



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica
Superior d'Enginyeria
Informàtica

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica
Universitat Politècnica de València

Control de una incubadora mediante Arduino y Android

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Informática

Autor: Sergio Bru Vidigal

Tutor: Floreal Acebrón Linuesa

2018/2019

Resumen

En este proyecto se va a construir una incubadora automática desde cero, con múltiples sensores y dispositivos conectados a través de Arduino y controlados por una aplicación Android de forma remota.

La monitorización se llevará a cabo instalando sensores de humedad y temperatura. Los actuadores estarán formados por un ventilador, una resistencia para producir calor, una electroválvula, la cual se encargará de abrir o cerrar el paso de agua para controlar la humedad, y un servomotor que se encargará de la rotación de los huevos a intervalos concretos de tiempo. Todos estos sensores estarán controlados por Arduino, una vez se hayan establecido los parámetros correctos de temperatura, humedad, etc. Y basándose en la información entregada por los sensores se activarán la electroválvula o la resistencia.

Con la ayuda de una aplicación Android podremos consultar y manejar, a través de una conexión remota configurada por Wifi, los diferentes datos que nos proporcionan los diferentes sensores, y también en caso de que sea necesario accionar cada uno de ellos de forma individual para poder establecer los parámetros que creamos oportunos en ese momento.

Palabras clave: Arduino, Wifi, Android, automática, sensores, actuadores, conexión remota.



Resum

En aquest projecte anem a construir una incubadora automàtica des de zero, amb múltiples sensors i dispositius connectats a través d'Arduino i controlat per una aplicació d'Android de forma remota.

La monitorització es realitzarà mitjançant la instal·lació de sensors d'humitat i temperatura. Els actuadors consistiran en un ventilador, una resistència per produir calor, una electrovàlvula, que serà l'encarregada d'obrir o tancar el pas de l'aigua per controlar la humitat, i un servomotor que s'encarregarà de la rotació dels ous mitjançant intervals específics de temps. Tots aquests sensors seran controlats per Arduino, una vegada s'han establert els paràmetres de temperatura, humitat, etc. I sobre la base de la informació proporcionada pels sensors, la electrovàlvula o la resistència s'activarà.

Amb l'ajuda d'una aplicació Android podrem consultar i gestionar, a través d'una connexió remota configurada per Wifi, les diferents dades proporcionades pels diferents sensors, i també en cas de que siga necessari accionar cada un d'ells de manera individual per a poder fixar els paràmetres que pensem que són apropiats en eixe moment.

Paraules clau: Arduino, Wifi, Android, automàtic, sensors, actuadors, connexió remota.

Abstract

In this project it is going to build an automatic incubator from the beginning, with multiples sensors and devices connected through Arduino and controlled by an Android application remotely.

Monitoring will be carried out by installing humidity and temperature sensors. The actuators shall consist of a fan, a resistance to produce heat, a solenoid valve, which will be responsible for opening or closing the water passage to control humidity, and a servomotor that will take care of the rotation of the eggs at specific intervals of time. All these sensors will be controlled by Arduino, once the correct temperature and humidity parameters have been set. And based on the information provided by the sensors, the solenoid valve or resistance will be activated.

With the help of an Android application, we will be able to consult and manage, through a remote connection configured by Wifi, the different data provided by the different sensors, and also in case it is necessary to operate each of them in a way to be able to set the parameters that we think are appropriate at that time.

Keywords: Arduino, Wifi, Android, automatic, sensors, actuators, remote connection.

Tabla de contenidos

1. Introducción	15
2. Estado del arte	17
3. Necesidades del proyecto.....	21
3.1. Necesidades de los huevos	21
4. Diseño de la incubadora	23
4.1. Dispositivos utilizados.....	24
4.1.1. Dispositivo controlador	24
4.1.1.1. ¿PLC o microcontrolador?	25
4.1.1.2. Placa microcontroladora	26
4.1.2. Sensor de humedad y temperatura.....	28
4.1.3. Servomotor.....	30
4.1.4. Relés	31
4.1.5. Pantalla LCD	34
4.1.6. Módulo Wifi.....	35
5. Estructura de la incubadora	37
5.1. Materiales utilizados	37
5.1.2. Caja contenedora	37
5.1.3. Aislante.....	38
5.2. Diseño	39
5.2.1. Puerta	41
5.2.1.1. Ventana y marco.....	41
5.2.1.2. Bandeja de volteo	43
5.2.1.3. Agujeros de ventilación	44
5.2.1.4. Cierre.....	45
6. Sistemas para la automatización	47
6.1. Control de temperatura.....	47
6.1.1. Control ON/OFF con histéresis vs PID.....	48
6.1.2. Resistencia.....	50
6.1.3. Ventilador	51
6.2. Control de humedad	52



6.2.1.	La electroválvula.....	52
6.3.	Control de volteo	54
6.3.1.	Sistema de volteo	54
7.	Disposición de los sensores y actuadores	57
7.1.	Zona interior	58
7.2.	Zona exterior	61
8.	Software	65
8.1.	Librerías utilizadas.....	66
8.2.	Programa implementado en Arduino	67
8.2.1.	Control del PID	68
8.2.2.	Control de la humedad	70
8.2.3.	Control del LCD	72
8.2.4.	Control del volteo.....	73
8.2.5.	Conexión Wifi	75
9.	Aplicación Android	77
9.1.	Blynk.....	77
9.2.	Funciones.....	79
9.2.1.	Monitorización del sensor en la aplicación.....	80
9.2.2.	Control de dispositivos.....	81
9.2.3.	Notificaciones	82
10.	Pruebas.....	84
11.	Presupuesto.....	87
12.	Conclusión	89
13.	Referencias.....	91
Anexo	93

Tabla de figuras

Figura 1. Incubación en carga múltiple	17
Figura 2. Incubación con carga embrio-respuesta	18
Figura 3. Pérdida de peso no lineal.....	18
Figura 4. Microcontrolador UNO	27
Figura 5. Sensor DHT22	29
Figura 6. Balanceo de los huevos	30
Figura 7. Servo SG90	30
Figura 8. Relé SSR 10DA	32
Figura 9. Relé electromecánico	33
Figura 10. Pantalla LCD.....	34
Figura 11. ESP8266, módulo Wifi ESP-01S.....	35
Figura 12. Aislante térmico	38
Figura 13. Plano caja contenedora	40
Figura 14. Diseño ventana	42
Figura 15. Bandeja de volteo	43
Figura 16. Agujeros ventilación.....	44
Figura 17. Cierre de caja	45
Figura 18. Resistencia térmica.....	50
Figura 19. Colocación ventilador.....	51
Figura 20. Electroválvula	52
Figura 21. Instalación electroválvula	53
Figura 22. Dispositivos parte superior.....	58
Figura 23. Flujo de aire en el interior de la caja.....	59
Figura 24. Instalación servomotor	60
Figura 25. Resultado final del interior.....	61
Figura 26. Caja LCD	61
Figura 27. Caja de registro	62
Figura 28. Conexiones caja de registro.....	63
Figura 29. Conexión Wifi establecida.....	76
Figura 30. Funcionamiento Blynk.....	77
Figura 31. Configuración App: LCD	80
Figura 32. Vista LCD en la App.....	81
Figura 33. Configuración botón electroválvula	82

Figura 34. Notificación en la App	83
Figura 35. Aviso en barra de notificaciones	83
Figura 36. Posicionamiento de los huevos en la incubadora.....	84
Figura 37. Eclosión de los huevos	85

Tabla de gráficas

Gráfica 1. Funcionamiento PID	70
-------------------------------------	----

Tabla de tablas

Tabla 1. Presupuesto.....	87
---------------------------	----

1.Introducción

La finalidad de este proyecto es la construcción de una incubadora de huevos de ave principalmente, aunque también apta para cualquier tipo de huevos gracias a la configuración establecida. Esta deberá ser eficaz a la par que económica con el fin de que el usuario aficionado pueda construirla sin suponerle ningún gran coste.

El motivo de este proyecto ha sido debido al interés personal por las aves, en concreto las especies acuáticas que habitan en los humedales, como puede ser el de la Albufera de Valencia. Y a esto se le suma el pequeño abanico de posibilidades de incubadoras que existe en el mercado y el alto coste de estas.

Por lo general, la mayoría de las aves necesitan una temperatura constante de unos 38°C, esto puede variar algunos grados en función de la especie, además de una humedad relativa que oscila entre el 50-55%. Incluso algunas especies necesitan una temperatura muy concreta, por lo que variaciones de temperatura pueden llegar a matar al embrión.

Por lo que se va a diseñar una incubadora que cumpla con las necesidades que buscamos a un precio reducido.

Para que la incubadora sea lo más funcional posible se construirá con el fin de que su control sea automático, con la instalación de múltiples sensores y dispositivos conectados a través de Arduino. La monitorización llevada a cabo por los sensores de humedad y temperatura conectados al microcontrolador recogerá los datos y según los parámetros establecidos en el programa de Arduino ejecutará órdenes sobre los diferentes actuadores, como puede ser la resistencia para producir calor y la electroválvula para aumentar la humedad. A esto se le sumará el control de volteo de los huevos efectuado por el servomotor en períodos de tiempo concretos y la circulación del aire producida por el ventilador.

Por último, para poder controlar y saber en todo momento el estado de nuestra incubadora se utilizará una aplicación Android, la cual se conectará de forma remota a nuestro Arduino por Wifi. Con esta herramienta podremos consultar los diferentes datos recopilados por los diferentes sensores, y en caso de que sea necesario poder accionar de forma individual los actuadores para poder fijar las condiciones que sean oportunas en ese instante.



2.Estado del arte

En los últimos años, la automatización de los procesos a través del uso de microcontroladores está cobrando un papel cada vez más importante en la industria e incluso en la vida diaria. La adopción de este sistema por parte de las empresas viene dada por el incremento en los niveles de productividad que esto supone.

Esta automatización de los procesos tiene como objetivo principal la disminución de costes, aunque a pesar de que el coste inicial puede resultar elevado suele amortizarse con rapidez. Esta reducción del coste viene dada por la sustitución de procesos manuales por la instalación de maquinaria automatizada, lo que provoca una disminución tanto de los costes de producción como de energía.

Llevando este concepto de la automatización al campo de la avicultura, puesto que el proyecto trata de la construcción de una incubadora totalmente automatizada, se puede afirmar según la empresa *Engormix*, la cual tiene una área de especialización en avicultura, que la gestión avícola ha avanzado mucho en los últimos 30-40 años. Puesto que en la actualidad el uso de la incubadora para la cría de pollos se ha extendido de forma casi generalizada en todas las granjas. El uso de estas máquina de incubación e incluso la inversión que se haga en las mismas ha ganado mucha importancia, ya que la manera de incubar no solo determina el número de crías obtenidas, sino también la calidad de estas. (Verhelst, 2015)

Hasta hace poco tiempo, el método de incubación utilizado por la industria avícola era el de *carga múltiple*, donde no se tenía en cuenta los distintos orígenes de los huevos ni en qué etapa de desarrollo se encontraba el embrión. Las condiciones de temperatura, ventilación y humedad se limitaban a ser lineales.



Figura 1. Incubación en carga múltiple

A raíz de los no muy buenos resultados obtenidos por el método mencionado anteriormente, se desarrolló el principio de *embrio-respuesta*, en el que los parámetros de control pasan a tener una conexión directa con el desarrollo del huevo.

- Temperatura → Temperatura de la cáscara del huevo
- Humedad → Pérdida de peso del huevo
- Ventilación → Nivel de CO2 dentro de la incubadora

El sistema basado en el control de la temperatura en la cáscara del huevo mediante la medición constante de la emisión de calor de este permite que los sistemas de control ajusten en todo momento la temperatura ideal para el desarrollo del embrión.

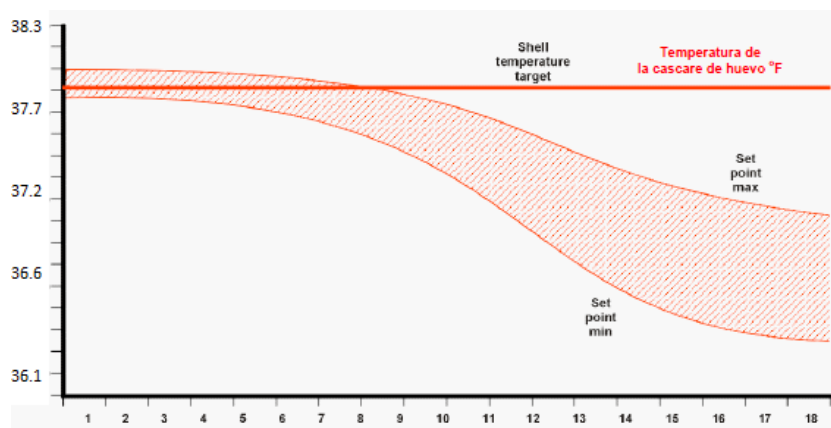


Figura 2. Incubación con carga embrio-respuesta

En cuanto al control de la humedad, se determina que al inicio del ciclo de incubación la humedad de un huevo es del 100%. La pérdida de agua que se produce durante el proceso permite al embrión crear una cámara interna de aire que utilizará para la respiración pulmonar.



Figura 3. Pérdida de peso no lineal

Esta reducción de la cantidad de agua produce una pérdida de peso, y esta pérdida de peso se puede controlar a través de las condiciones de humedad que se den en el interior de la incubadora. Es por ello por lo que a parte del control de la humedad también se puede llevar un control del peso de los huevos, para poder obtener un análisis más perfecto de la pérdida de peso, y con ello ajustar la humedad para fabricar las condiciones ideales para el desarrollo del huevo.

Por último, el control de la ventilación basándose en los niveles de CO₂, se lleva a cabo mediante la medición continua de los niveles de CO₂ en el interior de la máquina producido por los huevos. A través de la medición en vivo de los niveles de CO₂, los sistemas de control ajustan en todo momento la tasa de renovación del aire, con el objetivo de proporcionar las condiciones ideales para el desarrollo del embrión.

3. Necesidades del proyecto

Teniendo en cuenta las necesidades que se requieren para llevar a cabo la elaboración del proyecto con el fin de igualar o superar las prestaciones que nos proporcionan las incubadoras del mercado actual a un coste menor, se deben tener en cuenta las siguientes características.

