



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
BIRD BOX PROJECT. HARDWARE

Autor: María Nacenta Fernández
Director: Arne Fliflet

Madrid
Junio de 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D.ª MARÍA NACENTA FERNÁNDEZ DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: BIRD BOX PROJECT. HARDWARE, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 11 de Junio de 2019

ACEPTA

Fdo.....


I, hereby, declare that I am the only author of the project report with title:

BIRD BOX PROJECT. HARDWARE

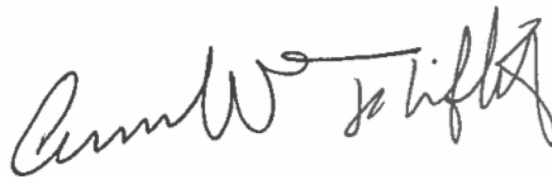
which has been submitted to ICAI School of Engineering of Comillas Pontifical University in the academic year 2018/19. This project is original, has not been submitted before for any other purpose and has not been copied from any other source either fully or partially. All information sources used have been rightly acknowledged.



Fdo.: MARÍA NACENTA FERNÁNDEZ

Date: 11/06/2019

I authorize the submission of this project
PROJECT SUPERVISOR



Fdo.: ARNE W. FLIFLET

Date: 07/03/2019



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
BIRD BOX PROJECT. HARDWARE

Autor: María Nacenta Fernández
Director: Arne Fliflet

Madrid
Junio de 2019

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer la contribución de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign y específicamente al departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y al departamento de Biología. Me gustaría agradecer también la ayuda y apoyo del asistente de profesor, Christopher Horn, la graduada en biología Shelby Lawson y al director de este proyecto Arne Fliflet. Finalmente me gustaría agradecer a la Universidad Pontificia Comillas, ICAI, por darme la oportunidad de realizar este intercambio en la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign pudiendo así formar parte de este proyecto.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to acknowledge the contribution of the University of Illinois at Urbana-Champaign and specifically the department of Electrical and Computer Engineering and the department of Biology. I want also to acknowledge the help and support of the teacher assistant Christopher Horn, the biology graduated student Shelby Lawson and project director Arne Fliflet. Finally, I will like to acknowledge the Comillas Pontifical University, ICAI, for giving me the opportunity to spend one year abroad at the University of Illinois at Urbana-Champaign giving me the chance to work on this project.

CAJA PARA EXPERIMENTOS SONOROS CON PÁJAROS. HARDWARE.

Autor: Nacenta Fernández, María.

Director: Fliflet, Arne.

Entidad Colaboradora: Universidad de Illinois en Urbana-Champaign.

RESUMEN DEL PROYECTO

1. Introducción:

La doctorada Shelby Lawson del departamento de biología de Universidad de Illinois en Urbana-Champaign planteó un proyecto para ayudar en su investigación. Esta investigación consiste en el estudio de la forma de comunicarse de los pájaros y su reacción a distintos estímulos sonoros. Para optimizar este trabajo se requiere un sistema autónomo que realice estas pruebas continuamente sin la necesidad de supervisión. Los sistemas que existen ya para hacer pruebas de este estilo tiene un precio de entre \$1500-\$2000 por lo que este sistema autónomo debería tener un precio significativamente menor.

Las pruebas consistirán en reproducir audios que el pájaro podrá reconocer pulsando un botón. Entre estos audios se introducirán algunos falsos (ruido de fondo) a los que el pájaro no debería reaccionar. Cada vez que el pájaro reaccione correctamente a un audio se le recompensará con unos pocos granos de pienso. Sin embargo si el pájaro reacciona a un audio falso se le castigará apagando la luz unos segundos. La cantidad de comida que se da al pájaro en cada premio y los segundos que la luz se mantiene apagada son valores elegidos por el investigador. La persona responsable del estudio también se encargará de introducir los audios reales. Los resultados de las pruebas así como todos los datos del pájaro deberán ser recogidos en formato Excel para su posterior estudio.

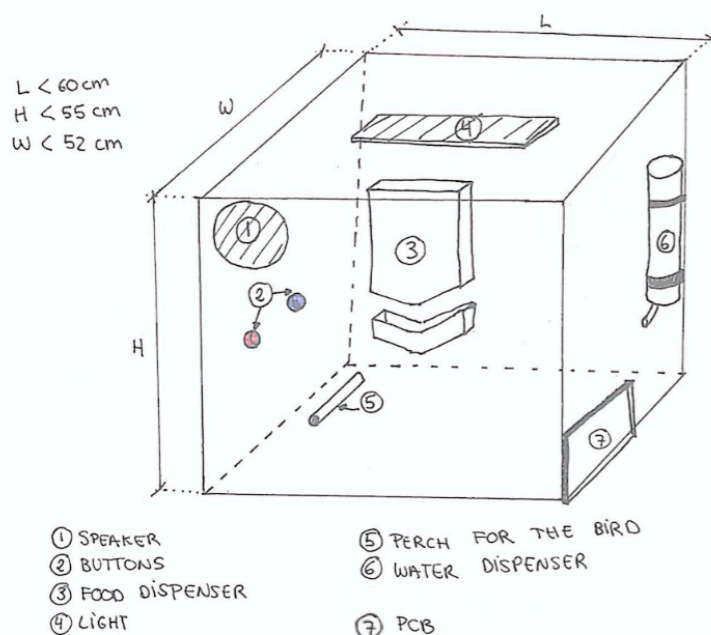


Figura 1: Diseño de la jaula [1]

La solución será la creación de una jaula como la de la *Figura 1* con un sistema que pueda realizar las pruebas y un programa para el ordenador que sirva para introducir los requisitos de cada experimento y recopilar los datos obtenidos del mismo. El programa se encargará de seleccionar de manera aleatoria que audio se reproducirá de manera que el pájaro no se aprenda el orden y simplemente reaccione para obtener comida y luego los datos se exportarán los datos del experimento en Excel.

En este documento se recogerá el diseño de todo el hardware del proyecto lo que incluye el diseño de la PCB y el dispensador de comida así como del funcionamiento de la luz y de los botones. El software del programa, la conexión del audio, la programación del microcontrolador y la conexión USB será parte del trabajo del resto de miembros del equipo encargado de este proyecto.

2. Objetivos:

- Castigar cuando el pájaro falle, apagando la luz.
- Premiar cuando el pájaro acierte, dándole comida.
- Hacer personalizable el tiempo que la luz permanece apagada y la cantidad de comida con la que se premia al pájaro.
- Recibir y emitir audios del investigador.
- Exportar archivos Excel con los datos de los experimentos.
- Una interfaz del programa sencilla para que la pueda utilizar cualquier usuario.
- Un precio inferior a \$500 para crear una diferencia importante con los sistemas que ya existen en el mercado.

3. Metodología:

Este proyecto se desarrolló en cuatro fases: reuniones con la doctorada, diseño del proyecto, construcción del sistema y verificación de su funcionamientos.

3.1. Reuniones:

Las reuniones se hicieron con todo el equipo que forma parte del proyecto y con la doctora Lawson. En estas reuniones la doctora Lawson indicaba todos los requisitos del proyecto siempre con el fin de buscar la exactitud del proyecto así como el mayor bienestar del pájaro. El equipo a su vez informaba de las ideas para el diseño valorando su viabilidad y buscando la aceptación por parte de la doctorada. Como la Facultad de Biología de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign se encargaba de parte de la financiación de este proyecto estas reuniones servían también para tomar decisiones de gastos. Finalmente el departamento se hizo cargo de la compra del altavoz y la donación de la jaula, luz y de un dispensador de comida básico.

Durante toda la elaboración del proyecto se siguieron teniendo reuniones para ir informando de los avances y resolver dudas que fueron surgiendo. Estas reuniones de seguimiento se hicieron una vez por semana además de mantener contacto continuo por email.

3.2. *Diseño:*

El diseño general del proyecto se inició mediante la creación de un diagrama de bloques (presente en la *Figura 2*) entre todo el equipo y la repartición del trabajo entre los distintos miembros.

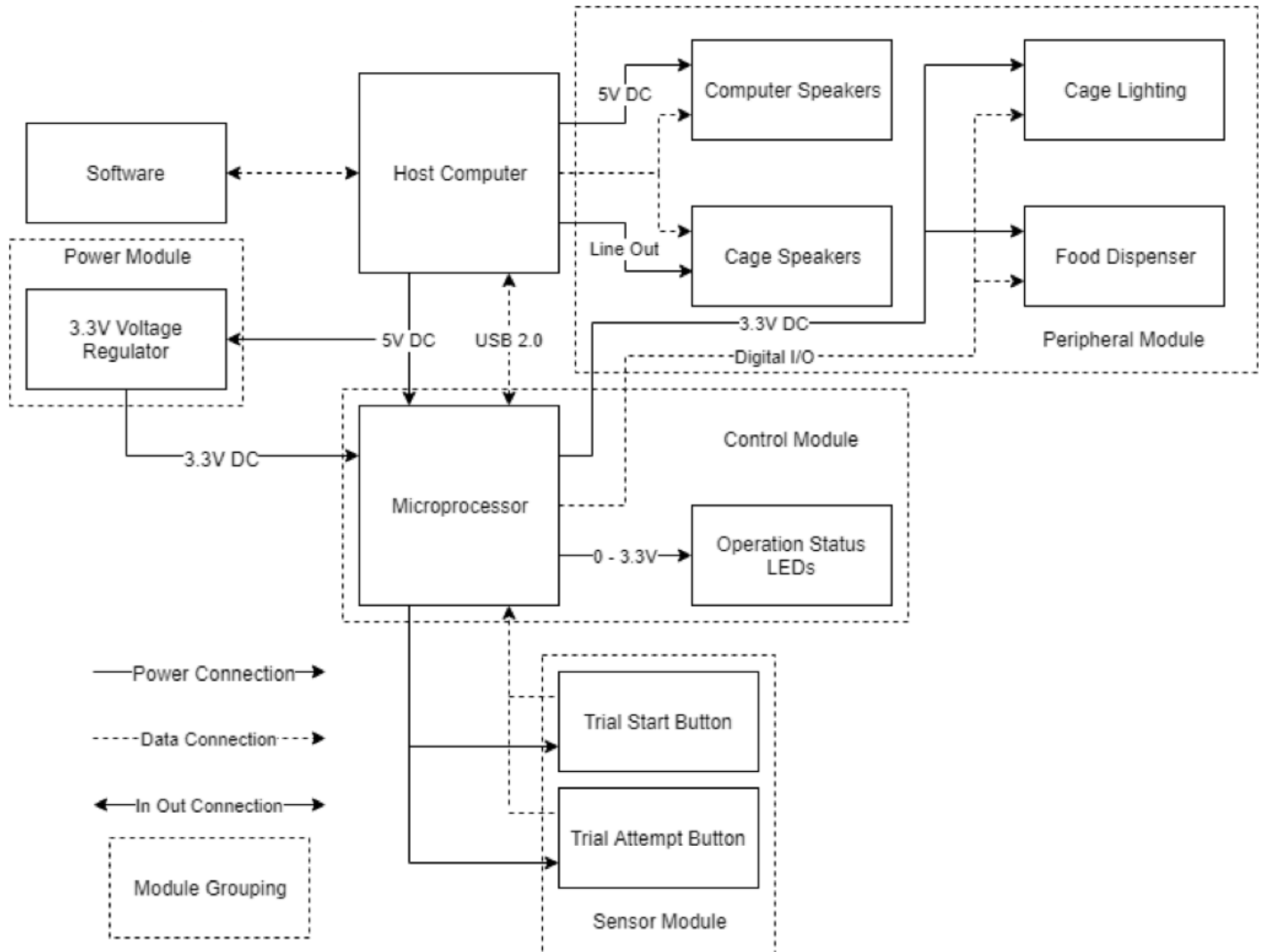


Figura 2: Diagrama de bloques [1]

En este documento se tratará el diseño de la PCB que se encargará de conectar la jaula al ordenador donde se ejecute el programa y de los componentes que a ella están conectados. El diseño de la PCB se hizo usando el software de diseño Eagle donde se diseñó cada módulo por separado para luego unirlos todos y crear la PCB.

a) Módulo de control:

Este módulo consiste en el diseño de las conexiones necesarias para el correcto funcionamiento del microcontrolador elegido. El microcontrolador elegido por el equipo es el que se muestra en la *Figura 3*, un ATmega16U2 [2]. Este microcontrolador proporciona una conexión USB que es necesaria para este proyecto además de tener la facilidad de ser compatible con la programación en Arduino.

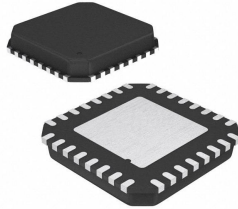


Figura 3: Microcontrolador ATmega16U2

En este módulo se incluyen además tres LEDs [3] para indicar en que tipo de prueba se encuentra el experimento.

b) Módulo de potencia:

La PCB estará alimentada a través de la conexión USB. Es un USB 2.0 estándar que da una tensión de 5V y favorece la transmisión de datos. Pero como parte del hardware funciona con 3.3V se usó un convertor de tensión para pasar de 5V a 3.3V. El convertor utilizado es un LM1117 [4] que es un regulador lineal de caída baja.

c) Módulo de sensores:

Este módulo consiste en dos botones como los de la *Figura 4*, uno será el botón de reacción que el pájaro deberá pulsar si reconoce un audio. El otro botón será el que el pájaro debe pulsar si esta preparado para realizar otra prueba, de esta manera el pájaro sabrá cuando esta en una prueba y decidirá cuando hacerla. Si el pájaro pasa un intervalo de tiempo marcado por el investigador sin pulsar este botón la prueba se dará por finalizada.



Figura 4: IP00 Snap Action Limit Switch Lever [5]

Se usó el botón que aparece en la *Figura 4* ya que tiene un tamaño grande y el pájaro no necesita mucha fuerza para pulsarlo. Para que se pudieran diferenciar entre si los botones se les pegó un LED verde y otro rojo en la punta.

d) Módulo periférico:

En este documento lo que se va a tratar de este módulo es el diseño del dispensador de comida y la conexión de la luz.

- Luz:

Esta fue donada por el departamento de biología ya que tenía una luminosidad específica para que el pájaro estuviese cómodo y no le provocase estrés.

- Dispensador de comida:

El diseño del dispensador de comida es la parte más compleja del proyecto ya que exige un nivel de precisión muy alto para otorgar un número de granos determinado. El diseño utilizado consistió en un embudo sobre una barra dentada (como la de la *Figura 5*) que rotaba cada vez que hubiese que premiar al pájaro gracias a un motor paso a paso como el de la *Figura 6*. El motor a su vez requirió de un controlador L293D [8] y de una batería de 9V externa. Todo esto se incluirá en un dispensador de comida de plástico donado por el departamento de biología.



