



# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

## SISTEMA DE REGADÍO PARA GARANTIZAR AUTO- ABASTECIMIENTO EN COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN ZIMBABWE

Autor: Gonzalo Cid Santos

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Junio de 2021



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Sistema de regadío para garantizar el autoabastecimiento en colegio de Formación  
Profesional en Zimbabue

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.: Gonzalo Cid Santos

Fecha: ..13../..06../ .2021

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Miren Tellería Ajuriaguerra

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





# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

## SISTEMA DE REGADÍO PARA GARANTIZAR AUTO- ABASTECIMIENTO EN COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN ZIMBABWE

Autor: Gonzalo Cid Santos

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Junio de 2021



# **SISTEMA DE REGADÍO PARA GARANTIZAR AUTO-ABASTECIMIENTO EN COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN ZIMBABWE**

**Autor:** Cid Santos, Gonzalo

**Director:** Tellería Ajuriaguerra, Miren

**Entidad Colaboradora:** Project Zimbabwe

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

Este proyecto consiste en la creación de un sistema de riego capaz de auto abastecerse para un centro de formación profesional en Dotito, una zona rural de Zimbabue al Norte Nordeste de la capital, Harare.

El fin último de este trabajo y de su autor al realizarlo es aprovechar un proyecto, como lo es este trabajo de fin de grado, para realizar una labor social y, en este caso, ayudar a una formación integral de los agricultores en Zimbabue.

La formación de agricultores es de vital importancia ya que, debido a las condiciones climáticas de este país, este sector emplea a la mayor parte de la población. Y dentro de este sector, el cultivo de maíz constituye un gran porcentaje de los cultivos del país ya que es la base de la dieta de los zimbabuenses.

Este sistema de riego deberá abastecer un campo de maíz de 4 hectáreas (400 metros x 100 metros). Además, se ha optado por un sistema de riego por aspersion, por lo que se deberá diseñar también un soporte para que los aspersores trabajen por encima de las plantas.

En primer lugar, estos soportes serán varillas de acero de 3 metros para garantizar que los aspersores se encuentran a una altura de 2.5 metros. Estos se conectarán a unas tuberías de Polietileno de  $\frac{3}{4}$  de pulgada.

Las líneas de aspersores provendrán de una línea matriz de PVC que deberá transportar 78 metros cúbicos de agua por hora. Esta línea será de PVC de 75 milímetros y se conectará directamente con la bomba que abastece el sistema. Las ramificaciones están debidamente explicadas en los anexos y el documento.

La bomba que abastece el sistema se alimentará de unas placas solares ya existentes y recogerá agua de un depósito diseñado expofeso para este menester. Este depósito se llenará

con una bomba sumergida, abastecida por las mismas placas solares instalada en un pozo ya existente. La tubería de esta bomba también será de PVC.

El coste total de este proyecto será de 15 913.68 euros más mano de obra para la instalación. El coste de la mano de obra no se ha incluido ya que puede presentar muchas variaciones, incluyendo el trabajo de voluntarios.

El mantenimiento de este sistema será sencillo. Esto se debe a que solo se debe comprobar el deterioro de todas sus partes y sustituirlas cuando sea pertinente. El coste de este será sufragado con creces por los beneficios del cultivo, ya que se prevén unos beneficios de 20 000 euros, lo que permitiría renovar el sistema completo anualmente.

Este proyecto además aboga por la comunidad de Zimbabue y por el desarrollo de los objetivos de desarrollo sostenible establecidos por la O.N.U. en el año 2015.

Finalmente, este proyecto consta con planos 6 detallados de diversas partes del sistema, con objeto de concretar y facilitar la instalación de todos los elementos del sistema y conseguir un funcionamiento óptimo del mismo.

**Palabras clave:** Zimbabue, Agricultura, Maíz, Riego, Formación Profesional, Aspersor, Bomba, Depósito, Tubería.

# **IRRIGATION SYSTEM TO ENSURE SELF-SUFFICIENCY AT VOCATIONAL COLLEGE IN ZIMBABWE**

**Author:** Cid Santos, Gonzalo

**Supervisor:** Tellería Ajuriaguerra, Miren.

**Collaborating Entity:** Project Zimbabwe

## **ABSTRACT**

This project consists of the creation of a self-supplying irrigation system for a vocational college in Dotito, a rural area of Zimbabwe north-northeast of the capital, Harare.

The ultimate goal of this work and of its author when doing it is to take advantage of a project, such as this final degree project, to carry out social work and, in this case, to help a comprehensive training of farmers in Zimbabwe.

The training of farmers is of vital importance since, due to the climatic conditions of this country, this sector employs most of the population. And within this sector, the cultivation of corn constitutes a large percentage of the country's crops as it is the basis of the Zimbabwean diet.

This irrigation system should supply a 4-hectare corn field (400 meters x 100 meters). In addition, a sprinkler irrigation system has been chosen, so a support must also be designed so that the sprinklers work above the plants.

First of all, these supports will be 3-meter-tall steel rods to ensure that the sprinklers are at a height of 2.5 meters. These sprinklers will be connected to ¾ inch Polyethylene pipes.

The sprinkler lines will come from a PVC main line that will transport 78 cubic meters of water per hour. This line will be made of 75-millimeter PVC and will be connected directly to the pump that supplies the system. The ramifications are fully explained in the annexes and the document.

The pump that supplies the system will be powered by existing solar panels and will collect water from a tank designed expressly for this purpose. This tank will be filled with a submerged pump, supplied by the same solar panels installed in an existing well. The tubing for this pump will also be PVC.

The total cost of this project will be 15 913.68 euros plus labor for the installation. The cost of labor has not been included as it can vary in many ways, including volunteer work.

Maintaining this system will be easy. This is because all parts should only be checked for deterioration and replaced where appropriate. The cost of this will be more than borne by the benefits of the crop, since a profit of 20,000 euros is expected per harvest, which would allow the complete system to be renewed annually.

This project also advocates for the Zimbabwean community and for the development of the sustainable development goals set by the UN in 2015.

Finally, this project has 6 detailed plans of various parts of the system, in order to specify and facilitate the installation of all the elements of the system and to achieve optimal operation of the system.

**Keywords:** Zimbabwe, Agriculture, Corn, Irrigation, Vocational College, Sprinkler, Pump, Reservoir, Pipeline.

*Quiero agradecer este proyecto a mi familia  
A mis padres, que siempre han hecho lo que han creído mejor para mí  
Y me han educado en unos valores por los que siempre estaré agradecido  
Y a mi hermana por estar ahí siempre  
También se lo quiero agradecer a mis amigos  
Y a todos aquellos que han pasado por mi vida haciéndome evolucionar como persona  
Finalmente, agradeceré a todos los profesores que me han enseñado tanto  
En especial a Dani, que me ayudo en un momento difícil a ver mi vocación de ingeniero*



## *Índice de la memoria*

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Capítulo 1. Introducción .....</b>              | <b>5</b>  |
| 1.1 Motivación del proyecto.....                   | 5         |
| 1.2 Cultivo.....                                   | 6         |
| 1.3 Sistema de regadío.....                        | 8         |
| <b>Capítulo 2. Sistema de riego.....</b>           | <b>11</b> |
| 2.1 Aspersores .....                               | 11        |
| 2.1.1 Selección aspersores .....                   | 11        |
| 2.1.2 Soporte.....                                 | 13        |
| 2.1.3 Posicionamiento .....                        | 14        |
| 2.2 Tuberías .....                                 | 17        |
| 2.2.1 Distribución.....                            | 17        |
| 2.2.2 Selección de tuberías .....                  | 18        |
| 2.2.2.1 Líneas de distribución .....               | 19        |
| 2.2.2.1.1 Pérdidas Primarias .....                 | 22        |
| 2.2.2.1.2 Pérdidas Secundarias .....               | 27        |
| 2.2.2.1.3 Pérdidas totales y Presión inicial ..... | 30        |
| 2.2.2.2 Líneas Secundarias.....                    | 31        |
| 2.2.2.2.1 Pérdidas Primarias .....                 | 33        |
| 2.2.2.2.2 Pérdidas Secundarias .....               | 35        |
| 2.2.2.2.3 Pérdidas totales y Presión inicial ..... | 36        |
| 2.2.2.3 Línea Primaria.....                        | 37        |
| 2.2.2.4 Conjunto.....                              | 38        |
| <b>Capítulo 3. Sistema de extracción.....</b>      | <b>39</b> |
| 3.1 Extracción del pozo .....                      | 39        |
| 3.1.1 Bomba sumergida.....                         | 40        |
| 3.1.2 Tuberías.....                                | 41        |
| 3.2 Depósito .....                                 | 43        |
| 3.2.1 Construcción.....                            | 44        |
| 3.3 Distribución.....                              | 45        |
| 3.3.1 Bomba.....                                   | 45        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.3.2 Tuberías.....  | 47        |
| <b>Capítulo 4. Presupuesto.....</b>                              | <b>49</b> |
| 4.1 Presupuesto del sistema de riego.....                        | 50        |
| 4.2 Presupuesto del sistema de extracción.....                   | 53        |
| 4.3 Project Zimbabwe.....  | 55        |
| 4.4 Rentabilidad.....  | 57        |
| <b>Capítulo 5. Implantación del sistema y mantenimiento.....</b> | <b>59</b> |
| 5.1 Instalación.....   | 59        |
| 5.1.1 Sistema de riego.....                                      | 59        |
| 5.1.2 Construcción del depósito.....                             | 60        |
| 5.2 Mantenimiento.....   | 60        |
| <b>Capítulo 6. Conclusiones y Trabajos Futuros.....</b>          | <b>63</b> |
| 6.1 Objetivos conseguidos.....                                   | 63        |
| 6.2 Objetivos de desarrollo sostenible.....                      | 64        |
| 6.3 Trabajos futuros.....  | 66        |
| <b>Capítulo 7. Bibliografía.....</b>                             | <b>67</b> |
| <b>ANEXO I-Planos.....</b>                                       | <b>71</b> |

## *Índice de figuras*

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1-1: Precipitación mensual promedio .....   | 6  |
| Ilustración 1-2: Cultivo de maíz .....  | 7  |
| Ilustración 1-3: Riego por goteo .....  | 8  |
| Ilustración 1-4: Riego por Aspersión .....  | 9  |
| Ilustración 1-5: Esquema del proyecto .....   | 10 |
| Ilustración 2-1: Difusor de Riego Hunter PSU-02-17A .....   | 12 |
| Ilustración 2-2: Aspersor VYR-70 .....  | 13 |
| Ilustración 2-3: Diagrama en cuadrado .....   | 15 |
| Ilustración 2-4: Diagrama en triángulo.....   | 16 |
| Ilustración 2-5: Línea de distribución.....   | 19 |
| Ilustración 2-6: Distribución para 5 líneas e Ilustración 2-7: Distribución para 6 líneas ....                | 21 |
| Ilustración 2-8: Diagrama de Moody .....  | 24 |
| Ilustración 2-9: Esquema líneas secundarias .....   | 31 |
| Ilustración 3-1: Bomba sumergible MSW-SPP48-220 .....   | 40 |
| Ilustración 3-2: Bomba de la serie ARA .....  | 46 |
| Ilustración 4-1: Tubería de polietileno .....   | 51 |
| Ilustración 4-2: Conexión en T.....   | 51 |
| Ilustración 4-3: Válvula manual e Ilustración 4-4: Enlace reductor.....                                       | 52 |
| Ilustración 4-5: Tuberías de PVC .....  | 54 |
| Ilustración 4-6: Codo de 90° de PVC .....   | 54 |
| Ilustración 4-7: Logo Project Zimbabwe e Ilustración 4-8: Logo ONG Child Future Africa .....                  | 56 |
| Ilustración 4-9: Campaña de venta de camisetas y pulseras e Ilustración 4-10: Cartel del torneo de pádel..... | 56 |
| Ilustración 6-1: Objetivos de desarrollo sostenible .....   | 64 |