- Espacio suficiente para incubar un mínimo de 12 huevos.
- El control automático de la temperatura, que se deberá establecer en 38°C.
- La rotación de los huevos se llevará a cabo cada 6 horas.
- La humedad tendrá se podrá controlar entre los parámetros establecidos según las condiciones de los huevos.
- La incubadora presentará una ventana con el fin de visualizar el interior de esta.
- La temperatura y humedad interna serán visibles en todo momento gracias a una pantalla establecida en la propia incubadora y desde una aplicación instalada en un smartphone.

3.1. Necesidades de los huevos

En este apartado se van a especificar qué condiciones deben tener los huevos de los patos, para que el período de incubación de estos en la incubadora que se está diseñando sea el más adecuado posible con el fin de que nazcan los patitos.

Empezaremos con el tiempo de incubación, los huevos deberán permanecer dentro de la incubadora alrededor de 28 días, que es el tiempo utilizado por el animal, en este caso el pato, para que se realice correctamente el proceso de incubación.

La temperatura, el factor de mayor importancia, ya que pequeñas variaciones en sus valores pueden ser fatales para muchos embriones. El interior de la incubadora deberá proporcionar una temperatura constante de 38°C.

En cuanto a la humedad, se fijará un valor entre el 50 y el 55%, excepto a partir del día 25 de incubación que se deberá incrementar la humedad entre el 70% y el 75%, con el fin de facilitar la rotura de la cáscara.

Además, se tendrá en cuenta el factor ventilación, necesario para asegurar la buena calidad del aire que se generará en el interior de la incubadora y para así también ayudar a la homogeneización de la temperatura.

Por último, el volteo, factor importante que se llevará a cabo varias veces al día para así evitar que el embrión se quede pegado a la pared del huevo.

4. Diseño de la incubadora

Como se ha indicado anteriormente, el objetivo principal de este proyecto es el diseño y creación de una incubadora para huevos de pato. Para ello, se deberá cumplir las necesidades de los huevos explicadas en el apartado anterior.

Para llevar a cabo el diseño, podremos diferenciar tres etapas, que serán también las partes principales del proyecto.

1. Caja recipiente
2. Hardware
3. Software

Caja recipiente

La primera etapa, será la construcción de la caja de la incubadora. Se llevará a cabo la explicación de que materiales se han utilizado y como estará diseñada, tanto la estructura exterior como la interior.

También tendremos en cuenta la ventana, situada en la misma puerta, para poder controlar en todo momento el interior.

Hardware

En este apartado se detallarán los dispositivos utilizados, tanto de sensores como de actuadores, que serán los encargados de realizar el control automático del sistema.

Se indicará cual ha sido el motivo para la elección de estos, comparando con otras opciones que se han tenido en cuenta pero que al final se han descartado, ya que no proporcionaban las características que se precisaban.

Software

Por último, en este apartado se presentará y analizará el programa encargado de controlar la automatización completa de la incubadora.

Se explicará cual es el funcionamiento del programa y cómo afectará cada bloque de código al control final.

4.1. Dispositivos utilizados

Seguidamente se van a presentar los dispositivos principales que se han utilizado para realizar el proyecto.

4.1.1. Dispositivo controlador

Para poder llevar a cabo la lectura de los sensores y poder establecer los parámetros de temperatura y humedad que se requiere, con el fin de que los actuadores se ejecuten en función de los datos recopilados por los sensores, es necesario que se utilice un dispositivo que tenga las características necesarias para poder soportar el proceso de la automatización.

Por ello se va a realizar una comparación entre dos de las opciones de controlador más utilizadas en los proyectos referentes con la automatización, en el que se analizarán las necesidades a alcanzar y las limitaciones que pudiesen surgir al utilizar uno u otro.

4.1.1.1. ¿PLC o microcontrolador?

Una evolución de forma elevada de la tecnología en el ámbito de la industria aparte de implicar la implantación de nuevos procesos también ha conseguido el desarrollo de nuevos computadores para controlarlos.

La elección de un computador o de otro viene dada principalmente por las necesidades que requiere el proceso de la automatización.

Empezando por el uso del PLC, se debe tener en cuenta que, a pesar de ser un computador muy potente y el cual puede automatizar cualquier proceso no se debe utilizar para la solución de todo tipo de problema, ya que este elemento presenta un coste muy alto para un proceso en el que se utilizasen pocos recursos.

Siguiendo con las ventajas que presenta el uso de un PLC, se encuentra la posibilidad de automatizar un proceso al completo, programando cada una de las tareas. También destaca la facilidad a la hora de programar ya que incluye su propio software, lo cual el aprendizaje es muy rápido debido a su lenguaje de programación específico. La instalación es sencilla, y para manejar múltiples equipos de manera simultánea basta con agregar módulos al mismo PLC.

Acabando con la principal desventaja a la hora de elegir el uso del PLC se encuentra la necesidad de requerir un personal calificado para el manejo, lo que supone que a parte del coste del PLC también haya que tener en cuenta el coste del programador, ya que se trata de software específico.

Por otro lado, se encuentra la opción del uso de un microcontrolador. La aparición de este dispositivo vino dada por el alto coste que presentaba el uso de un PLC, tanto por la compra de este como por la contratación de un diseñador de software para programar este controlador. Es por ello por lo que se investigó para buscar nuevas tecnologías con características iguales a la de los PLC, pero más económicas.



Estos dispositivos son muy fáciles de grabar, ya que a través de un ordenador es suficiente. Una de las principales ventajas de los microcontroladores es la existencia de varios programas que facilitan la programación, ya que cualquier usuario con conocimientos de programación puede desarrollar un programa que controle este dispositivo. Existe una gran variedad de microcontroladores, lo que proporciona una gran ventaja, ya que se puede escoger entre diferentes opciones, como número de entradas y salidas, memoria, etc., según las necesidades del proyecto que se vaya a desarrollar.

Una de las desventajas de un microcontrolador es la necesidad de poseer un conocimiento amplio a cerca del tipo de programación. (DOKUMEN, 2016)

Para concluir con este análisis, se puede deducir que los PLC están diseñados con un fin de uso más industrial y procesos muy grandes, debido a su robustez y su resistencia a condiciones como vibraciones y ruido entre otras, así también como su alto coste económico. Mientras que el uso de los microcontroladores está diseñado para reducir el coste y el consumo de energía del proceso desarrollado.

Es por eso por lo que la elección para controlar la automatización del proyecto se va a llevar a cabo haciendo uso de un microcontrolador.

4.1.1.2. Placa microcontroladora

Después del análisis realizado en el punto anterior se puede aclarar que la elección ha sido el uso de un microcontrolador, en concreto Arduino.

Se trata de una plataforma de código abierto¹, diseñada con el objetivo de facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios a los creadores y desarrolladores.

En sus inicios, Arduino fue un proyecto enfocado a estudiantes, ya que resultaba económicamente asequible en comparación con los microcontroladores que ya existían. Además, su forma de programarlo era más simple para personas sin altos conocimientos técnicos.

¹ Código abierto: Modelo de desarrollo de software basado en la colaboración abierta.

Actualmente esta plataforma, debido a que sea libre, presenta una gran variedad de librerías para poder controlar cualquier tipo de sensores. Existen muchos sensores ya optimizados para funcionar con Arduino, lo que simplifica bastante la parte del software.

Por todas estas características se ha utilizado este microcontrolador para llevar a cabo el control automatizado de la incubadora.

Arduino presenta una amplia gama de modelos, que principalmente se diferencian en el tamaño, conectividad y cantidad de entradas/salidas tanto analógicas como digitales.

Por ello, siguiendo los requisitos que necesitaremos para el proyecto haremos uso del modelo UNO, ya que el número de actuadores y sensores no es elevado.

A continuación, se explicará cuáles son las características de este modelo utilizado para el proyecto.

Microcontrolador UNO



Figura 4. Microcontrolador UNO

Este dispositivo es una placa basada en el microcontrolador ATmega328P. Esta placa está compuesta por 14 pines de entrada/salida digital, de los cuales 6 pueden utilizarse como salidas PWN². Además, presenta 6 entradas analógicas, conexión USB, conector de alimentación y un botón de reinicio. Precisa de toda la electrónica necesaria para que el microcontrolador opere, solo es necesario proporcionarle energía por el puerto USB o con un transformador AC-DC. (INFOOTEC, 2018)

² PWN: *Pulse-width modulation*. Método utilizado para convertir salidas digitales en señales similares a las analógicas mediante lecturas de pulsos.

La alimentación de la placa se puede realizar de diferentes formas, como bien se ha indicado anteriormente, por el puerto USB conectándolo al ordenador o suministrando 5V. Por otro lado, también se puede utilizar el jack de alimentación, la cual cosa se recomienda que si se usa este método la diferencia de tensión deberá estar entre 7 y 12V. (ARDUINO, 2019)

También cabe destacar los puertos que se utilizan para dar tensión a los circuitos de la propia placa.

- Pin **GND**, se trata de la toma tierra, 0V
- **Vin**, es la entrada de alimentación de la placa Arduino.
- Pin 5V y 3.3V, suministra una tensión de 5V y 3.3V respectivamente.

La conexión de los sensores y los diferentes dispositivos actuadores resulta fácil, gracias a las diferentes entradas que nos proporciona la placa.

Por último, el traspaso del programa al microcontrolador es tan sencillo como conectarlo a través del puerto USB al ordenador, y mediante un entorno de desarrollo el programa queda grabado en la placa.

4.1.2. Sensor de humedad y temperatura

La monitorización de la humedad y de la temperatura se llevará a cabo a través de un mismo sensor unificado, el cual permite realizar la medición simultánea de temperatura y humedad del interior de la incubadora.

Se trata de un componente muy importante dentro del proyecto, este sensor nos informará de los valores actuales de humedad y temperatura en todo momento, con el fin de que la placa microcontroladora procese los datos para que estos se encuentren siempre dentro del objetivo.

En cuanto a la humedad se refiere, como bien se dijo anteriormente en el apartado 3.1. *Necesidades de los huevos*, debe establecerse en un rango del 50% o 55% y del 70% o 85% los últimos tres días, para que se lleve a cabo una correcta incubación de los huevos. Este dato recogido por el sensor es el que deberá informar a la placa para que ponga en marcha los actuadores correctos, en este caso la electroválvula, para que la humedad sea la óptima en todo momento.

El módulo trabaja con una alimentación de 3.3V a 5V, ya que su diseño está orientado principalmente para ser utilizado con Arduino. (OMNIBLUG, 2018)

4.1.3. Servomotor

Para la rotación de los huevos se va a hacer uso de un servomotor, que es un dispositivo de características similares a un motor de corriente continua pero que es capaz de posicionarse en cualquier posición dentro de su rango de trabajo y mantenerse estable en dicha posición.

Este componente se encargará de que los embriones no se queden pegados a las paredes del huevo. Se accionará varias veces al día, realizando un movimiento de tipo balanceo, donde la base en la que están depositados los huevos se inclinará junto con los mismos.

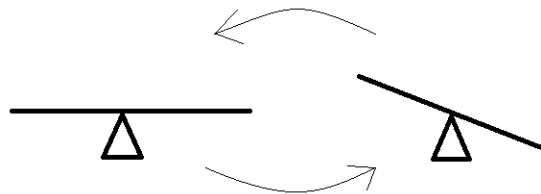


Figura 6. Balanceo de los huevos

SG90

El modelo de servo que se ha seleccionado para realizar esta tarea es el SG90, se trata de un servo de diminutas dimensiones, acorde con las características que se necesitan para llevar a cabo esta acción sin ningún problema.



Figura 7. Servo SG90

Este servo presenta un torque³ a 4.8V, con una torsión mecánica de 1.2Kg/cm, una velocidad de giro de 60° cada 0.12 segundos.

Este elemento puede trabajar a una temperatura de entre 0°C y 55°C, factor importante ya que las condiciones en las que va a funcionar serán de una temperatura de 37.7°C.

La alimentación requerida por el servo será de 5V, adecuada al uso principal en placas Arduino.

4.1.4. Relés

Los relés son interruptores que funcionan con señales de poca energía eléctrica, mediante el cual se puede controlar una potencia mucho mayor con un consumo en potencia muy reducido.

En este proyecto se ha decidido utilizar dos tipos de relés según las necesidades que requiere cada uno de los actuadores que formarán parte del control automático de la incubadora.

A continuación, se detallarán las características de cada uno de los relés y se explicará la razón por la que se ha utilizado uno u otro para cada dispositivo.

³ Torque: fuerza aplicada en una palanca que hace rotar alguna pieza.

Relé sólido SSR 10DA

En el caso de la resistencia se va a hacer uso de un relé de estado sólido. Se trata de un dispositivo semiconductor que utiliza un circuito electrónico para abrir y cerrar los contactos de salida.



Figura 8. Relé SSR 10DA

Se ha seleccionado este tipo de relé para llevar a cabo la tarea de control de la resistencia, ya que el uso de este va a ser continuo. La resistencia se encenderá o apagará con mucha frecuencia, ya que será la encargada de establecer la temperatura objetivo en todo momento, por este motivo se ha seleccionado un relé de estado sólido, ya que no dispone de contactos físicos ni rebote, como puede ser un relé electromecánico, por tanto, presenta una mayor durabilidad.

Relé electromecánico

Se trata de un dispositivo controlado por un circuito eléctrico por medio de una bobina y un electroimán acciona uno o varios contactos. El relé electromagnético se utilizará con la electroválvula y el ventilador. Ya que serán actuadores que se accionarán con menos frecuencia que la resistencia, por tanto, no hay tanto riesgo de ruptura.



Figura 9. Relé electromecánico

En concreto se ha elegido un módulo de dos canales con relés de 5V, organizado en una misma placa que se conecta a Arduino. Tiene capacidad de controlar dispositivos eléctricos de hasta 10A y 220V en corriente alterna y 10A y 30V en corriente continua.

Como se puede ver en la figura 9, tiene tres patas, dos de ellas dedicadas a la alimentación del relé y la tercera corresponde a la que detecta la señal dada por el Arduino.

En el otro lado se pueden distinguir seis conectores, agrupados de tres en tres, cada uno haciendo referencia a su propio relé. El conector central corresponde a la entrada de la corriente que se tiene que controlar (entrada **COM**), otro que sirve para trabajar con el conector en estado normalmente abierto (**NA**), es decir que solo se cierra el circuito de corriente alterna cuando pasa la corriente continua, y el tercero para trabajar con el relé en estado normalmente cerrado (**NC**), lo que quiere decir, que el circuito de corriente alterna está cerrado salvo cuando pasa corriente continua por el relé.