Figura 5: Ejemplo de barra dentada [6]

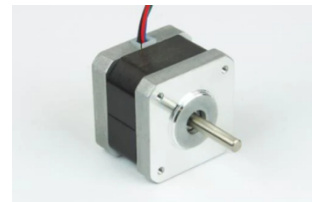


Figura 6: Motor paso a paso .5A Single Shaft 0.9 Deg NEMA 17 [7]

3.3. Construcción:

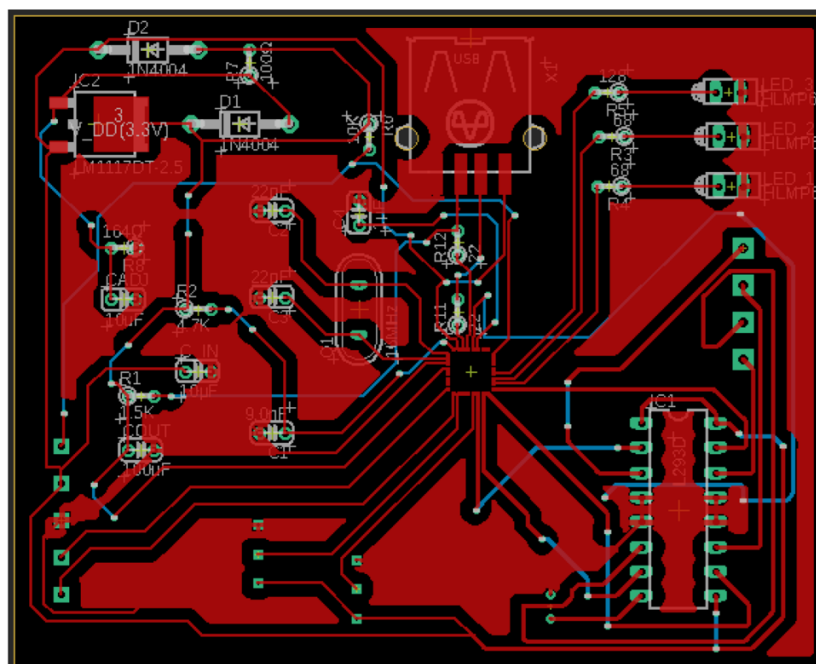


Figura 7: Diseño final de la PCB [1]

El diseño final de la PCB se puede ver en la *Figura 7* y se encargó a través de la empresa de fabricación de PCBs llamada PCBWay. A la PCB se le soldaron todos los componentes con ayuda de un soldador de estaño.

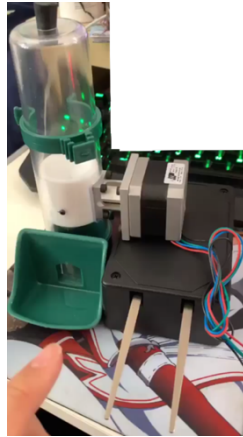


Figura 8: Dispensador de comida e interruptores.

Finalmente el dispensador de comida y la caja de los botones se creó con ayuda de la tienda de maquinaria del departamento de *Electrical and Computer Engineering* de la Universidad de Illinois en Urbana Champaign y quedo como se puede apreciar en la *Figura 8*. Para el funcionamiento del sistema de castigo y premio en el *Anexo A* (página 65) encontramos el código creado en Arduino para descargar en el microcontrolador.

3.4. Verificación:

Para verificar el funcionamiento correcto de esta parte del proyecto sin tener en cuenta el resto de partes del proyecto se llevaron a cabo las siguientes pruebas:

- Modulo de potencia: mediante un voltímetro se comprobó que los voltajes eran correctos
- Módulo de control, de sensores y periférico: se comprobó que todos los componentes funcionaban usando el ATmega328[9] como se explicará en el *Documento 1: Informe del proyecto* (página 31). Por otra parte para asegurar que no hubiese ningún corto en el microcontrolador ATmega16U2 se usó un voltímetro.

4. Resultados:

Los resultados de la parte del proyecto recogida en este documento se vieron siguiendo las verificaciones indicadas en el apartado anterior.

- Modulo de potencia: Se verifico una entrada exactamente de 5.00V y una salida es de 3.31V por lo que se verificó su correcto funcionamiento.
- Módulo de control, de sensores y periférico: usando el microcontrolador ATmega328 el sistema funcionó correctamente para todas las pruebas posibles. Y una de las placas soldadas con el ATmega16U2 no tuvo ningún corto.

Teniendo en cuenta los resultados del proyecto en general hubo dificultades para crear el bootloader del microcontrolador ATmega16U2. Al no conseguirse este paso no se pudo unir la parte de hardware y la de software del proyecto por lo que no se pudo realizar una prueba real del funcionamiento de todo el sistema para su uso en un experimento real.

5. Conclusiones:

Como se ha explicado en el apartado anterior lo único que falta para conseguir el funcionamiento final de este proyecto para poderlo usar en experimentos reales es la integración del software y el hardware. Este proceso consistiría en la creación e integración del software en el microcontrolador ATmega16U2 y la programación final para transmitir los datos de la cantidad de comida y tiempo de apagado de la luz al código introducido en el microcontrolador.

Pese a esto tanto el software creado por otro miembro del equipo como el hardware descrito en este documento funcionan correctamente cumpliendo todos los requisitos impuestos. Además como podemos ver en el *Documento 3: Presupuesto* (pagina 57) el coste final es de \$458.19 lo que cumple con uno de los objetivos principales con un precio inferior a \$500.

Este proyecto cuando funcione completamente tendrá significativas repercusiones ya que facilitará la investigación de la comunicación entre pájaros. Entender esta comunicación ayudará a entender mejor como se transmiten y procesan señales lo que puede aplicarse al mundo tecnológico también.

6. Referencias:

[1] Bird Box Project design document ECE 445 University of Illinois at Urbana-Champaign by Kevin Chen, María Nacenta Fernández and Michael Zhang, February 2019.
<https://courses.engr.illinois.edu/ece445/projects.asp>

[2] Microchip Technologies, 8 bit AVR Microcontroller with 16K bytes of ISP Flash and USB Controller, ATmega16U2 Datasheet, 2010. (último acceso 23/04/2019)
<https://www.mouser.com/datasheet/2/268/doc7799-1315152.pdf>

[3] VCC 4303F Series Solid State LED T1 (3mm), 4303F5 Datasheet. Publishing Date Unknown. (último acceso 23/04/2019)
<https://www.mouser.com/datasheet/2/423/4303FSeries-SolidState-LEDLamps-SuperBright-T1-3mm-1064461.pdf>

[4] Texas Instruments, LM1117 800 mA Low-Dropout Linear Regulator, LM1117 Datasheet, February 2000. [Revised January 2016]. (último acceso 23/04/2019)
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1117.pdf>

[5] IP00 Snap Action Limit Switch Lever, NO/NC, 500V (último acceso 25/04/2019)
<https://my.rs-online.com/web/p/limit-switches/4235301/>

[6] Barra cilíndrica dentada (último acceso 10/06/2019)
https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1KFe6ayYrK1Rjy0Fdq6ACvVXax/Standard-Toothed-Bars-Timing-belt-pulley-bar.jpg_220x220.jpg

[7] Mouser Electronics, Stepper Motor Applied Motion HT17-221 Datasheet, November 2014 (último acceso 27/04/2019)
https://www.mouser.com/datasheet/2/30/HT17-221_RevB_0-771156.pdf

[8] Mouser Electronics, Power Management ICs Motor controller L293D Datasheet, July 2003 (último acceso 27/04/2019)
<https://www.mouser.com/datasheet/2/389/l293d-954810.pdf>

[9] Sparkfun, Microcontroller with 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash, ATmega328 Datasheet, February 2009 (último acceso 28/04/2019)
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/ATMega328.pdf>

BIRD BOX PROJECT. HARDWARE

PROJECT ABSTRACT

1. Introduction:

The graduate student Shelby Lawson of the biology department of the University of Illinois at Urbana-Champaign proposed a project to help her with her investigation. This investigation consists in the study of how birds communicate and their reaction to different sounds. There is a need to optimize this investigation by using an autonomous system that could do all the trials continuously without the need of a supervisor. There are some similar systems in the market but they have a really high price, between \$1500-\$2000, therefore there is a need to found a cheaper system that can be personalized for this specific investigation.

The trials of this investigation will consist in playing audio files and the bird should recognize by pressing a button. Between this real trials there will be some sham trials with a background sound, the bird should not react to this sham trials. When the bird reacts correctly it will be rewarded with some grains of food. However, if the bird reacts to a sham trial it will be punished by turning off the light for a few seconds. The amount of food the bird will receive with each reward and the time the light will be off in each punishment will be chosen by the responsible of the investigation. This person will be also in charge of introducing the real audio files. The results of all the trials will be register and transcript to an Excel file to further study.

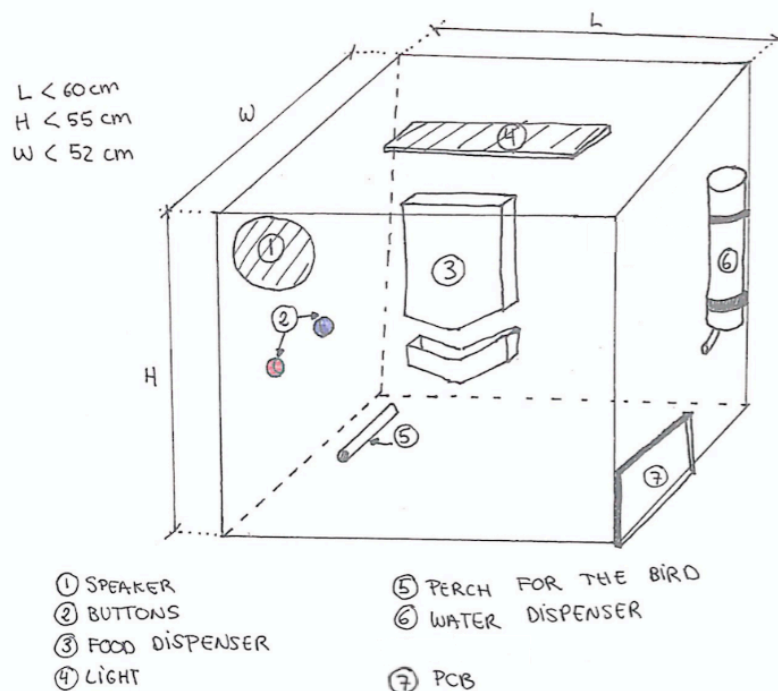


Figure 1: Cage design [1]

The solution will be creating a cage like the one in *Figure 1* with a system that can perform all the trials and a computer program where all the requisites of the trials will be introduced and that will collect all the data of each trial. The program will randomly select which audio file (real or sham) will be played, this way the bird does not learn the order to obtain food. The program will collect all the reactions of each bird to each audio in an Excel file.

In this document the design of all the hardware of the project will be included, therefore it will explain the design and construction of the PCB and the food dispenser as well as the operation of the light and the buttons. The software of the program, the audio connection, the programming of the microcontroller and the USB connection will be part of the work of the rest of the members of the team in charge of this project.

2. Objectives:

- Turn off the light of the cage to punish the bird.
- Give food with high precision to reward the bird.
- Make the punish time and the amount of grains given in each reward customizable by the responsible of the investigation.
- Be able to receive .wav files from the researcher.
- Produce an Excel sheet collecting all the data of the trials.
- A friendly interface of the program so anyone can use it.
- The project must be cost-efficient with a budget around \$500

3. Methodology:

This project has been done in four different phases: meetings with the researcher, design of the system, building the system and verifications.

3.1 Meetings:

The meetings were with all the team and the graduate student Shelby Lawson. In this meetings the graduate student gave all the requisites of the project to obtain the best results in the investigations and to make sure that everything is adequate for the well-being of the bird. At the same time the team informed about the ideas for the design to see their viability and the approval of the graduated student. The biology department of the University of Illinois at Urbana-Champaign was also in charge of part of the financing of the project so in these meetings the costs where also discussed. Finally, the department took care of the cost of the speakers and donated the basic food dispenser, the cage and the light.

Throughout all the development of the project these meetings continued with the objective of making updates to the graduated student and solving all the difficulties that were appearing. These meetings were once a week in addition to having continued contact by email.

3.2 Design:

The general design of the project was initiated by the creation of the block diagram shown in *Figure 2* by all the team and the distribution of the responsibilities between all the team.

This document will describe de design of the PCB that will connect the cage with the computer, hardware with software, and all the components connected. The design software Eagle was used to create each module of the PCB to finally connect all of them and create the PCB.

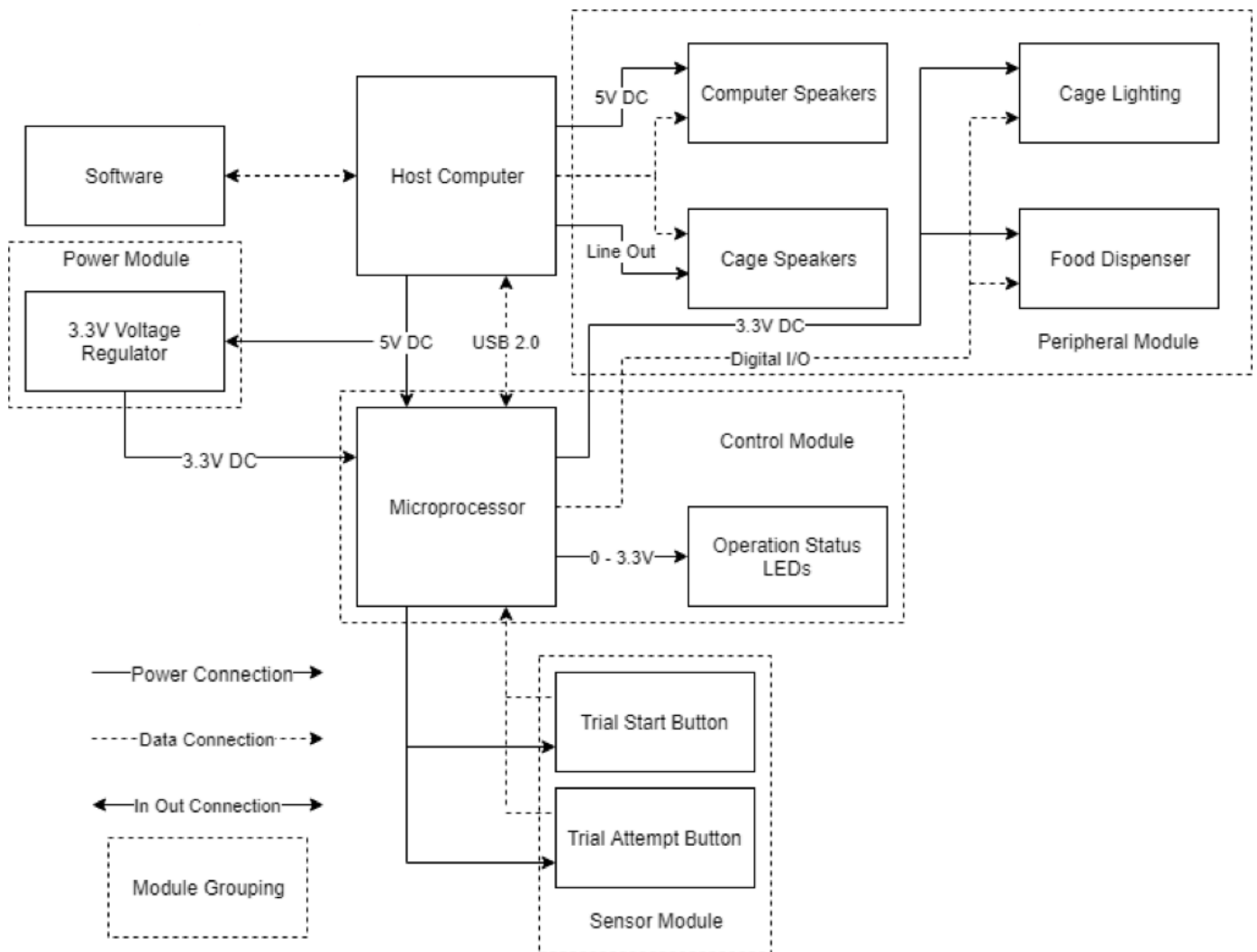


Figure 2: Block diagram [1]

a) Control module:

This module consists in the design of all the connections needed for the correct operation of the chosen microcontroller. The microcontroller chosen by the team is shown in *Figure 3*, an ATmega16U2 [2] because it has an USB connection necessary for this project. Other advantage of this microcontroller is the compatibility with the Arduino software.

