



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño de un sistema en Arduino para el estudio de la evaporización del agua para su utilización en proyectos de desarrollo en zonas desfavorecidas

Autora: Irene Presa Cárdenas

Co-Directora: María Ana Saenz Nuño

Co-Director: Ramiro Viñuales Ferreiro

Madrid

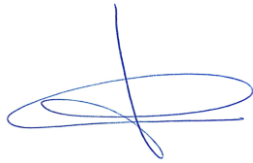
Julio de 2021

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
“Diseño de un sistema en Arduino para el estudio de la evaporización del agua para su
utilización en proyectos de desarrollo en zonas desfavorecidas”

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2020/21 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Irene Presa Cárdenas

Fecha: 18/06/2021

Autorizada la entrega del proyecto

LOS DIRECTORES DEL PROYECTO

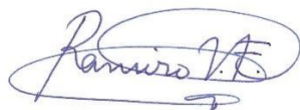


Fdo.: María Ana Saenz Nuño

Fecha: 14.../06.../2021

Fdo.: Ramiro Viñuales Ferreiro

Fecha: 15.../06.../2021





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño de un sistema en Arduino para el estudio de la evaporización del agua para su utilización en proyectos de desarrollo en zonas desfavorecidas

Autora: Irene Presa Cárdenas

Co-Directora: María Ana Saenz Nuño

Co-Director: Ramiro Viñuales Ferreiro

Madrid

Julio de 2021

Agradecimientos

A Ramiro que, mostrándome su gran compromiso con las obras sociales, marcó el punto de partida de este TFG. Gracias a su propuesta inicial, y a su constante apoyo, este proyecto ha sido posible. Y a Marian, cuya ayuda y experiencia, mostrándome como las complicaciones son solo un paso más para llegar a la meta, han resultado fundamentales para la realización de este proyecto. Han sido meses de trabajo donde los baches del camino se han podido superar gracias a su apoyo, no solo como grandes profesionales sino también como personas que inspiran y demuestran que desde la ingeniería se pueden realizar proyectos con un gran impacto social.

A la Fundación Salvador Soler, por apoyar estas iniciativas y demostrar cada día que los cambios en el mundo son posibles y que pueden comenzar desde un TFG.

No puedo dejar de agradecer a mis familiares y amigos, que han servido de apoyo e impulso en los momentos de dificultad.

DISEÑO DE UN SISTEMA EN ARDUINO PARA EL ESTUDIO DE LA EVAPORIZACIÓN DEL AGUA PARA SU UTILIZACIÓN EN PROYECTOS DE DESARROLLO EN ZONAS DESFAVORECIDAS

Autor: Presa Cárdenas, Irene.

Co-directora: Saenz Nuño, María Ana.

Co-direcor: Viñuales Ferreiro, Ramiro.

Entidad Colaboradora: Fundación Salvador Soler

RESUMEN DEL PROYECTO

Con el objetivo de ralentizar el ritmo de evaporación del agua en embalses artificiales situados en países áridos, se ha realizado el desarrollo una serie de dispositivos modulares que minimizan la cantidad de rayos U.V. que llegan a la superficie del agua. Tras el análisis y estudio de los distintos modelos diseñados, se ha seleccionado el dispositivo más eficaz. Paralelamente, se ha realizado un sistema de medición utilizando una placa Arduino que se ha utilizado para medir la eficacia del dispositivo elegido durante unos ensayos que simulan las condiciones climáticas de las zonas áridas.

Palabras clave: Arduino, Evaporación, Bolas sombra.

1. Introducción

Según el estudio *“Progress on drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: Special focus on inequalities”* [1] realizado por UNICEF para la O.M.S., se estima que 1 de cada 3 personas, en todo el mundo, no tiene acceso a agua potable salubre. Dado que el agua es un recurso indispensable para la vida, junto a la Fundación Salvador Soler, se ha realizado este proyecto con el objetivo principal de ralentizar el ritmo de evaporación del agua en estanques artificiales ubicados en Benín y Senegal.

Los países de Benín y Senegal presentan un clima árido y semidesértico con grandes temporadas de sequía. Concretamente, el proyecto se ha enfocado en las localidades de Borgou (Benín) y Andiel (Senegal), donde la fundación ha detectado dificultades en el acceso al agua durante la temporada de verano.

2. Definición del Proyecto

El proyecto está enfocado en cumplir los siguientes objetivos para garantizar un mejor acceso al agua en zonas de sequía:

1. Conseguir medir de manera aproximada el ritmo de evaporación del agua en embalse a través de medidas como la temperatura del agua, la temperatura ambiental o la humedad relativa del ambiente. Se desea poder comparar el beneficio de implantar el proyecto frente a la situación actual.
2. Minimizar el ritmo de evaporación del agua en los embalses.
3. Propiciar el mantenimiento de la calidad del agua minimizando la radiación incidente.

Para lograr dichos objetivos, el proyecto se ha dividido en cinco etapas distintas. En la primera etapa, se ha realizado un estudio exhaustivo sobre las condiciones climáticas en Benín y Senegal, así como un estudio sobre las distintas posibilidades actuales que ayuden a lograr los objetivos deseados.

En la segunda etapa se realiza el diseño de un Dispositivo Modular Antievolaporación (DMA) de funcionamiento muy sencillo: únicamente es necesario colocar un suficiente número de dispositivos para cubrir la superficie del agua contenida en un depósito. Estos dispositivos están diseñados para dejar el suficiente espacio entre uno y otro que garantice la oxigenación del agua a la vez que minimiza la incidencia de rayos U.V. Los dispositivos serán diseñados en la cuarta etapa del proyecto utilizando técnicas de fabricación aditiva.

La tercera etapa consiste en el desarrollo de un instrumento de medida basado en la placa Arduino, diseñando tanto la parte del hardware como el software.

La última etapa consiste en la realización de ensayos simulando tanto las condiciones climáticas de los países como situaciones extremas.

3. Descripción del DMA

Para desarrollar el dispositivo, se han tomado una serie de bocetos inspirados en proyectos realizados anteriormente y recogidos en el “Estado del arte” de este trabajo.

A partir de los bocetos, y teniendo en cuenta la ley de Arquímedes sobre la flotación de un cuerpo, se han elaborado hasta 8 dispositivos distintos con la herramienta SolidWorks. Estos dispositivos han sido diseñados uno a uno, de tal forma que cada diseño ha aportado conocimientos nuevos hasta llegar al dispositivo seleccionado: el n.º 8. Este dispositivo, está reflejado en la Figura 1, y cumple las siguientes características que lo hacen óptimo para este proyecto:

- Se trata de un dispositivo modular, lo que permite que sea fácilmente manejable a la vez que se adapte a cualquier área en la que se desee colocar. Además, el bajo peso de cada dispositivo favorece su transporte.
- El dispositivo es simétrico, favoreciendo así la implantación de un gran número de dispositivos en los estanques, al permitir al usuario no tener que preocuparse por la manera en la que hay que colocarlo.
- El cuerpo es de color negro para lograr minimizar la radiación que llega al agua.



Figura 1: Dispositivo Modular Antievolaporación (DMA)

4. Descripción del sistema electrónico

El sistema electrónico está basado en la placa de Arduino Mega. Por un lado, se ha realizado el hardware del sistema utilizando tres sensores distintos: sensor de distancia, sensor de T^a del agua y sensor de T^a y humedad ambiental. Los sensores recogen la información y están en continua comunicación con el microcontrolador de la placa, que a su vez, mediante un cable USB, mantiene comunicación con el servidor. En el servidor u ordenador, los datos son recogidos por la herramienta Excel, que los acumula a la vez que los muestra por pantalla. El diagrama de flujos queda representado en la Figura 2.

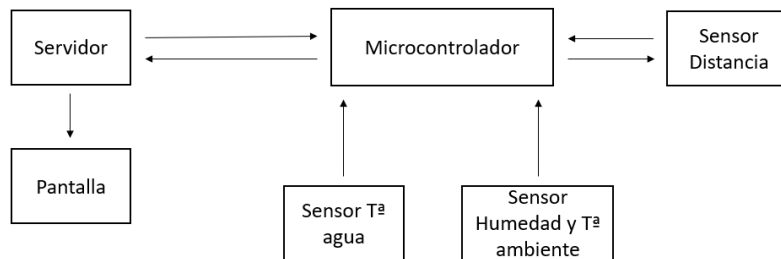


Figura 2: Diagrama de flujos

Entrando en detalle en la parte del hardware, se han seleccionado los tres sensores en función de los límites climáticos a los que se van a ver expuestos y que se han estudiado en la primera etapa del proyecto. Además, se ha tenido en cuenta que, al tratarse de un proyecto de cooperación junto a la Fundación Salvador Soler, se desea que se realice todo el desarrollo de la manera más económica posible. Por este motivo, los sensores seleccionados no son los más precisos del mercado, pero son lo suficientemente fiable para comprobar la eficacia de los DMA en los ensayos del proyecto. En la Figura 3 se puede apreciar un esquema del montaje del sistema.

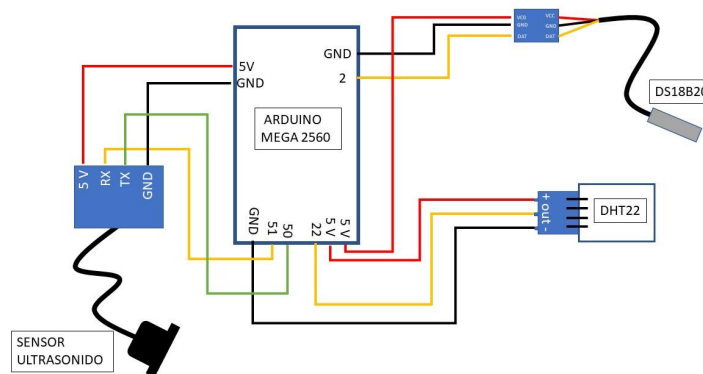


Figura 3: Esquema del sistema electrónico de medida

5. Resultados

Los ensayos realizados en este proyecto han ayudado a entender la forma más adecuada de fabricación: imprimiendo el cuerpo entero con una impresora 3D. Al imprimir el cuerpo entero, es necesario utilizar un soporte interno. La fabricación con la impresora 3D se realiza mediante hilos a alta temperatura que son depositados a modo de capas hasta obtener la pieza final. Si la pieza es hueca, es necesario colocar una serie de

soportes internos para soportar las capas superiores, de lo contrario, se caerían antes de llegar a enfriar. Estos soportes añaden masa al cuerpo que no podrá ser extraída a posteriori (el cuerpo queda completamente cerrado) por lo que se ha tenido en cuenta para seleccionar el tipo de soporte que menos masa añada y que a la vez sea robusto: soporte almenado.

Este tipo de fabricación ha demostrado, en los primeros ensayos, ser más útil que la fabricación por mitades.

Por otro lado, el último experimento reflejado en las Figuras 4 y 5, muestra cómo al utilizar los DMAs la temperatura del agua es mayor y la humedad relativa del ambiente es menor que en el caso de no utilizar ningún dispositivo. Este resultado es muy coherente: cuando se colocan los dispositivos, el agua se va calentando ya que los dispositivos absorben la radiación y se calientan. Sin embargo, la forma geométrica de estos, impide que se evapore el agua al mismo ritmo que sin dispositivos generando que la humedad del ambiente sea menor.

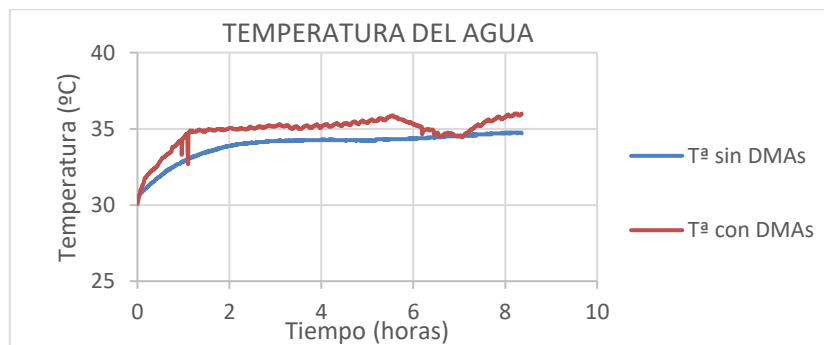


Figura 4: Experimento 2. Temperatura del agua

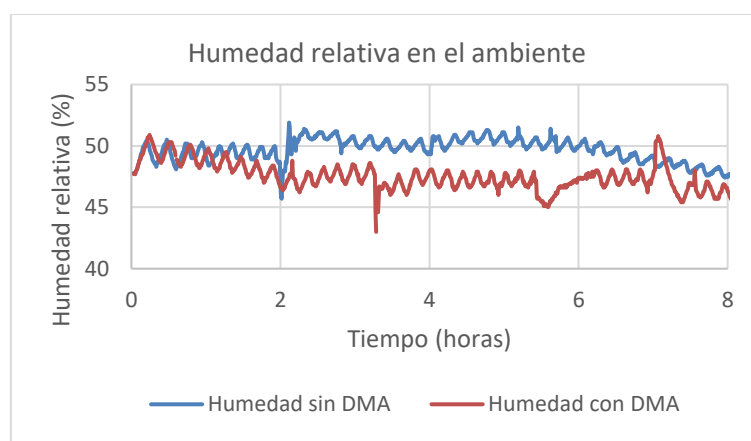


Figura 5: Experimento 2. Humedad relativa del ambiente

6. Conclusiones

Tras la realización del proyecto, se ha obtenido un dispositivo que cumple los criterios necesarios para poder minimizar el ritmo de evaporación:

- Frenar la penetración de rayos U.V. en la superficie del agua.
- Garantizar la flotación estable del cuerpo manteniendo la línea de flotación por debajo de la mitad del cuerpo garantizando que al menos el 50% quede expuesto al aire.
- Geometría redondeada y simétrica que dificulte la adhesión de microorganismos.
- Geometría ovalada para cubrir un gran espacio de área a la vez que se garantizan pequeños espacios para la oxigenación del agua.
- Facilitación del movimiento de las partículas calientes a través de una hendidura para propiciar su enfriamiento.

El proyecto se ha realizado de una manera económica y propone un modelo para ser fabricado a gran escala, o bien con fabricación aditiva, o bien utilizando otro proceso y otro material, teniendo siempre en cuenta la diferencia con la densidad del PLA, que es el material utilizado en la fabricación original.

7. Referencias

- [1] “Progress on drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: Special focus on inequalities” UNICEF 2017.
- [2]<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> (Fecha último acceso: 20/04/202)
- [3] “Comunicado especial sobre agua para la vida” XXVII Cumbre Iberoamericana
- [4] “Aqua Fons vitae. Orientaciones sobre el agua: símbolo del grito de los pobres y del grito de la Tierra” Dicaterio para el servicio del desarrollo humano integral. Ciudad del Vaticano, junio 2020.
- [5] Carta Encíclica “*LAUDATO SI*” Papa Francisco, 24/05/2015
- [6] <https://unmundosalvadorsoler.org/> (Fecha último acceso: 20/04/2021)
- [7] <https://www.google.com/earth/> (Fecha último acceso: 20/04/2021)
- [8] <https://www.psl.noaa.gov/> (Fecha último acceso: 14/10/2020)
- [9] <https://www.datosmundial.com/africa/> (Fecha último acceso: 18/11/2020)
- [10]<http://microdyneplastics.com/>(Fecha último acceso: 18/11/2020)

***DESIGN OF A SYSTEM WITH ARDUINO FOR THE STUDY OF WATER EVAPORATION
FOR USE IT IN DEVELOPMENT PROJECTS IN DISADVANTAGED AREAS***

Author: Presa Cárdenas, Irene

Supervisor: Saenz Nuño, María Ana.

Supervisor: Viñuales Ferreiro, Ramiro.

Collaborating Entity: Fundación Salvador Soler

ABSTRACT

To slow down the evaporation's rate of water in artificial reservoirs located in arid countries, a series of modular devices has been developed. The devices can minimize the amount of UV rays that reach the surface of the water. After analysing the different models designed, the most effective device has been selected. In parallel, a measurement system has been made using an Arduino board that has been used to measure the effectiveness of the chosen device during tests that simulate the climatic conditions of arid areas.

Keywords: Arduino, Evaporation, Shadow balls.

1. Descripción del DMA

According to the study "*Progress on drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: Special focus on inequalities*" carried out by UNICEF for the W.H.O., it is estimated that 1 in 3 people, worldwide, does not have access to safe drinking water. Given that water is an indispensable resource for life, together with the Salvador Soler Foundation, this project has been carried out with the main objective of slowing down the evaporation's rate of water in artificial ponds located in Benin and Senegal.

The countries of Benin and Senegal have an arid and semi-desert climate with long dry seasons. Specifically, the project has focused on the towns of Borgou (Benin) and Andiel (Senegal), where the Foundation has already launched other projects and difficulties in access to water have been detected during the summer season

2. Project definition

The project is focused on meeting the following objectives to guarantee better access to water in drought areas:

- Achieve an approximate measurement of the rate of evaporation of the water in the reservoir through measurements such as the water temperature, the ambient temperature or the relative humidity of the environment. You want to be able to compare the benefit of implementing the project against the current situation.
- Minimize the rate of evaporation of water in reservoirs.
- Promote the maintenance of water quality by minimizing incident radiation.

To achieve these objectives, the project has been divided into five different stages. In the first stage, an exhaustive study has been carried out on the climatic conditions in Benin and Senegal, as well as a study on the different current possibilities that help to achieve the desired objectives.

In the second stage, the design of a Modular Anti-Evaporation Device (DMA) of very simple operation is carried out: it is only necessary to place a sufficient number of devices to cover the surface of the water contained in a tank. These are designed to leave enough space between one and the other to guarantee oxygenation of the water while minimizing the incidence of UV rays. The devices will be designed in the fourth stage of the project using additive manufacturing techniques.

The third stage consists of the development of a measurement instrument based on the Arduino board, designing both the hardware and the software.

The last stage consists of carrying out tests simulating both the climatic conditions of the countries and extreme situations

3. DMA's description

To develop the device, a series of sketches inspired by projects carried out previously and collected in the "State of the art" of this work have been taken.

From the sketches and considering Archimedes' law on the flotation of a body, up to 8 different devices have been elaborated with the SolidWorks tool. These devices have been designed one by one, in such a way that the design layer has provided new

knowledge until reaching the selected device: number 8. This device is reflected in Figure 6 and meets the following characteristics that make it optimal for this project:

- It is a modular device, which allows it to be easily manageable while adapting to any area in which it is desired to be placed. In addition, the low weight of each device helps its transport.
- The device is symmetrical, thus helping the implantation of a large number of devices in the ponds, by allowing the user not to have to worry about the way in which it must be placed.
- The body is black to minimize the radiation that reaches the water.

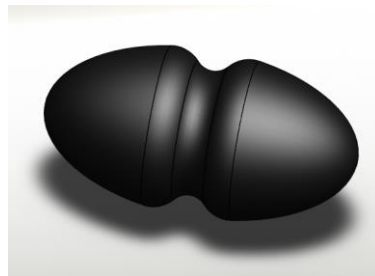


Figure 6: Modular Anti-Evaporation Device (DMA)

4. **Electronic system**

The electronic system is based on the Arduino Mega board. On the one hand, the hardware of the system has been made using three different sensors: distance sensor, water temperature sensor and ambient temperature and humidity sensor. The sensors collect the information and are in continuous communication with the board's microcontroller, which in turn, through a USB cable, maintains communication with the server. On the server or computer, the data is collected by the Excel tool, which accumulates it while displaying it on the screen. The flow diagram is represented in Figure 7.

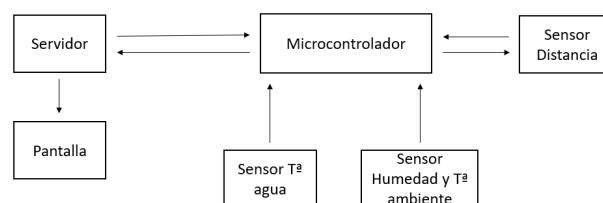


Figure 7: Flow diagram

Going into detail in the hardware part, the three sensors have been selected based on the climatic limits to which they will be exposed, and which have been studied in the first stage of the project. In addition, it has been taken into account that, since it is a cooperation project with the Salvador Soler Foundation, it is desired that all development be carried out in the most economical way possible. For this reason, the selected sensors are not the most accurate on the market, but they are reliable enough to verify the effectiveness of DMAs in project trials. In Figure 8 you can see a diagram of the assembly of the system.