## *Índice de tablas*

|   |    |
|---|----|
| Tabla 2-1: Caudales y velocidades en líneas de distribución .....                     | 20 |
| Tabla 2-2: Caudales y velocidades en la unión de líneas de distribución .....         | 21 |
| Tabla 2-3: Número de Reynolds en línea de distribución .....                          | 23 |
| Tabla 2-4: Factores de fricción de Darcy para las líneas de distribución.....         | 25 |
| Tabla 2-5: Pérdidas primarias en líneas de distribución.....                          | 26 |
| Tabla 2-6: Perdidas primarias en líneas de conexión .....                             | 27 |
| Tabla 2-7: Pérdidas secundarias en líneas de distribución .....                       | 28 |
| Tabla 2-8: Pérdidas secundarias en líneas de unión .....                              | 29 |
| Tabla 2-9: Tabla de presiones iniciales en las líneas de distribución.....            | 30 |
| Tabla 2-10: Velocidades en líneas secundarias .....                                   | 32 |
| Tabla 2-11: Números de Reynolds .....   | 33 |
| Tabla 2-12: Factores de fricción de Darcy en líneas secundarias.....                  | 34 |
| Tabla 2-13: Pérdidas primarias en las líneas secundarias.....                         | 34 |
| Tabla 2-14: Pérdidas secundarias en líneas secundarias .....                          | 36 |
| Tabla 2-15: Valores de la línea primaria .....  | 37 |
| Tabla 2-16: Resumen de las tuberías del sistema de riego .....                        | 38 |
| Tabla 3-1: Características PVC .....  | 42 |
| Tabla 3-2: Tabla de pesos del sistema de extracción.....                              | 43 |
| Tabla 3-3: Parámetros de la línea de conexión de la bomba con la línea primaria ..... | 47 |
| Tabla 4-1: Presupuesto general.....   | 49 |
| Tabla 4-2: Presupuesto para el sistema de Riego .....                                 | 53 |
| Tabla 4-3: Presupuesto del sistema de extracción.....                                 | 55 |

## **Capítulo 1. INTRODUCCIÓN**

El proyecto que abordaré en las siguientes páginas tiene como objeto la construcción de un sistema de regadío, así como un sistema de extracción de agua de un pozo ya existente, con el fin de poder garantizar el auto-abastecimiento de un centro de formación profesional en el pueblo de Dotito, Zimbabwe, situado en la parte norte de dicho país.

Este proyecto tratará de forma separada el sistema de extracción de agua y el sistema de regadío en dos capítulos diferentes. También se evaluarán las diversas necesidades hídricas del cultivo que se lleve a cabo, de cara a escoger el mejor sistema de riego.

Habrá que tener en cuenta en todo el proyecto las limitaciones para obtener determinados componentes en Zimbabwe, al igual que las limitaciones en el presupuesto, debido a la naturaleza de la organización no gubernamental Project Zimbabwe.

### ***1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO***

La idea de realizar este proyecto surge de un gran problema socio-económico que existe en Zimbabwe dado que, pese a conocerse en el siglo XX como el granero de África, en las últimas dos décadas ha existido una gran desaceleración en los niveles de producción de productos agrícolas. Y pese a la recuperación que sufrió en el año 2019, cuando este sector ya ocupaba a un 35,7% de la población activa y del cual dependía indirectamente, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, a un 70% de la población, no ha sido capaz de recuperarse.

Esto se puede apreciar viendo cómo, tras aplicar medidas proteccionistas como la prohibición de la importación de maíz (principal alimento de la población y base de la agricultura junto con tabaco, maní y frijoles), hubo que levantar esas medidas en el año 2020 (Ndlovu, 2020). Esto viene limitado por la falta de conocimientos técnicos y las sequías que

existen debido al clima con estaciones muy secas que tienen, como se puede ver en la Ilustración 1.



*Ilustración 1-1: Precipitación mensual promedio*

Con objeto de mejorar esto nace la iniciativa de Project Zimbabwe de crear un centro de formación profesional en una zona rural de Zimbabwe, en el pueblo de Dotito, situado 180 kilómetros dirección norte-nordeste de la capital de dicho país, Harare.

La construcción de este centro comenzó hace ya varios años, con diversos trabajos fin de grado de otros compañeros de años anteriores. Este centro consta actualmente de diversos edificios, así como tres pozos de 90 metros de profundidad que dan acceso al acuífero que utilizaremos para la extracción de agua para el sistema de regadío.

Además, la producción que se obtenga de este sistema de riego otorgará al centro una nueva fuente de ingresos, ya que esta producción se podrá comercializar y producir beneficios que repercutirán positivamente en los estudiantes del centro.

## 1.2 CULTIVO

Es necesario concretar qué tipo o tipos de cultivos se van a implementar para poder realizar los cálculos hídricos y poder decidir qué tipo de sistema de riego es el óptimo para ello.

El cultivo que he elegido es el maíz (Ilustración 1-2) debido a la alta demanda interna del país, lo que conlleva una mayor facilidad para la venta y obtención de fondos para el centro y el gran número de plantaciones que ya existen de este cultivo, lo cual facilita la entrada a puestos de trabajo de los estudiantes del centro.



*Ilustración 1-2: Cultivo de maíz*

Este cultivo también conlleva diversas dificultades como la altura de las plantas o la alta necesidad hídrica que conlleva, la cual se tasa en una media de  $5 \frac{mm}{día}$  (Infoagro Systems, s.f.) dada la necesidad de un ambiente húmedo. No obstante, son problemas fácilmente solventables dado el acceso a un acuífero y las soluciones que plantean los diversos sistemas de riego.

Este cultivo se implantará en una superficie de 4 hectáreas, distribuidas en forma de rectángulo de cuatrocientos metros de largo y cien metros de ancho. En esta superficie se plantarán semillas de maíz en líneas separadas 80 centímetros, y con una separación en la línea entre cada planta de otros 50 centímetros (FAO, 2005). De esta forma se espera una producción de más de cien mil plantas.

### ***1.3 SISTEMA DE REGADÍO***

A partir del punto anterior, llegamos al punto de seleccionar el tipo de sistema de riego se utilizará. Para ello buscaremos proyectos similares en zonas con una latitud parecida y, por consiguiente, con un clima equiparable.

Una técnica muy común en países similares es el riego por goteo (Ilustración 1-3), es empleado en países africanos como Zambia, aunque hay más ejemplos en países sudamericanos con climas similares. Este es óptimo para lugares con un suministro de agua escaso y con cultivos con una necesidad de agua mínima como es el caso de los espárragos en el proyecto llevado a cabo en el proyecto agrícola de Huarmey, Perú (Palacios, 2018). No obstante, los inconvenientes que plantea, tales como la facilidad de obstrucción de los agujeros y la gran inversión inicial hacen que este sistema acarree grandes inconvenientes para llevarlo a cabo en el emplazamiento que planteamos. Además, este tipo de sistema de riego no es óptimo para el cultivo de maíz ya que no es capaz de mantener un ambiente húmedo, perjudicando así al propio fruto.



*Ilustración 1-3: Riego por goteo*

Otra técnica común es el riego por exudación, esta técnica es muy usada en zonas con sequías severas y constantes puesto que permite mantener la humedad constante en el suelo con un caudal muy bajo de agua. Además, la aplicación de agua es directa a la raíz ya que las tuberías subterráneas. Este sistema se ha utilizado como sistema sustitutivo a los sistemas clásicos en Pasto, Colombia (Arteaga et al., 2001), donde obtuvieron resultados

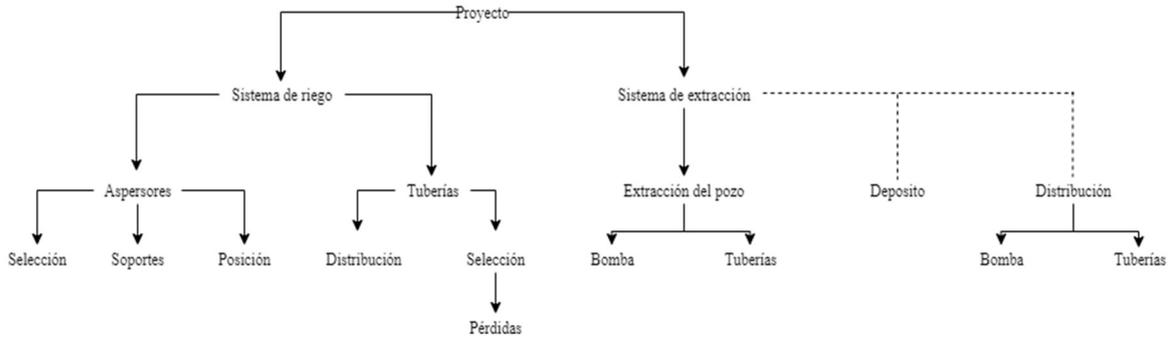
prometedores en los tres años que duró el proyecto. Sin embargo, el acceso a agua, así como las dificultades para realizar reparaciones en instalaciones subterráneas por personal poco formado, deja esta alternativa en un segundo plano

Por otro lado, existe el sistema de riego por aspersión (Ilustración 1-4), el cuál plantea la desventaja de que necesita más agua que los dos anteriores. No obstante, la existencia de un acuífero subsana este inconveniente y hace este sistema la mejor alternativa ya que simula el efecto de la lluvia en los meses más secos (Ilustración 1-1), favoreciendo así un ambiente húmedo que mejore la calidad del fruto, y cuya regulación permite evitar encharcamientos y escurrimientos superficiales del agua aplicada. Un gran ejemplo de esto se puede encontrar en el distrito de Chicla en Perú (Huamaní y Ruiz, 2016), donde se implementó este sistema para regar gran variedad de cultivos regulando el caudal de los aspersores. Además, este sistema es bastante utilizado en la región, por lo que será fácil conseguir piezas y materiales para llevarlo a cabo.



*Ilustración 1-4: Riego por Aspersión*

Por consiguiente, para llevar a cabo el cultivo de maíz se diseñará un sistema de aspersión capaz de satisfacer las necesidades hídricas y físicas del cultivo que contará de las partes definidas en la ilustración 1-5. Este esquema será el esqueleto del proyecto que se va a desarrollar en las siguientes páginas.



*Ilustración 1-5: Esquema del proyecto*

## **Capítulo 2. SISTEMA DE RIEGO**

Habiendo elegido el sistema de riego por aspersión para la realización del proyecto, es necesario elegir aspersores que permitan abastecer adecuadamente la zona de cultivo. También hay que situar tuberías y canalizaciones que permitan el correcto funcionamiento de dichos aspersores.