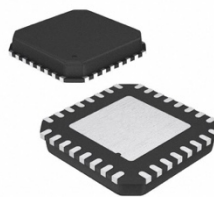


Figure 3: Microcontroller ATmega16U2

Three LEDs [3] were connected to the microcontroller to indicate the states of the trials and how the bird is answering.

b) Power module:

The power supply of PCB has been done by an USB connection. This is a standard USB 2.0 with 5V voltage which favor the data transmission. Some of the components works with 3.3V voltage so a voltage regulator was used to reduce the 5V input to 3.3V. A linear voltage regulator LM1117 [4] was used to obtain a 3.3V voltage.

c) Sensor module:

Two buttons as the one shown in *Figure 4* were used in this project. One will be the trial attempt button that the bird will press to react to a real audio. The other will be the trial start button that the bird will press when it is ready to start a new trial, this way the bird will decided when to start. If the bird send an amount of time established by the responsible of the investigation without pressing this second button the experiment will finalize.



Figure 4: IP00 Snap Action Limit Switch Leer [5]

The button is big enough to be seen by the bird and it is sensitive so the bird does not need to much force to press it. To accomplish the third condition a red LED and a green LED were attached to the end of the switches making a significant difference between them.

d) Peripheral module:

In this document the food dispenser and the light from this module are going to be explained with detail:

- Light:

The light was donated by the biology department because it need to have a specific luminosity for the well being of the bird.

- Food dispenser:

The design of the food dispenser was the most difficult part of the project because it needed a very high precision to give the exact amount of food. The solution to this problem was to use a funnel cut cylinder and under it a toothed bar as the one shown in *Figure 5*. This toothed bar was connected to a stepper motor as the one shown in *Figure 6* that will make it turn when the bird need to be rewarded. The motor needed an external battery of 9V and a L293D [8] controller.



Figure 5: Example of toothed bar [6]

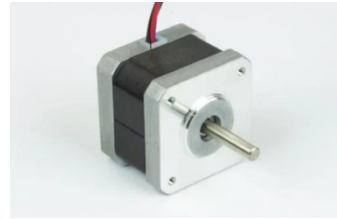


Figure 6: Stepper Motors .5A Single Shaft 0.9 Deg NEMA 17 [7]

3.3 Construction and assembly:

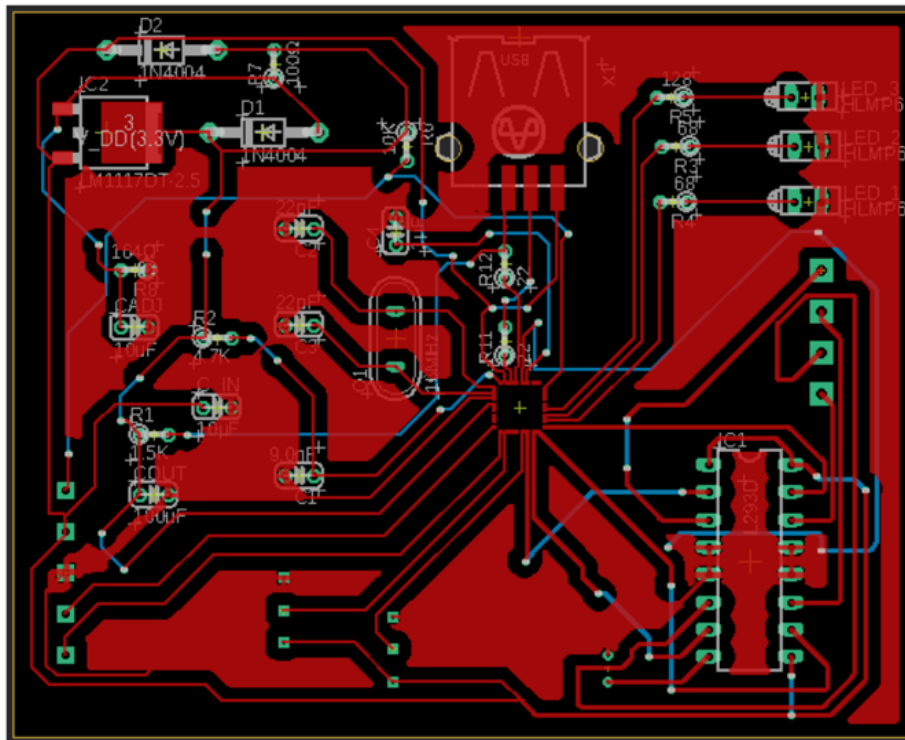


Figure 7: Final design of the PCB [1]

The final design of the PCB was the one shown in *Figure 7*. Once the PCB was finalized it was sent to PCBWay, a company that manufactures PCBs. Then all the components were solder with a soldering iron.

Finally, the food dispenser and the box where the buttons were placed were created with the help of the machine shop of the department of *Electrical and Computer Engineering* from the University of Illinois at Urbana-Champaign. The final dispenser of the food dispenser and the switches in the box that will protect them from the bird are shown in *Figure 8*.

For the performance of rewarding and punishing of the system a code was created in Arduino to download into the microcontroller, this code is in the appendix A of this document.



Figure 8: Food dispenser and switches.

3.4 Verifications:

To verify the performance of the part of the project described in this document, without the rest of the parts of the project, the next tests were done:

- Power module: the components were welded to the PCB and 5V voltage was introduced and then a voltmeter was used to see if the voltages were correct.
- Control, sensor and peripheral module: to verify the correct performance of these modules an ATmega328 [9] was used instead of the ATmega16U2. This will be explained with more detail in the report in *Documento 1: Informe del proyecto* (page 31) A similar code of the one in the appendix A of this document but with the pins chosen for this new microcontroller was download in the ATmega328. To make sure the microcontroller ATmega16U2 was not sorted in the PCB a voltmeter was used to test every connection.

4. Results:

The results of the project described in this document were tested following the verifications of the last section.

- Power module: After doing the verifications it was tested that the input voltage was of 5.00V while the output voltage was of 3.31V which means the correct performance of the module.
- Control, sensor and peripheral module: using the microcontroller ATmega328 the system worked as it was expected. From the three welded PCBs, after doing the verifications only one was not sorted so it would have been the one used for the project.

Taking into account the results of the overall project there were difficulties to create and implement the bootloader of the ATmega16U2 microcontroller. As this was not accomplished the hardware and software part could not be connected so there was not an opportunity to do a real test on the final system.

5. Conclusions:

As it has been explained in the previous section the only thing left to finish the system for using it in real experiments is the integration between the software and the hardware of the project. This process will consist in the creation and integration of the software in the ATmega16U2 microcontroller and the final programming for the data transmission of the quantity of food and the time the light should be off to the code downloaded in the microcontroller.

Despite this the software created by other member of the team worked properly as the hardware described in this document accomplishing all the specified requirements. Moreover, as we can see in the document of the budget *Documento 3: Presupuesto* (page 57) the final cost is \$458.19 which is lower than the \$500 of the objectives.

This project contribution can help with understanding deeper and faster how animals communicate between themselves. Creating a product to suit the needs of the researchers will unlock further contribution in this field. This kind of research can draw more inspiration for advancements in signal processing.

6. References:

- [1] Bird Box Project design document ECE 445 University of Illinois at Urbana-Champaign by Kevin Chen, María Nacenta Fernández and Michael Zhang, February 2019.
<https://courses.engr.illinois.edu/ece445/projects.asp>
- [2] Microchip Technologies, 8 bit AVR Microcontroller with 16K bytes of ISP Flash and USB Controller, ATmega16U2 Datasheet, 2010. (last access 23/04/2019)
<https://www.mouser.com/datasheet/2/268/doc7799-1315152.pdf>
- [3] VCC 4303F Series Solid State LED T1 (3mm), 4303F5 Datasheet. Publishing Date Unknown. (last access 23/04/2019)
<https://www.mouser.com/datasheet/2/423/4303FSeries-SolidState-LEDLamps-SuperBright-T1-3mm-1064461.pdf>
- [4] Texas Instruments, LM1117 800 mA Low-Dropout Linear Regulator, LM1117 Datasheet, February 2000. [Revised January 2016]. (last access 23/04/2019)
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1117.pdf>
- [5] IP00 Snap Action Limit Switch Lever, NO/NC, 500V (last access 25/04/2019)
<https://my.rs-online.com/web/p/limit-switches/4235301/>
- [6] Barra cilíndrica dentada (last access 10/06/2019)
https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1KFe6ayYrK1Rjy0Fdq6ACvVXax/Standard-Toothed-Bars-Timing-belt-pulley-bar.jpg_220x220.jpg
- [7] Mouser Electronics, Stepper Motor Applied Motion HT17-221 Datasheet, November 2014 (last access 27/04/2019)
https://www.mouser.com/datasheet/2/30/HT17-221_RevB_0-771156.pdf
- [8] Mouser Electronics, Power Management ICs Motor controller L293D Datasheet, July 2003 (last access 27/04/2019)
<https://www.mouser.com/datasheet/2/389/l293d-954810.pdf>
- [9] Sparkfun, Microcontroller with 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash, ATmega328 Datasheet, February 2009 (last access 28/04/2019)
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/ATMega328.pdf>

Tabla de Contenidos

DESCRIPCIÓN DE LA MEMORIA.....	29
DOCUMENTO 1: INFORME DEL PROYECTO	31
1.Introducción	33
2.Motivación	34
3.Objetivos	34
4.Ética y Riesgos.....	35
5.Diseño.....	36
5.1. Módulo de control.....	37
5.2. Módulo de potencia.....	39
5.3. Módulo de sensores.....	40
5.4. Módulo periférico	40
5.5. PCB.....	44
6. Verificaciones y Complicaciones.....	45
7.Resultado final.....	46
DOCUMENTO 2: PLANOS	49
DOCUMENTO 3: PRESUPUESTO	57
1.Introducción	59
2.Costes	59
REFERENCIAS.....	61
ANEXOS.....	63
ANEXO A. Código en Arduino para el desarrollo de las pruebas.....	65

DESCRIPCIÓN DE LA MEMORIA

La memoria de este proyecto consistirá en tres documentos principales, el listado de referencias utilizadas y un anexo.

El *Documento 1: Informe del proyecto* (página 31) es una explicación detallada de los pasos realizados para crear este proyecto. En él se volverá a incluir una introducción y los objetivos del proyecto. Después se tratará la motivación principal del proyecto y se tratarán los temas éticos que hubo que tener en cuenta antes de iniciar el proyecto. Finalmente se detallará el diseño de cada uno de los componentes, las verificaciones que se hicieron y el resultado final del proyecto.

El *Documento 2: Planos* (página 49) aquí se incluyen todos los esquemas creados en Eagle para luego componer la PCB. En la página 51 se encuentra el *Power Module* (Módulo de potencia), en la página 52 se encuentra el *Sensor Module* (Módulo de sensores), en la página 53 el *Peripheral Module* (Módulo periférico), en la página 54 el *Control Module* (Módulo de control) y en la página 55 el *ATmega328* que es el esquema que se utilizó para probar el funcionamiento de los componentes.

El *Documento 3: Presupuesto* (página 57) es el documento donde se calcula el coste total del proyecto.

El *Anexo A. Código en Arduino para el desarrollo de las pruebas* (página 65) recoge el código que habría que introducir en el ATmega16U2 de la PCB para realizar las distintas pruebas. En él está programado que cada vez que el pájaro de al botón de reacción en una prueba verdadera el dispensador de comida de dos granos de pienso. Mientras que si pulsa el botón de reaccionar cuando la prueba es falsa la luz se apagará 10 segundos. También se programó en este código cuando y como se tienen que encender los LEDs de la PCB. Este mismo código pero con distintos pines fue el que se usó para introducir en el ATmega328 para hacer las verificaciones de los componentes.

DOCUMENTO 1: INFORME DEL PROYECTO

1. Introducción

La doctorada Shelby Lawson del departamento de biología de Universidad de Illinois en Urbana-Champaign planteo un proyecto para ayudar en su investigación. Esta investigación consiste en el estudio de la forma de comunicarse de los pájaros y su reacción a distintos estímulos sonoros. Para optimizar este trabajo se requiere un sistema autónomo que realice estas pruebas continuamente sin la necesidad de supervisión. Los sistemas que existen ya para hacer pruebas de este estilo tiene un precio de entre \$1500-\$2000 por lo que este sistema autónomo debería tener un precio significativamente menor.

Las pruebas consistirán en reproducir audios que el pájaro podrá reconocer pulsando un botón. Entre estos audios se introducirán algunos falsos (sonido de fondo) a los que el pájaro no debería reaccionar. Cada vez que el pájaro reaccione correctamente a un audio se le recompensará con unos pocos granos de pienso. Sin embargo si el pájaro reacciona a un audio falso se le castigará apagando la luz unos segundos. La cantidad de comida que se da al pájaro en cada premio y los segundos que la luz se mantiene apagada son valores elegidos por el investigador. La persona responsable del estudio también se encargará de introducir los audios reales. Los resultados de las pruebas así como todos los datos del pájaro deberán ser recogidos en formato Excel para su posterior estudio.