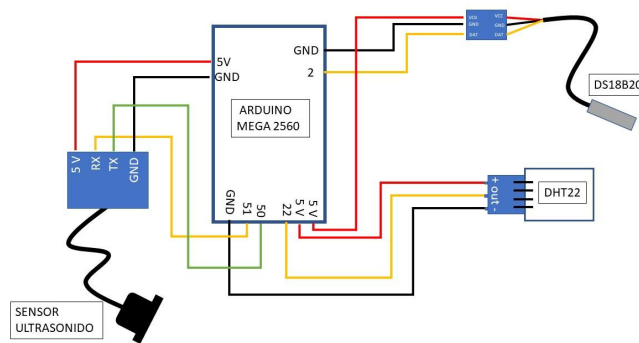


Figure 8: Scheme of the electronic measurement system

5. Results

The tests carried out in this project have helped to understand the most suitable way of manufacturing: printing the entire body with a 3D printer. When printing the whole body, it is necessary to use an internal support. The manufacture with the 3D printer is carried out by means of high temperature threads that are deposited as layers until the final piece is obtained. If the piece is hollow, it is necessary to place a series of internal supports to support the upper layers, otherwise, they would fall before cooling. These supports add mass to the body that cannot be removed afterwards (the body is completely closed), so it has been considered to select the type of support that adds less mass and that at the same time is robust: crenelated support.

This type of fabrication has proven, in early trials, to be more useful than halved fabrication.

On the other hand, the last experiment reflected in Figures 9 and 10, shows how when using the DMAs the water temperature is higher and the relative humidity of the environment is lower than in the case of not using any device. This result is very

consistent: when the devices are placed, the water becomes warmer as the devices absorb radiation and become hot. However, their geometric shape prevents the water from evaporating at the same rate as without devices, generating a lower humidity in the environment.

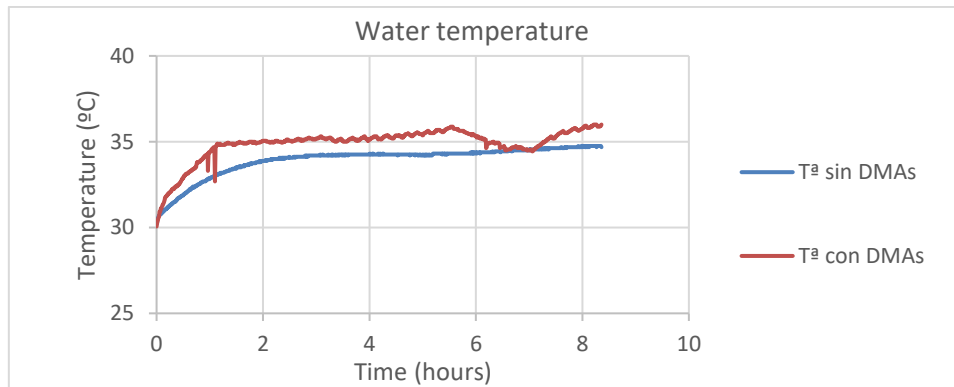


Figure 9: Experiment 2. Water temperature

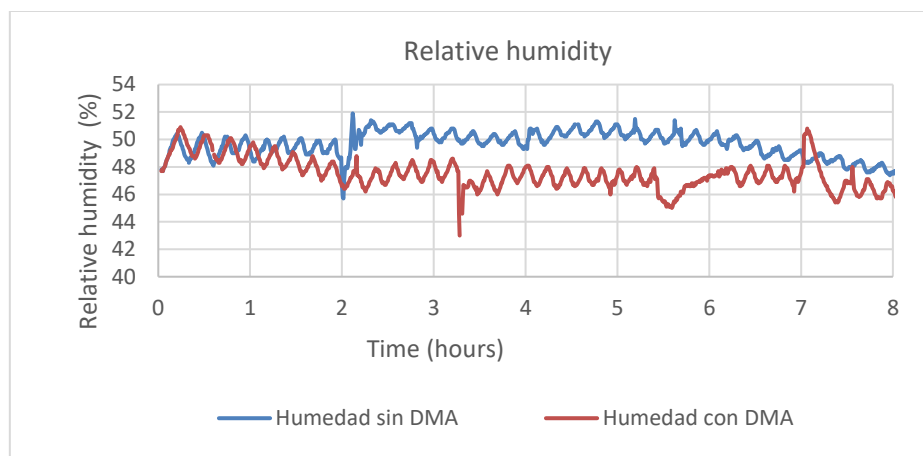


Figure 10: Experiment 2. Relative humidity of the environment

6. Conclusions

After carrying out the project, a device has been obtained that meets the necessary criteria to be able to minimize the rate of evaporation:

- Stop the penetration of U.V. rays. on the surface of the water.
- Ensure stable flotation of the body by keeping the waterline below the middle of the body ensuring that at least 50% is exposed to the air.
- Rounded and symmetrical geometry that hinders the adhesion of microorganisms.
- Oval geometry to cover a large area space while guaranteeing small spaces for oxygenation of the water.

- Facilitation of the movement of hot particles through a slit to promote their cooling.

The project has been carried out in an economical way and proposes a model to be manufactured on a large scale, either with additive manufacturing, or using another process and another material, always considering the difference with the density of PLA, which is the material used in the original manufacture.

7. References

[1] “Progress on drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: Special focus on inequalities” UNICEF 2017.

[2]<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
(last access date: 20/04/202)

[3] “Comunicado especial sobre agua para la vida” XXVII Cumbre Iberoamericana

[4] “Aqua Fons vitae. Orientaciones sobre el agua: símbolo del grito de los pobres y del grito de la Tierra” Dicaterio para el servicio del desarrollo humano integral. Ciudad del Vaticano, junio 2020.

[5] Carta Encíclica “*LAUDATO SI*” Papa Francisco, 24/05/2015

[6] <https://unmundosalvadorsoler.org/> (last access date: 20/04/2021)

[7] <https://www.google.com/earth/> (last access date: 20/04/2021)

[8] <https://www.psl.noaa.gov/> (last access date: 14/10/2020)

[9] <https://www.datosmundial.com/africa/> (last access date: 18/11/2020)

[10] <http://microdyneplastics.com/polyethylene-shade-balls/>
(last access date: 18/11/2020)

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	8
1.1 Motivación del proyecto.....	8
Capítulo 2. Estado del arte	9
2.1 Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS).....	9
2.2 Contexto	11
2.3 Clima en África	13
2.3.1 Clima en Benín	13
2.3.2 Clima en Senegal.....	17
2.4 Breve estudio de plantas macrófitas	22
2.5 Arduino.....	23
2.5.1 ¿Qué es?	23
2.5.2 ¿Cómo funciona?.....	23
2.5.3 Tipos de arduinos	23
2.6 Sensores.....	25
2.7 Actuadores.....	26
2.8 Utilización de Arduino en aplicaciones industriales de baja precisión	26
2.9 Dispositivos para la prevención de la evaporación del agua	27
2.9.1 Sistemas modulares flotantes	27
2.9.2 Lonas	31
2.9.3 Coberturas de sombreado	31
2.10 SolidWorks, Impresión 3D y fabricación aditiva.....	32
Capítulo 3. Definición del trabajo.....	33
3.1 Justificación.....	33
3.2 Objetivos	33
3.3 Metodología.....	34
3.4 Planificación.....	35
3.5 Estimación Económica	36
Capítulo 4. Estudio	38
4.1 Límites climatológicos	38

4.2 Aspectos importantes del DMA	39
4.3 Placa de Arduino y sensores.....	40
Capítulo 5. Diseño del DMA	42
5.1 Características	42
5.2 Primeros bocetos	42
5.3 Diseños en SolidWorks	44
5.3.1 Prototipo n.º 1	45
5.3.2 Prototipo n.º 2	46
5.3.3 Prototipo n.º 3	47
5.3.4 Prototipo n.º 4	48
5.3.5 Prototipo n.º 5	49
5.3.6 Prototipo n.º 6	50
5.3.7 Prototipo n.º 7	52
5.3.8 Prototipo n.º 8	53
Capítulo 6. Diseño e implantación del sistema electrónico	54
6.1 HARDWARE.....	54
6.2 SOFTWARE	56
6.2.1 Programación del microprocesador	56
6.2.2 Excel.....	57
Capítulo 7. Fabricación del DMA.....	58
7.1 Proceso de fabricación.....	58
7.2 Prototipos impresos	58
Capítulo 8. Ensayos	63
8.1 Experimento 1: comportamiento del DMA ante temperaturas extremas.	63
8.1.1 Prueba 1	64
8.1.2 Prueba 2	65
8.2 Experimento 2: Comportamiento del DMA ante condiciones de temperatura reales.	66
Capítulo 9. Análisis de Resultados.....	69
Capítulo 10. Conclusiones y Trabajos futuros	70
Capítulo 11. Bibliografía.....	72

<i>ANEXO I: Datos climatológicos</i>	<i>74</i>
<i>ANEXO II: Código desarrollado para la placa Arduino.</i>	<i>76</i>
<i>ANEXO III: Plano del DMA.....</i>	<i>78</i>

Índice de Figuras

FIGURA 1: DISPOSITIVO MODULAR ANTIEVAPORACIÓN (DMA)	7
FIGURA 2: DIAGRAMA DE FLUJOS	8
FIGURA 3: ESQUEMA DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE MEDIDA	8
FIGURA 4: EXPERIMENTO 2. TEMPERATURA DEL AGUA	9
FIGURA 5: EXPERIMENTO 2. HUMEDAD RELATIVA DEL AMBIENTE.....	9
FIGURE 6: MODULAR ANTI-EVAPORATION DEVICE (DMA)	13
FIGURE 7: FLOW DIAGRAM.....	13
FIGURE 8: SCHEME OF THE ELECTRONIC MEASUREMENT SYSTEM.....	14
FIGURE 9: EXPERIMENT 2. WATER TEMPERATURE	15
FIGURE 10: EXPERIMENT 2. RELATIVE HUMIDITY OF THE ENVIRONMENT	15
FIGURA 11: BOUANRI, BORGOU, BENÍN (GOOGLE EARTH).....	11
FIGURA 12: ANDIEL, KEDOUGOU, SENEGAL (GOOGLE EARTH)	11
FIGURA 13: ANDIEL (FUNDACIÓN SALVADOR SOLER)	12
FIGURA 14: ANDIEL (FUNDACIÓN SALVADOR SOLER)	12
FIGURA 15: TEMPERATURA MEDIA EN ÁFRICA (NOAA PHYSICAL SCIENCES LABORATORY)	13
FIGURA 16: DÍAS DE LLUVIA AL MES EN BENÍN (DATOS MUNDIAL).....	14
FIGURA 17: PRECIPITACIÓN EN MM/DÍA EN BENÍN.....	14
FIGURA 18: HUMEDAD RELATIVA EN BENÍN (%).....	14
FIGURA 19: TEMPERATURA DEL AGUA EN BENÍN	15
FIGURA 20: TEMPERATURAS MEDIAS DIURNAS Y NOCTURNAS EN BENÍN.....	15
FIGURA 21: RADIACIÓN EN BENÍN [kWh/m ²] (© 2017 THE WORLD BANK, SOLAR RESOURCE DATA: SOLARGIS).....	16
FIGURA 22: DÍAS DE LLUVIA AL MES EN BORGOU	17
FIGURA 23: PRECIPITACIÓN EN MM/DÍA EN BORGOU	17
FIGURA 24: HORAS DE SOL AL DÍA EN BORGOU	17
FIGURA 25: TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS Y NOCTURNAS EN BORGOU.....	17
FIGURA 26: DÍAS DE LLUVIA AL MES EN SENEGAL.....	18
FIGURA 27: PRECIPITACIÓN AL DÍA EN MM/DÍA EN SENEGAL.....	18
FIGURA 28: HUMEDAD RELATIVA EN SENEGAL (%)	18
FIGURA 29: HORAS DE SOL AL DÍA EN SENEGAL	18
FIGURA 30: TEMPERATURA DEL AGUA EN SENEGAL.....	19
FIGURA 31: TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS Y NOCTURNAS EN SENEGAL.....	19

FIGURA 32: MEDIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN SENEGAL (METEOBLUE)	20
FIGURA 33: RADIACIÓN EN SENEGAL [kWh/m ²] (© 2017 THE WORLD BANK, SOLAR RESOURCE DATA: SOLARGIS)	20
FIGURA 34: DÍAS DE LLUVIA AL MES EN KEDOUGOU	21
FIGURA 35: PRECIPITACIÓN EN MM/DÍA EN KEDOUGOU	21
FIGURA 36: HORAS DE SOL AL DÍA EN KEDOUGOU.....	21
FIGURA 37: TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS Y NOCTURNAS EN SENEGAL.....	22
FIGURA 38: NENÚFARES (RYAN MCGUIRE).....	22
FIGURA 39: ARDUINO UNO (ARDUINO.CC)	23
FIGURA 40: ARDUINO DUE (ARDUINO.CC).....	24
FIGURA 41: ARDUINO LEONARDO (ARDUINO.CC)	24
FIGURA 42: ARDUINO MEGA [ARDUINO.CC]	24
FIGURA 43: ARDUINO UNO WIFI (ARDUINO.CC).....	25
FIGURA 44: COVER/SHADE BALLS [EURO-MATIC].....	29
FIGURA 45: MODELO DE NEOTOP WATER SYSTEM	30
FIGURA 46: MODELO PRODUCIDO POR EVAPO-CONTROL.....	30
FIGURA 47: LONAS FLOTANTES DE HIDRO-CAP.....	31
FIGURA 48: MALLA DE SOMBREO DE RÁBITA AGROTEXTIL.....	31
FIGURA 49: CRONOGRAMA DEL PROYECTO.....	36
FIGURA 50: BOCETOS DE GEOMETRÍA ESFÉRICA.....	42
FIGURA 51: BOCETOS BASADOS EN LA GEOMETRÍA DEL NENÚFAR.....	43
FIGURA 52: BOCETO 6 CON GEOMETRÍA OVALADA.....	44
FIGURA 53: PROTOTIPO 1.....	45
FIGURA 54: PROTOTIPO 2.....	46
FIGURA 55: PROTOTIPO 3.....	47
FIGURA 56: PROTOTIPO 4.....	48
FIGURA 57: PROTOTIPO 5.....	49
FIGURA 58: PROTOTIPO 6.....	51
FIGURA 59: PROTOTIPO 7.....	52
FIGURA 60: PROTOTIPO 8.....	53
FIGURA 61: DIAGRAMA DE FLUJOS	54
FIGURA 62: ESQUEMA ELECTRÓNICO	55
FIGURA 63: IMPRESIÓN DEL PROTOTIPO N.º 3	59
FIGURA 64: IMPRESIÓN DEL PROTOTIPO N.º 7	59
FIGURA 65: IMPRESIÓN PROTOTIPO N.º 8.....	60

FIGURA 66: UNIÓN PROTOTIPO N.º 8 POR CALOR.....	60
FIGURA 67: UNIÓN PROTOTIPO N.º 8 POR SILICONA	61
FIGURA 68: UNIÓN PROTOTIPO N.º8 POR SILICONA Y PLÁSTICO	61
FIGURA 69: IMPRESIÓN COMPLETA DEL PROTOTIPO N.º8.....	61
FIGURA 70: A) SOPORTE INTERNO. B) SOPORTE EXTERNO	62
FIGURA 71: EXPERIMENTO 1	64
FIGURA 72: EXPERIMENTO 1 - PRUEBA 1.....	64
FIGURA 73: EXPERIMENTO 1 - PRUEBA 2.....	65
FIGURA 74: EXPERIMENTO 2	66
FIGURA 75: EXPERIMENTO 2. TEMPERATURA DEL AGUA	67
FIGURA 76: EXPERIMENTO 2. HUMEDAD RELATIVA DEL AMBIENTE.....	67
FIGURA 77: DMA.....	71

Índice de Tablas

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS SHADE BALL PRODUCIDA POR MICRODYNE PLASTICS INC.	28
TABLA 2: CARACTERÍSTICAS AIR-FILLED SHADE BALLS DE EURO-MATIC	29
TABLA 3: CARACTERÍSTICAS WATER-FILLED COVER BALLS DE EURO-MATIC	29
TABLA 4: GASTOS DURANTE EL DESARROLLO DEL PROTOTIPO	36
TABLA 5: GASTOS FABRICACIÓN FINAL	37
TABLA 6: LÍMITES DE LA TEMPERATURA AMBIENTE	38
TABLA 7: LÍMITES DE TEMPERATURA DEL AGUA	39
TABLA 8: HUMEDAD RELATIVA EN EL AMBIENTE.....	39
TABLA 9: COMPARACIÓN DE PLACAS ARDUINO.....	40
TABLA 10: DATOS CLIMATOLÓGICOS DE BENÍN	74
TABLA 11: DATOS CLIMATOLÓGICOS EN BORGOU	74
TABLA 12: DATOS CLIMATOLÓGICOS EN SENEGAL.....	75
TABLA 13: DATOS CLIMATOLÓGICOS KEDOUGOU	75

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

El agua es un recurso indispensable para la vida. Es necesaria tanto en el ámbito de la nutrición como en el de la salud. Según el estudio *“Progress on drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: Special focus on inequalities”* [1] realizado por UNICEF para la O.M.S., se estima que 1 de cada 3 personas, en todo el mundo, no tiene acceso a agua potable salubre.

La gran mayoría de la población que sufre el problema se haya en países en vías de desarrollo y con climas áridos y semidesérticos. Las bajas precipitaciones de países semiáridos durante las temporadas estivales causan una necesidad en el mantenimiento del agua almacenado en los embalses. Las altas temperaturas favorecen la rápida evaporación del agua, siendo esto un problema grave en las zonas afectas.

Por ello, con el apoyo de la fundación Salvador Soler, se realiza este proyecto enfocado en ralentizar el ritmo de evaporación del agua en los estanques.

El proyecto está formado por dos partes. La primera, un dispositivo mecánico capaz de minimizar los rayos U.V. que llegan a la superficie del agua en un embalse. La segunda parte, consiste en un dispositivo electrónico capaz de medir las condiciones ambientales para poder conocer tanto el ritmo de evaporación, como la utilidad del dispositivo mecánico diseñado.

Una vez que se realice el proyecto, será susceptible de utilizarse en Bouanri (Benín) o en Andiel (Senegal), donde la fundación Salvador Soler realiza diversos proyectos.

La fundación Salvador Soler se fundó en el año 2010 y desarrolla su activada con el fin de luchar contra la pobreza a través de la investigación, el análisis y la Cooperación para el Desarrollo. Cuenta con diferentes proyectos realizados en distintos países como Benín, Costa de Marfil, Brasil o Perú.

Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE

2.1 OBJETIVOS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS).

En el “*Comunicado especial sobre agua para la vida*”[2] presentado el 21 de abril de 2021 en la XVII Cumbre Iberoamericana de jefes de estado y de gobierno, se reafirma que el derecho al agua potable es un derecho esencial. Así como también se exponía en la Resolución A/RES/64/292 de la Asamblea General de Naciones Unidas. Todos los habitantes tienen derecho a tener acceso a agua salubre suficiente dentro del territorio de su Estado.

Este comunicado, recalca la importancia garantizar el acceso universal al agua para disminuir riesgos de enfermedades como el COVID-19, y de plantear proyectos que atiendan a estas necesidades.

Es de gran importancia impulsar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), donde el n.º 6 es el objetivo del acceso al agua limpia y saneamiento. Por ello, este proyecto se enfoca en reforzar y apoyar este objetivo, impulsando el acceso al agua en lugares en desarrollo con climas semidesérticos.

La importancia del agua como bien común y como elemento para el desarrollo “integral” y “humano” queda también recogida en el documento “*Aqua Fons vitae*”[3] (El agua es fuente de vida) del Dicasterio para el servicio del desarrollo humano integral. En dicho documento, se recalca la urgencia y necesidad de realizar proyectos a largo plazo que contribuyan a la gestión adecuada de este recurso y que reflejen los valores propuestos por la Doctrina Social Católica sobre la dignidad humana, la solidaridad, la distribución adecuada de los bienes y la opción preferencial por los pobres. Otros documentos como la Carta Encíclica *Laudato si*'[4] no dejan de dar importancia al tema del agua y desigualdad en el reparto actual, estimulando a gobiernos, empresas y particulares a realizar más actos en favor de la lucha por el acceso universal al agua.

“*Aqua Fons vitae*” recalca como el acceso al agua potable marca la diferencia entre la supervivencia y los varios niveles de bienestar. La OMS estima el consumo per cápita adecuado

es de 50 litros diarios, que han de estar disponibles en un radio de 100 metros de las viviendas de los usuarios. Sin embargo, en los países menos desarrollados, ni si quiera los centros sanitarios tienen garantizado este recurso. La OMS estima que el 35% no dispone del agua necesaria para la higiene básica como lavarse las manos.