### **2.1 ASPERSORES**

Para abarcar la máxima zona posible de regado por cada aspersor y reducir el número de estos, y por consiguiente el coste de la instalación total, usaremos aspersores que abarquen un campo de 360°.

También hay que tener en cuenta la altura de la planta de maíz, la cual suele ser menor a 2,5 metros. Para solventar esto, se situarán unos soportes sobre los que se fijarán los aspersores. Esto asegurará una distribución homogénea durante todo el crecimiento de la planta.

Los aspersores deberán ser duraderos y capaces de aguantar las duras condiciones de funcionamiento en las que tendrá que trabajar. No obstante, se intentará que el peso de estos sea el menor posible, de esta forma, los soportes se verán sometidos a esfuerzos menos intensos.

#### **2.1.1 SELECCIÓN ASPERSORES**

En primer lugar, existe la opción de usar difusores emergentes como el ejemplo de la ilustración 2-1, muy utilizados para uso doméstico, pero poco eficientes para uso de cultivos debido a sus limitaciones de altura y caudal. Independientemente de esto, que se soluciona en algunos modelos más modernos, el funcionamiento de estos difusores no está preparado

para trabajar sobre unos soportes ya que su conexión está preparada para realizarse con tuberías subterráneas.



*Ilustración 2-1: Difusor de Riego Hunter PSU-02-17A*

Otro tipo de aspersores muy utilizados en la agricultura son los carros de riego. Este tipo de aspersores son muy eficientes y permiten un control muy preciso de la cantidad de agua suministrada a cada zona. Sin embargo, estos requieren de una infraestructura muy compleja y mecanizada, que puede acarrear fallos y dificultades para efectuar reparaciones dado el nivel de conocimientos técnicos en la zona.

Por esto, pasamos al tercer tipo de aspersores, los aspersores circulares. Estos facilitan el uso para el cual pensamos utilizarlos, ya que se alimentan desde la parte inferior, y permiten anclar la tubería al soporte que usaremos.

Dentro de los aspersores circulares hay varias características que hay que tener en cuenta, destacando material de fabricación, caudal necesario, presión de alimentación y radio de aspersión.

Gran cantidad de aspersores circulares son totalmente de plástico, o al menos tienen partes de este material para abaratar costes. Esto es una ventaja dada la limitación de recursos que existe por parte de la organización. Sin embargo, la diferencia de precios que existe no es tan grande como para justificar el empleo de estos en vez del uso de unos aspersores

fabricados completamente de metal, puesto que la robustez y la durabilidad que pueden aportar en una zona como el pueblo de Dotito son mucho mayores a las del plástico.

En lo referente a caudal, buscaremos minimizarlo manteniendo un radio de aspersión superior a diez metros. Esto se hará pensando en minimizar el caudal total y por consiguiente la demanda pico de agua del acuífero manteniendo un número bajo de aspersores.

También se va a buscar una presión de funcionamiento baja para evitar que una presión en exceso que dañe la instalación.



*Ilustración 2-2: Aspersor VYR-70*

Con todo esto en cuenta he elegido el aspersor circular VYR-70, ilustración 2-2, el cual tiene un radio mínimo de 13 metros para un caudal de  $620 \frac{l}{h}$  y una presión de 1,75 bares (VYR S.A., s.f), lo cual cumple todas las especificaciones que se necesitan. Además, está fabricado en latón y acero inoxidable, lo que garantiza una gran durabilidad y una ausencia de oxidación de los aspersores.

## **2.1.2 SOPORTE**

Para el soporte se plantea la tesitura de si escoger unos ya existentes en el mercado o usar un soporte diseñado exprefeso para esta función. En el caso en que nos encontramos, los

soportes que existen en el mercado de un tamaño superior a dos metros tienen un precio muy superior al propio aspersor, o son simples varillas metálicas.

Por esto, los soportes se realizarán con varas de tres metros, medio metro más de lo necesario para garantizar la estabilidad del aspersor mediante un empotramiento en el firme, sobre los cuales se fijarán las tuberías mediante medios físicos, que en nuestro caso serán bridas, siguiendo el esquema del Anexo I-plano 1. Como se puede ver, cada varilla usará cinco bridas separadas entre sí cincuenta centímetros para sujetar la manguera.

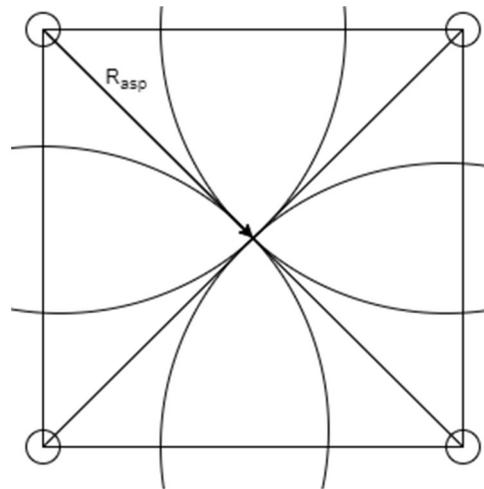
Para la fabricación de estas varas, se utilizarán barras de polipropileno negro de veinticinco milímetros de diámetro. Este material asegura una resistencia superior a la oxidación por el agua, manteniendo un precio bajo y que permita su fácil obtención en Zimbabue.

El diámetro escogido para la varilla, aparte de garantizar su estabilidad por tener una superficie suficientemente grande, también es superior a las tuberías que alimentan los aspersores ( $\frac{3}{4}$  de pulgada), por lo que garantizan que no se venzan por los mismos.

### **2.1.3 POSICIONAMIENTO**

Para situar los aspersores, para facilitar la implantación se realizará en hileras, que a su vez serán paralelas a las de maíz, las cuales necesitan como ya hemos mencionado antes una separación entre plantas de 50 centímetros. Esto también facilitará la distribución de tuberías por el campo y los cálculos de cargas en las mismas.

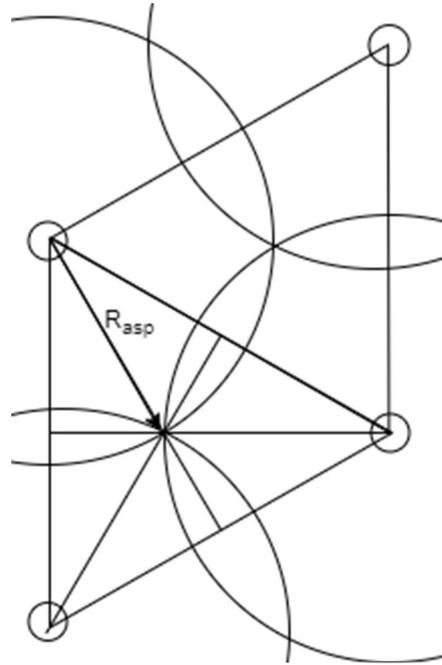
Las dos opciones para situar los aspersores son en filas paralelas formando pequeños cuadrados, o de forma intercalada formando triángulos equiláteros. A continuación estudiaremos ambas opciones para poder averiguar que opción nos permite tener menor número de aspersores y, por consiguiente, menor consumo de agua.



*Ilustración 2-3: Diagrama en cuadrado*

En la Ilustración 2-3 podemos ver un diagrama de la primera opción formando pequeños cuadrados. Para garantizar que se rieguen todas las plantas, y al ser la distancia entre ellas mucho menor al radio de aspersión mínimo ( $0,5 \text{ m} \ll 13 \text{ m}$ ), hay que asegurar que el punto de corte de los aspersores sea el incentro del rectángulo. Esto hace que las diagonales principales midan 26 metros y por Pitágoras, que el lado sea igual a la raíz cuadrada de la suma de dos radios al cuadrado, o lo que es lo mismo en el caso de 13 metros, 18.385 metros.

Para el caso de optimizar los aspersores, este modelo parece un poco deficiente, ya que los aspersores se acoplan durante 7,615 metros en los laterales. Además, generan una zona muy amplia donde va a ser difícil calcular la cantidad de agua que se suministra. No obstante, todavía queda por averiguar si la otra posición será mejor que está o tendrá más carencias.



*Ilustración 2-4: Diagrama en triángulo*

El caso alternativo, que se ve en la ilustración 2-4, se aprecia cualitativamente mejor y con una menor solapación entre aspersores. Para averiguar el valor del lateral del triángulo equilátero, se aplicará el teorema de Pitágoras, al igual que en el caso anterior, pero teniendo en cuenta que el incentro, en el caso del triángulo equilátero, divide la altura en  $2/3$  y  $1/3$  respectivamente. Por ello, la mitad del lado del triángulo equilátero será la raíz cuadrada de la resta del radio aspersión al cuadrado y el cuadrado de la mitad del mismo, lo que da un valor de 11,258 metros. Esto hará que la separación entre aspersores sea de 22,517 metros, lo cual es superior al caso anterior y dejando una solapación en los extremos de 3,483 metros.

También hay que tener en cuenta que la separación entre líneas será igual a la altura del triángulo, que como ya hemos dicho antes, será igual a una vez y medio el radio de aspersión, es decir, 19,5 metros, que a su vez también es mayor que el valor del lado del caso anterior.

Por todo esto, escojo el caso dos para la distribución de aspersores en la plantación. No obstante falta decidir su distribución en los extremos de la superficie a cultivar.

De acuerdo a la Ilustración 2-4, se puede asegurar que los extremos paralelos a las líneas de aspersores se pueden situar a la altura del incentro, asegurando que todas las plantas reciben agua. No obstante, en los extremos perpendiculares a las líneas de cultivo van a necesitar, de forma alterna, situar un aspersor en el borde, ya que el incentro se encuentra a la misma altura de un aspersor en este sentido. El desarrollo completo se encuentra en el Anexo I-Plano 2.

## **2.2 TUBERÍAS**

Para poder seleccionar las tuberías de un diámetro y un material correcto es necesario saber cómo se van a distribuir, qué caudal van a transportar y a qué condiciones. Estos datos vienen impuestos por el número de aspersores que tengan que abastecer, y donde se fraccionen las líneas principales de distribución.

### **2.2.1 DISTRIBUCIÓN**

Esta se hará mediante una tubería principal que suministrará el agua desde el acuífero hasta la zona de riego, pero el diseño de esta dependerá del siguiente capítulo. Esta tubería se dividirá en dos tuberías que a su vez se dividirán en otras dos. Estas cuatro tuberías serán las encargadas de alimentar cada parcela cuadrada de 1 hectárea (100 x100 metros).

Al haber una separación de 19,5 metros entre líneas sabremos que habrá unas 5 líneas por cada hectárea y una intermedia cada dos hectáreas como se puede ver en el Anexo I-plano 2. También podemos ver de forma más detallada para dos hectáreas en el Anexo I-plano 3. De esta forma, cada tubería secundaria que se ramifica de la principal se vuelve a ramificar en 5 o 6 ramificaciones más, en varias fases como en la tubería principal, que alimentan a las líneas de aspersores.

Estas líneas de distribución finales de distribución deberán alimentar una línea de aspersores separadas 22,517 metros entre ellas, por lo que también deberán alimentar a cinco aspersores cada una. Estos aspersores se verán alimentados por pequeñas mangueras de tres cuartos de pulgada que partirán de una bifurcación de la línea principal hasta el aspersor y se anclará al soporte.

