos se puede ver los resultados completos de la prueba.

El error relativo es muy reducido. En la gran parte de la gráfica el error es en torno al 1-2%. El único inconveniente es que a temperaturas bajas el sistema no es tan fiable. Sin embargo, es un sistema diseñado para trabajar a altas temperaturas por lo que se puede dar por válido el resultado. El sistema tiene una resolución de 1.27 °C por cada bit.

Puede darse por terminado el diseño del hardware de la parte de temperatura.

3.2. SISTEMA DE SENSADO DE CORRIENTE

Para el diseño de sistema de medición de la corriente, se ha pensado en dos sensores diferentes. Se ha pensado utilizar un sensor LEM25A. Como se ha dicho en el apartado anterior es un sensor muy preciso, aunque es necesario conectarlo a una fuente de tensión +/- 15V. Por otro lado se ha pensado utilizar un sensor ACS 712. Este sensor tiene la ventaja de que solo necesita una fuente de tensión como la usada con Arduino. Veremos pues qué sensor es el más adecuado o más preciso para nuestro sistema.

3.2.1. DISEÑO LEM25A

Se analizará el LEM 25A. Este sensor necesita alimentación a +/-15V. Para alimentarlo será necesaria una fuente de tensión externa. La corriente a medir se obtendrá colocando el sensor entre la salida del autotransformador del horno y la entrada al horno.

Finalmente la medida se obtendrá formando un pequeño circuito desde la salida M y tierra. Para ello se conectará una resistencia de 180 Ω entre M y masa. Se conectará entonces el punto M con una entrada analógica del Arduino UNO.

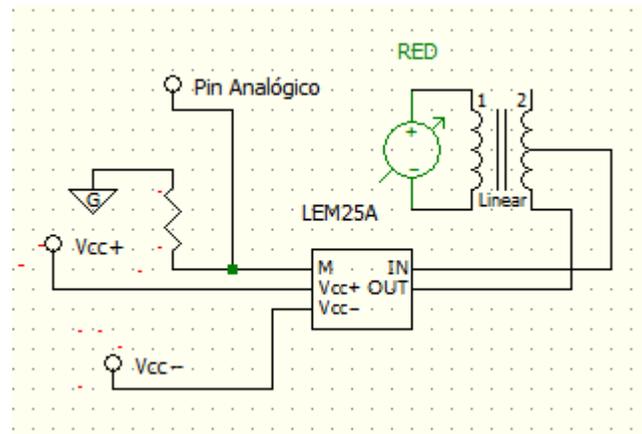


Figura 29: Esquema circuito corriente

Para probar este sensor lo que se ha hecho ha sido, en primer lugar medir con un polímetro la corriente en las distintas posiciones del horno. También con otro polímetro se ha medido la tensión. Con esto, se ha podido sacar la impedancia del horno y que nos será útil más adelante.

%	V	I	R
0	0	0	
5	11,6	0,13	89,2307692
10	23,7	0,27	87,7777778
15	35	0,39	89,7435897
20	45,1	0,51	88,4313725
25	57,9	0,65	89,0769231
30	69,3	0,78	88,8461538
35	80	0,9	88,8888889

40	91,9	1,04	88,3653846
45	103,6	1,17	88,5470085
50	114,3	1,29	88,6046512
55	125,2	1,41	88,7943262
60	135,4	1,53	88,496732
65	144,7	1,63	88,7730061
70	155	1,74	89,0804598
75	167,1	1,87	89,3582888
80	177,1	1,98	89,4444444
85	188,3	2,11	89,2417062
90	198,2	2,22	89,2792793
95	207,9	2,32	89,612069
100	218,3	2,45	89,1020408

Tabla 2: Prueba polímetro.

Haciendo el promedio se obtiene una impedancia aproximada de 88.93Ω.

Una de las particularidades de estos sensores es que no miden el valor eficaz directamente. Por tanto será necesario calcularlo. Se buscará el valor máximo de la medición y se obtendrá el valor eficaz a partir de la siguiente fórmula:

$$I_{rms} = \frac{I_{pp}}{\sqrt{2}} \quad ; \quad I_{pp} = M * \frac{5}{1023} * \frac{1}{R}$$

En este caso, midiendo la impedancia da un valor de 178.54Ω. M es el valor digital obtenido en la medida.

Realizando todos los cálculos, los resultados obtenidos tras todas las pruebas son los siguientes. Si se desea ver más detenidamente los resultados, aparecen todas las gráficas en los anexos.

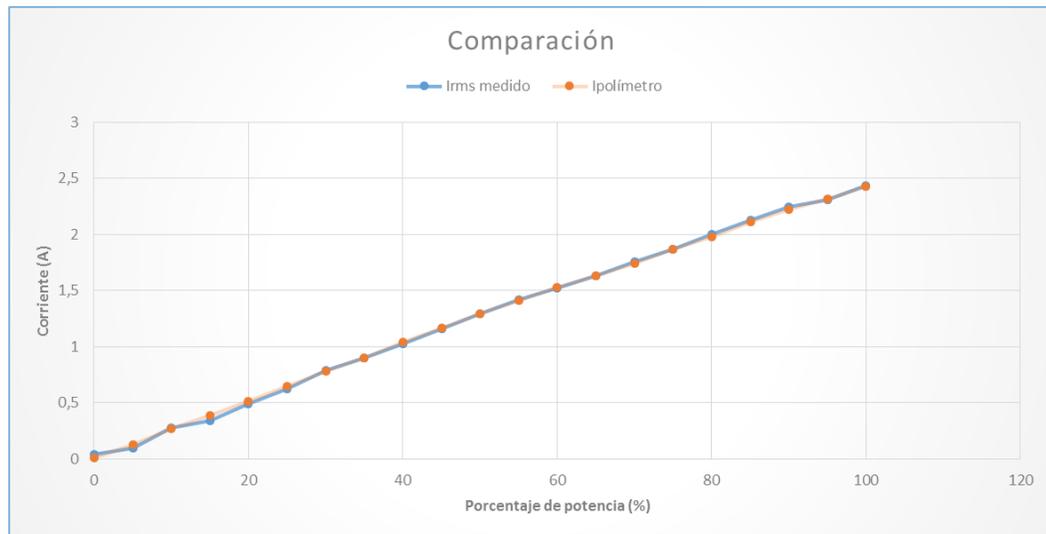


Figura 30: Resultados medición de corriente

Se ve que se asemeja bien al valor medido por el polímetro. Se ha realizado un pequeño estudio del error. Salvo con un % de potencia, del 0% el error cometido es próximo a la unidad. Se produce mayor error cuando el % de potencia es bajo pero al sobre pasar el 20% se mantiene bastante estable. Es un error que cumple las especificaciones del proyecto. Se concluye que, como se esperaba, el sensor es muy robusto y preciso. Además es muy lineal propiedad que será muy útil a la hora de programar el control.

3.2.2. DISEÑO ACS712

El diseño del sistema de sensado de corriente con el sensor ACS 712 es más sencillo que el anterior. Tiene muchas ventajas con respecto al anterior sensor. La principal es que no necesita ninguna alimentación externa ya que con lo que alimenta el arduino es suficiente. Por otro lado, es un sensor bastante más compacto y por tanto hay un gran ahorro de espacio en la placa. Se analizará ahora si la precisión es similar al anterior sensor.

El montaje es trivial, ya que solo necesita ser conectado Gnd con la Gnd del Arduino, Vcc con la salida de 5 V del arduino, y el pin de medida al pin analógico que se desee. El sensor se conectará como el anterior, entre la salida del autotransformador y la entrada al horno.

Este sensor tiene el mismo problema que el anterior, ya que hay que calcular el valor eficaz. Se hará como en el apartado anterior.

$$I_{rms} = I_{pp}/\sqrt{2}$$

$$I_{pp} = M * \frac{5}{1023} * \frac{1}{R}$$

Los resultados han sido los siguientes.

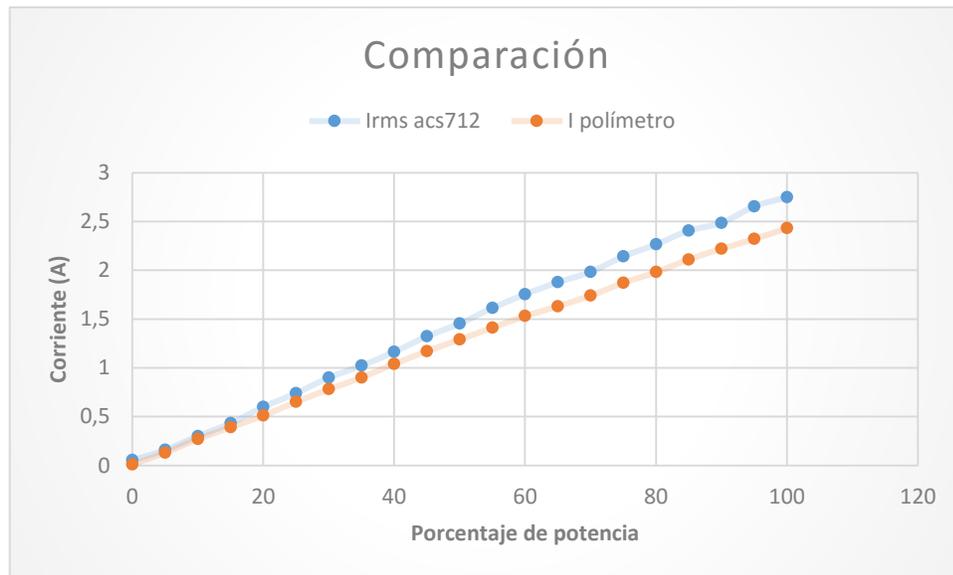


Figura 31: Comparativa sensor-polímetro

Se observa que existe una diferencia mayor entre las dos mediciones. Esto puede deberse a diferentes motivos. Puede que haya un offset, puede se pierda precisión al procesar la información con arduino o simplemente que el sensor sea menos preciso. En definitiva el sensor mide con menos precisión que el anterior. Se ha realizado un pequeño estudio del error relativo.

Como en el anterior apartado, existe un enorme error en la posición de 0% de potencia. Sin embargo, no tiene mucho sentido conectar el horno al 0%. Dejando de lado esta apreciación, el error relativo es en torno al 13- 14% dependiendo del caso. Es un error totalmente inaceptable. Si se desea utilizar este sensor es necesario realizar un acondicionamiento de señal para ganar precisión.

3.2.3. DISCUSIÓN ENTRE LOS DOS SENSORES

Se puede ver claramente que existe una diferencia grande entre la precisión de un sensor y del otro. Aunque el con sensor ACS712 se ahorre espacio y se consiga evitar tener que conectar una fuente de tensión externa, su falta de precisión hace que sea inviable su utilización. Cabe destacar que la precisión del LEM25A es muy buena y por contrario con el ACS712, se comete un gran error. Por tanto se utilizará el sensor LEM25.

3.2.4. CALIBRACIÓN FINAL

Finalmente se ha decidido realizar el sensado de corriente con el LEM 25.

Una vez probado que todo el hardware está bien diseñado y funciona lo que se ha hecho ha sido construir una placa electrónica (PCB) en la que se distribuye todo el sistema snteriormente expuesto.

Para ver que todo funcionaba correctamente y que el diseño de la placa ha sido el correcto, se ha realizado una última prueba de hardware. La prueba de calibración final ha sido la misma que la mostrada anteriormente .Los resultados han sido los siguientes:

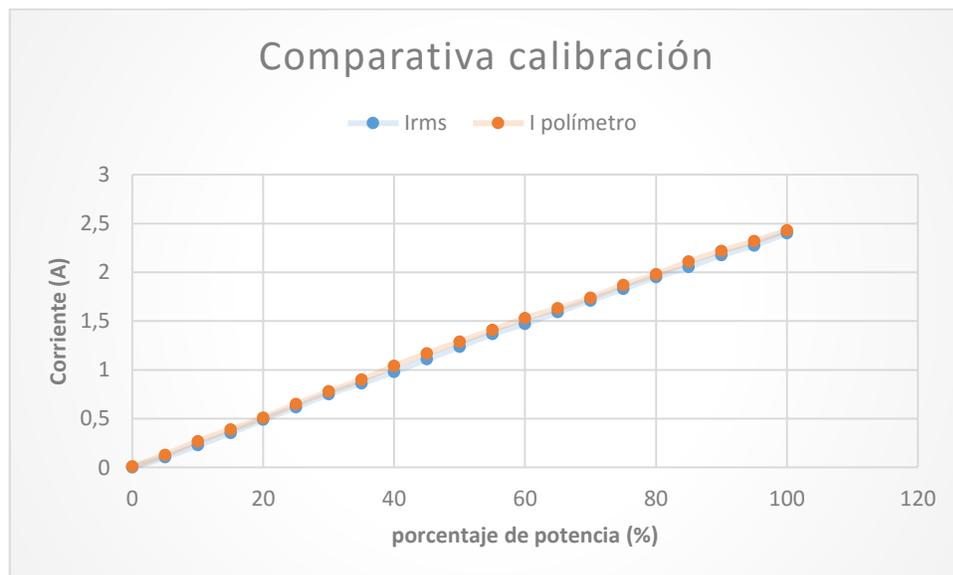


Figura32: Comparativa final.

Se observa en la figura que no hay un cambio apreciable entre las dos mediciones. Aparentemente se desvía un poco más que antes pero todo dentro de las especificaciones del proyecto. Se ha analizado el error para corroborar esta cuestión.

Se ha analizado que el error aumenta un poco. Se encuentra principalmente rondando el 3-4 %. Como en el caso anterior la estabilidad comienza a partir del 20 %. El aumento del error puede deberse al sistema de acondicionamiento. Puede que el Arduino UNO se poco preciso al procesar la señal. Ahora se entiende que el error observado utilizando el sensor ACS712 sea tan elevado. En la medida se suman los errores del propio sensor y del acondicionamiento.

Se ha concretado que la resolución es de 3.73 mA por bit.

3.3 SISTEMA DE ACTUACIÓN

En cuanto al sistema de actuación poco hay que decir. El sistema de actuación consta de un relé que corta la corriente del auto-transformador en función de la información que le llegue del ordenador (a través del Arduino UNO).

Como se ha dicho anteriormente, se realizará un control todo/nada. Cuando la temperatura medida sea 10 °C superior a la temperatura deseada se cortará la corriente cambiando el estado del relé. Siempre y cuando la temperatura sea 10°C inferior a la temperatura deseada se volverá a dejar circular la corriente. El circuito quedará de la siguiente manera:

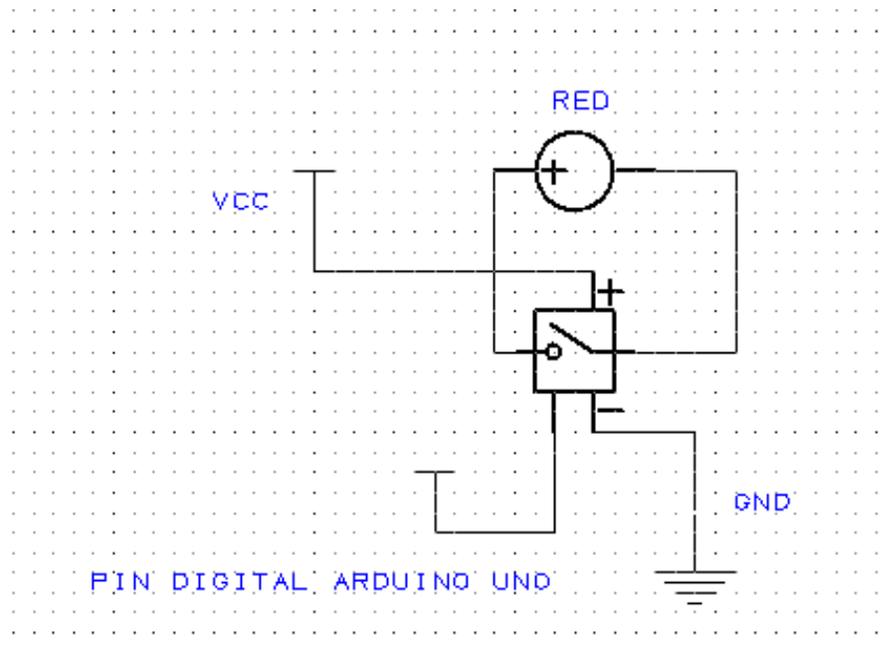


Figura.33: Sistema de actuación

4. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SOFTWARE

El software es una parte esencial del sistema ya que es lo que interactuará con el usuario. Además a través del software se conocerán los resultados obtenidos. Se realizará el software para la creación las distintas funciones de sistema:

- Encendido y apagado manual.
- Monitorización de la temperatura instantánea
- Monitorización del valor eficaz de la corriente instantánea
- Monitorización del valor de la potencia instantánea.
- Cronómetro
- Alarma
- Calculo aproximado del tiempo hasta la temperatura deseada

En la siguiente figura se observa el panel frontal de monitorización. En el puede verse todas las funciones.



