



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño e implantación de una plataforma de registro de datos en tiempo real en prácticas de Termodinámica y Transmisión de Calor e Ingeniería Térmica I

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Álvaro Diufaín Flethes
DIRECTORES: Carlos Ulloa Sande
Guillermo Rey González
CURSO ACADÉMICO: 2017-2018

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño e implantación de una plataforma de registro de datos en tiempo real en prácticas de Termodinámica y Transmisión de Calor e Ingeniería Térmica I

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

El objetivo de este TFG consiste en hacer un estudio de las prácticas de la asignatura de Termodinámica y Transmisión de Calor, ver cuál es la implicación del alumno en las mismas y las funciones que realiza en ellas y analizar de qué manera se puede mejorar la instrumentación y el sistema de adquisición y gestión de datos empleado con el fin de liberar al alumno de la toma de medidas para reducir los errores debidos al factor humano y permitirle centrarse en la comprensión de los conceptos teóricos de la asignatura que intervienen en las prácticas.

A raíz de este análisis se desarrolla la creación de un sistema que lleva a cabo una toma de medidas en tiempo real de los valores que más nos interesen en la realización de la práctica y los muestra al usuario y a su vez registra todas las medidas tomadas de manera que permita al usuario acceder a ellas una vez realizada la práctica. Finalmente, se decide implementar este sistema en una práctica sobre el estudio de un colector solar térmico.

Para ello, tras haber realizado un estudio de todos los elementos necesarios en función de los requisitos de la práctica, se quiere emplear sensores de medición de temperatura y caudal para la obtención de datos y una pantalla LCD (Liquid Crystal Display) y una tarjeta de memoria para mostrar los valores obtenidos y registrarlos y combinar todos estos elementos a partir del empleo de un microcontrolador Arduino que realice las operaciones convenientes para la consecución de los objetivos.

Por último, se quiere que este sistema sea implantado en las prácticas de la asignatura, disponiendo de él como un elemento más de la misma para la obtención y registro de datos.

PALABRAS CLAVE

Colector Solar Térmico, Sensores, Transferencia de Calor, Registro de datos, Arduino.

AGRADECIMIENTOS

A mis tutores, por la ayuda que siempre han estado dispuestos a proporcionarme durante la elaboración del presente trabajo.

A mi padre y a mi tío Juan Luis, por todo el apoyo y preocupación mostrados en el desarrollo del trabajo y por su implicación a la hora de “ponerme las pilas” y hacerme trabajar.

A mis compañeros de camareta Iñigo e Iñaki por el apoyo mutuo trabajando hombro con hombro en nuestros respectivos trabajos y por amenizar estas largas y numerosas horas de trabajo y sacar de ellas tantos buenos momentos.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	4
1 Introducción y objetivos	5
1.1 Introducción	5
1.2 Objetivos	5
1.3 Organización de la memoria	6
2 Estado del arte	7
2.1 Introducción	7
2.2 Prácticas de laboratorio de la asignatura de Termodinámica y Transmisión de Calor	7
2.2.1 Práctica 1: Equivalente mecánico de calor	7
2.2.2 Práctica 2: Dilatación térmica lineal de sólidos.....	8
2.2.3 Práctica 3: Iniciación a técnicas termográficas.....	9
2.2.4 Práctica 4: Conductividad térmica de metales.....	10
2.2.5 Práctica 5: Determinación de propiedades de aislantes	11
2.2.6 Práctica 6: Energías alternativas. Estudio de un colector solar	11
2.3 Análisis de las prácticas	11
2.4 Estudio de un colector solar	12
2.4.1 Principio de funcionamiento.....	12
2.4.2 Fundamentación teórica.....	12
2.4.3 Elementos	13
2.4.4 Montaje	14
2.5 Sistemas de adquisición de datos	15
2.6 Sistemas de control. Monitorización y registro	15
2.7 Arduino	16
2.7.1 Arduino UNO	16
2.7.2 Qué son las entradas analógicas y digitales	17
2.7.3 Partes del código Arduino	18
2.8 Sensor de temperatura.....	19
2.9 Caudalímetro.....	21
2.9.1 El efecto Hall	21
3 Plataforma de registro de datos	23
3.1 Generalidades.....	23

3.2 Diseño teórico	23
3.2.1 Elementos de entrada	23
3.2.2 Elementos de salida	24
3.3 Material	24
3.3.1 Arduino	24
3.3.2 Sensor DS18B20 con sonda impermeable.....	25
3.3.3 Caudalímetro.....	25
3.3.4 Pantalla LCD	26
3.3.5 Tarjeta de memoria	26
3.3.6 Otros elementos	27
3.3.7 Lista de material	27
3.4 Análisis de componentes.....	28
3.4.1 Prueba sensor DS18B20	28
3.4.2 Pantalla LCD “Hola mundo”	28
3.4.3 Micro SD	31
3.4.4 Pulsador	32
3.4.5 Programación Caudalímetro	33
3.5 Calibración caudalímetro	33
3.6 Montaje conjunto	35
3.7 Acople de la plataforma a la caja de montaje	37
3.8 Instalación de la plataforma	37
4 Resultados / Validación / Prueba.....	41
4.1 La plataforma en funcionamiento	41
4.2 Puesta en práctica.....	42
4.3 Rediseño de la práctica de laboratorio.	43
5 Conclusiones y líneas futuras	45
5.1 Conclusión	45
5.2 Líneas futuras	46
6 Bibliografía.....	47
Anexo I: Diagrama de conexión.....	49
Anexo II: Guión y entregable de prácticas	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Montaje ensayo fricción	8
Figura 2-2 Montaje ensayo dilatación	9
Figura 2-3 Cámara Termográfica [1]	9
Figura 2-4 Entregable práctica conductividad térmica.....	10
Figura 2-5 Disposición de los elementos en la práctica [2].....	14
Figura 2-6 Partes de un sistema DAQ [3]	15
Figura 2-7 Partes del Arduino UNO [5]	17
Figura 2-8 Partes de un “sketch” [6]	19
Figura 2-9 Disposición pines sensor DS18B20. [7]	20
Figura 2-10 Sensor de efecto Hall [8]	22
Figura 3-1 Sensor DS18B20 con sonda impermeable. [9].....	25
Figura 3-2 Caudalímetro empleado	26
Figura 3-3 Shield tarjeta SD. [5]	27
Figura 3-4 Pantalla LCD 16x2	29
Figura 3-5 Protocolo I2C incorporado a la pantalla LCD 20x4	29
Figura 3-6 Mensaje obtenido con la dirección de destino	30
Figura 3-7 Programa "Hola, mundo" en pantalla LCD.	30
Figura 3-8 Módulo I2C con sus pines de conexión [12]	31
Figura 3-9 Sensores de temperatura conectados a LCD.....	31
Figura 3-10 Calibración caudalímetro.....	34
Figura 3-11 Esquema de conexiones.....	36
Figura 3-12 Caja de montaje	37
Figura 3-13 Plataforma montada en la caja.....	37
Figura 3-14 Sondas de temperatura introducidas a la entrada y salida del colector.....	38
Figura 3-15 Pasadores originales y pasador con la dimensión de la sonda.....	38
Figura 3-16 Conexión del caudalímetro a la tubería de entrada del colector.....	39
Figura 3-17 Implementación del prototipo en la práctica de laboratorio	40
Figura 4-1 Lectura de datos en pantalla	41
Figura 4-2 Archivo de datos registrados	42
Figura 4-3 Parte añadida al entregable	43
Figura 0-1 Diagrama de conexión	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Casos prácticos.....	12
Tabla 2-2 Características sensor DS18B20 [7]	21
Tabla 3-1 Lista del material necesario	27
Tabla 3-2 Calibración caudalímetro	35
Tabla 3-3 Conexiones Arduino-componentes	36

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

Este trabajo surge de la necesidad de una toma de medidas precisa y en tiempo real de las prácticas de laboratorio de las asignaturas de Termodinámica y Transmisión de Calor e Ingeniería Térmica I. Más concretamente en una de ellas consistente en el análisis y cálculo del rendimiento de un colector solar en diferentes configuraciones de montaje.

Tras su puesta en práctica durante varios cursos académicos de la asignatura se llegó a la conclusión de que la imprecisión en la toma de datos con instrumentos analógicos por parte del alumnado, el tiempo que les llevaba a los mismos la recogida manual de estos datos así como el tiempo a emplear necesario para la realización de la práctica no solo presentaba carencias en cuanto a la precisión y calidad de los datos obtenidos, sino que, adicionalmente, impedían la evaluación del rendimiento de los sistemas térmicos y su evolución en el tiempo no cumpliendo con los fines de la misma.

Mediante la incorporación de un sistema de toma de medidas y registro de datos automatizado se pretende obtener una mayor precisión y liberar al alumnado del proceso de toma de datos lo que le permitirá centrarse en el análisis de estos y en la comprensión de los conceptos teóricos implicados.

1.2 Objetivos

El primero de los objetivos de este trabajo consistirá en analizar los procedimientos de las prácticas de la asignatura para ver de qué forma se puede intervenir mediante la implantación de una plataforma de registro de datos automática en ellas.

Esto desemboca en el objetivo principal del trabajo: incorporar una plataforma de toma de datos en tiempo real, que se pueda utilizar como herramienta para obtención de medidas en las prácticas de laboratorio de la asignatura y sea de fácil instalación y utilización y así crear un sistema de toma, visualización y registro de los datos a obtener en dichas prácticas e implantarlo en las mismas para su futura realización.

El sistema a desarrollar pretende que todos los aspectos relacionados con la toma de datos se realicen de forma automática basándose en un autómata programable y los sensores correspondientes para que, ajenos al operario, realicen el trabajo reduciendo así el error añadido por el factor humano en

la toma de medidas. Así pues, será necesario y también objetivo de este trabajo, hacer un estudio de todos los elementos que será necesario incorporar para extraer los datos para el estudio y análisis posterior del experimento, incorporar estos elementos a las entradas y salidas del autómata programable según corresponda y elaborar el código de programación para darle instrucciones al mismo sobre las operaciones que se deben realizar.

1.3 Organización de la memoria

La memoria del trabajo se va a estructurar en cuatro partes:

- En el capítulo 2 se explican las tecnologías actuales cuya combinación ha sido necesaria para la creación de este trabajo. Por ejemplo el microcontrolador Arduino, sus diferentes sensores o la prácticas de laboratorio de la asignatura y en la que se va a centrar este trabajo.
- El capítulo 3 muestra el desarrollo del trabajo comenzando con el estudio y elaboración de una lista de los materiales que ha sido necesario adquirir para su creación, seguido de la programación del Arduino, incluyendo pasos importantes que han sido necesarios para la elaboración del código final cargado en la placa y por último el montaje e incorporación de todos estos elementos al montaje original de la práctica.
- El capítulo 4 consiste en el montaje de todo el proyecto y su puesta en funcionamiento así como la obtención y el análisis de los resultados obtenidos.
- Por último, el capítulo 5 refleja las conclusiones que se han obtenido de la elaboración del proyecto y futuros ámbitos posibles de aplicación del trabajo.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Introducción

El presente trabajo se centra en un análisis de rendimiento del experimento que se describe más adelante, perteneciente a la asignatura de Termodinámica y Transmisión de Calor, y la forma de intervenir en este experimento, en lo relativo a instrumentación y ensayo, para lograr los objetivos del trabajo mediante la introducción y programación de un autómata.

2.2 Prácticas de laboratorio de la asignatura de Termodinámica y Transmisión de Calor

En las clases prácticas se aplican los conceptos desarrollados en cada tema a la resolución de problemas. Las prácticas de laboratorio han sido diseñadas de acuerdo al desarrollo de la asignatura en su parte teórica con el fin de fijar los conceptos explicados y hacer al alumno desarrollar su capacidad para plantear soluciones técnicas. Dentro de la asignatura de Termodinámica y Transmisión de Calor encontramos las siguientes prácticas:

2.2.1 Práctica 1: *Equivalente mecánico de calor*

El objetivo de la práctica es determinar el equivalente mecánico de calor, en otras palabras, la relación entre la unidad de energía (Julios) y la unidad de calor (calorías).

La manera de hallar el equivalente mecánico se realiza mediante un experimento en el que diferentes cuerpos metálicos se someten a fricción. A partir del trabajo realizado y de la consecuente subida de temperatura, se puede determinar el equivalente mecánico de calor. A partir de este, se quiere determinar asimismo el calor específico del latón y del aluminio.

La intervención del alumno en el ejercicio de la práctica tiene dos partes. En primer lugar, realiza el montaje de la misma. Este va a consistir en una manivela fijada al cilindro de fricción, cuyo material va a cambiar en función del ensayo. A continuación una banda sintética sujeta por un extremo a un dinamómetro da dos vueltas alrededor del cilindro y se deja el otro extremo colgando con una masa. Por último se introduce un termómetro en el interior del cilindro para medir el incremento de temperatura que este adquiere por fricción. El montaje de la práctica queda de la siguiente manera:



Figura 2-1 Montaje ensayo fricción

La otra función del alumno en el desarrollo de la práctica es la toma de los datos proporcionados por el termómetro. Para ello hay que realizar tomas de medidas cada 30 segundos los cuatro minutos previos al ensayo de fricción y a continuación comenzar a girar la manivela a un ritmo constante durante 200 vueltas sin parar de registrar las medidas cada 30 segundos.

En esto consiste la intervención del alumno en la práctica y a partir de aquí comenzaría con la elaboración del entregable consistente en calcular el equivalente mecánico y el calor específico para cada cilindro de diferente material además de unas preguntas adicionales de los conceptos vistos.

2.2.2 Práctica 2: Dilatación térmica lineal de sólidos

Estudia la dilatación térmica producida en tubos de latón, hierro y aluminio y estudia los coeficientes térmicos de dilatación de dichos materiales para su posterior comparación.

El objetivo es medir la expansión de estos materiales cuando cambia su temperatura desde la temperatura ambiente hasta 100°C.

Para ello se realiza el montaje de la figura en el que se conecta la salida de un matraz con un tubo de plástico al extremo del tubo del material a analizar. Este tubo metálico debe fijarse entre los dos soportes con cierta inclinación para favorecer el paso del condensado de vapor de agua y hacer que salga por el extremo opuesto, donde se recoge en un vaso de precipitado. Por último se coloca un puntero en la unión de la salida del tubo metálico con el soporte y se ajusta para que quede perpendicular al papel, donde se marca la señal del puntero.

A continuación se calienta el agua contenida en el matraz hasta su ebullición y el vapor de agua recorre el sistema calentando el tubo metálico y moviendo en consecuencia el puntero.

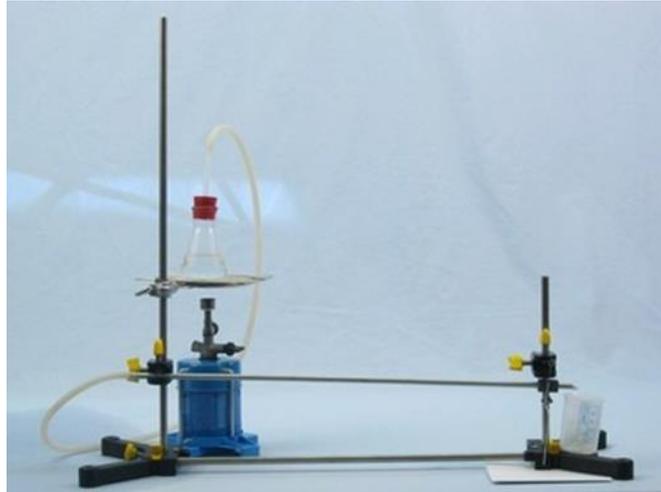


Figura 2-2 Montaje ensayo dilatación

La intervención del alumno en esta práctica consiste en el montaje y puesta en marcha del sistema y ver el desplazamiento de la posición del puntero que se ha producido con la dilatación del metal y repetir el ensayo para diferentes materiales.