Al ser la mejora de la calidad de vida el objetivo principal de este trabajo se alinea con algunos de los ODS aprobados por la ONU en 2015, especialmente con el ya mencionado objetivo número 6. Además, este trabajo también colabora con otros de los objetivos marcados por la ONU como es el caso del primer objetivo, el fin de la pobreza. Según datos aportados por la ONU, el 10% de la población mundial aún vive en extrema pobreza, incrementándose esta cifra en las zonas rurales hasta llegar al 17,2%. Entre las necesidades básicas difíciles de cubrir para las personas en dicha situación se encuentra el acceso al agua. Con el diseño que se presenta en este trabajo se pretende aumentar la disponibilidad del agua en las zonas en las que se implante. Uno de los problemas de la falta de agua es el impedimento para cultivar, pues las plantaciones no pueden prosperar sin ella. El objetivo número dos de la ONU, hambre cero, se ve favorecido cuando la disposición de agua es mayor y permite mayor uso de esta en las plantaciones. Pero el agua no es solamente necesario para la plantación de alimentos, también lo es para el aseo personal, el cual es esencial para la salud humana. De esta manera, el objetivo número 3 de desarrollo sostenible, relacionado con la salud y el bienestar, se ve apoyado por este trabajo.

2.2 CONTEXTO

El proyecto se enfoca principalmente en Andiel y Bouanri, dos zonas en las que la fundación Salvador Soler trabaja para ayudar a mejorar las condiciones de vida en la que se encuentran sus habitantes. Dichos países cuentan con unas características climáticas, analizadas en la sección “*Clima en África*”, que condicionan la vida de los ciudadanos generando un desabastecimiento de agua. Bouanri es una ciudad situada en Borgou, al este de Benín (Figura 11), mientras que Andiel, es una aldea situada en la localidad de Kedougou al sureste de Senegal tal como se muestra en la Figura 12. Las Figuras 13 y 14, muestran fotografías reales del terreno.



Figura 11: Bouanri, Borgou, Benín (Google Earth)



Figura 12: Andiel, Kedougou, Senegal (Google Earth)



Figura 13: Andiel (Fundación Salvador Soler)



Figura 14: Andiel (Fundación Salvador Soler)

2.3 CLIMA EN ÁFRICA

El análisis climatológico es fundamental para conocer las características a las que se expondrá el sistema. De manera general, se analizan las medidas de temperatura tomadas por NOAA Physical Sciences Laboratory en África. Como se observa en la Figura 15, Andiel y Bouanri se encuentra entre los 27 °C y los 30°C de media durante los años comprendidos entre 1990 y 2020.

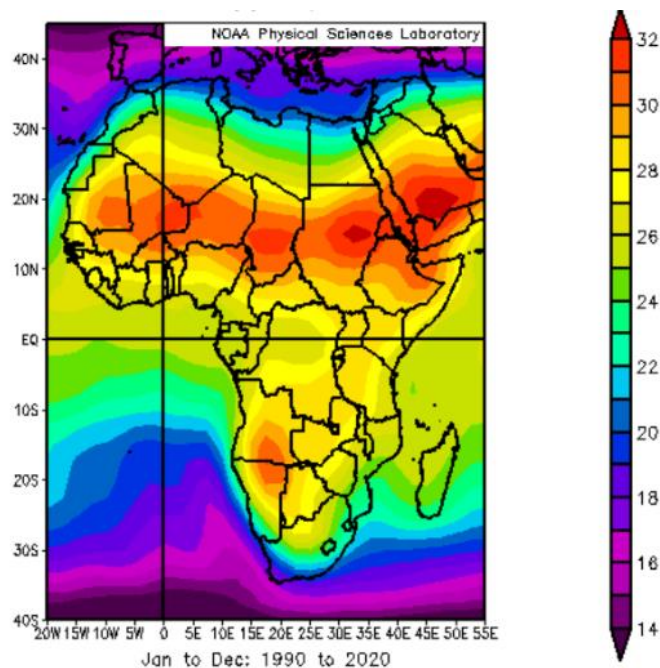


Figura 15: Temperatura media en África (NOAA Physical Sciences Laboratory)

2.3.1 CLIMA EN BENÍN

El análisis climatológico en Benín se ha llevado a cabo tomando como referencia los datos proporcionados por Datos Mundial, exceptuando los datos de radiación solar que se han obtenido del Grupo del Banco Mundial, con la financiación y colaboración de ESMAP y Solargis. Los datos proporcionados por Datos Mundial han sido tomados en nueve estaciones de medición del país durante los últimos 20 años.

Según los datos representados en el Figura 16, la época de lluvias se comprende entre el mes de abril o mayo hasta el mes de octubre, siendo los meses de noviembre a marzo más secos. El

mes de septiembre es el mes de más lluvia con menos de 13,5 días de media, seguido del mes de junio con menos de 12 días de lluvia. Analizando la cantidad de precipitación diaria de cada uno de los meses se observa, tal como se muestra en el Figura 17: Precipitación en mm/día en Benín, que el pico de precipitación se encuentra en 7 mm cada día durante el mes de junio. Por otro lado, la Figura 18 refleja como la humedad relativa se mantiene a niveles comprendidos entre 80% y el 85%, desde el mes de junio hasta el mes de octubre, encontrando el pico de 85% en el mes de agosto. El resto de los meses del año, mantienen una humedad relativa inferior.



Figura 16: Días de lluvia al mes en Benín (Datos Mundial)



Figura 17: Precipitación en mm/día en Benín



Figura 18: Humedad relativa en Benín (%)

En lo que refiere a temperaturas, la Figura 19 muestra la temperatura media del agua en Benín a lo largo del año. En el mes de abril el agua puede llegar a alcanzar los 29°C. Mientras que la Figura 20 muestra las temperaturas medias diurnas y nocturnas, donde se observa que el ambiente tiene una media máxima ligeramente superior a 35°C durante el día en el mes de marzo y las temperaturas mínimas no bajan de los 20°C.

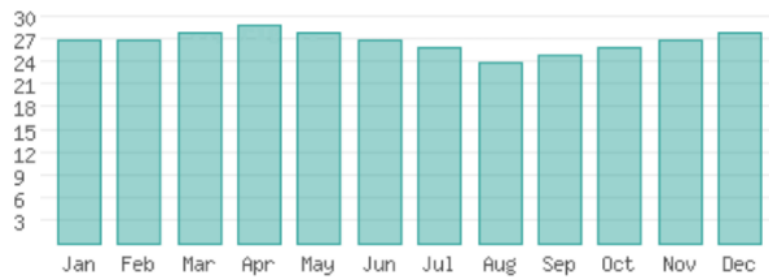


Figura 19: Temperatura del agua en Benín

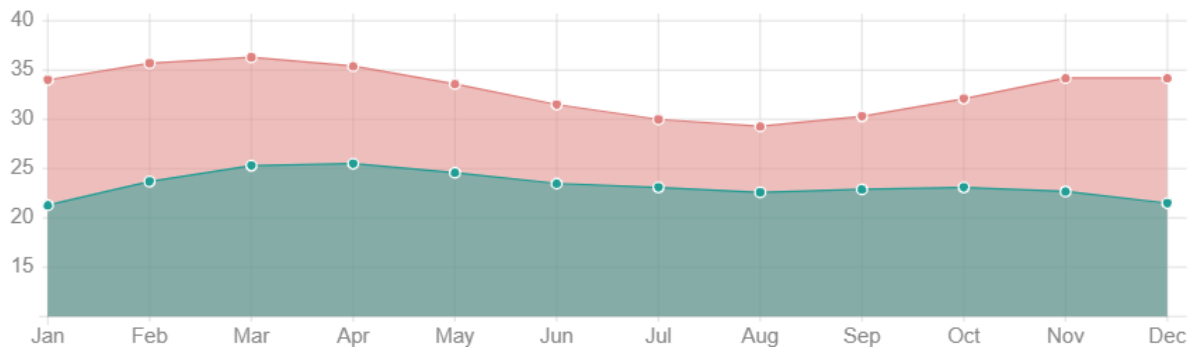


Figura 20: Temperaturas medias diurnas y nocturnas en Benín

Analizando la radiación solar medida en el plano horizontal entre 1994 y 2018, se observa que Bouanri se encuentra entre 5,3 y 5,4 kWh/m² cada día, tal como se refleja en la Figura 21.

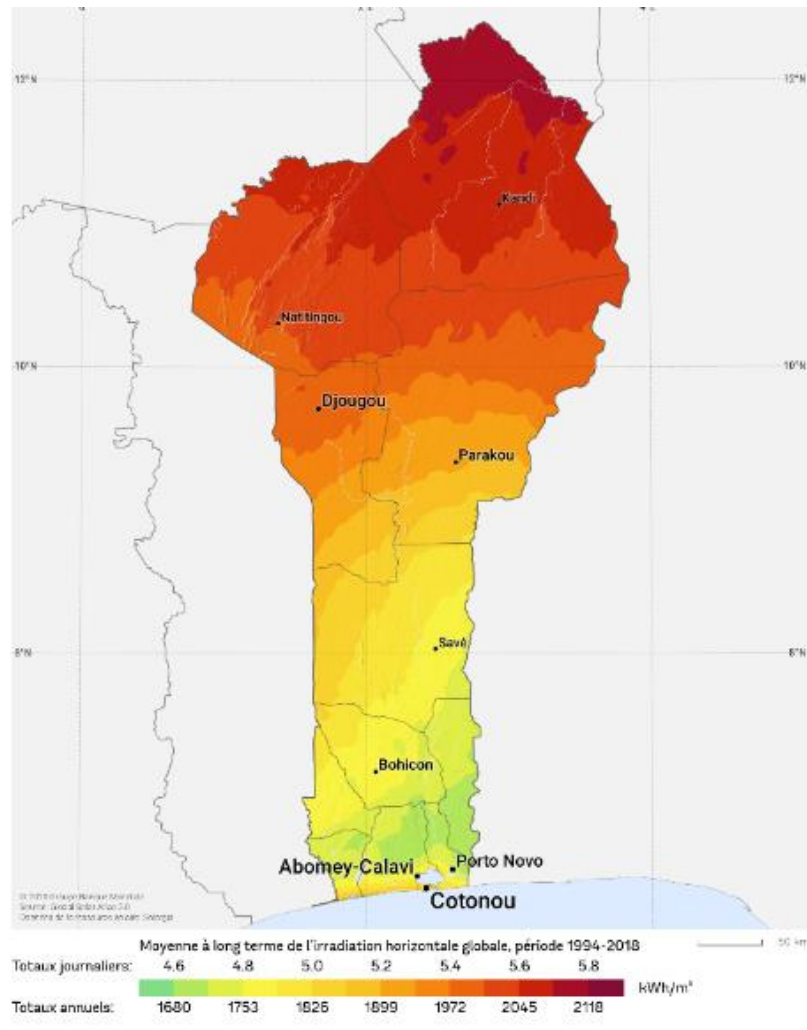


Figura 21: Radiación en Benín [kWh/m²] (© 2017 The World Bank, Solar resource data: Solargis)

2.3.1.1 Borgou (Benín)

Los datos recogidos por Datos Mundiales en la estación meteorológica oficial en Borgou, departamento en el que se encuentra la ciudad de Bouanri, muestran mayores precipitaciones durante el mes de septiembre alcanzando algo menos de 7,5 mm/día tal como reflejan la Figura 22 y la Figura 23. Además, la Figura 24 refleja cómo entre los meses de noviembre y febrero las horas de luz diaria llegan a ser entre 8 y 9. La Figura 25 muestra las temperaturas medias diarias y nocturnas en Bouanri, siendo la máxima y la mínima de 37°C y 20°C respectivamente.

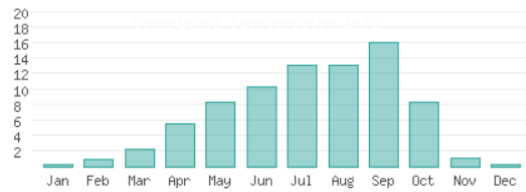


Figura 22: Días de lluvia al mes en Borgou



Figura 23: Precipitación en mm/día en Borgou



Figura 24: Horas de sol al día en Borgou

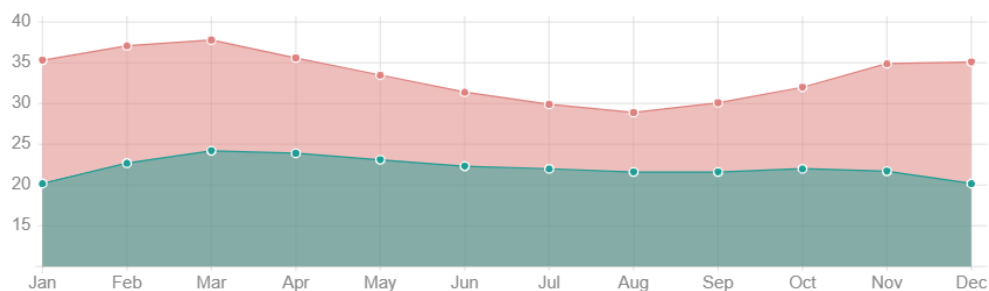


Figura 25: Temperaturas medias diarias y nocturnas en Borgou

2.3.2 CLIMA EN SENEGAL

En Senegal, el clima es aún más seco y los meses de lluvia son únicamente de junio a octubre. Tal como se muestra en la Figura 26, agosto es el mes con más días de lluvia, mientras que los

meses comprendidos entre noviembre y abril tienen una media inferior a un día de lluvia al mes. Estos datos van de la mano de la cantidad media de precipitación diaria de mostrada en la Figura 27, donde se observan, unas precipitaciones de poco más de 8 mm/día durante el mes de agosto. La humedad media relativa durante los últimos 20 años es como máximo del 81%, porcentaje correspondiente al mes de agosto tal como refleja la Figura 28 aproximadamente.

Por otro lado, quedan representadas la media de horas de sol al día en la Figura 29. La media nunca es inferior a 6 horas, siendo en la mayoría de los meses superior a 7 horas diarias.

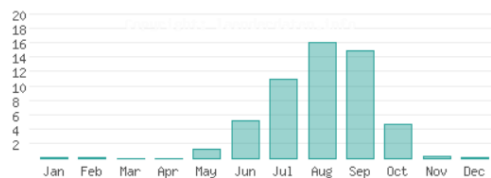


Figura 26: Días de lluvia al mes en Senegal

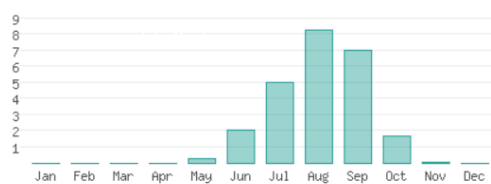


Figura 27: Precipitación al día en mm/día en Senegal

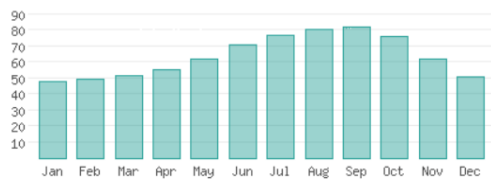


Figura 28: Humedad relativa en Senegal (%)

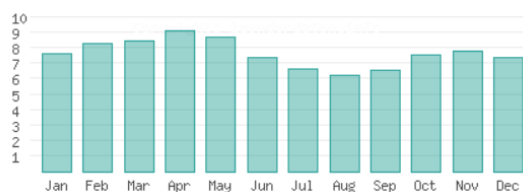


Figura 29: Horas de sol al día en Senegal

En la Figura 30, se muestra cómo la temperatura del agua se mantiene todo el año entre los 20°C y los 27°C. Mientras que, en el ambiente, la temperatura media máxima es de 39°C y la mínima de 17°C tal como se refleja en la Figura 31.

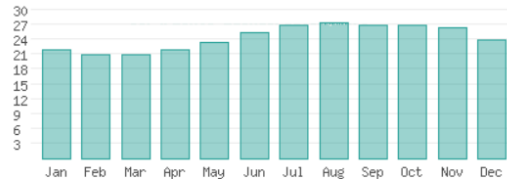


Figura 30: Temperatura del agua en Senegal

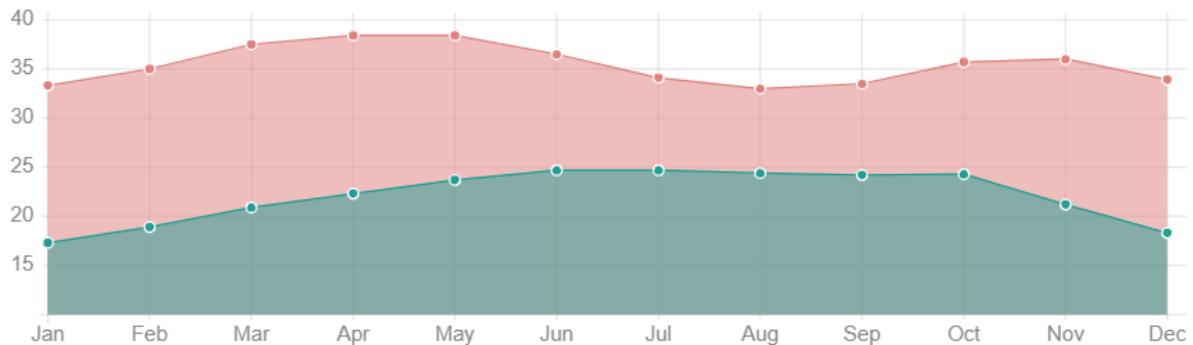


Figura 31: Temperaturas medias diarias y nocturnas en Senegal

Se han obtenido una serie de datos aportados por Meteoblue y representados en el Figura 32. Se muestra que la velocidad del viento máxima que se produce en el país es de 19km/h durante, como máximo, dos días al año. Sin embargo, la velocidad media del viento se encuentra en torno a los 5km/h.

Hay que tener en cuenta, que Senegal es un país con costa y, por tanto, el viento en el interior del país será menor que en las zonas expuestas al océano.

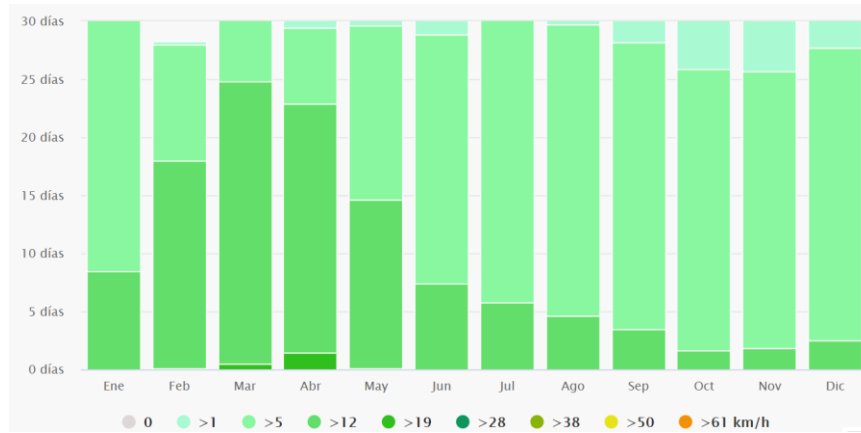


Figura 32: Media de la velocidad del viento en Senegal (MeteoBlue)

Analizando la radiación solar medida en el plano horizontal entre 1994 y 2018, se observa que Senegal, se encuentra entre 4,1 y 4,2 kWh/m² cada día, tal como se refleja en el Figura 33.