De esta forma, siguiendo los diseños de los Anexo I- plano 2 y Anexo I-plano 3, cada hectárea deberá contar con cinco líneas de cinco aspersores cada una y cada línea de distribución secundaria deberá alimentar a veinticinco o treinta aspersores. Siguiendo esta regresión, la línea principal deberá alimentar a ciento diez aspersores para garantizar el suministro de las cuatro hectáreas de las que disponemos

### **2.2.2 SELECCIÓN DE TUBERÍAS**

Teniendo en cuenta todo lo dicho en el punto anterior, habrá que dimensionar las líneas de distribución, las cuales variarán en función de cuanto se alejen de la línea matriz. También habrá que dimensionar las líneas secundarias y la línea primaria. Para esto utilizaremos ecuaciones de mecánica de fluidos, las cuales se irán incorporando a lo largo del escrito.

Existe la posibilidad de instalar válvulas a la entrada de cada zona de distribución. No obstante, dado que se planea instalar una bomba de potencia fija, esto solo acarrearía una subida de caudal en las otras zonas del sistema que, si bien los aspersores podrían aguantarla, no sería apropiado someter a ese extra de presión y caudal al resto de tuberías de distribución y secundarias.

Sin embargo, este problema se solventaría instalando válvulas en cada línea de distribución, como se puede observar en el Anexo I-Plano3, ya que permitiría realizar reparaciones en una línea sin poner en riesgo la integridad del conjunto de la instalación, puesto que el cierre de una línea supondría una variación menor al 5% de dicho conjunto.

### **2.2.2.1 Líneas de distribución**

Las líneas de distribución se pueden ver en el Anexo I-Plano 2 y Plano 3 dibujadas con líneas azules. Estas líneas se encargan de repartir el agua de las líneas secundarias a los aspersores, garantizando su correcto funcionamiento. Para este caso, fijaremos las condiciones de funcionamiento en  $700 \frac{l}{h}$  y 2 bares, esto nos dará un radio ligeramente superior al estimado de 13 metros, garantizando que toda la superficie es correctamente regada independientemente de que puedan existir pequeñas pérdidas o pequeños errores.

Para el diseño de estas líneas, usaremos mangueras de  $\frac{3}{4}$  de pulgada puesto que es el que nos van a requerir los aspersores. Además, deberemos tener en cuenta la disminución de caudal según van alimentándose aspersores, siendo la de entrada  $3500 \frac{l}{h}$  para alimentar los cinco aspersores y la final, al igual que en cada línea de subida por el soporte, de  $700 \frac{l}{h}$ .



*Ilustración 2-5: Línea de distribución*

Siguiendo los puntos de la ilustración 2-5, tenemos la siguiente tabla con el desarrollo del caudal por tramos desde el principio de la línea hasta el último aspersor. Al saber también el diámetro de la tubería, podemos saber la velocidad del agua en esos tramos sabiendo que la velocidad es el caudal entre la superficie de la tubería, y que la superficie es el valor del radio al cuadrado por el número pi.

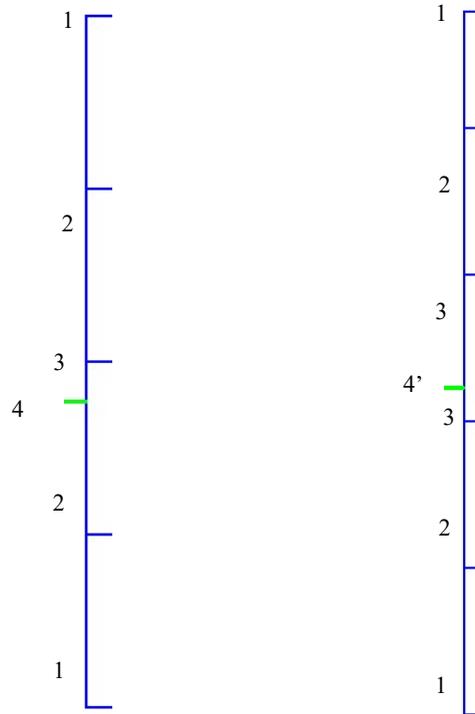
|   | Caudal (l/h) | Caudal (m <sup>3</sup> /s) | Velocidad del fluido (m/s) |
|---|--------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 3500         | 9,72x10 <sup>-4</sup>      | 3.422                      |
| 2 | 2800         | 7,78x10 <sup>-4</sup>      | 2.737                      |
| 3 | 2100         | 5,83x10 <sup>-4</sup>      | 2.053                      |
| 4 | 1400         | 3,89x10 <sup>-4</sup>      | 1,369                      |
| 5 | 700          | 1,94x10 <sup>-4</sup>      | 0.683                      |

*Tabla 2-1: Caudales y velocidades en líneas de distribución*

En la tabla 2-1 podemos ver como la velocidad va cambiando a lo largo de la línea de forma directamente proporcional al caudal, como era de esperar. También hay que tener en cuenta que todas las líneas que se bifurcan de la línea a los aspersores se identifican con el punto 5, ya que llevan ese caudal.

Como podemos ver, la velocidad del fluido en el punto uno, empieza a ser elevada, por eso, usaré un enlace de  $\frac{3}{4}$  de pulgada a 25 mm antes de la válvula, reduciendo la velocidad de salida a casi la mitad (de 3,422 m/s a 1,981 m/s).

También habrá una variación de caudal a lo largo de la línea de unión entre las líneas de distribución. Esta variará de 3500  $\frac{l}{h}$  en las últimas salidas a 17500  $\frac{l}{h}$  en la entrada de las líneas de 5 o 21000  $\frac{l}{h}$  en las líneas de 6. En este caso, las tuberías serán de veinticinco milímetros debido al cambio efectuado a la entrada de las líneas de distribución.



*Ilustración 2-6: Distribución para 5 líneas e Ilustración 2-7: Distribución para 6 líneas*

En estas ilustraciones (Ilustración 2-6 e Ilustración 2-7) se puede ver como comparten muchos valores debido a la simetría a excepción del valor de salida. Con esto y las fórmulas vistas anteriormente, se obtiene la siguiente tabla (Tabla 2-2) de velocidades y caudales.

|    | Caudal (l/h) | Caudal (m <sup>3</sup> /s) | Velocidad del fluido (m/s) |
|----|--------------|----------------------------|----------------------------|
| 1  | 3500         | $9.72 \times 10^{-4}$      | 1.981                      |
| 2  | 7000         | $1.94 \times 10^{-3}$      | 3.962                      |
| 3  | 10500        | $2.96 \times 10^{-3}$      | 5.943                      |
| 4  | 17500        | $4.86 \times 10^{-3}$      | 9.905                      |
| 4' | 21000        | $5.83 \times 10^{-3}$      | 11.886                     |

*Tabla 2-2: Caudales y velocidades en la unión de líneas de distribución*

Como se puede ver, tenemos el mismo problema que en el caso anterior ya que la velocidad es muy elevada en ambos casos. Por consiguiente, aplicaremos la misma solución que en caso anterior y situaremos en la entrada de la línea secundaria un enlace de veinticinco milímetros a treinta y dos milímetros de diámetro, esto reducirá las velocidades a 6.046 m/s y 7.255 m/s respectivamente al punto 4 y 4'.

Estos valores siguen siendo altos, por lo que pondremos otro enlace de treinta y dos milímetros a cuarenta milímetros, por lo que la velocidad disminuirá en el punto 4 a 3.869 m/s y en el punto 4' disminuirá a 4.643 m/s. Estos valores ya son más apropiados para estas líneas puesto que alargan la vida útil del resto de componentes al someterlos a menores velocidades de fluido.

Posteriormente, hay que calcular las pérdidas que se van a generar dentro de estas tuberías. Estas pérdidas se van a dividir entre las pérdidas primarias y las secundarias. Las primarias dependerán del desarrollo del fluido y su interacción con las tuberías, mientras que las secundarias dependerán de la interacción del fluido con los elementos que interaccionan con el fluido, tales como válvulas, codos u otros elementos similares.

#### **2.2.2.1.1 Pérdidas Primarias**

Las pérdidas primarias, como ya hemos mencionado dependen del desarrollo del fluido. Por ello, debemos empezar calculando el número de Reynolds de cada tramo para estudiar el comportamiento del fluido en dicho tramo y poder cuantificar las pérdidas. Para calcular el número de Reynolds usaremos la ecuación 2-1 que aparece a continuación.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

*Ecuación 2-1: Número de Reynolds*

En esta ecuación, además de la velocidad y el diámetro húmedo, que en el caso de la tubería que tenemos es igual al diámetro nominal, se necesita la densidad del agua, que para estos cálculos supondré el agua como perfecta y con densidad igual a  $1000 \frac{kg}{m^3}$ . También se necesita la viscosidad dinámica del agua, la cual es  $0,001 Pa \cdot s$  en condiciones atmosféricas.

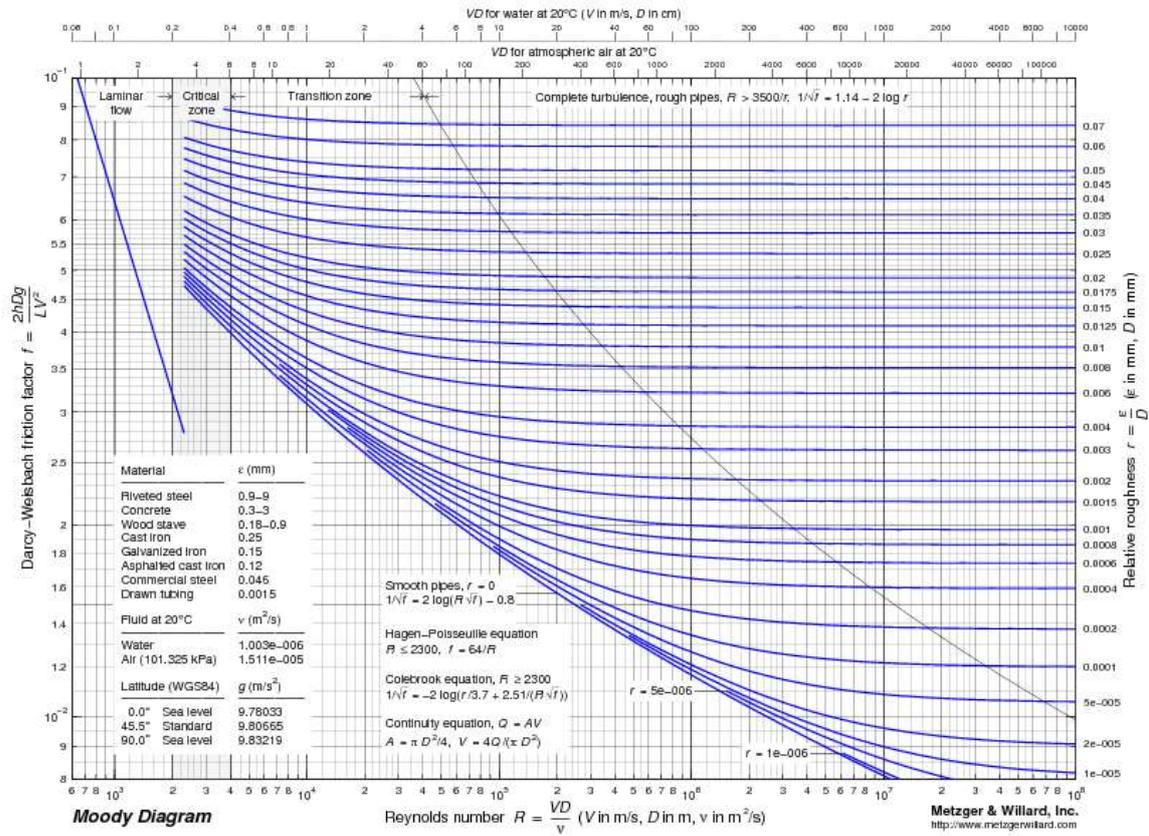
Con estos datos podemos averiguar los números de Reynolds para todos los puntos de la línea de distribución recogidos en la siguiente tabla (Tabla 2-3)

| Puntos de línea de distribución (Ø ¾ in) | Re      | Puntos de línea de unión (Ø 25mm) | Re     |
|--|---------|-----------------------------------|--------|
| 1  | 65055.8 | 1                                 | 49525  |
| 2  | 52044.6 | 2                                 | 99050  |
| 3  | 39033.5 | 3                                 | 148575 |
| 4  | 26022.3 | 4                                 | 247625 |
| 5  | 13011.2 | 4'                                | 297150 |

*Tabla 2-3: Número de Reynolds en línea de distribución*

Como se puede apreciar en la tabla 2-3, todos los tramos tienen un número de Reynolds mucho mayor a 2300, por lo que en todas las zonas estará en flujo turbulento. Esto será importante de cara a calcular las pérdidas primarias son directamente proporcionales al factor de fricción de Darcy, y la forma de calcularlo depende de su flujo, que, en el caso de estos puntos, es turbulento.