Figura 34: Panel frontal de monitorización del sistema

En la izquierda se puede ver el sistema de monitorización de temperatura. En él se muestra la temperatura en °C, K y F. También aparece la evolución de la temperatura en función del tiempo. En la tabla se muestra el tiempo restante para alcanzar la temperatura deseada.

En la parte derecha aparece el sistema de monitorización de potencia y corriente. La corriente se muestra mediante el valor eficaz. En la parte superior derecha se observa tanto el cronómetro como la alarma que indica el fin de ensayo. Finalmente se muestran también la evolución de la corriente y potencia en función del tiempo.

Material y componentes necesarios

- LabView
- LINX
- Arduino
- Macro de Excel PLX-DAQ
- DESIGNSPARK

4.1 SISTEMA DE TEMPERATURA

4.1.1. SOFTWARE DE ENTRADA DE DATOS

Como sea dicho anteriormente, este sistema actúa con el software LabView pero necesita un nexo entre el hardware y el software. Aquí es donde entra Arduino. Se utilizarán las entradas analógicas A1 y A2 para recibir la información de los sensores. Una vez recibidos los datos, Arduino los enviará a LabView. LabView procesará los datos y formulará una respuesta.

Se utilizará también una extensión llamada Makerhub LINX, que está creada para poder establecerla comunicación serial con Arduino.

El software de adquisición de datos quedará así.

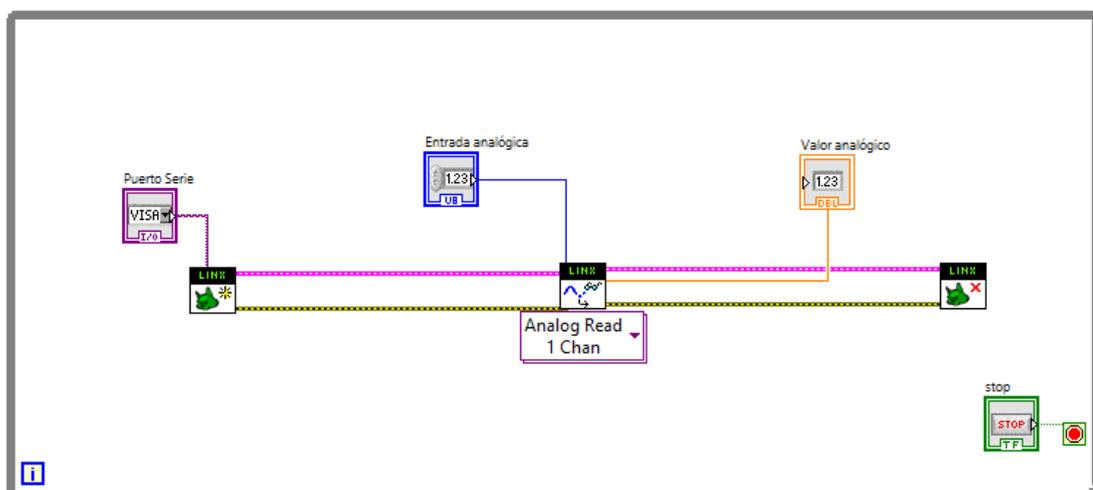


Figura 35: Software de adquisición de datos

Para que los datos se puedan obtener correctamente son necesarios los bloques init y close. Estos bloques son los que se encargan de iniciar o terminar la comunicación Labview – Arduino. Será necesario además indicar el puerto serie al que se encuentra conectado el Arduino UNO y también qué entrada analógica se utilizará para la obtención de datos.

Una vez realizado el diseño y montaje de hardware, se probó que se obtenían correctamente los datos, utilizando el programa de la figura.

4.1.2. MONITORIZACIÓN DE TEMPERATURA

Una vez que se ha obtenido correctamente el dato de temperatura, lo que será necesario es monitorizarla, para que sea útil al usuario. En este apartado se han utilizado diferentes bloques:

- Waveform chart.
- Bloques de operaciones matemáticas como multiplicadores, restadores..
- Indicador del valor de temperatura.

El dato de temperatura, viene en forma de tensión. Esta tensión siempre estará entre 0 y 5V. Mediante los bloques de operaciones aritméticas se conseguirá obtener el dato de temperatura. Una vez obtenido, se monitorizará mediante un indicador del valor de la temperatura. Además, para que sea más atractivo para el usuario se ha decidido crear una pequeña gráfica en la que se verá la evolución de la temperatura en función del tiempo. Para ello se ha utilizado la función Waveform Chart.

El cálculo de temperatura se ha hecho de la siguiente manera:

$$T = dato * \frac{1000000}{41 * 93.8}$$

Esto no es más que la aplicación del cálculo de temperatura que se ha realizado en etapa de diseño de hardware.

Serán necesarios por tanto, dos divisores y un multiplicador. En diseño final quedará así.

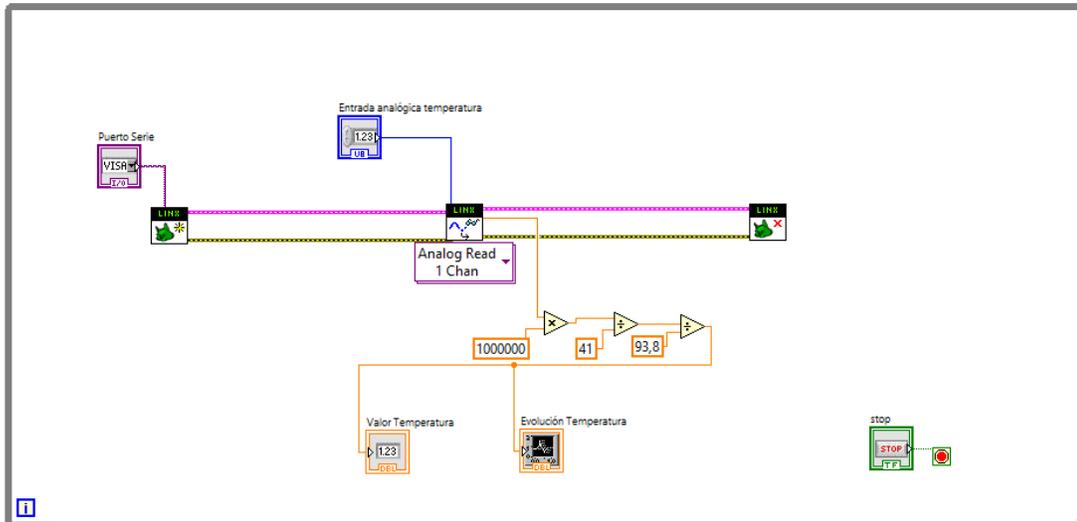


Figura 36: Software de monitorización de temperatura

4.1.3. SOFTWARE DE CÁLCULO DE TIEMPO RESTANTE

Una función interesante del sistema es que le permite al usuario conocer aproximadamente el tiempo que resta para llegar a la temperatura deseada en cada posición del transformador del horno.

Para ello lo primero que se ha hecho ha sido ver la evolución de la temperatura del horno en las diferentes posiciones. Esta prueba se ha realizado mediante el macro de Excel PLX-DAQ. Se ha realizado un programa en Arduino para poder realizar la adquisición de datos (anexos). Se han realizado mediciones en las posiciones múltiplos de 10. Aunque se ha realizado en todas esas posiciones el cálculo se ha realizado sólo a partir del 30%. La razón ha sido que la corriente que circula por el transformador es tan pequeña que no es capaz de calentar el horno en un tiempo razonable ni tampoco de llegar a grandes temperaturas.

Se analizará un ejemplo de este ensayo. En este ensayo, se ha realizado al 90% de potencia. Se muestra que al principio sube rápido, pero al llegar a una determinada temperatura la velocidad de aumento de temperatura baja considerablemente. Esta respuesta dinámica sigue claramente una respuesta de primer orden del tipo exponencial negativa.

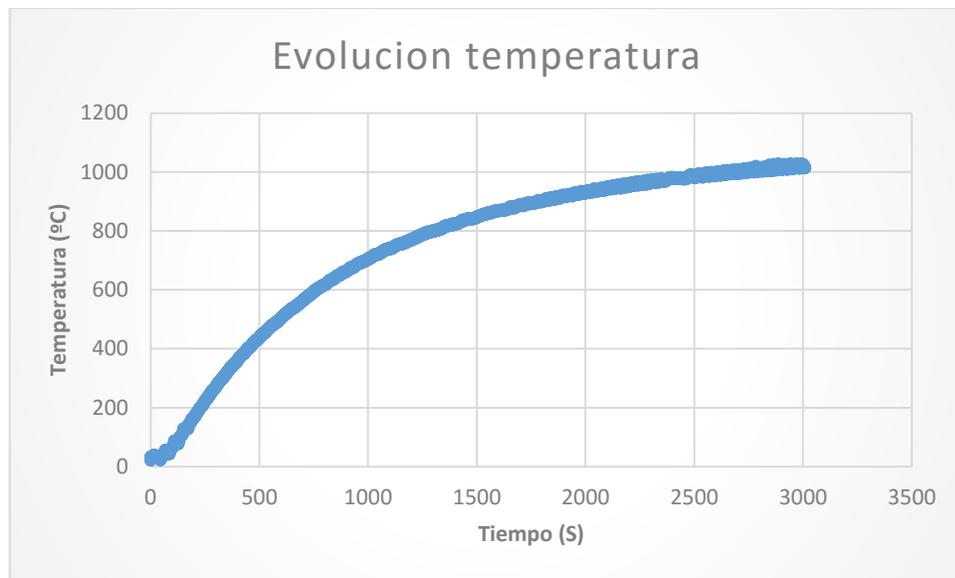


Figura 37: Evolución de la temperatura a lo largo del tiempo.

Para realizar el cálculo del tiempo restante, lo que se ha hecho ha sido representar el tiempo en función de la temperatura. También se ha utilizado la función línea de tendencia para tener una idea de la evolución pero de manera analítica. El tipo de función a que más se asemeja es una función polinómica. En función del paso se han utilizado funciones de quinto y sexto orden.

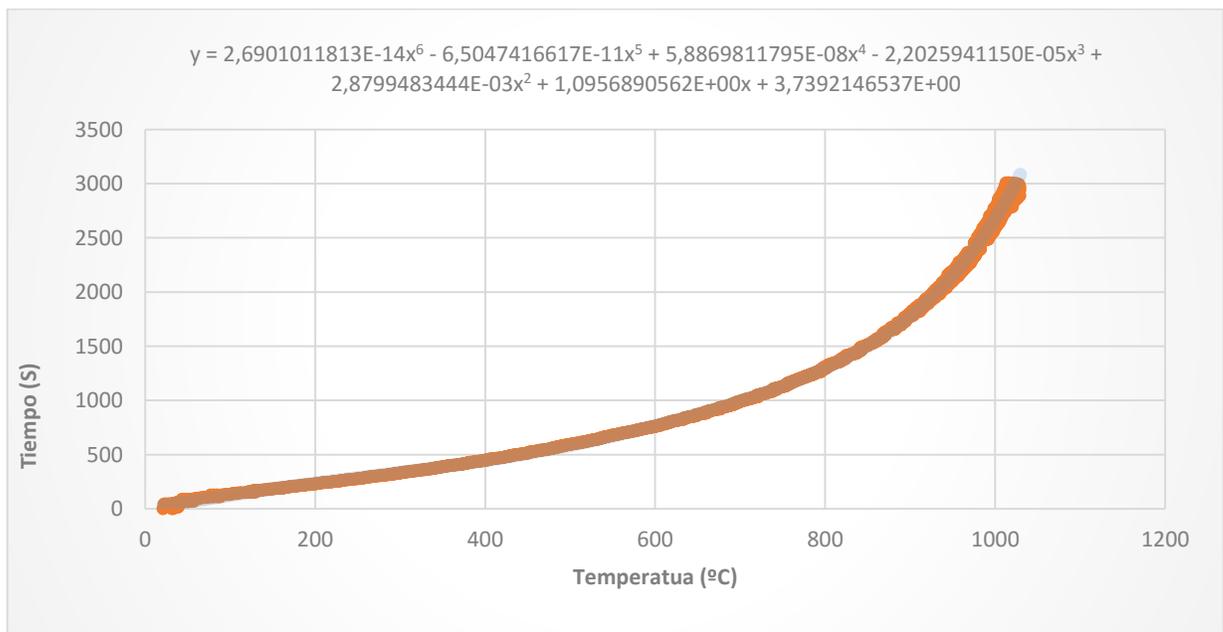


Figura 38: Representación del tiempo frente a temperatura

En este caso se observa una función de sexto orden. Se ha realizado la función de línea de tendencia con 10 decimales ya que con menos se perdía mucha precisión.

Una vez obtenidas las funciones se ha obtenido todo lo necesario para la realización del software. Se han utilizado los siguientes tipos de bloques:

- Un control para la introducción de la temperatura deseada por el usuario.
- Bloques de operaciones aritméticas
- Indicadores tiempos restantes.

El cálculo del se ha realizado creando la función de tiempo restante. Esta función no es más que la concatenación de bloques de operaciones aritméticas que den como resultado final la función calculada en el apartado anterior. Una vez creada se ha introducido la temperatura (por un lado la medida y por otro la deseada) en la función y se han restado para conseguir el tiempo restante. Una vez realizado esto, se ha utilizado un indicador para mostrar el tiempo restante al usuario.

A continuación se mostrará el ejemplo con la función del 90%.

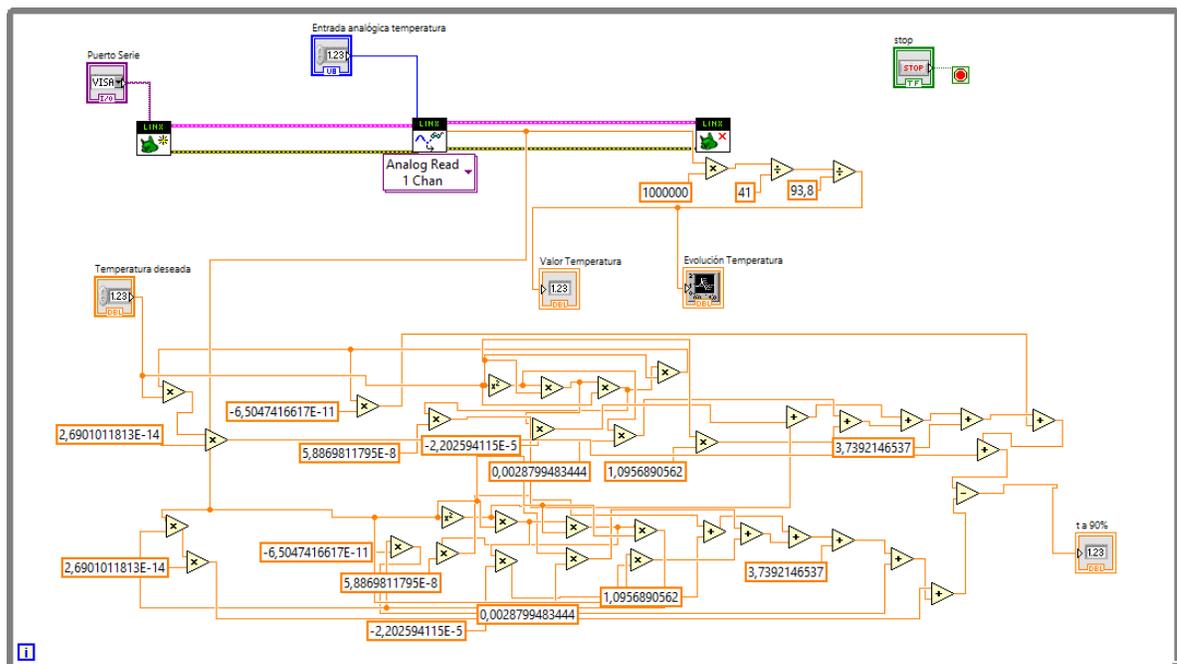


Figura 39: Software de cálculo de tiempo restante

Para las demás posiciones se ha hecho de forma similar. En los anexos aparece el software en su totalidad.