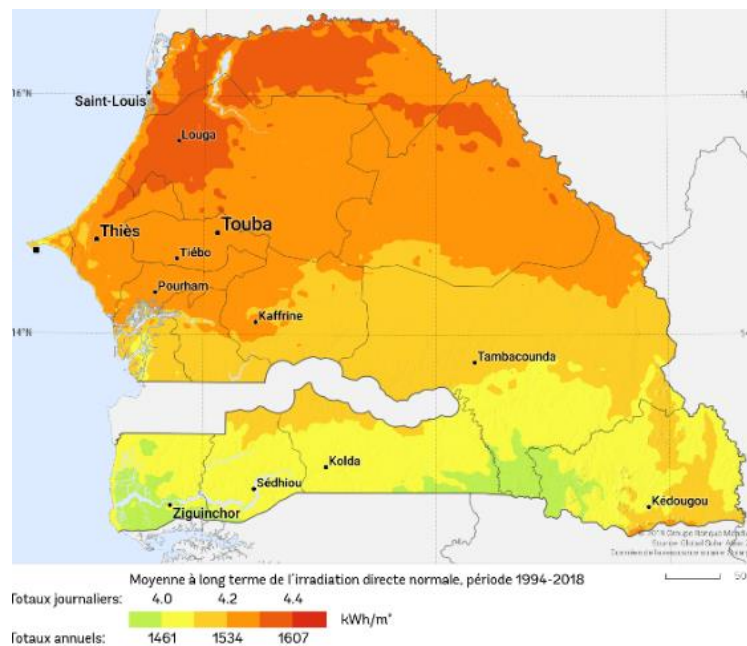


Figura 33: Radiación en Senegal [kWh/m²] (© 2017 The World Bank, Solar resource data: Solargis)

2.3.2.1 Clima en Kedougou

Concretando en la zona de Kedougou, localidad en la que está situada la aldea de Andiel, los meses de agosto y septiembre tienen una media superior a 18 días de lluvia. Sin embargo, la

media de días de lluvia no supera los 5 días durante siete meses del año, tal y como se refleja en el Figura 34. Además, en el Figura 35 cómo las precipitaciones pueden llegar hasta 11,5 mm/día durante el mes de agosto.

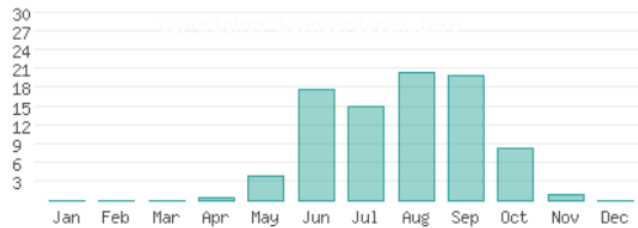


Figura 34: Días de lluvia al mes en Kedougou

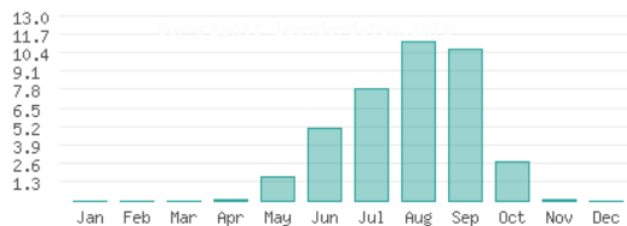


Figura 35: Precipitación en mm/día en Kedougou

Durante los meses secos, hay una media de 8 horas de luz solar al día tal como. Analizando la temperatura, el Figura 37 muestra una media máxima en el mes de abril de 40°C. La temperatura media mínima no baja de 15°C.

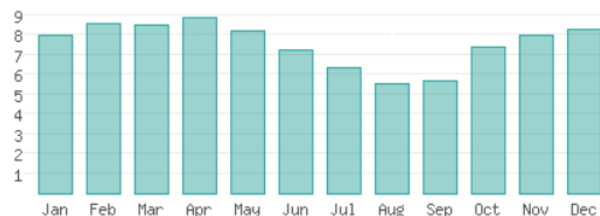


Figura 36: Horas de sol al día en Kedougou

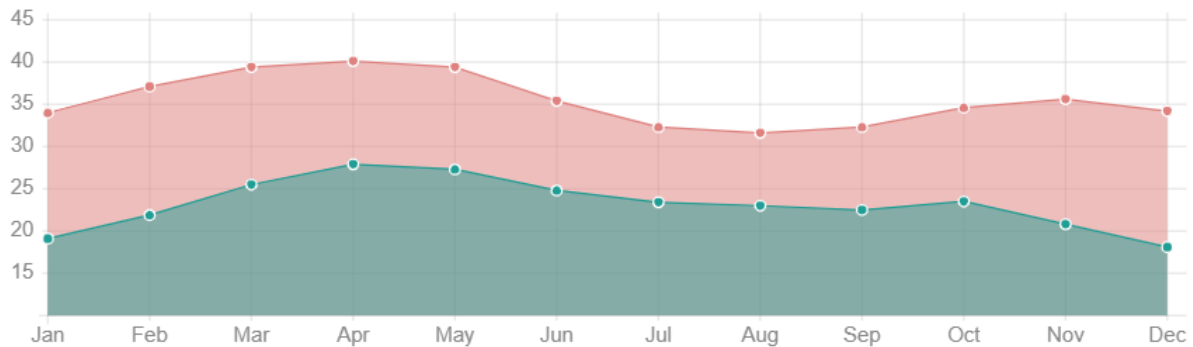


Figura 37: Temperaturas medias diarias y nocturnas en Senegal

2.4 BREVE ESTUDIO DE PLANTAS MACRÓFITAS

Las plantas macrófitas o hidrofíticas se pueden encontrar en lugares muy húmedos o acuáticos, y pueden dividirse en tres grandes grupos: plantas totalmente sumergidas, parcialmente sumergidas o de hojas flotantes. Dentro de las plantas flotantes, podemos encontrar los Nenúfares y los lotos.

El nenúfar es una planta herbácea con dos tipos de hoja, las inferiores que se encuentran sumergidas y que tienen unas dimensiones más grandes, y las superiores flotantes con una forma más larga.

Este tipo de plantas cumple con una función biológica fundamental para mantener limpia el agua. Su forma ayuda a cubrir la superficie de los estanques impidiendo que los rayos del Sol incidan en menor medida. Esto ayuda a impedir el crecimiento de las algas que necesitan la luz solar para proliferar y dificulta el aumento de temperatura en el agua.



Figura 38: Nenúfares (Ryan McGuire)

2.5 ARDUINO

2.5.1 ¿QUÉ ES?

Arduino es una familia de plataformas de hardware y software libres (el usuario puede acceder al esquema de la placa y a su código para modificarlo) cuyo principal componente es un microprocesador. Arduino nos permite captar información del exterior mediante el uso de sensores, analizarlos, y posteriormente, actuar sobre el exterior.

Dependiendo del Arduino escogido, se contará con unas características u otras, pues el microprocesador cambia de una placa a otra.

2.5.2 ¿CÓMO FUNCIONA?

Una placa Arduino cuenta con un microprocesador y diferentes periféricos. Estos periféricos son los que permiten conectar sensores y actuadores en función de las necesidades del usuario.

Por otro lado, cuenta con un entorno de desarrollo integrado IDE (integrated development environment). En su programación se utiliza un lenguaje basado en Wiring.

2.5.3 TIPOS DE ARDUINOS

- Arduino UNO:

Cuenta con el microprocesador ATmega328P que dispone de 6 pines digitales y 6 analógicos. El voltaje de operación es de 5V.



Figura 39: Arduino UNO (Arduino.cc)

- Arduino DUE:

El microcontrolador utilizado es el AT91SAM3X8E con un voltaje de operación de

3,3V. Cuenta con 54 pines digitales, 12 de los cuales se pueden utilizar como PWM, y 14 pines analógicos.



Figura 40: Arduino DUE (Arduino.cc)

- Arduino Leonardo:

Utiliza el microcontrolador ATmega32u4 con un voltaje de 5V. Dispone de 20 pines digitales y 12 analógicos.

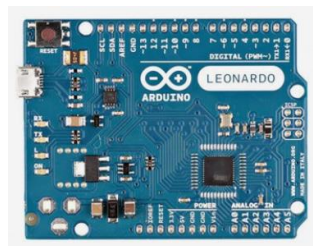


Figura 41: Arduino Leonardo (Arduino.cc)

- Arduino Mega

Cuenta con el microcontrolador ATmega2560 con 5V. Dispone de 54 pines digitales, de los cuales 15 pueden utilizarse como PWM, y 16 pines analógicos.

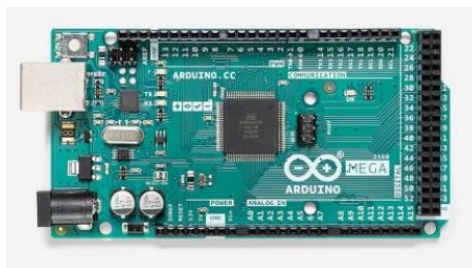


Figura 42: Arduino Mega [Arduino.cc]

- Arduino UNO Wifi

El microcontrolador utilizado en esta placa es el ATmega4809 con un voltaje de operación de 5V. Tiene 14 pines digitales y 6 analógicos.



Figura 43: Arduino UNO Wifi (Arduino.cc)

2.6 *SENSORES*

Un microprocesador tiene la capacidad de interactuar con el medio en el que se encuentra, para ello es necesario la utilización de sensores y actuadores.

Dentro de los sensores podemos encontrar distintos tipos, siendo los de más interés para el proyecto los siguientes:

- **Sensores digitales:** Transmiten al microprocesador un número binario (0,1) en función del estado en el que se encuentre. Los pulsadores y los interruptores pertenecen a este tipo de sensores.
- **Sensores analógicos:** Toman una medida del ambiente y la transmiten al microprocesador en forma de señal analógica. Dentro de este tipo de sensores se encuentran los sensores de temperatura, luz, gas, sonido, agua, pH, presión y humedad.

El sensor de luz detecta la intensidad lumínica del entorno de manera aproximada. Dependiendo del tipo de sensor puede detectar la luz artificial, la luz solar o ambas.

El sensor de gas permite detectar el nivel de monóxido de carbono en el ambiente.

El sensor de agua indica si el sensor está seco o mojado.

Este tipo de sensores siempre cuenta con un rango de medida, fuera de él, las medidas obtenidas no son fiables.

- Sensor de distancia: Este tipo de sensor puede ser un sensor ultrasonido o I.R. (Infra Rojo). Además, cuenta con un emisor y un receptor.

Los sensores de ultrasonidos miden el tiempo que tarda la propagación de una onda de sonido desde que el emisor envía dicha onda hasta que el receptor la capta de nuevo. Una vez que la onda ha sido enviada, rebota en el objeto que obstaculice el camino y vuelve al sensor.

Los sensores de luz infrarroja transmiten un rayo de luz desde el emisor, el cual impacta en el objeto y es devuelto al receptor. Este sensor obtiene la distancia en función del ángulo de incidencia y de la posición en la que el rayo impacta en el receptor.

2.7 ACTUADORES

El microprocesador permite, tanto mostrar información por pantalla a través de la interacción con el ordenador, como responder a través de actuadores e interactuar con el medio.

Entre los actuadores más utilizados podemos encontrar: LEDs, altavoces, motores DC, Servos o relés.

2.8 UTILIZACIÓN DE ARDUINO EN APLICACIONES INDUSTRIALES DE BAJA PRECISIÓN

Utilizando distintos sensores y actuadores se pueden realizar diversos proyectos que no requieren un alto grado de precisión. Algunos de los proyectos más comunes que se pueden realizar con las placas Arduino son:

- La estación meteorológica. A partir de los sensores de temperatura y humedad para medir las características del ambiente.

- El control de aparcamiento. Utiliza un sensor de distancia para guiar a un objeto al realizar maniobras.
- La alarma de seguridad. Se basa en sensores de distancia o sonido para detectar un posible movimiento.

Se pueden encontrar antecedentes de proyectos más específicos realizados en distintos Trabajos Fin de Grado. Entre ellos, se encuentra el realizado por Josep Fernández Daroca, “Ejemplo de aplicación con Arduino: Medida de caudal”, donde se expone la manera de utilizar una placa Arduino UNO con un caudalímetro reciclado para obtener la medida de un caudal. Otro ejemplo, es el realizado por Almudena de Paz Menéndez: “Desarrollo de un sistema de sensores para la detección de sustancias peligrosas”. En este proyecto se utiliza el sensor de dióxido de carbono para medir la concentración del gas y avisar cuando los niveles superan un límite de seguridad.

2.9 DISPOSITIVOS PARA LA PREVENCIÓN DE LA EVAPORACIÓN DEL AGUA

Se han realizado numerosos proyectos en distintos países para evitar que el agua de los estanques se evapore. Estos dispositivos se pueden dividir en tres grandes grupos: sistemas modulares flotantes, lonas y coberturas de sombreado.

2.9.1 SISTEMAS MODULARES FLOTANTES

El principal dispositivo de este grupo es la “Shade Ball” o “Bolas sombra” que consiste en una esfera con diferentes características en función del fabricante.

Las Shade Balls se implantaron en un embalse situado en Los Ángeles, Estados Unidos, con el objetivo de mantener la calidad del agua y evitar su evaporización. Se utilizaron 96 millones de bolas de plástico de color negro. El gran problema que supuso este proyecto fue la cantidad de agua que se utilizó en la creación de las bolas.

Los principales fabricantes de las Shade Balls utilizadas en Los Ángeles fueron Microdyne Plastics Inc., Artisan Screen Printing Inc., y XavierC. Dichas bolas contaban con las características expuestas en la siguiente tabla:

Tabla 1: Características Shade Ball producida por Microdyne Plastics Inc.

Hermético	Sí
Material	Polietileno de alta densidad
Diámetro	4 pulgadas
Peso	240 -260 g
Color	Negro
Aditivo	UV

Otra empresa dedicada a la fabricación de bolas sombra es Euro-Matic, creando dos tipos de esferas: “Air-Filled Shade Balls” y “Water-Filled Cover Ball”. Inicialmente, se crearon estas bolas para camuflar el agua y evitar que los pájaros se acercasen, pero tuvo como consecuencia que el 90% del agua no se evaporase.

Las Air-Filled Shade Balls están rellenas únicamente de aire y tienen un peso aproximado de 40g. Sin embargo, se mejoraron creando las Water-Filled Cover Balls, las cuales tienen 200 ml de agua en su interior. De esta manera, la mitad del diámetro de la esfera queda sumergido y se consigue más estabilidad en el caso de que se den rachas de viento. Las características en común de ambos modelos se muestran en las tablas

Tabla 2: Características Air-Filled Shade Balls de Euro-Matic

Material	Polietileno de alta densidad
Diámetro	100 mm
Color	Negro
Peso	40g
Superficie cubierta	116 bolas/m ²
Contenido	Aire

Tabla 3: Características Water-Filled Cover Balls de Euro-Matic

Material	Polietileno de alta densidad
Diámetro	100 mm
Color	Negro
Peso	240g
Superficie cubierta	116 bolas/m ²
Contenido	200 ml de agua



Figura 44: Cover/Shade Balls [Euro-Matic]

Otro modelo parecido a las bolas sombra anteriores es el creado por NeoTop Water System. La empresa NeoTop ha diseñado un sistema modular basado en dos conchas simétricas con un flotador en medio de ellas. Ambas partes cuentan con pequeños agujeros para que entre el agua. Al introducirse en agua, la mitad inferior quedará rellena y la superior vacía. Cuando se dé el proceso de evaporización, el H₂O evaporado pasará a la parte de arriba donde se condensará y volverá a bajar. De esta manera, el agua no se queda estancada y se mantiene en un ciclo continuo. El esquema de este dispositivo está representado en la Figura 45: Modelo de NeoTop Water System

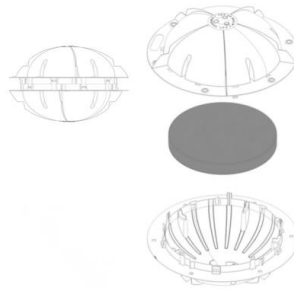


Figura 45: Modelo de NeoTop Water System

Otras empresas han optado por otro tipo de geometría, como es el caso de Evapo-control. Esta empresa española ha utilizado cuerpos de formas hexagonal y negros, como el mostrado en la Figura 46, para reducir el 85% de la evaporación del agua.



Figura 46: Modelo producido por Evapo-control

2.9.2 LONAS

Las lonas de gran tamaño, como la mostrada en la Figura 47, cubren por completo la superficie del agua. Son lonas pesadas y que requieren soportes flotantes o fijos para su utilización.



Figura 47: Lonas flotantes de Hidro-Cap

2.9.3 COBERTURAS DE SOMBREO

Se trata de una malla de polietileno utilizada principalmente en cultivos. Requiere de unos refuerzos especiales y las medidas de este tipo de mallas son más limitadas. Un ejemplo es la malla realizada por Rábita Agrotexil y mostrada en la Figura 48.



Figura 48: Malla de sombreado de Rábita Agrotexil

2.10 SOLIDWORKS, IMPRESIÓN 3D Y FABRICACIÓN ADITIVA

La fabricación aditiva es un proceso mediante el cual se van añadiendo capas de un material en concreto hasta lograr obtener la pieza u objeto deseado. Este método de fabricación cuenta con una serie de ventajas como pueden ser la rapidez de este o el hecho de no utilizar un exceso de material. Esto hace que se utilicen menos recursos energéticos, por tanto, la impresión 3D es un método más sostenible que la fabricación tradicional. Pero, la gran ventaja que supone este tipo de procesos es la facilidad de construir geometrías complicadas, mientras que en la fabricación tradicional (sustractiva) las geometrías complicadas son más difíciles y suponen un incremento en el coste final.

Existen varios tipos de fabricación aditiva:

- Fusión de lecho de polvo. Cada una de las capas está formada de partículas de polvo las cuales se funden de manera selectiva con un láser o un haz de electrones. El polvo sobrante se retira y se puede volver a reutilizar.
- Modelado por deposición fundida. Se trata de depositar de manera precisa un filamento de material termoplástico fundido para posteriormente solidificarlo.
- Material Jetting. Consiste en depositar gotas de un material fotorpolímero creando una capa y solidificarla con una luz UV.

Para lograr el proceso se necesitan una serie de materiales básicos: un ordenador, un software de modelado 3D (en este caso se ha utilizado SolidWorks), un equipo de fabricación aditiva (como puede ser una impresora 3D) y el material que se precise para elaborar la pieza.

El primer paso es realizar un boceto del objeto que se desea construir. Para ello, se utiliza SolidWorks ya que contiene numerosas herramientas que facilitan el diseño en 3D. A continuación, el equipo de fabricación aditiva lee los datos y genera la pieza capa por capa. Es muy importante tener en cuenta el material que permite la impresora 3D.

Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

3.1 JUSTIFICACIÓN

Debido a las carencias en infraestructuras y a las condiciones ambientales que sufren países como Benín y Senegal, la realización de proyectos enfocados en mejorar la calidad de vida toma gran relevancia. Los meses con bajas precipitaciones y altas temperaturas provocan un elevado ritmo de evaporación del agua en los embalses que es necesario contrarrestar. Por ello, es necesario disminuir la cantidad de radiación recibida por la superficie del agua, y para lograrlo, se ha de reducir el área expuesta a dicha radiación.

Para cubrir un área, la utilización de dispositivos modulares de antievaporación (DMA) presenta una serie de ventajas frente al uso de un único elemento de mayores dimensiones, como una lona o una superficie de sombreado. Los dispositivos modulares se adaptan a cualquier área sin necesidad de cambiar su diseño, tienen menor peso y son fácilmente manipulables.

Es imprescindible conocer la eficacia del proyecto, por ello se desarrolla un sistema electrónico basado en Arduino para medir las características ambientales que se desean conocer. Utilizar un sistema electrónico ayuda a conocer de manera precisa el estado del agua y realizar un correcto seguimiento del ritmo de evaporación.

Finalmente, se utilizan técnicas de fabricación aditiva para la realización de ensayos que avalan la utilidad y funcionamiento del proyecto.

3.2 OBJETIVOS

Este trabajo se realiza para mejorar la calidad de vida en zonas desfavorecidas. Para ello, se han fijado los siguientes tres objetivos:

1. Conseguir medir de manera aproximada el ritmo de evaporación del agua en zonas semiáridas. Para realizar el proyecto es esencial conocer los datos y las características

del contexto, por ello se creará un sistema electrónico capaz de realizar esta medición. Una vez diseñado, el sistema valdrá para otros proyectos diferentes y para tomar datos en zonas con características climáticas similares.

2. Minimizar el ritmo natural de evaporación, permitiendo que los ciudadanos del lugar en el que se instale el proyecto tengan acceso al agua durante los periodos de sequía. Para ello se diseñará un prototipo de sistema modular flotante resistente a la temperatura de las zonas consideradas (Andiel y Bouanri).
3. Propiciar el mantenimiento de la calidad del agua minimizando la radiación y la evaporación.

3.3 METODOLOGÍA

Este trabajo se ha dividido en 5 fases distintas: estudio, diseño del DMA, diseño e implantación del sistema electrónico, fabricación del DMA y ensayos.

En la fase de estudio, se desarrolla el estado del arte para conocer tanto las condiciones climatológicas a las que se verá expuesto el modelo como aquellos proyectos relacionados de alguna manera con el tema en cuestión. Se analizan los diferentes tipos de plantas acuáticas y su función biológica para poder imitar algunas de las propiedades en el prototipo que se diseñará posteriormente. Se evalúan, además, los distintos tipos de placas Arduino y sus sensores para poder seleccionar los más apropiados, siendo condición necesaria que funcionen dentro de los límites marcados por el clima.