2.2.3 Práctica 3: Iniciación a técnicas termográficas

Inicia al alumno en la utilización de cámaras termográficas como herramienta aplicada al estudio de aislamiento en edificaciones y mantenimiento predictivo.

La práctica está dividida en dos partes. Una primera parte consiste en enseñar el alumno unos conceptos básicos en cuanto al espectro infrarrojo, la emisividad y la radiación térmica y una introducción a la termografía y sus aplicaciones.

En la segunda parte los alumnos reciben una cámara termográfica para familiarizarse con su uso y a continuación deben hacer una termografía y presentarla acompañada de la fotografía real del objeto, estando esta relacionada con los conceptos y aplicaciones aprendidos en la primera etapa de la práctica.



Figura 2-3 Cámara Termográfica [1]

2.2.4 Práctica 4: Conductividad térmica de metales

Su objetivo es determinar el flujo de calor que se produce a través de barras metálicas en forma de U a partir del incremento de temperatura que se produce en un depósito de agua fría cuando dichas barras se sumergen por un extremo en agua fría y por el otro en agua caliente. Se observará asimismo que el valor de este flujo depende tanto de la composición del material como de sus dimensiones.

Para ello se debe realizar la toma de datos sobre un mismo montaje pero con varillas de diferentes dimensiones y material.

Los recipientes del montaje van a ser dos, uno de cristal y otro de aluminio, comunicados a través de las varillas, donde se producirá la transferencia de calor. El recipiente de cristal contendrá el agua caliente y el de aluminio agua a temperatura ambiente y en el desarrollo de la práctica se debe medir la temperatura de ambos.

En cada uno de los casos se realiza el mismo procedimiento, explicado con detalle en el guión de la práctica y que el alumno debe seguir rigurosamente. Dentro de este procedimiento, en lo referido al estudio de los métodos de transmisión de calor, el alumno debe tomar medidas de temperatura del vaso de aluminio en intervalos de un minuto durante 8 minutos y registrar los valores obtenidos en una tabla para posteriormente elaborar una gráfica de la evolución de la temperatura en el tiempo como se muestra a continuación.

1. Tabla de temperaturas

Tiempo (min)	Temperaturas (°C)			
	Cu (175, 5)	Al (175, 5)	Cu (175, 3)	Cu (120, 5)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

2. Gráfica de evolución de temperaturas.

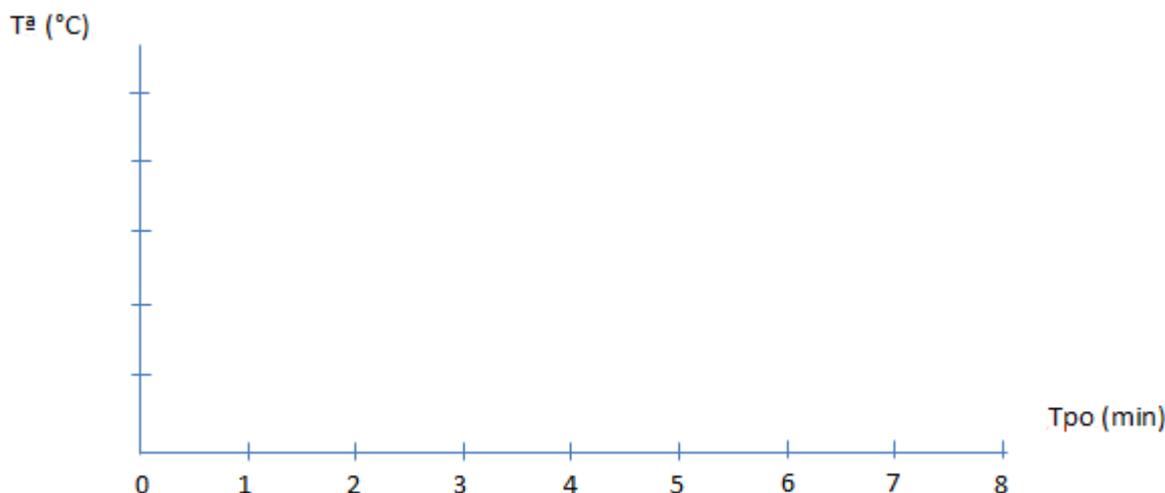


Figura 2-4 Entregable práctica conductividad térmica

2.2.5 Práctica 5: Determinación de propiedades de aislantes

Se pretende observar las propiedades térmicas de diferentes materiales aislantes para el manejo y comprensión de los conceptos de aislante térmico, conductividad térmica y capacidad calorífica.

En el desarrollo de la práctica se realiza cuatro veces la toma de datos de un mismo montaje pero cambiando cada vez el material aislante. El montaje consta de un tubo en el que se introduce el agua caliente, el material aislante que se va a colocar alrededor de este tubo y un recipiente cilíndrico mayor sobre el que se va a colocar todo.

Los tipos de aislante que se van a utilizar son:

- Aislante poliuretano
- Aislante lana
- Aislante cámara de aire
- Tubo al aire (sin aislante)

Para cada uno de los aislantes se realiza el mismo procedimiento. Se introduce agua en el tubo interior a una temperatura en torno a 80°C y en el momento en que el termómetro marque 75°C se comienza a medir el tiempo. A continuación se toman medidas de temperatura cada minuto durante 8 minutos. Tomadas todas las medidas se vacía el tubo interior y se procede al siguiente ensayo. Se registran todas las medidas de cada ensayo en una tabla y se elabora una gráfica de temperatura en función del tiempo para comparar los resultados y se contestan las preguntas del entregable.

2.2.6 Práctica 6: Energías alternativas. Estudio de un colector solar

Introduce al alumno en el estudio de un colector solar, analiza la energía que se recibe por radiación y hace un balance energético de la energía aprovechada para agua caliente sanitaria o calefacción.

La elaboración de la práctica consiste en el montaje de un circuito de agua cerrado que circula por un colector solar térmico que aumenta la temperatura del agua del circuito y emplea este aumento de temperatura en un intercambiador de calor al salir del colector para ceder calor al agua de un depósito y volver a comenzar el ciclo.

La intervención del alumno en esta práctica, además de realizar el montaje, no es otra que la obtención de la temperatura a la entrada y salida del colector solar una vez el sistema se ha estabilizado para a continuación calcular el rendimiento del mismo.

2.3 Análisis de las prácticas

Haciendo un estudio de los contenidos de las prácticas de la asignatura, se concluye que las tres primeras son casos en los que prácticamente no se puede o no merece la pena intervenir con nuevas técnicas de ejecución, pues, a pesar de que tratan fenómenos relacionados con la termodinámica y transmisión de calor, la realización del experimento se va a centrar más en factores físicos como es la fricción o la dilatación del material a estudiar haciendo más difícil cambiar el modus operandi de la práctica. En consecuencia, el desarrollo del trabajo se va a centrar más concretamente en las tres siguientes ya que en ellas se estudian métodos de transmisión de calor donde es más factible la inclusión de elementos de ayuda a la medición y obtención de datos.

Analizando las prácticas restantes se encuentra una gran cantidad de tiempo desaprovechado en el estudio del colector solar, debido a que el tiempo empleado en su montaje además del necesario en el

ejercicio del experimento suman una importante cantidad en comparación a la actividad requerida por parte del alumno, que no es más que la medida de las temperaturas cuando todo el ciclo se ha estabilizado y a partir de este calcular el rendimiento. Comparando esto frente a las otras dos prácticas, que sí que tienen una mayor carga de trabajo por parte del alumno durante su ejecución, se decide hacer un rediseño de la misma incorporando en ella la plataforma a desarrollar.

Mediante la implantación de la plataforma automatizada de registro de datos se pretende liberar al alumno de la recogida de datos pudiendo centrarse en otros aspectos como el entendimiento de los conceptos teóricos de la práctica. Además, esta pretende aumentar el número de datos a obtener del ensayo para analizar la evolución en tiempo real de la eficiencia del colector.

2.4 Estudio de un colector solar

La práctica de laboratorio consiste en el montaje de un sistema compuesto por un circuito cerrado de agua circulando a través de un colector solar del que se pretende obtener el rendimiento y utilizar el agua que sale del colector para calentar un depósito de agua. A continuación se describe en qué consiste la misma:

2.4.1 Principio de funcionamiento

El colector solar térmico recibe la radiación de una lámpara halógena de intensidad conocida y convierte esta radiación en energía calorífica. La energía calorífica absorbida por el colector puede ser calculada a partir del volumen de agua que circula a través del colector y el incremento de temperatura que el agua ha adquirido en su paso por este, que se puede calcular como la diferencia de temperaturas entre la salida y la entrada del colector en el momento en que esta diferencia permanece constante.

Esta energía calorífica es empleada por el colector para calentar un circuito de agua que circula por su interior y, por lo general en los circuitos en los con colectores solares, este agua se dirige a un intercambiador de calor, donde cede calor al depósito que se quiere calentar y vuelve entrar en el colector.

En el caso de esta práctica, vienen establecidos dos casos prácticos en los que estudiar el rendimiento del sistema:

Montaje	Vidrio delantero	Lámpara halógena	Aire frío	Temperatura arranque
1	SI	SI	NO	50 °C
2	NO	Si	SI	50 °C

Tabla 2-1 Casos prácticos

2.4.2 Fundamentación teórica

Un colector solar térmico es un dispositivo diseñado para recoger energía obtenida por radiación y convertirla en energía térmica. El factor que mejor rige el buen funcionamiento de un colector solar es el rendimiento.

El rendimiento del colector se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{P_u}{q_i \cdot A}$$

Ecuación 2-1 Rendimiento térmico

En las condiciones de funcionamiento del diseño experimental de nuestra práctica podemos asumir que:

- La intensidad lumínica recibida en el colector por parte de la lámpara halógena es $q_i = 1 \text{ kW/m}^2$
- La superficie del colector expuesta a la radiación de la lámpara es de $A=0,12\text{m}^2$

Por otra parte, la potencia útil en el colector se puede calcular en función de las temperaturas a la entrada y a la salida de forma que:

$$P_u = c \cdot \dot{m} \cdot (T_{salida} - T_{entrada})$$

Ecuación 2-2 Potencia útil

Donde c es el calor específico del agua.

A partir de las temperaturas de entrada y salida del agua en el colector solar, con el calor específico del agua y conocido el flujo másico se obtiene la potencia útil, que utilizaremos en nuestra primera fórmula para la obtención del rendimiento.

2.4.3 Elementos

Los elementos que intervienen en el conjunto de la práctica incluyendo los diferentes casos prácticos de su montaje son:

- Colector solar térmico
- Termómetro de laboratorio
- Termómetro de laboratorio (líquidos)
- Bomba con caudalímetro
- Fuente de alimentación
- Intercambiador de calor
- Calefactor sumergible
- Secador
- Lámpara halógena 1000W
- Vaso de precipitado 2000 ml
- Vaso de precipitado 5000 ml
- Tubo de gas DVGW, 1m
- Cinta métrica
- Cronómetro



Figura 2-5 Disposición de los elementos en la práctica [2]

2.4.4 Montaje

El sistema funciona a partir de un circuito cerrado de agua que recorre todos sus elementos. El ciclo completo que realiza el agua pasando por los diferentes elementos es el siguiente:

1. Una bomba de agua con caudal regulable proporciona la presión necesaria para la circulación del agua por todo el circuito.
2. El agua impulsada por la bomba va directamente al colector solar, calentado mediante radiación por una lámpara halógena. Circulando a través del colector, el agua aumenta de temperatura. Se dispone de dos termómetros de laboratorio para medir la temperatura del agua a la entrada y a la salida del colector.
3. Una vez sale del colector, es dirigida al intercambiador de calor para calentar el agua del depósito y disminuir su temperatura para realizar de nuevo el ciclo.
4. Por último, el agua vuelve del depósito a la bomba y vuelve a comenzar su recorrido.

Para su montaje, la bomba es conectada a la fuente de alimentación para ponerse en marcha y una manguera conecta la salida de la bomba a la entrada del colector solar. A 70 cm del colector solar térmico se coloca la lámpara halógena que incidirá sobre el mismo así como el secador de pelo cuando sea preciso, quitando antes de usar este secador, el cristal exterior del colector. De la salida del colector solar, otra manguera va conectada al intercambiador de calor, que se introduce en un vaso de precipitado de 5000 ml. Por otra parte y para agilizar el proceso, se puede introducir una resistencia eléctrica en el depósito para calentar el agua de este de manera previa a la realización de la práctica. A la salida del intercambiador de calor se conecta otra manguera que vuelve a la bomba y se cierra el ciclo.

A ambos lados del colector solar podemos encontrar dos orificios donde se deben introducir los termómetros de laboratorio con un pasador para dejar el circuito cerrado al exterior. Por la parte

superior del colector encontramos otro orificio para dotar de agua al sistema y un último en la zona inferior para extraer todo el agua cuando se haya terminado el experimento. Una vez se ha alimentado de agua todo el circuito se puede encender la bomba para que esta circule a través de él. Se enciende la lámpara halógena y comienza a funcionar el sistema.

La toma de datos por parte del alumno se realiza al final de la práctica, cuando las temperaturas a la entrada y a la salida se han estabilizado. En ese momento se extrae esta diferencia de temperaturas para el cálculo del rendimiento.

2.5 Sistemas de adquisición de datos

Se denomina sistema de adquisición de datos (o DAQ de sus siglas en inglés) al proceso de medir cualquier fenómeno eléctrico o físico mediante el empleo de un ordenador. Esto se consigue tomando un conjunto de señales físicas obtenidas como tensiones eléctricas por el sensor y digitalizarlas de manera que puedan ser procesadas por un ordenador.

Un sistema de adquisición de datos se compone de sensores, hardware DAQ y un ordenador con software programable. Comparando este tipo de sistema de medidas con los analógicos tradicionales, estos aprovechan las ventajas del ordenador obteniendo una solución de medidas de mejor y más fácil empleo.



Figura 2-6 Partes de un sistema DAQ [3]

2.6 Sistemas de control. Monitorización y registro

Según la Real Academia Española de la Lengua [4], la primera acepción que hace del término autómatas es la siguiente:

Instrumento o aparato que encierra dentro de sí el mecanismo que le imprime determinados movimientos.

El trabajo con autómatas se lleva desarrollando e incluyendo en procesos industriales desde la década de los 60. Todo proceso industrial, concebido y creado con vocación de eficiencia, necesita ser controlado.

Ha sido precisamente esta necesidad la que ha llevado al desarrollo de los sistemas de control automáticos. La revolución digital que vivimos ha propiciado el paso, cuando las circunstancias así lo han permitido, de controles realizados de forma manual a controles completamente automatizados.

El control automático de procesos es capaz de aportar ventajas incontestables. Facilita el trabajo de los operarios asignados al proceso; minimiza, cuando no anula, los errores debidos al factor humano; reduce tiempos de respuesta, agilizando la toma de decisiones y permite aumentar la capacidad de producción y reducir costes, entre otras cosas.

Todo ello en sí mismo, es probablemente la causa de su tremenda evolución. Hasta el punto que podemos decir sin temor a equivocarnos mucho que, en los últimos años, la innovación en los procesos industriales ha venido de la mano de los autómatas programables.