Para ver las diversas formas de calcular el factor de Darcy, nos ayudaremos del diagrama de Moody, el cual se puede ver en la ilustración 2-8. En él se puede apreciar la fórmula que vamos a usar para hallar este valor en todos los casos. En este caso es la ecuación de Colebrook.



*Ilustración 2-8: Diagrama de Moody*

Como se puede ver, la ecuación de Colebrook depende de la rugosidad de la tubería. Para elegir la tubería y el material de esta, aprovecharemos los datos de velocidades y caudales que se han obtenido en páginas anteriores en las tablas 2-1 y 2-2.

Teniendo en cuenta estos valores, la presión de trabajo de los aspersores y los diámetros más adecuados para el funcionamiento de nuestros aspersores (¾ de pulgada que equivaldrían a 20 milímetros) usaremos tuberías de polietileno de baja densidad para 6 atmósferas, para que tengan una resistencia mayor a condiciones extremas, tanto internas como externas. Este material tiene una rugosidad absoluta  $\epsilon$  igual a 0,0015 mm (Academia Ingnova, s.f).

Teniendo estos datos y resolviendo la ecuación Colebrook se obtienen los resultados para el valor del factor de fricción de fricción de Darcy (f) recogidos en la siguiente tabla (Tabla

2-4). En todos los casos se tienen en cuenta sus correspondientes diámetros, velocidades y números de Reynolds.

| Puntos de línea de distribución (Ø ¾ in) | f      | Puntos de línea de unión (Ø 25mm) | f      |
|--|--------|-----------------------------------|--------|
| 1  | 0.020  | 1                                 | 0.0212 |
| 2  | 0.021  | 2                                 | 0.0183 |
| 3  | 0.0223 | 3                                 | 0.017  |
| 4  | 0.0245 | 4                                 | 0.0155 |
| 5  | 0.029  | 4'                                | 0.0151 |

Tabla 2-4: Factores de fricción de Darcy para las líneas de distribución

Con estos datos, solo queda sustituir estos valores del factor de fricción de Darcy en la ecuación 2-2. Para poder averiguar correctamente las pérdidas hay que tener en cuenta las pérdidas en las tuberías de subida a los aspersores, así como la diferencia en las líneas de distribución que recorren todo el ancho de la superficie y aquellos que se quedan a 9,932 metros del final de este.

$$h_f = \frac{fLv^2}{2Dg}$$

Ecuación 2-2: Ecuación de pérdidas de carga primarias

Por consiguiente, se presentarán las pérdidas de carga primarias en dos tablas diferentes, una para las líneas de distribución, diferenciando claramente las que abarcan todo el campo y las que no. Por otro lado, se dispondrá una tabla con las pérdidas en las líneas de conexión, separando las que alimentan cinco líneas y las que abarcan seis.

Para los valores de longitud se usarán los valores dados en los planos del Anexo I- plano 1 y plano 2. También se tendrá en cuenta que las válvulas y los enlaces para cambiar las velocidades se situarán en el extremo final de las líneas, por lo que estas variaciones no se tendrán en cuenta para estos cálculos.

| Puntos de línea larga | $h_f$   | Puntos línea corta | $h_f$   |
|-----------------------|---------|--------------------|---------|
| Subida                | 0.08619 | Subida             | 0.08619 |
| 1-2                   | 0.77629 | 1-2                | 0.77629 |
| 2-3                   | 2.6233  | 2-3                | 2.6233  |
| 3-4                   | 5.3724  | 3-4                | 5.3724  |
| 4-5                   | 8.9942  | 4-5                | 8.9942  |
| 5-válvula             | 17.792  | 5-válvula          | 11.888  |

*Tabla 2-5: Pérdidas primarias en líneas de distribución*

Como se puede ver, hay muchas pérdidas, no obstante, en el punto 2.2.2.1.3 se calculará la presión necesaria a la entrada y si es necesario aumentar el grosor de las paredes para aguantar más presión en caso de que no aguanten las tuberías escogidas.

| Puntos de línea de 5 | $h_f$   | Puntos línea de 6 | $h_f$   |
|----------------------|---------|-------------------|---------|
| 1-2                  | 3.3075  | 1-2 (largo)       | 3.3075  |
| 2-3                  | 11.4203 | 1-2 (corto)       | 2.6290  |
| 3-4 (largo)          | 18.362  | 2-3               | 11.4203 |
| 3-4 (corto)          | 5.5085  | 3-4 (largo)       | 18.362  |
|                      |         | 3-4 (corto)       | 5.5085  |

Tabla 2-6: Pérdidas primarias en líneas de conexión

En la tabla 2-6 se pueden ver las pérdidas primarias en las zonas de conexión entre las líneas de distribución. Con estos, ya tenemos todas las pérdidas primarias en la red de distribución. En los siguientes apartados se calcularán las pérdidas secundarias y como estas modificarán la presión necesaria a la entrada de estos puntos.

#### 2.2.2.1.2 Pérdidas Secundarias

Para el cálculo de pérdidas de cargas secundarias o pérdidas localizadas deberemos tener en cuenta los lugares donde existen cambios en las tuberías. Esto incluye codos, válvulas y otros elementos que puedan ocasionar este tipo de pérdidas.

Para calcular estas pérdidas se usará la ecuación 2-3 que está a continuación. Esta depende de una constante  $k$  que varía en función del elemento que tratemos de los que ya se han comentado. También dependerá de la velocidad del fluido en el punto. En los puntos que tratemos en los que se encuentren diversas velocidades a entrada y salida del elemento, se usará la mayor, ya que será más restrictiva.

Además, esta suposición no alterará negativamente el funcionamiento del sistema ya que las variaciones serán muy pequeñas e hipotéticamente solo subirían ligeramente la presión en

los aspersores. Sin embargo los aspersores todavía pueden trabajar a una presión dos veces mayor de la impuesta como régimen de funcionamiento, por lo que no afectará negativamente a estos.

$$h_m = K \frac{v^2}{2g}$$

*Ecuación 2-3: Ecuación de pérdidas de carga secundarias*

Una vez concretada la ecuación solo falta concretar los puntos en los que van a existir estas pérdidas.

En primer lugar, trataremos las líneas de distribución. En estas los puntos en los que van a existir en los puntos donde bajan los aspersores, ya que existe un codo de 90° y al final de la línea con las válvulas. En este caso las pérdidas serán iguales en las líneas largas y en las cortas ya que tienen el mismo número de aspersores con las mismas velocidades.

Teniendo esto en cuenta, sacamos la siguiente tabla (Tabla 2-7) de pérdidas secundarias. Los valores de K se incluyen en la tabla en función del tipo de componente que sea (Fesmex, 2020)

| Punto   | K    | $h_m$  |
|---------|------|--------|
| 1       | 0.75 | 0.4458 |
| 2       | 0.75 | 0.2853 |
| 3       | 0.75 | 0.1605 |
| 4       | 0.75 | 0.0713 |
| 5       | 0.75 | 0.0178 |
| Válvula | 2    | 1.1888 |

*Tabla 2-7: Pérdidas secundarias en líneas de distribución*

Como se puede apreciar en los resultados de la tabla 2-7, las pérdidas secundarias son menores que en el caso de las pérdidas primarias, lo cual era esperable. Hay que destacar también la gran diferencia entre las pérdidas en los codos y las pérdidas en la válvula, las cuales son mucho mayores.

A continuación, trataremos las líneas de unión entre las líneas de distribución. En este caso, los puntos donde se localizan estas pérdidas secundarias serán donde se vayan uniendo las líneas de distribución así como los puntos donde se conectan con las líneas secundarias.

En la siguiente tabla (Tabla 2-8) se encuentran los resultados numéricos de estas pérdidas localizadas, hemos supuesto iguales las pérdidas en las líneas de 5 y 6 líneas de distribución hasta el punto 3, aunque se mantienen diferentes en los puntos 4 y 4'. En estos últimos las pérdidas vendrán de la superposición de la ramificación corta y de la ramificación larga, ya que ambas tienen que afrontar un ángulo de 90°.

| Punto | K    | $h_m$  |
|-------|------|--------|
| 1     | 0.75 | 0.150  |
| 2     | 0.75 | 0.6001 |
| 3     | 0.75 | 1.350  |
| 4     | 0.75 | 7.501  |
| 4'    | 0.75 | 10.801 |

*Tabla 2-8: Pérdidas secundarias en líneas de unión*

Como podemos ver en la tabla 2-8, las pérdidas crecen exponencialmente, lo cual es normal ya que la velocidad está elevada al cuadrado en la ecuación 2-3. Como también es lógico, las pérdidas en los puntos 4 y 4' son mucho mayores ya que integran dos tuberías y su velocidad es mucho mayor.

### 2.2.2.1.3 Pérdidas totales y Presión inicial

Para el cálculo de las pérdidas totales y, por consiguiente, la presión a la entrada de las líneas de distribución. Para esto usaremos la ecuación de Bernoulli. Usaremos esta ecuación (Ecuación 2-4) para calcular la presión de entrada en las líneas de 5 y 6 líneas independientemente.

$$P_i = P_f + \rho g(z_f - z_i + \sum h_f + \sum h_m) + \frac{\rho}{2}(\alpha_i v_i^2 - \alpha_f v_f^2)$$

*Ecuación 2-4: Ecuación de Bernoulli*

Los resultados se muestran en la tabla 2-9. Para calcularlos, supondremos que, aunque existe un ligero desnivel en la zona de riego, la superficie es plana. Esta diferencia solo supondrá un ligero aumento en la presión, pero como ya se ha mencionado en el punto 2.2.2.1.2, los aspersores podrían aguantar esta pequeña diferencia de presión.