4.1.5. Pantalla LCD

Para ver la información de temperatura, humedad y días que llevan los huevos incubando se va a hacer uso de una pantalla LCD de 16x2, es decir, de 2 filas para escribir y 16 caracteres por fila, espacio suficiente para mostrar los valores que se pretenden.



Figura 10. Pantalla LCD

Como se puede ver en la figura 10, la pantalla por la parte de abajo tiene integrado un módulo, se trata del módulo I2C, que se encarga de realizar la traducción de la comunicación entre la pantalla y el controlador, así pues, se consigue una reducción en los puertos necesarios para controlarla, como se puede ver en la figura se quedan cuatro patas, dos de ellas para la alimentación y las otras dos analógicas que son SDA (para transmitir los datos) y SCL (reloj asíncrono que indica cuando leer los datos).

También el módulo instalado contiene un tornillo situado en la caja de color azul, que controla el contraste de la pantalla. La integración de este bus ha facilitado la conexión y montaje del dispositivo para poder controlarlo de forma más sencilla con el microcontrolador.

4.1.6. Módulo Wifi

La incorporación de este elemento en el proyecto viene dada por la falta de conectividad Wifi del microcontrolador. El modelo de placa que se va a utilizar no dispone de módulo Wifi, con lo que no se podría realizar la conexión entre la placa y el smartphone que albergará la aplicación para consultar los valores de humedad y temperatura y controlar los diferentes actuadores.

La no inclusión de esta característica en el microcontrolador no supone un problema, ya que existen diferentes módulos para poder proporcionarla.

ESP8266, módulo ESP-01S

Este módulo es un microprocesador con Wifi que integra los protocolos TCP/IP, que nos proporcionará el acceso con cualquier microcontrolador a una red y con un bajo consumo.



Figura 11. ESP8266, módulo Wifi ESP-01S

Como se puede ver en la figura 11, este módulo está compuesto por dos placas, una de color negra y otra de color azul.

Por un lado, la placa de color negro es el módulo ESP-01S, se trata de la placa que tiene la funcionalidad del Wifi. Esta dispone de una memoria flash de 1MB, tiene la antena ya incorporada, la alimentación es de 3 a 3.6V, la conexión Wifi es de 802.11 b/g/n, compatible con las redes de 2.4GH.

Esta placa incluye un microcontrolador más potente que el que tiene Arduino, de hecho, se podría programar y utilizarlo de forma independiente. Pero lo que se pretende es que le proporcione conectividad Wifi a Arduino.

Por otro lado, para poder llevar a cabo la conexión del módulo Wifi con Arduino se va a utilizar la placa de color azul, se trata de un adaptador que realiza la función de conversor, ya que el ESP8266 funciona a 3.3V y no tiene entradas que toleren 5V, por tanto, se utiliza este adaptador para poder comunicarse con el microcontrolador Arduino que funciona a 5V. (PLAYBYTE, 2018)

5. Estructura de la incubadora

A continuación, se va a detallar una de las partes más importantes del proyecto. La construcción de la caja de la incubadora será la etapa en la que se va a aislar de forma total el interior del exterior, con el fin de que dentro de la incubadora se establezcan unos valores de humedad y temperatura que no estén influenciados por lo que pueda estar pasando en el exterior. Por tanto, cuanto más estanca sea menos uso habrá que hacer del sistema de aclimatación y a la vez se producirá un menor consumo de energía.

Para llevar a cabo el diseño de la caja podremos diferenciar en varias etapas que se explicarán a continuación, como puede ser el material que se ha utilizado, las medidas de la caja, el aislante, etc.

5.1. Materiales utilizados

Los materiales que se van a utilizar para construir la caja de la incubadora los podremos diferenciar entre el que se va a usar para la estructura de la misma y el que se va a emplear para el aislamiento interno de la caja.

5.1.2. Caja contenedora

En primer lugar, se ha seleccionado que tipo de material se va a utilizar para la construcción de esta, es una parte importante ya que será el encargado de ayudar a mantener la temperatura y la humedad interna. Para ello se va a hacer uso de madera, un material muy bueno ya que es capaz de mantener bien las condiciones de humedad y temperatura. En concreto se ha elegido el contrachapado, una madera prensada con finas chapas que forman un tablero de 16mm de grosor. Existen de menor grosor, pero no es recomendable por la eficiencia de temperatura y humedad.

Una vez se ha seleccionado el material con el que se va a construir la caja, se procede a determinar las medidas de esta. Las medidas se han establecido basándose en las necesidades y en los requisitos que con anterioridad se han indicado en el apartado 3. *Necesidades del diseño.*

El tamaño será suficientemente grande como para albergar todos los sensores y actuadores de forma que no puedan molestar la incubación de los huevos. Por ello se construirá con unas medidas interiores de 315mm de largo, 250mm de ancho y 200mm de alto.

Con estas dimensiones proporcionaremos un volumen de aire de 15.75 l y un espacio suficiente como para poder albergar una puesta completa de una pata, que son alrededor de unos 12 huevos.

5.1.3. Aislante

A pesar de que la madera utilizada para la estructura de la caja ya serviría como un buen aislante, se ha decidido con el fin de proporcionar un mayor aislamiento a esta, y para que las condiciones de temperatura y humedad del interior sean lo más precisas posibles, realizar un recubrimiento de todas las caras interiores de las piezas que forman la caja con aislante térmico de aluminio.

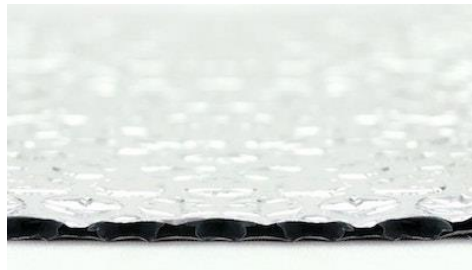


Figura 12. Aislante térmico

Este aislante se caracteriza por ser muy ligero, flexible y de espesor muy reducido, lo cual hace que sea más fácil de instalar. A pesar de tener un espesor mínimo presenta un coeficiente de conductividad muy bajo y de una gran resistencia térmica. Esto lleva a que el calor no se transfiera del interior al exterior, ni del exterior al interior, cosa que provoca un notable ahorro energético al mantener la temperatura sin alteraciones.

Además, proporciona una gran resistencia a la humedad y al agua, y a todos los problemas que esto puede conllevar, como hongos o bacterias que pueden ser perjudiciales para los huevos. (ARELUX, s.f.)

Para ello, y teniendo en cuenta varias opciones como puede ser el uso de láminas de aluminio, se ha pensado en el parasol de un coche, ya que el coste de este es más barato que el que puede llegar a tener un rollo de aislante térmico de aluminio, y las características son muy similares ya que se tratan de los mismos componentes.

Para proceder con el aislamiento, se han medido las dimensiones del interior de la caja, y se han marcado sobre el aluminio, recortándolo de tal forma que los laterales y la base sea toda una misma pieza en forma de U, dejando unas pequeñas solapas para después poder fijar la parte trasera. Con ello obtendremos un recubrimiento interior perfecto, sellando por completo las juntas y esquinas. La tapa superior se ha recortado de tal forma que será igual de grande que la misma, para así poder apoyar el propio aluminio sobre las maderas, ejerciendo presión para tener un mejor sellado.

Para la fijación del aislante a las paredes de la caja se han utilizado grapas y clavos de pequeño tamaño, pero suficiente como para poder fijar el aluminio de forma tensa y que no se pueda mover.

5.2. Diseño

Ya seleccionado el material y las medidas que deberá presentar el interior de la caja se procede a realizar el diseño de esta. Teniendo en cuenta ahora los detalles de los materiales como puede ser el grosor de las maderas y el del aislante.

Esto influenciará a la hora de cortar y unir las diferentes partes para construir la caja. Por eso mismo, reuniendo los datos obtenidos anteriormente, a la hora de marcar y cortar las maderas se tendrá en cuenta el grosor de estas, en este caso de 16mm, las medidas de la caja serán las siguientes:

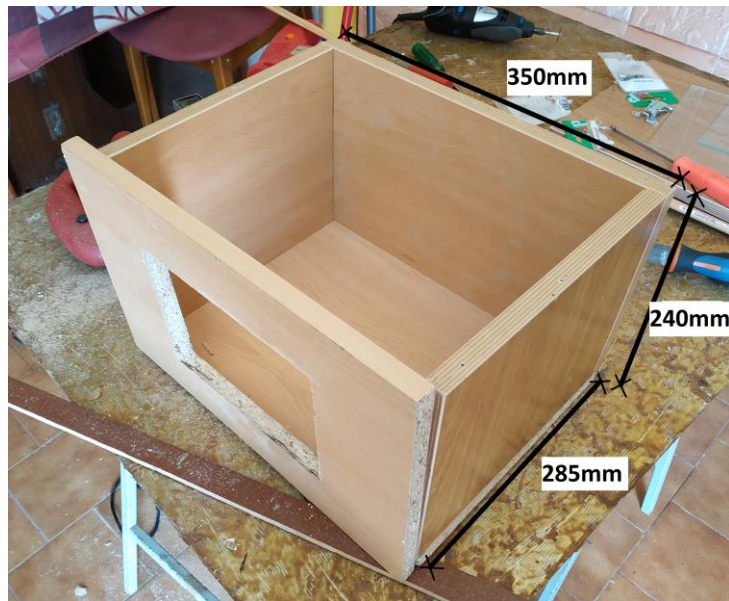


Figura 13. Plano caja contenedora

Como se puede observar en la figura 13, la caja presenta una forma más bien horizontal, compuesta por 6 piezas.

2 frontales de 350mm x 240mm. Una de ellas la puerta.

2 laterales de 285mm x 240mm

2 bases de 350mm x 285mm

Para realizar los cortes de las diferentes maderas se ha utilizado una sierra circular, para así poder cortar de la forma más precisa posible las piezas. Y luego haciendo uso de una lima de carpintería para rematar las posibles imperfecciones del corte.

El siguiente paso ha sido unir todas las piezas, para ello se han utilizado tornillos avellanados de latón, situándolos en los extremos para así poder fijar de forma consistente las diferentes tablas.

5.2.1. Puerta

Una vez ya realizado el montaje de la caja, se ha dado paso al diseño de la puerta por la que accederemos al interior de la caja con el fin de poder modificar algún elemento, o en su lugar, depositar y retirar los huevos. Hay que tener en cuenta que se le va a añadir una ventana para poder observar el interior sin la necesidad de tener que abrir la puerta cada vez.

Los materiales utilizados para construir la puerta han sido uno de los dos frontales ya indicados anteriormente, y para la ventana dos cristales, obtenidos de dos marcos de fotos.

La puerta es la parte frontal de la caja, esta va a ir sujeta a la base de la caja utilizando dos bisagras, situadas en la parte inferior, donde se ha atornillado una de las partes a la base y la otra parte de la bisagra al frontal/puerta.

En este apartado se detallarán las modificaciones que se han realizado sobre uno de los dos frontales cortados anteriormente. Se tendrá en cuenta la ventana para poder ver el interior, el aislamiento de esta tabla en concreto y por último el tipo de cierre que se ha usado.

5.2.1.1. Ventana y marco

La ventana se ha situado en la parte frontal de la caja, es decir, en la tabla que hace la función de puerta, para así poder visualizar el interior con mayor facilidad y comodidad.

Se han utilizado dos marcos de cristal de 3mm de espesor para tapar el hueco de la ventana, con unas medidas de 180mm x 130mm, y con un marco de madera de 20mm como remate. Por ello, y para que los cristales encajen sin dificultad, se ha realizado un pequeño surco con tal de que estos puedan apoyar sobre la madera.

La idea de construirla con dos ventanas es porque así se sitúa uno en la parte de exterior y otro en la parte interior de la caja, teniendo así un mayor aislamiento.

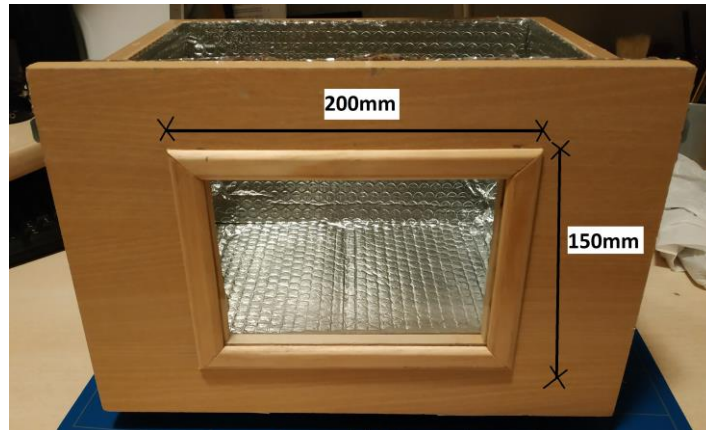


Figura 14. Diseño ventana

Como se puede ver en la figura 14 situada arriba, la ventana está situada en el centro del frontal, con el fin de tener una mejor visión del interior.

En primer lugar, se ha realizado el agujero utilizando una sierra de calar, y a continuación con una lima de marquetería se han perfeccionado los bordes y marcado un pequeño escalón en la madera para que el cristal pueda apoyar sobre este.

Seguidamente se procede a aislar la puerta con el mismo aluminio que se ha utilizado para el resto de la caja. Se cogen las medidas del frontal, pero ahora teniendo en cuenta el agujero de la ventana. El aluminio se coloca de tal forma que queda sujeto con las grapas y clavos.

El siguiente paso ha sido cortar las tiras de madera para el marco, dándole forma con una caja de corte a inglete, como se puede observar en la figura 14.

Una vez ya cortado el orificio para la ventana y colocado el aluminio, se sitúa el cristal de la cara interior en su correspondiente surco, pegándolo a la madera con silicona para que quede totalmente estanco, y encima tapando la unión del cristal con la madera y sujetando el aluminio se sitúa el marco, para así dar mayor sujeción sobre el mismo y realizar un mayor aislamiento.

En segundo lugar, se coloca el cristal exterior, apoyándolo sobre el surco que se ha cortado anteriormente y pegándolo con silicona, encima del mismo se coloca el marco de madera previamente ya cortado e ingleteado, con el fin de dar un mejor acabado visual y un mayor aislamiento.