4.2. SISTEMA DE CORRIENTE

4.2.1. MONITORIZACIÓN DE CORRIENTE

Para la monitorización de la corriente se ha utilizado un software similar al de la parte de temperatura en cuanto a la obtención de la información. Para la obtención de la corriente ha sido necesario calcular el valor eficaz. Para ello se ha utilizado esta ecuación.

$$I_{rms} = I_{pp}/\sqrt{2}$$

El cálculo del valor pico pico se hará mediante la detección de los máximos de la señal senoidal. El algoritmo será el siguiente.

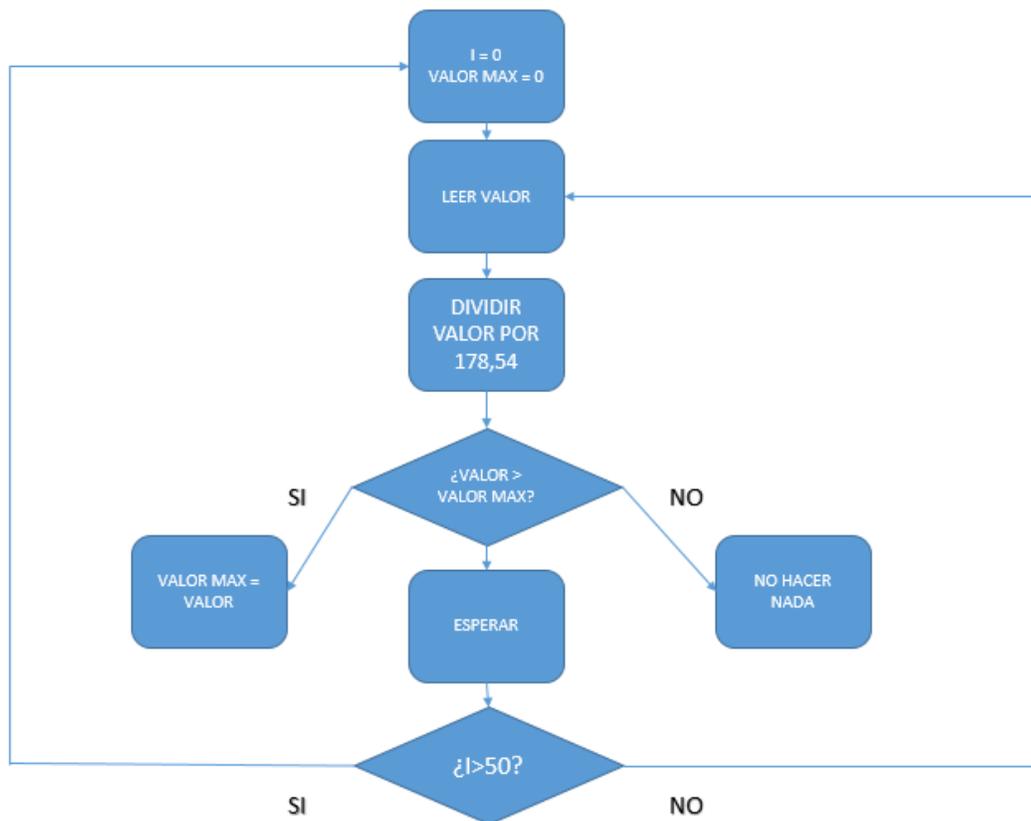


Figura 40: Algoritmo de medición de corriente

condición 1	condición 2	Salida
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tabla 3. Tabla de verdad sistema de actuación

Una vez realizada la tabla de verdad podremos programar en LabView.

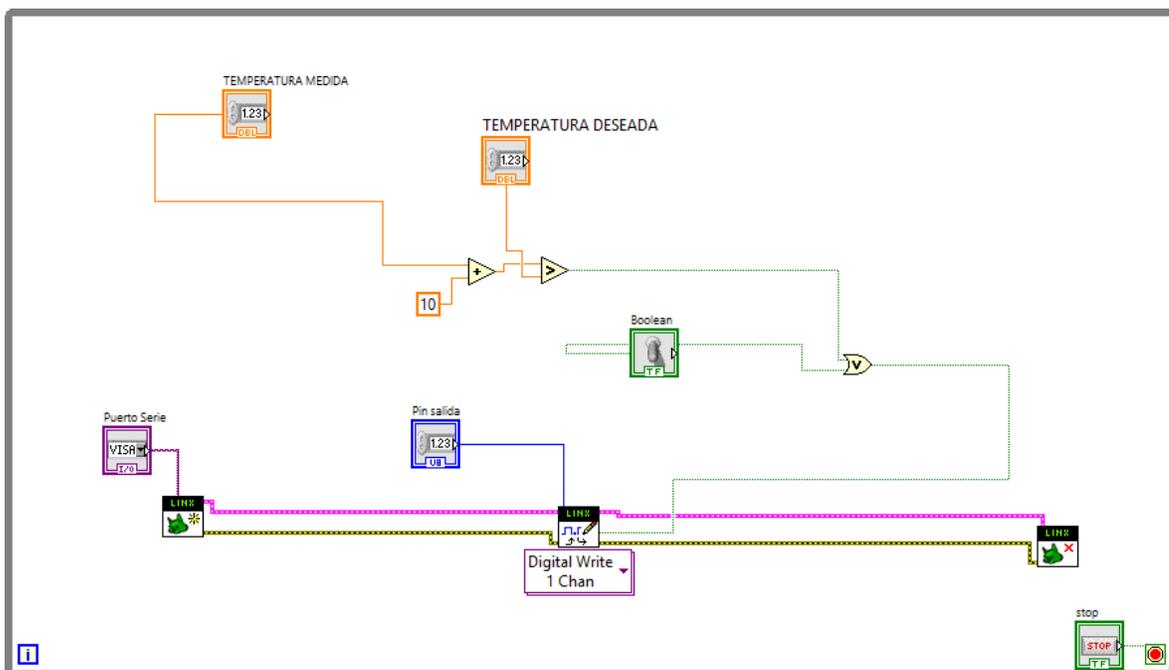


Figura 43: Programación sistema de actuación.

Como se ha dicho en la parte de diseño de hardware, la salida se conectará al relé. Como se observa en la figura el apagado se ha realizado mediante un pequeño pulsador conectado a una puerta AND. La salida del comparador de temperaturas también se ha conectado a la puerta AND.

4.4. RELOJ Y ALARMA

Finalmente, se ha realizado una función de reloj para que el usuario pueda controlar el tiempo de operación. Esta función consta de un control para que el usuario pueda concretar el tiempo de ensayo. También se ha instalado una pequeña alarma que indique que el tiempo operación se ha cumplido.

Para ello sea utilizado bloques de operaciones aritméticas y un pulsador.

La programación ha sido bastante sencilla. Se ha realizado mediante un while y un timing. Al ser un loop lo que se ha hecho ha sido repetir el la iteración cada 1000 ms he ir anotando los segundos. La programación ha quedado de la siguiente manera:

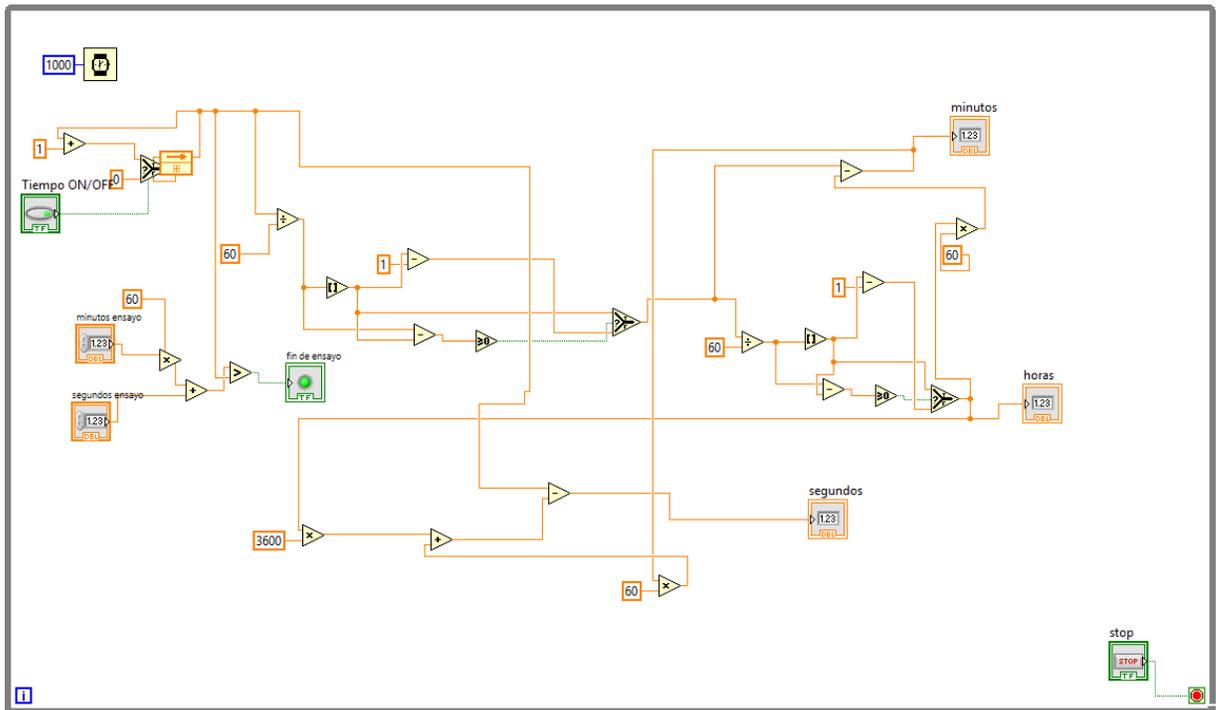


Figura 44: Programación reloj + alarma

Se ha conectado también una pequeña alarma de tal manera que cuando pase un tiempo dado se encenderá una luz. Para la introducción de la temperatura deseada se ha instalado un ruleta con minutos y otra con segundos.

Finalmente, si se desea observar la programación en su conjunto aparece en los anexos.

5. ENSAMBLAJE Y CREACIÓN DE UNA PLACA

Una vez desarrollado todos los módulos por separado, se diseñará todo el sistema en una misma placa PCB. Se ha intentado ajustar la placa al tamaño del hardware de Arduino UNO. Para la creación se ha utilizado el software DesignSpark. Dado que no existían por defecto algunos componentes han tenido que ser creados desde cero.

En la imagen aparece el diseño de la placa. Se ha dejado un espacio grande para la placa con los 8 Relés. El diseño habría sido más compacto si se hubiera utilizado un solo relé. Sin embargo, como solo se disponía de la placa con 8 relés no se ha visto conveniente la adquisición de un relé extra.

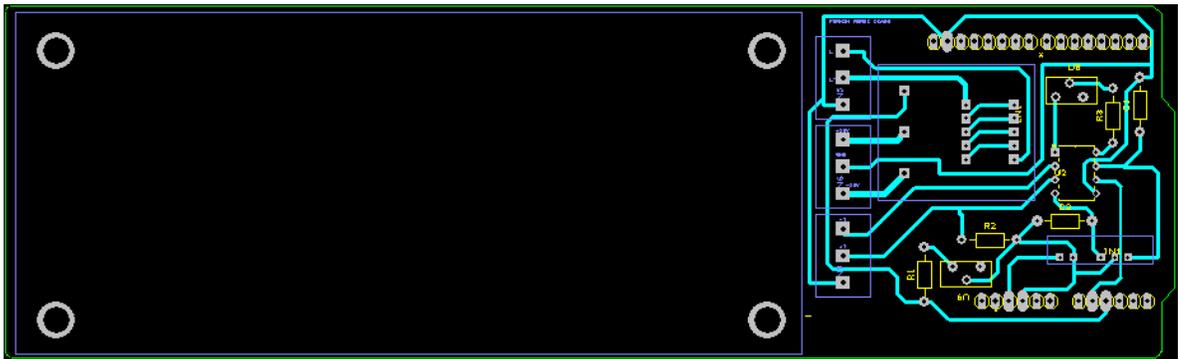


Figura 45: Placa electrónica

Las pistas, salvo algunas excepciones tienen un grosor un 0.8 mm. Las pistas que se conectan a la fuente de tensión tienen un grosor de 1mm. Las demás excepciones son por espacio ya que alguna pista no cabía con 0.8 mm y se ha realizado con 0.5. La distancia entre pistas tiene un mínimo de 0.6 mm. Sin embargo, se intentado que estén lo más separadas posible para un correcto funcionamiento de la PCB. Los elementos creados desde cero son el sensor de corriente, las bornas y el convertidor. Las bornas se han diseñado para instalar bornas de tres salidas. Sin embargo, se han dispuesto de manera que puedan utilizarse bornas de dos salidas sin ningún problema. Se han utilizado dos pines de masa del arduino. Aunque no se aprecie que estén cortocircuitadas, al conectar el Arduino quedarán todas las masas a 0V. Para terminar hay que destacar que se han agrandado algunos puntos de conexión para facilitar la soldadura de los componentes. La placa final ha quedado de la siguiente manera:

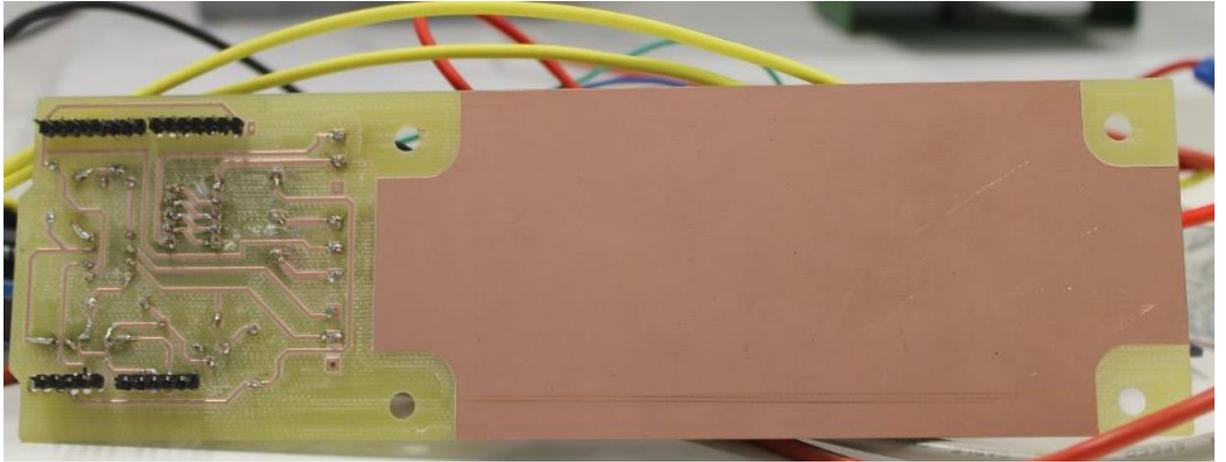


Figura 46: Placa electrónica final

6. COMPROBACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

En el siguiente link aparece un vídeo explicativo del funcionamiento del sistema.

<https://www.youtube.com/watch?v=JkcE7SZjeLM>

En la prueba se ha fundido estaño en un recipiente latón de baja calidad. Se ha calentado el horno durante unos 5 minutos hasta alcanzar los 300°C. En el vídeo se observa el funcionamiento de las diferentes funciones del sistema.

Tras esta prueba se concluye que el sistema funciona de forma correcta.

7. CONCLUSIÓN

Con la realización de este proyecto se han cumplido los objetivos principales:

- *Realización de un sistema de monitorización de la temperatura del horno en tiempo real.* Se ha implementado un software por el cual se puede conocer la temperatura a tiempo real. Por medio de una gráfica puede verse la evolución de la temperatura y también se ha instalado un indicador que muestre el valor de la temperatura. Se han instalado indicadores que muestran temperaturas en Kelvin, Celsius y Fahrenheit.
- *Realización de un sistema de monitorización de la potencia eléctrica requerida por el horno.* Para este hecho necesariamente debe hacerse un análisis de la corriente que le llega. se ha implementado un sistema que mediante la obtención el valor de la corriente el capaz de monitorizar la potencia. Se han instalado gráficas para mostrar la evolución de la corriente y de la potencia a lo largo del tiempo. También se han instalado indicadores que muestren el valor concreto. Se ha mostrado el valor eficaz de la corriente.
- *También se desea que el sistema pueda realizar otras funciones que sean útiles para el usuario.* Se han implementado diferentes funcionalidades. Para empezar se diseñado un reloj que muestre al usuario el tiempo de ensayo. También se ha instalado una pequeña alarma que indique que el tiempo de ensayo ha concluido. También se ha instalado un botón de apagado manual.