En la fase de diseño del DMA, se realizan diversos bocetos de prototipos tomando como referencia los proyectos creados anteriormente y las funciones de las plantas acuáticas. Además, se diseñarán estos bocetos con la ayuda del software SolidWorks.

En la fase de diseño e implantación del sistema electrónico, se diseña y crea el circuito con los sensores elegidos en la etapa de estudio para crear el dispositivo de medida y se programará el microprocesador de la placa seleccionada utilizando el entorno de desarrollo IDE que proporciona Arduino.

En la fase de fabricación del DMA, se procederá a fabricar los prototipos diseñados en SolidWorks utilizando una impresora 3D.

Por último, se realizará la fase de ensayos con una serie de experimentos en los que se obtendrá información sobre el ritmo de evaporación del agua y se comprobará la eficacia de los diferentes prototipos.

3.4 PLANIFICACIÓN

Este trabajo se ha dividido en cinco etapas distintas, cada una de ellas tiene una duración de entre dos y tres semanas.

Durante la primera etapa se desarrolla el estado del arte para conocer tanto las condiciones climatológicas a las que se verá expuesto el modelo como aquellos proyectos relacionados de alguna manera con el tema en cuestión. Se realiza un estudio sobre los diferentes tipos de plantas acuáticas y su función biológica para poder imitar algunas de las propiedades en el prototipo que se diseñará posteriormente. Se estudian, además, los distintos tipos de placas Arduino y sus sensores.

En una segunda etapa, se analiza cuál es la placa más conveniente y qué sensores son apropiados, siendo condición necesaria que funcionen dentro de los límites marcados por el clima.

Paralelamente, se diseñan los primeros bocetos de prototipos tomando como referencia los proyectos creados anteriormente y las funciones de las plantas acuáticas. A continuación, se diseñarán estos bocetos con la ayuda del software SolidWorks.

En la tercera etapa del proyecto, se procederá a fabricar los prototipos diseñados en SolidWorks utilizando una impresora 3D. Se montará el circuito electrónico con los sensores elegidos en la etapa anterior para crear el dispositivo de medida y se programará el microprocesador de la placa seleccionada utilizando el entorno de desarrollo IDE que proporciona Arduino.

En cuarto lugar, se realizarán una serie de experimentos en los que se obtendrá información sobre el ritmo de evaporación del agua y se comprobará la eficacia de los diferentes prototipos.

Finalmente, se realizarán las conclusiones y se analizarán para lograr el prototipo que cumpla con los objetivos.

En la Figura 49 se puede apreciar la organización cronológica de las distintas tareas:

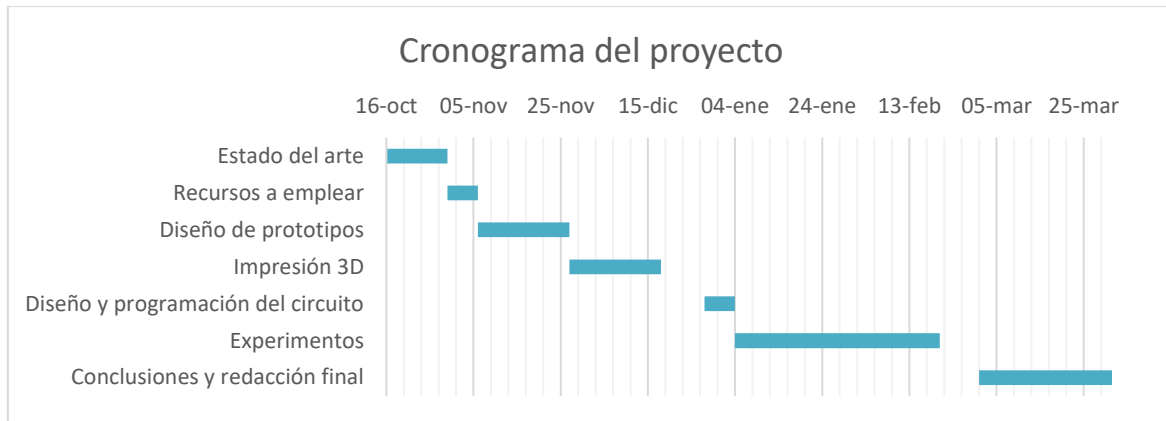


Figura 49: Cronograma del proyecto

3.5 ESTIMACIÓN ECONÓMICA

La estimación económica de este proyecto está dividida en dos partes: estimación del desarrollo del prototipo y estimación de la producción a gran escala del mismo.

En primer lugar, la estimación económica del desarrollo del prototipo incluye únicamente lo que se ha necesitado para lograr el prototipo final: desde la parte de estudio y diseño a la parte experimental. Todos los gastos quedan reflejados en la Tabla 4.

Tabla 4: Gastos durante el desarrollo del prototipo

Producto/ Servicio	Precio (€)
Arduino Mega 2560 Rev. 3	35
Sensor de temperatura y humedad	8,29
Sensor de distancia	12,99
Sensor temperatura agua	3,28
Mini Breadboard	4,49
Cables	1,75
Rollo PLA 1Kg Café	16,82
Rollo PLA 1Kg Negro	16,82
Rollo PLA 1Kg Verde oscuro	16,82
Energía utilizada en los ensayos	12,4
Licencia SolidWorks 3 meses	1010
Trabajo ingeniero 15€/h durante 100 h	1500
Total	2638,66

Por otro lado, se ha realizado un estudio sobre el coste de fabricación a gran escala del producto. Concretamente, se ha realizado el estudio para la fabricación de 1000 DMAs. En este caso, se han de tener en cuenta tanto los costes que se dejan de tener como los costes añadidos.

Una vez que se ha realizado el prototipo, no es necesario aumentar el gasto en componentes electrónicos, por lo que no se tienen en cuenta en esta situación. Además, la energía utilizada durante los ensayos tampoco se tendrá en cuenta. Estos ensayos son exclusivos del desarrollo y no se volverán a realizar en fases posteriores.

Los costes referidos a la fabricación, como puede ser el material, se verán aumentados. Dentro de este estudio, es importante recalcar que la estimación realizada es para un proceso de fabricación mediante impresión 3D, que no es necesariamente el proceso de fabricación con el que se realizará (consultar “*Conclusiones y Trabajos futuros*”).

La cantidad de material PLA utilizado se ha determinado a partir del peso calculado en la sección 5.3.8 donde se muestra el prototipo final. Este peso es de 180,5482 g/prototipo por lo que serán necesarios 180,5482 Kg de PLA. Además, se propone la utilización de la impresora Zortrax M200 debido a los buenos resultados obtenidos durante el desarrollo. Además, se ha estimado el precio del ordenador tomando como referencia el ordenador HP Elite. Este ordenador es un modelo de bajo precio y cuenta con las características mínimas para poder utilizar el software de la impresora: Z-Suite.

Por último, se estima que por cada 3 horas de impresión se necesita una hora del servicio de un operador. El tiempo de impresión estimado por dispositivo es de 16,5 horas aproximadamente, por lo que se necesita un servicio de 5500 horas de un operador para imprimir 1000 unidades del DMA.

Tabla 5: Gastos fabricación final

Producto/ Servicio	Cantidad (ud.)	Precio unitario (€)	Precio (€)
PLA (Kg)	180,5482	16,82	3036,82
Impresora Zortrax M200	1	2150	2150
Ordenador + pantalla	1	265	265
Operador	5500	10	55000
Precio por DMA	-	-	5,45
Precio 1000 DMAs	-	-	60451,82

Capítulo 4. ESTUDIO

Los datos e ideas que se han tomado como base del proyecto se encuentran explicados y desarrollados en el *Capítulo 2.* de este documento. En este apartado se muestran las conclusiones que se han obtenido y con las cuales se han realizado el resto de las fases del proyecto.

4.1 LÍMITES CLIMATOLÓGICOS

Un diseño adecuado de un dispositivo, mecánico o electrónico requiere conocer en primer lugar los límites de funcionamiento a los que se verá sometido. Por ello, utilizando los datos mostrados en la sección 2.3 *Clima en África*, se han elaborado las tablas mostradas en este apartado a modo de resumen.

En la Tabla 6 se muestran los límites de la temperatura ambiente tanto de los países como en las regiones concretas en los que se puede llegar a instalar el proyecto. Para calcular los límites de exposición se ha considerado un factor de seguridad del 30%. De esta manera, el límite superior ha de ser un 1,3 veces la temperatura máxima encontrada, y el límite inferior un 0,7 veces la temperatura mínima encontrada.

Tabla 6: Límites de la temperatura ambiente

Región	T ^a max. (°C)	T ^a min. (°C)
Benín	36	20
Borgou	37	20
Senegal	39	17
Kedougou	40	15
Límites	52	10,5

Los datos encontrados sobre la temperatura del agua han sido tomados de manera general en ambos países y no se conocen datos concretos de las regiones de Borgou y Kedougou. Los

límites calculados en la Tabla 7 han sido calculados de la misma manera que en el caso anterior: considerando un factor de seguridad del 30%.

Tabla 7: Límites de temperatura del agua

Región	T ^a máx.	T ^a mín.
Benín	29	24
Senegal	27	20
Límites	37,7	14

Otro factor clave para poder elegir adecuadamente los componentes del circuito electrónico es la humedad relativa del ambiente. Se ha elaborado la Tabla 8 teniendo en cuenta un factor de seguridad del 5% puesto que se trata de un parámetro más estable.

Tabla 8: Humedad relativa en el ambiente

Región	Humedad máx.	Humedad mín.
Benín	83	55
Senegal	81	49
Límites	87,15	46,55

Estos tres factores se tendrán en cuenta a la hora de seleccionar los componentes del sistema electrónico y el material de fabricación del DMA.

4.2 ASPECTOS IMPORTANTES DEL DMA

Analizando tanto la función biológica de las plantas marinas como los proyectos anteriores que se han expuesto en el apartado “*Breve estudio de plantas macrófitas*” y en el de “*Dispositivos para la prevención de la evaporación del agua*” se han llegado a una serie de características que ha de cumplir el dispositivo de cobertura del embalse o estanque:

1. El dispositivo ha de ser modular. Esto permite que sea fácilmente manejable a la vez que se adapte a cualquier área en la que se desee colocar. Además, el bajo peso de cada dispositivo favorece su transporte.

2. El dispositivo ha de ser simétrico en ambas caras para favorecer la implantación de un gran número de dispositivos en los embalses.
3. El cuerpo ha de ser de color negro para lograr minimizar la radiación que llega al agua.
4. Se requiere un diseño que no favorezca la proliferación de algas.

4.3 PLACA DE ARDUINO Y SENSORES

A la hora de elegir la placa de Arduino adecuada, se ha elaborado la Tabla 9 comparativa en la que se muestran distintas características. Se descarta la placa DUE al contar con una tensión de operación menos común que el resto de las placas. La placa Leonardo queda descartada al no disponer de ningún puerto USB, imprescindible para una conexión cómoda con el ordenador. Las placas UNO y UNO Wifi se descarta debido a que presentan menor número de pines analógicos y digitales que la placa Mega. Al contar con mayor número de pines, la placa Mega puede mantenerse a la hora de realizar ampliaciones futuras del proyecto.

Tabla 9: Comparación de placas Arduino

Nombre	Pines digitales	Pines analógicos	Precio (€)	Tensión de operación (V)	N.º de puertos USB
UNO	14	6	20	5	1
DUE	54	12	35	3,3	2
Leonardo	20	12	18	5	0
Mega	54	16	35	5	1
UNO Wifi	14	6	38,9	5	1

Por otro lado, para poder medir algunos de los parámetros de los que depende la evaporación del agua, se han seleccionado los siguientes sensores:

- Módulo Ultrasonido con sensor de distancia integrado de la marca KeeYees. Este módulo cuenta con una sonda impermeable de 2,5m.
- Módulo de temperatura y humedad de la marca AZDelivery. Está formado por un sensor DHT22 y dos resistencias en paralelo para realizar una conexión directa con la placa Arduino Mega.

- Módulo de sensor de temperatura DS18B20 con sonda impermeable de 100 cm con punta de acero inoxidable y un circuito pull up para facilitar la conexión con la placa. Ideal para la medición de la temperatura del agua. Se trata de un sensor digital que utiliza un protocolo de comunicación 1-Wire. El rango de temperatura de medición va desde -55°C a 125°C, cumpliendo con los límites presentados en la Tabla 7. Se puede usar a 5V (tensión a la que funciona la placa Arduino Mega elegida).

Capítulo 5. DISEÑO DEL DMA

5.1 CARACTERÍSTICAS

Las características que se han considerado como base para desarrollar el Dispositivo Modular de Antievolaporación (DMA), están reflejadas en el apartado “*Aspectos importantes del DMA*” del capítulo 4.

Adicionalmente, se ha considerado que la línea de flotación del cuerpo ha de quedar ligeramente por debajo del centro de gravedad para asegurar la flotación ante perturbaciones.

5.2 PRIMEROS BOCETOS

Teniendo en cuenta las distintas geometrías mostradas en el “*Estado del arte*” se han seguido dos líneas principales de diseño: una basada en la esfera y otra en la forma geométrica de un nenúfar.

En la primera línea, se han tomado como base las Shade Balls de las distintas empresas que se muestran en el apartado de “*Sistemas modulares flotantes*”. Partiendo de la geometría de la esfera, se han diseñado tres bocetos diferentes representados en la Figura 50.

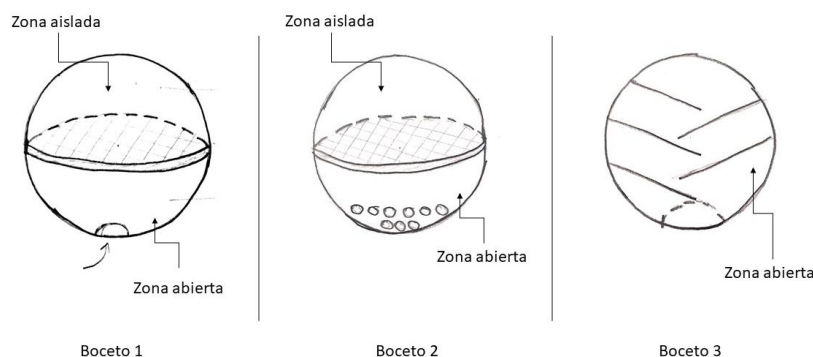


Figura 50: Bocetos de geometría esférica

En el boceto 1 de la ilustración anterior, se ha separado la esfera en dos secciones: una zona aislada y una zona abierta. La zona aislada está destinada a contener únicamente aire en su interior, de tal manera que cumpla la función de flotador. La sección abierta, cuenta con un orificio en la parte inferior para la entrada de agua. Ambas partes se encuentran separadas por una pared sólida por la cual no puede penetrar el agua.

El boceto 2 presenta una estructura idéntica a excepción del orificio inferior, que ha sido sustituido por pequeños agujeros de menos diámetro que ralentizarían el acceso del agua.

El boceto 3 cuenta con una serie de láminas internas solapadas, de esta manera, las partículas de agua evaporadas podrían condensarse y volver a caer. La gran desventaja de este diseño es la dificultad de que la línea de flotación quede en torno al centro geométrico del cuerpo.

De manera general, estos bocetos presentan la ventaja de tener un diseño simple. Sin embargo, presentan una gran desventaja por la cual se han descartado: no son simétricos. Al no ser simétricos, la labor del operario que coloque estos dispositivos en un estanque requerirá de mucho más tiempo.

Se ha elaborado una segunda línea basada en la forma geométrica del nenúfar. Los bocetos están representados en la Figura 51.

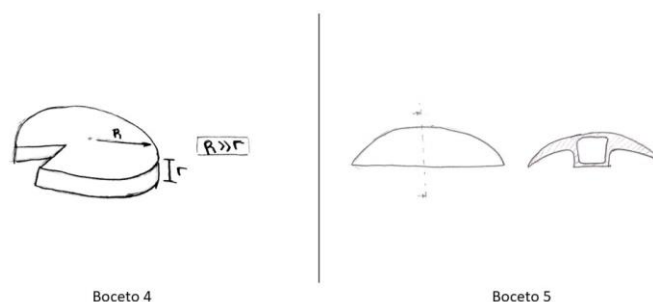


Figura 51: Bocetos basados en la geometría del nenúfar

El boceto 4 consiste en una lámina de pequeño grosor simulando la forma de un nenúfar. La desventaja de este diseño es la necesidad de un material con muy baja densidad para lograr que

flote. Además, en el caso de que flotase, al presentar un grosor tan fino, presentaría un comportamiento inestable ante perturbaciones.

En el boceto 5, se ha optado por añadir un depósito de aire a modo de flotador cubierto por un tejado a modo de semicircunferencia. Este modelo, tendría mayor estabilidad frente a perturbaciones.

Finalmente, se ha elaborado un último boceto, reflejado en la Figura 52. donde se ha optado por mantener un cuerpo ovalado con dos flotadores de aire laterales y un depósito intermedio al cual llega el agua a través de los tres orificios inferiores.

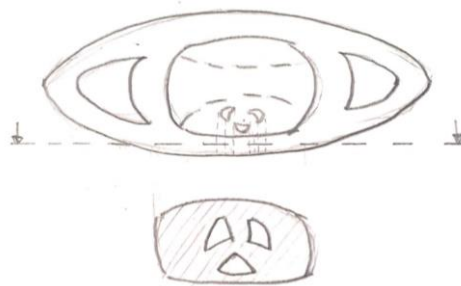


Figura 52: Boceto 6 con geometría ovalada

5.3 DISEÑOS EN SOLIDWORKS

Tras analizar las ventajas e inconvenientes de los primeros bocetos, se procede a diseñar una serie de prototipos de manera precisa y utilizando un software de modelado 3D: SolidWorks.

En cada prototipo planteado se ha obtenido el porcentaje de volumen del cuerpo que quedaría sumergido en el agua. De tal manera, que aquellos cuerpos con un porcentaje superior al 50% serán descartados. Este software permite calcular de manera rápida áreas y volúmenes, facilitando así la obtención del porcentaje de cuerpo sumergido. Para conocer dicho porcentaje, se ha de tener en cuenta el principio de Arquímedes: “Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado”. Es decir, hay que tener en cuenta la fuerza de empuje además del peso del propio cuerpo.

Para que el cuerpo esté en reposo las fuerzas ejercidas sobre él han de anularse, llegando por tanto a la conclusión expresada en la Ecuación 1:

$$W = E_{H_2O} + E_{aire}$$

Ecuación 1

$$m_{PLA} * g = \rho_{H_2O} * V_{desalojado} * g + \rho_{aire} * m_{aire} * g$$

Que al simplificar queda la Ecuación 2, con la que se realiza el cálculo del volumen desalojado:

$$m_{PLA} = \rho_{H_2O} * V_{desalojado} + m_{aire}$$

Ecuación 2

Una vez calculado el volumen desalojado se compara el volumen que ocupa el objeto (incluyendo los distintos flotadores de aire) con el porcentaje de volumen desalojado.

Se ha utilizado en los cálculos la densidad del PLA, material con el que se realizará la fabricación en 3D (explicado más detalladamente en el Capítulo 7.).

Este cálculo queda detallado en cada uno de los prototipos diseñados.

5.3.1 PROTOTIPO N.º 1

El primer prototipo diseñado en este software ha sido el correspondiente al boceto 1 representado en la Figura 53.

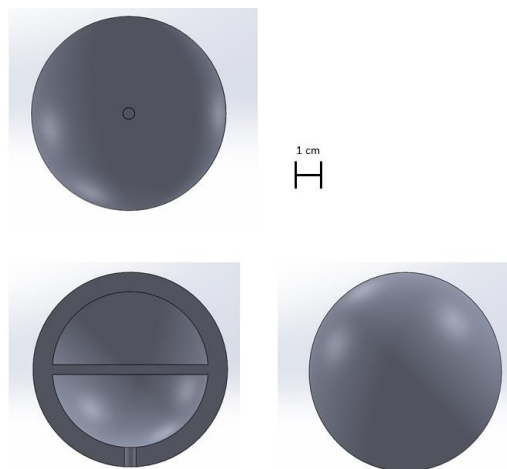


Figura 53: Prototipo 1

Adicionalmente se han obtenido los siguientes datos:

Volumen del material: 280,3097 cm³

Masa del cuerpo: 347,5840 g

Volumen flotador: 121,5027 cm³

Masa de aire contenida en el flotador: 0,1438 g

Utilizando la Ecuación 2, se obtiene que el volumen desalojado es de 347,4402 cm³, lo que supone que el 86,46% del cuerpo quede sumergido. Debido a esto, este prototipo queda completamente descartado.