El autómata programable basa su funcionamiento en un microprocesador, que le proporciona su característica capacidad de reaccionar con el entorno. Su desarrollo a través de los años ha permitido utilizarlos en todos los sectores de la industria gracias a su reducción de tamaño y bajo coste hasta el punto de desarrollarse para todos los públicos pudiendo hacerse con ellos a precios asequibles y con una interfaz sencilla que permite al usuario crear fácilmente dispositivos y programarlos sin necesidad de una formación especializada, para usarlos en infinitud de ámbitos. De entre estos últimos, cabe destacar la compañía Arduino.

2.7 Arduino

Arduino es una plataforma de hardware libre consistente en un microcontrolador y un entorno de desarrollo con un lenguaje de programación sencillo que facilita el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios como es el caso del presente trabajo.

Arduino se emplea para desarrollar elementos autónomos, conectándose a dispositivos permitiendo interactuar tanto con el software como con el hardware.

El software Arduino es conocido como IDE, entorno de desarrollo integrado (Integrated Development Environment de sus siglas en inglés) y permite la programación de dicha placa. Este lenguaje de programación (llamado Wiring ó Processing) está basado en otros lenguajes de programación como C o Java. El IDE de Arduino es un entorno de programación pero se trabaja sobre un programa de aplicación. Este programa consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica. A través de la programación se controla el funcionamiento de la placa para obtener los resultados que queremos en nuestro sistema. Este software se descarga de la página web del fabricante [5] disponible para los principales sistemas operativos.

El hardware Arduino consiste en una placa con un microcontrolador. Un microcontrolador es un circuito integrado programable capaz de ejecutar las órdenes que han sido guardadas en su memoria a través del software. Está compuesto de las tres principales unidades funcionales de un ordenador: memoria, Unidad Central de Proceso y puertos de entrada y de salida.

Además de su hardware, Arduino dispone de un gran número de placas y shields que se pueden usar dependiendo de sus necesidades, además de un elevado número de componentes de todo tipo que puede conectar a sus puertos de entrada y salida. Un shield es una placa compatible que se puede colocar en la parte superior de los arduinos y permite extender las capacidades del Arduino. En este trabajo en concreto se utiliza un shield para agregar al Arduino una tarjeta de memoria micro SD para el almacenamiento de datos (3.3.5 Tarjeta de memoria).

2.7.1 Arduino UNO

Dentro de la amplia gama de placas que nos ofrece el fabricante Arduino, en este trabajo se opta por la utilización del modelo Arduino UNO, el más básico de ellos pero que cumple holgadamente todos los requisitos necesarios para la realización del proyecto. A continuación entraremos en detalle en las partes que conforman la placa Arduino UNO.

1. Potencia – USB - A través del cable USB se cargan las órdenes que se le dan al Arduino y a su vez puede proporcionarle alimentación eléctrica a la misma.
2. Entrada de alimentación.
3. Pines - Los cables de un circuito se conectan a los pines de la placa Arduino. El Arduino tiene varios tipos de entradas, marcadas todas estas en la placa y se utilizan para diferentes funciones:
 - GND: Conexión a tierra.
 - 5V y 3.3V: Pines suministradores de potencia.
 - Analógico: Las etiquetas (A0 a A5) pertenecen a entradas analógicas. Estos pines leen la señal de un sensor analógico y la convierten en un valor digital que podemos leer.
 - Digital: Son los pines digitales (del 0 al 13). Estos pines se utilizan para entrada y salida digital.
4. Botón de reinicio
5. LED de alimentación – Se enciende cuando la placa tiene alimentación.
6. LEDs RX TX – Se encienden cuando está transmitiendo o recibiendo datos.
7. Microcontrolador - Se encarga de realizar todas las instrucciones del programa de manera cíclica.

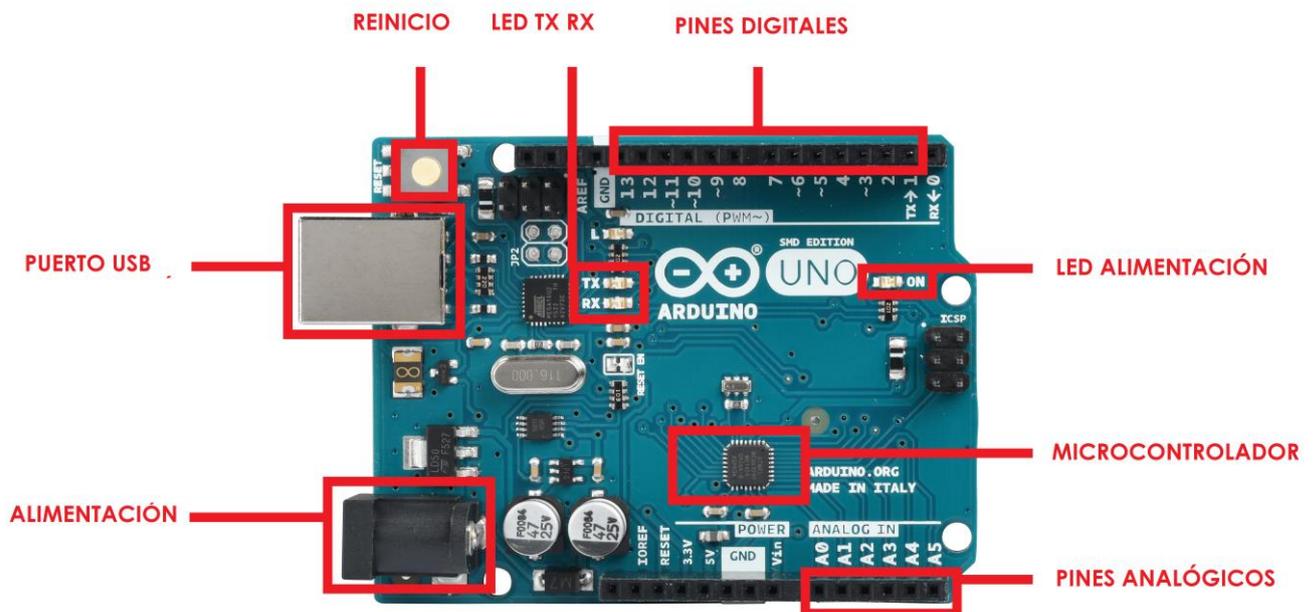


Figura 2-7 Partes del Arduino UNO [5]

2.7.2 Qué son las entradas analógicas y digitales

En las entradas y salidas del Arduino se basa su capacidad de interacción con el mundo físico, lo que supone la principal característica de todo autómatas.

Como hemos visto, las entradas y salidas pueden ser de dos tipos, analógicas y digitales, y su diferencia se explica a continuación:

2.7.2.1 Entrada digital

En una señal digital lo que se obtiene es una variación de voltaje entre $-V_{cc}$ y V_{cc} , sin pasar por los valores intermedios por lo tanto se le van a asociar únicamente dos estados: 0 ó 1, que también podremos encontrar como LOW o HIGH respectivamente.

Al obtener una señal digital, lo que el Arduino realmente está haciendo es comparar el valor de tensión obtenido con una tensión umbral, de manera que los valores obtenidos por encima de esa tensión serán interpretados como HIGH ó 1 y por debajo de la misma como LOW o 0.

Es razonable suponer que la tensión umbral se encuentra próxima en valor al punto medio entre $-V_{cc}$ y $+V_{cc}$ y se debe evitar medir tensiones cerca de la umbral, ya que es posible que provoquen mediciones erróneas. En Arduino los valores de alimentación habituales son 0V y 5V. En este caso la tensión umbral se encontrará próxima a 2'5V. Por tanto si medimos una tensión con un valor intermedio entre 0 a 2'5V Arduino devolverá una lectura LOW, y si medimos un valor entre 2'5V y 5V, devolverá HIGH.

En Arduino, los pines digitales se usan el mismo pin tanto para entrada como para salida de datos, aunque lógicamente no pueden hacerlo de forma simultánea. Cada vez que se usa uno, es necesario configurarlo como entrada o salida (INPUT o OUTPUT) en la elaboración del código.

2.7.2.2 Entrada analógica

Al contrario que ocurre con las entradas digitales, la señal analógica puede tomar cualquier valor dentro del intervalo $-V_{cc}$ $+V_{cc}$. Por ejemplo, para nuestro Arduino, con unos valores de alimentación entre 0V y 5V, nuestra señal analógica podría tener por ejemplo un valor de 3,12V. Por lo general, las entradas analógicas son más escasas y más lentas que las digitales en todos los autómatas.

Así pues, como hemos visto, una entrada digital atribuye un valor HIGH a las medidas que superen un valor umbral, y LOW a lo que estén por debajo. Por el contrario, una entrada analógica proporciona una medición codificada en forma de un valor digital con un número N de bits.

Siendo N el número de bits de la señal, el valor analógico se clasifica dentro de 2^N niveles, que conforman 2^{N-1} intervalos. La resolución de la señal es el ancho de este intervalo medido en mV. Al aumentar el número de bits, más intervalos habrá y por tanto menor ancho del intervalo, lo que aumentará la resolución.

2.7.3 Partes del código Arduino

Dentro de la estructura común del código de un programa Arduino o “sketch” podemos encontrar las siguientes partes:

2.7.3.1 Librerías

Lo primero que debemos incluir en el código de un programa Arduino son las librerías que se vayan a usar. Una librería se podría definir como un depósito de funciones que han sido programadas con anterioridad y al incluirla podemos utilizar dichas funciones en nuestro código, lo que facilita el trabajo. Para programar componentes básicos es posible que no haga falta ninguna, pues Arduino ya tiene por defecto algunos módulos de funciones, pero en el caso de utilizar elementos más complejos, como puede ser en el caso de este trabajo sensores medidores de temperatura, se puede incluir una librería diseñada para este sensor que nos ayude a trabajar con él. Las librerías se pueden obtener a través de internet o del propio gestor de librerías del programa Arduino.

2.7.3.2 Setup

La siguiente parte del código de Arduino es la función Setup. Esta función se ejecuta cuando se inicia el Arduino y no vuelve a ejecutarse en el resto del programa a no ser que se reinicie la placa mediante el botón reset. Aquí se realiza la configuración previa al funcionamiento del programa y nos permite iniciar los elementos que vayan a ser utilizados y ejecutar las operaciones que se consideren oportunas.

2.7.3.3 Loop

La última parte del código corresponde a la función loop y se ejecuta después de la función setup. Corresponde a la parte principal del código y donde más programación habrá que realizar. Esta función se repite un número ilimitado de veces de forma cíclica, es decir, que una vez realizada la función setup el programa entra en la función loop y cuando llegue al final vuelve a comenzar desde el inicio de la función loop hasta que el usuario apague o reinicie el Arduino.

2.7.3.4 Definición de elementos

Además de las partes mencionadas, se utiliza esta sección para incluir constantes, variables globales y objetos de clases que se quieren utilizar durante la programación. No es necesario que esté dentro de una de las partes anteriores ni estar definidas todas juntas, pero por lo general se incluyen entre las librerías y la función setup.



Figura 2-8 Partes de un “sketch” [6]

2.8 Sensor de temperatura.

El sensor medidor de temperatura que va a ser empleado en este trabajo, el DS18B20, constituye uno de los elementos más importantes del mismo. Se trata de un sensor idóneo para conectar a Arduino cuando queremos medir temperaturas en ambientes húmedos o incluso, si se dispone de la versión con sonda impermeable, dentro del agua, como es el caso de este trabajo y con él vamos a obtener la temperatura del agua a la entrada y a la salida del colector solar térmico sustituyendo los termómetros de laboratorio de la práctica por estas dos sondas.

Además, este sensor incorpora un protocolo para la lectura de datos llamado One-Wire, cuya librería habrá que implementar en nuestro código del programa. Este protocolo permite utilizar un mismo cable para la entrada de datos de todos los sensores que se conecten al mismo teniendo que recurrir a un índice que el protocolo asigna automáticamente a los sensores cuando se quiere hacer una llamada a estos durante la ejecución del programa.

Para conectarse a un Arduino, este sensor tiene tres pines útiles: V_{DD} , GND y DQ.

- V_{DD} : es la tensión de alimentación es decir, que voltaje necesita para que el sensor de temperatura DS18B20 funcione correctamente. Podemos alimentar desde 3V a 5,5V.
- GND: es la toma de tierra. A este pin conectaremos la referencia 0V de nuestro circuito.
- DQ: es el pin de datos. Por este pin se recibirán todos los datos en el protocolo One-Wire. La ventaja que nos proporciona este protocolo es que únicamente es necesario utilizar un cable para conectar varios sensores de temperatura DS18B20. Por lo tanto, solo necesitaremos 1 pin digital de nuestra placa Arduino para obtener la lectura de datos.

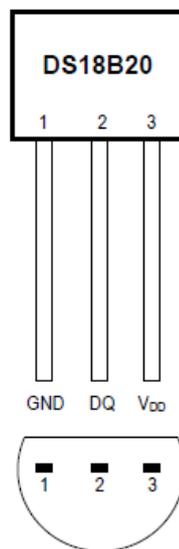


Figura 2-9 Disposición pines sensor DS18B20. [7]

Un aspecto importante a conocer de este sensor es el rango de temperaturas que puede medir, así como el error que puede llegar a tener y la resolución.

En cuanto al rango de temperaturas, el DS18B20 nos permite medir temperaturas entre -55°C y 125°C , un rango de valores más que suficiente para las necesidades a cubrir de nuestra práctica.

El DS18B20 tiene errores debido a factores externos, al ruido inherente en los circuitos eléctricos y alteraciones en el medio físico. Sin embargo, aunque los componentes eléctricos tengan errores, estos se pueden medir. Por lo tanto sabremos aproximadamente cuánto dista la medición obtenida de su valor real. Este error depende del rango de la temperatura a medir:

Para temperaturas entre -10°C y 85°C podemos llegar a tener un error de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Para el resto de temperaturas entre -55°C y 125°C el error es de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Se hace un resumen de las características importantes de nuestro sensor en la Tabla 2-2.

Característica	Valor
Voltaje de alimentación	3,3V a 5V
VDD	Voltaje de alimentación
GND	Tierra
DQ	Datos
Rango de temperaturas	-55°C a 125°C
Error (-10°C a 85°C)	±0,5°C
Error (-55°C a 125°C)	±2°C

Tabla 2-2 Características sensor DS18B20 [7]

2.9 Caudalímetro

El caudalímetro es otro elemento de entrada que vamos a conectar a nuestro Arduino y que nos va a permitir conocer el flujo de agua que circula por el circuito del colector. El sensor está compuesto por una carcasa de plástico a la que se conectan las tuberías del sistema cuyo caudal queremos medir. En el interior de la carcasa se encuentra un rotor con paletas. Cuando el flujo de agua atraviesa el sensor, impulsa las paletas y se hace girar el rotor. La cámara interior del sensor donde se encuentra el rotor está completamente aislada para evitar fugas en el circuito y externamente a esta cámara se encuentra un sensor de tipo hall. La velocidad de giro del sensor se determina gracias a un imán existente en las paletas del rotor que interactúa con el sensor de efecto hall y por lo tanto ningún componente eléctrico está conectado al circuito del fluido.

La salida es una señal de pulsos, por lo tanto digital (2.7.2.1 Entrada digital), que consiste en una onda cuadrada de frecuencia proporcional al caudal. Un elemento muy importante de todo caudalímetro es su factor de conversión “K” que permite convertir el valor de la frecuencia (Hz) al del caudal (L/min) y es único para cada modelo. Por lo tanto:

$$F(Hz) = K \cdot Q(L/min)$$

Ecuación 2-3 Frecuencia de pulsos caudalímetro

Estos sensores normalmente cuentan con tres cables para su conexión, uno rojo para conectar a la alimentación, uno negro para la toma de tierra y el último amarillo para la salida de datos.