También hay que tener en cuenta el factor de corrección en función del flujo ( $\alpha$ ) el cual tendrá el valor unidad en ambos casos ya que como se puede ver en la tabla 2-3, todo el sistema funciona en régimen de flujo turbulento ( $Re > 2300$ ).

Por último, se usará el punto de entrada como punto inicial y los aspersores como punto final, dando lugar a la siguiente tabla de resultados.

| línea de distribución | Presión inicial (Pa) | Presión inicial (Bar) |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| De cinco líneas       | 310645.91            | 3.07                  |
| De seis líneas        | 322484.42            | 3.18                  |

*Tabla 2-9: Tabla de presiones iniciales en las líneas de distribución*

Como era de esperar, las líneas de 6 necesitan mayor presión al tener más elementos. Para fijar esto, situaremos unas válvulas reguladoras de presión al final de las líneas de distribución secundarias que abastezcan las líneas de 5 líneas de distribución para asegurar

el correcto funcionamiento del sistema y abastecimiento de las líneas que abastezcan las líneas de 6 líneas de distribución, así como evitar las sobrecargas del sistema

### **2.2.2.2 Líneas Secundarias**

Estas líneas se encargan de asegurar el suministro entre la línea primaria y la línea de distribución. Se pueden encontrar en los planos Anexo I-Plano 1 y Plano 2 en color verde. En esta zona, comenzaremos teniendo en la parte final tuberías de cuarenta milímetros de diámetro interior. También habrá caudales de  $17500 \frac{l}{h}$  y  $21000 \frac{l}{h}$ , dependiendo de si conectan con una línea de distribución de 25 o 30 aspersores.



*Ilustración 2-9: Esquema líneas secundarias*

En la ilustración 2-9 se puede ver como se distribuirían las líneas secundarias. Como se puede ver en el Anexo I- Plano 2, las líneas centrales serán las que abastezcan las líneas de distribución de caudal de  $17500 \frac{l}{h}$  y, por consiguiente, las que necesitan de las válvulas limitadoras de presión.

Con estos datos se pueden obtener las velocidades a lo largo de las líneas de distribución teniendo en cuenta que son simétricas y usando los puntos de la ilustración 2-9.

| Punto | Caudal (l/h) | Caudal (m <sup>3</sup> /s) | Velocidad (m/s) |
|-------|--------------|----------------------------|-----------------|
| 1     | 21000        | 5.83x10 <sup>-3</sup>      | 4.643           |
| 1'    | 17500        | 4.86x10 <sup>-3</sup>      | 3.869           |
| 2     | 38500        | 1.07x10 <sup>-2</sup>      | 8.512           |
| 3     | 77000        | 2.14x10 <sup>-2</sup>      | 17.024          |

*Tabla 2-10: Velocidades en líneas secundarias*

Como en la línea de distribución, la velocidad en la entrada de la línea secundaria es muy elevada, por eso usaremos unos enlaces de cuarenta milímetros a cincuenta milímetros, consiguiendo así una velocidad a la salida de 10.895 m/s.

La velocidad obtenida con este enlace sigue siendo muy alta. Por esto, usaremos otro enlace de cincuenta milímetros a sesenta milímetros. Con esto se consiguen una velocidad de 7,566 m/s, la cual podría ser aceptable.

Sin embargo, calcularemos la efectividad de otro enlace de sesenta milímetros a setenta y cinco milímetros. Con este enlace se conseguirá una velocidad a la salida de 4.842, la cual es mucho más baja y adecuada para el funcionamiento de esta línea. Por lo que colocaremos este enlace

Una vez concretadas las velocidades en los tramos de las líneas secundarias, hay que calcular las pérdidas que existen en estas líneas. Como en las líneas de distribución, dividiremos las pérdidas en primarias y pérdidas secundarias o localizadas.

### 2.2.2.2.1 Pérdidas Primarias

Las pérdidas primarias ya se ha explicado que dependen del desarrollo del fluido y su interacción con las paredes de la tubería. Por esto, usaremos la ecuación 2-1 para calcular los números de Reynolds en los puntos de las líneas secundarias.

Estos números de Reynolds quedan recogidos en la tabla 2-11. Para el cálculo de estos se usarán los mismos datos para la densidad y el coeficiente de viscosidad dinámica que se han usado en la línea de distribución ( $\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$  y  $\mu = 0,001 Pa \cdot s$ )

| Punto de la línea secundaria | Re     |
|------------------------------|--------|
| 1                            | 185720 |
| 1'                           | 154760 |
| 2                            | 340480 |
| 3                            | 363150 |

Tabla 2-11: Números de Reynolds

Los números de Reynolds son altos, como se podía esperar, por lo que el régimen de flujo será turbulento en todas las partes de la línea de distribución ya que en todos los puntos el número de Reynolds supera holgadamente el valor de 2300.

Con esto, podremos usar la ecuación de Colebrook para averiguar el factor de fricción de Darcy, del cual dependen las pérdidas primarias como se puede ver en la ecuación 2-2. Dentro de la ecuación de Colebrook, deberemos tener en cuenta la constante de rugosidad de la tubería, por lo que deberemos seleccionar las tuberías para esta línea.

En primer lugar, se baraja la opción de mantener las tuberías de polietileno de baja densidad para 6 atmósferas, ya que la presión de entrada de la tubería será de 3,18 bares, por lo que es muy improbable que llegue o incluso supere esta presión.

A la salida (punto 3) dado que la tubería primaria va a ser más larga y va a llevar más caudal se podría estudiar la utilización de tuberías de PVC, pero dado que esto no produce pérdidas primarias a partir del punto 3, no se estudiará en este punto.

La tubería de polietileno ya hemos visto que tiene una rugosidad  $\varepsilon$  igual a 0.0015 mm (Academia Ingnova, s.f). Con estos valores, se sustituye en la ecuación de Colebrook y se obtienen los siguientes valores reflejados en la siguiente tabla (Tabla 2-12)

| Puntos de las líneas secundarias | f      |
|----------------------------------|--------|
| 1                                | 0.0162 |
| 1'                               | 0.0167 |
| 2                                | 0.0145 |
| 3                                | 0.0142 |

*Tabla 2-12: Factores de fricción de Darcy en líneas secundarias*

Con estos factores de fricción de Darcy podemos calcular las pérdidas que existen en este tramo del sistema. Para ello, volveremos a utilizar la ecuación 2-2 para calcular estas pérdidas. Para las medidas se usarán los datos del plano del Anexo I-Plano 2. Con estos datos se obtienen finalmente las pérdidas que se reflejan a continuación.

| Tramos de las líneas secundarias | $h_f$  |
|----------------------------------|--------|
| 1-2                              | 52.064 |
| 1'-2                             | 5.4121 |
| 2-3                              | 66.933 |

*Tabla 2-13: Pérdidas primarias en las líneas secundarias*

De acuerdo con la tabla 2-13, se pueden ver las pérdidas primarias existentes en estas líneas. Como era de esperar, dada la gran longitud de estas líneas y las altas velocidades, así como la gran turbulencia que existe dentro de estas, las pérdidas son mayores que en las líneas de distribución

A estas pérdidas se les añadirán las pérdidas secundarias que se calcularán en el siguiente apartado y se podrá obtener la presión necesaria a la entrada de las líneas secundarias.

#### **2.2.2.2.2 Pérdidas Secundarias**

Las pérdidas secundarias, como ya se ha mencionado, dependen de los elementos que puedan frenar o alterar el fluido de acuerdo con su composición física. Teniendo esto en cuenta, los puntos críticos se encuentran en los puntos de unión de las líneas, en los codos de las esquinas y en el punto de unión con la línea primaria.

Así mismo, se deberá tener en cuenta que también van a existir pérdidas en las válvulas reguladoras de presión a la salida de las líneas de distribución, con aquellas que abastezcan a 25 aspersores.

Para calcular estas pérdidas, volveremos a hacer uso de la ecuación 2-3, la cual depende de la velocidad del fluido y de la constante K dependiente del tipo de elemento que interaccione con el fluido, y que está representada en la tabla de resultados, tabla 2-14 (Fesmex, 2020)

Por último, se supondrá la velocidad más alta en estos elementos para imponer las condiciones más restrictivas, teniendo el sistema capacidad suficiente para aguantar la pequeña subida de presión que esto puede suponer.

| Elemento   | K    | $h_m$  |
|------------|------|--------|
| Codo 1-1   | 0.75 | 0.824  |
| Codo 1'-2  | 0.75 | 2.77   |
| Válvula 1' | 2.5  | 1.907  |
| Codo 2-3   | 0.75 | 11.079 |

Tabla 2-14: Pérdidas secundarias en líneas secundarias

En la tabla 2-14 se pueden apreciar las pérdidas secundarias, al ser tan pocos elementos, las pérdidas serán menores que en el caso de las líneas de distribución. Esto favorecerá la hipótesis de mantener las tuberías de polietileno de 6 atm para las líneas secundarias.

### 2.2.2.2.3 Pérdidas totales y Presión inicial

Para calcular el cómputo de pérdidas totales y averiguar la presión necesaria a la entrada de las líneas secundarias, volveremos a usar la ecuación de Bernoulli (ecuación 2-4) con los valores hallados en los apartados anteriores.

En primer lugar, la diferencia de alturas en este caso será nula ya que todos los elementos se sitúan en la misma cota. También se tendrá en cuenta como punto inicial el punto con condiciones más restrictivas, que en este caso se encontrarán en las líneas que alimenten a 30 aspersores.

En ese punto la velocidad de entrada será de 4.643m/s y la presión de funcionamiento de 3.18 bares. Además, las constantes de corrección en función del flujo volverán a valer la unidad dado que en ambos puntos se trabaja en régimen de flujo turbulento.

Con estos datos resolvemos la ecuación de Bernoulli y nos da un valor de 330846.91 pascales 3.27 bares. Como se puede ver, el aumento de presión en esta línea ha sido pequeño dado el

gran aumento de velocidad que existe en la línea y que las pérdidas eran menos numerosas que en el caso de las líneas de distribución.

Con estos nuevos datos podemos calcular la presión necesaria para alimentar las líneas secundarias y de distribución, garantizando el correcto funcionamiento de los aspersores y de las tuberías conservando su integridad y alargando su durabilidad.

### **2.2.2.3 Línea Primaria**

Para la línea primaria no va a ser necesario calcular pérdidas primarias o secundarias ya que el cálculo de estas se hará en el capítulo 3, al instalar la bomba de extracción del pozo y calcular las pérdidas en la línea de conexión.

No obstante, esta línea tiene las características definidas en los puntos anteriores recogidas en la tabla 2-15. También se incluye el material de esta tubería, el cual será PVC, ya que este material asegura una mayor resistencia a las condiciones climatológicas y a las condiciones internas. Esto además es aplicable aquí ya que la longitud de esta tubería es menor que el conjunto del resto del sistema y no necesita de otras ventajas que garantiza el polietileno como flexibilidad.

| Característica | Valor              |
|----------------|--------------------|
| Caudal         | $77 \frac{m^3}{h}$ |
| Velocidad      | 4.842 m/s          |
| Presión        | 3.27 bares         |
| Material       | PVC                |

*Tabla 2-15: Valores de la línea primaria*

Con estos valores podremos dimensionar adecuadamente la bomba de extracción y la tubería de alimentación de este sistema para satisfacer correctamente las condiciones de funcionamiento impuestas.