5.3.2 PROTOTIPO N.º 2

Tomando como base el boceto número 5, se ha diseñado una semiesfera con un cilindro interno (Figura 54). El cilindro está compuesto por 4 capas (numeradas de abajo a arriba), de las cuales se han representado en detalle las que contienen algún orificio. El sistema está diseñado de tal manera que las partículas de agua realicen un recorrido a través de las capas a medida que se van evaporando, para que cuando se condensen puedan volver a caer. En la parte superior se ha dejado un espacio de aire para facilitar la flotación.

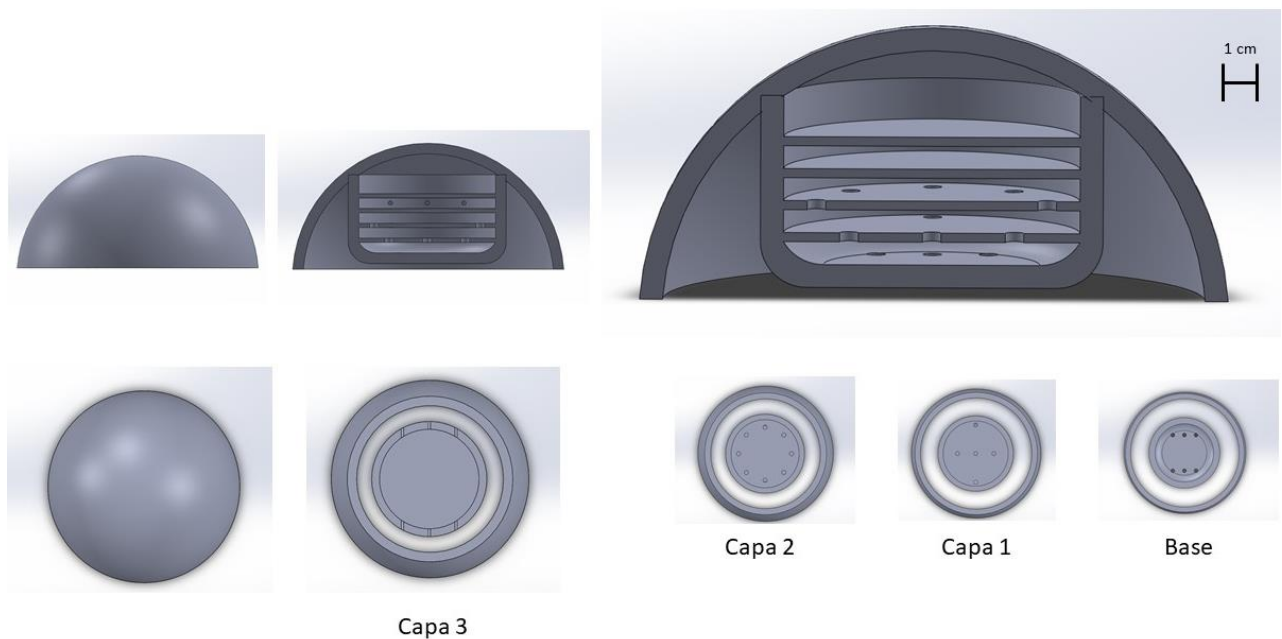


Figura 54: Prototipo 2

Volumen del material: 193,5585 cm³

Masa del cuerpo: 240,0126 g

Volumen flotador: 46,3409 cm³

Masa de aire contenida en el flotador: 0,0549 g

El volumen desalojado aplicando la Ecuación 2 es de 239,9577 cm³, superior al volumen total del prototipo. Es decir, este modelo encontrará el punto de equilibrio cuando se encuentre completamente sumergido. Este modelo no es válido para lograr los objetivos del proyecto.

5.3.3 PROTOTIPO N.º 3

Partiendo de la idea del prototipo anterior, se opta por reducir la curvatura de la superficie superior minimizando el área, tal y como se muestra en la Figura 55. Se pueden distinguir cuatro zonas internas en el tronco del cuerpo, siendo la de mayor volumen la zona de aire. Al igual que en el caso anterior, se han diseñado los orificios de tal manera que el agua penetre con facilidad en la primera capa, pero entre de manera más lenta en las capas superiores: se reduce el diámetro del orificio.

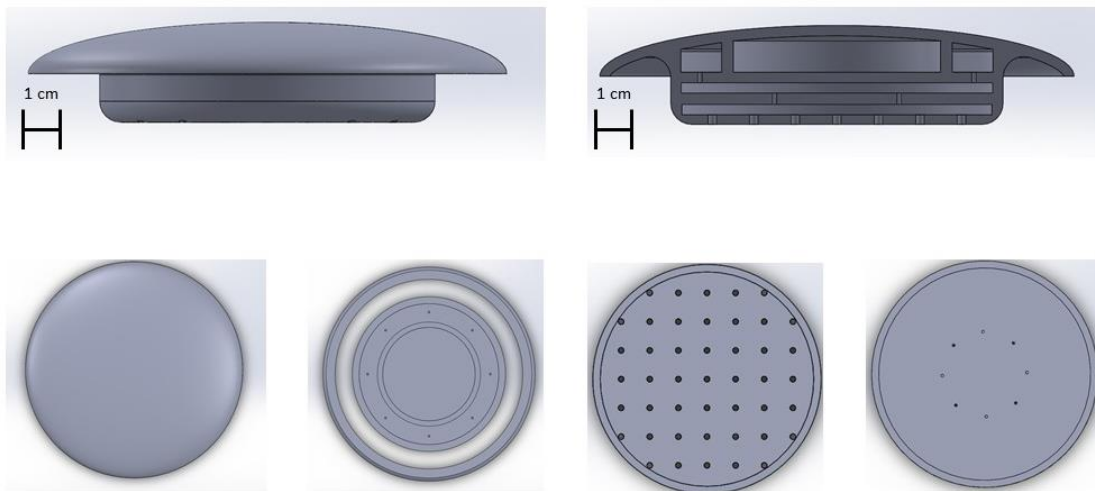


Figura 55: Prototipo 3

Volumen del material: 601,6171 cm³

Masa del cuerpo: 746,0052 g

Volumen flotador: 127,7449 cm³

Masa de aire contenida en el flotador: 0,1512 g

Este modelo tendría un volumen desalojado de $745,854 \text{ cm}^3$ por lo que el agua se introduciría por las ranuras llenando el 100% del espacio libre y causando el hundimiento del cuerpo. Este modelo no es apto para el proyecto.

A pesar de ello, se decide fabricar la mitad del prototipo para analizar el resultado. De esta impresión, detallada en el apartado 7.2, se concluye que los orificios pueden llegar a ser obstruidos fácilmente por algas, y por consiguiente sería preferible o bien aumentar el diámetro de los orificios, o bien eliminarlos.

5.3.4 PROTOTIPO N.º 4

A la hora de realizar el prototipo número 4, se ha considerado la posibilidad de realizar un modelo formado por varias piezas ensambladas. Pese a que en la Figura 56 se muestra el resultado, esta idea acabó siendo descartada por la complejidad de fabricación y su incompatibilidad para realizarla con una impresora 3D.

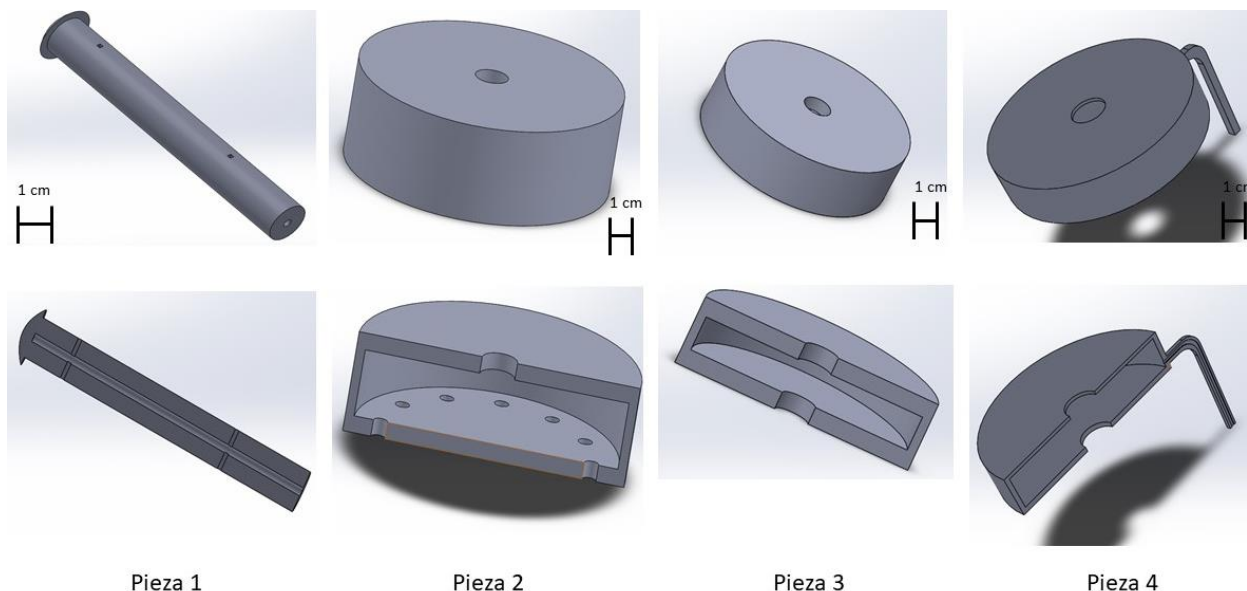


Figura 56: Prototipo 4

El prototipo se compone por cuatro piezas diferentes. La pieza 2 ejerce de base a la que se le colocan en la parte superior las piezas 3 y 4 sucesivamente. La pirámide que forman el conjunto de las piezas es unida finalmente mediante la pieza 1.

El recorrido a realizar por una partícula de agua difiere ligeramente de los casos anteriores. En un primer momento la partícula de agua puede entrar por los orificios situados en la base del cuerpo (Pieza 2) o por el orificio del tubo de unión (Pieza 1). A través del tubo de unión, la partícula evaporada podría moverse hacia la zona interna de la Pieza 4, zona destinada a la condensación del agua. Una vez que la partícula se condensase, caería al exterior a través del fino conducto de la pieza.

Tras realizar este diseño, se descarta la fabricación por piezas en los siguientes modelos, pero se empieza a considerar la importancia del movimiento de las partículas para ayudar en su condensación.

5.3.5 PROTOTIPO N.º 5

Tras descartar las ideas basadas completamente en una geometría esférica, se continúa elaborando la idea expuesta en el boceto 6. Para ello, se diseña un cuerpo ovalado con dos flotadores de aire laterales y una zona central. Las dos zonas centrales se pueden llenar de agua por las rendijas disponibles tanto en la parte inferior como superior y, además, poseen una geometría redondeada para dificultar la adición de microorganismos. El prototipo está reflejado en la Figura 57.

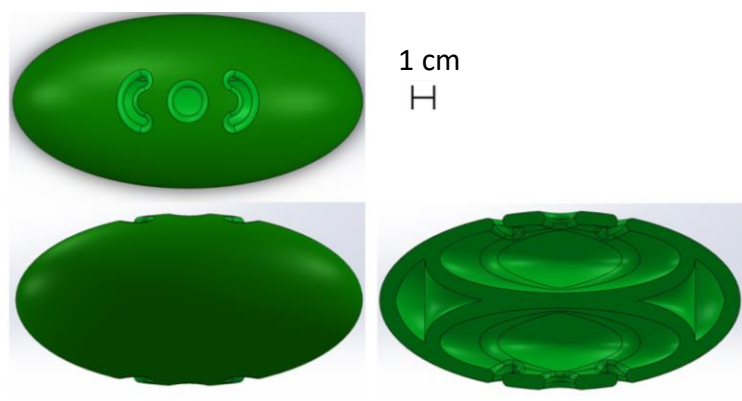


Figura 57: Prototipo 5

Este dispositivo cuenta con las siguientes características físicas:

Volumen del material: 152,6888 cm³

Masa del cuerpo: 189,3341 g

Volumen flotador: 8,9625 cm³

Masa de aire contenida en el flotador: 0,0106 g

El volumen desalojado resultante es de 189,3235 cm³, superando el volumen total del cuerpo, por lo que el sólido queda completamente sumergido. Para reducir el porcentaje de cuerpo sumergido, es necesario reducir el volumen del cuerpo sin reducir el volumen del flotador, o bien, aumentar el volumen del flotador.

Además, se observa que, al poseer una geometría ovalada, el área cubierta por un gran número de estos prototipos será ligeramente inferior que en el caso de esferas. Esta ligera disminución es ventajosa para favorecer la oxigenación del agua e impedir que se acumulen algas en la capa superior del embalse.

En resumen, las ventajas principales que posee este son tanto la simetría del cuerpo como la geometría (aristas redondeadas y cuerpo ovalado). Ambos aspectos se tendrán en cuenta en los siguientes diseños.

5.3.6 PROTOTIPO N.º 6

En este diseño, se ha optado por modificar el prototipo del apartado anterior para aumentar las zonas de aire a la vez que se mantiene una simetría en el cuerpo. Además, siguiendo las conclusiones obtenidas con dicho prototipo, las zonas destinadas al contacto con el agua presentan aristas redondeadas.

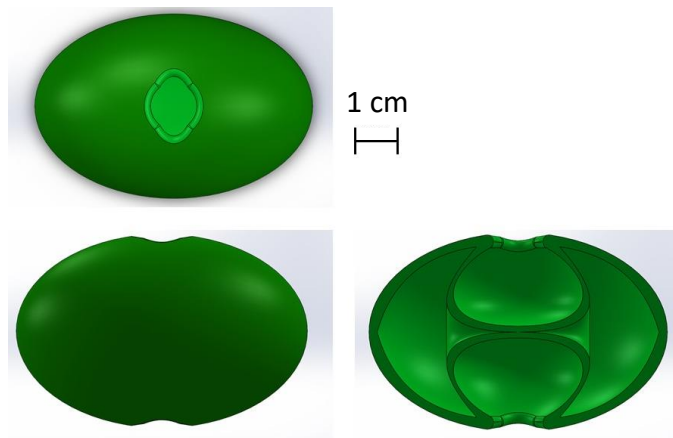


Figura 58: Prototipo 6

En este caso, se ha conseguido aumentar el tamaño de los flotadores laterales a la vez que se reduce el volumen del material. Los datos de volúmenes y masas para el estudio de flotación se muestran a continuación:

Volumen del material: $353,5646 \text{ cm}^3$

Masa del cuerpo: $438,4201 \text{ g}$

Volumen flotador: $238,4328 \text{ cm}^3$

Masa de aire contenida en el flotador: $0,2822 \text{ g}$

Sustituyendo los datos obtenidos en la Ecuación 2, se obtiene un volumen de fluido desalojado de $438,139 \text{ cm}^3$, lo que supone que un $74,01\%$ del cuerpo quede sumergido.

Con estos resultados se concluye que la hipótesis de aumentar el porcentaje de volumen del área de aire es indispensable para poder obtener una línea de flotación por debajo de la mitad del cuerpo.

Por otro lado, se observa que la colocación de dos zonas diferenciadas abiertas al exterior puede ser contraproducente. Si por cualquier alteración en el medio, el contenido de la zona superior quedase total o parcialmente lleno de agua, el porcentaje del volumen del cuerpo sumergido aumentaría.

5.3.7 PROTOTIPO N.º 7

Para el diseño mostrado en la Figura 59, se opta por eliminar una zona interna para el agua y destinar todo el espacio al flotador de aire. Se mantiene la geometría ovalada de los prototipos anteriores para asegurar que el área cubierta no suponga la creación de una capa de algas en la capa superior del embalse.

Además, se ha colocado una hendidura en la parte central para facilitar la condensación de la partícula. Cuando una partícula de agua se comienza a calentar tenderá a adherirse a la pared del cuerpo, por lo que esta hendidura, además de incrementar el área sin modificar en exceso la masa del cuerpo, facilita la adhesión de la partícula que al comenzar a evaporarse dispondrá de un recorrido a través del cual puede llegar a enfriarse y condensar de nuevo.

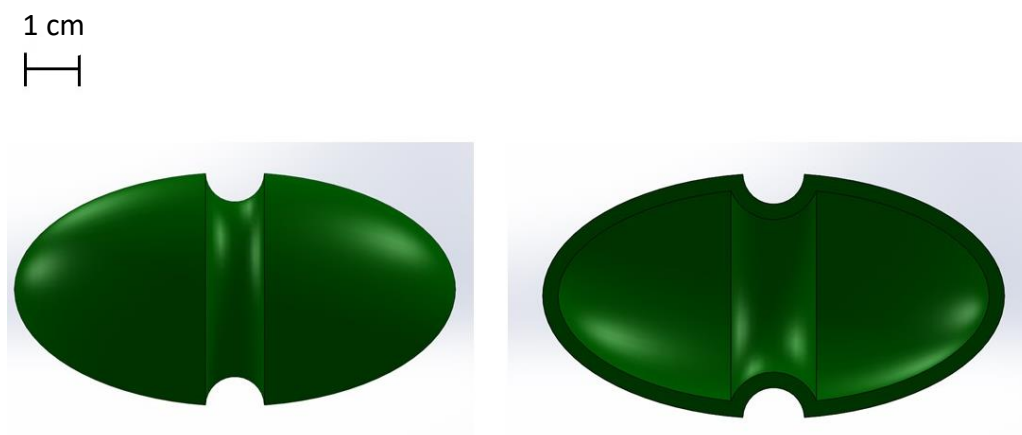


Figura 59: Prototipo 7

Teniendo todos estos aspectos en cuenta se han logrado los siguientes datos:

Volumen del material: 148,7267 cm³

Masa del cuerpo: 184,4212 g

Volumen flotador: 311,3881 cm³

Masa de aire contenida en el flotador: 0,3686 g

El volumen de agua desalojado por el cuerpo es de 184,0526 cm³, lo que supone que el 40% del cuerpo quede sumergido.

5.3.8 PROTOTIPO N.º 8

Tras el estudio del prototipo 7, se han modificado la curvatura de las aristas, tal como muestra la Figura 60, y se han recalculado los distintos valores de masas y volúmenes.

1 cm

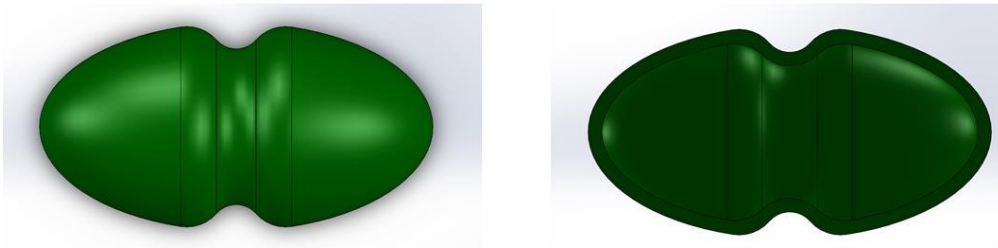



Figura 60: Prototipo 8

Volumen del material: 145,6034 cm³

Masa del cuerpo: 180,5482 g

Volumen flotador: 306,8116 cm³

Masa de aire contenida en el flotador: 0,3632 g

Con esta pequeña modificación, se ha obtenido un volumen de agua desalojado de 180,185 cm³ y un porcentaje de cuerpo sumergido del 39,83%.

Este diseño final cumple con todas las características deseadas en el prototipo:

- Frenar la penetración de rayos U.V. en la superficie del agua.
- Línea de flotación por debajo de la mitad del cuerpo para garantizar la flotación frente a perturbaciones y el correcto funcionamiento del diseño.
- Geometría redondeada que dificulte la adhesión de microorganismos.
- Simetría del cuerpo para facilitar su colocación en embalses.
- Geometría ovalada para cubrir un gran espacio de área a la vez que se garantizan pequeños espacios para la oxigenación del agua.
- Facilitación del movimiento de las partículas calientes de agua para propiciar su enfriamiento y disminuir la evaporación.

Capítulo 6. DISEÑO E IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

El principal objetivo del sistema electrónico es ser capaz de medir y gestionar las distintas variables de las que depende la evaporación del agua: temperatura del líquido y temperatura y humedad ambientales, así como capaz de medir distancias para facilitar otras medidas dependientes de la misma. Para ello, se han utilizado los sensores y la placa Arduino expuestos en el apartado “Placa de Arduino y sensores” del 3.5

El sistema electrónico consiste tanto en una parte software como en una parte hardware que interactúan entre sí según el diagrama de flujos de la Figura 61.