Otra función interesante es el cálculo de tiempo restante. Se ha implementado un sistema que informa al usuario del tiempo que resta para llegar a la temperatura deseada, en las distintas configuraciones del horno. Así el usuario puede decidir la posición del autotransformador.

Los objetivos principales se han conseguido cumplir una manera acertada. Sin embargo, el objetivo de sencillez y estética no ha salido como se esperaba.

- **Hardware:** se ha conseguido realizar un hardware bastante compacto. Sin embargo hay dos cuestiones que impiden que el objetivo se haya cumplido en su totalidad. Por un lado, el hecho de necesitar una fuente de tensión para el correcto funcionamiento del sensor de corriente resta sencillez. Por otro lado, la instalación de la placa con 8 relés hace que el sensor abulte mucho y no sea tan compacto. Es importante desatacar que es aspecto económico es importante. Por esta cuestión se ha decidido no adquirir nuevos componentes, dado que la razón es puramente estética.
- **Software:** se ha programado un software muy sencillo y fácil de usar. La relación usuario-software es muy intuitiva. Por tanto, en cuanto al software sí se han cumplido los objetivos.

Por otro lado, se han puesto en práctica conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y se han adquirido nuevos:

- Se ha diseñado un sistema de sensado, actuación y control. Se ha hecho un diseño íntegro desde la selección de componentes hasta el desarrollo del software. Para poder realizarlo se han aplicado conceptos adquiridos en las asignaturas de: “fundamentos de electrónica”, “sistemas electrónicos”, “instrumentación” o “electrónica digital y microprocesadores” entre otras.
- Se han adquirido conocimientos de programación gráfica con el programa LAbView.
- Se han adquirido conocimientos de programación y desarrollo de sistemas digitales con la utilización del hardware y software Arduino.
- También se han adquirido conocimientos en otro tipo de programas como son la macro de Excel PLX-DAQ o el diseño de placas electrónicas (PCB) con el programa DesignSpark.

8. LÍNEAS FUTURAS

En este proyecto se ha conseguido realizar un sistema de control bastante funcional. Sin embargo, es posible seguir añadiendo funciones para conseguir un producto que sea más atractivo al consumidor.

Existen dos líneas que se pueden seguir. Por un lado está la línea estética. Dado que esto no es más que un proyecto de fin de carrera se enfatizado principalmente en el aspecto funcional. Sin embargo si se pretendiese sacar al mercado habría que ahondar en el aspecto estético. Posibles aspectos a trabajar serían los siguientes:

- Diseño de una carcasa. Tiene como objetivo que el hardware sea atractivo a la vista, sin perder funcionalidad.
- Diseño de un software atractivo. El diseño que se ha hecho en este proyecto se ha limitado a cumplir las especificaciones. Sin embargo, al sacarlo al mercado, habría que rediseñar la parte del software que afecta a la relación software-usuario. Cabe destacar que si un software resulta atractivo, aun teniendo las mismas funciones se venderá mucho mejor.

Por otro lado, podrían añadirse funciones o mejorar las existentes.

- Creación de un circuito de alimentación que sustituya la fuente de tensión externa. Este punto puede ser clave para el éxito de este producto. La línea de trabajo será con el objetivo eliminar toda la necesidad de aparatos externos, siendo necesarios únicamente una toma de red y un ordenador.
- Realización del sistema para diferentes tipos de horno. Para que el producto sea exitoso la línea de trabajo tiene que ir encaminada hacia la estandarización. Contra más hornos puedan utilizar este software el mercado potencial de nuestro sistema será más grande.
- Creación de hardware y software que transmita la información y realice el control desde dispositivos a distancia. Esta función puede ser útil para procesos de producción en los que haya mucha distancia entre puestos. Puede ser que solo sea informativa o también de control.

9. PRESUPUESTO

En la siguiente tabla aparece desglosado el precio de cada componente del sistema.

componente	cantidad	precio unitario	precio total	total (€)
sistema de temperatura				
INA 118	1	10,72	10,72	22,504
Resistencia	2	0,02	0,04	
convertidor MCA05D12S	1	9,58	9,58	
condensador	2	0,142	0,284	
potenciómetro de precisión	1	1,88	1,88	
sistema de corriente				
LEM25A	1	17,96	17,96	19,86
Resistencia	1	0,02	0,02	
potenciómetro de precisión	1	1,88	1,88	
componentes genéricos				
Arduino UNO	1	20	20	23,54
Bornes	3	0,36	1,08	
relé (módulo de 1 relé)	1	2,46	2,46	
Total(€)				
			65,904	

Figura 56: Presupuesto

El precio final es de 65.91€. El precio a priori puede parecer barato. No obstante, no se ha contabilizado ni la fuente de tensión externa ni la licencia del software LabView.

Se supone que el usuario dispone de ambos. Si el usuario careciese de ambos subiría mucho el precio ya que la licencia LabView asciende a 995€ la versión básica. La versión premier asciende a 10700€. Siendo un precio tan elevado no se puede pretender que el usuario lo adquiriera sólo para esta aplicación.

10. BIBLIOGRAFÍA

La bibliografía utilizada ha sido la siguiente.

- <http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Electromagnetismo/Electromagnetismo07b.htm>
- <http://www.sciempres.com/informacion-tecnica/News/show/elegir-el-tipo-de-sensor-de-temperatura-y-su-instalacion-191>
- <http://uam.es/docencia/labvformat/labvformat/Anexo/termopar2.htm>
- <http://www.irvinsystems.com/?p=1836>
- http://www.ingetteam.com/es-es/industria/siderurgia/p16_29_119_117/sistemas-electricos-y-de-automatizacion-para-hornos-de-recalentamiento.aspx
- <http://www.empresaeficiente.com/>
- <http://www.ni.com/labview/applications/esa/>
- <https://octopart.com/la+25-np-lem-2139787>
- <http://saber.patagoniatecnology.com/sensor-de-corriente-ac712-5-20-30a-ptec-arduino-pic/>
- <http://www.rs.com>

Además de esto, también se han utilizado apuntes obtenidos a lo largo de la carrera de las asignaturas:

- Sensores y transductores
- Control automático
- Control digital
- Introducción a la electrónica
- Instrumentación
- Sistema electrónicos
- Electrónica digital y microprocesadores

11. ANEXOS

A continuación se muestran diferentes resultados que completan la memoria de este proyecto.

11.1 ROGRAMA ARDUINO PARA ADQUISICIÓN DE DATOS CON PLX-DAQ

```
int ROW = 0;

int LABEL = 1;

int valor = 0;

void setup() {

Serial.begin(9600);

Serial.println("CLEARDATA");

Serial.println("LABEL,Hora,valor,ROW");

// put your setup code here, to run once:

}

void loop() {

// put your main code here, to run repeatedly:

valor = analogRead(A1);

Serial.print("DATA,TIME,");

Serial.print(valor);

Serial.print(",");

Serial.println(ROW);

delay(100);

ROW++;

}
```

11.2 SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA. COMPROBACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL TERMOPAR.

Tiempo (s)	Medición (mV)	T final (°C)
0	-0,1	21,56097561
30	-0,1	21,56097561
60	-0,1	21,56097561
90	0	24
120	0	24
150	0,1	26,43902439
180	0,2	28,87804878
210	0,3	31,31707317
240	0,5	36,19512195
270	0,6	38,63414634
300	0,8	43,51219512
330	0,9	45,95121951
360	1	48,3902439
390	1,2	53,26829268
420	1,3	55,70731707
450	1,4	58,14634146
480	1,5	60,58536585
510	1,6	63,02439024
540	1,8	67,90243902
570	1,9	70,34146341
600	2	72,7804878
630	2,1	75,2195122
660	2,2	77,65853659
690	2,3	80,09756098
720	2,4	82,53658537
750	2,5	84,97560976
780	2,5	84,97560976
810	2,5	84,97560976
840	2,5	84,97560976
870	2,4	82,53658537
900	2,3	80,09756098
930	2,2	77,65853659

960	2,1	75,2195122
990	2,1	75,2195122
1020	2	72,7804878
1050	1,9	70,34146341
1080	1,9	70,34146341
1110	1,9	70,34146341
1140	1,8	67,90243902
1170	1,8	67,90243902
1200	1,7	65,46341463
1230	1,7	65,46341463
1260	1,6	63,02439024
1290	1,6	63,02439024
1320	1,6	63,02439024
1350	1,5	60,58536585
1380	1,5	60,58536585
1410	1,5	60,58536585

11.3 COMPARACIÓN UTILIZACIÓN LM35 EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTE

Salida de 5V.

% Error relativo	diferencia (°C)	T (°C)	Tambiente(°C)	Tref(°C)	V0 (V)
-0,691793713	-8,994148422	1291,12585	21	30	5
-0,614893736	-7,994356441	1292,12564	21	29	5
-0,537993759	-6,99456446	1293,12544	21	28	5
-0,461093782	-5,994772479	1294,12523	21	27	5
-0,384193805	-4,994980498	1295,12502	21	26	5
-0,307293828	-3,995188517	1296,12481	21	25	5
-0,230393851	-2,995396536	1297,1246	21	24	5
-0,153493874	-1,995604556	1298,1244	21	23	5
-0,076593897	-0,995812575	1299,12419	21	22	5
0,00030608	0,003979406	1300,12398	21	21	5
0,077206057	1,003771387	1301,12377	21	20	5
0,154106034	2,003563368	1302,12356	21	19	5
0,231006011	3,003355349	1303,12336	21	18	5
0,307905988	4,00314733	1304,12315	21	17	5
0,384805965	5,00293931	1305,12294	21	16	5
0,461705942	6,002731291	1306,12273	21	15	5
0,538605919	7,002523272	1307,12252	21	14	5
0,615505896	8,002315253	1308,12232	21	13	5
0,692405873	9,002107234	1309,12211	21	12	5

0,76930585	10,00189921	1310,1219	21	11	5
0,846205827	11,0016912	1311,12169	21	10	5

Salida de 4V

% Error relativo	diferencia(°C)	T(°C)	Ta(°C)	Tref(°C)	V0(V)
-0,86511591	-8,99807062	1031,10193	21	30	4
-0,76899131	-7,99827864	1032,10172	21	29	4
-0,67286671	-6,99848666	1033,10151	21	28	4
-0,57674211	-5,99869468	1034,10131	21	27	4
-0,48061751	-4,9989027	1035,1011	21	26	4
-0,38449291	-3,99911072	1036,10089	21	25	4
-0,2883683	-2,99931874	1037,10068	21	24	4
-0,1922437	-1,99952676	1038,10047	21	23	4
-0,0961191	-0,99973478	1039,10027	21	22	4
5,5E-06	5,72053E-05	1040,10006	21	21	4
0,0961301	0,999849186	1041,09985	21	20	4
0,1922547	1,999641167	1042,09964	21	19	4
0,2883793	2,999433148	1043,09943	21	18	4
0,38450391	3,999225129	1044,09923	21	17	4
0,48062851	4,99901711	1045,09902	21	16	4
0,57675311	5,99880909	1046,09881	21	15	4
0,67287771	6,998601071	1047,0986	21	14	4
0,76900231	7,998393052	1048,09839	21	13	4
0,86512691	8,998185033	1049,09819	21	12	4
0,96125152	9,997977014	1050,09798	21	11	4
1,05737612	10,99776899	1051,09777	21	10	4

Salida a 3V

%Error relativo	diferencia(°C)	T(°C)	Ta(°C)	Tref(°C)	V0(V)
-1,15347643	-8,99799282	771,078007	21	30	3
-1,02531046	-7,99820084	772,077799	21	29	3
-0,89714449	-6,99840886	773,077591	21	28	3
-0,76897852	-5,99861688	774,077383	21	27	3
-0,64081255	-4,9988249	775,077175	21	26	3
-0,51264658	-3,99903292	776,076967	21	25	3
-0,38448061	-2,99924094	777,076759	21	24	3
-0,25631464	-1,99944896	778,076551	21	23	3
-0,12814866	-0,99965698	779,076343	21	22	3
1,7307E-05	0,000135	780,076135	21	21	3
0,12818328	0,99992699	781,075927	21	20	3
0,25634925	1,99971897	782,075719	21	19	3

0,38451522	2,99951095	783,075511	21	18	3
0,51268119	3,99930293	784,075303	21	17	3
0,64084716	4,99909491	785,075095	21	16	3
0,76901313	5,99888689	786,074887	21	15	3
0,8971791	6,99867887	787,074679	21	14	3
1,02534508	7,99847085	788,074471	21	13	3
1,15351105	8,99826283	789,074263	21	12	3
1,28167702	9,99805481	790,074055	21	11	3
1,40984299	10,9978468	791,073847	21	10	3

Salida a 2V

%Error relativo	diferencia(°C)	T(°C)	Ta(°C)	Tref(°C)	V0(V)
-1,72981733	-8,99591502	511,054085	21	30	2
-1,53756813	-7,99612304	512,053877	21	29	2
-1,34531892	-6,99633106	513,053669	21	28	2
-1,15306972	-5,99653908	514,053461	21	27	2
-0,96082052	-4,9967471	515,053253	21	26	2
-0,76857131	-3,99695512	516,053045	21	25	2
-0,57632211	-2,99716314	517,052837	21	24	2
-0,38407291	-1,99737116	518,052629	21	23	2
-0,1918237	-0,99757918	519,052421	21	22	2
0,0004255	0,0022128	520,052213	21	21	2
0,1926747	1,00200478	521,052005	21	20	2
0,3849239	2,00179677	522,051797	21	19	2
0,57717311	3,00158875	523,051589	21	18	2
0,76942231	4,00138073	524,051381	21	17	2
0,96167151	5,00117271	525,051173	21	16	2
1,15392072	6,00096469	526,050965	21	15	2
1,34616992	7,00075667	527,050757	21	14	2
1,53841912	8,00054865	528,050549	21	13	2
1,73066833	9,00034063	529,050341	21	12	2
1,92291753	10,0001326	530,050133	21	11	2
2,11516673	10,9999246	531,049925	21	10	2

Salida a 1V

%Error relativo	diferencia(°C)	T(°C)	Ta(°C)	Tref(°C)	V0(V)
-3,46033397	-8,99783723	251,030163	21	30	1
-3,07584	-7,99804524	252,029955	21	29	1
-2,69134603	-6,99825326	253,029747	21	28	1
-2,30685206	-5,99846128	254,029539	21	27	1
-1,92235809	-4,9986693	255,029331	21	26	1
-1,53786412	-3,99887732	256,029123	21	25	1
-1,15337015	-2,99908534	257,028915	21	24	1
-0,76887618	-1,99929336	258,028707	21	23	1
-0,38438221	-0,99950138	259,028499	21	22	1
0,00011176	0,0002906	260,028291	21	21	1
0,38460573	1,00008258	261,028083	21	20	1
0,7690997	1,99987456	262,027875	21	19	1
1,15359367	2,99966655	263,027667	21	18	1
1,53808764	3,99945853	264,027459	21	17	1
1,92258161	4,99925051	265,027251	21	16	1
2,30707558	5,99904249	266,027042	21	15	1
2,69156955	6,99883447	267,026834	21	14	1
3,07606352	7,99862645	268,026626	21	13	1
3,46055749	8,99841843	269,026418	21	12	1
3,84505146	9,99821041	270,02621	21	11	1
4,22954543	10,9980024	271,026002	21	10	1

11.4 COMPARACIÓN MEDICIÓN DATALOGGER Y SISTEMA DE SENSADO DE TEMPERATURA.

Temperatura datalogger (°C)	Temperatura circuito	Tiempo (s)
22,934	21	0
22,934	21	3
22,994	21	6
23,083	21	9
23,392	21	12
23,983	21	15
24,944	21	18
26,306	21	21
28,088	21	24

30,208	21	27
32,725	21	30
35,597	23,5390625	33
38,79	28,6171875	36
42,298	34,96484375	39
46,087	59,0859375	42
50,06	60,35546875	45
54,29	46,390625	48
58,731	45,12109375	51
63,346	48,9296875	54
68,109	55,27734375	57
73,125	57,81640625	60
78,219	24,80859375	63
83,48	62,89453125	66
88,837	79,3984375	69
94,331	81,9375	72
99,883	92,09375	75
105,529	98,44140625	78
111,204	113,6757813	81
117	127,640625	84
122,78	112,40625	87
128,638	118,7539063	90
134,505	125,1015625	93
140,408	128,9101563	96
146,4	136,5273438	99
152,456	111,1367188	102
158,474	145,4140625	105
164,506	21	108
170,611	21	111
176,662	165,7265625	114
182,746	178,421875	117
188,814	183,5	120
194,903	184,7695313	123
200,959	189,8476563	126
206,983	196,1953125	129
212,997	200,0039063	132
218,994	205,0820313	135
224,954	212,6992188	138
230,925	221,5859375	141
236,839	230,4726563	144
242,73	231,7421875	147
248,575	233,0117188	150
254,364	243,1679688	153