2.9.1 El efecto Hall

El efecto Hall consiste en la aparición de un campo eléctrico que circula por un conductor cuando sobre este se encuentra en presencia de un campo magnético con componente perpendicular al movimiento de las cargas.

Cuando tenemos un material conductor, y le proporcionamos una corriente eléctrica que lo atraviese, los electrones se desplazarán en línea recta a través de nuestro material. Ahora, si sometemos al material a un campo magnético, este afectará al movimiento rectilíneo de los electrones debido a la fuerza de Lorentz. Dado el caso, las cargas se separarán en negativas a un lado del material y positivas

al otro, de manera que si medimos la diferencia de potencial entre los dos lados, obtendremos un voltaje medible. A este efecto se le denomina efecto Hall.

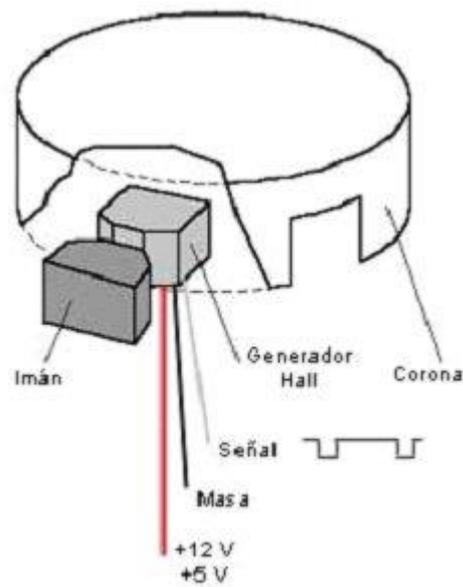


Figura 2-10 Sensor de efecto Hall [8]

3 PLATAFORMA DE REGISTRO DE DATOS

3.1 Generalidades

El objetivo del trabajo es la automatización en la obtención de datos en las prácticas de la asignatura mediante la implantación de una plataforma de registro de datos para que a partir de estos el alumno pueda estudiar los métodos de transmisión de calor y calcular factores importantes del funcionamiento de los sistemas térmicos derivados de los datos iniciales, como por ejemplo el rendimiento. Ya hemos hablado de la práctica de laboratorio en la que se va a centrar y ahora vamos a entrar en detalle en dicha plataforma. En primer lugar se va a analizar qué datos queremos extraer del experimento y qué elementos serán necesarios para la extracción de estos datos y para el montaje del dispositivo. Para ello habrá sido preciso un diseño previo del funcionamiento requerido del sistema.

Una vez obtenida la lista de materiales necesarios y ya en disposición de todos estos se procede al montaje del prototipo, programación del Arduino y posteriormente se prueba en el caso práctico.

Por último diseña el montaje del dispositivo en una caja para su transporte y fácil utilización protegiendo los elementos internos.

3.2 Diseño teórico

Para comenzar con la creación de la plataforma conviene tener en mente un diseño teórico de ella en el que se analice todo aquello que necesitamos en la extracción y uso de datos en el estudio de los métodos de transmisión de calor, es decir, saber los datos que es necesario extraer del sistema para el cálculo de los parámetros que queramos hallar, en este caso el rendimiento.

Por ello, previo a la elaboración de la lista del material es necesario preguntarse, entre otras cosas, qué tareas tiene que realizar el dispositivo, cómo queremos que funcione o cómo incluirlo en el experimento y a partir de esto diseñar el prototipo a realizar.

Tratando de responder a estas preguntas lo que se busca del proyecto es lo siguiente:

3.2.1 Elementos de entrada

Se quiere incorporar un microcontrolador para que haga un registro de determinados valores. El elemento más importante a medir es la temperatura del agua a la entrada y salida del colector, por lo tanto, el primer elemento de entrada va a ser algún tipo de sensor capaz de medir temperaturas en el circuito. Se realizará una búsqueda de este tipo de sensor entre los elementos que se puedan conectar a

Arduino hasta dar con el más adecuado. Un dato importante a la hora de realizar esta búsqueda es que nuestro sensor tiene que medir la temperatura de un circuito de agua, es decir, que va a trabajar en ambientes húmedos y esto no puede afectar a su funcionamiento.

Además, con objeto del cálculo del rendimiento sería necesario medir el caudal de agua que circula por el sistema añadiendo un caudalímetro. A pesar de que la práctica se realiza con un caudal constante puede ser de utilidad la incorporación de este elemento para ver cómo afecta la variación de caudal al rendimiento o si simplemente se quiere realizar el experimento con un valor diferente de caudal. A la hora de elegir el sensor medidor de flujo se tendrá en cuenta los requisitos que impone la práctica, que en este caso el más restrictivo ha sido que el sensor sea capaz de medir caudales de 0,1L/min, valor de funcionamiento de la bomba del circuito.

Por último se podría añadir un pulsador en la placa para ayudar al control de su funcionamiento, de manera que el operario pueda interactuar con la plataforma de forma sencilla para darle instrucciones acerca de cuándo ésta debe ponerse a funcionar. Se trata de dar instrucciones simples sobre cuando el sistema debe estar trabajando y cuando debe estar parado.

Con esto podríamos disponer ya de todo lo necesario en cuanto a elementos de entrada de datos al microcontrolador. A continuación se procederá a estudiar los de salida.

3.2.2 Elementos de salida

Los elementos de entrada nos van a proporcionar los datos que queremos obtener del entorno, a continuación se estudia qué queremos hacer con los datos obtenidos y como trabajar con ellos. Primero de todo queremos ver el valor de las medidas que estamos obteniendo para ver si el trabajo se está desarrollando correctamente, por lo tanto es imprescindible incorporar una pantalla que nos muestre estos resultados en tiempo real. Buscaremos la pantalla que más se ajuste a las necesidades teniendo en cuenta principalmente la cantidad de datos que se deben mostrar en esta y los pines que tenemos disponibles para su utilización, ya que este tipo de dispositivos requiere un gran número de ellos para su conexión.

Además queremos llevar un registro de todos los datos que se muestran en la pantalla por si fuera necesario entre otras cosas volver a alguno de ellos, encontrar alguna anomalía que se haya encontrado durante el desarrollo de la práctica o trabajar finalizada la misma en el cálculo del rendimiento del colector solar. Todo ello deriva en la necesidad de añadir algún tipo de elemento que nos permita conectar una tarjeta de memoria a Arduino para almacenar automáticamente los datos del trabajo.

Estos dos elementos de salida ya son suficientes para realizar el estudio de la práctica finalizada la misma.

3.3 Material

Una vez se ha pensado en qué va a consistir el dispositivo se puede pasar a realizar una lista del material que va a ser necesario para llevar a cabo el proyecto atendiendo a las necesidades que se han establecido en el diseño teórico del sistema.

3.3.1 Arduino

La finalidad del trabajo es el diseño e implantación de una plataforma de registro de datos en tiempo real para lo cual es esencial el empleo de un microcontrolador, concretamente una placa Arduino. Dentro de esta compañía encontramos diferentes modelos y atendiendo a los requerimientos de la práctica decido utilizar una placa Arduino UNO, que es una de las más básicas pero cumple con

los requerimientos del trabajo. Entre ellos cuenta con seis entradas analógicas y trece digitales, más de las necesarias para la realización del mismo.

3.3.2 Sensor DS18B20 con sonda impermeable.

El sensor DS18B20 es un sensor medidor de temperatura con un error de medición pequeño y un rango de temperaturas más que válido para la medición de los valores que vamos a obtener en la práctica. Este es un sensor común para el cálculo de temperaturas con Arduino y se pueden encontrar variantes del mismo, en concreto el empleado para este trabajo cuenta con una sonda impermeable para ser utilizado en presencia de líquidos o sumergido en ellos, como es el caso. Serán necesarios dos sensores DS18B20 para la realización del trabajo. Además es de fácil instalación e incorporación a circuitos con Arduino y se dispone de gran cantidad de información en internet acerca de su empleo con esta plataforma.



Figura 3-1 Sensor DS18B20 con sonda impermeable. [9]

3.3.3 Caudalímetro

Con objeto del cálculo del rendimiento se decide incluir en el sistema un sensor medidor del flujo de agua que recorre el circuito y permita al usuario conocerlo. Este valor va a rondar valores de 0,1L/min lo cual ha dificultado dar con el sensor óptimo, pues la gran mayoría de los encontrados tienen un rango mínimo de medición de 1L/min y, por lo tanto, no son válidos para nuestro prototipo. Finalmente se da con el sensor capaz de medir en el rango de caudal requerido y por tanto el elegido para el trabajo contando con la peculiaridad de que no ha sido posible dar con la ficha de características técnicas del sensor habiendo tenido que realizar determinados ensayos para obtener datos necesarios del mismo como se verá más adelante (3.5 Calibración caudalímetro)



Figura 3-2 Caudalímetro empleado

3.3.4 Pantalla LCD

Asimismo, para la lectura de los datos obtenidos se incluye una pantalla LCD (Liquid Crystal Display). Para trabajar con Arduino, se encuentran dos tamaños principales de este tipo de pantalla, de 16x2 ó de 20x4 (refiriéndonos con estos valores al número de caracteres por línea y número de líneas respectivamente) y dentro de estos dos tamaños un gran número de pantallas de diferentes compañías cada una con sus peculiaridades pero todas ellas válidas para trabajar con Arduino. Basándonos en el número de datos que es necesario mostrar en pantalla optamos por el modelo de 20x4 con el fin de que la pantalla no se vea sobrecargada de datos.

Además, como complemento a esta pantalla se incorpora una interfaz I2C para pantallas LCD, que va a simplificar en gran medida el número de pines a utilizar en nuestro Arduino. Son necesarios para su conexión únicamente cuatro cables macho-hembra. De esta forma se usan dos pines analógicos pero se liberan seis digitales de Arduino. Esto, además de dejar más pines de la placa disponibles, facilita la instalación de la pantalla en el circuito y reduce el número de cables del conjunto final de la plataforma, lo que reduce la confusión a la hora de ver a qué está conectado cada elemento.

3.3.5 Tarjeta de memoria

Con el fin de almacenar los datos obtenidos se necesitará también un shield de tarjeta micro SD para Arduino, además de su correspondiente tarjeta de memoria micro SD. Este dispositivo nos va a permitir principalmente leer y escribir datos en la tarjeta SD con nuestro Arduino, que es el objetivo que buscamos.

Como se ha dicho anteriormente (2.7 Arduino) las shields son placas de circuitos modulares que se montan unas encima de otras para darle alguna función extra al Arduino y son apilables. En este caso se trata de una pequeña placa con seis pines y una ranura para introducir una tarjeta micro SD.

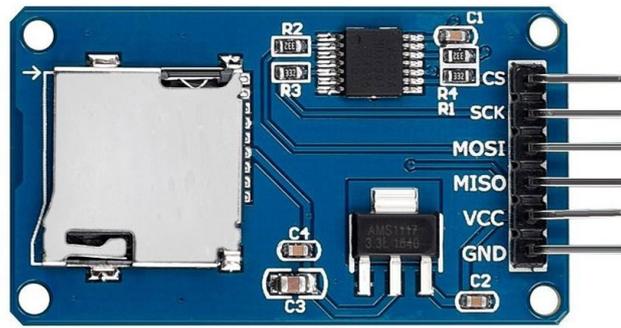


Figura 3-3 Shield tarjeta SD. [5]

3.3.6 Otros elementos

Para la conexión de estos elementos será necesario un panel protoboard sobre el que se instalará toda la circuitería, sus correspondientes cables para las conexiones con todos los elementos y las resistencias correspondientes de valores acorde al circuito, además de una fuente de alimentación de Arduino.

Una vez se haya creado el sistema con todas las conexiones se procederá a su montaje sobre una caja pero antes de comprar dicha caja debemos saber las dimensiones que va a precisar, por tanto su adquisición será uno de los últimos pasos de la creación del prototipo.

3.3.7 Lista de material

Como resultado se elabora una lista de todo el material necesario para el trabajo (Tabla 3-1).

Componente	Cantidad
Arduino UNO	1
DS18B20	2
Caudalímetro	1
Tarjeta micro SD	1
Shield tarjeta de memoria	1
Pantalla LCD	1
Interfaz I2C	1
Cables	28
Resistencias	2
Protoboard	1
Fuente de alimentación	1
Caja montaje	1

Tabla 3-1 Lista del material necesario

3.4 Análisis de componentes

Antes de realizar el diseño completo de la plataforma con todos sus componentes y con el fin de facilitar su programación y el aprendizaje de este por parte del alumno, se realizaron varios ensayos probando sus componentes por separado facilitando la comprensión de los comandos que utilizan cada uno de los componentes y posteriormente se procedió a la unión y síntesis de todos ellos para elaborar el código completo. Algunos de los ensayos llevados a cabo previa creación del proyecto fueron los siguientes:

3.4.1 Prueba sensor DS18B20

El primero de los ensayos fue la puesta en funcionamiento del sensor medidor de temperatura, lo que conlleva el empleo de su protocolo One Wire. Esto supuso la implementación de dos librerías adicionales en el programa Arduino:

- One Wire
- Dallas Temperature

Ambas librerías se obtienen del gestor de librerías del programa Arduino.

El protocolo One Wire se prueba conectando dos sensores DS18B20 al mismo pin de datos. Para la lectura de cada sensor, se utilizará el comando “`sensor.getTempCByIndex(0)`” con los valores 0 y 1 para obtener la lectura del primero o del segundo sensor respectivamente. La librería Dallas Temperature implementa el código para enviar los comandos adecuados a los sensores y obtener la temperatura. Con los comandos propios de estas librerías se programa el Arduino para que proporcione el valor en grados Celsius de las medidas que se obtienen en cada uno de los sensores conectados a este, y que luego mostraremos a través de la pantalla, de un fichero o del monitor serie.

Su instalación es sencilla. Como se ha mencionado en la descripción del sensor (2.8 Sensor de temperatura.) éste consta de tres pines: voltaje, GND y datos; que se conectan a los pines 5V, GND y D7 del Arduino respectivamente, además es recomendable introducir una resistencia entre el pin de datos y el de voltaje.

Este ensayo es importante para conocer el índice de cada sensor de temperatura (Como se ha explicado anteriormente será 0 ó 1) y así saber cuál de los dos hay que poner a la entrada y cuál a la salida del colector, quedando ya diferenciados para la posterior instalación de los sensores en la práctica.

3.4.2 Pantalla LCD “Hola mundo”

Se realizó asimismo otro ensayo para conocer el modo de funcionamiento de la pantalla LCD junto con la interfaz I2C. En este caso es necesario incluir la librería LiquidCrystal_I2C. Esta librería ha sido descargada de la página web de Arduino [10].

En un principio se comenzó trabajando con una pantalla LCD de 16x2 básica en la que los pines de salida no estaban soldados, lo que dificultaba las conexiones y si hacía mal contacto no funcionaba correctamente. Se pudo mostrar en pantalla en primer lugar el mensaje “Hola Mundo” y posteriormente los valores de los sensores de temperatura pero ya únicamente con estos dos elementos conectados a la placa se ocupaban muchos pines de la misma como se puede ver en la Figura 3-4.