5.2.1.2. Bandeja de volteo

Una vez ya está finalizada la estructura de la caja con el aislante y cada tapa fijada en su correspondiente lugar, se procederá a realizar la instalación de la bandeja donde se depositarán los huevos para posteriormente poder realizar el volteo de estos.

Para la bandeja se ha utilizado una huevera con tapa, de plástico, que a la vez de ser ligera también puede llegar a soportar las condiciones del interior de la caja.

A pesar de ser un recipiente preparado para el transporte de los huevos, se han realizado unos agujeros en la parte inferior que ayudarán a la colocación y fijación del huevo para que encaje mejor y tenga una mayor sujeción. A esto se le añade que la perforación del plástico también servirá para que el calor incida por la parte inferior del huevo, ya que si estuviese totalmente cubierto habría un parte del huevo a la que no le llegaría el mismo calor que a las otras.



Figura 15. Bandeja de volteo

Para la construcción de la bandeja se utilizará tanto la parte inferior como la superior de la huevera, haciendo así una base con una capacidad de hasta 24 huevos. Estas dos bandejas que se unificarán en una irán colocadas sobre un eje hueco que será 1cm más corto que la longitud de la caja. Este eje tendrá a un extremo una varilla de acero fija al eje la cual se introducirá por un agujero en el lateral derecho donde habrá un rodamiento con tal de que la rotación funcione lo más fina posible. Al otro extremo se hará un agujero con el fin de colocar un tornillo, este se podrá apretar para que quede dentro del eje y aflojar para poder quitar la bandeja.

5.2.1.3. Agujeros de ventilación

Una de las partes que se ha tenido en cuenta a la hora de construir la incubadora ha sido la renovación del aire. La caja no debe ser totalmente hermética, ya que en el interior se va a llevar a cabo el proceso de la reproducción. Por tanto, en el interior debe haber una renovación del aire.

Para ello se han realizado una serie de agujeros en la parte superior del lateral izquierdo, acompañado de una trampilla de madera con la que se podrá regular la entrada y salida del aire girándola según convenga. La trampilla en posición neutral dejará abiertos todos los agujeros para que haya una mayor salida del aire, mientras que si se va girando estos se irán cerrando para dejar pasar menos el aire.



Figura 16. Agujeros ventilación

Esta trampilla de forma circular presenta los agujeros de tal forma que los de la parte superior son más grandes que los de la parte inferior, ya que el aire caliente tiende a posicionarse en la parte superior y el aire frío se queda en la parte inferior, haciendo así que por los agujeros más grandes salga el aire caliente y por los de menor tamaño puedan entrar el aire fresco del exterior.

5.2.1.4. Cierre

Una vez finalizada la construcción y montaje del frontal que se encargará de realizar la función de puerta, hay que diseñar el método y sistema que se va a utilizar para el cierre de la incubadora.

Por una parte, la apertura y el cierre de la caja se va a realizar de forma vertical. Como se dijo anteriormente, las bisagras situadas en los dos extremos de la base que se encargan de sujetar la puerta a la tabla inferior permitirán realizar el movimiento indicado, quedándose la puerta abierta totalmente en línea recta a la de la base.

Por otra parte, el sistema de cierre que se ha seleccionado ha sido el de la instalación de dos cierres especiales para cajas, situados en los dos laterales de la caja. Los cuales ejercerán la suficiente presión para que la puerta quede bien sujeta al resto de la caja y no sea posible la caída de esta.



Figura 17. Cierre de caja

Este sistema como se puede ver en la figura 17 está formado por dos partes, el propio cierre y la parte fija, a la que se enganchará el cierre. La parte móvil, encargada de realizar la fuerza para cerrar la caja se ha situado en el lateral de la caja, lo más cercano a la puerta, mientras que la parte fija se ha colocado en el lateral de la puerta, ajustándolo a la distancia adecuada para que haga la suficiente fuerza como para cerrar la puerta y se realice un correcto sellado.

Se ha seleccionado este método de cierre porque proporciona un sellado bastante fuerte, ya que la puerta al tener el aluminio lo suficientemente ajustado a la tabla hará de junta entre estas dos tablas, haciendo así un perfecto sellado para que el aislamiento sea el mejor posible.

6. Sistemas para la automatización

En este apartado se van a detallar los sistemas de climatización, como los diferentes actuadores que lo controlan.

“Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía, en este caso eléctrica, en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre el elemento externo. El actuador recibe la orden del Arduino y en función a ella genera la orden para activar el elemento final de control.”
(APRENDIENDO ARDUINO, 2016)

Se detallará el funcionamiento de los actuadores de temperatura y humedad, como así también el sistema de volteo de los huevos. Además, también se explicará como estará conectada la incubadora con la aplicación que se desarrollará e instalará en un smartphone para poder controlar en todo momento los valores proporcionados por los sensores.

6.1. Control de temperatura

Uno de los factores más importantes para tener en cuenta en el diseño y construcción de la incubadora es el sistema de control de temperatura, ya que es el encargado de mantener el interior de la caja a una temperatura de unos 38°C.

Se ha tratado de buscar un sistema con un consumo bajo, que no produzca mucho ruido y que sea económicamente asequible ya que no va a tratarse de una incubadora de grandes tamaños y se usará principalmente en un domicilio particular.

Para poder llevar a cabo este sistema se han debido tener en cuenta dos factores importantes, el método que se va a utilizar para realizar el control de temperatura y el componente que se va a usar que este pueda controlar la temperatura.

6.1.1. Control ON/OFF con histéresis vs PID

Una de las partes más importantes de la elaboración de este proyecto, ha sido seleccionar la estrategia que se ha utilizado para realizar el control automático de la temperatura de la incubadora. A continuación, se detallarán las dos opciones que se han valorado, describiendo así las ventajas y desventajas de cada una, y por último se indicará cual ha sido la opción escogida y porqué.

Por un lado, se valoró el control ON/OFF con histéresis, esta estrategia consiste en aplicar toda la acción posible cuando el valor obtenido por el sensor es menor que el valor objetivo, y no realizar ninguna acción cuando es mayor.

Esta opción, llevado al proyecto de la incubadora sería un sistema fácil de implementar, ya que si el valor objetivo es de 38°C consistiría en accionar la resistencia al 100% si la temperatura baja de 38°C, y parar la resistencia si esta sube. Lo que provoca muchos encendidos del actuador, en este caso la resistencia, que podrá conllevar a una rotura de esta.

La solución que se aplica para que no haya tantos encendidos del actuador, es definir un rango de valores aceptables o histéresis. Es decir, dar más tiempo al sistema definiendo un rango de temperatura más amplio para así reducir el número de encendidos. Pero esto también tiene cosas negativas, ya que siguiendo este método no se llega al valor objetivo, sino que se acepta alcanzar un valor de la temperatura aproximado. (LUIS LLAMAS, 2019)

Por ello, cuanto más amplio sea el rango, por ejemplo, se enciende a 36°C y se apaga a 38°C, habrá menos encendidos de la resistencia, pero aumentará el rango de oscilación del sistema, provocando así un nivel muy bajo de temperatura que puede llegar a ocasionar el mal desarrollo del embrión.

Por otro lado, la opción que se ha seleccionado para llevar a cabo el control de la temperatura ha sido la del uso de un PID. Un sistema no tan sencillo de implantar como puede ser el control ON/OFF por histéresis pero que proporciona un mejor resultado.

El algoritmo PID está formado por la suma de tres componentes, Proporcional, Integral y Derivado. Cada componente es independiente de las demás, pero un correcto ajuste de los tres parámetros será lo que lleve a una respuesta buena del PID. (LUIS LLAMAS, 2019)

- El **componente proporcional**, encargado de aplicar más acción al actuador cuanto más lejos se está del valor objetivo. Si la temperatura de la incubadora marca 34°C debe darle más acción a la resistencia que si está a 37°C.
- El **componente integral**, reacciona a la memoria del error pasado, es decir, si la temperatura de la incubadora al cabo de unos minutos se mantiene en 37°C, 1°C por debajo del objetivo, el componente integral es el que se encarga de accionar con más potencia la resistencia, ya que al llevar unos cuantos minutos en 37°C no parece que la temperatura vaya a cambiar, permitiendo al controlador eliminar por completo el error a largo plazo.
- El **componente derivado**, se encarga de responder a la velocidad de cambio del error, es decir, no es lo mismo que la temperatura haya bajado 2°C de golpe, que irá subiendo la temperatura lentamente que si ha bajado 10°C que la temperatura deberá subir con mayor velocidad.

En conclusión, la elección del PID como sistema de control proporcionará al proyecto una mayor exactitud de la temperatura, ya que una vez calibrado mantendrá la temperatura en el valor objetivo fijado sin presentar ninguna oscilación, y a la vez logrará un mayor ahorro de energía en comparación con el sistema de control ON/OFF por histéresis.



6.1.2. Resistencia

Tras estudiar diferentes opciones para el sistema de control de temperatura de la incubadora, como puede ser el uso de bombillas o incluso un ventilador de aire caliente, se ha llegado a la conclusión que la mejor opción es la de utilizar una resistencia flexible de silicona.



Figura 18. Resistencia térmica

La opción de la resistencia de silicona proporciona una aplicación más precisa del calor. Debido al fino espesor, estas resistencias disponen de una baja capacidad térmica y por ello tienen una rápida respuesta ante el control de temperatura. Lo que se consigue con esto es que el sistema no requiera demasiado tiempo para alcanzar el equilibrio termodinámico, es decir, que las condiciones que le imponen sus alrededores sean incapaces de producirle espontáneamente algún cambio de estado.

La resistencia que se ha elegido para llevar a cabo el proyecto es hilo calefactor con un recubrimiento de silicona térmica, de 45w de potencia, flexible, precisa y resistente a la humedad.

Lo más importante a destacar de este componente es la potencia seleccionada, 45w, ya que basándose en las dimensiones de la caja construida es la que más se adecua a sus necesidades. Una resistencia de menor potencia hubiese supuesto que la incubadora no llegase a la temperatura que se requiere o que le costase mucho llegar y mantenerla, de la misma forma, una resistencia de mayor potencia hubiese podido proporcionar picos de temperatura que no serían convenientes para el correcto desarrollo del embrión.

La conexión de la resistencia consta de dos conexiones en cada extremo del hilo respectivamente, estas dos irán conectadas a una regleta en la parte superior del interior de la incubadora, dónde una de las conexiones irá conectada directamente al relé sólido y la otra irá conectada al enchufe de corriente. Del relé saldrá un cable positivo que irá conectado al pin número 4 del Arduino, que será el encargado de dar la señal de actuación, y el cable negativo que saldrá del relé irá conectado al negativo del Arduino, extendido en la placa base.

6.1.3. Ventilador

Por último, para acabar con el control de la temperatura del interior de la incubadora se ha instalado un ventilador, situado en la parte superior de la caja, justo en medio de la resistencia. Este, estará orientado de tal forma que empujará el aire hacia arriba para que no incida directamente contra los huevos.

El ventilador está conectado al Arduino a través de un relé mecánico, el cual accionará el dispositivo nada más ejecutar el programa, y estará en continuo funcionamiento durante todo el proceso de incubación.

La función que realiza este componente es la de homogenizar la temperatura en el interior de la caja, repartiendo así el aire del interior calentado por la resistencia para que todos los huevos tengan la misma temperatura por todos sus lados.

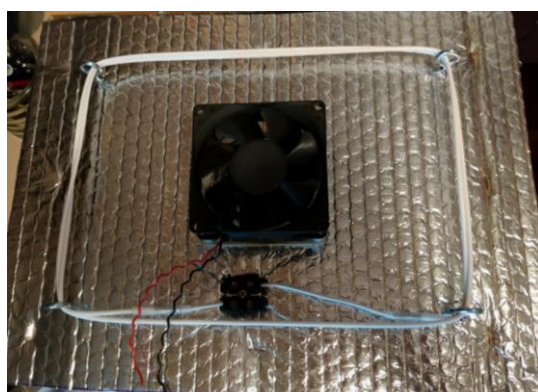


Figura 19. Colocación ventilador

Se trata de un ventilador cuya tensión está suministrada por el propio Arduino, por tanto, funcionará a 5V, generando así una potencia de 2W. Puede llegar a mover un caudal de aire de 2.52m³/min, caudal más que suficiente para el aire que se puede llegar a generar en el interior de la caja.

6.2. Control de humedad

Para el control de la humedad, se ha utilizado una electroválvula, que junto con la medición del sensor permitirá llevar a cabo el sistema de control.

Este actuador se pondrá en funcionamiento según las necesidades que presente en ese momento la incubadora. El accionamiento de este se realizará cuando la humedad relativa llegue a un nivel fijado como bajo, y este se parará al cabo de un período de tiempo establecido para que este parámetro vuelva a las condiciones óptimas.

6.2.1. La electroválvula

Después de valorar diferentes opciones como puede ser la de utilizar una bomba de agua de pequeñas dimensiones, y evaluar cada una de ellas para poder implementar el sistema de control de humedad se ha decidido utilizar una electroválvula.

Este dispositivo respecto al de la bomba de agua se ajusta mejor a las necesidades que se requieren. Una de las ventajas principales por la que se ha seleccionado es por el accionamiento silencioso que presenta, ya que la bomba en este caso es más ruidosa. Por otro lado, la electroválvula simplemente abre o cierra el paso del agua, de tal forma que si se utiliza un depósito esta simplemente circularía a través del tubo hacia la bandeja, mientras que la bomba se accionaría con demasiada presión, pudiendo así no ser tan precisa con la deposición del agua.



Figura 20. Electroválvula

Este elemento funcionará a una tensión de 12V, proporcionada por una fuente de alimentación externa. Las tomas de agua que presenta son de un diámetro exterior de 1/2" con acople roscado, lo que facilitará la conexión. Se trata de una válvula que puede funcionar con una presión de entre 0.02 a 0.8MPa, lo cual facilita el uso ya que se puede llegar a utilizar por gravedad desde un depósito.

La electroválvula tendrá la misión de proporcionar la cantidad de agua necesaria cuando la humedad objetivo esté por debajo del valor necesitado. Este elemento estará conectado a una toma de agua, con el fin de que sea totalmente autónomo.



Figura 21. Instalación electroválvula

NOTA: Para las pruebas realizadas durante el diseño del proyecto se ha utilizado un pequeño depósito para suministrar el agua, ya que facilitaba la manejabilidad de la caja.