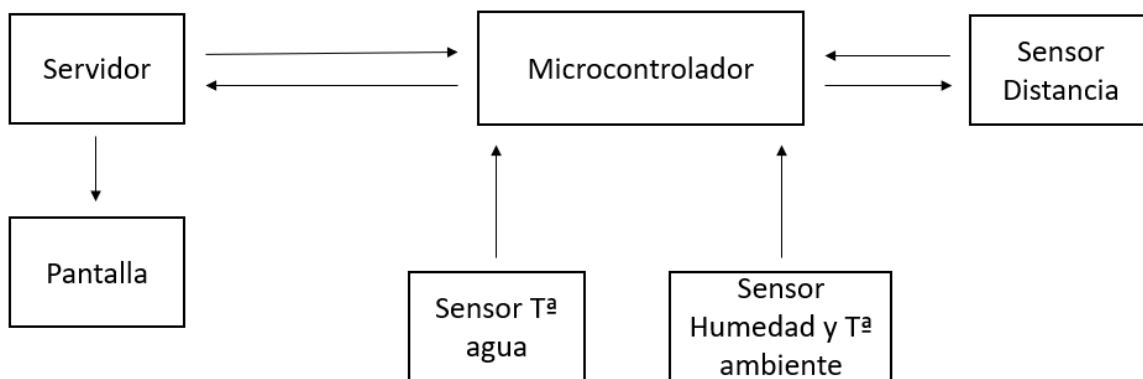


Figura 61: Diagrama de flujos

6.1 HARDWARE

El circuito se basa en la utilización de una placa Arduino Mega 2560 a la que se le conectan tres tipos de sensores diferentes. Como se observa en la Figura 62, se han realizado las conexiones de los sensores de manera directa gracias a los módulos adaptadores que se incluían en la compra.

Los tres sensores tienen tanto una conexión a tierra como a la alimentación de 5V. Pero analizando con detalle cada uno, se aprecian diferencias en la transmisión de las señales. El sensor de ultrasonido funciona gracias a la señal que recibe desde el microprocesador a través de la patilla RX. La señal devuelta por el sensor se transmite mediante la patilla TX. Ambas señales son digitales, por lo que a la hora del montaje se han elegido los pines digitales 50 y 51.

Por otro lado, el sensor de humedad y temperatura también transmite la información mediante una señal digital, por lo que se ha optado por el pin 22.

Finalmente, el sensor de temperatura DS18B20, se encuentra integrado en una sonda impermeable para poder realizar la medida de la temperatura del agua. Esta sonda se conecta al módulo adaptador. La señal de salida, en este caso, es una señal PWM por lo que hay que conectarla a un pin del mismo tipo, el 2 en este caso.

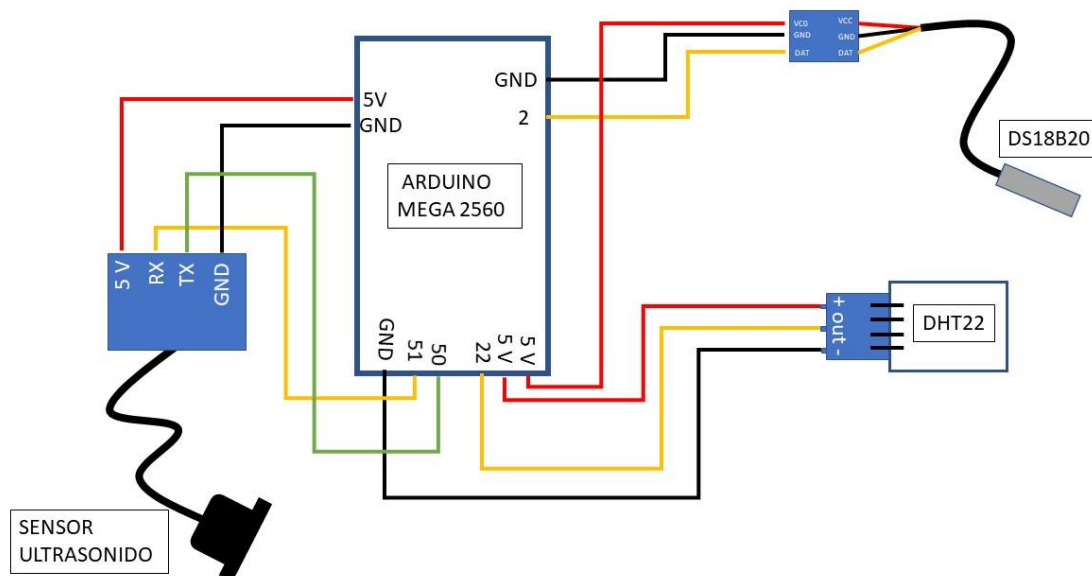


Figura 62: Esquema electrónico

6.2 SOFTWARE

El microprocesador ha sido programado utilizando la aplicación IDE de Arduino, pero el procesamiento de los datos se ha realizado mediante la herramienta Excel de Microsoft. Los datos obtenidos en cada instante pueden mostrarse por pantalla por cualquiera de las dos herramientas, teniendo en cuenta que la última de ellas proporciona, además, un análisis de ellos.

6.2.1 PROGRAMACIÓN DEL MICROPROCESADOR

Para poder realizar la lectura de datos a través de los sensores, se han utilizado una serie de librería de acceso libre proporcionadas por Adafruit. Estas librerías, proporcionan una serie de funciones básicas para el control de los sensores.

El sensor de temperatura y humedad, utilizando la librería < DHT.h >, se controla mediante las funciones básicas siguientes, que proporcionan directamente el valor de las variables en un dato tipo float:

```
float Humedad_Ext = dht.readHumidity();  
float Temp_Ext = dht.readTemperature();
```

La salida enviada por el sensor está formada por 40 bits, de los cuales los dos primeros bytes pertenecen a la medida de la humedad, los dos segundos a la medida de temperatura y finalmente, el último byte muestra la comprobación del error.

Sin embargo, el sensor de temperatura del agua necesita dos librerías diferentes <OneWire.h> y <DallasTemperature.h>. Para obtener el dato de temperatura deseado, se lee la respuesta entera del sensor y se toma únicamente el bit 0, ya que es el destinado a mostrar la temperatura en °C:

```
sensors.requestTemperatures();  
float Temp= sensors.getTempCByIndex(0);
```


Por último, la programación del sensor se distancia se ha realizado sin ninguna librería adicional. Un sensor de ultrasonidos calcula la distancia a partir del tiempo que tarda una onda en ser emitida por el sensor, chocar con un objeto y volver a ser detectada por el sensor.

Para realizar adecuadamente la medida del tiempo, es necesario esperar 10 ms entre la emisión del pulso y la lectura de la recepción:

```
digitalWrite(Tx, LOW);  
delayMicroseconds(5);  
digitalWrite(Tx, HIGH);  
delayMicroseconds(10);  
digitalWrite(Tx, LOW);  
  
eco = pulseIn(Rx, HIGH);  
distancia = eco*0.034/2;
```

La distancia es directamente proporcional a la mitad de tiempo debido a que la onda realiza dos veces el recorrido ($\text{distancia} = \text{velocidad} * \text{tiempo}$).

Todo el programa queda detallado en el ANEXO II de este documento.

6.2.2 EXCEL

Para poder leer los datos y poder estudiarlos con la herramienta Excel existe la posibilidad de realizar un programa en Python que realice la conexión entre Arduino y Excel, o bien, como se hace en este caso, habilitar el complemento COM: Microsoft Data Streamer for Excel. De esta manera se puede activar y desactiva la lectura de datos desde la aplicación.

En esta aplicación se han configurado una serie de gráficos que se actualizan directamente con la nueva entrada de datos. Son los utilizados para ver los resultados de los ensayos en el Capítulo 8.

Capítulo 7. FABRICACIÓN DEL DMA

La fabricación de los dispositivos modulares se ha llevado a cabo mediante fabricación aditiva. Por ello, el material seleccionado ha de ser compatible con una impresora 3D y se ha optado por la utilización de filamentos de PLA.

El PLA utilizado ha sido adquirido en Mástoner, que garantiza un filamento no tóxico, libre de metales pesados y biodegradable. La densidad de este material es de $1,24 \text{ g/cm}^3$.

7.1 PROCESO DE FABRICACIÓN

Tras el diseño de los prototipos en SolidWorks, los archivos han de pasarse a un formato Zortrax Printing Code (.ZCODEX) compatible con la impresora 3D. Para ello, se utiliza el software Z-Suite proporcionado por el fabricante. A la hora de cambiar el tipo de archivo es necesario configurar la pieza de acuerdo con las capacidades de la impresora. Esta configuración incluye el número de piezas a imprimir, la escala y las dimensiones del soporte interno y externo de la pieza. La impresora de la que se dispone no permite la realización de cuerpos completamente huecos por lo que es importante destacar que, el soporte interno, no podrá ser extraído a posteriori, por lo que ha de ser lo suficientemente pequeño para no suponer un incremento importante en la masa del cuerpo, pero lo suficientemente grande para lograr el acabado de la pieza deseado.

Una vez establecidos todos los parámetros, el archivo se transfiere a la impresora, mediante un pendrive, y se comienza la impresión. Cuando esta concluye, se retira el soporte externo de la pieza manualmente, finalizando así el proceso de fabricación.

7.2 PROTOTIPOS IMPRESOS

El primer modelo impreso corresponde al *Prototipo n.º 3*, tal como muestra la Figura 63. Este modelo, se realizó a la mitad y a una escala 1:3. Este modelo se imprimió previamente a la

realización de los prototipos posteriores con el fin de observar de una manera física los detalles de la pieza. Gracias a esta impresión, se observó cómo los orificios inferiores podrían ser taponados muy fácilmente debido al pequeño diámetro. Adicionalmente, se comprobó experimentalmente que el cuerpo se hundía.

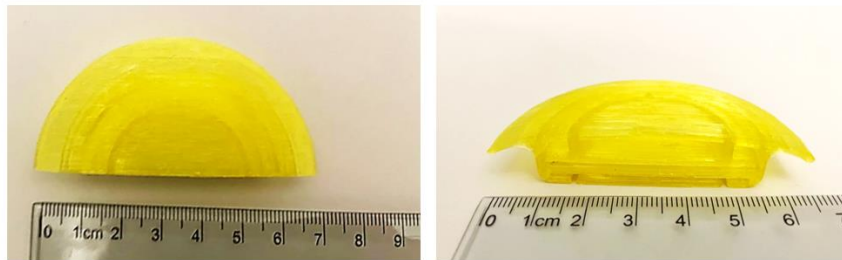


Figura 63: Impresión del prototipo N.º 3

Tras el diseño del resto de prototipos, y una vez que se comprobó que el *Prototipo n.º 7* mantenía la línea de flotación en un valor aceptable, se realizó su impresión a escala 1:3. El color del material utilizado es irrelevante puesto que se trataba de una prueba de impresión. El resultado es el reflejado en la Figura 64, donde se pueden apreciar unas aristas muy marcadas en la hendidura que son eliminadas en el siguiente prototipo diseñado.



Figura 64: Impresión del prototipo N.º 7

Tras redondear las aristas, se procedió a imprimir el DMA definitivo, el *Prototipo n.º 8*. Este prototipo se imprimió, al igual que los anteriores, por mitades, para no necesitar poner soporte

en el interior y evitar el gasto de material. El resultado de imprimir la mitad del DMA queda reflejado en la Figura 65.

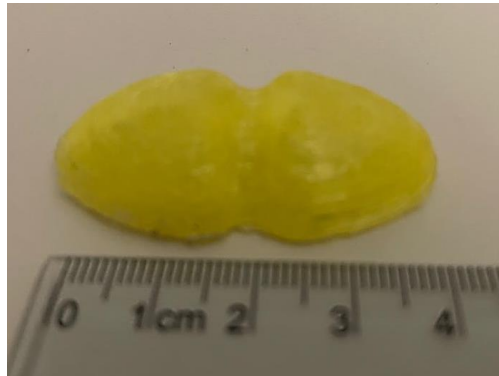


Figura 65: Impresión prototipo N.º 8

Sin embargo, su unión tenía que garantizar un aislamiento, por lo que se probaron varias técnicas de unión. La primera técnica mostrada en la Figura 66, fue mediante la aplicación de calor con una llama. Esta llama era necesaria acercarla para logran fundir los bordes de ambas mitades, pero al realizarlo, el material se quemaba demasiado rápido. Este método quedó descartado.



Figura 66: Unión prototipo N.º 8 por calor

El segundo método realizado, fue mediante la utilización de silicona caliente. Este método no deterioraba la pieza, sin embargo, no era resistente a las temperaturas de ensayo tal como se refleja en el apartado 8.1.1.

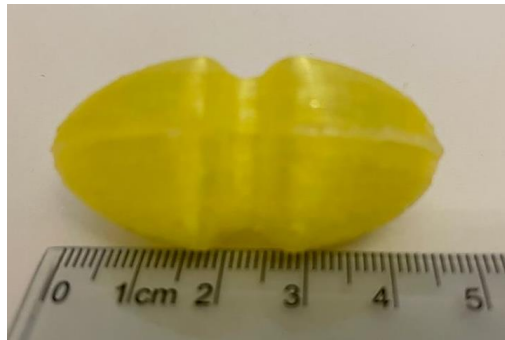


Figura 67: Unión prototipo N.º 8 por silicona

El tercer método utilizado, se realizó añadiendo, además de silicona, un envoltorio de plástico transparente. El resultado, que se muestra en la Figura 68, tampoco fue satisfactorio.

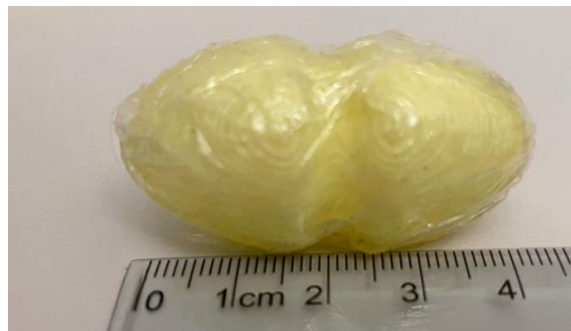


Figura 68: Unión prototipo N.º 8 por silicona y plástico

Tras estos intentos, y su comprobación en ensayos, se optó por realizar la impresión del cuerpo completo. Se utiliza mayor cantidad de material, pero se logra una unión aislada.

Esta última impresión se realizó en color negro para poder proceder a la realización de los ensayos. La Figura 69 muestra el DMA final a escala 1:3.



Figura 69: Impresión completa del prototipo N.º 8

A la hora de realizar esta impresión, se optó por un soporte interno de forma hexagonal. Este soporte añade menos material que cualquier otro, lo que lo hace la mejor opción para no variar la línea de flotación. El soporte externo elegido comienza a partir de los 50°



Figura 70: a) soporte interno. b) soporte externo

Capítulo 8. ENSAYOS

Los ensayos realizados en este proyecto buscan reflejar el comportamiento del DMA frente condiciones climáticas extremas como a las condiciones climáticas que se pueden encontrar en los países áridos. Para ello, se controlan tres parámetros: la temperatura del agua, la temperatura del ambiente y la humedad relativa del ambiente.

8.1 EXPERIMENTO 1: COMPORTAMIENTO DEL DMA ANTE TEMPERATURAS EXTREMAS.

El primer experimento que realizado consiste en la colocación de 2 litros de agua en una hoya. Se coloca la sonda de temperatura en el interior del recipiente, protegiendo con una caja de plástico la placa Arduino para evitar que caigan gotas de agua.

Este experimento consiste en llevar el agua a punto de ebullición y comprobar la cantidad de agua evaporada. Como la cantidad introducida en la hoya es pequeña, se descarta la medida del nivel del agua con el sensor de distancia y se realiza con una jarra medidora.

El experimento está dividido en dos partes: una primera parte, sin nada en la superficie del agua, y una segunda, con DMAs cubriendo dicha superficie.

Este experimento se realiza con el objetivo de comprobar la resistencia de las uniones comentadas en la sección 7.2. Y, además, sacar unas primeras conclusiones del comportamiento del DMA.



Figura 71: Experimento 1

8.1.1 PRUEBA 1

El primer ensayo de este experimento se realizó utilizando mitades de DMAs unidas posteriormente con silicona. De este ensayo no se muestran medidas ya que, en cuanto se superan los 70° la silicona de todos los dispositivos se derrite y las mitades de la pieza vuelen a quedar despegadas. Los restos de silicona se quedan pegados tanto a las paredes del recipiente como a los propios dispositivos. En la Figura 72 se muestra la comparación de un prototipo, antes (prototipo inferior) y después del ensayo (prototipo superior), donde se puede apreciar la silicona adherida en el material.



Figura 72: Experimento 1 - Prueba 1

8.1.2 PRUEBA 2

Tras realizar esta *Prueba 1*, se opta por complementar la unión con un recubrimiento de plástico y repetir el experimento. En estas circunstancias, la unión es más consistente y, por tanto, los datos obtenidos son relevantes. El experimento se realiza durante 15 minutos y se refleja en el Figura 73: Experimento 1 - Prueba 2:

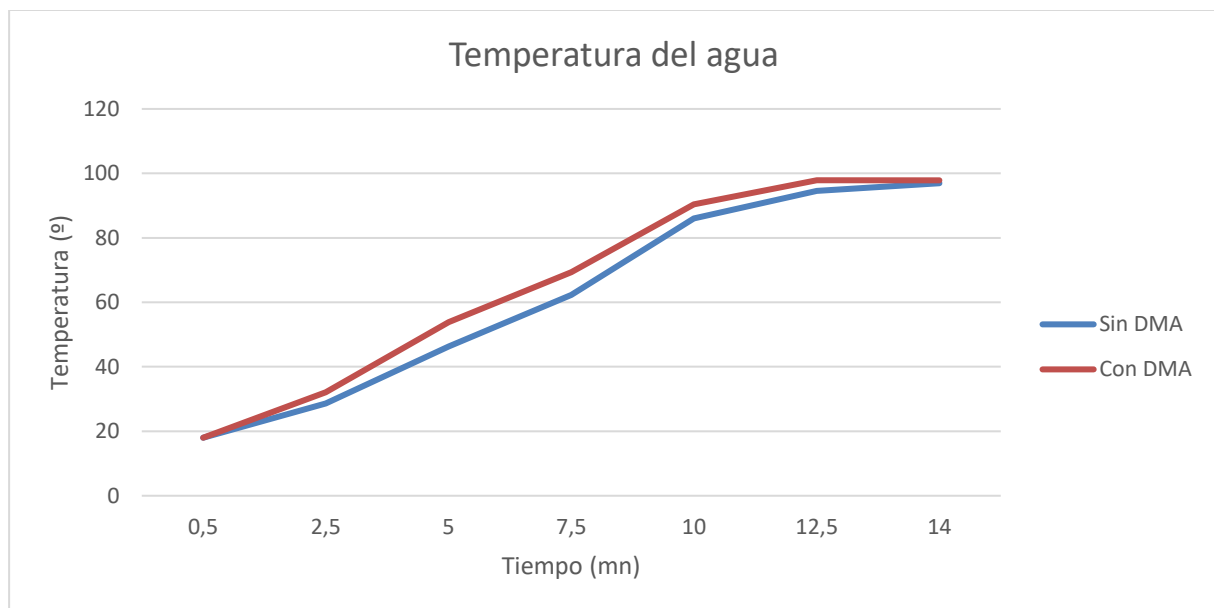


Figura 73: Experimento 1 - Prueba 2

Analizando la temperatura, se observa como el agua con la superficie despejada tarda un poco más en elevar la temperatura que en el caso de utilizar DMAs.

Por otro lado, agua evaporada del primer caso (sin DMA) es de 70 ml, mientras que con la utilización de 38 DMAs, cubriendo el máximo posible de la superficie, se obtiene que el agua evaporada es de 55 ml aproximadamente.

Estos resultados son coherentes puesto que los DMAs ralentizan el ritmo de evaporación del agua que, al no poder evaporarse desde un inicio, provoca que aumente más rápido la temperatura del agua.

Sin embargo, al realizar este experimento, varios de los dispositivos se han llenado de agua y han quedado inutilizados según pasaba el tiempo. Por este motivo, se descarta definitivamente

la fabricación por mitades, pero se mantiene el modelo diseñado puesto que los resultados del análisis de la evaporación son favorables.