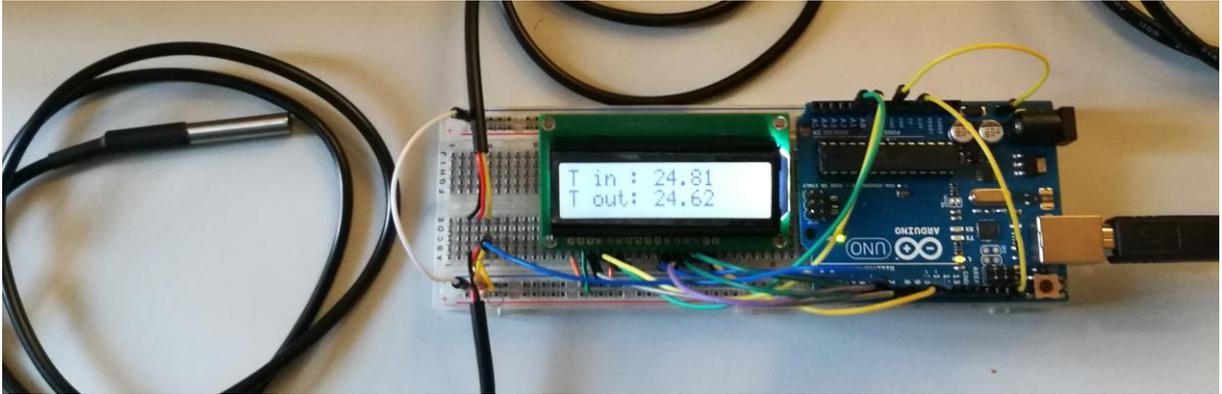


Figura 3-4 Pantalla LCD 16x2

Además daba problemas a la hora de utilizarse conjuntamente con la tarjeta SD debido al gran número de pines ocupados del Arduino. Además, el tamaño de la pantalla no abarcaba suficiente para mostrar todos los datos por lo que se valoró aumentar el tamaño de la pantalla.

Por estos dos motivos se recurre a una pantalla LCD de 20x4 aumentando el número de caracteres en pantalla para mostrar todos los datos necesarios y que además cuenta con el protocolo I2C que reduce el número de pines a utilizar por la pantalla. Además, la pantalla que se emplea viene con el protocolo ya soldado a la pantalla y con unos pines de salida que facilitan la conexión siendo necesario únicamente el empleo de 4 cables macho-hembra.

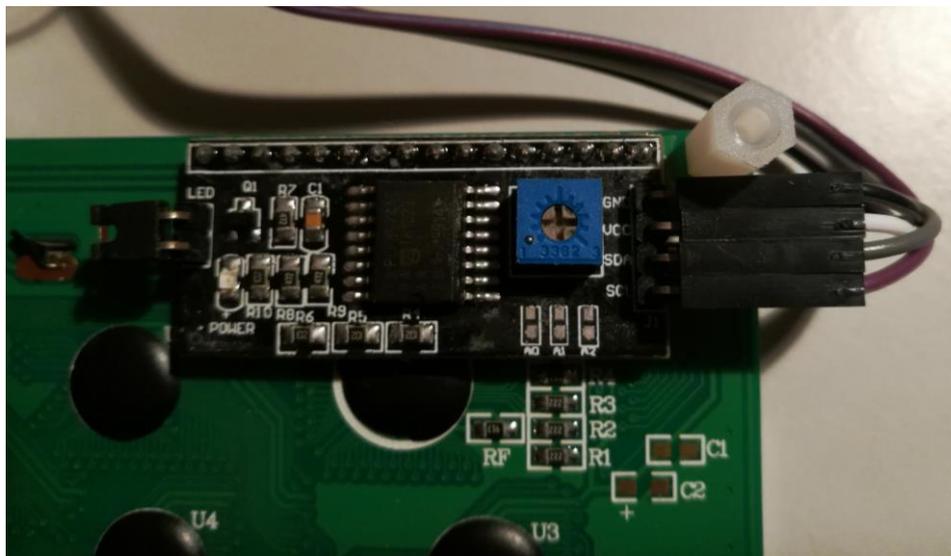


Figura 3-5 Protocolo I2C incorporado a la pantalla LCD 20x4

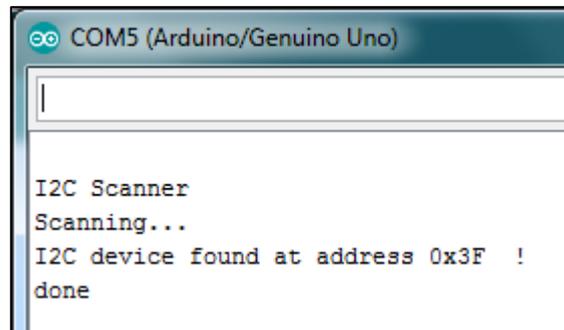
Con esta nueva pantalla se tuvieron problemas inicialmente para encontrar la dirección de destino de la pantalla. La dirección de destino es el lugar de la memoria donde nuestro protocolo I2C va a “alojar” al dispositivo que tenga asignado y cuando se inicializa el sensor en el código hay que referenciarlo a esa dirección, en este caso de la siguiente manera:

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,20,4);
```

Donde LiquidCrystal_I2C es la librería; 0x3F la dirección de destino y 20,4 las dimensiones de la pantalla.

Cada dispositivo tiene una dirección única sin la cual no se va a poder acceder a él. En algunos casos esta dirección coincide entre diferentes códigos. Dado que en un principio no se conocía esta

dirección de destino, se enviaban los datos pero no se mostraban en pantalla, y fue necesario recurrir a un código adicional para encontrar dicha dirección. Dado que es un problema frecuente, este código ya había sido diseñado con anterioridad, se trata de un código libre y se puede encontrar en muchos sitios, en el caso particular de este trabajo se ha obtenido de la siguiente página web [11].



```

COM5 (Arduino/Genuino Uno)
I2C Scanner
Scanning...
I2C device found at address 0x3F !
done
    
```

Figura 3-6 Mensaje obtenido con la dirección de destino

Lo que hace este código es ir buscando una por una en todas las direcciones de destino donde el protocolo I2C puede guardar el dispositivo mediante un bucle “if” hasta que da con la correcta y la muestra al usuario a través del monitor serie.

Con estos dos problemas solucionados se lleva a cabo el ensayo sin más dificultad. Esta prueba resulta más sencilla de entender que la anterior gracias a su código más intuitivo y sencillo. El comando para mostrar un mensaje en la pantalla es:

```
lcd.print(“mensaje”)
```

No obstante, es importante que antes de escribir en la pantalla se establezca la dirección del cursor mediante el comando:

```
lcd.setCursor(0,0)
```

De esta manera se establece el lugar de la pantalla donde se va a comenzar a escribir, siendo el primero de todos el (0,0) y el último el (3,19). Además, antes de escribir un mensaje nuevo es conveniente borrar el mensaje anterior de la pantalla con el comando:

```
lcd.clear()
```

La prueba se realizó mostrando en pantalla el clásico mensaje de “Hola mundo” en cada una de las filas que componen la pantalla LCD de 20x4.



Figura 3-7 Programa "Hola, mundo" en pantalla LCD.

Para su conexión al Arduino la pantalla LCD utiliza en total 12 pines, seis de los cuales se conectan a entradas/salidas digitales y dos a las analógicas. El protocolo I2C nos permite reducir en

gran medida el número de pines a utilizar de nuestra placa, siendo necesarios únicamente los siguientes:

- GND – conectado al pin GND
- Vcc – conectado al pin de 5V
- SDA – conectado al pin analógico A4
- SCL – conectado al pin analógico A5

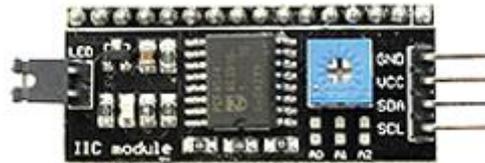


Figura 3-8 Módulo I2C con sus pines de conexión [12]

El siguiente paso fue unir los dos dispositivos para mostrar en la pantalla los valores obtenidos con los sensores de temperatura.

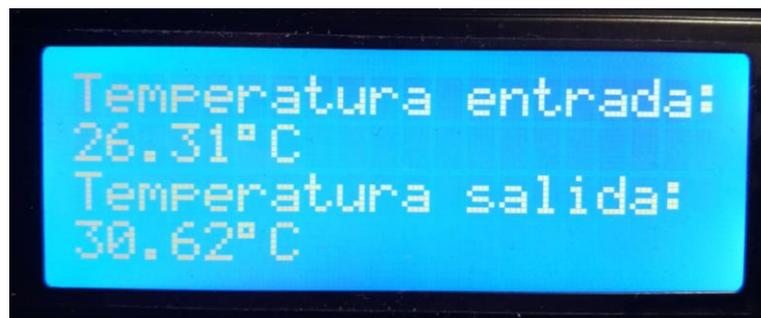


Figura 3-9 Sensores de temperatura conectados a LCD

3.4.3 Micro SD

Por otra parte y con objeto de almacenar las mediciones en una tarjeta SD se añade a la placa una shield para poder conectar dicha tarjeta al Arduino. Utiliza la librería SD propia del programa e incorpora funciones para el manejo de ficheros y directorios, entre las que usamos principalmente FILE_READ y FILE_WRITE para leer y escribir en un fichero creado y guardado en la tarjeta.

Es importante introducir la instrucción que abra el archivo donde queremos escribir. En esta misma instrucción también se introduce en el código el nombre que va a tener el archivo sobre el que se va a escribir. Si este archivo ya existe, escribirá a continuación del último elemento añadido. En caso de que no exista creará un archivo con el nombre que se le haya dicho. La instrucción es la siguiente:

```
Archivo = SD.open("datos.txt", FILE_WRITE);
```

Cuando esta parte del código se ejecute, se creará en la tarjeta SD un archivo llamado datos.txt y si este ya existe se abrirá.

Para escribir en el archivo se hace de manera similar a escribir en la pantalla, mediante el comando:

```
Archivo.print("Texto");
```

Por último, tras haber escrito en el fichero todos los datos se debe implementar la siguiente instrucción que lo cierre para que todos los datos queden guardados, de lo contrario, se borrarán:

```
Archivo.close();
```

Esta shield (Figura 3-3 Shield tarjeta SD) contiene 6 pines que se conectan al Arduino de la siguiente manera:

- CS – pin digital 10
- SCK – pin digital 13
- MOSI – pin digital 11
- MISO – pin digital 12
- VCC – pin 5V
- GND – pin GND

3.4.4 Pulsador

La implementación de un pulsador para regular el funcionamiento del sistema ha llevado a cabo un gran número de ensayos hasta dar con la manera que más se adaptase a las intenciones previas sin complicar demasiado el código.

En primer lugar fue necesario preguntarse de qué manera se quería que funcionase el pulsador, pues en un primer código se programó para que se obtuvieran las medidas de los termómetros cada vez que este se pulsara. Viendo esta metodología desde el punto de vista del estudio de los métodos de transmisión de calor resultaba algo poco eficiente, pues sería más conveniente que realizara las lecturas cada cierto tiempo y de manera automática. Por tanto se cambió el modo de funcionamiento.

El nuevo funcionamiento que se programó para el pulsador fue que el dispositivo permaneciera en espera hasta que se pulsase el mismo y hecho esto comenzase a trabajar hasta volver a ser pulsado para pararse. Finalmente, esto se ha conseguido de la siguiente manera:

➤ Funcionamiento del pulsador:

```
valorPulsador = digitalRead(pulsadorPin);  
if(valorPulsador==HIGH){  
    estado = 1 - estado;  
    delay (100);};
```

Donde estado es una variable inicializada en 0 y que va a tener el valor 1 cuando se haya presionado el pulsador y valor 0 cuando no se haya hecho o cuando se haya pulsado por segunda vez. A continuación seguiría un bucle “switch” en el que para el caso “estado=0” el dispositivo estaría en espera y para el caso “estado=1” llevaría a cabo las instrucciones dadas.

Ya con el estado 1 se puede programar la placa para que registre las medidas del funcionamiento del colector cada tiempo determinado, el que establezcamos en el código.

Los primeros ensayos para introducir el pulsador en la placa se realizaron únicamente con los sensores de temperatura y la pantalla LCD y posteriormente se incluyó la tarjeta SD y por último el caudalímetro.

3.4.5 Programación Caudalímetro

El último de los elementos en ser incorporado al sistema fue el caudalímetro debido a problemas de disponibilidad. Para el funcionamiento de este sensor han de establecerse en el código dos funciones, una que cuente el número de pulsos y otra que ponga al sensor a medir durante un intervalo de tiempo determinado. De esta forma, obteniendo el número de pulsos y el tiempo de la medición, se obtiene la frecuencia giro del sensor.

Lo siguiente es conocer la cantidad de fluido que está pasando por el sensor en cada revolución, por ello es tan importante el valor de conversión K de un caudalímetro. A partir de la frecuencia y del factor de conversión se obtiene el caudal que atraviesa el sensor. El problema es que en el caso de nuestro sensor no se conoce el factor de conversión por lo que es necesario realizar su calibración (3.5 Calibración caudalímetro).

Una vez se tiene el código que proporciona el caudal, se procede a unirlo con el resto de código. En un principio se prueba solo, mostrando el valor del caudal en el monitor serie, después de esto a través de la pantalla LCD y por último se junta con el resto de elementos.

Se tuvieron problemas a la hora de mostrar el valor del caudal en la pantalla LCD ya que a pesar de que el programa compilaba correctamente, se quedaba bloqueado en la ejecución del mismo cuando iba a mostrar el valor en la pantalla. La manera de solucionarlo fue pasar el valor obtenido por el sensor (float) a texto con el empleo de una cadena (String) y a continuación mostrar en la pantalla dicha cadena.

3.5 Calibración caudalímetro

Como se ha mencionado anteriormente (2.9 Caudalímetro), el factor de conversión K de un caudalímetro es un elemento de vital importancia en la toma de medidas de este. Debido a las características requeridas para la práctica que han sido tenidas en cuenta para la elección del caudalímetro apropiado, se dio con que ninguno de los principales caudalímetros empleados en circuitos con Arduino servía para este trabajo, ya que todos ellos tenían un valor mínimo de medición superior al caudal de trabajo del colector solar. Normalmente, el fabricante del sensor proporciona el valor de K en la hoja de datos del sensor aunque no es del todo precisa, suele dar un porcentaje de error en torno al 10%. Si se quisiera reducir este porcentaje de error se debería calibrar el sensor individualmente. Puesto que en el caso del sensor utilizado en el trabajo no se conoce el valor de K, ha sido necesario realizar su calibración.

La calibración del caudalímetro se ha realizado mediante un estudio del número de pulsos recibidos en función de la cantidad de agua que atraviesa el sensor. Para ello se ha programado el Arduino de forma que lo único que hace es contar el número de pulsos recibidos del sensor y los muestra en el monitor serie. Una vez implementado este código se toma un vaso de precipitado al que se le introduce una cantidad determinada de agua y se hace circular a través del sensor para obtener el número de pulsos que se reciben en función de la cantidad de agua.

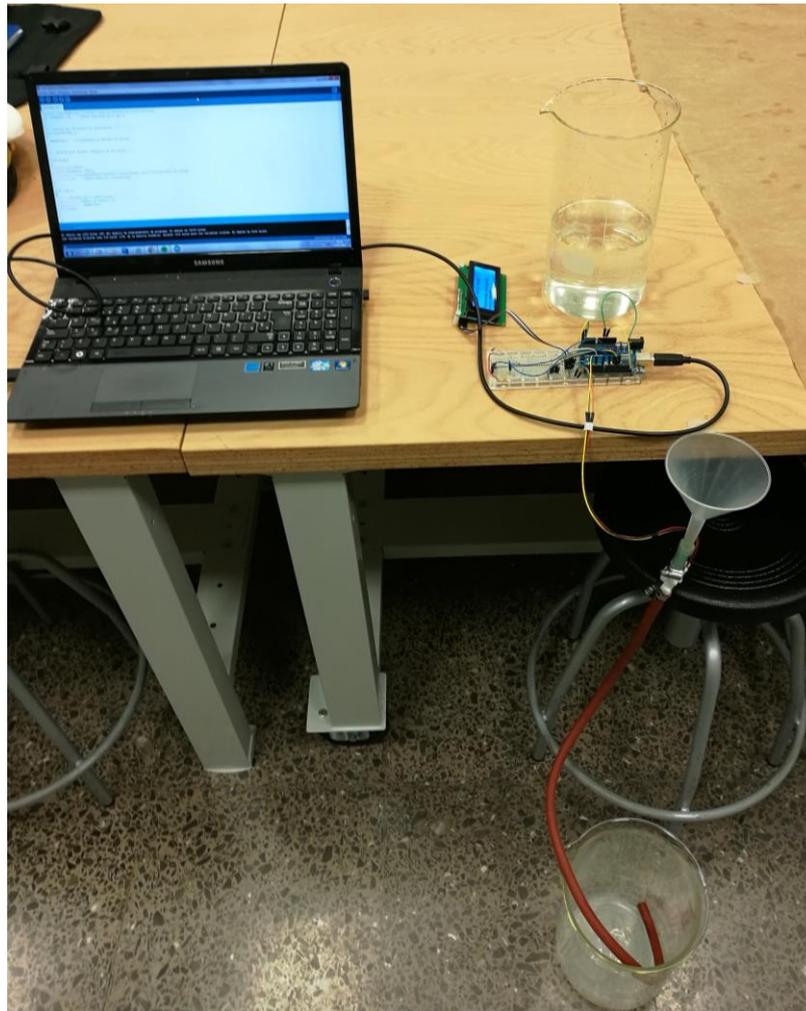


Figura 3-10 Calibración caudalímetro

En la Figura 3-10 Calibración caudalímetros puede observar el caudalímetro al final del embudo y conectado a la placa Arduino. El Arduino se programa con el código mencionado para que cuente el número de pulsos y se pone en marcha. A continuación se hace pasar un litro de agua a través del caudalímetro. A la salida del caudalímetro se coloca una tubería que vierte el agua en un vaso de precipitado. Cuando ha pasado la totalidad del agua a través del caudalímetro se registra el resultado.

Conocido el número de pulsos por cantidad de agua se puede obtener el valor de conversión K mediante la siguiente fórmula:

$$K = \frac{n^{\circ} \text{ pulsos}}{V(l) \cdot 60}$$

Ecuación 3-1 Factor de conversión

Se repite el experimento varias veces y con diferentes cantidades de agua, se registran todos los resultados y se obtiene el valor de la K para cada uno y por último se hace una media aritmética con los resultados obtenidos:

Volumen	Nº de pulsos	K
1L	2740	45,66
1L	2728	45,46
1L	2788	46,46
1L	2781	46,35
0,6L	1649	45,81
0,6L	1672	46,44
0,6L	1668	46,33
0,6L	1675	46,53
		Promedio: 46,1

Tabla 3-2 Calibración caudalímetro

3.6 Montaje conjunto

Una vez que han sido probados todos los elementos individualmente o juntando varios de ellos se procede al montaje en conjunto. Los ensayos previos han sido de gran utilidad para el conocimiento de todo el funcionamiento de los componentes por parte del alumno, de las diferentes funciones que pueden realizar así como de la manera de trabajar con la plataforma.

Finalmente el montaje conjunto incorpora dos sensores DS18B20 para toma de temperaturas a la entrada y salida del colector, un caudalímetro que mide el flujo de agua que circula por el circuito, la pantalla LCD que muestra los valores obtenidos con los tres sensores y el shield con la tarjeta de memoria para almacenar todos los datos que se muestran en la pantalla. Además se incorpora un pulsador que regula el funcionamiento de todo el sistema. Todo ello va conectado a la protoboard o al Arduino mediante los cables necesarios para ello. Su esquema de conexiones gráfico para mejor comprensión se adjunta en los anexos del trabajo (Anexo I: Diagrama de conexión).

Se procuró que durante la fase de pruebas de los diferentes elementos con su código se fueran ocupando los pines del Arduino de manera que no se tuvieran que ir cambiando a la hora de introducir y probar el siguiente elemento. De esta manera ha sido posible ir incorporando cada uno sin producir cambios en la disposición de los anteriores, lo que también ha ayudado a la hora de juntar el código de cada parte, pues en cada código se registran los pines que utilizan.

Es importante tener claro dónde está conectado cada componente del sistema para que a la hora de localizar algún problema en el circuito se haga rápidamente en función del elemento que está fallando.

Como resultado, las conexiones de los elementos quedan de la forma que viene indicada en la Tabla 3-3.

Con las conexiones de todos los componentes realizadas se procede a juntar los códigos independientes que hemos diseñado para cada elemento en uno solo que le proporciona al Arduino todas las instrucciones que debe realizar en su correcto funcionamiento. Este nuevo código conjunto se compila y se sube a la placa Arduino y a continuación se comprueba que realiza todas las instrucciones y no presenta fallos.

Elemento	Pines	Pin Arduino
PANTALLA LCD	GND	GND
	Vcc	5V
	SDA	A4
	SCL	A5
DS18B20	Vcc	5V
	GND	GND
	Datos	D9
SD	CS	D10
	SCK	D13
	MOSI	D11
	MISO	D12
	VCC	5V
	GND	GND
Caudalímetro	Vcc	5V
	GND	GND
	Datos	D2

Tabla 3-3 Conexiones Arduino-componentes

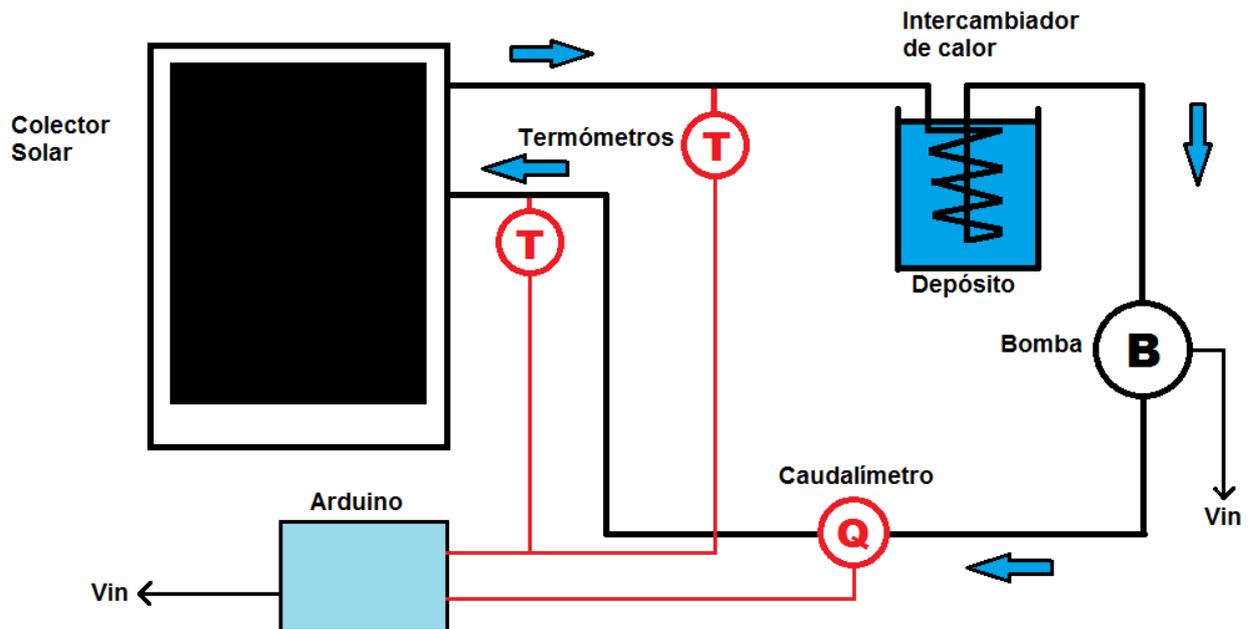


Figura 3-11 Esquema de conexiones

3.7 Acople de la plataforma a la caja de montaje

Con todos los elementos conectados se procede a acoplarlos en una caja que permita su fácil manejo y transporte y proteja el circuito de forma que los cables y elementos de conexión no queden a la vista.



Figura 3-12 Caja de montaje

Se decide comprar esta caja (Figura 3-12) por razones de dimensión de la plataforma creada. Una vez adquirida se fija la protoboard en su interior y se realizan determinados orificios en la misma pasar los cables necesarios al exterior. Es necesario sacar los cables de las sondas de temperatura, del caudalímetro, de la pantalla y el de alimentación de la placa.



Figura 3-13 Plataforma montada en la caja

Finalmente queda todo el sistema montado en la caja como se muestra en la Figura 3-13. En ella se observa, de izquierda a derecha, la plataforma fijada a la caja de montaje, con esta abierta; el orificio para la salida de los cables de alimentación y del caudalímetro; y la caja de montaje cerrada con la plataforma en funcionamiento.

3.8 Instalación de la plataforma

Una vez obtenido el prototipo de la plataforma de registro de datos se procede a instalarlo en la práctica de laboratorio incluyendo los sensores entre los elementos que conforman la práctica.