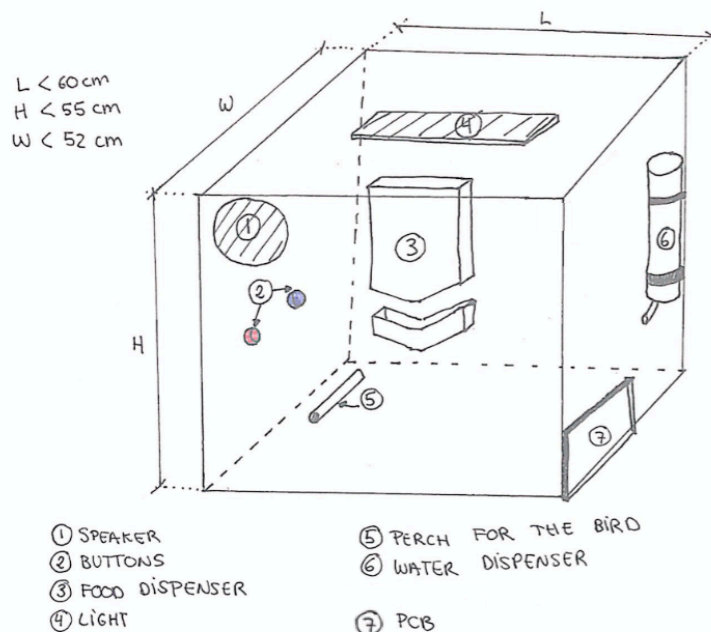


Figura 1: Diseño de la jaula [1]

La solución será la creación de una jaula con un sistema que pueda realizar las pruebas y un programa para el ordenador que sirva para introducir los requisitos de cada experimento y recopilar los datos obtenidos del mismo. El programa se encargará de seleccionar de manera aleatoria que audio se reproducirá de manera que el pájaro no se aprenda el orden y simplemente reaccione para obtener comida. El programa se encargará de procesar las reacciones a cada audio del pájaro en un documento Excel. La jaula como podemos ver en la Figura 1 estará formada por:

- Dos botones, uno será el botón de reacción que el pájaro deberá pulsar si reconoce un audio. El otro botón será el que el pájaro debe pulsar si esta preparado para realizar otra prueba, de

esta manera el pájaro sabrá cuando esta en una prueba y decidirá cuando hacerla. Si el pájaro pasa un intervalo de tiempo marcado por el investigador sin pulsar este botón la prueba se dará por finalizada.

- Un dispensador de comida con un sistema electrónico para dar la cantidad exacta de comida para premiar al pájaro cuando acierte.
- Una luz superior que se mantendrá encendida todo el tiempo a no ser que el pájaro no acierte y entonces se apagará durante unos segundos.
- Un altavoz de alta calidad para reproducir los audios.
- Una PCB que se encargará de conectar la jaula al ordenador donde se ejecute el programa. Esta PCB estará conectada directamente al dispensador de comida, la luz y los botones para poder realizar las pruebas.
- Componentes extras como una percha para el pájaro y un dispensador de agua.

En este documento se recogerá el diseño de todo el hardware del proyecto lo que incluye el diseño de la PCB y el dispensador de comida así como del funcionamiento de la luz y de los botones. El software del programa, la conexión del audio, la programación del microcontrolador y la conexión USB será parte del trabajo del resto de miembros del equipo encargado de este proyecto.

2. Motivación

La investigación llevada a cabo por la doctorada Shelby Lawson consiste en entender y comprender el lenguaje de los pájaros. Busca descifrar las señales que utilizan para comunicarse y si siguen algún patrón específico. Entender esta comunicación ayuda entender mejor como se transmiten y procesan señales lo que puede aplicarse a muchos otros campos de investigación. En materias como el procesamiento digital de señal esta investigación podría suponer un significativo avance.

Crear el sistema autónomo descrito previamente puede acelerar esta investigación y perfeccionarla. Al evitar el contacto directo del pájaro con humanos durante el experimento los resultados obtenidos serán más precisos. Esto se debe a que se puede situar la jaula en una caja insonorizada de manera que el pájaro solo se vea sometido a los estímulos sonoros del experimento.

3. Objetivos

Los principales objetivos de esta parte del proyecto descrita en este documento son los siguientes:

- Castigar cuando el pájaro falle apagando la luz por unos segundos.
- Premiar cuando el pájaro acierte dando unos granos de comida.
- Hacer el tiempo que la luz permanece apagada y la cantidad de comida con la que se premia al pájaro personalizables.
- Un precio inferior a \$500 para crear una diferencia importante con los sistemas que ya existen en el mercado.

Además de estos objetivos el Proyecto en general tiene que cumplir también los objetivos descritos a continuación:

- Que la persona responsable del proyecto pueda transmitir los audios deseados en formato .wav y estos se puedan reproducir con alta calidad.
- Exportar archivos Excel con los datos de los experimentos.
- Una interfaz del programa sencilla para que la pueda utilizar cualquier usuario.

4. Ética y Riesgos

Este proyecto se va a utilizar para experimentar con animales por lo que fue muy importante antes de hacer cualquier avance revisar todas las cuestiones éticas y riesgos que podría haber. Al ser un proyecto realizado en la Universidad de Illinois en Urbana Champaign, Estados Unidos, el proyecto deberá cumplir la legislatura y códigos éticos por los que se rige esta universidad.

El código de ética y conducta profesional de ACM que busca regular las acciones de los profesionales en el mundo de la tecnología en busca siempre del bien del público. La sección 2.3 de este código: *“Conocer y respetar las reglas vigentes relacionadas con el trabajo profesional”* [2]., por lo que hubo que informarse de las reglas para poder hacer experimentos con animales. En la Universidad de Illinois antes de trabajar con animales es obligatorio rellenar y entregar los protocolos IACUC que cumplen con las legislaturas vigentes respecto al cuidado e investigación de animales en Estados Unidos. El proyecto fue aceptado gracias que cumplía todas estas legislaturas.

El código de ética y conducta profesional de ACM en su sección 1.2: *“Evitar el daño”*, el principal objetivo de este proyecto es evitar cualquier daño al pájaro. Los pájaros son premiados con una cantidad específica de comida que es marcada por el responsable del proyecto para nunca sobrealimentar al pájaro. EL pájaro es castigado apagando la luz lo que realmente no supone ningún daño al pájaro sino simplemente una señal de que algo ha hecho mal y no recibirá comida. El tiempo que la luz se mantiene apagada también es marcado por el responsable del proyecto de manera que no sea muy largo y pueda estresar al pájaro. De estas maneras se evita dañar al pájaro tanto física como mentalmente. Otra precaución que se tomará es poner un tiempo límite para que el pájaro se mantenga inactivo, si después de ese tiempo introducido por el responsable del proyecto el pájaro no responde el experimento se dará por finalizado.

El IEEE es una organización de técnicos profesionales por el avance en la tecnología que desarrolló un código ético aprobado en agosto de 1990 para regular el comportamiento de los profesionales. Siguiendo este código en la sección 6: *“Mantener y mejorar nuestras competencias técnicas, y aceptar tareas para otros sólo si estamos cualificados por adiestramiento o experiencia, o después de exponer completamente las limitaciones pertinentes”*[4]. Por ello se hicieron reuniones continuas con la doctorada Shelby Lawson de manera que pudiese adiestrarnos en como trabajar con pájaros y nos enseñase las limitaciones pertinentes. Al mismo tiempo como el proyecto se dejará luego en manos de otros profesionales será necesario hacer una interfaz sencilla del programa con un adiestramiento. en su uso para que cualquier persona pueda usarlo con los conocimientos necesarios. Por otro lado siguiendo este código en la sección 9: *“Evitar dañar a otros, sus propiedades, reputación o puesto de trabajo mediante acción falsa o maliciosa”* [4]. Por ello este proyecto solo se autorizará para su uso en experimentos reales cuando se haya comprobado con alta fiabilidad que funciona correctamente y que da unos datos precisos de los resultados de las pruebas. Esto es importante ya que el estudio que se sacará de estos experimentos será parte del trabajo de la doctorada Shelby Lawson por lo que su reputación depende de su buen funcionamiento.

Además de cumplir estos códigos éticos el proyecto debe evitar cualquier posible riesgo que pueda producirse. Por ello todos los cables deben estar fuera de la jaula o escondidos para evitar que el pájaro pueda picarlos y pueda sufrir algún daño. Los cables que haya que esconder se introducirán detrás de otros elementos o en el interior de cajas de material opaco. Todo el hardware con el que los pájaros interactúen debe estar bien sujeto para que no lo pueda desprender. Finalmente para el altavoz es fundamental que se mantenga en una frecuencia de entre 1000Hz y 8000Hz para evitar cualquier estrés en el pájaro [5].

5. Diseño

El diseño general del proyecto se inició mediante la creación de un diagrama de bloques (presente en la *Figura 2*) entre todo el equipo para tener una idea clara de cómo iba a crearse el proyecto. Una vez hecho el diseño se repartió el trabajo entre los tres miembros que formaban el equipo.

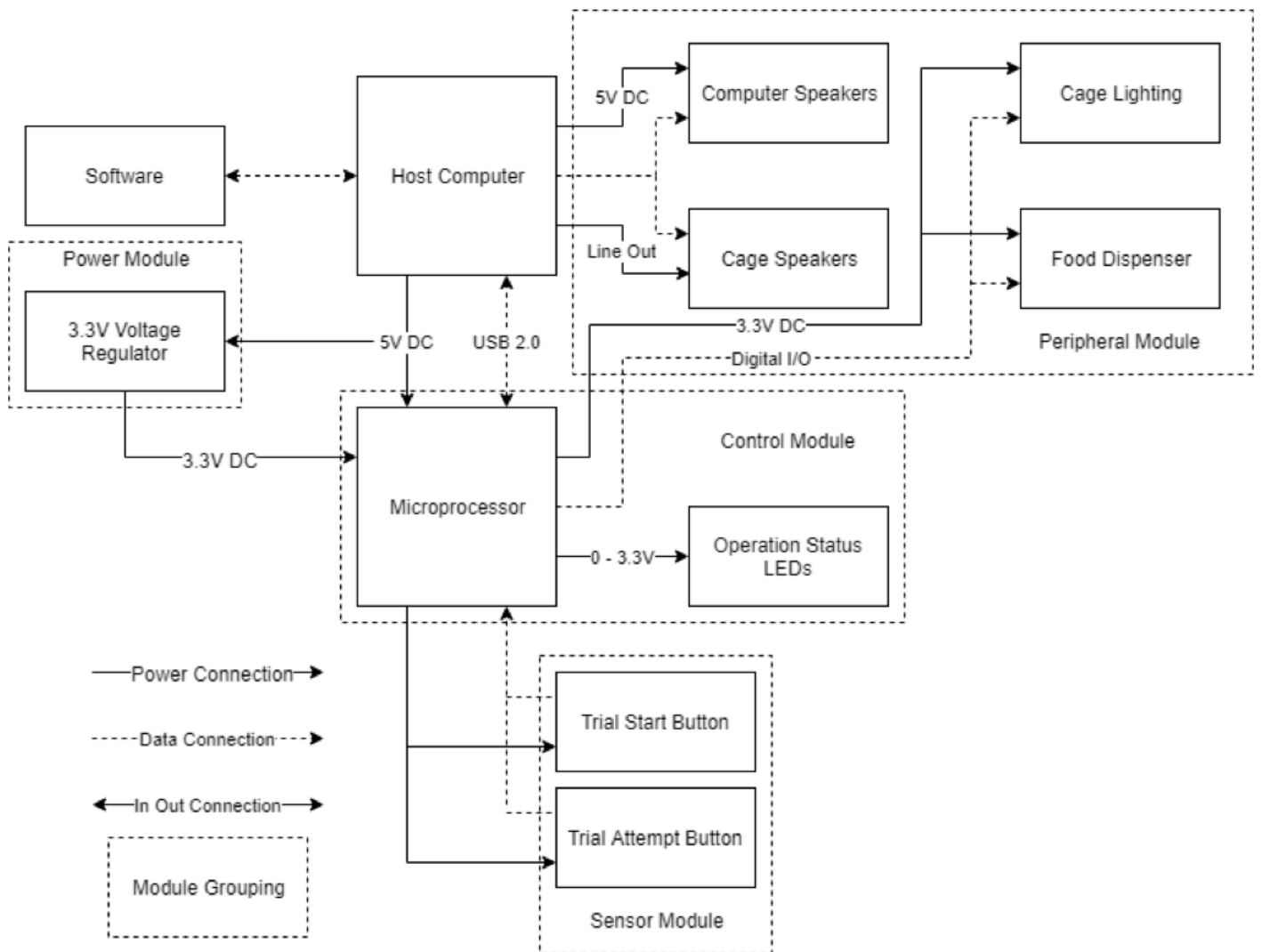


Figura 2: Diagrama de bloques [1]

En este documento se tratará el diseño de la PCB y de los componentes que a ella están conectados. El diseño de la PCB se hará usando el software de diseño Eagle donde se diseñaron cada módulo por separado para luego unirlos todos y crear la PCB.

Como se puede ver este proyecto se puede dividir en cuatro bloques principales para simplificar así su diseño. El módulo central es el llamado en la *Figura 2* como “*Control module*”, es decir, el módulo de control que incluirá el microcontrolador y unos LEDs que representen lo que está ocurriendo. Un módulo necesario para el funcionamiento del microcontrolador es el de potencia ya que hay que conseguir tanto un voltaje de 5V como de 3.3V. Finalmente los módulos encargados de las pruebas son el de sensores y el periférico sirven para que el pájaro reaccione y para responder a su reacción.

En este documento del módulo periférico se tratará el diseño del dispensador de comida y de la luz ya que son los componentes que van conectados a la PCB. Los altavoces en cambio van directamente conectados al ordenador y fueron parte del trabajo de otro miembro del equipo y fueron el único coste fuera de lo tratado en este documento.

5.1. Módulo de control

Este módulo consiste en el diseño de las conexiones necesarias para el correcto funcionamiento del microcontrolador elegido. El microcontrolador elegido por el equipo es el de la *Figura 3*, un ATmega16U2 [6]. Este microcontrolador nos proporciona la conexión USB necesaria para este proyecto además de ser compatible con la programación en Arduino.

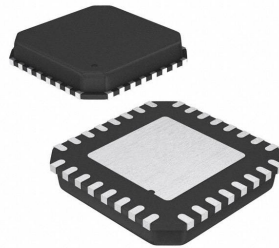


Figura 3: Microcontrolador ATmega16U2

Antes de usar este microcontrolador hubo que hacer un estudio de los datos técnicos mostrados en la *Figura 4* para ver si podía soportar las condiciones de trabajo a las que se le iba a someter. Respecto a los límites de temperatura no hay ningún problema ya que tienen un amplio rango al que no se verá sometido. Por otra parte para asegurarnos que la tensión de RESET permanece en sus límites se conectó al pin 4 (VCC) con voltaje de 3.3V mediante una resistencia de 10k Ω .

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on any Pin except $\overline{\text{RESET}}$ & UVcc with respect to Ground ⁽⁷⁾	-0.5V to V _{CC} +0.5V
Voltage on $\overline{\text{RESET}}$ with respect to Ground	-0.5V to +13.0V
Voltage on UVcc with respect to Ground.....	-0.5V to +6.0V
Maximum Operating Voltage	6.0V
DC Current per I/O Pin	40.0 mA
DC Current V _{CC} and GND Pins.....	200.0 mA

Figura 4: Datos técnicos del microcontrolador ATmega16U2 [6].