260,066	248,2460938	156
265,756	252,0546875	159
271,379	260,9414063	162
276,926	266,0195313	165
282,47	272,3671875	168
287,955	278,7148438	171
293,408	283,7929688	174
298,812	288,8710938	177
304,15	295,21875	180
309,467	297,7578125	183
314,697	304,1054688	186
319,902	310,453125	189
325,077	315,53125	192
330,191	321,8789063	195
335,257	326,9570313	198
340,306	333,3046875	201
345,311	335,84375	204
350,356	346	207
355,326	346	210
360,252	354,8867188	213
365,148	358,6953125	216
369,998	363,7734375	219
374,801	368,8515625	222
379,587	372,6601563	225
384,34	377,7382813	228
389,042	381,546875	231
393,686	387,8945313	234
398,291	392,9726563	237
402,898	394,2421875	240
407,484	401,859375	243
411,995	405,6679688	246
416,49	413,2851563	249
420,942	415,8242188	252
425,327	422,171875	255
429,691	424,7109375	258
433,99	431,0585938	261
438,268	433,5976563	264
442,484	441,2148438	267
446,657	442,484375	270
450,802	447,5625	273
454,901	450,1015625	276
458,995	455,1796875	279
463,037	461,5273438	282

467,001	462,796875	285
470,94	467,875	288
474,828	472,953125	291
478,689	480,5703125	294
482,529	478,03125	297
486,364	485,6484375	300
490,173	488,1875	303
493,936	493,265625	306
497,694	498,34375	309
501,434	500,8828125	312
505,162	505,9609375	315
508,85	511,0390625	318
512,514	513,578125	321
516,141	517,3867188	324
519,717	518,65625	327
523,283	525,0039063	330
526,852	528,8125	333
530,391	532,6210938	336
533,899	535,1601563	339
537,389	540,2382813	342
540,868	542,7773438	345
544,313	544,046875	348
547,734	550,3945313	351
551,122	551,6640625	354
554,469	556,7421875	357
557,794	561,8203125	360
561,078	565,6289063	363
564,369	569,4375	366
567,627	573,2460938	369
570,883	573,2460938	372
574,134	579,59375	375
577,396	580,8632813	378
580,637	582,1328125	381
583,843	589,75	384
587,037	593,5585938	387
590,225	594,828125	390
593,397	597,3671875	393
596,547	603,7148438	396
599,686	607,5234375	399
602,79	608,7929688	402
605,879	608,7929688	405
608,95	613,8710938	408
611,993	617,6796875	411

615,019	622,7578125	414
618,008	624,0273438	417
621,012	21	420
623,984	632,9140625	423
626,944	632,9140625	426
629,864	636,7226563	429
632,773	639,2617188	432
635,654	641,8007813	435
638,534	646,8789063	438
641,381	646,8789063	441
644,228	651,9570313	444
647,034	655,765625	447
649,822	659,5742188	450
652,581	660,84375	453
655,416	662,1132813	456
658,173	669,7304688	459
660,95	672,2695313	462
663,688	671	465
666,399	674,8085938	468
669,079	678,6171875	471
671,781	681,15625	474
674,452	682,4257813	477
677,092	686,234375	480
679,746	690,0429688	483
682,369	692,5820313	486
684,998	695,1210938	489
687,636	700,1992188	492
690,254	702,7382813	495
692,854	700,1992188	498
695,442	705,2773438	501
698,002	709,0859375	504
700,522	709,0859375	507
703,036	714,1640625	510
705,514	715,4335938	513
708,021	719,2421875	516
710,504	719,2421875	519
712,943	726,859375	522
715,399	725,5898438	525
717,838	729,3984375	528
720,302	729,3984375	531
722,74	730,6679688	534
725,147	735,7460938	537
727,503	739,5546875	540

729,875	740,8242188	543
732,227	744,6328125	546
734,572	744,6328125	549
736,904	744,6328125	552
739,217	749,7109375	555
741,532	752,25	558
743,828	753,5195313	561
746,108	758,5976563	564
748,388	757,328125	567
750,652	761,1367188	570
752,91	764,9453125	573
755,135	766,2148438	576
757,351	767,484375	579
759,552	770,0234375	582
761,75	773,8320313	585
763,932	776,3710938	588
766,103	776,3710938	591
768,265	778,9101563	594
770,409	780,1796875	597
772,558	781,4492188	600
774,723	782,71875	603
776,872	789,0664063	606
779,013	786,5273438	609
781,123	790,3359375	612
783,227	795,4140625	615
785,308	799,2226563	618
787,371	801,7617188	621
789,421	800,4921875	624
791,481	803,03125	627
793,536	803,03125	630
795,561	808,109375	633
797,586	813,1875	636
799,599	811,9179688	639
801,6	813,1875	642
803,619	816,9960938	645
805,643	816,9960938	648
807,643	820,8046875	651
809,655	823,34375	654
811,617	825,8828125	657
813,559	828,421875	660
815,499	830,9609375	663
817,445	836,0390625	666
819,349	837,3085938	669

821,277	837,3085938	672
823,181	838,578125	675
825,075	839,8476563	678
826,959	839,8476563	681
828,855	851,2734375	684
830,766	890,6289063	687
832,637	862,6992188	690
834,493	874,125	693
836,343	979,4960938	696
838,144	1003,617188	699
839,957	852,5429688	702
841,747	856,3515625	705
843,508	863,96875	708
845,296	1002,347656	711
847,066	1002,347656	714
848,818	1002,347656	717
850,585	1003,617188	720
852,358	861,4296875	723
854,15	861,4296875	726
855,889	867,7773438	729
857,645	862,6992188	732
859,355	867,7773438	735
861,062	869,046875	738
862,758	874,125	741
864,46	872,8554688	744
866,131	852,5429688	747
867,815	21	750
869,508	21	753
871,171	21	756
872,802	21	759
874,472	21	762
876,133	21	765
877,8	21	768
879,401	21	771
881,009	21	774
882,626	474,2226563	777
884,246	203,8125	780
885,839	21	783
887,421	21	786
889,025	21	789
890,58	21	792
892,149	21	795
893,724	21	798

895,288	21	801
896,835	21	804
898,366	21	807
899,905	21	810
901,415	21	813
902,924	21	816
904,403	21	819
905,915	910,9414063	822
907,386	825,8828125	825
908,872	484,3789063	828
910,362	21	831
911,856	21	834
913,342	21	837
914,816	1003,617188	840
916,282	1002,347656	843
917,738	1002,347656	846
919,196	1001,078125	849
920,638	1001,078125	852
922,075	1002,347656	855
923,521	1002,347656	858
924,928	1002,347656	861
926,395	1002,347656	864
927,761	21	867
929,162	21	870
930,559	21	873
931,984	21	876
933,407	1002,347656	879
934,777	1002,347656	882
936,188	1001,078125	885
937,563	1001,078125	888
938,965	1001,078125	891
940,464	1002,347656	894
941,646	957,9140625	897
942,757	957,9140625	900
943,514	956,6445313	903
943,794	957,9140625	906
943,528	956,6445313	909
942,759	955,375	912
941,591	956,6445313	915
940,117	954,1054688	918
938,386	950,296875	921
936,463	947,7578125	924
934,465	946,4882813	927

932,354	945,21875	930
930,179	942,6796875	933
927,969	945,21875	936
925,736	940,140625	939
923,462	936,3320313	942
921,188	933,7929688	945
918,952	931,2539063	948
916,715	933,7929688	951
914,492	929,984375	954
912,323	924,90625	957
910,19	928,7148438	960
908,046	924,90625	963
905,98	919,828125	966
903,892	916,0195313	969
901,802	913,4804688	972
899,701	914,75	975
897,643	909,671875	978
895,522	907,1328125	981
893,466	909,671875	984
89,143	903,3242188	987
889,367	905,8632813	990
887,374	903,3242188	993
885,363	900,7851563	996
883,373	895,7070313	999
881,373	894,4375	1002
879,378	894,4375	1005
877,405	891,8984375	1008
875,499	889,359375	1011
873,571	888,0898438	1014
871,678	883,0117188	1017
869,792	884,28125	1020
867,921	879,203125	1023
866,036	881,7421875	1026
864,219	877,9335938	1029
862,36	879,203125	1032
860,56	875,3945313	1035
858,733	872,8554688	1038
85,693	871,5859375	1041
855,127	870,3164063	1044
853,369	865,2382813	1047
851,647	863,96875	1050
849,928	861,4296875	1053
848,198	862,6992188	1056

846,481	861,4296875	1059
844,756	856,3515625	1062
843,046	858,890625	1065
841,348	858,890625	1068
839,649	852,5429688	1071
837,973	852,5429688	1074
836,316	848,734375	1077
834,638	851,2734375	1080
832,998	848,734375	1083
831,329	843,65625	1086
829,681	846,1953125	1089
828,093	841,1171875	1092
826,5	838,578125	1095
824,917	837,3085938	1098
823,312	834,7695313	1101
821,742	833,5	1104
820,158	833,5	1107
818,582	830,9609375	1110
817,031	828,421875	1113
815,487	829,6914063	1116
813,968	825,8828125	1119
812,457	828,421875	1122
810,931	824,6132813	1125
809,431	823,34375	1128
807,912	820,8046875	1131
806,459	819,5351563	1134
805,003	814,4570313	1137
803,552	816,9960938	1140
802,095	811,9179688	1143
800,61	810,6484375	1146
799,144	811,9179688	1149
797,695	811,9179688	1152
796,269	810,6484375	1155
794,847	806,8398438	1158
793,417	809,3789063	1161
791,996	803,03125	1164
790,587	805,5703125	1167
786,21	803,03125	1170
787,835	801,7617188	1173
786,448	800,4921875	1176
785,104	796,6835938	1179
783,727	796,6835938	1182
782,378	797,953125	1185

781,025	796,6835938	1188
779,65	794,1445313	1191
778,311	790,3359375	1194
776,953	786,5273438	1197
775,615	790,3359375	1200
774,318	785,2578125	1203
772,988	786,5273438	1206
771,709	785,2578125	1209
770,385	786,5273438	1212
769,092	783,9882813	1215
767,802	781,4492188	1218
766,56	778,9101563	1221
765,301	777,640625	1224
764,054	775,1015625	1227
762,808	776,3710938	1230
761,551	772,5625	1233
760,306	771,2929688	1236
759,083	772,5625	1239
757,839	770,0234375	1242
756,606	768,7539063	1245
755,342	766,2148438	1248
754,089	764,9453125	1251
752,863	766,2148438	1254
751,66	762,40625	1257
750,469	762,40625	1260
749,277	761,1367188	1263
748,123	756,0585938	1266
746,977	754,7890625	1269
745,854	757,328125	1272
744,674	756,0585938	1275
743,54	757,328125	1278
742,396	754,7890625	1281
741,235	752,25	1284
740,088	752,25	1287
738,928	747,171875	1290
737,792	748,4414063	1293
736,656	749,7109375	1296
735,544	745,9023438	1299
734,408	747,171875	1302
733,298	744,6328125	1305
732,143	742,09375	1308
731,038	744,6328125	1311
729,933	742,09375	1314

728,822	739,5546875	1317
727,727	739,5546875	1320
726,622	737,015625	1323
725,556	734,4765625	1326
724,475	737,015625	1329
723,386	731,9375	1332
722,287	730,6679688	1335
721,198	733,2070313	1338
720,13	731,9375	1341
719,054	728,1289063	1344
717,947	728,1289063	1347
716,871	725,5898438	1350
715,751	723,0507813	1353
714,682	724,3203125	1356
713,574	720,5117188	1359
712,498	726,859375	1362
711,453	721,78125	1365
710,416	717,9726563	1368
709,377	724,3203125	1371
708,301	715,4335938	1374
707,249	717,9726563	1377
706,155	715,4335938	1380
705,1	712,8945313	1383
704,04	714,1640625	1386
702,971	712,8945313	1389
701,889	712,8945313	1392
700,837	709,0859375	1395
699,811	707,8164063	1398
698,799	712,8945313	1401
697,782	704,0078125	1404
696,764	705,2773438	1407
695,73	702,7382813	1410
694,727	704,0078125	1413
693,726	706,546875	1416
692,739	705,2773438	1419
691,746	701,46875	1422
690,741	696,390625	1425
689,766	698,9296875	1428
688,821	695,1210938	1431
687,867	697,6601563	1434
686,9	695,1210938	1437
685,938	696,390625	1440
684,994	696,390625	1443

684,047	693,8515625	1446
683,1	692,5820313	1449
682,119	693,8515625	1452
681,126	690,0429688	1455
680,163	690,0429688	1458
679,218	688,7734375	1461
678,287	688,7734375	1464
677,28	686,234375	1467
676,326	686,234375	1470
675,422	682,4257813	1473
674,493	682,4257813	1476
673,589	683,6953125	1479
672,709	682,4257813	1482
671,796	683,6953125	1485
670,901	678,6171875	1488
670,005	678,6171875	1491
669,137	678,6171875	1494
668,213	676,078125	1497
667,256	678,6171875	1500
666,339	673,5390625	1503
665,408	677,3476563	1506
664,493	672,2695313	1509
663,565	676,078125	1512
662,666	671	1515
661,79	667,1914063	1518
660,907	671	1521
660,01	668,4609375	1524
659,106	663,3828125	1527
658,166	665,921875	1530
657,309	665,921875	1533
656,408	667,1914063	1536
655,551	662,1132813	1539
654,679	662,1132813	1542
653,78	663,3828125	1545
652,922	659,5742188	1548
652,049	658,3046875	1551
651,177	658,3046875	1554
650,305	651,9570313	1557
649,413	657,0351563	1560
648,547	657,0351563	1563
647,691	659,5742188	1566
646,855	654,4960938	1569
646,002	651,9570313	1572

645,163	653,2265625	1575
644,365	649,4179688	1578
643,555	648,1484375	1581
642,749	648,1484375	1584
641,907	645,609375	1587
641,076	645,609375	1590
640,251	644,3398438	1593
639,423	646,8789063	1596
638,612	648,1484375	1599
637,762	645,609375	1602
636,951	640,53125	1605
636,148	645,609375	1608
635,325	640,53125	1611
634,506	645,609375	1614
633,665	637,9921875	1617
632,876	640,53125	1620
632,088	639,2617188	1623
631,279	637,9921875	1626
630,513	635,453125	1629
629,734	639,2617188	1632
628,952	634,1835938	1635
628,156	635,453125	1638
627,396	635,453125	1641
626,583	629,1054688	1644
625,803	631,6445313	1647
625,02	627,8359375	1650
624,217	630,375	1653
623,429	629,1054688	1656
622,64	630,375	1659
621,86	629,1054688	1662
621,125	625,296875	1665
620,361	624,0273438	1668
619,635	627,8359375	1671
618,939	627,8359375	1674
618,213	622,7578125	1677
617,467	624,0273438	1680
616,735	621,4882813	1683
615,991	624,0273438	1686
615,237	621,4882813	1689
614,499	620,21875	1692
613,755	621,4882813	1695
613,015	618,9492188	1698
612,252	618,9492188	1701

611,52	615,140625	1704
610,768	616,4101563	1707
610,028	613,8710938	1710
609,303	615,140625	1713
608,553	616,4101563	1716
607,811	613,8710938	1719
607,13	612,6015625	1722
606,413	608,7929688	1725
605,719	611,3320313	1728
605,009	610,0625	1731
604,289	610,0625	1734
603,608	607,5234375	1737
602,869	606,2539063	1740
602,139	607,5234375	1743
601,416	607,5234375	1746
600,689	603,7148438	1749
599,958	606,2539063	1752
599,245	603,7148438	1755
598,526	604,984375	1758
597,81	602,4453125	1761
597,109	598,6367188	1764
596,412	599,90625	1767
595,732	599,90625	1770
595,062	598,6367188	1773
594,372	597,3671875	1776
593,689	598,6367188	1779
593,003	596,0976563	1782
592,315	599,90625	1785
591,62	596,0976563	1788
590,932	21	1791
590,254	593,5585938	1794
589,577	593,5585938	1797
588,887	593,5585938	1800
588,195	592,2890625	1803
587,526	591,0195313	1806
586,859	592,2890625	1809
586,223	589,75	1812
585,578	587,2109375	1815
584,949	587,2109375	1818
584,292	585,9414063	1821
583,619	587,2109375	1824
582,909	588,4804688	1827
582,237	589,75	1830