En primer lugar se realiza todo el montaje original de la práctica (2.4.4 Montaje) a excepción de la colocación de los termómetros de laboratorio en sus orificios correspondientes. En lugar de estos se deberá colocar el sensor medidor de temperatura de entrada en el orificio del termómetro de la parte izquierda del colector y el sensor medidor de temperatura de salida en el orificio para termómetros de la parte derecha del colector.



Figura 3-14 Sondas de temperatura introducidas a la entrada y salida del colector

Dado que estos estaban parcialmente introducidos en el circuito de agua, era necesario taponar los lados del orificio con un pasador. Ya que los termómetros son más anchos que las sondas, ha sido necesario incluir nuevos pasadores ciegos y perforarlos con la medida de la sonda para que al introducirlas en el circuito de agua no se produzcan pérdidas.



Figura 3-15 Pasadores originales y pasador con la dimensión de la sonda

Así mismo, es necesario introducir una tubería adicional entre la bomba y el colector solar y conectar estas dos tuberías a través del caudalímetro y fijarlas fuertemente mediante el empleo de abrazaderas para que no se produzcan pérdidas. De esta manera se controlará el flujo de agua que circula por la tubería para entrar en el colector.



Figura 3-16 Conexión del caudalímetro a la tubería de entrada del colector

Con la instalación de las sondas y el caudalímetro en el montaje original la circulación de agua vuelve a estar cerrada y se puede proceder a cebar el circuito de agua, introduciéndose con la ayuda de un embudo por el orificio situado en la zona superior del colector solar.

Una vez se ha dotado de agua todo el circuito, solo haría falta poner en funcionamiento la bomba del circuito del colector solar y conectar la alimentación del Arduino. Con todos los elementos de la práctica en funcionamiento, la plataforma está lista para ser usada. En el momento que se quiera, se presiona el pulsador del dispositivo para comenzar con la toma de medidas.

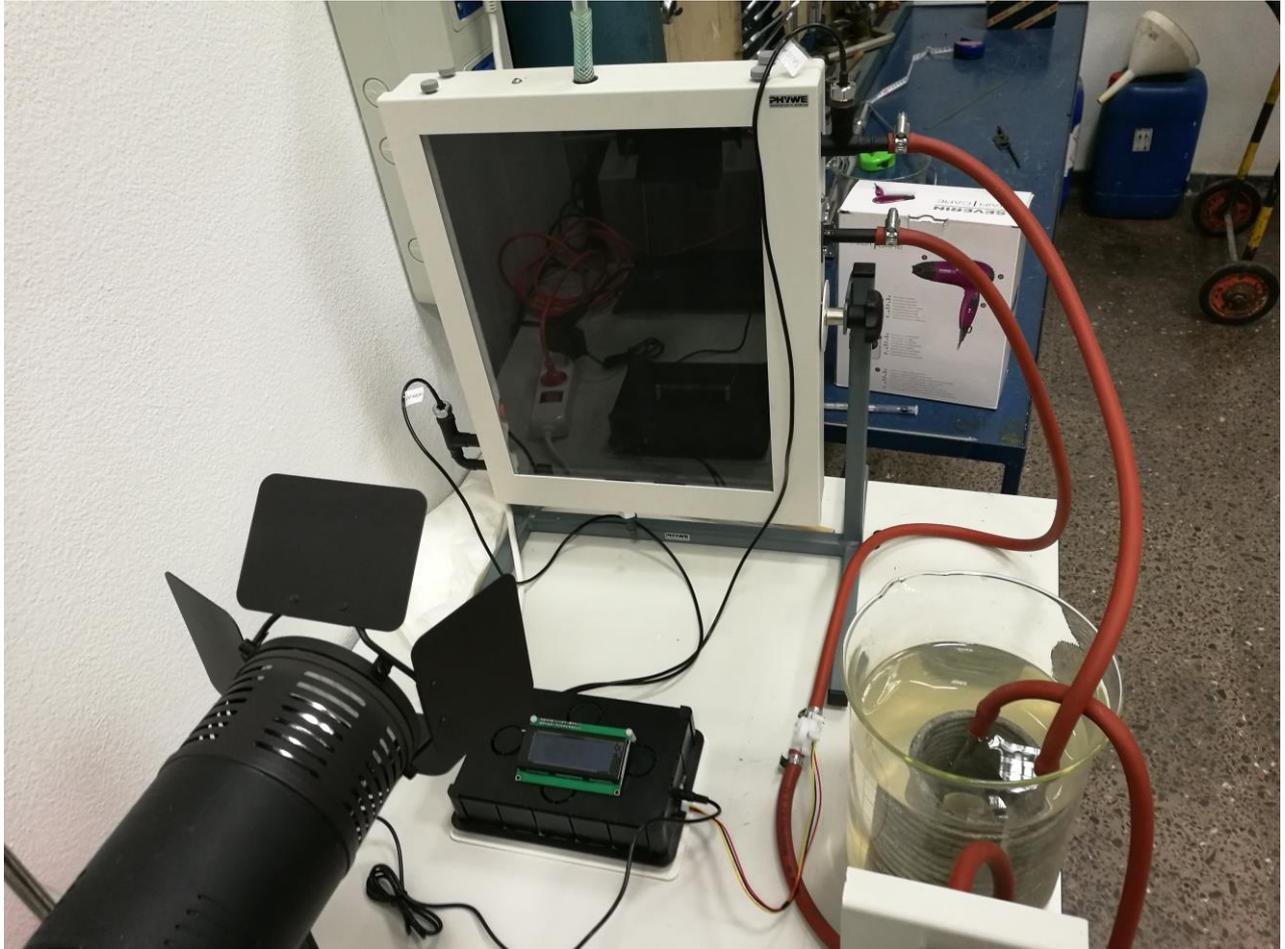


Figura 3-17 Implementación del prototipo en la práctica de laboratorio

4 RESULTADOS / VALIDACIÓN / PRUEBA

4.1 La plataforma en funcionamiento

En el momento en que el código definitivo se ha compilado y subido a la placa, esta ya puede operar sin necesidad de estar conectada al ordenador. La plataforma se alimenta con la fuente de alimentación que se detalla en la lista de materiales (3.3 Material). Una vez conectada la alimentación, lo primero que muestra en pantalla es el texto: “Pulse para medir / mantenga pulsado para parar”. Aunque es lo primero que se muestra, el programa ya se encuentra en la fase cíclica (2.7.3.3 Loop).

Cuando el operario pulsa el botón por primera vez, se crea un archivo de datos en la tarjeta SD y el sistema comienza a tomar medidas de temperatura a la entrada y a la salida del colector cada cinco segundos mediante los dos sensores de temperatura y al mismo tiempo el caudalímetro hace un registro de pulsos obtenidos en un intervalo de tiempo para convertirlo en caudal y se muestra en pantalla cada medida tomada además de la diferencia entre las temperaturas. De esta manera el sistema ya puede trabajar en la extracción de datos para el cálculo del rendimiento sin necesidad de la intervención del alumno y quedando este completamente liberado hasta el momento de la evaluación del rendimiento.



Figura 4-1 Lectura de datos en pantalla

Al mismo tiempo, estas medidas van siendo almacenadas en el archivo que se ha creado en la tarjeta SD acompañadas del número de mediciones realizado de la siguiente forma:

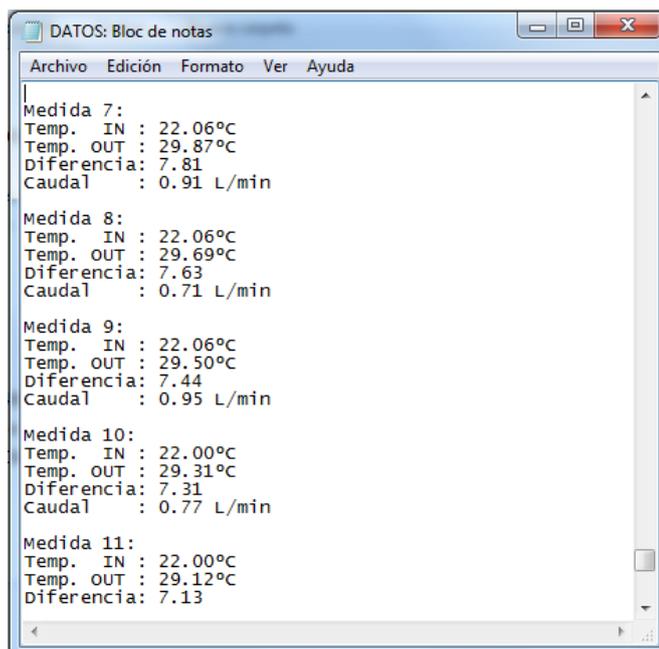


Figura 4-2 Archivo de datos registrados

Cuando se quiera parar la toma de medidas se deberá mantener pulsado el botón hasta que se vuelva a mostrar en pantalla el mensaje inicial. Esto supondría el fin del experimento, de cualquier forma, si se quisiera seguir tomando medidas por cualquier motivo, con volver a pulsar el botón, el sistema retomaría la toma de medidas incorporándolas en el fichero a continuación de la última medida tomada en el proceso anterior.

4.2 Puesta en práctica

Se lleva a cabo una simulación de lo que sería la realización de la práctica de laboratorio por parte del alumno con el prototipo ya instalado en el trabajo. Se realiza el montaje completo y se pone en marcha todo el sistema, tanto de la práctica como de la plataforma de toma de datos. Se enciende la lámpara y se presiona el pulsador y se comienza a tomar medidas periódicamente y registrarlas. Dado que de esta parte se encarga en su totalidad el autómatas, el alumno queda liberado de este proceso pudiendo dedicarse al análisis de los datos que se van mostrando y a la comprensión de los conceptos teóricos implicados.

De acuerdo con el guión de la práctica el ensayo se termina cuando las temperaturas a la entrada y a la salida se han estabilizado, por lo tanto esto es lo que tiene que controlar el alumno y llegado este momento presiona el pulsador para parar la recogida de datos y se extrae la tarjeta SD para llevar el registro a un ordenador y trabajar desde este. Del archivo de datos creado se puede obtener el valor de las temperaturas de entrada y de salida durante todo el proceso, la diferencia de las mismas y el valor del caudal circulando por el circuito en el momento de la medición. Con todo esto el alumno procede al cálculo del rendimiento del colector solar en función del tiempo. Para ello se puede ayudar de una hoja de cálculo en Excel donde se guarden los resultados en una tabla y posteriormente elabore una gráfica de la evolución del rendimiento.

4.3 Rediseño de la práctica de laboratorio.

Con los resultados obtenidos se introduce la plataforma diseñada como un elemento más de la práctica de laboratorio siendo necesaria la elaboración de un nuevo guión de prácticas y un entregable acorde con el nuevo método empleado.

A pesar de las nuevas incorporaciones, la esencia del trabajo es la misma, el cálculo del rendimiento de colector solar por lo que se han preservado ciertos apartados del guión original relacionados con el principio de funcionamiento y fundamentación teórica, sin embargo es necesario añadir uno que explique el nuevo montaje del dispositivo y en que consiste el mismo y su utilización. Estas modificaciones se han añadido en el apartado ya existente de procedimiento experimental en el nuevo apartado de esquema de montaje.

Además se cambia el formato del entregable para que su elaboración y entrega se haga de forma digital. De esta manera, el alumno se puede ayudar de Excel para añadir una gráfica que muestre la evolución del rendimiento en el tiempo hasta que las temperaturas se estabilizan y se entrega posteriormente al profesor de la asignatura vía Factic.

Minuto	Diferencia de temperaturas	Rendimiento
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

*Añada tantas filas como haga falta

3. Elabore una gráfica de evolución del rendimiento en el tiempo a partir de las tablas anteriores y comente los resultados obtenidos.

Montaje 1:

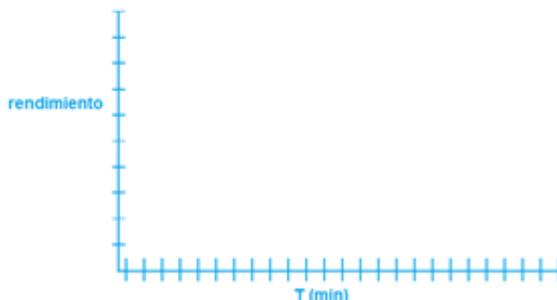
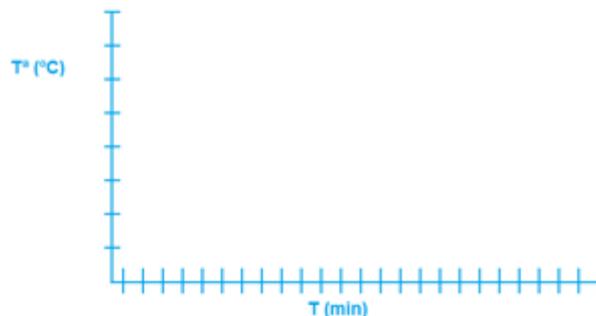


Figura 4-3 Parte añadida al entregable

Los nuevos formatos del guión y entregable de la práctica del presente trabajo figuran en el Anexo II: Guión y entregable de prácticas.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusión

En primer lugar, se abordó satisfactoriamente el análisis de las prácticas de laboratorio de la asignatura y su estudio para comprender la forma de intervenir en ellas implantando un sistema de registro automático de datos y en tiempo real.

Una vez realizado esto, se desempeña con éxito el estudio las necesidades a cubrir por la plataforma. Se analizaron estas necesidades y se realizó un proceso de búsqueda de todos los elementos para cubrir todas ellas obteniendo como resultado una lista de los materiales que habría que adquirir y unir en la creación del prototipo a desarrollar. Como conclusión de esta parte del trabajo es reseñable el bajo coste de todos los componentes en general y la flexibilidad que presenta Arduino al trabajar con tantos elementos diferente índole y unirlos de la forma que el usuario quiera.

Con los resultados obtenidos mostrados en el Capítulo 4, se considera realizado el diseño de la plataforma de medida de datos en tiempo real que contempla todas las necesidades que se pueden presentar en el desarrollo de la práctica de laboratorio quedando este dispositivo íntegramente implantado en el montaje de la misma pudiendo afirmar que se han cumplido con creces los objetivos del trabajo.

De forma complementaria a la implementación del sistema de adquisición de datos, se ha realizado un rediseño en el guión de prácticas de la asignatura donde se añade la utilización de la plataforma creada.

El Arduino no ha presentado ningún fallo en la puesta a prueba del prototipo pudiendo consolidarse dentro del mundo de los autómatas como un dispositivo fiable y puntero.