8.2 EXPERIMENTO 2: COMPORTAMIENTO DEL DMA ANTE CONDICIONES DE TEMPERATURA REALES.

Una vez realizada la impresión completa del DMA, sin realizar la unión por partes, se procede a simular las características ambientales a las que el dispositivo se verá expuesto. Para ello, se utiliza una hoja, un calentador y una lámpara incandescente.

En un espacio cerrado, se coloca la hoja con un litro de agua y la lámpara enfocando la superficie. Por otro lado, se coloca el calentador a poca distancia para poder aumentar la temperatura del ambiente. Por último, se añade la sonda de temperatura al agua y se sitúa el sensor de temperatura y humedad a poca distancia. Se decide no utilizar el sensor de distancia debido a que los incrementos del nivel del agua no son lo suficientemente grandes para ser detectados con exactitud.

Este experimento se realiza bajo las mismas condiciones en los dos casos distintos: con la superficie del agua completamente libre y con 38 dispositivos (escala 1:3) modulares cubriendo dicha superficie.



Figura 74: Experimento 2

En las Figuras 75 y 76, se muestran los resultados comparados de los dos casos.

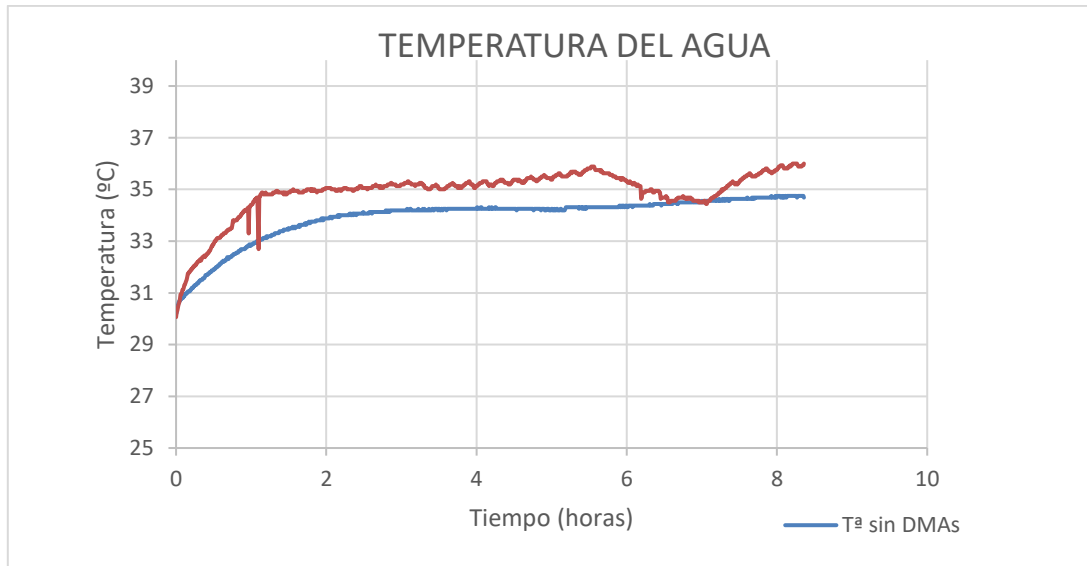


Figura 75: Experimento 2. Temperatura del agua

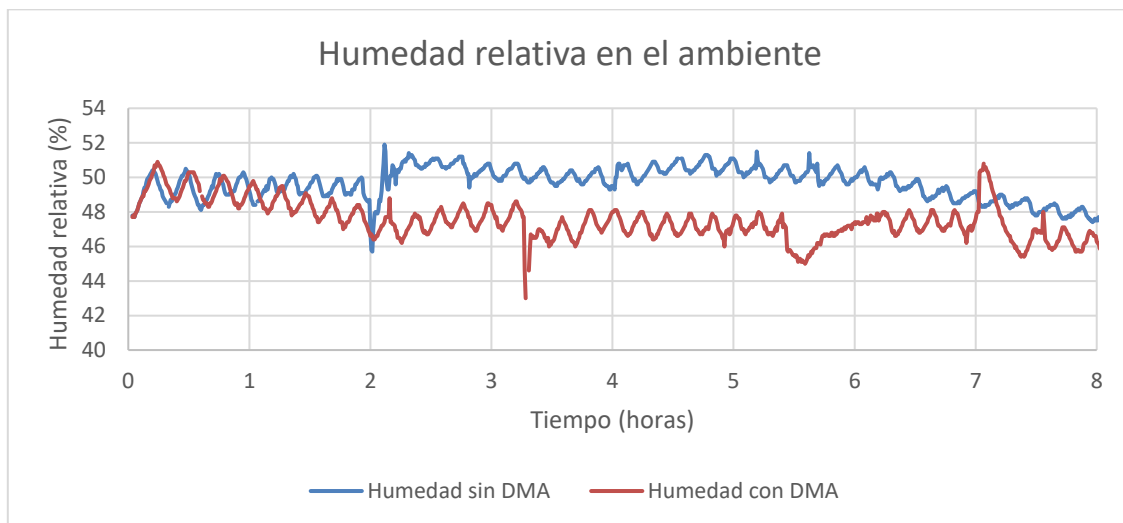


Figura 76: Experimento 2. Humedad relativa del ambiente

Analizando los resultados del ensayo, observamos cómo cuando se colocan DMAs la temperatura del agua es superior, y la humedad relativa del ambiente menor, que en el caso de no utilizar DMAs. Estos hechos son coherentes: cuando se colocan los dispositivos modulares se evapora menos agua, haciendo que la temperatura dentro del recipiente suba ya que, al

impedir su evaporación, se impide también su refrigeración. Por otro lado, cuando se utilizan los DMAs, el agua evaporada es menor y, por tanto, el vapor de agua en el ambiente también es menor.

Gracias a estos resultados, se puede afirmar que el prototipo N. °8 reduce el ritmo de evaporación del agua.

Capítulo 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este proyecto ha cumplido con los tres objetivos marcados.

En primer lugar, se ha logrado medir el ritmo de evaporación del agua utilizando una placa Arduino y procesando los datos con la herramienta Excel. Este sistema ha sido utilizado en la realización de los ensayos, pero además podrá utilizarse a la hora de implantar el proyecto en África.

En segundo lugar, se ha reducido el ritmo de evaporación del agua utilizando dispositivos modulares de antievaporación (DMAs). Gracias a su color negro, el dispositivo absorbe y refleja los rayos U.V.

En tercer lugar, se propicia el mantenimiento de la calidad del agua. Se reduce la evaporación y, gracias a la geometría de los dispositivos, se dificulta la adhesión de microorganismos a su superficie.

Capítulo 10. CONCLUSIONES Y TRABAJOS

FUTUROS

Tras la realización del proyecto se han logrado cumplir los tres objetivos.

El objetivo número 1: conseguir medir de manera aproximada el ritmo de evaporación del agua en zonas semiáridas, se ha logrado desarrollando un sistema electrónico con 3 sensores distintos capaces de medir la temperatura del agua, la temperatura ambiental, la humedad relativa y las distancias. Pese a que en los experimentos, no ha sido necesaria la utilización del sensor de distancias, puede ser una buena herramienta para medir el nivel del agua en situaciones reales.

El objetivo número 2: minimizar el ritmo natural de evaporación, se ha logrado con el desarrollo del DMA. Primero, se han obtenido los criterios necesarios que tiene que cumplir un dispositivo para poder minimizar el ritmo de evaporación:

- Frenar la penetración de rayos U.V. en la superficie del agua.
- Garantizar la flotación estable del cuerpo manteniendo la línea de flotación por debajo de la mitad del cuerpo garantizando que al menos el 50% quede expuesto al aire.
- Geometría redondeada y simétrica que dificulte la adhesión de microorganismos.
- Geometría ovalada para cubrir un gran espacio de área a la vez que se garantizan pequeños espacios para la oxigenación del agua.
- Facilitación del movimiento de las partículas calientes a través de una hendidura para propiciar su enfriamiento.

Con todas estas características, y tras la comprobación con los experimentos, se plantea el prototipo 8 como el modelo más adecuado.

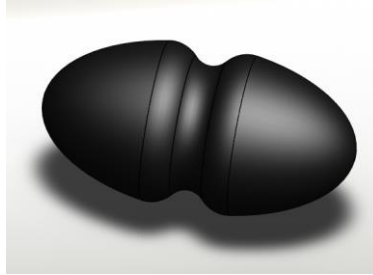


Figura 77: DMA

El objetivo número 3: propiciar el mantenimiento de la calidad del agua minimizando la radiación y la evaporación, se alcanza como consecuencia del objetivo número 2 y de los criterios de diseño establecidos para el DMA.

Como trabajo futuro, se plantea el estudio del proceso de fabricación. Debido a la complicación que supone transportar un gran número de DMAs a la aldea en la que se implante el proyecto, es conveniente elaborar un proceso de fabricación que se pueda realizar sobre el terreno. Además, los materiales utilizados han de estar disponibles en el área de trabajo. Teniendo en cuenta siempre, que la densidad final del material ha de ser lo más similar posible a la densidad del PLA.

Otro trabajo a futuro, imprescindible para la implantación real del proyecto, es la realización de un estudio sobre los riesgos económicos que conlleva dicha implantación.

Capítulo 11. BIBLIOGRAFÍA

[1] “Progress on drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: Special focus on inequalities” UNICEF 2017.

[2] <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

(fecha último acceso: 20/04/2020)

[3] “Comunicado especial sobre agua para la vida” XXVII Cumbre Iberoamericana

[4] “Aqua Fons vitae. Orientaciones sobre el agua: símbolo del grito de los pobres y del grito de la Tierra” Dicaterio para el servicio del desarrollo humano integral. Ciudad del Vaticano, junio 2020.

[5] Carta Encíclica “*LAUDATO SI*” Papa Francisco, 24/05/2015

[6] <https://unmundosalvadorsoler.org/> (fecha último acceso: 20/04/2021)

[7] <https://www.google.com/earth/> (fecha último acceso: 20/04/2021)

[8] <https://www.psl.noaa.gov/> (fecha último acceso: 14/10/2020)

[9] <https://www.datosmundial.com/africa/> (fecha último acceso: 18/11/2020)

[10] https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/senegal_sierra_leona_9913697 (fecha último acceso: 18/11/2020)

[11] <https://www.arduino.cc/> (fecha último acceso: 20/04/2021)

[12] <http://microdyneplastics.com/polyethylene-shade-balls/>

(fecha último acceso: 18/11/2020)

[13] <https://www.euro-matic.co.uk/cover-shade-balls/> (fecha último acceso: 18/11/2020)

[14] <https://www.neotopwater.com/topup-ball> (fecha último acceso: 18/11/2020)

[15] <https://evapocontrol.com/> (fecha último acceso: 18/11/2020)

[16] <https://www.coloradolining.com/index.html> (fecha último acceso: 18/11/2020)

[17] <http://www.para-agua.net/> (fecha último acceso: 18/11/2020)

[18] <https://www.ecured.cu/> (fecha último acceso: 18/11/2020)

[19] <https://www.lasplantas.es/> (fecha último acceso: 18/11/2020)

[20] <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1821pub.pdf> (fecha último acceso: 18/11/2020)

- [21] <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20150625AlmudenaDePazMenendez.pdf> (fecha último acceso: 18/11/2020)
- [22] <https://www.rabitaagrotexil.com/> (fecha último acceso: 18/11/2020)
- [23] <https://www.cimworks.es/precios-solidworks/> (fecha último acceso: 20/04/2021)

ANEXO I: DATOS CLIMATOLÓGICOS

En este Anexo se han elaborado las siguientes tablas con el objetivo de facilitar la comprensión de las gráficas expuestas en el capítulo 2.3 *Clima en África*.

Tabla 10: Datos climatológicos de Benín

BENÍN	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días de lluvia al mes	0,75	1,5	0,9	5,8	10,6	11	10,4	10,3	12,5	8,9	1,6	0,5
Precipitaciones mm/día	0,25	0,75	1,5	3,75	4,75	7	5,1	4,9	6	3,8	0,75	0,2
Humedad relativa (%)	58	55	60	69	74	80	82	84	82	80	70	60
Temperatura del agua (°C)	27	27	28	29	28	27	26	24	25	26	27	28
Temperatura ambiente diaria (°C)	34	36	37	35	33	31	30	29	33	33	34	34
Temperatura ambiente nocturna (°C)	23	24,5	25	25,1	24,8	24	23,5	23,4	23,5	23,5	23,4	23

Tabla 11: Datos climatológicos en Borgou

BORGOU	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días de lluvia al mes	0,5	1	2	5,8	8,1	10,1	13	13	16	8,1	1	0,5
Precipitaciones mm/día	0,1	0,2	0,8	2,8	4	5,2	5,5	6,8	7,4	3,5	0,2	0,1
Horas de sol al día	8,1	8,1	7,6	7,8	6,1	4,9	5,9	5	6,8	8,1	8,4	8,5
Temperatura ambiente diaria (°C)	35	36	37	35	34	32	30	29	30	33	35	35
Temperatura ambiente nocturna (°C)	20	23	24	24	23,5	23	23	22	23	23,5	23,5	20

Tabla 12: Datos climatológicos en Senegal

SENEGAL	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días de lluvia al mes	0,5	0,5	0,1	0,1	1,5	5,5	11	16	15	4,5	0,75	0,5
Precipitaciones mm/día	0,1	0,1	0,1	0,5	2	5	8,1	7	2,8	0,1	0,2	0,1
Humedad relativa (%)	49	50	51	55	61	70	78	80	81	78	61	50
Horas de sol al día	7,6	8,1	8,2	9	8,8	7,2	6,8	6,2	6,5	7,5	7,9	7,2
Temperatura del agua (°C)	22	21	21	22	23	25	27	27	27	27	26	24
Temperatura ambiente diaria (°C)	34	35	37	38	38	36	34	33	33,5	35,5	36	34,5
Temperatura ambiente nocturna (°C)	17	19	21	23	24	25	25	24,8	24,5	24,5	22	17

Tabla 13: Datos climatológicos Kedougou

KEDOUGOU	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días de lluvia al mes	0,1	0,1	0,2	2	4	18	15	20	19	8	2	0,1
Precipitaciones mm/día	0,1	0,1	0,1	0,2	1,4	5,2	7,8	11	10,5	2,6	0,2	0,1
Horas de sol al día	8	8,5	8,5	9	8,1	7,1	6,2	5,5	5,6	7,2	8	8,1
Temperatura ambiente diaria (°C)	34	37	39	40	49	35	33	32	33	35	36	34
Temperatura ambiente nocturna (°C)	19	22	25	24	28	25	24	24	23	24	21	18

ANEXO II: CÓDIGO DESARROLLADO PARA LA PLACA ARDUINO.

```
#include <Adafruit_Sensor.h>

#include <OneWire.h>           //sensor T
#include <DallasTemperature.h> //sensor T
#include <DHT.h>               //sensor TH
#include <DHT_U.h>             //sensor TH

//Declaración de los sensores
//TH
#define DHTTYPE DHT22
const int DHTPin = 22;      //Sensor TH
DHT dht(DHTTYPE, DHTPin); //Sensor TH
//T
OneWire ourWire(2);
DallasTemperature sensors(&ourWire);
//D
#define Rx 51
#define Tx 50

long eco; //tiempo que tarda la onda en volver al sensor (us)
int distancia; //(cm)

void setup() {
  pinMode(Tx, OUTPUT);
  pinMode(Rx, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  //Serial.print("Comenzando analisis...");
  //Inicialización de sensores
  dht.begin();
  sensors.begin();
}

void loop() {
  delay(2000); //cada 30 segundos
  //Lectura de datos
  //TH
  float Humedad_Ext = dht.readHumidity();
  float Temp_Ext = dht.readTemperature();
  // if (isnan(Humedad_Ext) || isnan(Temp_Ext)) {
  //   Serial.println("Error en el sensor de HT ");
  //   return;
  // }
```

```
//T
sensors.requestTemperatures();
float Temp = sensors.getTempCByIndex(0); // temperatura en °C

//D
digitalWrite(Tx, LOW);
delayMicroseconds(5);
digitalWrite(Tx, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(Tx, LOW);

eco = pulseIn(Rx, HIGH);
distancia = eco * 0.034 / 2;

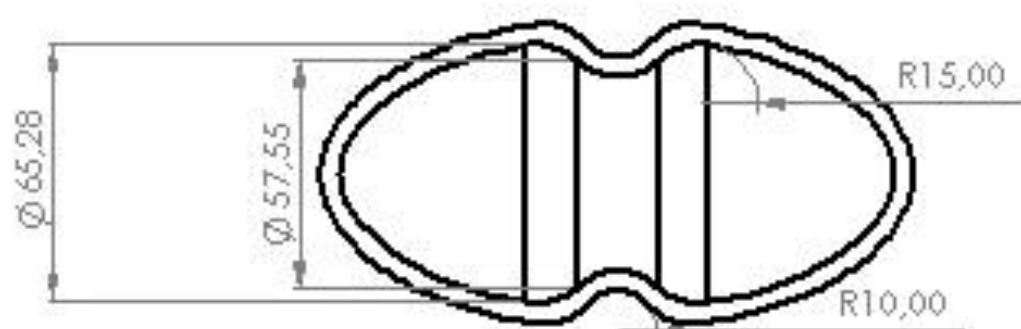
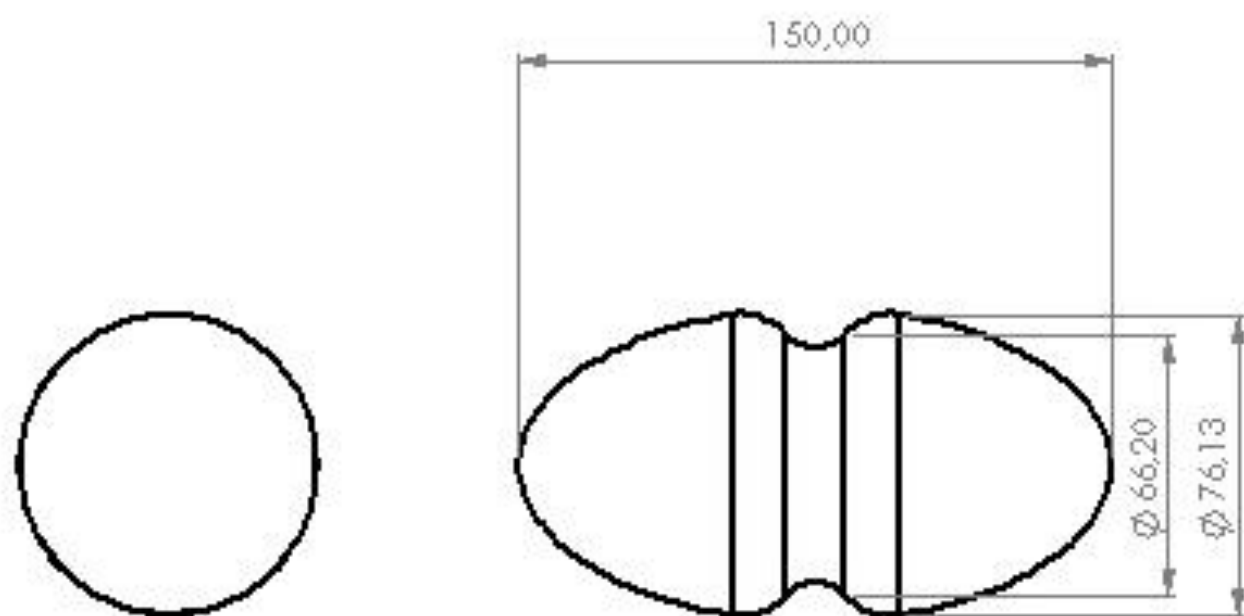
//Salida de datos
//TH
//  Serial.print("Humedad ");
//  Serial.print(Humedad_Ext);
//  Serial.print(" % ");
//  Serial.print("Temperatura: ");
//  Serial.print(Temp_Ext);
//  Serial.print("°C ");

//T
//  Serial.print("Temperatura del agua: ");
//  Serial.print(Temp);
//  Serial.print("°C ");

//D
Serial.print("Distancia a la superficie: ");
Serial.print(distancia);
Serial.println("cm");

Serial.print(Humedad_Ext);
Serial.print(", ");
Serial.print(Temp_Ext);
Serial.print(", ");
Serial.print(Temp);
Serial.print(", ");
Serial.print(distancia);
Serial.println();
}
```

ANEXO III: PLANO DEL DMA



Caras en mm

ESCA 1:1

Tolerancia: c

PROY. Ing. de Presa Córdoba

FECHA: 6/6/2021

Dispositivo Modular Antievolaporación