La conexión entre el microcontrolador y el ordenador se hizo colocando un puerto USB hembra que se conectó al microcontrolador a través del pin 28 (UVCC) donde se transmiten los 5V, los pines 29 y 30(D- y D+) por donde se transmiten los datos y el pin 31(UGND) que se conectó a tierra. Como se ha indicado antes la tensión que se suministrará en UVCC y será de 5V que se encuentra en los límites (-0.5V a 6V) de la la tabla de datos técnicos de la *Figura 4*.

Finalmente se tuvo en cuenta la corriente que se va a consumir en total. Los LEDs [7] como se verá a continuación consumen 10mA cada uno por lo que es un total de 30mA. La luz probablemente consuma el máximo de corriente del pin por lo que serán 40mA. Por lo que son un total de 70mA quedando 130mA para los botones, motor del dispensador de comida y las transmisiones de datos del USB. Más a delante se verá que el motor en cambio consume 500mA por lo que se usará un controlador y una batería externa. Gracias a eso con los 130mA habrá suficiente corriente para la transmisión de datos y mandar señal a través de los pines conectados al controlador del motor y recibir la de los interruptores.

Además de las conexiones descritas anteriormente el microcontrolador necesita otras más para su correcto funcionamiento. Necesita un filtro de paso bajo entre el pin 32 (AVCC) y el pin 4 (VCC) que se creo con una resistencia de $4.7k\Omega$ y un condensador de $9.0nF$. Se creo el reloj externo usando un oscilador cerámico de $16Hz$ conectado a los pines 1 (XTAL1) y 2 (XTAL2) a través de dos condensadores de $22pF$ como se indica en la *Tabla 1*.

Frequency Range ⁽¹⁾ (MHz)	CKSEL3..1	Recommended Range for Capacitors C1 and C2 (pF)
0.4 - 0.9	100 ⁽²⁾	–
0.9 - 3.0	101	12 - 22
3.0 - 8.0	110	12 - 22
8.0 - 16.0	111	12 - 22

Tabla 1: Datos para el oscilador del microcontrolador [6].

Para poder introducir los datos necesarios en el microcontrolador se creo un puerto programable con acceso directo a los siguientes pines: RESET, TX, RX, 5V y GND. Los pines TX y RX no pueden estar unidos a ningún otro elemento de la PCB ya que no es posible programar el controlador si no están totalmente libres.

En este proyecto es importante saber en que punto del experimento se encuentra el pájaro y para ello se conectaron tres LEDs (verde, amarillo y rojo) que se encendía siguiendo el siguiente código:

- El LED amarillo se mantiene encendido indicando que se esta realizando un experimento.
- El LED verde se mantendrá encendido al mismo tiempo que el LED amarillo cuando se este reproduciendo un audio real
- El LED rojo se mantendrá encendido al mismo tiempo que el LED amarillo cuando se reproduzca un audio falso.
- Si solo se enciende el LED verde indica que el pájaro ha acertado.
- Si solo se enciende el LED rojo indica que el pájaro ha fallado.

Para proteger los LEDs se les conectó una resistencia en serie a cada uno que redujese la corriente a los $10mA$ que marca su hoja de datos. Para calcular el valor de esta resistencia se usó la *ecuación (1)*.

$$V_{fuente} - V_{led} = I * R \quad \text{ecuación (1)}$$

Sustituyendo en la *ecuación (1)* los valores del voltaje que ofrece el pin ($V_{fuente} = 3.3V$), el voltaje de caída del LED indicado en su hoja de datos ($V_{led} = 2.1$) y la corriente que buscamos obtener ($I = 10mA$) obtenemos en la *ecuación (2)* el valor de la resistencia necesaria que es de 120Ω .

$$\begin{aligned} 3.3 - 2.1 &= 10 * 10^{-3} * R \\ R &= 120\Omega \end{aligned} \quad \text{ecuación (2)}$$

El esquema final de este modulo se puede ver en la hoja 4 del documento de planos en el plano titulado como *Control Module* (página 54).

5.2. Módulo de potencia

La PCB estará alimentada a través de la conexión USB. Es un USB 2.0 estándar que da una tensión de 5V y favorece la transmisión de datos. Pero la mayor parte del hardware funciona con 3.3V por lo que se usará un convertor de tensión para pasar de 5V a 3.3V.

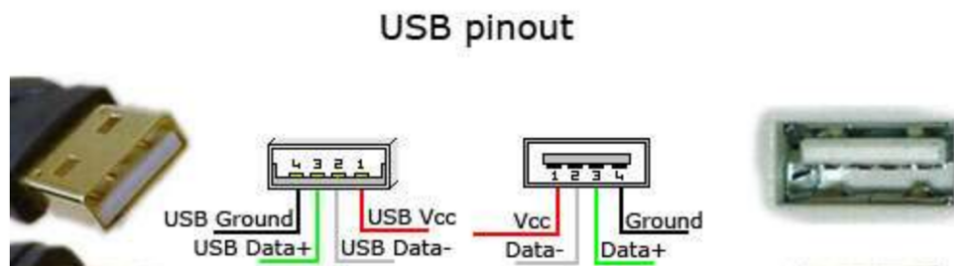


Figura 5: Conexión USB [8].

Se utilizó un USB 2.0 ya que es el más común además de tener una alta velocidad de transmisión de datos 35 MB/s que es suficiente. Este tipo de USB tiene cuatro líneas, dos para transmisión de datos (D+ y D-), una de tensión (5V) y otra de tierra. El conector USB hembra se soldó a la placa y se conectó al microcontrolador siguiendo el esquema de la *Figura 5*.

Para bajar la tensión a 3.3V se usará un LM1117 [9] que es un regulador lineal de caída baja que ofrece limitación de corriente fundamental para no sobrecargar el microcontrolador así como un apagado térmico para evitar su sobrecalentamiento [10]. Este controlador permite una tensión de salida regulable mediante dos resistencias que da un voltaje de entre 1.25V y 13.8V con un error del $\pm 1\%$.

Para conseguir un voltaje de 3.3V se tuvieron que calcular las resistencias usando la *ecuación (3)* y la *ecuación (4)* [9]. Se tomó como condensador ajustable para favorecer la eliminación del rizado un condensador de $10\mu\text{F}$ y se tuvo en cuenta que la frecuencia de rizado es de 120Hz. Estos datos se sustituyeron en la *ecuación (3)* para calcular el valor de la R_1 que debía ser mayor que $132.69\ \Omega$ por lo que se aproximó a $140\ \Omega$. Tras esto se usó la *ecuación (4)* para calcular el valor de R_2 sabiendo que el valor de la tensión de salida que se quería era de 3.3V y dio un valor de aproximadamente $230\ \Omega$.

$$\frac{1}{2\pi \cdot f_{\text{ripple}} \cdot C_{\text{adj}}} < R_1 ; \frac{1}{2\pi \cdot 120 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} < R_1 ; 132.69\ \Omega < R_1 \quad \text{ecuación (3)}$$

$$V_{\text{out}} = 1.25 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) ; 3.3 = 1.25 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{140}\right) ; R_2 = 229.6\ \Omega \approx 230\ \Omega \quad \text{ecuación (4)}$$

Además de estas resistencias y el condensador ajustable se necesita un condensador de salida y otro de entrada. El valor de estos condensadores se obtuvo de la hoja de datos siendo el de entrada de $10\mu\text{F}$ y el de salida de $100\mu\text{F}$. Para proteger estos condensadores se utilizaron dos diodos tal y como se ve en la hoja 1 del documento de planos en el plano titulado como *Power Module* (página 51).

5.3. Módulo de sensores

Este modulo consiste en los dos botones con los que interactuará el pájaro. Estos botones tienen que cumplir ciertas requisitos:

- Ser muy sensibles ya que los pájaros no tienen mucha fuerza en el pico.
- Tener un tamaño grande para que el pájaro los vea.
- Que se diferencien por color los dos botones.



Figura 6: IP00 Snap Action Limit Switch Lever [11].

Se usó el botón que aparece en la *Figura 6* ya que cumple las dos primeras condiciones. Son interruptores preparados para mandar una señal con un mínimo contacto además de que la larga palanca para activar el interruptor necesita de menor fuerza para presionarla. El tamaño es de 49 x 17.5 x 24mm, suficiente para que sea visible por el pájaro. Para cumplir la tercera condición se pegó en el extremo de las palancas un led rojo y otro verde sin conectar simplemente para que haya una diferencia significativa entre ambos. El botón con el led rojo es el que debe pulsar cuando este preparado para realizar una prueba y el del led verde cuando quiera reaccionar. A su vez estos botones se situaron dentro de la jaula en el interior de una caja negra de plástico para que el pájaro no intente picar los cables.

La conexión de este tipo de interruptor se puede ver detalladamente en la hoja 2 del documento de planos en el plano titulado como *Sensor Module* (página 52). Como se puede apreciar en el plano estos botones deben estar conectados de la siguiente forma: NC a tierra, NO a 5V y COM a algún pin del microcontrolador. Los pines de este tipo de botón son tornillos por lo que para conectarlos a la PCB se soldaron unos cables a los tornillos.

5.4. Módulo periférico

5.4.1. Iluminación

La luz fue donada por el departamento de biología ya que debía cumplir una luminosidad específica por el bienestar del pájaro. Esta luz consistía en una tira de luz blanca que se conectaba a una fuente de tensión a través de USB y con un interruptor. Como el microcontrolador no admite otra conexión USB se cortó el cable de conexión quitando la conexión USB así como el interruptor. Al cortar se cogieron los cables de tensión (rojo) y de tierra (negro) y se conectó la tensión a un pin del microcontrolador y el negro a tierra. Al ser una luz de bajo consumo la intensidad que otorga el microcontrolador es suficiente para iluminar la luz.

La conexión de la luz se hizo como se ha explicado anteriormente cortando el cable con un cortacables suficientemente fuerte ya que se trata de un cable de un grosor de 6mm de diámetro. Se peló el final del cable rojo y negro asegurando que no hubiese ningún corte que provocase un corte entre ambos cables.

5.4.2. Dispensador de comida

El diseño del dispensador de comida es la parte más compleja del proyecto ya que exige un nivel de precisión muy alto para otorgar un número de granos determinado. Para su diseño primero hubo que estudiar el tipo de comida que se iba a dar al pájaro. Las semillas que serán utilizadas en estos experimentos tienen todas una forma similar prácticamente esférica y de un diámetro de 2mm aproximadamente.

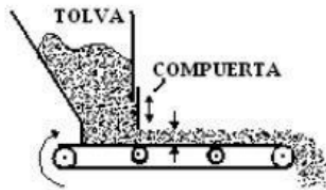


Figura 7: Mecanismo de Banda Rodante
(Torres, 2012) [12]

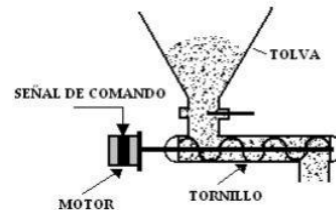


Figura 8: Mecanismo de Tornillo sin fin
(Torres, 2012)[12]

Muchos diseños fueron planteados para intentar buscar una solución. Una idea fue hacer un dispensador que funcionase por presión pero las semillas pesaban muy poco por lo que no era posible. Otras ideas inspiradas en un trabajo llamado “Dispensador automático de comida para mascotas, programable y controlado remotamente” [12] son las que se van a tratar a continuación. Un dosificador de banda rodante como el de la Figura 7 pero tiene un problema y es que no es capaz de dejar sacar los granos uno a uno. Otra opción es un dosificador de tornillo como el de la Figura 8 que aunque podría ser capaz de coger los granos de manera individual al hacer una rendija fina tiene el problema de que la precisión de control del motor debería ser muy alta lo que resulta muy complicado. Finalmente otra opción que se propone en el trabajo mencionado anteriormente es un dosificador de compuerta rotativa como el de la Figura 9 y es este en el que finalmente se inspiró el dispensador de comida diseñado en este proyecto.

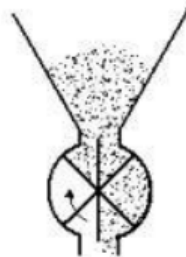


Figura 9: Mecanismo de Compuerta Rotativa (Torres, 2012) [12].

El diseño final de este dispensador de comida consistirá en modificar un dispensador de comida de plástico tubular normal al que se le añadirán los elementos necesarios para su funcionamiento automático. Estos componentes serán descritos a continuación:

a) Cilindro con corte de embudo

En mitad del tubo de la comida se introducirá un cilindro con forma interior de embudo para ir dejando salir grano a grano la comida. Las dimensiones de este cilindro serán de 4.4cm de diámetro y 5mm de altura. La medida del diámetro es un milímetro menos que el diámetro del tubo del dispensador de comida lo que fue suficiente para poder ajustarlo al tubo con ayuda de una lija. El diámetro superior del embudo interior es de 4cm y el inferior de 3mm que es suficiente para que los granos no se atasquen pero que impide la entrada de dos granos a la vez.

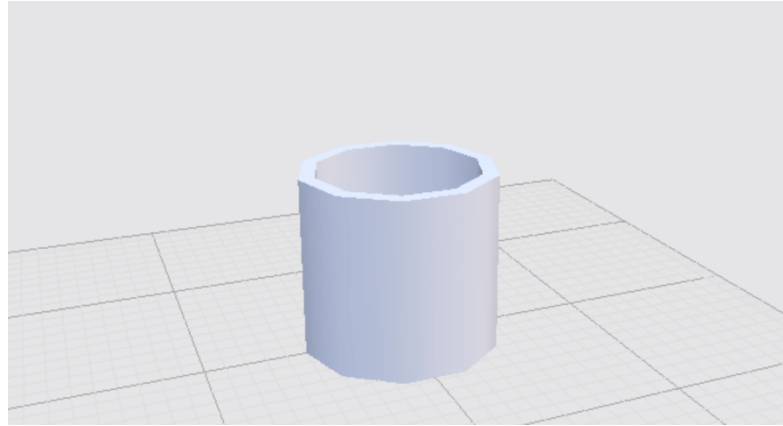


Figura 10: Diseño para impresión 3D del diseño

El diseño del cilindro se hizo usando el software CREO, como podemos ver en la *Figura 10*, y luego se paso el fichero exportado al software Cura para llevar a cabo su impresión 3D usando la impresora Ultimaker 3 Extended [13] y mediante el material ABS en el laboratorio de innovación de la facultad de mecánica de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign.

b) Barra dentada

Como los granos son muy pequeños en vez de usar la puerta rotatoria de la *Figura 9* se usó una barra dentada de metal como la de la *Figura 11* que se colocó debajo del embudo. Esta barra dentada fue creada por el departamento de *Electrical and Computer Engineering* de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign con un ancho del espacio entre dientes de 2-3mm para que vaya cogiendo cada grano de manera individual. Esta barra fue conectada a un motor para que diese vueltas cuando el pájaro tenga que ser premiado



Figura 11: Ejemplo de barra dentada [14].

c) Motor

El motor elegido es un motor paso a paso, específicamente es un NEMA 17 [15] como el de la *Figura 12*. Este motor tiene una programación sencilla y tiene capacidad para aguantar largos experimentos. Este motor tiene una consumición de 0.5A por lo que necesitó una batería externa de 9V así como un controlador L293D [16].