Tras realizar pruebas de calibrado de los sensores de medición de temperatura se confirma que el error no va más allá de aquel especificado en las características técnicas del sensor, proporcionando también por su parte fiabilidad al proyecto.

En contrapartida se puede señalar que la limitada memoria de la placa Arduino UNO ha sido un elemento en contra durante la programación de la placa limitando la elaboración del código finalmente obtenido no dejando incluir en el proyecto algunos detalles algo más ambiciosos como por ejemplo la elaboración de una tabla en el archivo de datos almacenados para combinarlos con mayor facilidad a la hora de trabajar con ellos.

5.2 Líneas futuras

La facilidad que ofrece Arduino para combinar diferentes sistemas de medida puede impulsar el desarrollo de nuevas ideas para incluir en la plataforma diseñada. Como consecuencia el presente trabajo puede ser usado de base para futuros proyectos.

Un ejemplo de ello podría ser la adaptación de la plataforma de registro de datos a otras prácticas de la asignatura, viendo que elementos es necesario añadir para su implantación en estas.

Además, la plataforma creada se puede emplear como un elemento de medida y control en calderas, calentadores o refrigeradores para la obtención de datos en el cálculo de su eficiencia energética.

6 BIBLIOGRAFÍA

- 1] «Inceleris,» [En línea]. Available: <http://www.inceleris.com.mx/es/home/18-camara-termografica-u5855a.html>. [Último acceso: 6 febrero 2018].
- 2] «PHYWE,» [En línea]. Available: <http://www.phywe-systeme.com/>. [Último acceso: 14 enero 2018].
- 3] «National Instruments,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>. [Último acceso: 5 marzo 2018].
- 4] «RAE,» [En línea]. Available: <http://www.rae.es/>. [Último acceso: 2 febrero 2018].
- 5] «Arduino,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Último acceso: 14 enero 2018].
- 6] P. Lozano, «DIWO,» [En línea]. Available: <http://diwo.bq.com/>. [Último acceso: 22 Febrero 2018].
- 7] I. Maxim Integrated Products, "DS18B20 sensor," 2015. [Online]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>. [Accessed 15 enero 2018].
- 8] L. Betancourt, «Blogger,» 25 5 2007. [En línea]. Available: <http://lbetanc7230.blogspot.com.es/2007/05/aplicacin-de-un-detector-de-efecto-hall.html>. [Último acceso: 20 febrero 2018].
- 9] «Espruino,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.espruino.com/DS18B20>. [Último acceso: 20 enero 2018].
- 10] Arduino, «Arduino Playground,» [En línea]. Available: <http://playground.arduino.cc/Code/LCDi2c>. [Último acceso: 22 enero 2018].
- 11] «EPA,» [En línea]. Available: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/scaner-i2c-bus>. [Último acceso: 14 febrero 2018].
- 12] L. LLamas, «Luis LLamas,» [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/>. [Último

12] acceso: 15 febrero 2018].

13] | «Fritzing,» [En línea]. Available: <http://fritzing.org/home/>. [Último acceso: 25 febrero 2018].

14] | «Real Academia de Ingeniería,» [En línea]. Available: <http://diccionario.raing.es/>. [Último acceso: 1 febrero 2018].

15] | «Arduino: Tecnología para todos,» [En línea]. Available: <https://arduinodhtics.weebly.com/historia.html>. [Último acceso: 25 enero 2018].

16] | M. Banzi, Getting Started with Arduino, Sebastopol: O'Reilly, 2011.

17] | «Guía docente de Termodinámica y Transmisión de Calor,» 2017/2018.

18] | P. Rivas, «Instalaciones y eficiencia energética,» 2018. [En línea]. Available: <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/paneles-solares-termicos-cual-elegimos/>. [Último acceso: 26 enero 2018].

ANEXO I: DIAGRAMA DE CONEXIÓN

El siguiente esquema muestra un circuito análogo al usado en el prototipo con todas las conexiones realizadas entre sus elementos.

Para su elaboración me he ayudado del programa de código abierto Fritzing para elaboración y simulación de circuitos con Arduino y disponible para su descarga desde su página web [13].

Leyenda circuito eléctrico:

1. Arduino UNO
2. Sensores DS18B20
3. Caudalímetro
4. Pantalla LCD 20x4
5. Protocolo I2C
6. Shield Tarjeta SD
7. Pulsador
8. R1: 4,7 k Ω
9. R2: 10 k Ω

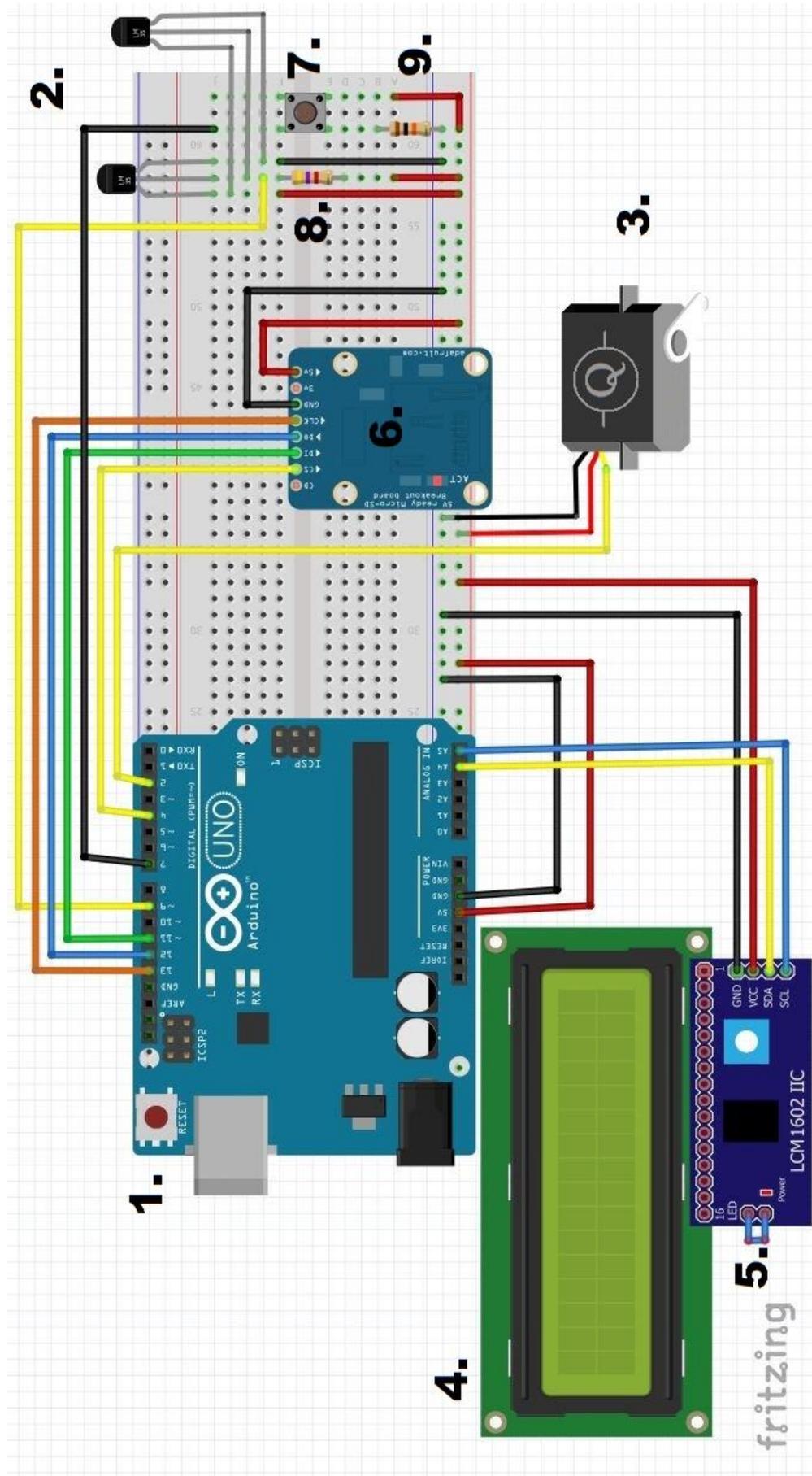


Figura 0-1 Diagrama de conexión

ANEXO II: GUIÓN Y ENTREGABLE DE PRÁCTICAS

Guion Práctica 4: Colector solar

Principio de funcionamiento

El colector solar se ilumina con una lámpara halógena de intensidad conocida. El calor absorbido por el colector puede ser calculado a partir del flujo másico y de la diferencia entre las temperaturas de entrada y salida del colector, en el momento en que dicha diferencia permanece constante. Estas medidas serán realizadas para varias configuraciones y temperaturas de funcionamiento.

Fundamentación teórica

El rendimiento de un colector puede ser calculado utilizando la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{P_u}{q_i \cdot A}$$

En las condiciones de funcionamiento propuestas en el diseño experimental podemos asumir que:

$$q_i = 1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \text{ y } A = 0,12 \text{ m}^2$$

La potencia útil puede ser calculada con esta expresión función de la temperatura de entrada y salida del colector:

$$P_u = c \cdot \dot{m} \cdot (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}})$$

Donde c es el calor específico del agua.

Diseño experimental

El montaje propuesto consiste en un colector solar iluminado por una lámpara halógena situada a 70 cm y centrada vertical y horizontalmente respecto de este.

En el circuito se plantea un flujo másico de 100 g / min que será regulado en la bomba y controlado y registrado por el caudalímetro conectado al Arduino.

Se calienta el depósito de agua hasta aproximadamente 60 °C y se enciende la lámpara esperando a que la diferencia de temperaturas obtenidas por las sondas conectadas al Arduino entre la entrada y la salida del colector se estabilice. Para su control, esta diferencia de temperatura será mostrada en la pantalla.

Dicha diferencia de temperaturas será la utilizada para el cálculo del rendimiento del colector. Para ello obtendremos los datos de la tarjeta SD, donde se han ido registrando desde el comienzo del ejercicio y se puede calcular el rendimiento instantáneo y el final y elaborar una curva de la evolución del mismo.

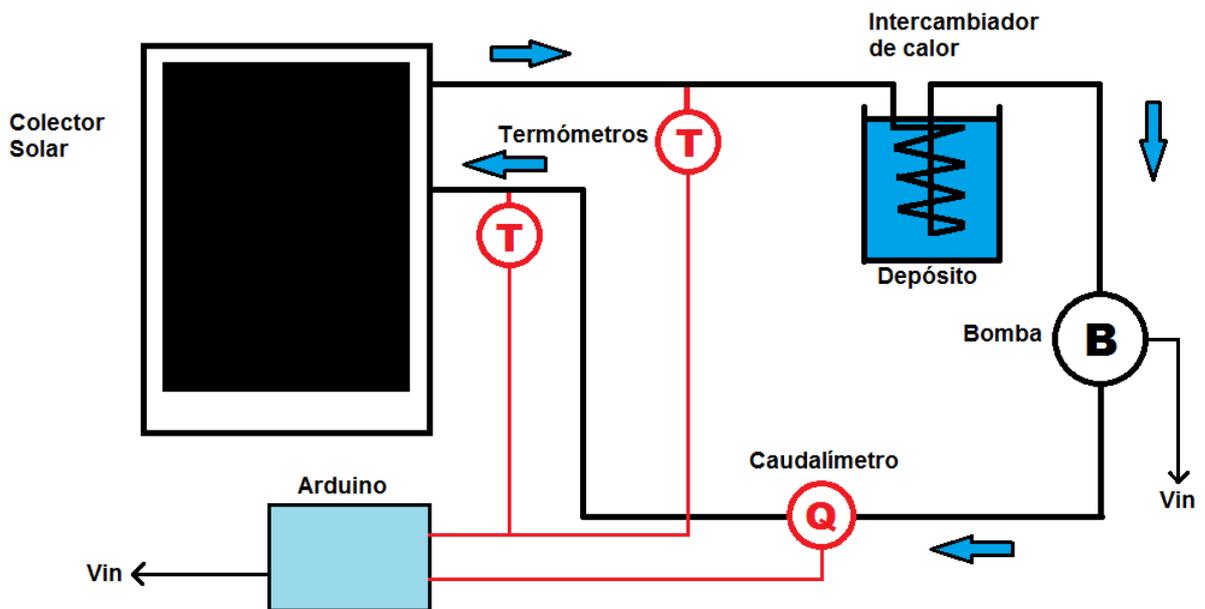
Después retiraremos el cristal y, utilizando el secador de pelo con la función de aire frío, proyectaremos aire sobre la superficie del colector esperando a que, nuevamente, la diferencia de temperaturas se estabilice.

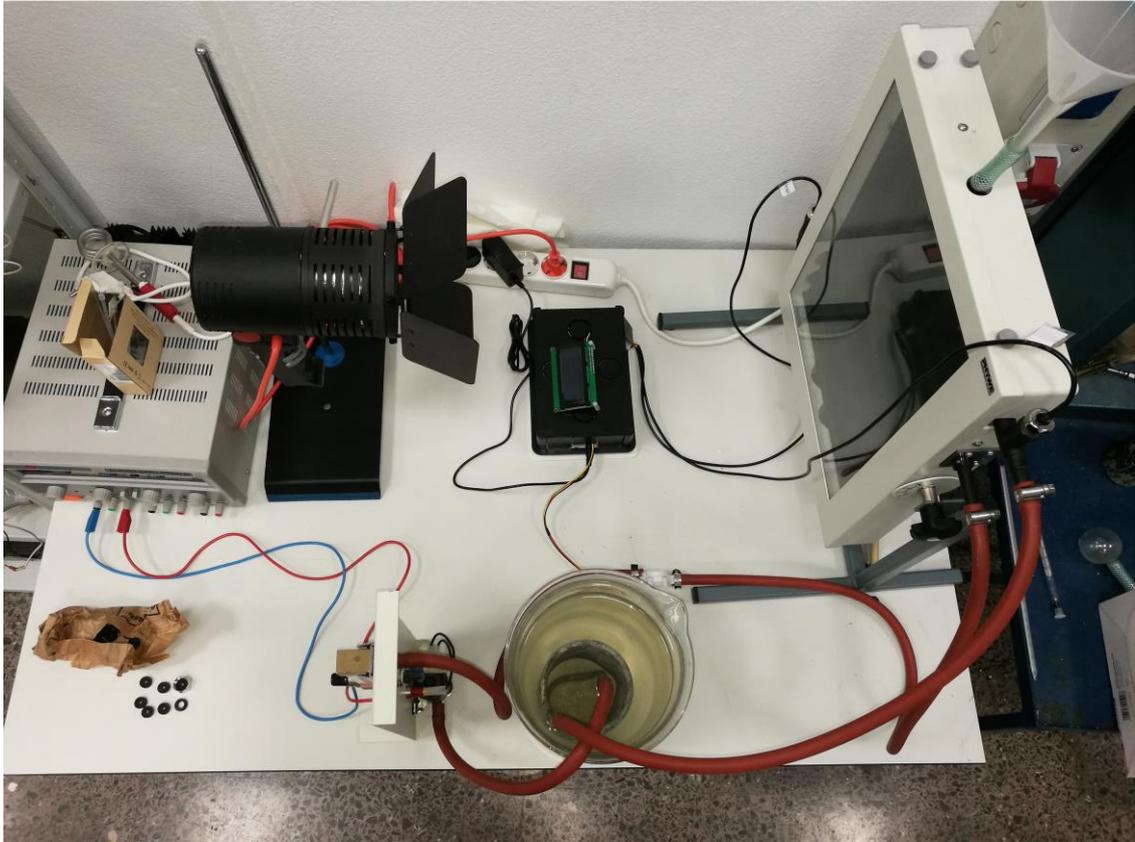
Se proponen los siguientes casos prácticos:

Montaje	Vidrio delantero	Lámpara halógena	Aire frío	Temperatura arranque
1	SI	SI	NO	50 °C
2	NO	SI	SI	50 °C

Aproximadamente debería dedicarse como máximo 20 minutos a cada montaje.

Esquema de montaje





Fin de la práctica y entregable

Una vez realizados los montajes de la práctica se calcula el rendimiento de los colectores en cada uno de estos casos. A continuación se contestan a las preguntas del entregable y se da por finalizada la práctica.

Guion Práctica 4: Colector solar

Entregable grupo

Por favor, rellene los siguientes datos en MAYUSCULAS.

APELLIDOS	NOMBRE	NIF	GRUPO

1. Calculo del rendimiento del colector.

Montaje	Diferencia de temperaturas finales	Rendimiento
1		
2		

2. Cree una tabla con los valores obtenidos de las mediciones en intervalos de un minuto con cada uno de los montajes.

Montaje 1:

Minuto	Diferencia de temperaturas	Rendimiento
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

*Añada tantas filas como haga falta

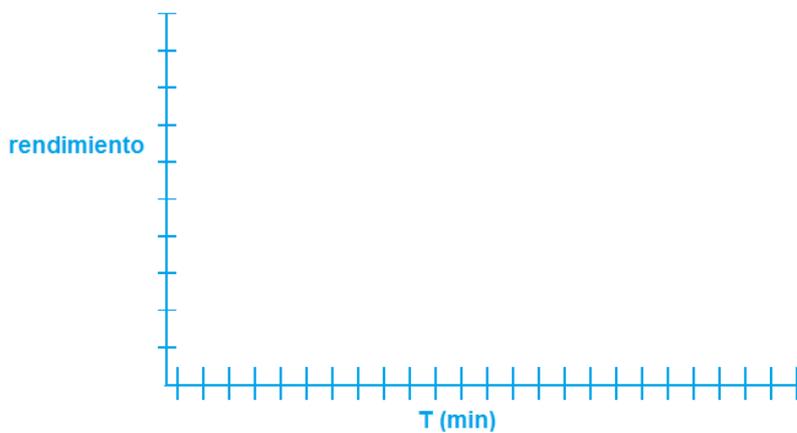
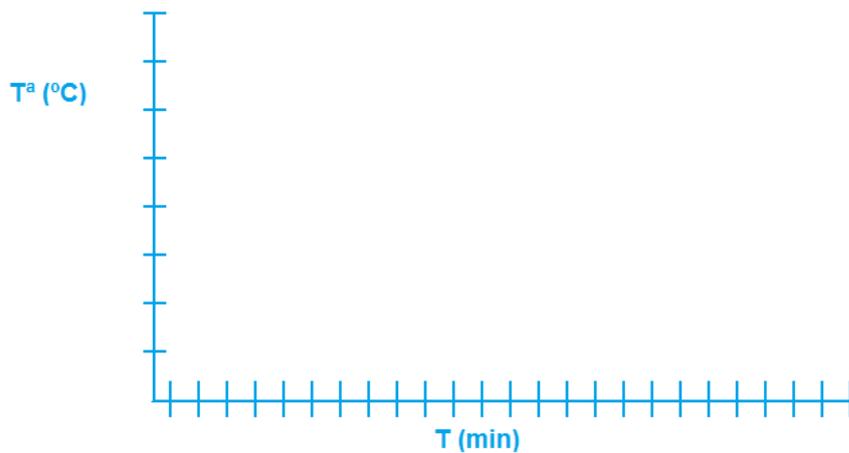
Montaje 2:

Minuto	Diferencia de temperaturas	Rendimiento
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

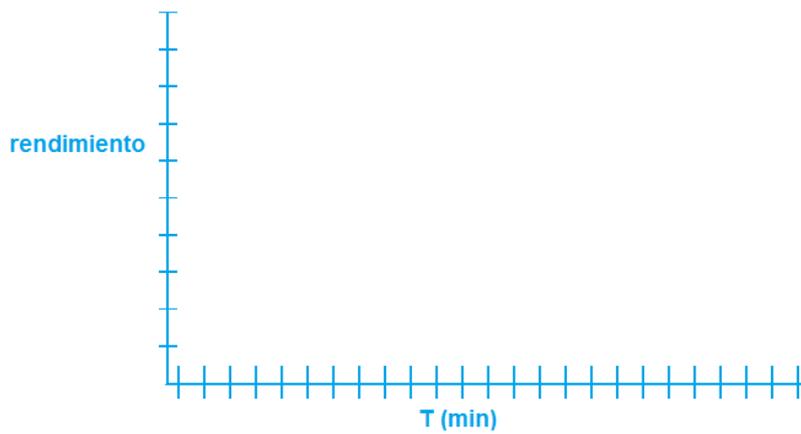
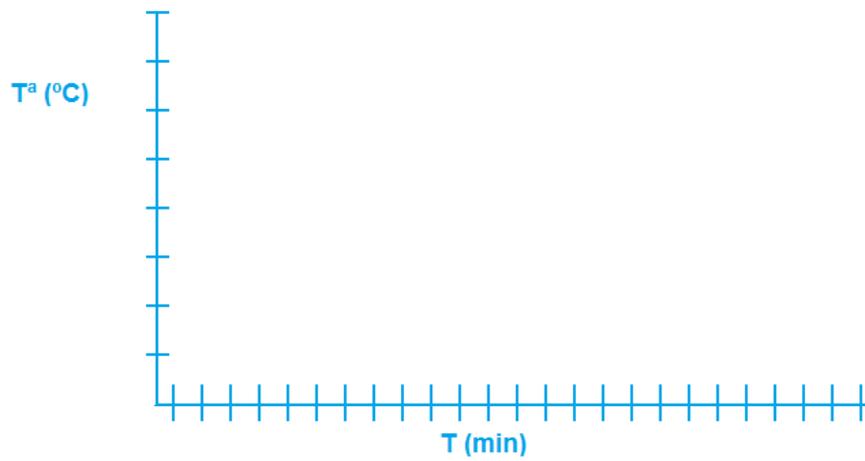
*Añada tantas filas como haga falta

3. **Elabore una gráfica de evolución del rendimiento en el tiempo a partir de las tablas anteriores y comente los resultados obtenidos.**

Montaje 1:



Montaje 2:



Resultados:

4. ¿Qué factores han influido en la pérdida de rendimiento del colector? ¿Qué funciones cumple el cristal?

5. ¿Cómo cree que se comportará el aislamiento de cristal en el caso de que la temperatura ambiente sea menor, igual o superior a la temperatura del interior del colector? ¿Mejorará o empeorará el rendimiento del colector?

6. ¿Cómo afectará al rendimiento del colector la suciedad acumulada sobre el cristal aislante? ¿Por qué?

7. Es importante que el colector esté orientado perpendicularmente a la dirección del rayo, ¿por qué? ¿Cómo afectaría una inclinación distinta a la radiación recibida?

8. ¿Por qué se utiliza un circuito aislado para el agua que circula por el colector? ¿Se podría utilizar el mismo agua que deseamos calentar?

9. ¿Por qué cree que ha sido elegido el color negro para el colector?