#### **2.2.2.4 Conjunto**

Teniendo en todos los apartados anteriores los cálculos explicativos y las justificaciones de todas las elecciones, es conveniente hacer un resumen de las mismas de cara a facilitar cálculos posteriores como el presupuesto o alguna variación en algún parámetro.

Para este resumen se utilizará la tabla 2-16, en la cual se aprecian los materiales constructivos de todas las tuberías, los diámetros de estas, la presión, velocidad y caudal máximo. Estos parámetros serán más que suficientes para poder caracterizar las tuberías del sistema de riego.

| Líneas                 |              | Parámetros |                 |                    |                      |                   |
|------------------------|--------------|------------|-----------------|--------------------|----------------------|-------------------|
|                        |              | Material   | Ø interior (mm) | Presión máx. (bar) | Velocidad máx. (m/s) | Caudal máx. (l/h) |
| Líneas de distribución | Distribución | PE         | 20              | 2                  | 3.422                | 3500              |
|                        | 5 líneas     |            | 25              | 3.07               | 9.905                | 17500             |
|                        | 6 líneas     |            |                 | 3.18               | 11.886               | 21000             |
| Líneas secundarias     |              |            | 40              | 3.27               | 17.024               | 77000             |
| Línea primaria         |              | PVC        | 75              | 3.27               | 4.842                | 77000             |

*Tabla 2-16: Resumen de las tuberías del sistema de riego*

## **Capítulo 3. SISTEMA DE EXTRACCIÓN**

En este capítulo se aborda la construcción del sistema de extracción de agua del acuífero existente en la zona. Este acuífero se sitúa aproximadamente a 250 metros de la zona donde se instalará el sistema de riego.

Este capítulo se dividirá en el diseño del sistema de extracción del pozo, un depósito para almacenar agua en caso de que la bomba sumergida no abastezca adecuadamente los aspersores y, si este depósito es necesario, una bomba que suministre el agua del depósito al sistema de riego.

La existencia del depósito se supone necesario a priori ya que las necesidades hídricas para las cuatro hectáreas de las que se disponen alcanzan un valor de doscientos metros cúbicos al día con un caudal necesario de riego de setenta y siete metros cúbicos por hora. No obstante, eso se analizará en el primer apartado.

### ***3.1 EXTRACCIÓN DEL POZO***

Para poder realizar un sistema de extracción adecuado se deberán abordar de forma independiente la bomba sumergida, que se encargará de bombear el agua fuera del pozo, y las tuberías que tendrán que guiar el agua fuera del mismo.

La elección de las tuberías será más sencilla que en el capítulo 2, ya que las dimensiones óptimas de funcionamiento vendrán facilitadas por el fabricante y la longitud de la misma también viene delimitada por la profundidad del pozo.

### **3.1.1 BOMBA SUMERGIDA**

La bomba sumergida es el elemento primordial del sistema de extracción ya que asegura el suministro de agua de todo el sistema. El caudal necesario para alimentar el sistema debe ser de setenta y siete metros cúbicos por hora. Este caudal es un caudal muy considerable para una bomba sumergida.

Además, hay que tener en cuenta que estas bombas ocupan un volumen considerable y pueden acarrear problemas a la hora de realizarles un mantenimiento. Esto es un agravante ya que en la zona rural de Dotito no tienen acceso a maquinaria ni a conocimientos en la materia de forma rápida. Por esto, un fallo en la bomba sumergida, si esta fuera muy grande y hubiera dificultades para repararla, podría ocasionar la pérdida de la cosecha de maíz.

Otro factor importante que se debe tener en cuenta es la potencia eléctrica de la bomba. Si bien es cierto que el suministro está garantizado por unos generadores solares, al no poder abastecer el sistema de forma directa, es preferible el uso de una bomba con menos potencia que pueda abastecer la demanda diaria de agua del cultivo de maíz.

Teniendo esto en cuenta se escoge la bomba sumergible MSW-SPP48-220 (Ilustración 3-1). Esta bomba está diseñada para trabajar a una profundidad máxima de 96 metros, la cual es superior a los 90 metros de profundidad que tiene el pozo.



*Ilustración 3-1: Bomba sumergible MSW-SPP48-220*

Esta bomba garantiza un suministro de agua de 10800 l, lo cual es más que suficiente para abastecer el campo de cultivo. Además, consta de un sensor de presión para instalar en el depósito que elimina la necesidad de activarlo de forma manual. No obstante, también existe un panel de control manual por si existiera algún problema con el circuito eléctrico.

También hay que tener en cuenta que esta bomba tiene una potencia eléctrica de 2200 W, la cual no supondría un gran requerimiento para el suministro eléctrico proporcionado por las placas solares.

Finalmente, esta bomba tiene un peso de 25.15 Kg. Este reducido peso garantiza que esta bomba pueda ser instalada, extraída y reparada con facilidad por un reducido grupo de operarios sin necesidad de maquinaria pesada.

La instalación de esta bomba se muestra en el plano del Anexo I-Plano 4. Como se puede ver, la bomba se situará a 90 metros bajo el nivel del suelo, aunque la altura que deberá vencer es menor debido al desnivel en el que se sitúa el depósito. Por esto, el esfuerzo de la bomba será menor.

### **3.1.2 TUBERÍAS**

El diseño de las tuberías será más sencillo que en el capítulo 2. En este caso, al asegurar la bomba el suministro de agua y no tener ninguna problemática con la presión ya que el extremo del depósito da a la atmósfera y la presión ocasionada debido a la diferencia de alturas es ínfima, la bomba es capaz de vencer fácilmente las pérdidas primarias y secundarias.

El diámetro de estas tuberías debe ser de noventa y seis milímetros, con el caudal que se tiene, el cual es de  $0.003 \text{ m}^3/\text{s}$ , la velocidad del fluido será de  $0.4145 \text{ m/s}$ , la cual es la menor de todo el sistema. Si se usa la ecuación 2-1 para calcular el número de Reynolds, manteniendo la densidad a mil kilogramos por metro cúbico y la viscosidad dinámica como

un mili pascal segundo, se obtendrá que el número de Reynolds de 39788.7, el cual, siendo turbulento, ya que es mayor a 2300, es bastante bajo en relación con el sistema de riego.

Sin embargo, el punto crítico de esta instalación es la instalación de soportes, o la ausencia de estos. Esto se decidirá en función de la resistencia de las tuberías a tracción. Para ello, se calculará el peso acumulado de la bomba, la tubería y de la columna de agua.

En primer lugar, para poder saber el peso de la tubería, se supondrá un material. En este caso, se optará por el PVC ya que presenta muy buena resistencia a tracción a par que consta de una densidad baja.

Una vez decidido el material de la tubería, habrá que analizar las características de este material, en los que se destacamos densidad, grosor de pared (Mundoriego, s.f.), y tensión admisible (Plasticbages Industrial S.L., s.f.). Estos aparecen representados en la tabla 3-1.

| Características             | Valores para tubería de PVC<br>(Ø 96mm) |
|-----------------------------|---|
| $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 1370                                    |
| Grosor de pared (mm)        | 2.8                                     |
| $\sigma_{adm}$ (MPa)        | 50                                      |

*Tabla 3-1: Características PVC*

Con estos datos ya se puede averiguar si la tubería de PVC puede aguantar por si misma el peso del sistema de extracción, o necesita de soportes externos para sujetar la tubería y la bomba. Se espera que esto no sea necesario ya que supondría un coste extra para el proyecto y una complejidad superior de cara a reparaciones.

Para calcular el peso de la columna de agua se multiplicará la densidad del agua por el volumen de la columna de agua y en el caso de la tubería se multiplicará de igual forma su densidad por el volumen de la tubería. Para calcular ambos volúmenes usaremos la fórmula del volumen del cilindro ( $V = h\pi r^2$ ) y se restará el volumen de agua al de la tubería.

Estos pesos quedan reflejados, junto con sus volúmenes en la tabla 3-2. También se añade un apartado de peso total de la tubería que consiste en el sumatorio de los pesos de todo el sistema de extracción para la facilitar los cálculos posteriores,

| Componente      | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Peso (kg) |
|-----------------|---------------------------|-----------|
| Columna de agua | 0.5726                    | 572.56    |
| Tubería         | 0.0789                    | 108.07    |
| Bomba           | n.a.                      | 25.15     |
| Conjunto        | n.a.                      | 705.78    |

*Tabla 3-2: Tabla de pesos del sistema de extracción.*

Una vez se tienen los valores de los pesos ya se puede saber si la tubería aguantará el peso de toda la columna. Para esto se multiplicará el peso por la gravedad y se dividirá entre la superficie de contacto ( $A = \pi(R^2 - r^2)$ ), tras sustituir, tenemos que la tensión que genera la columna en la tubería es de 7.899 MPa, la cual es mucho menor que la tensión admisible del material, por lo que utilizar este tipo de tubería es seguro y óptimo para este sistema de extracción.

### **3.2 DEPÓSITO**

Dada la imposibilidad de abastecer el sistema con una bomba, se deberá instalar un depósito para asegurar el suministro. Este depósito deberá almacenar el agua necesaria para garantizar el correcto suministro y, por consiguiente, el correcto funcionamiento del sistema.

Para este menester, se diseñará un depósito abierto y sobredimensionado, para poder aprovechar el agua de lluvia y excedente de otros proyectos como las piscifactorías llevadas

a cabo por diferentes compañeros otros cursos y la llevada a cabo este año por Juan Homedes Rivero.

De acuerdo con esto, se diseña un depósito excavado en la tierra conforme a la descripción del Anexo I-Plano 5. Como se puede ver, el depósito tiene unas dimensiones de un cuadrado de diez metros de lado como base y dos metros y medio de altura.

Este depósito tendrá un volumen de doscientos cincuenta metros cúbicos, más que suficiente para abastecer a la cosecha de maíz a diario. No obstante, el sensor de presión de la bomba se instalará para que el depósito se llene a ciento ochenta metros cúbicos. Esto dejará más espacio para aprovechar otras fuentes de agua.

Además, garantiza el riego ya que el consumo de agua es de setenta y siete metros cúbicos por hora, lo que se convierte en ciento cincuenta y cuatro metros cúbicos en dos horas. Eso quiere decir que en dos horas no podrá secar el depósito y dará tiempo a que la bomba extraiga veintiuno con seis metros cúbicos, lo que aportaría al depósito los doscientos metros cúbicos necesarios.

### **3.2.1 CONSTRUCCIÓN**

Para la construcción de este depósito usaremos técnicas ya empleadas en la zona para estas funciones. En concreto, se usará el diseño de piscifactorías de otros años en la misma zona como referente para la selección del tipo de recubrimiento que se usará.

En primer lugar, se plantea el uso de recubrir el estanque de una película plástica para poder garantizar la impermeabilidad del depósito. Sin embargo, esta solución presenta dos inconvenientes muy importantes relevantes en esta situación. Estos son la necesidad de mantenimiento, el cual es difícil de solventar ya que la bomba necesita funcionar veinte horas a día, dejando muy poco tiempo para efectuar un mantenimiento con cierta asiduidad. También hay que tener en cuenta que estas películas plásticas no están diseñadas para soportar unas condiciones climáticas tan áridas como las existentes en Zimbabue.