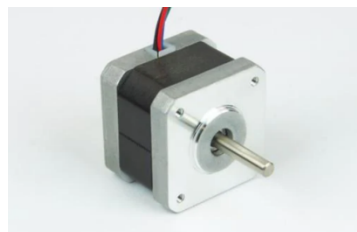


Figura 12: Motor paso a paso .5A Single Shaft 0.9 Deg NEMA 17

4 LEAD WIRES	1	2	3	4
Color Code 1	Red	Blue	Green	Black
Color Code 2	Brown	Orange	Red	Yellow
Color Code 3	Red	Red White Stripe	Green	Green White Stripe
Bipolar Driver	A	\bar{A}	B	\bar{B}

Tabla 2: Conexión del motor paso a paso con el controlador L293D [17].

Las conexiones entre el L293D y el motor se pueden ver detalladamente en la hoja 3 del documento de planos en el plano titulado como *Peripheral Module* (página 53) [18]. Y para conectar los cables del motor a los puertos correctos del motor en la PCB hay que tener en cuenta el código de colores de la *Tabla 2*. En el caso del motor que se utiliza en este proyecto en código de color es el uno por lo que el cable rojo ira al pin 1, el cable azul al pin 2, el cable verde al pin 3 y el cable negro al pin 4.

Por otro lado la pila de 9V se conecto a la PCB a través de un cable tipo portapila para baterías cuadradas de 9V DC con cable de 15cm.

Finalmente la unión de todos los elementos del dispensador de comida se creó con ayuda de la tienda de maquinaria del departamento de *Electrical and Computer Engineering* de la Universidad de Illinois en Urbana Champaign. Quedando finalmente el diseño como se puede ver en la *Figura 13* donde también se puede ver como quedan los interruptores dentro de la caja que los protege. Entre el tubo de plástico y el motor se puede ver un trozo de barra, esto esta hecho para que así se pueda ver si cuando deja de caer comida para es porque hay un problema de que un grano se ha quedado atascado o de que el motor haya dejado de funcionar.



Figura 13: Dispensador de comida e interruptores

5.5. PCB

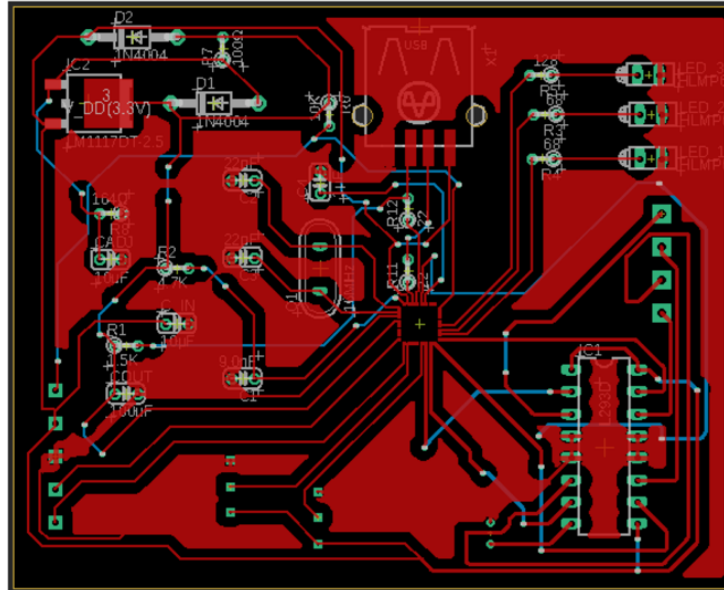


Figura 14: Diseño final de la PCB [1]

Para la creación de la PCB primero se finalizaron los esquemas y luego se hizo en Eagle el diseño final de la PCB que quedó como se puede ver en la *Figura 14*. La zona sombreada en rojo es el aislamiento de 50mil de perímetro que esta conectado a tierra. Una vez terminada la placa se mandó a la empresa de fabricación de PCBs llamada PCBWay para que creasen la placa con las siguientes características: 2 capas, usando FR-4, grosor de 1.6mm, mascara de soldadura verde y 1oz de Cu.

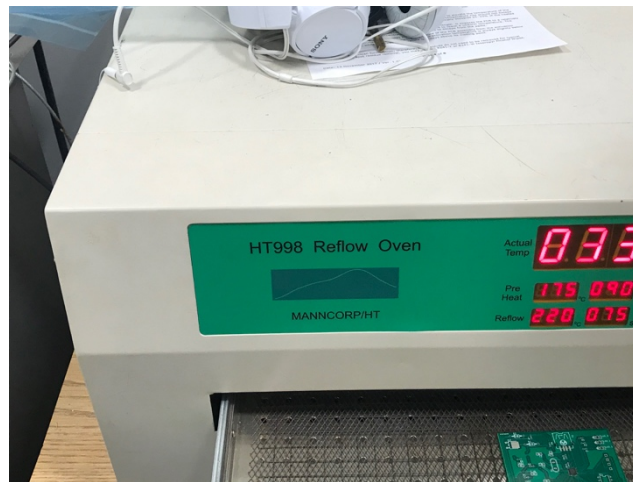


Figura 15: Horno de soldadura HT998

Cuando se recibió la placa se soldaron todos los componentes a la PCB con un soldador de estaño. El microcontrolador tenía un tamaño muy pequeño por lo que se probaron dos métodos para soldarlo. Primero se intentó utilizar pasta de soldadura usando el horno de soldadura de la *Figura 15* especial para soldar elementos pequeños pero la pasta de soldadura era muy gruesa para las pequeñas huellas del microcontrolador y se hacían cortos. El segundo método consistió en usar flux, colocar estaño en cada una de las huellas del microcontrolador en la PCB y luego usar un pistola de aire caliente y colocar el microcontrolador en la posición correcto. Este método fue el usado finalmente aunque requirió de varios intentos hasta conseguir que no hubiese ningún corto en el microcontrolador. Para el microcontrolador ATmega16U2 pudiese usarse en la PCB se usó el voltímetro y se fue viendo conexión a conexión que no hubiese ningún corto en su soldadura.

6. Verificaciones y Complicaciones

Para verificar el funcionamiento correcto de esta parte del proyecto sin tener en cuenta el resto de partes del proyecto se llevaron a cabo las siguientes pruebas:

- Modulo de potencia: se soldaron los componentes en la placa y se les introdujo una tensión de 5V midiéndose a la salida el valor con un voltímetro como se puede ver en la *Figura 16*. Los valores deberían tener una exactitud de $3.3 \pm 5\%$ a la salida y de $5.0 \pm 5\%$ a la entrada.

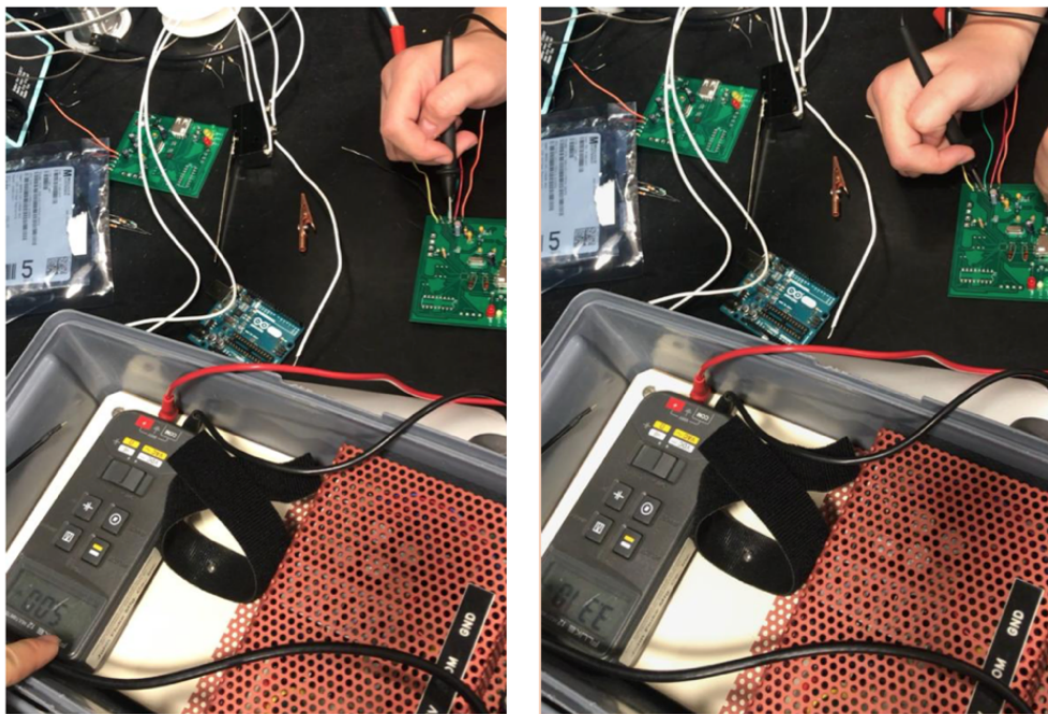


Figura 16: Imagen derecha midiendo los 5V de salida e imagen izquierda midiendo los 3.31V de salida [1]

Tras hacer la verificación como se muestra en la *Figura 9* la entrada es exactamente de 5.00V mientras que la salida es de 3.31V lo que es un error de 0.303% mucho menor que el 5% por lo que se puede verificar el correcto funcionamiento del regulador de tensión.

- Módulo de control, de sensores y periférico: Aquí es donde surgieron las complicaciones ya que no se pudo introducir el bootloader en el microcontrolador. Como este microcontrolador es el que normalmente se usa en las placas de Arduino para hacer la conexión entre el USB y el ATmega328 (o el microcontrolador de la placa que se este usando) por lo que habría que crear e introducirle un bootloader. Al no conseguirse este paso no se pudo unir la parte de hardware y la de software del proyecto por lo que no se pudo realizar una prueba real del funcionamiento de todo el sistema para su uso en un experimento real.

Pero para poder hacer una prueba simulando la conexión con el software se uso un microcontrolador ATmega328 [19] con el que el sistema funcionó correctamente para todas las pruebas posibles. En este microcontrolador se introdujo el código, que se puede encontrar en el *Anexo A* (página 65) de este documento, creado para el funcionamiento del sistema. Tras ello se probó que con todos los casos y pruebas el sistema funcionase. Los botones y LEDs

no tuvieron ningún problema mientras que la luz y el dispensador de comida funcionaron también correctamente apagando la luz el tiempo indicado y dando los granos precisos cada vez que el pájaro debía ser premiado según estaba indicado en el código.

La conexiones que se hicieron para usar el ATmega328 se pueden ver más detalladas en hoja 5 del documento de planos en el plano titulado *ATmega328* (página 55). Muchas de las conexiones son iguales que en el microcontrolador ATmega16U2. La gran diferencia es que no hay conexión USB ni puerto de programación, esto se debe a que primero se programo el ATmega328 en una placa Arduino y luego se soldó en la placa. Para simular la transmisión de datos que mandaría el USB se conectaron dos cables al pin 2 (PD0) y al pin 3 (PD1). Estos pines simulaban en código binario la información que se debía transmitir de que prueba se debía hacer. Los códigos se hacían conectando los pines a voltaje si queremos 1 o a tierra si queremos 0 y son los siguientes:

- La señal 00 significa estado de espera
- La señal 01 significa que se esta reproduciendo un audio real.
- La señal 10 significa que se esta reproduciendo un audio falso.

7. Resultado final

El resultado final del proyecto fue un funcionamiento correcto tanto del hardware como del software por separado. Lo único que falta para conseguir el funcionamiento final de este proyecto para poderlo usarlo en experimentos reales es la integración del software y el hardware. Este proceso consistiría en la creación e integración del software en el microcontrolador ATmega16U2 y la programación final para transmitir los datos de la cantidad de comida y tiempo de apagado de la luz al código introducido en el microcontrolador.

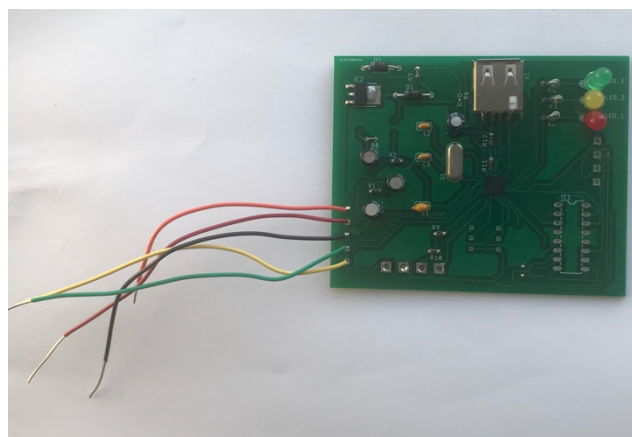


Figura 17: PCB soldada

La placa final quedó como se puede ver en la *Figura 17* pero no se llegaron a soldar los componentes del módulo periférico ya que la cantidad que se tenían de ellos era reducida y no se podían arriesgar. Los cables que se ven a la izquierda son los que se han colocado para realizar la programación del microcontrolador que se conectarían con ayuda de un cable *USB to Serial UART 5V TTL Heather cable*.