581,583	587,2109375	1833
580,882	579,59375	1836
580,192	580,8632813	1839
579,508	582,1328125	1842
578,816	580,8632813	1845
578,134	583,4023438	1848
577,456	582,1328125	1851
576,802	578,3242188	1854
576,153	577,0546875	1857
575,563	580,8632813	1860
574,943	580,8632813	1863
574,335	577,0546875	1866
573,695	575,7851563	1869
573,067	577,0546875	1872
572,436	574,515625	1875
571,782	573,2460938	1878
571,161	575,7851563	1881
570,534	573,2460938	1884
569,887	574,515625	1887
569,225	571,9765625	1890
568,604	573,2460938	1893
567,956	570,7070313	1896
567,307	568,1679688	1899
566,684	569,4375	1902
566,02	568,1679688	1905
565,406	566,8984375	1908
564,782	565,6289063	1911
564,155	568,1679688	1914
563,542	565,6289063	1917
562,904	564,359375	1920
562,299	565,6289063	1923
561,666	565,6289063	1926
561,024	560,5507813	1929
560,388	561,8203125	1932
559,75	563,0898438	1935
559,129	560,5507813	1938
558,478	558,0117188	1941
557,837	561,8203125	1944
557,194	559,28125	1947
556,538	556,7421875	1950
555,94	555,4726563	1953
555,324	556,7421875	1956
554,753	556,7421875	1959

554,173	556,7421875	1962
553,596	554,203125	1965
552,991	555,4726563	1968
552,404	551,6640625	1971
551,786	554,203125	1974
551,186	551,6640625	1977
550,591	552,9335938	1980
549,988	549,125	1983
549,399	550,3945313	1986
548,801	550,3945313	1989
548,216	551,6640625	1992
547,624	547,8554688	1995
547,021	547,8554688	1998
546,45	547,8554688	2001
545,881	546,5859375	2004
545,307	545,3164063	2007
544,728	544,046875	2010
544,158	546,5859375	2013
543,577	545,3164063	2016
542,977	542,7773438	2019
542,392	542,7773438	2022
541,82	544,046875	2025
541,199	542,7773438	2028
540,607	538,96875	2031
540,019	538,96875	2034
539,442	537,6992188	2037
538,844	536,4296875	2040
538,267	538,96875	2043
537,684	538,96875	2046
537,109	536,4296875	2049
536,55	538,96875	2052
535,952	536,4296875	2055
535,432	533,890625	2058
534,857	536,4296875	2061
534,327	537,6992188	2064
533,757	537,6992188	2067
533,18	532,6210938	2070
532,59	531,3515625	2073
532,035	531,3515625	2076
531,435	530,0820313	2079
530,89	530,0820313	2082
530,314	528,8125	2085
529,74	527,5429688	2088

529,17	528,8125	2091
528,599	528,8125	2094
528,062	527,5429688	2097
527,494	522,4648438	2100
526,955	525,0039063	2103
526,423	528,8125	2106
525,871	526,2734375	2109
525,347	528,8125	2112
524,785	525,0039063	2115
524,249	519,9257813	2118
523,685	521,1953125	2121
523,123	522,4648438	2124
522,553	522,4648438	2127
522,005	523,734375	2130
521,44	525,0039063	2133
520,897	517,3867188	2136
520,339	519,9257813	2139
519,792	521,1953125	2142
519,28	518,65625	2145
518,746	518,65625	2148
518,221	514,8476563	2151
517,706	516,1171875	2154
517,185	517,3867188	2157
516,671	516,1171875	2160
516,136	516,1171875	2163
515,594	512,3085938	2166
515,065	514,8476563	2169
514,547	517,3867188	2172
514,006	513,578125	2175
513,467	512,3085938	2178
512,934	512,3085938	2181
512,394	514,8476563	2184
511,853	511,0390625	2187
511,308	509,7695313	2190
510,781	511,0390625	2193
510,258	507,2304688	2196
509,751	507,2304688	2199
509,218	507,2304688	2202
508,704	507,2304688	2205
508,196	509,7695313	2208
507,706	505,9609375	2211
507,189	505,9609375	2214
506,667	503,421875	2217

506,133	505,9609375	2220
505,593	503,421875	2223
505,093	502,1523438	2226
504,588	500,8828125	2229
504,046	500,8828125	2232
503,568	503,421875	2235
503,045	500,8828125	2238
502,538	499,6132813	2241
502,016	502,1523438	2244
501,524	499,6132813	2247
500,976	500,8828125	2250
500,475	497,0742188	2253
499,96	498,34375	2256
499,478	497,0742188	2259
498,966	497,0742188	2262
498,492	495,8046875	2265
498,005	495,8046875	2268
497,49	497,0742188	2271
496,995	495,8046875	2274
496,498	491,9960938	2277
496,006	494,5351563	2280
495,509	491,9960938	2283
495,007	493,265625	2286
494,523	490,7265625	2289
494,013	490,7265625	2292
493,539	491,9960938	2295
493,078	491,9960938	2298
492,571	493,265625	2301
492,111	490,7265625	2304
491,654	490,7265625	2307
491,211	484,3789063	2310
490,752	488,1875	2313
490,325	489,4570313	2316
489,851	486,9179688	2319
489,355	484,3789063	2322
488,881	488,1875	2325
488,395	483,109375	2328
487,906	485,6484375	2331
487,443	483,109375	2334
486,966	486,9179688	2337
486,467	481,8398438	2340
485,986	481,8398438	2343
485,505	481,8398438	2346

485,026	479,3007813	2349
484,522	483,109375	2352
484,054	484,3789063	2355
483,583	476,7617188	2358
483,138	478,03125	2361
482,67	480,5703125	2364
482,222	481,8398438	2367
481,733	476,7617188	2370
481,24	476,7617188	2373
480,774	478,03125	2376
480,315	475,4921875	2379
479,84	475,4921875	2382
479,362	474,2226563	2385
478,847	474,2226563	2388
478,351	474,2226563	2391
477,895	474,2226563	2394
477,421	476,7617188	2397
476,965	472,953125	2400
476,516	476,7617188	2403
476,053	476,7617188	2406
475,607	475,4921875	2409
475,174	471,6835938	2412
474,753	470,4140625	2415
474,321	470,4140625	2418
473,892	471,6835938	2421
473,457	467,875	2424
472,984	472,953125	2427
472,545	467,875	2430
472,107	471,6835938	2433
471,663	469,1445313	2436
471,25	467,875	2439
470,799	464,0664063	2442
470,355	466,6054688	2445
469,899	466,6054688	2448
469,43	462,796875	2451
468,956	465,3359375	2454
468,503	462,796875	2457
468,065	462,796875	2460
467,566	465,3359375	2463
467,119	462,796875	2466
466,688	460,2578125	2469
466,261	461,5273438	2472
465,828	461,5273438	2475

465,398	462,796875	2478
464,967	460,2578125	2481
464,543	462,796875	2484
464,107	460,2578125	2487
463,676	457,71875	2490
463,281	457,71875	2493
462,855	460,2578125	2496
462,43	455,1796875	2499
462,017	458,9882813	2502
461,599	457,71875	2505
461,196	453,9101563	2508
460,773	458,9882813	2511
460,347	453,9101563	2514
459,897	455,1796875	2517
459,47	451,3710938	2520
459,042	455,1796875	2523
458,607	451,3710938	2526
458,12	451,3710938	2529
457,654	453,9101563	2532
457,19	453,9101563	2535
456,703	451,3710938	2538
456,246	453,9101563	2541
455,782	450,1015625	2544
455,367	452,640625	2547
454,959	450,1015625	2550
454,505	450,1015625	2553
454,046	447,5625	2556
453,595	447,5625	2559
453,126	448,8320313	2562
452,668	446,2929688	2565
452,219	447,5625	2568
451,802	446,2929688	2571
451,361	445,0234375	2574
450,951	446,2929688	2577
450,51	445,0234375	2580
450,071	447,5625	2583
449,604	445,0234375	2586
449,143	443,7539063	2589
448,699	442,484375	2592
448,263	443,7539063	2595
447,812	437,40625	2598
447,375	441,2148438	2601
446,901	442,484375	2604

446,484	439,9453125	2607
446,016	438,6757813	2610
445,554	439,9453125	2613
445,124	439,9453125	2616
444,685	439,9453125	2619
444,267	439,9453125	2622
443,83	437,40625	2625
443,399	438,6757813	2628
442,988	441,2148438	2631
442,574	437,40625	2634
442,17	433,5976563	2637
441,785	434,8671875	2640
441,349	437,40625	2643
440,953	436,1367188	2646
440,55	434,8671875	2649
440,129	434,8671875	2652
439,718	436,1367188	2655
439,299	432,328125	2658
438,879	432,328125	2661
438,464	431,0585938	2664
438,064	433,5976563	2667
437,647	432,328125	2670
437,244	429,7890625	2673
436,833	431,0585938	2676
436,45	432,328125	2679
436,029	428,5195313	2682
435,602	425,9804688	2685
435,21	433,5976563	2688
434,835	429,7890625	2691
434,411	428,5195313	2694
434,017	427,25	2697
433,619	427,25	2700
433,202	425,9804688	2703
432,767	424,7109375	2706
432,38	425,9804688	2709

11.5. ANÁLISIS SENSOR CORRIENTE LEM25A

%	Irms medido (A)	Ipolímetro (A)
---	-----------------	----------------

0	0,03960495	0,01
5	0,095051881	0,13
10	0,277234652	0,27
15	0,339612448	0,39
20	0,491101383	0,51
25	0,625758213	0,65
30	0,792099004	0,78
35	0,895071875	0,9
40	1,021807716	1,04
45	1,156464546	1,17
50	1,291121377	1,29
55	1,417857218	1,41
60	1,520830088	1,53
65	1,631723949	1,63
70	1,75845979	1,74
75	1,86935365	1,87
80	2,004010481	1,98
85	2,130746322	2,11
90	2,249561172	2,22
95	2,305008103	2,32
100	2,431743943	2,43

11.6. ANÁLISIS SENSOR CORRIENTE ACS712

%	Irms acs712 (A)	I polímetro (A)
0	0,05285384	0,01
5	0,15856153	0,13
10	0,29950511	0,27
15	0,43163972	0,39
20	0,59901022	0,51
25	0,7399538	0,65
30	0,89851533	0,78
35	1,02184097	0,9
40	1,16278455	1,04
45	1,32134608	1,17
50	1,45348068	1,29
55	1,61204221	1,41
60	1,75298579	1,53
65	1,87631143	1,63
70	1,98201911	1,74

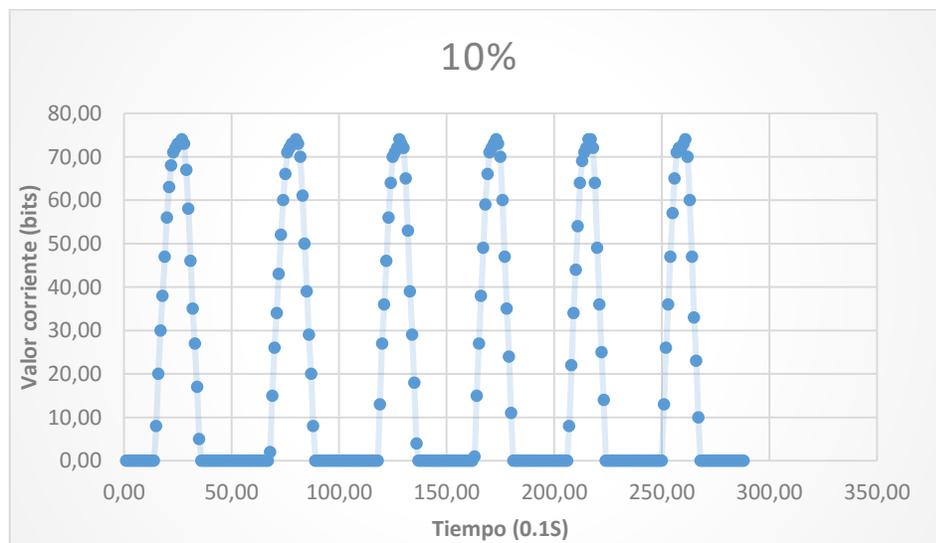
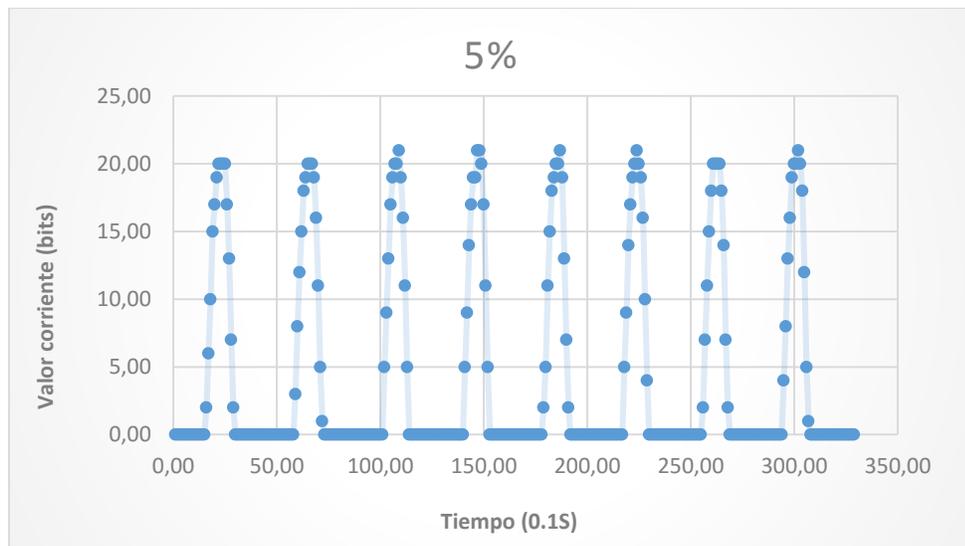
75	2,14058064	1,87
80	2,26390628	1,98
85	2,40484986	2,11
90	2,48413062	2,22
95	2,65150112	2,32
100	2,74839984	2,43