El funcionamiento consiste en, la electroválvula controlada por un relé electromecánico el cual le proporcionará la señal de encendido o apagado, y una entrada de agua al dispositivo, se accionará una vez el sensor de humedad recoja el primer valor inferior al objetivo. La válvula estará abierta durante un período específico de tiempo para que, a través de la salida de esta, salga la cantidad de agua establecida a través de un conducto de plástico que llenará un recipiente situado en la parte inferior de la caja, con el objetivo de volver al nivel de agua que proporciona la humedad necesaria.

6.3. Control de volteo

En este apartado se van a explicar las diferentes opciones que se han tenido en cuenta a la hora de implementar el volteo de los huevos con el fin de que el embrión no se quede pegado a las paredes del huevo.

A continuación, se van a analizar los distintos sistemas que se han estudiado con sus respectivas ventajas y desventajas, así como la elección del que se ha utilizado e implantado finalmente.

Se ha evaluado la opción de hacer la instalación mediante un motor paso a paso, el cual no se adaptaba completamente a las necesidades, ya que a pesar de ser más económico e incluso más fácil a la hora de implementar presenta algunos inconvenientes cómo puede ser la capacidad que tiene para mover cierto peso, ya que si intenta acelerar una carga muy rápida donde el paso a paso no puede generar suficiente torque para mover al siguiente paso antes del siguiente pulso se producirá un paso saltado y una pérdida de posición.

Frente a la opción del motor se encuentra la del uso de un servomotor, que ha sido la elección que se ha llevado a cabo. Este dispositivo ofrece un mayor esfuerzo de torsión, lo que movería sin ningún tipo de problemas la carga de los huevos en la bandeja. Además, la precisión que puede ofrecer este elemento es muy elevada, ya que la posición se puede establecer mediante grados, cosa que facilita mucho el trabajo a la hora de indicar la posición final a la que debe llegar tras cada orden realizada por el Arduino.

6.3.1. Sistema de volteo

Para desarrollar este sistema se ha implementado un control mediante el servomotor SG90 detallado con anterioridad en el apartado 4.1.3. *Servomotor*. Este dispositivo se accionará cada 6 horas, inclinando la bandeja donde están depositados los huevos en dos sentidos. La inclinación se configurará en el programa indicando el ángulo de giro.

Al servomotor se le han configurado dos posiciones que debe cumplir según las órdenes configuradas en el programa. La primera, cuando inicia el programa, el dispositivo establecerá la bandeja en posición horizontal. La segunda, este la inclinará hacia el lado izquierdo del eje. La primera posición se irá alternando con la segunda durante todo el proceso de incubación, cada 6 horas, excepto en los tres últimos días, ya que en ese periodo de tiempo la rotación no se debe ejecutar.

La explicación del funcionamiento más concreto del programa de control de volteo se realizará más adelante en el apartado de Software, donde se detallará cada posición cuando será ejecutada y durante que período de tiempo estará en funcionamiento.

7. Disposición de los sensores y actuadores

El objetivo de este apartado es mostrar cómo se han distribuido los diferentes sensores y actuadores por la incubadora, explicando así porqué la ubicación que se ha elegido para los elementos es la más adecuada respecto a otras.

Se han podido diferenciar principalmente dos zonas de la caja en las que sean instalado los diferentes dispositivos. Pero también cabe destacar la ubicación de la pantalla y de la instalación eléctrica en el exterior de la caja.

En primer lugar, destaca la zona superior del interior de la caja, donde está situada la mayor parte de los dispositivos. Se pueden encontrar los elementos como el led de iluminación de la caja, el sensor de temperatura y humedad, el ventilador y la resistencia. Como se puede observar se trata de la zona encargada de monitorizar y controlar el sistema de temperatura y humedad.

En segundo lugar, se encuentra la zona trasera y lateral, ya que aquí van instalados los dispositivos como el servomotor, encargado de la rotación de los huevos y la electroválvula, la cual se actuará según indiquen los valores recogidos por el sensor de humedad.

A continuación, se detallará la instalación y configuración que se ha realizado diferenciando las dos zonas en las que se hayan los dispositivos.

- Zona interior
- Zona exterior

7.1. Zona interior

Se podrá diferenciar dentro de esta zona interior dos partes de la caja en las que irán ubicados distintos elementos.

Parte superior

Se ha decidido instalar principalmente los dispositivos relacionados con el control de temperatura en la parte superior de la caja, con el fin aprovechar el espacio de una manera más eficiente, pudiendo dejar en la parte inferior la bandeja con los huevos.

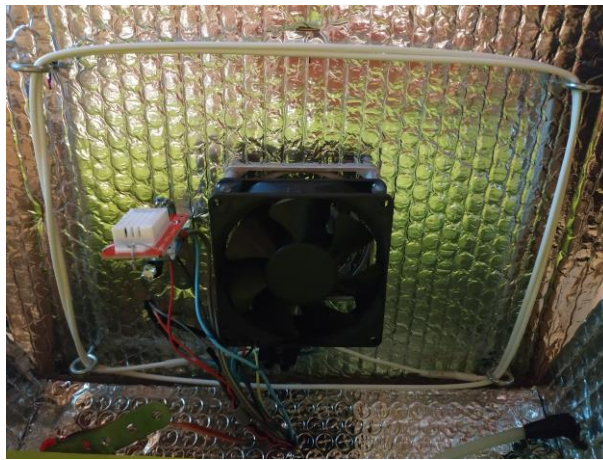


Figura 22. Dispositivos parte superior

Tomando como referencia visual la figura 22, para explicar la división de la superficie se encuentra que el primer dispositivo que se instaló fue la resistencia, esta de 1.5m de longitud se ha sujetado a la tabla mediante 4 cáncamos de aluminio, formando un rectángulo para que se quedase en la parte interior de la caja, al tratarse de una resistencia de una longitud mayor se aprovechó para distribuirla de forma que diese dos vueltas sobre los cáncamos, para así proporcionar con una mejor calidad la temperatura a los huevos, ya que estos irán situados en la zona inferior manteniendo una distancia suficiente para que puedan recibir el calor necesario sin que la radiación producida por esta llegue a perjudicarlos.

Siguiendo con el orden de instalación, se encuentra el ventilador, situado en el medio de la resistencia con tal de que se pueda realizar el reparto del aire caliente que se produce en el interior de la caja de la forma más equitativa. La tendencia del aire a caliente a subir al parte superior de la caja hace que se haya instalado este dispositivo en esta zona, así la función que realiza es la de dispersar el aire caliente depositado en zona superior y repartirlo por toda la incubadora, con el fin de que los huevos obtengan el mismo calor por todas las partes iguales.



Figura 23. Flujo de aire en el interior de la caja

Por otro lado, se encuentra el sensor de humedad y temperatura, una de las partes más importantes en cuanto a la disposición de los dispositivos. Este elemento será el encargado de captar y transmitir a la placa controladora las mediciones obtenidas. La instalación de dicho sensor se ha llevado a cabo teniendo en cuenta que la parte afectada por los factores de humedad y temperatura son los huevos. Por tanto, se ha situado este dispositivo a una distancia próxima a la bandeja donde se depositarán los huevos, con el fin de poder monitorizar con mayor exactitud las condiciones reales que presentan los huevos.

Para finalizar el apartado de instalación correspondiente a la zona superior de la incubadora, se ha implantado un led de alta potencia, para así poder tener iluminado el interior de la caja sin necesidad de tener que abrir la puerta y que se pierdan las condiciones de humedad y temperatura que se han alcanzado.

Parte trasera

Continuando con la fase de instalación, en este caso de los actuadores, se ha seleccionado la parte trasera del interior de la caja para ubicar el servomotor, el cual irá unido mediante una transmisión a la bandeja donde se depositan los huevos.



Figura 24. Instalación servomotor

Para ello, como se puede ver en la figura 24, lo que se ha realizado primero es el anclaje del dispositivo a la tabla, para ello se utilizó un cáncamos y una alcayata con el fin de que éste se quedara fijo e inmóvil, ya que se trata de un elemento que realizará bastante fuerza para poder llevar a cabo el volteo, y también lo que proporciona este anclaje es la opción de poder desmontarlo sin necesidad de perder mucho tiempo, ya que solo con girar la alcayata el servomotor se queda libre para poder ser desmontado en cualquier momento.

En segundo lugar, se ha confeccionado la transmisión con la que el servomotor se une a la bandeja para poder desarrollar el proceso de volteo. Por un lado, se tuvo que hacer una extensión del brazo principal que sale del eje, ya que así permitirá recorrer una mayor distancia con una rotación más corta de la palanca. Por otro lado, una vez ya se tiene el eje, hay que unirlo con la bandeja con el fin de poder transmitir el movimiento, para ello se ha utilizado una plancha de aluminio perforada, que une un extremo con el servo y el otro con la bandeja.



Figura 25. Resultado final del interior

El resultado final del interior de la caja quedaría como se puede ver en la figura 25, destacando también la bandeja de color azul, que será donde se depositará el agua que cae cuando la electroválvula se abre con tal de poder controlar la humedad.

7.2. Zona exterior

Para finalizar con el proceso de distribución de los sensores y actuadores que se han utilizado en este proyecto, se expondrán los componentes que irán situados en la parte exterior de la caja.

En esta zona se pueden encontrar componentes como la electroválvula, la pantalla y la caja de la instalación eléctrica. Son elementos que no se han podido ubicar en el interior por el espacio ajustado que presenta la caja y también por las condiciones que se reúnen. A continuación, se detallará la instalación de cada componente.



Figura 26. Caja LCD

En la parte más superior de la caja se encuentra situada la pantalla LCD, la cual se utilizará para mostrar los valores de humedad y temperatura recogidos por el sensor, así como también la potencia en tanto por cien a la que está trabajando la resistencia. Esta pantalla irá incrustada en el frontal de una caja de madera con tal de que los cables queden resguardados y tampoco queden a la vista. Como se puede ver en la figura 26, la caja de madera presenta un agujero de forma rectangular para poder visualizar la imagen proporcionada por la pantalla.

El otro dispositivo que se puede observar en el exterior de la caja es la electroválvula. Se decidió ponerlo fuera por el espacio reducido del interior de la caja y también por la comodidad a la hora de realizar las pruebas haciendo uso de un depósito auxiliar sin un suministro continuo de agua.

Por otro lado, para guardar todos los elementos electrónicos como son los relés, el Arduino, el módulo Wifi y las diferentes conexiones se ha utilizado una caja de registro rectangular de 160x100mm. Se trata de una caja preparada para poder almacenar elementos eléctricos en su interior y poder pasar los cables gracias a las pestañas preparadas que tiene. Esta estará situada en el exterior de la parte trasera fijada con dos tornillos a cada extremo de la caja.



Figura 27. Caja de registro

También se realizarán agujeros en el lateral derecho de la caja, para dejar al descubierto las diferentes conexiones del Arduino, y también la salida del cable de alimentación de la resistencia.



Figura 28. Conexiones caja de registro

Por último, la disposición de los agujeros que servirán para poder pasar los cables se encuentra en la tapa superior de la caja y en la trasera. El situado en la tapa superior se utilizará para pasar los cables conectados a la pantalla LCD, mientras que a través del agujero hecho en la tapa trasera pasarán todos los demás cables de los dispositivos para poder conectarlos en el interior de la caja de registro con los relés, la placa controladora, etc.

8. Software

En este apartado, se va a llevar a cabo la explicación del programa implementado y cargado en la placa controladora, con el objetivo de controlar la incubadora de forma automática, desde la lectura del sensor encargado de medir la humedad y temperatura hasta la actuación de los diferentes actuadores pasando por la visualización de los datos por la pantalla LCD. Este programa lo podremos dividir principalmente según los dispositivos a controlar en los siguientes apartados:

- Control del PID
- Control de la humedad
- Control del LCD
- Control del volteo
- Conexión wifi

Aunque el programa se haya dividido en los anteriores apartados, también se pueden encontrar diferentes apartados de programación como puede ser el uso del Watchdog, los cuales se explicarán a continuación.

Para realizar la explicación del programa se va a tener en cuenta las líneas de código dónde se podrá ver la configuración de cada apartado.

Para facilitar el desarrollo de software se ha utilizado un entorno de desarrollo propio de Arduino, que se explicará a continuación.

Arduino IDE

El entorno de desarrollo utilizado es el del propio Arduino (Arduino IDE). Es un editor de texto y compilador para programar y transferir el código del programa a la placa de Arduino en su lenguaje máquina. Este IDE (Integrated Development Environment), admite los lenguajes C y C++ utilizando las reglas especiales de estructuras de código.

Este entorno dedicado a Arduino incluye una biblioteca de software del proyecto *Wiring*, que proporciona muchos procedimientos comunes de entrada y salida. El código se divide principalmente en dos funciones básicas, *void setup()*, utilizada para iniciar el programa y la función *void loop()*, que se compone del ciclo principal.



Para cargar el boceto en la placa Arduino, se emplea el programa *avrdude*, que convierte el código desarrollado por el usuario en un archivo de texto codificado en hexadecimal.

También cabe destacar la incorporación de librerías, la cual cosa ha facilitado la implementación del programa en Arduino. Estas librerías se incluyen al principio del código, haciendo así que la elaboración del código sea más simple y cómoda de elaborar.

8.1. Librerías utilizadas

Una librería, como ya se ha dicho anteriormente es un archivo de código que se incorpora al programa con la finalidad de aportar nuevas funcionalidades y simplificar el uso del código de los diferentes elementos.

Para este proyecto ha sido necesario el uso de las siguientes librerías:

- Librería para el PID:

```
#include "ArduPID.h"
```

- Librerías para el sensor DHT22

```
#include <Adafruit_Sensor.h>
```

```
#include <DHT.h>
```

- Librerías para el volteo

- Servomotor

```
#include <Servo.h>
```

- Programación volteo

```
#include <TimeLib.h>
```

```
#include <TimeAlarms.h>
```

- Librerías para la pantalla LCD

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

- Librerías para la conexión Wifi

```
#include <ESP8266_Lib.h>
#include <BlynkSimpleShieldEsp8266.h>
```

Mediante estas líneas de código se han incluido las librerías en el programa.

8.2. Programa implementado en Arduino

A continuación, se llevará a cabo la explicación de todo el código implementado para poder lograr la completa automatización de la incubadora. Se detallarán los puntos anteriormente indicados.