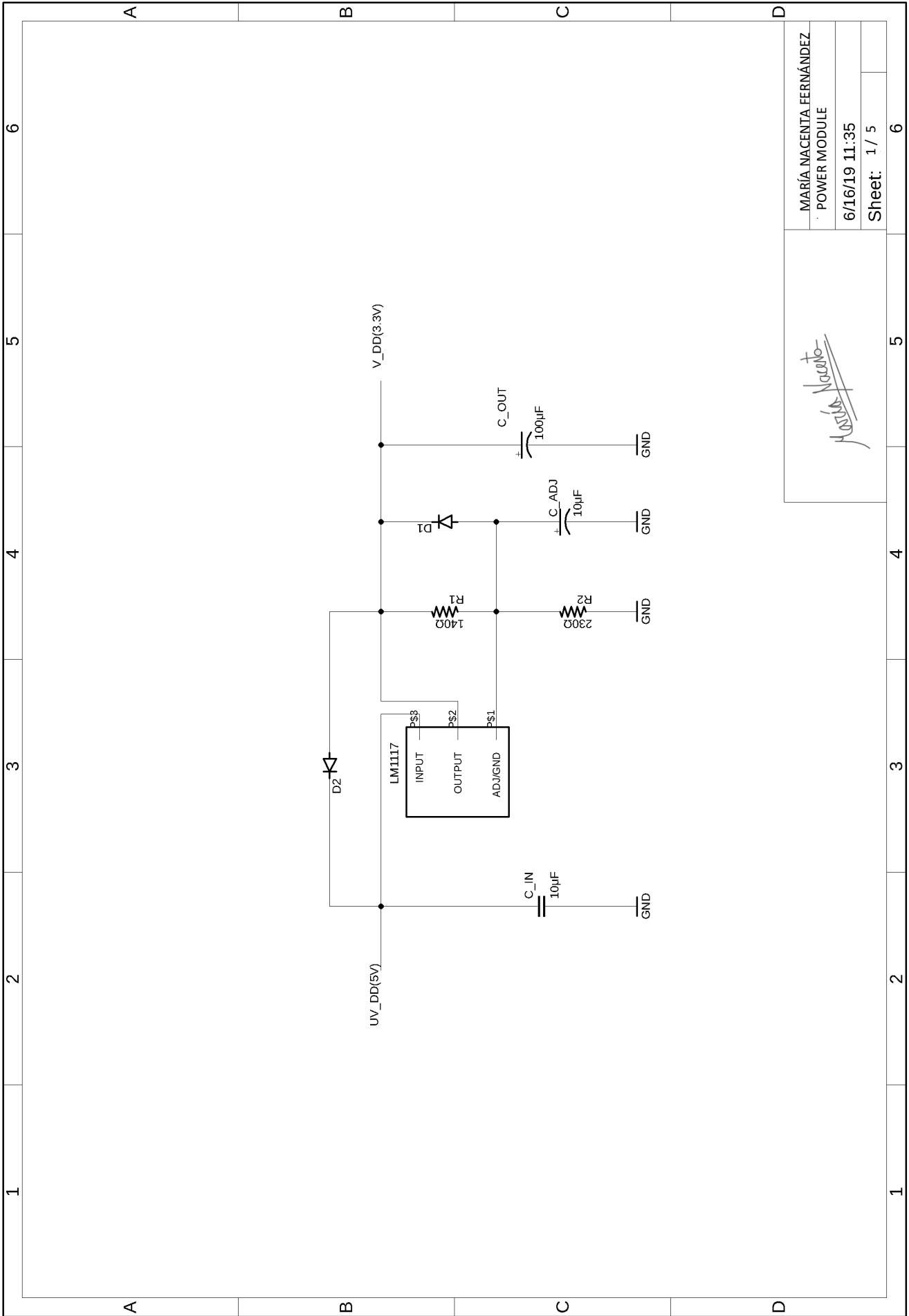
El ensamblaje final de la caja quedó como podemos ver en la *Figura 18*. Debido a que probablemente esta no acabe siendo la jaula final los componentes se engancharon a la jaula con ayuda de cables. El diseño final tendrá que estar enganchado con pegatinas o construyendo enganches ya que no puede haber cables a la vista del pájaro. Para introducir el dispensador de comida hubo que cortar las barras de la jaula el tamaño justo para introducir el comedero.



Figura 18: Jaula terminada

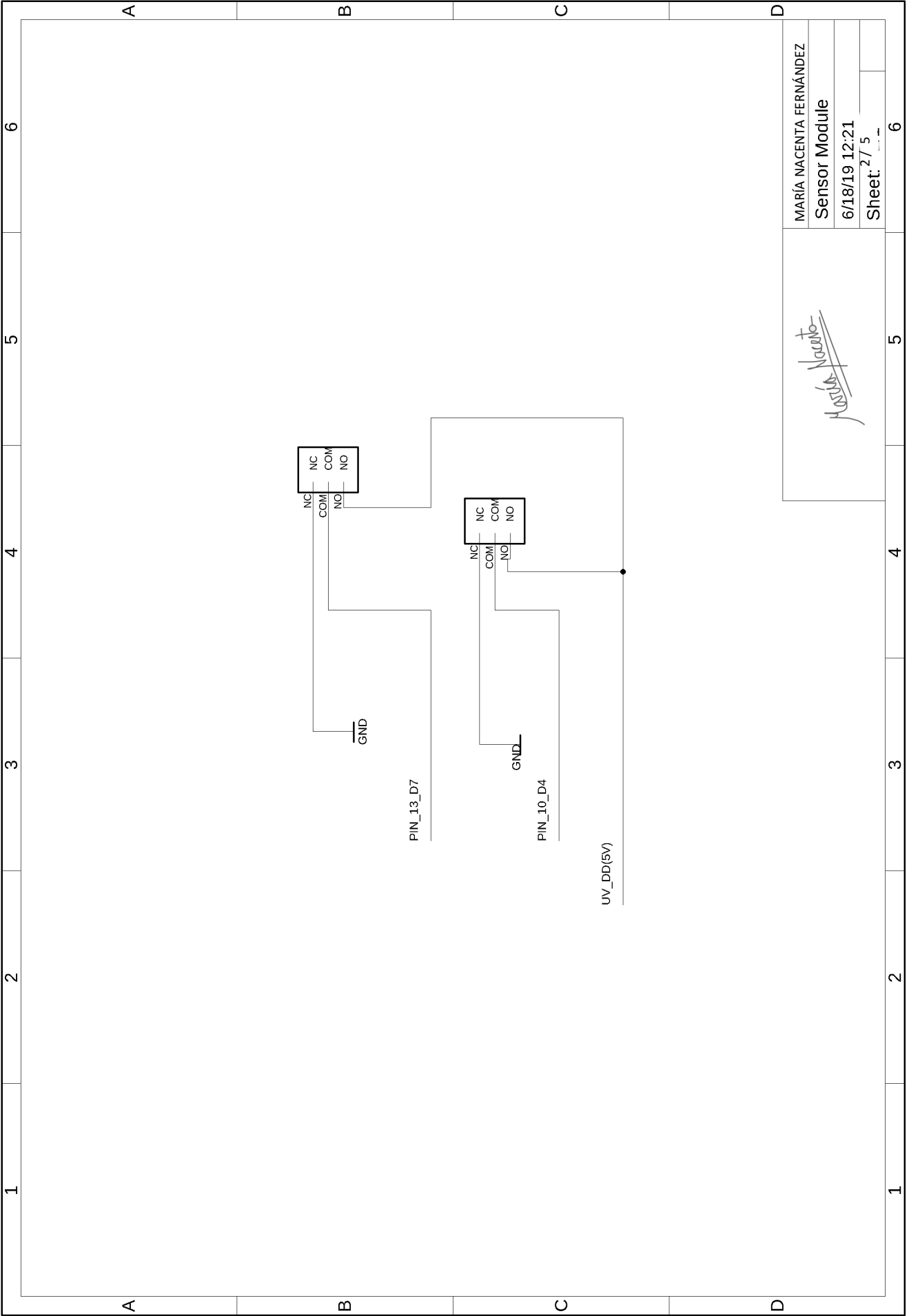
Finalmente uno de los resultados importantes de este proyecto es el coste final. En el *Documento 3: Presupuesto* (pagina 57) se puede ver que el coste total del proyector será de \$458.19 lo que cumple con uno de los objetivos principales de buscar un precio inferior a \$500.

DOCUMENTO 2: PLANOS



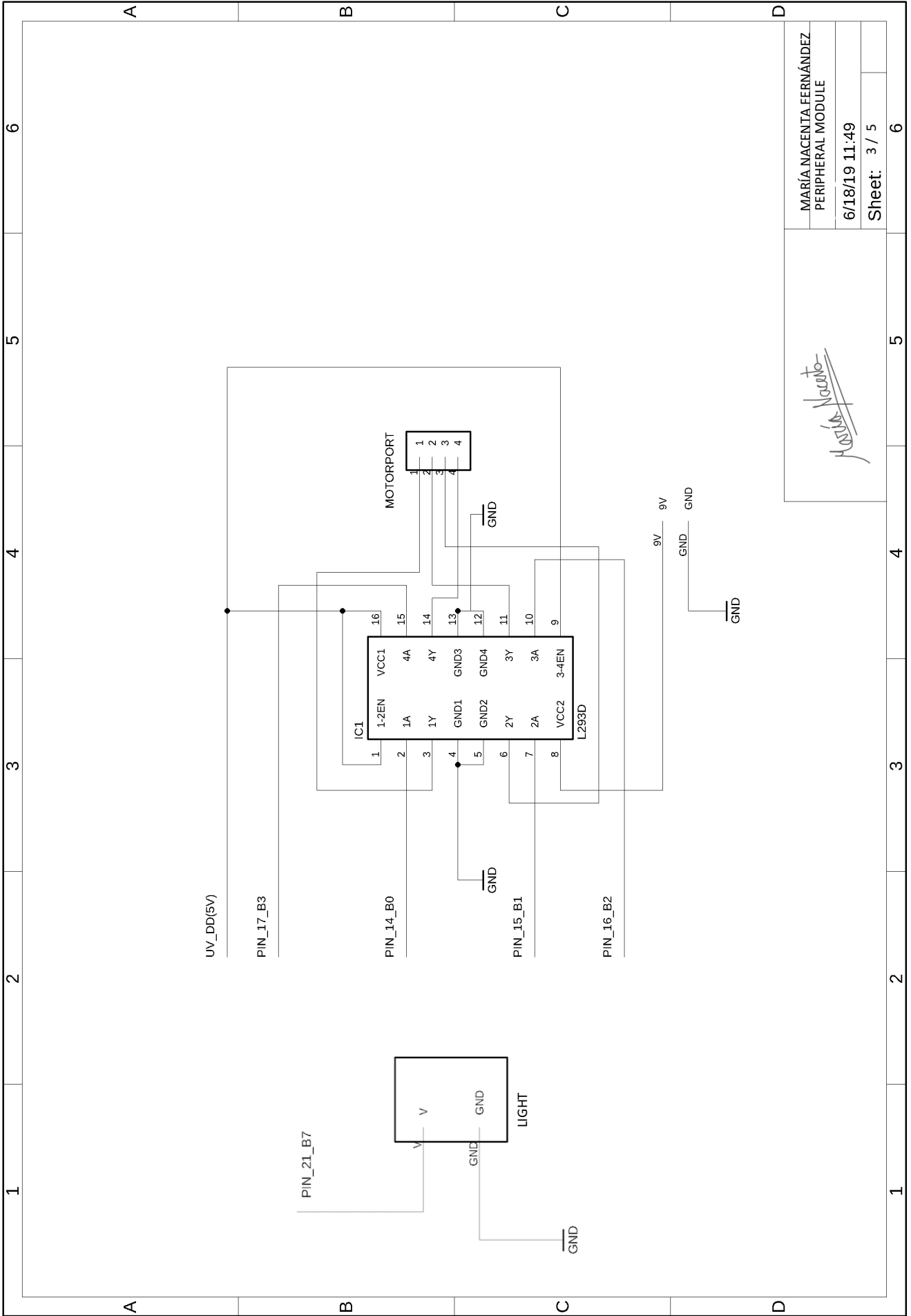
MARÍA NACENTA FERNÁNDEZ
 POWER MODULE
 6/16/19 11:35
 Sheet: 1 / 5