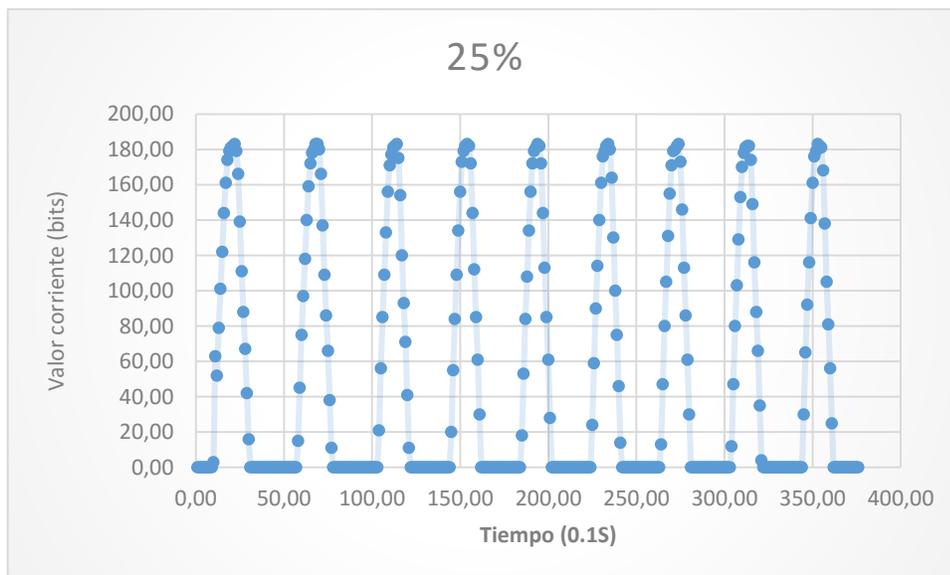
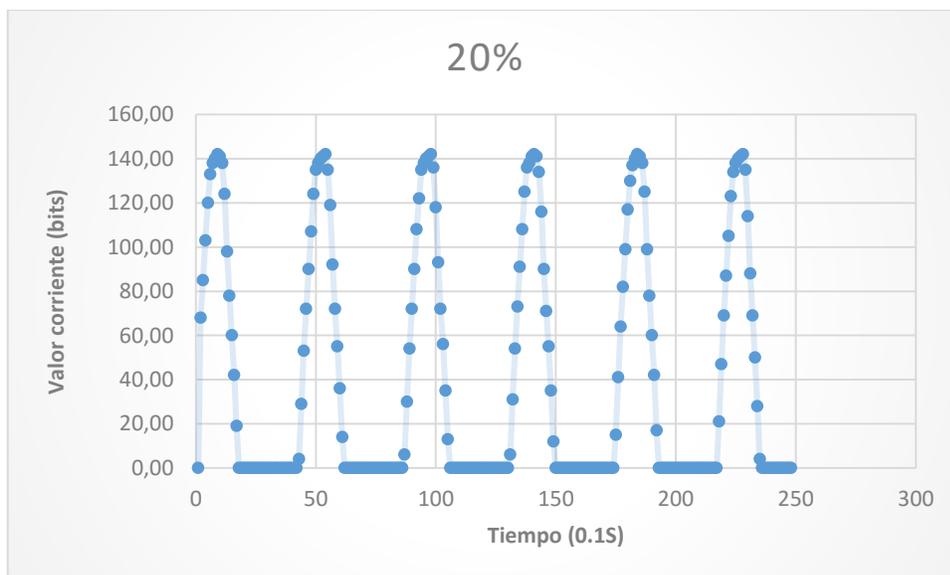
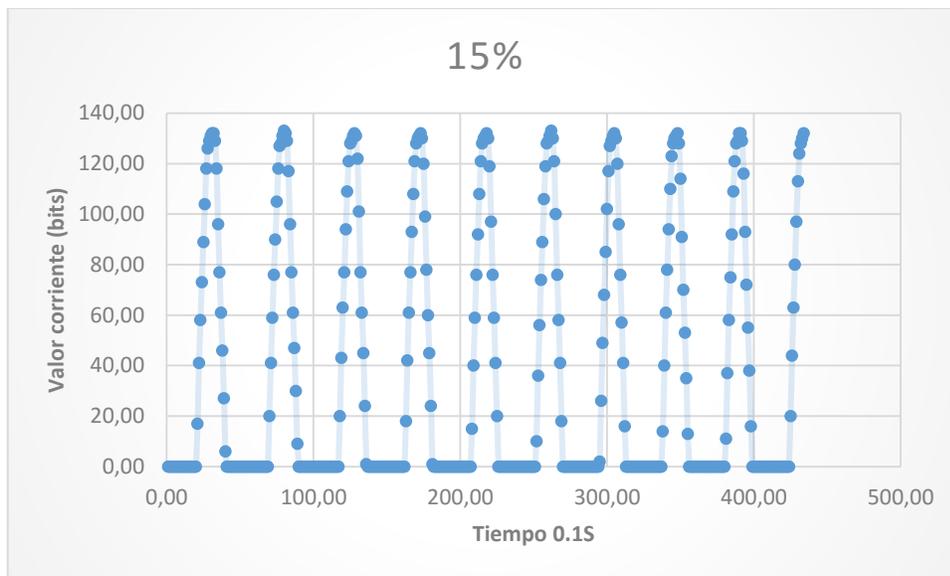
11.7. CALIBRACIÓN FINAL LEM25A

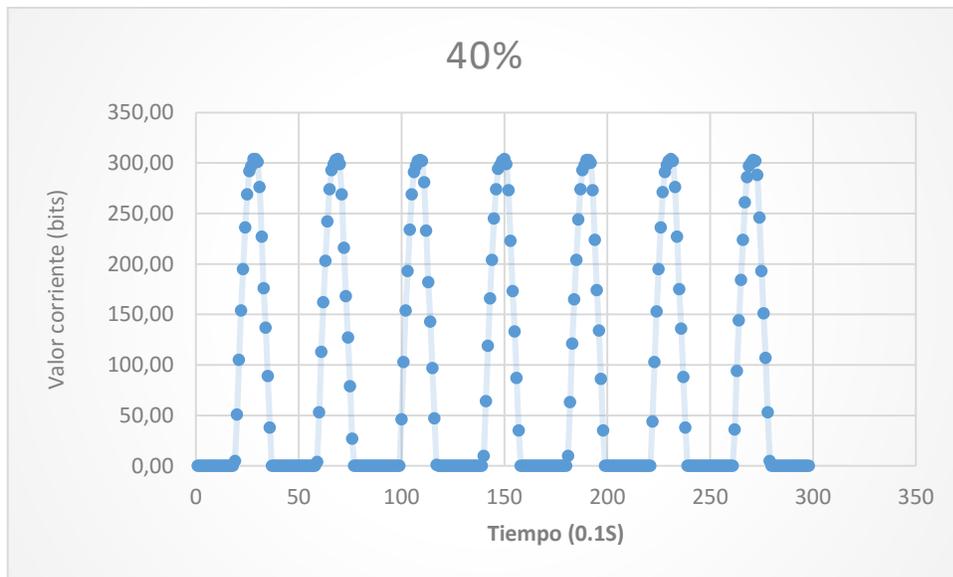
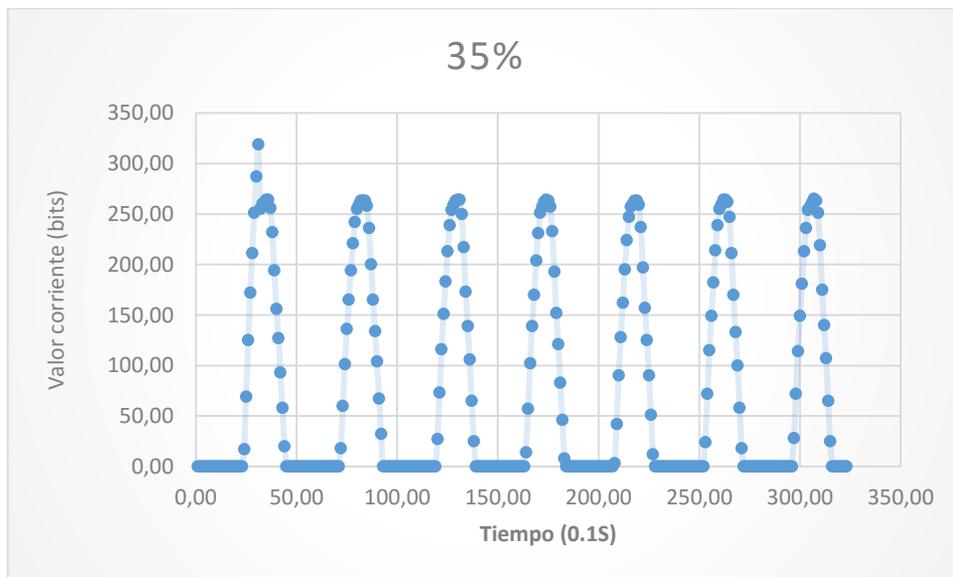
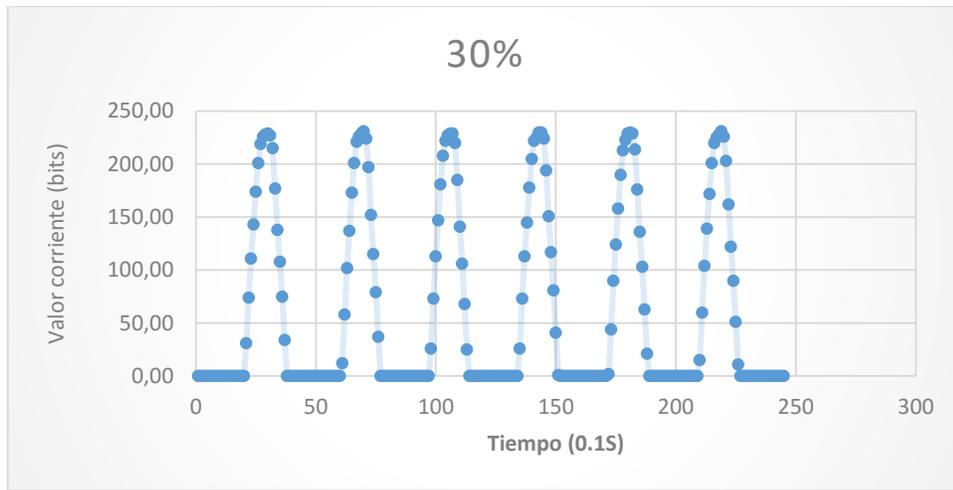
Medición final sensor calibración.

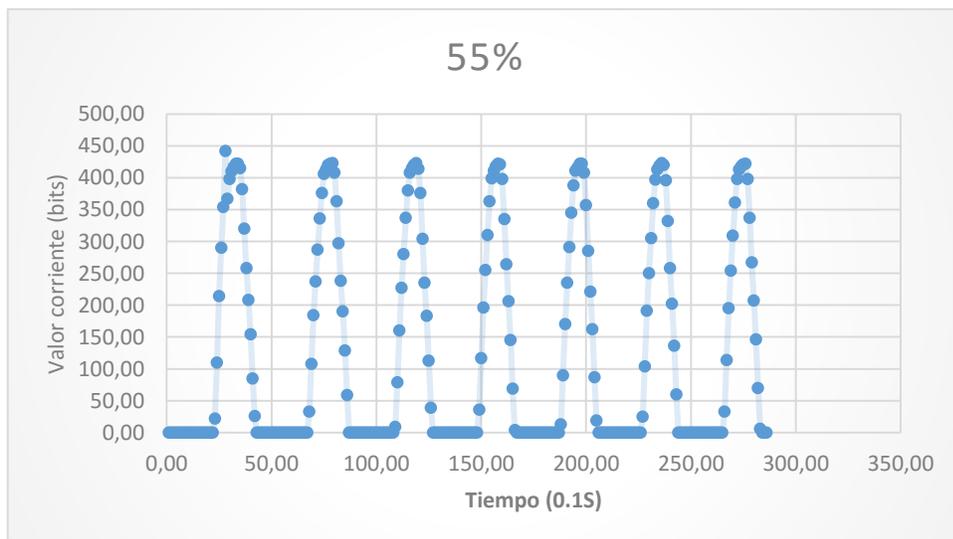
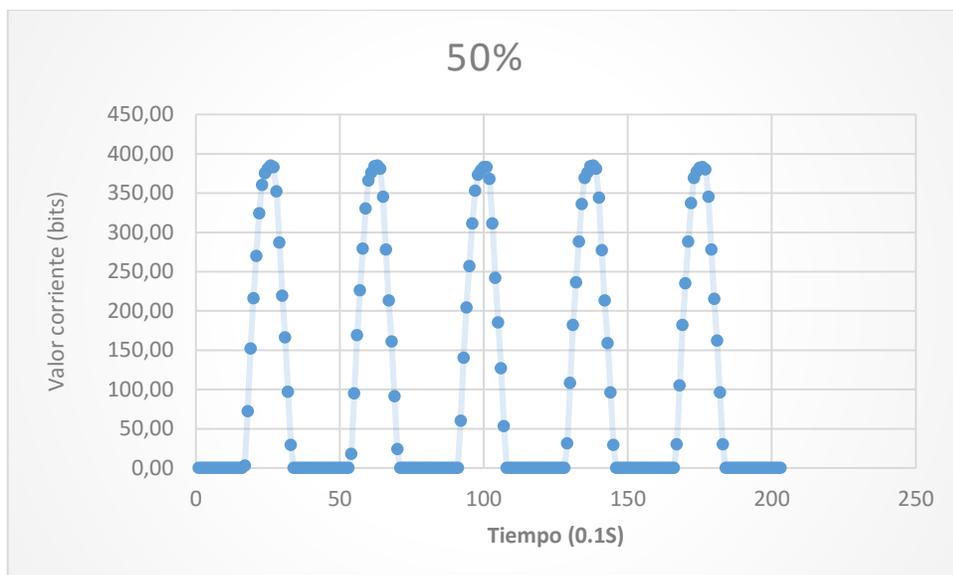
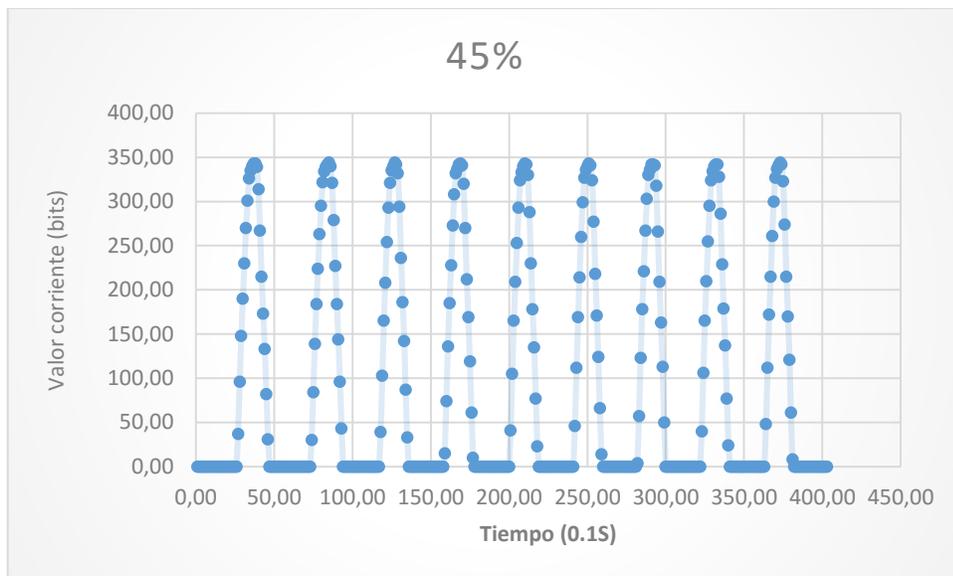
%	Irms	I polímetro
0	0	0,01
5	0,10461541	0,13
10	0,22791215	0,27
15	0,35494515	0,39
20	0,48945068	0,51
25	0,61648368	0,65
30	0,75098921	0,78
35	0,86307715	0,9
40	0,97890136	1,04
45	1,10967062	1,17
50	1,23670363	1,29
55	1,36747289	1,41
60	1,4720883	1,53
65	1,59164877	1,63
70	1,71120925	1,74
75	1,83076972	1,87
80	1,95033019	1,98
85	2,0549456	2,11
90	2,17450607	2,22
95	2,27538522	2,32
100	2,40241822	2,43