Pero antes de comenzar con la descripción de cada uno de los fragmentos del programa que forman todo el código hay que indicar algunos aspectos importantes como pueden ser los siguientes.

Uso de Watchdog

En electrónica, el watchdog (perro guardián) es un mecanismo de seguridad que provoca un reinicio del sistema en caso de que éste se haya bloqueado.

Consiste en un temporizador que continuamente irá decrementando un contador, inicialmente con un valor alto. Si el programa falla o queda bloqueado, al no poder actualizar el contador del watchdog a su valor de inicio, éste llegará a decrementar hasta llegar a cero y se reiniciará el sistema. (APRENDIENDO ARDUINO, 2016)

Este mecanismo se ha implementado para que el sistema siempre esté disponible sin necesidad de preocuparse por si alguna rutina falla o existe algún corte de energía en la placa.

Hacer uso de este sistema en Arduino es bastante sencillo, simplemente basta con incluir la librería *wdt.h* y añadir las siguientes líneas de código en el siguiente orden:

- Se añade al principio de la función de `setup()`
`wdt_disable(); //Para el reloj y desautoriza el WDT`
- Se añade al final de la función `setup()`
`wdt_enable(WDTO_8S); //Antes de salir del setup se activa el WDT con un lapso de 8s`
- Por último, llamar esta función frecuentemente dentro de la función `loop()`
`wdt_reset(); //Se reinicia el reloj`

Con estas líneas se puede asegurar que la placa Arduino se reinicie automáticamente si *wdt_reset()* no es llamada al menos cada 8 segundos.

8.2.1. Control del PID

En el siguiente punto se tratará una de las partes más importantes a implementar del programa, es el control de la temperatura, ya que un buen control sin grandes variaciones proporcionará el correcto desarrollo del embrión y finalizar con el nacimiento de este.

Como bien se explicó en el apartado 6.1. *Control de temperatura* se va a desarrollar un sistema basado en un PID. A la hora de programar puede resultar un poco más complejo que cualquier otro sistema, pero sin embargo la exactitud que puede llegar a alcanzar es la más recomendable.

En primer lugar, para facilitar el desarrollo, se incluirá la librería de PID, que anteriormente se ha descargado e instalado para poder empezar a funcionar.

```
#include "ArduPID.h"
```

Una vez ya está incluida la librería se podrá crear el objeto PID. Para ello será necesario la configuración de las siguientes variables:

```
int Ref_T=38; //Temperatura objetivo
double kp =35; //Componente proporcional
double ki = 0.2; //Componente integral
double kd = 0; //Componente derivada
double N = 100; //Constante filtro derivat.  $D(s)=s/(1+s/N)$ 
uint32_t T = 20; //20ms => 50Hz frecuencia de ciclo
double Output = 0; //variable de salida

PID_IC PID(&Output, kp, ki, kd, N, T);
```

Donde se puede ver que PID es el nombre del objeto PID_IC, *Output* es la variable de salida; *kp* identifica el error presente, esta cuanto más lejos está del valor deseado, en este caso *Ref_T*, más rápido intenta corregirlo; *ki* es la acumulación de errores que ya han pasado, si se observa que la temperatura se mantiene durante largo tiempo en un mismo valor que no es el objetivo acciona con más potencia la resistencia; *kd* es una predicción de futuros errores, contrarresta a *kp* según lo rápido que se aproxime al valor objetivo. En este caso *kd* ni *N* tendrán influencia sobre el objeto PID ya que la componente derivativa es igual a 0; T es la frecuencia de ciclo.

Una vez ya realizada esta declaración antes de la función *setup()* se pasa a incluir dentro del setup la siguiente orden:

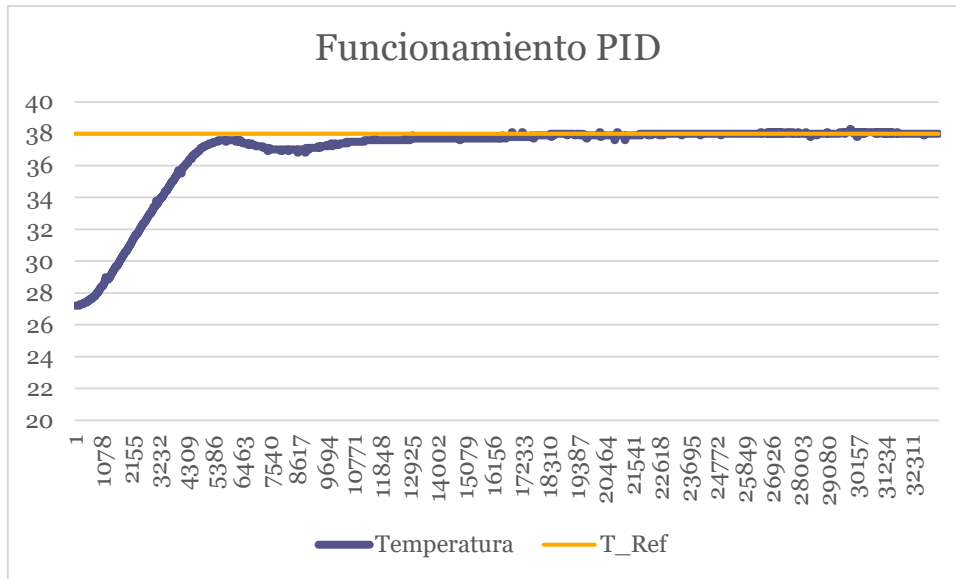
```
PID.SetSaturation(0,100);
```

Con la que se pondrá en funcionamiento el PID, y se configurará la saturación simplemente incluyendo un limitador correspondiente a la limitación real del actuador, en este caso la resistencia.

Por último, para acabar de comentar el apartado de programación que hace referencia al PID, cabe destacar el control que realiza el programa sobre el relé sólido y a su vez con la resistencia. Según el valor que resulte de la salida del PID, se irá incrementando o decrementando la potencia con la que se activa la resistencia, estas líneas de código ayudarán a mantener la temperatura siempre sobre la de referencia, activando la resistencia con mayor o menor potencia según la cercanía a la que se encuentre.

Tras la configuración del PID, se pone en funcionamiento la incubadora, monitorizando en especial los valores de temperatura recogidos por el sensor con el fin de hacer una gráfica que mostrase la precisión del sistema creado.





Gráfica 1. Funcionamiento PID

Después de tenerlo en funcionamiento durante 2 horas y haber recogido alrededor de 32311 valores, se puede observar que la precisión es muy alta, en tan solo unos 30 minutos ha llegado a estabilizar la temperatura en 38°C exactos.

Se puede destacar en el funcionamiento del sistema PID la precisión con la que va controlando el aumento de la temperatura. Este diseño del sistema de control como se puede ver en la gráfica no sobrepasa la temperatura de referencia, sino que va subiendo poco a poco hasta alcanzarla. Ya que, si la llegase a superar con grandes diferencias, podría llegar a perjudicar el desarrollo de los huevos.

8.2.2. Control de la humedad

En este apartado se va a explicar la implementación utilizada para poder controlar las condiciones de humedad en el interior de la caja. Para ello, se ha usado un diseño basado en el control por histéresis, el cual a través de dos valores referencia mantendrá la humedad por encima de los mismos.

Para entender esta parte del programa, se van a diferenciar dos condiciones que según se produzcan o no, el programa mantendrá la humedad estableciendo un valor referencia u otro, siguiendo las necesidades de los huevos explicadas al principio de la memoria.

En primer lugar, se deberá tener en cuenta en qué fase del proceso de incubación se encuentra, ya que como bien se indicó anteriormente en el apartado 3.1. *Necesidades de los huevos*, los primeros 25 días del proceso la humedad se deberá establecer entre el 50-55%, mientras que a partir de ese período se incrementará fijando los valores entre el 70-75%, para así facilitar la rotura del huevo.

Para el mantenimiento de la humedad en los primeros 25 días se ha utilizado como valor referencia 50%, es decir, cuando el sensor recoja el valor de humedad y este se encuentre por debajo del 50%, la electroválvula se encenderá durante un período de 3 segundos, tiempo suficiente para que se deposite el agua necesaria para alcanzar los valores de 50-55%.

```
if(day(t) < 25 && hum < 50){
    digitalWrite(releE, LOW);
    delay(3000); // Accionamiento durante 3s
}
```

Mientras que, por otra parte, una vez se hayan cumplido los 25 días de incubación la humedad se incrementará en 70-75%, para ello, y haciendo uso de dos condiciones en las que se comprueba si la humedad actual es menor a 50 o menor a 70, los tiempos de acción de la electroválvula variarán.

En caso de que la humedad sea inferior a 50 querrá decir que aún sigue estando dentro del período de los 25 días en que no debe variar o puede ser el último día en que esté. Por tanto, si se cumple que el día en el que se encuentra el proceso es igual o superior a 25m la electroválvula se accionará durante un período de 7 segundos, para poder así pasar del 50% de humedad al 75%. Mientras que si la humedad es superior a 65 y menor que 70 quiere decir que se ha hecho el incremento de agua ya mencionado y ahora solo queda mantenerlo, por tanto, el tiempo de ejecución de la electroválvula pasará a ser de 3 segundos.

```
if(day(t) >= 25){
    if(hum < 50){ // Subida desde 50% a 75%
        digitalWrite(releE, LOW);
        delay(7000); // Accionamiento durante 7s
    }
    if(hum > 65 && hum < 70){ // Mantenimiento de la
        humedad en 70-75%
        digitalWrite(releE, LOW);
        delay(3000); // Accionamiento durante 3s
    }
}
```

8.2.3. Control del LCD

Seguidamente, se va a realizar la explicación de la parte del programa encargada de controlar y mostrar los datos recogidos por el sensor en la pantalla LCD.

Para ello, ha sido necesario hacer uso de las siguientes librerías, las cuales facilitarán el uso del dispositivo.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

Hay que tener en cuenta que el LCD utilizado en este proyecto va acompañado con el módulo I2C, por tanto, la librería utilizada y la implementación del código puede variar respecto a otras pantallas. Por este motivo, es necesario incluir la librería *Wire.h*, ya que es la encargada de comunicar la placa Arduino con el dispositivo que trabaja mediante el protocolo I2C, en este caso el LCD.

Para comenzar con el manejo del dispositivo, es necesario definir la configuración de este a través de la creación del objeto, en la que se tendrá que indicar la dirección I2C del display, en este caso 0x27, y la cantidad de caracteres que puede mostrar en sus dos filas, 16 caracteres por cada fila.

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
```

Una vez ya establecida la comunicación entre el LCD y la placa controladora, basta con iniciar el dispositivo, realizado en la función *setup()*, e indicar cuales son los datos a mostrar en la función *loop()*.

```
lcd.init(); //Inicialización del LCD
lcd.setCursor(); //Establece la posición del cursor
                (fila, col)
lcd.print(); //Muestra por pantalla la info indicada
```


8.2.4. Control del volteo

En este apartado del programa lo que se ha implementado es el control de volteo, desde la conexión del servomotor con el Arduino y su manejo como así también la frecuencia de rotación de la bandeja que contiene los huevos.

En primer lugar, para poder llevar a cabo el desarrollo del código, se han tenido que incluir las siguientes librerías ya mencionadas en el apartado 8.1. *Librerías utilizadas.*

```
#include <Servo.h>
#include <TimeLib.h>
#include <TimeAlarms.h>
```

La primera librería que se incluye es la relacionada para el control del servomotor, como puede ser la conexión con el Arduino y la acción de rotación, esta viene incluida con la instalación del IDE. Mientras que las otras librerías tienen la función de programar el volteo de los huevos, es decir, se utilizarán funciones de esta para ordenar al servo que voltee cada 6 horas y que deje de voltear a falta de 3 días de finalizar el proceso de incubación.

Una vez ya incluidas las librerías, se empezará por la implementación del giro del servo, como bien se dijo anteriormente el servo está preparado para alcanzar dos posiciones, una de 90° en la que pondrá la bandeja totalmente en horizontal, y otra de 180° en la que realizará la inclinación. Con la alternancia de estas dos posiciones se llevará a cabo el proceso de volteo.

La propuesta que se ha utilizado para inicializar el proceso de volteo es la de incluir dentro de la función *setup()* la ejecución de la siguiente función.

```
InicioServo();
```

Esta línea de código llama a la función implementada la cual pone en posición horizontal (90° según se ha posicionado el dispositivo en la caja) la bandeja cada vez que se inicie el programa para a continuación proceder con las operaciones de volteo.

Una vez ya se ha establecido la posición inicial del proceso, se pasa a implementar el proceso de giro del servo. Aquí ya se van a utilizar todas las librerías que se han comentado al principio del punto.



Para poder realizar la programación de giro con la que el servo se ejecutará cada 6 horas para girar hacia una posición u otra se utilizará la función *Alarm.Repeat()*, propia de la librería *TimeAlarms.h*, la cual indicando el tiempo en segundos y la función que se quiere ejecutar hará la llamada según pase el tiempo establecido quedando así.

```
Alarm.timerRepeat(21600, Giro); //21600s=6h
```

Ya configurada la programación de la “alarma”, se pasará a describir la función *Giro()*, que se llevará a cabo solo durante los primeros 25 días de incubación de los 28 que tiene el proceso total.

```
void Giro() {
  if(day(t) < 25){ //Si el día actual es menor que el día
                  25 volteará
    if(bandera){
      GiroUNO();
    } else {
      GiroDOS();
    }
  } else { //Si ha pasado del día 25 establecerá la
          posición inicial
    InicioServo();
  }
}
```

Como se puede ver en el fragmento de código anterior que representa la función *Giro()*, se pueden diferenciar principalmente dos partes, la primera, dada por la condición *if* la cual ejecutará el proceso de volteo llamando a las funciones *GiroUNO()* y *GiroDOS()*, las cuales irán alternando su funcionamiento gracias a la creación de una variable bandera que cambiará su estado en true o false dependiendo de si ha hecho un giro u otro. Este proceso se ejecutará mientras el día actual obtenido a través de la función *day(t)*, proporcionada por la librería *TimeLib.h*, la cual indicará en todo momento el día en el que se encuentra el proceso de incubación tiene que ser menor que 25.

Y la segunda, en caso de que sea o haya pasado el día 25 el servomotor se establecerá en la posición inicial a través de la función *InicioServo()*, quedando así hasta la eclosión de los huevos.

8.2.5. Conexión Wifi

Para finalizar con el apartado de Software, se explicará la parte del programa en la cual se configura y establece la conexión wifi del Arduino, para así poder conectar con la aplicación móvil y posteriormente monitorizar y manejar los diferentes dispositivos.

Las librerías que se utilizarán para poder llevar a cabo la conexión serán las siguientes:

```
#include <ESP8266_Lib.h>

#include <SoftwareSerial.h>

#include <BlynkSimpleShieldEsp8266.h>
```

Las dos primeras librerías mencionadas serán las encargadas del manejo y conexión del módulo ESP8266 conectado al Arduino para poder establecer la conexión Wifi, mientras que la tercera se encargará de la conexión con la aplicación móvil.

Una vez ya están incluidas las librerías necesarias, se empezará con la conexión del módulo ESP8266, conectado a los pines 3 (RX) y 2 (TX) del Arduino, haciendo uso de la librería *SoftwareSerial* que permitirá la comunicación en serie en otros pines digitales del Arduino.