Maria Nacenta



MARÍA NACENTA FERNÁNDEZ
 Sensor Module
 6/18/19 12:21
 Sheet: 275

Maria Nacenta

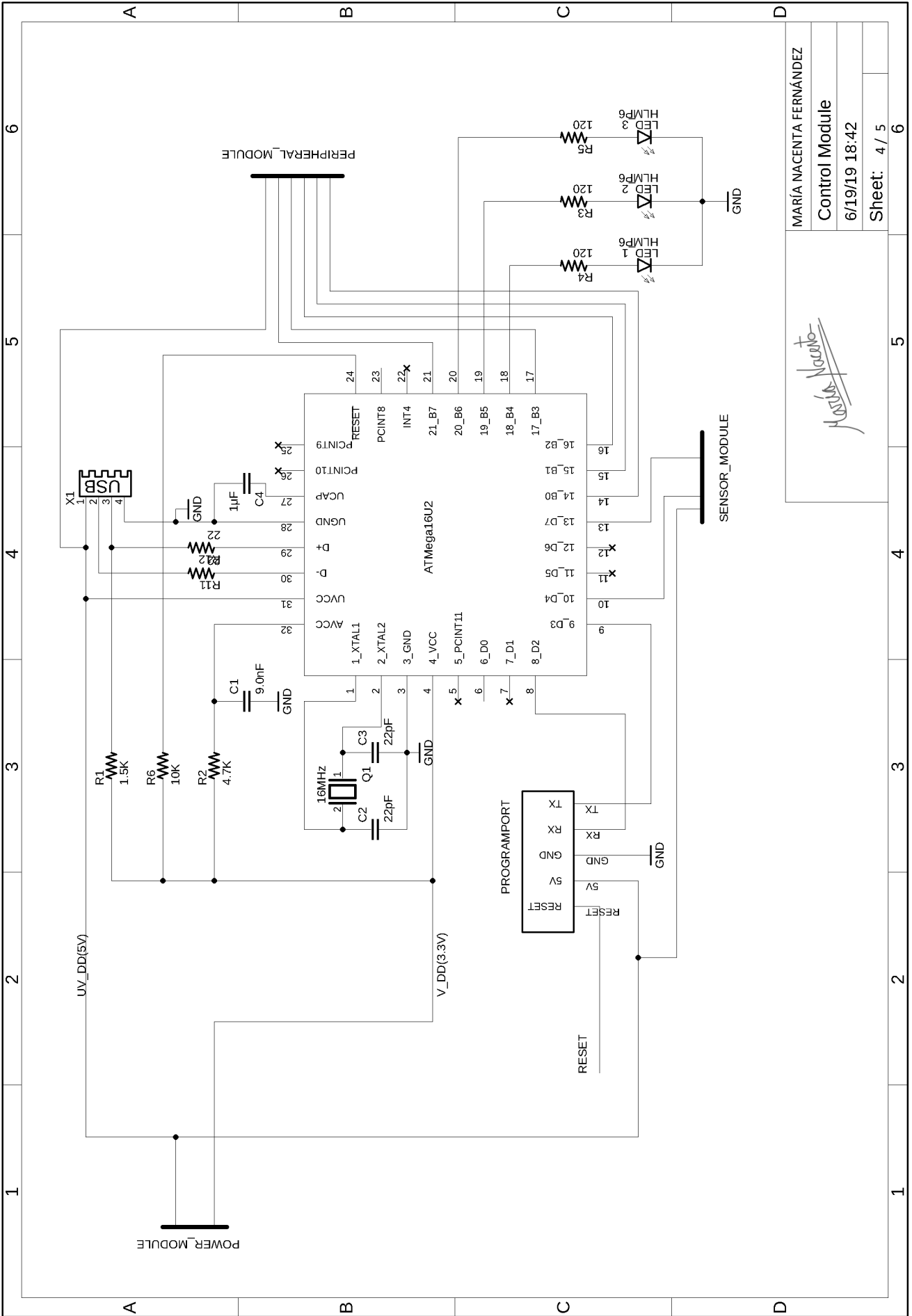


MARIA NACENTA FERNÁNDEZ
PERIPHERAL MODULE

6/18/19 11:49

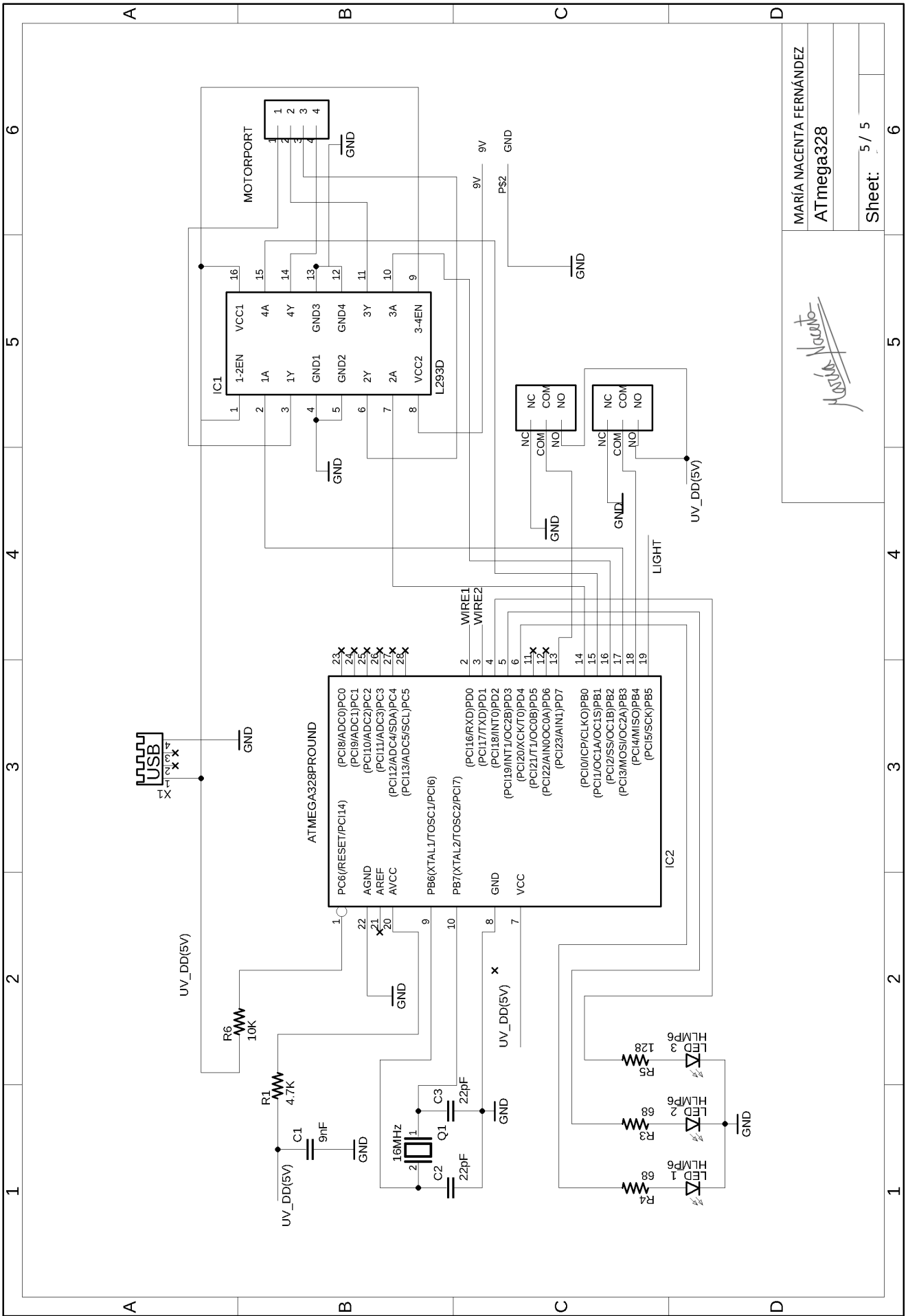
Sheet: 3 / 5

Maria Nacenta



MARÍA NACENTA FERNÁNDEZ
 Control Module
 6/19/19 18:42
 Sheet: 4 / 5

Maria Nacenta



MARÍA NACENTA FERNÁNDEZ
 ATmega328

Maria Nacenta

Sheet: 5 / 5

DOCUMENTO 3: PRESUPUESTO

1. Introducción

En este proyecto el coste del proyecto total es un factor muy importante. En la parte del proyecto incluida en este documento esta la mayor parte del coste del proyecto ya que reúne la mayor parte de los componentes físicos.

2. Costes

Para el coste total del proyecto habrá que tener en cuenta también el precio de los altavoces, el dispensador de comida, de la luz y de la jaula para el pájaro. El altavoz se incluye en el presupuesto de la parte de software ya que están directamente conectado al ordenador.

Como este diseño se esta realizando para pruebas de audición la calidad del altavoz es fundamental y por ello su precio es elevado. Siguiendo las directrices de la doctorada en biología Shelby Lawson se eligió el altavoz Vifa Compact HiFi Bluetooth Speaker con un precio de \$229 que fue financiado directamente por la facultad de biología de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign.

La jaula, el dispensador de comida y la luz fueron donados por parte de la facultad de biología de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign sin ningún coste por lo que para tener un presupuesto aproximado de lo que costaría rehacer este proyecto habrá que estimar un precio para estos tres elementos. Las jaulas del mismo tamaño que la utilizada tienen un precio alrededor de \$40, la luz blanca utilizada al no ser muy grande tendrá un valor de aproximadamente \$20 y el dispensador de comida un precio de \$8 aproximadamente. En total los elementos donados tienen un valor estimado de \$68.

En total el precio del proyecto incluyendo el altavoz, los componentes donados y el coste calculado del hardware en la Tabla 3 es de \$458.19 lo que cumple el limite de \$500.

Elemento	Precio unitario	Cantidad	Precio total
LM1117 Regulador de tensión [9]	\$1.10	1	\$1.10
Motor paso a paso NEMA 17 [15]	\$45.23	1	\$45.23
Batería Max 9V	\$13.90	1	\$13.90
L293D [16]	\$3.91	1	\$3.91
ATMEGA16U2A2 [6]	\$2.52	1	\$2.52
Oscilador	---	10	\$6.60
Entrada USB hembra	---	10	\$5.79
LEDs (rojo, amarillo y verde) [7]	\$0.61	5	\$3.05
Encargo PCB	---	10	\$38
Interruptores [11]	\$16.17	2	\$32.34
Resistencias, diodos y condensadores	---	---	\$8.75
TOTAL	\$161.19		

Tabla 3. Costes de componentes del hardware

REFERENCIAS

- [1] Bird Box Project design document ECE 445 University of Illinois at Urbana-Champaign by Kevin Chen, María Nacenta Fernández and Michael Zhang, February 2019.
<https://courses.engr.illinois.edu/ece445/projects.asp>
- [2] ACM.org ACM Code of Ethics and Professional Conduct, 1992. [Online]. Available at:
<https://www.acm.org/code-of-ethics>
- [3] Illinois Institutional Animal Care and Use Committee (IACUC). Regulatory Compliance & Safety, 2016. Available at:
<http://research.illinois.edu/regulatory-compliance-safety/research-integrity-and-ethics>
- [4] IEEE.org IEEE Code of Ethics, 2016. [Online]. Available at
<https://www.ieee.org/about/corporate/governance/p7-8.html>. (Accessed February 4, 2019).
- [5] All About Birds, Do Bird Songs Have Frequencies Higher Than Humans Can Hear?
<https://www.allaboutbirds.org/do-bird-songs-have-frequencies-higher-than-humans-can-hear/>
- [6] Microchip Technologies, 8 bit AVR Microcontroller with 16K bytes of ISP Flash and USB Controller, ATmega16U2 Datasheet, 2010. (último acceso 23/04/2019)
<https://www.mouser.com/datasheet/2/268/doc7799-1315152.pdf>
- [7] VCC 4303F Series Solid State LED T1 (3mm), 4303F5 Datasheet. Publishing Date Unknown. (último acceso 23/04/2019)
<https://www.mouser.com/datasheet/2/423/4303FSeries-SolidState-LEDLamps-SuperBright-T1-3mm-1064461.pdf>
- [8] Electro schematics, USB connections, October 2014 (último acceso 23/04/2019)
<https://www.electroschematics.com/4856/usb-how-things-work/>
- [9] Texas Instruments, LM1117 800 mA Low-Dropout Linear Regulator, LM1117 Datasheet, February 2000. [Revised January 2016]. (último acceso 23/04/2019)
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1117.pdf>
- [10] Digi-Key, Reguladores lineales de caída baja LM1117 Abril 2018
<https://www.digikey.com/es/product-highlight/t/texas-instruments/lm1117-low-dropout-linear-regulators>
- [11] IP00 Snap Action Limit Switch Lever, NO/NC, 500V (último acceso 25/04/2019)
<https://my.rs-online.com/web/p/limit-switches/4235301/>
- [12] Dispensador automático de comida para mascotas, programable y controlado remotamente, John David León Quenguan y Daniel Rueda Almario, Universidad del Valle 2013. (último acceso 17/03/2019)
<http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/9148/1/CB-0527751.pdf>

[13] Innovation Studio, 3D Printers, Ultimaker 3 Extended 2017 (último acceso 22/05/2019)
<https://innovationstudio.mechse.illinois.edu/tools/3d-printers/>

[14] Barra cilíndrica dentada (último acceso 10/06/2019)
https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1KFe6ayYrK1Rjy0Fdq6ACvVXax/Standard-Toothed-Bars-Timing-belt-pulley-bar.jpg_220x220.jpg

[15] Mouser Electronics, Stepper Motor Applied Motion HT17-221 Datasheet, November 2014 (último acceso 27/04/2019)
https://www.mouser.com/datasheet/2/30/HT17-221_RevB_0-771156.pdf

[16] Mouser Electronics, Power Management ICs Motor controller L293D Datasheet, July 2003 (último acceso 27/04/2019)
<https://www.mouser.com/datasheet/2/389/l293d-954810.pdf>

[17] Lin Engineering, Wiring connection for the motor (ultimo acceso 28/04/2019)
<https://www.linengineering.com/resources/wiring-connections/>

[18] Circuit magic, How to Run a Stepper Motor with an Arduino + L293D IC, May 2014, (ultimo acceso 28/04/2019)
<https://www.circuitmagic.com/arduino/how-to-run-a-stepper-motor-with-an-arduino-l293d-ic/>

[19] Sparkfun, Microcontroller with 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash, ATmega328 Datasheet, February 2009 (último acceso 28/04/2019)
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/ATMega328.pdf>

ANEXOS

ANEXO A. Código en Arduino para el desarrollo de las pruebas.

```
int inA1 = 14; // input 1 of the stepper
int inA2 = 15; // input 2 of the stepper
int inA3 = 16; // input 3 of the stepper
int inA4 = 17; // input 4 of the stepper
int light = 21; // Light
int led1 = 18; // Yellow Led
int led2 = 19; // Red Led
int led3 = 20; // Green Led
int switch1 = 13; // Switch ready
int switch2 = 10; // Switch answer
int stepDelay = 25; // Delay between steps in milliseconds
int p_c = 0;
int r_c = 0;
void setup() {
  //setup code here, to run once:
  pinMode(light, OUTPUT);
  pinMode(led1, OUTPUT);
  pinMode(led2, OUTPUT);
  pinMode(led3, OUTPUT);
  pinMode(switch1, INPUT);
  pinMode(switch2, INPUT);
  pinMode(30, INPUT); // Signal from the program
  pinMode(29, INPUT); // Signal from the program
  pinMode(inA1, OUTPUT);
  pinMode(inA2, OUTPUT);
  pinMode(inA3, OUTPUT);
  pinMode(inA4, OUTPUT);
}
void step1() {
  digitalWrite(inA1, LOW);
  digitalWrite(inA2, HIGH);
  digitalWrite(inA3, HIGH);
  digitalWrite(inA4, LOW);
  delay(stepDelay);
}
void step2() {
  digitalWrite(inA1, LOW);
  digitalWrite(inA2, HIGH);
  digitalWrite(inA3, LOW);
  digitalWrite(inA4, HIGH);
  delay(stepDelay);
}
void step3() {
  digitalWrite(inA1, HIGH);
  digitalWrite(inA2, LOW);
  digitalWrite(inA3, LOW);
  digitalWrite(inA4, HIGH);
  delay(stepDelay);
}
void step4() {
  digitalWrite(inA1, HIGH);
  digitalWrite(inA2, LOW);
  digitalWrite(inA3, HIGH);
  digitalWrite(inA4, LOW);
  delay(stepDelay);
}
```

```

}
void stopMotor() {
    digitalWrite(inA1, LOW);
    digitalWrite(inA2, LOW);
    digitalWrite(inA3, LOW);
    digitalWrite(inA4, LOW);
}

void idle() {
    digitalWrite(led1, HIGH);
    digitalWrite(led2, LOW);
    digitalWrite(led3, LOW);
    digitalWrite(light, HIGH);
    delay(1000);
}

void punish() {
    delay(5000);
    digitalWrite(led3, LOW);
    digitalWrite(led2, HIGH);
    digitalWrite(led1, HIGH);
    digitalWrite(light, LOW);
    delay(5000);
}

void reward() {
    for (int i = 0; i <= 30; i++) {
        step1();
        step2();
        step3();
        step4();
    }
    stopMotor();
    digitalWrite(led3, HIGH);
    digitalWrite(led2, LOW);
    digitalWrite(led1, HIGH);
    delay(1000);
}

void punish_light() {
    digitalWrite(led2, HIGH);
    digitalWrite(led1, LOW);
    digitalWrite(led3, LOW);
    delay(1000);
}

void reward_light() {
    digitalWrite(led3, HIGH);
    digitalWrite(led2, LOW);
    digitalWrite(led1, LOW);
    delay(1000);
}

void loop() {
    // main code
    // idle state yellow light on

    digitalWrite(light, HIGH);

    // all lights on because the bird want to start
    if (digitalRead(switch1) == HIGH) {
        digitalWrite(led1, HIGH);
        digitalWrite(led2, HIGH);
        digitalWrite(led3, HIGH);
    }
}

```

```
    delay(1000);
}

//state where the bird gets punished, sham sound
if( digitalRead(30) == HIGH && digitalRead(29) == LOW) {
    /*punish state*/
    punish_light();

    if (digitalRead(switch2) == HIGH) {
        p_c = 1;
        delay(3000);
    }
    if ( p_c != 0) {
        punish();
        p_c = 0;
        idle();
    }
    else{
        punish_light();
    }
}

//state where the bird gets reward (food), real sound
else if(digitalRead(29) == HIGH && digitalRead(30) == LOW) {
    /*reward*/
    reward_light();
    if (digitalRead(switch2) == HIGH) {
        r_c = 1;
        delay(3000);
    }
    if (r_c != 0) {
        reward();
        r_c = 0;
    }
    else{
        reward_light();
    }
}
// more idle state
else{
    idle();
}
}
```