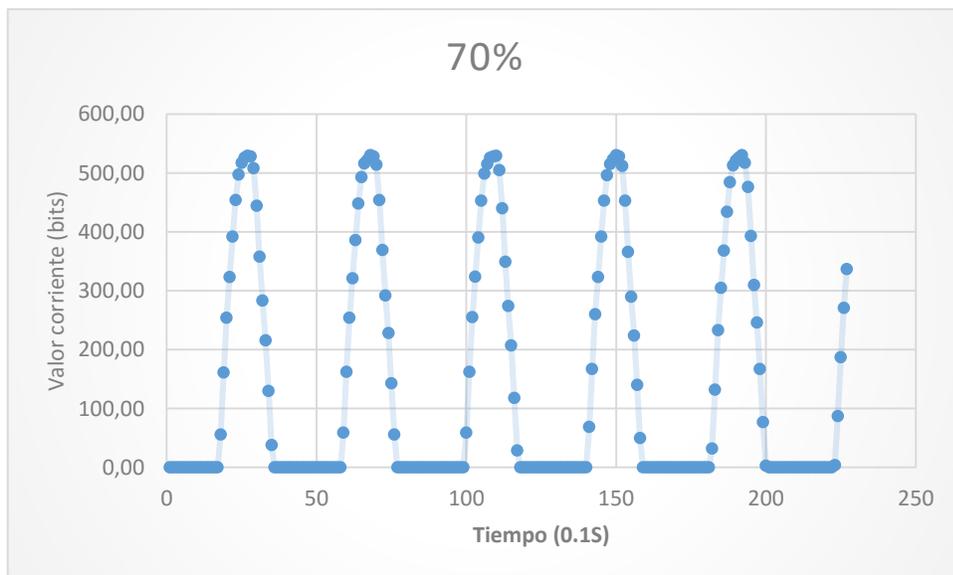
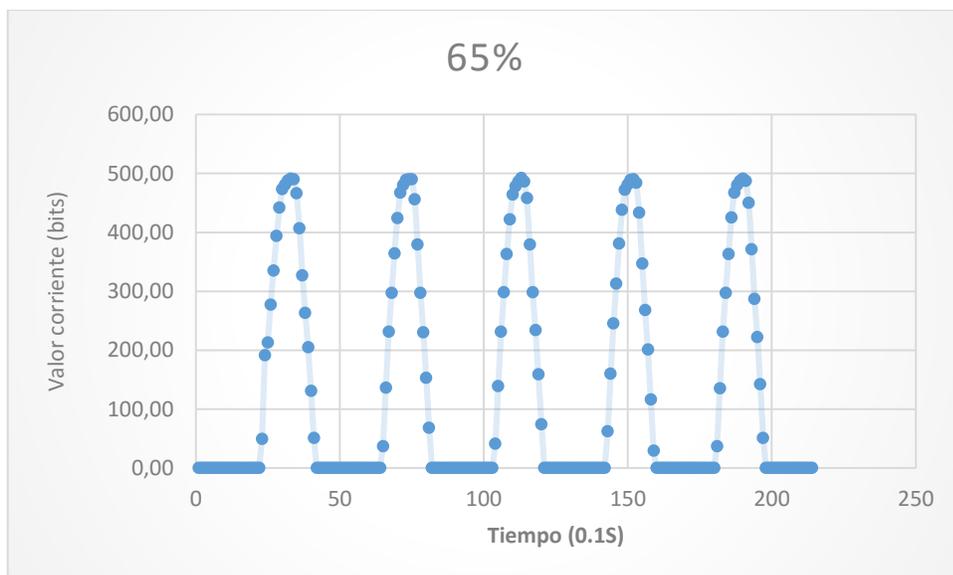
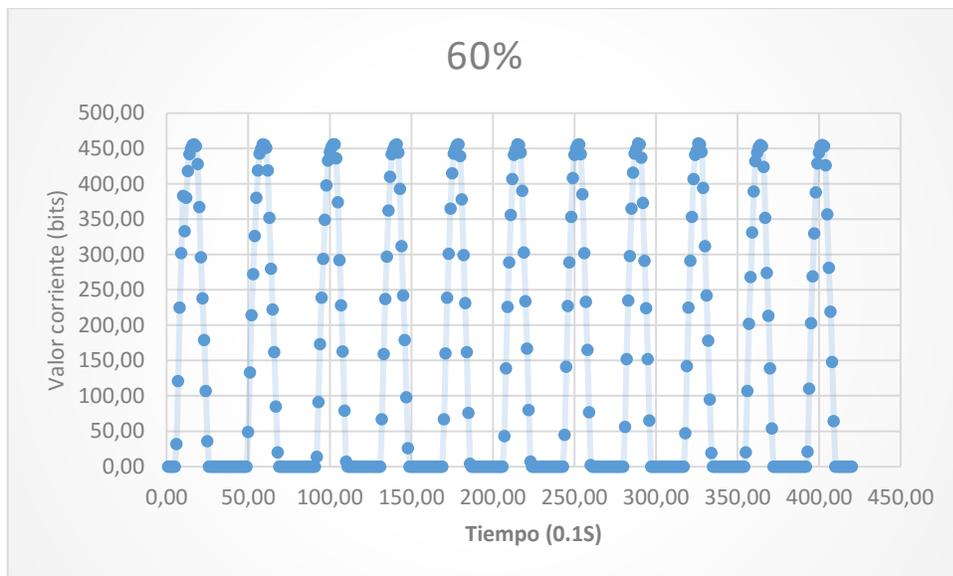
Vemos los resultados en cada posición del horno. Los datos están en bits.

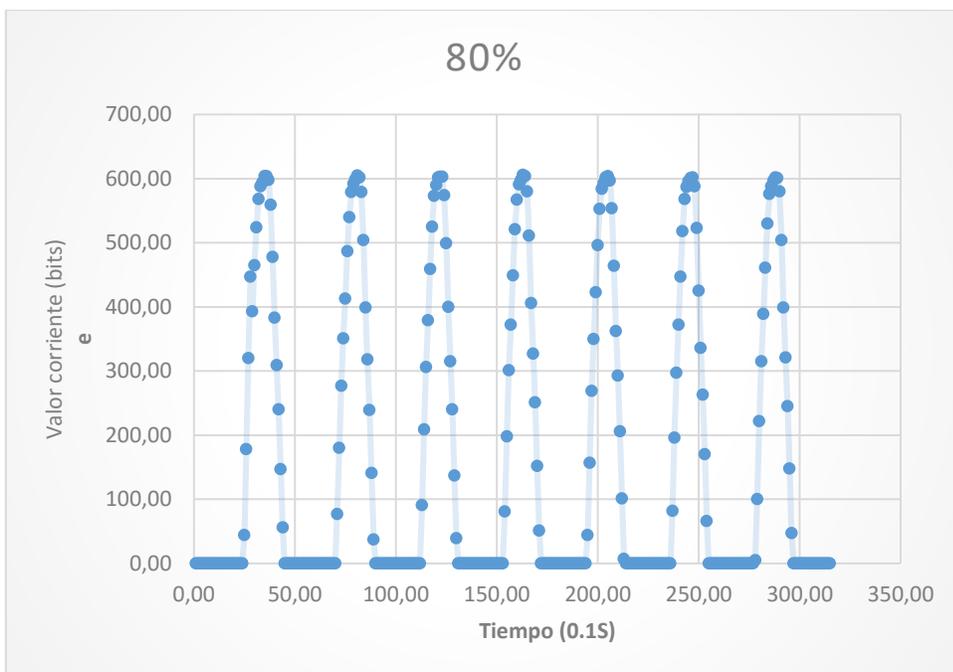
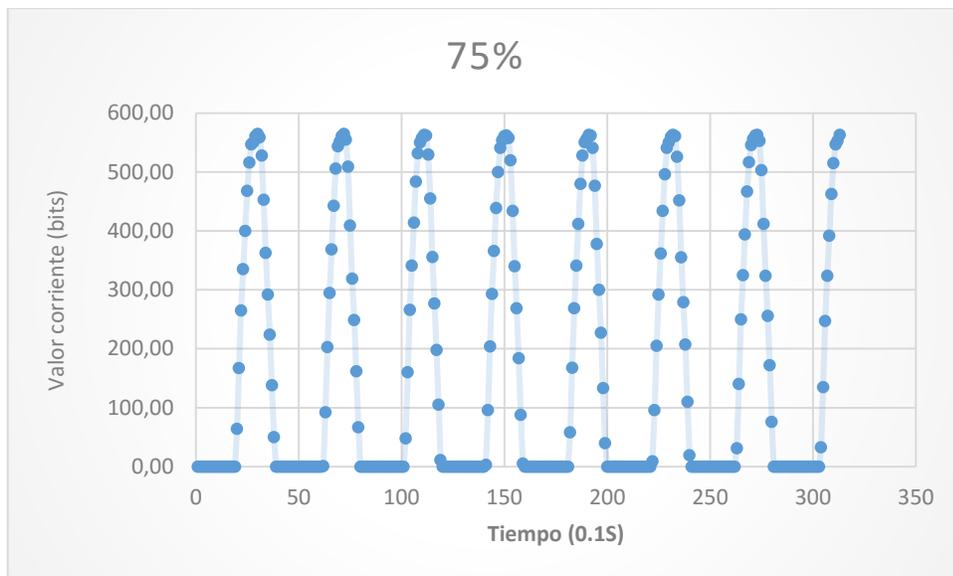


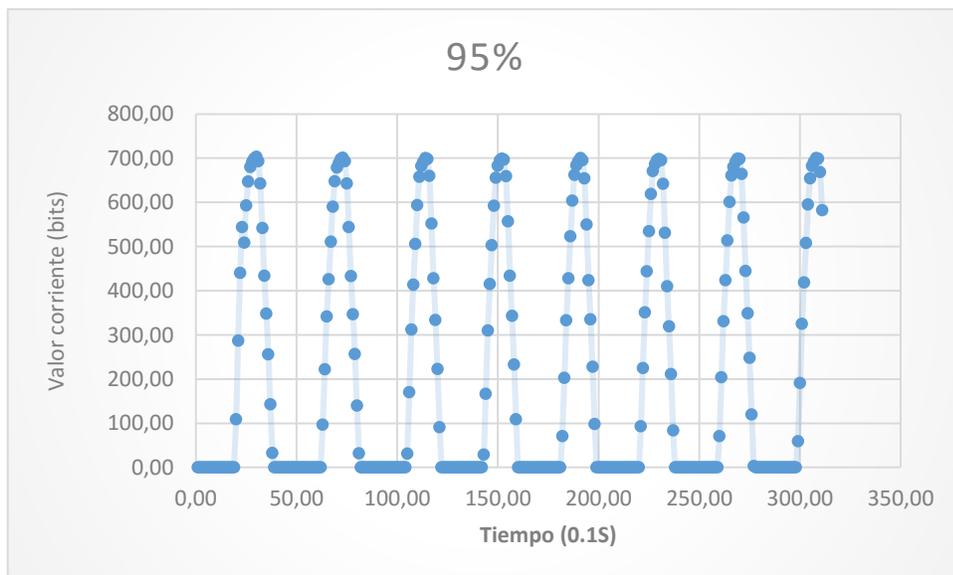
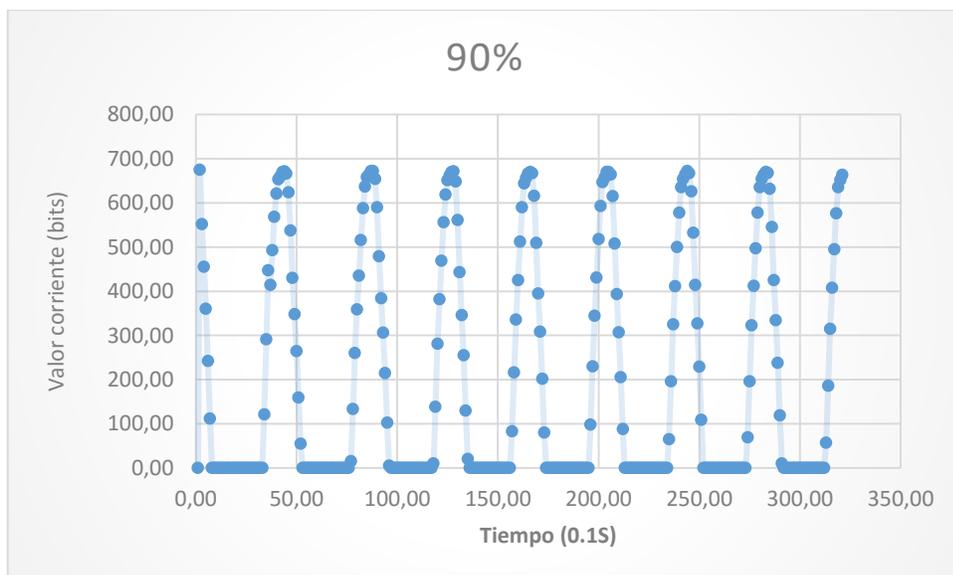
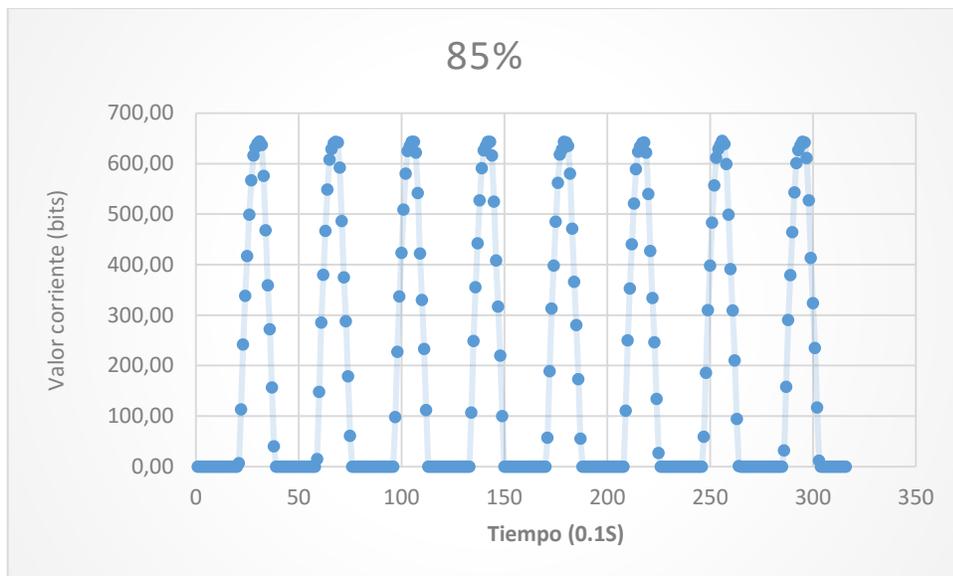


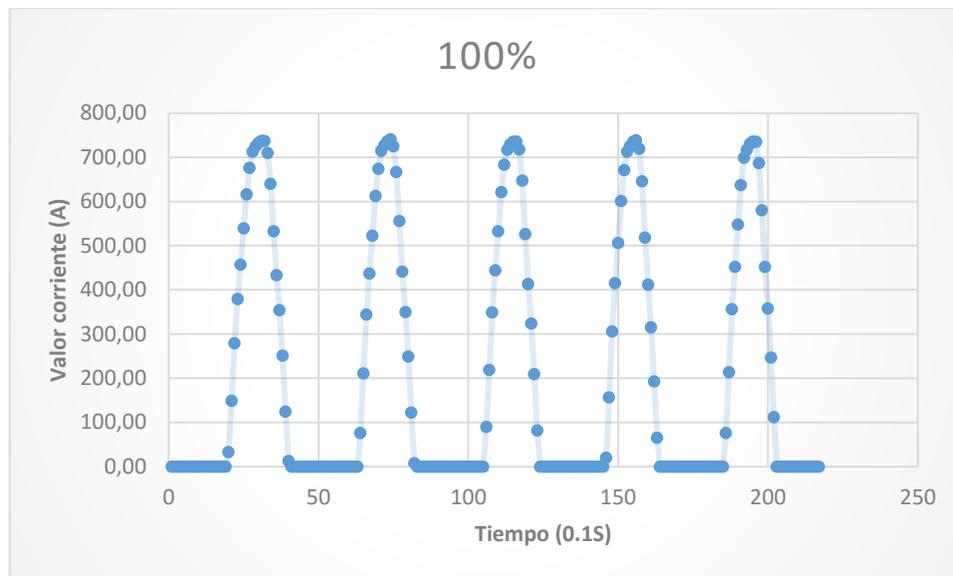












11.8. FUNCIONES DE TIEMPO RESTANTE.

% POTENCIA	FUNCIÓN
30	$y = 1,0413325600E-06x^4 - 2,3401107655E-04x^3 + 3,7384611779E-02x^2 + 6,3668428492E+00x - 3,1114819473E+01$
40	$y = 1,5295918605E-07x^4 - 4,8882346317E-05x^3 + 1,1569884621E-02x^2 + 3,9082182629E+00x - 4,4247867969E+00$
50	$y = -7,2627005185E-09x^4 + 2,8130591745E-05x^3 - 8,8449876049E-03x^2 + 4,4071311699E+00x - 1,0306331423E+01$
60	$y = 7,0182670643E-13x^6 - 1,2924447798E-09x^5 + 9,3333082617E-07x^4 - 3,2257292105E-04x^3 + 5,6389955124E-02x^2 - 2,2898500034E+00x + 1,4976039773E+01$
70	$y = 1,7378163129E-13x^6 - 3,6967042277E-10x^5 + 3,0616713144E-07x^4 - 1,1837900971E-04x^3 + 2,2388743902E-02x^2 - 2,3894194905E-01x + 4,9902805338E+00$
80	$y = 1,4273508861E-13x^6 - 3,5627346285E-10x^5 + 3,3975060324E-07x^4 - 1,4962406373E-04x^3 + 3,0503638557E-02x^2 - 1,1678548119E+00x + 7,2020158465E+01$
90	$y = 2,6901011813E-14x^6 - 6,5047416617E-11x^5 + 5,8869811795E-08x^4 - 2,2025941150E-05x^3 + 2,8799483444E-03x^2 + 1,0956890562E+00x + 3,7392146537E+00$
100	$y = 1,1026919870E-13x^6 - 3,6363535818E-10x^5 + 4,6412812683E-07x^4 - 2,8491611566E-04x^3 + 8,5837452037E-02x^2 - 1,0560352111E+01x + 4,5717446958E+02$

11.9 PROGRAMACIÓN TOTAL SISTEMA (PARTE 1)