```
SoftwareSerial EspSerial(3, 2);
```

A continuación, gracias a la librería *BlynkSimpleShieldEsp8266.h* se podrá configurar el módulo para que éste pueda conectarse a la red wifi. En primer lugar, se debe indicar el token de autorización, escrito entre comillas dobles, que coincidirá con el que tiene la aplicación móvil para así poder realizar la conexión entre ambos.

```
char auth[] = ""
```

En segundo lugar, se deberán introducir las credenciales de la red wifi a la que se va a conectar el Arduino, tanto el nombre de la red (ssid) como la contraseña (pass).

```
char ssid[] = "";
```

```
char pass[] = "";
```

En tercer lugar, se guardará en la variable *wifi* las conexiones que se han realizado del módulo ESP8266 al Arduino para una posterior utilización.

```
ESP8266 wifi(&EspSerial);
```



9. Aplicación Android

Como bien se explicó anteriormente, la placa Arduino irá conectada vía Wifi para poder tener acceso a la información recopilada por esta a través de una aplicación Android instalada en un dispositivo móvil.

En la aplicación se podrá consultar la temperatura y la humedad en todo momento, como así también poder manejar cada dispositivo que está conectado al microcontrolador, como puede ser el ventilador, la electroválvula o el LED. Para ello se ha utilizado Blynk, una plataforma de *internet de las cosas*, concepto que hace referencia a una interconexión digital de objetos de uso cotidiano con internet.

9.1. Blynk

Con esta herramienta se diseñará la interfaz gráfica estableciendo controles según las necesidades. Para el uso de este sistema solo se requiere que la incubadora controlada por Arduino esté conectada a internet, en este caso por medio de Wifi con el módulo ESP8266. De esta manera, se podrá realizar la conexión con el servidor de Blynk y controlar el sistema.

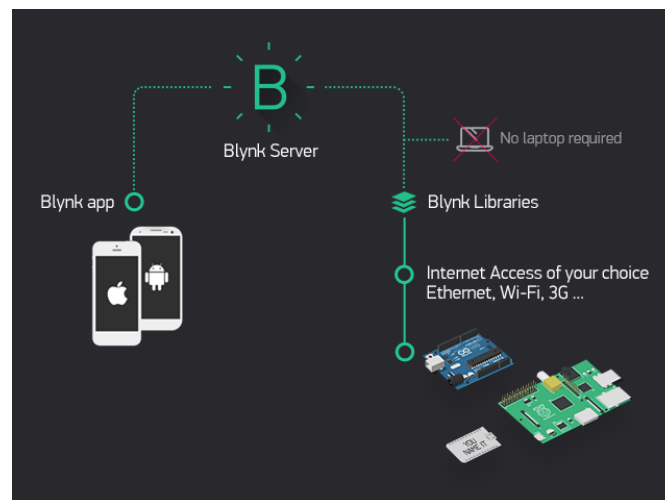


Figura 30. Funcionamiento Blynk

Esta plataforma como se puede observar en la figura 30 puede controlar hardware de forma remota, monitorear sensores, guardar datos y visualizarlos. El sistema lo podemos dividir en tres partes esenciales:

- La aplicación, la que permitirá crear la interfaz de control para la incubadora.
- El servidor Blynk, encargado de establecer todas las comunicaciones entre el dispositivo móvil y el hardware. Se puede utilizar el servidor online o instalar el servidor Blynk local, ya que se trata de una aplicación de código abierto.
- Las librerías Blynk, esenciales para permitir la comunicación entre el servidor y los recursos hardware. Estas serán las encargadas de controlar cada vez que se ejecute una acción en la aplicación Blynk, generar un mensaje que será transmitido a través de la nube Blynk encontrando la ruta correcta hacia el hardware.

Lo único necesario para llevar a cabo este sistema de internet de las cosas es proporcionar, en este caso, de conexión a internet al sistema. En este proyecto se ha utilizado un Arduino Uno conectado a un módulo Wifi (ESP8266).

Este sistema puede acceder a todos los pines que forman el Arduino, tanto los pines analógicos como los digitales, de forma directa, a través de la configuración de la aplicación. Con los que se tendrá acceso y control sobre los datos o acciones que se procesen en la placa. (TECNOLOGIA HUMANIZADA, 2018)

Intercambio de datos utilizando VirtualPins

Para el intercambio de datos entre el microcontrolador y la aplicación se hace uso de los pines virtuales, que se podrían identificar como los canales dedicados para el envío de datos. Estos pines no tienen una representación física, por tanto, hay que diferenciarlos de los pines GPIO⁴ físicos de la placa.

⁴ GPIO: General Purpose Input/Output, Entrada/Salida de Propósito General.

Los pines virtuales se utilizan principalmente para interactuar con otras bibliotecas, como es en este caso la del servo, el LCD y el sensor. A su vez, sirven para enviar datos del Arduino a la aplicación del dispositivo móvil a través de la siguiente línea de código.

```
Blynk.virtualWrite(V5, hum);
```

Por ejemplo, este caso lo que hace es enviar a través del pin virtual 'V5' la variable 'hum', la cual recoge la humedad que monitoriza el sensor.

9.2. Funciones

En este apartado se va a explicar principalmente que funciones va a tener la implementación de la aplicación en el móvil y que se va a poder controlar y manejar a través de ella.

Por un lado, la implantación de esta aplicación se ha utilizado sobre todo para poder monitorizar en todo momento el estado de la incubadora de forma remota, saber cuál es la temperatura o humedad de la caja será primordial para que los huevos se desarrollen correctamente ya que en caso de alguna variación se podrá conocer y actuar al respecto. Los valores monitorizados por el sensor se podrán saber en cualquier momento que se acceda a la aplicación, o bien, a través de los avisos configurados cuando estos valores estén por encima o debajo del objetivo.

Por otro lado, la aplicación permitirá accionar los dispositivos como pueden ser el ventilador o la electroválvula, conectados a los relés o bien manejar el encendido/apagado del LED. También se podrá ver un histórico en forma de gráfica que indicará la temperatura y humedad desde el arranque del programa hasta el momento actual, viendo así la continua variación en directo.

A continuación, se van a detallar cada una de las configuraciones que se han llevado a cabo para poder realizar las acciones de manejo y control que se han mencionado anteriormente.

9.2.1. Monitorización del sensor en la aplicación

Uno de los principales objetivos por el que se ha decidido realizar la implementación de la aplicación móvil, es poder controlar en todo momento los valores de humedad y temperatura que presenta la incubadora.

Para poder realizar la tarea de lectura del sensor se utilizarán los pines virtuales, ya mencionados anteriormente, los cuales serán los encargados de enviar los datos recogidos por el sensor a la aplicación Android.

En primer lugar, se desarrollará el envío de datos desde el sensor a la aplicación, para ello para ello será necesario la inclusión de dos líneas de código que se basarán en un comando perteneciente a la librería *Blynk*, el cual indicando el pin virtual por el que se enviará y la variable a enviar será capaz de mandar estos datos a la aplicación para ser leída posteriormente. Estas líneas se incluirán dentro de la función *loop()*, lo que permitirá el envío continuo de los datos.

```
Blynk.virtualWrite(V5, hum);
Blynk.virtualWrite(V6, tempA);
```

Una vez ya realizado el envío de los datos, ahora se procederá a configurar la recepción de estos en la aplicación.

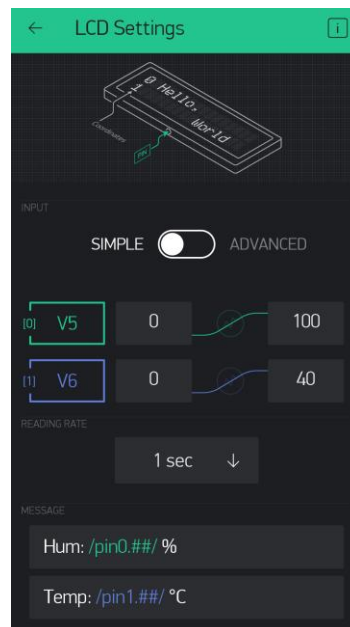


Figura 31. Configuración App: LCD

En la figura 31 se puede ver cómo está realizada la configuración, a través del pin virtual V5 se recibe la variable de la humedad mientras que el V6 se encarga de recibir el de la temperatura. La frecuencia de muestreo de estos datos se aplicará cada 1 segundo, con el fin de no saturar la aplicación. Por último, la configuración del mensaje que se mostrará en el módulo LCD de la aplicación consistirá en una cadena de texto en la que está incluida la lectura de cada variable. El pin0 hace referencia al pin virtual V5 y el pin1 al pin virtual V6.

Las almohadillas utilizadas sirven para indicar la cantidad de decimales que se mostrarán por pantalla. Por ejemplo, la variable *temp* recoge el valor 37.847 pero se mostrará 37.84 tras aplicar `/pin1.##/`. El mensaje quedaría de la siguiente forma.



Figura 32. Vista LCD en la App

9.2.2. Control de dispositivos

Una de las funciones que también permite la aplicación es poder controlar los actuadores conectados al Arduino de forma individual. Esto permite poder accionar o detener cada uno de ellos en base a las necesidades que se presenten en ese momento concreto. Los dispositivos que se podrán controlar serán el ventilador, la electroválvula y el LED.

Esta funcionalidad está pensada principalmente para que en caso de que algún componente presente algún tipo de fallo puntual se pueda corregir de forma inmediata, o bien tener la necesidad de modificar el valor de algunas de las variables temperatura o humedad. Por ejemplo, el valor de la humedad ha presentado un decremento notable que puede ser perjudicial para el desarrollo de la incubación, y a través del accionamiento de la electroválvula se puede incrementar de forma momentánea.

La configuración de los dispositivos se hará de tal forma que en la aplicación se indicará a que pin del Arduino está conectado el dispositivo, en este caso se ha cogido el ejemplo de la electroválvula.

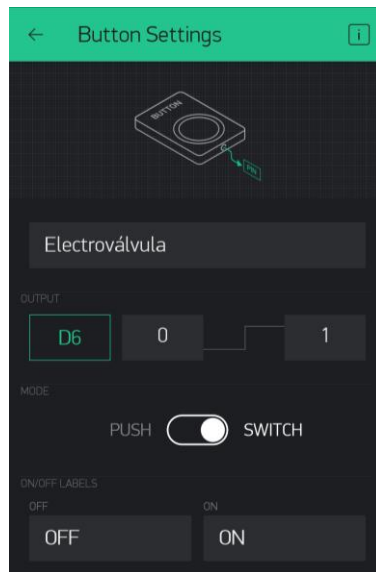


Figura 33. Configuración botón electroválvula

Tal y como se puede ver en la figura 33, la configuración consta principalmente de la selección del pin al que está conectado el actuador, en este caso la electroválvula conectada al pin 6 del Arduino, además se podrá seleccionar la modalidad del botón entre pulsador e interruptor según las necesidades que se precise, en este caso se ha elegido un interruptor “ON/OFF”. (PDA CONTROL, 2017)

9.2.3. Notificaciones

Para llevar un mayor control en todo momento del estado de la incubadora, se ha implementado un sistema de notificaciones que alertará en caso de que algunos de los valores de humedad o temperatura no sean los correctos.

Para ello Blynk proporciona un comando con el que se configurarán estos avisos.

```
Blynk.notify();
```

Esta línea de código estará incluida dentro de las diferentes condiciones que se han desarrollado como es el control de la humedad y el de la temperatura. Aquí se muestra un fragmento de código con el que se ha realizado.

```
if(temp < 37.5){
    Blynk.notify("Cuidado! Temperatura por debajo de 37.5°C");
}
```

En el ejemplo anterior la notificación llegará al dispositivo móvil cuando la temperatura sea inferior a 37.5°C. A continuación, se puede ver una imagen de como la notificación se muestra en el móvil.



Figura 34. Notificación en la App

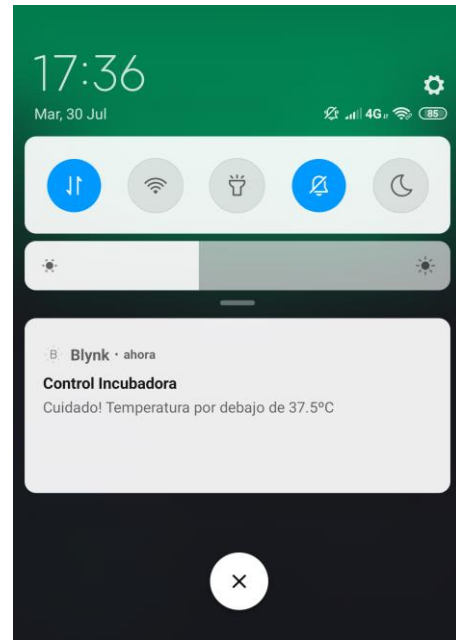


Figura 35. Aviso en barra de notificaciones

La imagen de la izquierda muestra la vista de la notificación dentro de la aplicación, donde se puede ver que la temperatura en ese instante era de 37.10°C, por tanto, debe saltar el aviso.

Por otra parte, la imagen de la derecha muestra el mismo aviso, pero en la barra de notificaciones del móvil.

10. Pruebas

A continuación, se detallará todo el proceso que se ha seguido desde la recogida de los huevos, pasando por las pruebas de la ovoscopia y deposición de estos en la incubadora hasta la eclosión y nacimiento de los patitos.

Tras la recogida de 15 huevos el día 16 de mayo, se realizaron las tareas de limpieza y desinfección junto con las correspondientes pruebas de la ovoscopia, donde se examinaron uno a uno los huevos y se comprobaron cuáles son los que están fecundados y cuáles no, con el fin de descartar los que son infértiles. Tras las pruebas realizadas se tuvieron que descartar 3, los cuales no estaban fecundados, quedando así un total de 12 huevos que si se iban a introducir dentro de la caja para ser incubados.

El día 17 de mayo ya habiendo realizado la puesta en marcha previa de la incubadora y observando que los valores de humedad y temperatura se mantenían constantes en 54% y 38°C respectivamente, se introdujeron los huevos en la caja, depositándolos cada uno en uno de los orificios de la bandeja de volteo.



Figura 36. Posicionamiento de los huevos en la incubadora

Tras pasar un período de 14 días se repiten las pruebas de la ovoscopia, esta prueba se debe realizar pasadas dos semanas, ya que antes no se vería ningún indicio que ayudase a saber cuál es el estado de los huevos, y tampoco se debe hacer con mucha frecuencia, puesto que hay que sacarlos al exterior y se cortarían el proceso de incubación. En esta última prueba se observa que hay 3 de los huevos que no se están desarrollando correctamente, por tanto, se deben retirar y quedarían un total de 9 huevos.

Llegados los días 26 y 27 del proceso de incubación se observa que los huevos ya empiezan a mostrar claras evidencias de que están a punto de eclosionar, ya que se puede ver que empiezan a romper la cáscara.



Figura 37. Eclosión de los huevos

El día 12 de junio por la mañana eclosiona el primer huevo y durante la tarde el segundo. Se aguantaron durante dos días más los huevos restantes dentro de la incubadora, pero no fue posible la eclosión de ninguno más.

Se puede concluir, que se ha obtenido un 22.2% de nacimientos respecto a los 9 últimos huevos que quedaron hasta finalizar el proceso. Quedando 3 huevos con la cáscara picada por el patito, mención que estaba ya formado y con intenciones de salir, pero por cualquier motivo ajeno a la incubación como puede ser alguna problema de salud no acabó de salir. Esta baja tasa de éxito podría estar relacionada con la vejez de los animales que pusieron los huevos.

11. Presupuesto

A continuación, se mostrará un cuadro en el que se resumen los costes de la construcción de la incubadora.

PRODUCTO	Cantidad	TOTAL €
LCD con I2C	1	2,97
*Arduino UNO	1	3,90
Relé sólido SSR-10DA	1	3,38
Módulo de 2 relés	1	2,11
Placa circuito impreso	1	0,50
Sensor temperatura y humedad DHT22	1	3,47
Módulo Wifi ESP8266 ESP-01	1	2,86
LED de alta luminosidad	1	2,30
Electroválvula 12V 1/2"	1	1,99
Resistencia silicona 45W, 1'5m 230Vac	1	5,75
*Maderas para la construcción de la caja (120 x 59,7 x 1,6 cm)	2	12,95
Patas de goma para la caja	4	1,20
Parasol de coche	1	2,80
Caja de madera electroválvula	1	1,95
Cáncamos	1 caja de 8ud.	0,75
Cierre de caja	2	3,88
Cristales para la ventana	2	3
Bisagras	2	2,98
Caja de registro	1	1,45
	TOTAL	60,19 €

Tabla 1. Presupuesto

*Son elementos que de los que ya se disponía y no ha sido necesaria la compra de estos, por tanto, es un precio aproximado al valor real de cada uno de ellos.

Tal y como se puede observar en la tabla anterior, después de realizar toda la suma de elementos utilizados para la construcción de la incubadora, se ha contabilizado un total de 60,19€

Teniendo en cuenta que las incubadoras comercializadas en el mercado con unas características similares a esta rondan los 150-200€, se puede concluir que es una muy buena alternativa.

También hay que tener presente que las incubadoras que se venden en el mercado dispondrán de una calidad un tanto mayor, gracias a la utilización de maquinaria y componentes más especializados.

En conclusión, el objetivo que se indicó al principio del proyecto de diseñar y construir una incubadora de huevos con un coste reducido se ha cumplido.

12. Conclusión

Este proyecto se puede decir que ha cumplido con los dos objetivos principales que se marcaron al principio.

El primer objetivo era el de diseñar una incubadora de huevos de ave eficaz y sencilla de implementar. Como se ha ido detallando a lo largo del proyecto, esta incubadora cumple con los requisitos y especificaciones iguales o superiores a las incubadoras que se encuentran en el mercado. Como puede ser el control a través de la aplicación Android.

El otro objetivo para cumplir era el de llevar a cabo la construcción de la incubadora, pero con un presupuesto inferior. Tomando como referencia el apartado anterior se puede afirmar que este objetivo se ha alcanzado y de forma muy positiva, ya que se ha llegado a reducir el coste en más del 50% en comparación con las incubadoras que se venden en el mercado.

Por estas razones este proyecto demuestra que es viable la construcción de una incubadora de huevos de ave con las características, funcionalidades y precisión que proporciona una en el mercado y sin olvidar el coste reducido.

13. Referencias

- APRENDIENDO ARDUINO. (13 de Noviembre de 2016). Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/13/arduino-watchdog/>
- APRENDIENDO ARDUINO. (18 de Diciembre de 2016). Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/18/sensores-y-actuadores/>
- ARDUINO. (2019). Retrieved from <https://www.arduino.cc/>
- ARELUX. (s.f.). Obtenido de <https://arelux.com/articulos/rollo-aislante-termico/>
- DOKUMEN. (8 de Abril de 2016). Obtenido de <https://dokumen.tips/documents/plc-vs-microcontrolador.html>
- INFOOTEC. (2018). Obtenido de <https://www.infootec.net/arduino/>
- LUIS LLAMAS. (5 de Marzo de 2019). Obtenido de <https://www.luisllamas.es/control-todo-o-nada-con-histeresis-en-arduino/>
- LUIS LLAMAS. (23 de Abril de 2019). Obtenido de <https://www.luisllamas.es/teoria-de-control-en-arduino-el-controlador-pid/>
- McRoberts, M. (2010). *Beginning Arduino*. New York: Technology in Action.
- OMNIBLUG. (24 de Julio de 2018). Obtenido de <http://www.omniblug.com/sensor-temperatura-humedad-DHT11-DHT22.html>
- PDA CONTROL. (30 de Enero de 2017). Obtenido de <http://pdacontroles.com/introduccion-plataforma-iot-blynk-esp8266/>
- PLAYBYTE. (12 de Junio de 2018). Obtenido de <http://www.playbyte.es/electronica/arduino/esp-01s-modulo-wifi-basado-en-esp8266/>
- TECNOLOGIA HUMANIZADA. (6 de Noviembre de 2018). Obtenido de <https://humanizationoftechnology.com/blynk-plataforma-de-internet-de-las-cosas-en-la-red/revista/2018/volumen-4-2018/11/2018/>

Anexo

Código fuente

```
#include <ESP8266_Lib.h>
#include <BlynkSimpleShieldEsp8266.h>
#include <SoftwareSerial.h>

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>
#include "ArduPID.h"
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Servo.h>
#include <TimeLib.h>
#include <TimeAlarms.h>

#include <avr/wdt.h> //librería para el watchdog

//Definimos el tipo de sensor (en este caso es el modelo DHT22)
#define DHTTYPE DHT22
// DHT22 conectado al pin 2 del Arduino
#define SENSOR 7
// SSR conectado al pin 4 del Arduino
#define RelayPin 4
// Servo conectado al pin 9 del Arduino
#define SERVO 9
// Número de unidades de señal por segundo del módulo ESP8266
#define ESP8266_BAUD 9600

/*****
//Creamos el objeto servo
Servo myservo;
/*****
// Creamos el objeto dht
DHT dht(SENSOR, DHTTYPE);
/*****
//Configuración de la pantalla LCD (en este caso con el módulo I2C)
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
/*****
// Conexión del módulo ESP8266 a los pines 3(RX) y 2(TX) del Arduino
SoftwareSerial EspSerial(3, 2); // RX, TX
/*****
const int releV = 5; //Ventilador conectado al pin 5
const int releE = 6; //Electroválvula conectada al pin 6
/*****
float temp, hum; //Definimos variables para almacenar temperatura y
humedad
/*****SERVO*****/
int pos = 0; //Creación de la variable para determinar la posición del
servo
boolean bandera = true; //Variable bandera para alternar el giro del
servo
AlarmId id;
/*****PID*****/
int Ref_T=38; //Temperatura objetivo
double kp =35; //Componente proporcional
double ki = 0.2; //Componente integral
```



Control de una incubadora mediante Arduino y Android

```
double kd = 0; //Componente derivado
double N = 100; //constante de filtro derivativo  $D(s)=s/(1+s/N)$ 
uint32_t T = 20; //20ms => 50Hz frecuencia de ciclo
double Output = 0; //variable de salida

//PID con integrador anti-windup
PID_IC PID(&Output, kp, ki, kd, N, T);

//Ventana de acción del Relé Sólido
int WindowSize = 1000;
unsigned long windowStartTime;

// Token de autorización para conectar con la App movil
char auth[] = "escribir token";

// Credenciales de la red Wifi
char ssid[] = "escribir nombre de la red";
char pass[] = "escribir contraseña";

ESP8266 wifi(&EspSerial);

time_t t = now();//Declaramos la variable time_t t

void setup()
{
  wdt_disable(); //Para el reloj y desautoriza el WDT

  // Debug console
  Serial.begin(115200);

  myservo.attach(SERVO); //Servo conectado al pin 9

  // Inicia la librería dht
  dht.begin();

  //Pone en funcionamiento el PID, y configura la saturación
  PID.SetSaturation(0,100);

  //Inicia reloj para la gestión de las ventanas
  windowStartTime = millis();

  //Establece el relé sólido(RelayPin) como salida
  pinMode(RelayPin,OUTPUT);

  //Encendido del ventilador a través del relé mecánico
  digitalWrite(releV, LOW);

  //Conectamos los pines del módulo de los dos relés como OUTPUT
  pinMode(releV, OUTPUT);
  pinMode(releE, OUTPUT);

  //Inicialización LCD y definición texto de arranque
  lcd.backlight();
  lcd.init();
  lcd.print("Incubadora");
  delay(1000);

  //Establecer la velocidad de transmisión de ESP8266
  EspSerial.begin(ESP8266_BAUD);
  delay(10);
```

```

//Establece la conexión de red
Blynk.begin(auth, wifi, ssid, pass);

InicioServo(); //Llamada a la función InicioServo que establecerá la
                posicion en horizontal
Alarm.timerRepeat(21600, Giro); //La funcion Giro se ejecutará cada
                                6h=21600s

wdt_enable(WDTO_8S); //Antes de salir del setup se activa el WDT con
                    un lapso de 8s
}

void loop()
{

  Alarm.delay(10);

  //Inicia la conexión Blynk
  Blynk.run();

  hum = dht.readHumidity(); // Guarda la humedad monitorizada por el
                            sensor en la variable hum
  temp = dht.readTemperature(); // Guarda la temperatura monitorizada
                                por el sensor en la variable temp

  /*****Envío de datos a la app movil*****/
  Blynk.virtualWrite(V5, hum); //Envío de la humedad a través del pin
                                virtual 5
  Blynk.virtualWrite(V6, temp); //Envío de la temperatura a través
                                del pin virtual 6

  /*****
  * PID Compute *
  *****/
  PID.Compute(Ref_T-temp);

  /*****
  * Muestreo de toda la información en el LCD *
  *****/
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("T:");
  lcd.print(temp,1);
  lcd.print("C ");

  lcd.setCursor(8,0);
  lcd.print("H:");
  lcd.print(hum,1); //1 decimal
  lcd.print("%");

  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print("Power=");
  lcd.print(Output);
  lcd.print("%");

```



Control de una incubadora mediante Arduino y Android

```
/*
 * Activa/Desactiva el pin de salida en función de la salida pid
 */

Output=map(Output,0,100,0,WindowSize);
unsigned long now = millis();
if(now - windowStartTime>WindowSize)
{ //momento de cambiar la ventana de relé
  windowStartTime += WindowSize;
}
if(Output > now - windowStartTime) digitalWrite(RelayPin,HIGH);
else digitalWrite(RelayPin,LOW);

/*
 * Control de la humedad
 */

//Mantenimiento de la humedad durante los 25 primeros días en 50-55%
if(day(t) < 25 && hum < 50){
  digitalWrite(releE, LOW);
  delay(3000); //La electroválvula estará abierta durante 3s
}

//Cambio de humedad al 75% a partir del día 25
if(day(t) >= 25){
  if(hum < 50){ // Subida desde 50% a 75%
    digitalWrite(releE, LOW);
    delay(7000);
  }
  if(hum > 65 && hum < 70){ // Mantenimiento de la humedad en 70-75%
    digitalWrite(releE, LOW);
    delay(3000);
  }
}

/*
 * Gestión de notificaciones
 */

//Notificaciones de humedad
if(hum < 50 || hum < 70 && day(t) >= 25){
  Blynk.notify("Cuidado! Humedad por debajo del objetivo");
}
if(hum > 55 || hum > 85 && day(t) >= 25){
  Blynk.notify("Cuidado! Humedad por encima del objetivo%");
}

//Notificaciones de temperatura
if(temp < 37.5){
  Blynk.notify("Cuidado! Temperatura por debajo de 37.5°C");
}
if(temp > 38.2){
  Blynk.notify("Cuidado! Temperatura por encima de 38.2°C");
}

wdt_reset(); //Se reinicia el reloj
}
```



```

void InicioServo() {
    myservo.write(90); //Al iniciar el programa el servo irá a la
                        posición horizontal
}

void Giro() {
    if(day(t) < 25){ //Si el día actual es menor que el día 25 voltará
        if(bandera){
            GiroUNO();
        } else {
            GiroDOS();
        }
    } else { //Si ha pasado del día 25 establecerá la posición inicial
        InicioServo();
    }
}

void GiroUNO() {
    for (pos = 90; pos >= 0; pos -= 1) //el eje del servo girará hasta 90°
    {
        myservo.write(pos);
        delay(75);
    }
    bandera = false;
}

void GiroDOS() {
    for (pos = 0; pos <= 90; pos += 1) //el eje del servo girará hasta
                                        90° en dirección contraria
    {
        myservo.write(pos);
        delay(75);
    }
    bandera = true;
}

```