La otra opción viable para instalar recubrimientos en el depósito es usar un recubrimiento de hormigón armado previo acondicionamiento del terreno como se ha realizado en otras instalaciones similares en la zona (Civeira, 2020). Esto solventa los inconvenientes que presenta la película plástica, ya que es mucho más duradero que esta película y no necesita de mantenimientos.

Además, pese a ser una instalación más cara, la ausencia de mantenimiento y la vida útil, mucho mayor que en el caso anterior, asegura que el coste a medio y largo plazo sea mucho menor.

### **3.3 DISTRIBUCIÓN**

La distribución del depósito al sistema de riego se llevará a cabo a partir de una bomba, la cual debe abastecer al sistema de riego garantizando un caudal de setenta y siete metros cúbicos por hora. Además, se deben dimensionar unas tuberías de extracción de la piscina y de conexión con la línea primaria.

Por consiguiente, se dividirá este apartado en la elección de la bomba y selección de las tuberías en este orden. Esto se debe a que las especificaciones de la bomba impondrán un diámetro que posteriormente se podrá modificar con ciertos enlaces en caso de que las características y el comportamiento lo necesiten.

#### **3.3.1 BOMBA**

Para la selección de la bomba se impondrá el caudal para seleccionarla. También se buscará que el consumo eléctrico no sea muy elevado y que esta fabricada con materiales robustos con capacidad de aguantar las condiciones climáticas de Zimbabwe. También se buscará que el funcionamiento de esta bomba sea sencillo para facilitar la labor docente del centro y que sus reparaciones sean sencillas.

Cumpliendo estas características se encuentra la bomba ARA-3050 (Ilustración 3-2). Esta bomba trifásica garantiza un suministro de setenta y ocho metros cúbicos por hora, ligeramente superior a la necesitada, pero asumible por parte de los aspersores ya que la variación por aspersor es mínima y están trabajando ligeramente por encima de su límite inferior de caudal, a una potencia inferior a cuatro kilowatios, valor asumible para el suministro de placas solares.



*Ilustración 3-2: Bomba de la serie ARA*

Además, esta bomba es capaz de asumir las pérdidas primarias y secundarias generadas por el sistema de suministro holgadamente, puesto que la presión máxima de trabajo es de 6 atmósferas, por lo que podrá vencer también las generadas por las pérdidas que quedan por calcular y será adecuada para el trabajo.

También cabe destacar que es capaz de vencer las pérdidas a la entrada, ya que es capaz de succionar hasta seis metros de altura a la entrada, siendo la profundidad del depósito de dos metros y medio.

También hay que destacar que la entrada y la salida de la bomba tienen el mismo diámetro, que a su vez coincide con el de la línea primaria, setenta y cinco milímetros. Esto facilitará el conexionado de la tubería primaria con la bomba ya que no será necesario el uso de ningún tipo de enlace.

### 3.3.2 TUBERÍAS

El diámetro de las tuberías vendrá impuesto por la bomba. Este será setenta y cinco milímetros. Además, seguiremos con el uso de PVC ya que, como se menciona en el apartado de la línea primaria, es un material óptimo para transportar un caudal tan elevado de agua a esa presión.

Esta tubería también se usará para la tubería de succión de agua, junto con la instalación de dos codos, como se puede ver en el Anexo I-Plano 5. Las dimensiones de esta tuberías, también descritas cualitativamente en este apartado serán una tubería de subida de dos metros y medio, dos codos de noventa grados y una par de tuberías más de un metro para garantizar la correcta succión y salvar la distancia entre la bomba y el borde del depósito.

La línea que conecta la bomba con la línea primaria tendrá una longitud de 200 metros (anexo I- Plano 6 y no presentará pérdidas secundarias. Y dada la potencia de la bomba, se puede suponer que tendrá fuerza más que suficiente para superarlas por la baja velocidad a la que se desplaza el fluido por las tuberías y el desnivel favorable a la bomba.

Teniendo estos datos en cuenta, las condiciones de funcionamiento de la tubería de conexión con la línea primaria quedan recogidos en la siguiente tabla (tabla 3-3), la cual recoge el valor del caudal, la velocidad y la presión.

| Parámetro                  | Valor |
|----------------------------|-------|
| Caudal ( $\frac{m^3}{h}$ ) | 78    |
| Velocidad (m/s)            | 4.904 |
| Presión (bar)              | ≈3.27 |

*Tabla 3-3: Parámetros de la línea de conexión de la bomba con la línea primaria*

Como se puede observar en la tabla 3-3, la línea de conexión entre la bomba y la línea primaria trabajará con valores ligeramente superiores a los de la línea primaria. Esta pequeña variación no justifica volver a realizar el cálculo de pérdidas en el sistema de riego ya que las variaciones serán ínfimas.

## Capítulo 4. PRESUPUESTO

En este capítulo se abordará el análisis económico de los materiales necesarios para llevar este proyecto a cabo. Estos datos serán orientativos ya que la construcción de este sistema se llevará a cabo en Zimbabue y no se disponen de datos exactos de precios. Por ello, se usarán los precios de España, que se suponen iguales o incluso superiores, por lo que en todo caso este presupuesto será más restrictivo que la realidad.

Se abordarán los presupuestos del sistema de riego y del sistema de extracción de forma independiente por sí, por motivos económicos de la ONG no se pudieran implementar ambas fases de forma simultánea.

El coste de ambos proyectos se muestra en la tabla 4-1. El desglose de la misma se analizará en los siguientes apartados donde el coste de los diversos materiales como tuberías, bombas o codos está más explicado con sus diferentes tamaños.

| Sistema               | Coste (€) |
|-----------------------|-----------|
| Sistema de Riego      | 4312,67   |
| Sistema de Extracción | 11600,91  |
| Total                 | 15913,58  |

*Tabla 4-1: Presupuesto general*

No se incluirá el precio de la mano de obra debido a la gran variación que puede existir debido a los convenios de trabajo con la ONG, rappels, trabajo de voluntarios y demás componentes del precio. Además, este valor será muy pequeño en comparación con el coste de los materiales.

El coste de transporte de materiales tampoco se incluirá ya que se realiza mediante el uso de vehículos de la ONG y el coste de gasolina es prácticamente despreciable. Finalmente, los

materiales para realizar el mantenimiento del proyecto también se adquirirán en Zimbabue, por lo que se mantendrán los precios. También se muestra un análisis económico de los beneficios que puede reportar este sistema de cara a garantizar el auto-abastecimiento del proyecto.

#### ***4.1 PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE RIEGO***

El sistema de riego es la base de este proyecto, ya que se podrían buscar fuentes alternativas de obtención de agua ya existentes, pero la implantación de este sistema es imprescindible para poder llevar a cabo el cultivo de maíz.

En primer lugar, el sistema deberá contar con los aspersores para poder regar adecuadamente la zona a cultivar. Para ello, como ya se mencionó en su momento, se usarán aspersores circulares VYR-70 (Ilustración 2-2). De estos serán necesarios 110 para poder satisfacer la demanda hídrica de las plantas.

Posteriormente, para las líneas de distribución se usarán tuberías de polietileno (Ilustración 4-1) de  $\frac{3}{4}$  de pulgada. Estas deberán utilizarse para bajar el agua de los aspersores al suelo y para conectar con las válvulas. Para poder llevar el sistema a cabo y con ayuda del Anexo I-Plano 2, se calcula que se necesitarán 2794 metros de esta tubería, por lo que se presupuestarán 2800 metros por si hubiera algún problema.



*Ilustración 4-1: Tubería de polietileno*

También habrá que contar con los 110 soportes para situar los aspersores, con sus correspondientes bridas, y la conexión entre la línea de subida y la línea de distribución. Para estas conexiones se utilizarán 88 conexiones en T (Ilustración 4-2) y 22 codos de 90° situados al final de las líneas de distribución.



*Ilustración 4-2: Conexión en T*

También se deberán situar 22 válvulas manuales (Ilustración 4-3) que permitan cerrar el flujo en las líneas de distribución para realizar cualquier tipo de reparación en estas tuberías. A continuación de estas, se situarán unos enlaces reductores (Ilustración 4-4).



*Ilustración 4-3: Válvula manual e Ilustración 4-4: Enlace reductor*

Tras estos, se instalarán tuberías de polietileno (Ilustración 4-1) de 25 milímetros que compondrán las líneas de unión. Estas, según el Anexo I-Plano 2, constarán de 343 metros, por lo que se presupuestarán 350 metros.

Además, se necesitarán 8 codos de 90° y 18 conexiones en T (Ilustración 4-2) para enlazar correctamente con las líneas de distribución y las líneas secundarias. A la salida de esta línea en la conexión en T, se deberá situar un enlace reductor (Ilustración 4-4).

Tras esto, será necesario instalar las líneas secundarias, las cuales consisten en 368 metros de tuberías de polietileno (Ilustración 4-1), presupuestando 375 metros, 3 conexiones en T (Ilustración 4-2), 2 codos de 90° y dos válvulas reguladoras de presión.

Finalmente se situarán enlaces reductores (Ilustración 4-4) para conectar la línea primaria de PVC con la línea secundaria. Todos estos datos quedan resumidos en la Tabla 4-2. Para los datos de precios de elementos distintos de los aspersores, se ha usado el repositorio de precios de Bricodepôt, empresa dedicada a la venta de este material.

| Componente              | Precio unitario | Cantidad | Metros | Precio total |
|-------------------------|-----------------|----------|--------|--------------|
| Aspersores VYR-70       | 14,95           | 110      | n.a.   | 1644,5       |
| Tubería PE 3/4 in (25m) | 7,95            | 112      | 2800   | 890,4        |
| Tubería PE 25 mm (25m)  | 10,75           | 14       | 350    | 150,5        |
| Tubería PE 40 mm (25m)  | 19,95           | 15       | 375    | 299,25       |
| Codos de 90 3/4 in      | 1,1             | 22       | n.a.   | 24,2         |
| Codos de 90 25mm        | 1,35            | 8        | n.a.   | 10,8         |
| Codos de 90 40mm        | 1,85            | 2        | n.a.   | 3,7          |
| Conexiones T 3/4 in     | 1,77            | 88       | n.a.   | 155,76       |
| Conexiones T 25 mm      | 1,97            | 18       | n.a.   | 35,46        |
| Conexiones T 40 mm      | 2,91            | 3        | n.a.   | 8,73         |
| Válvulas manuales       | 4,95            | 22       | n.a.   | 108,9        |
| Válvulas de Presión     | 16,95           | 2        | n.a.   | 33,9         |
| Enlace 3/4-25           | 1,45            | 22       | n.a.   | 31,9         |
| Enlace 25-32            | 2,03            | 4        | n.a.   | 8,12         |
| Enlace 32-40            | 2,54            | 4        | n.a.   | 10,16        |
| Enlace 40-50            | 3,01            | 1        | n.a.   | 3,01         |
| Enlace 50-60            | 3,5             | 1        | n.a.   | 3,5          |
| Enlace 60-75            | 3,98            | 1        | n.a.   | 3,98         |
| Soporte de 3m           | 7,95            | 110      | n.a.   | 874,5        |
| Bridas (100 Uds.)       | 1,9             | 6        | n.a.   | 11,4         |
| Total                   |                 |          |        | 4312,67      |

Tabla 4-2: Presupuesto para el sistema de Riego

Como se puede ver es un presupuesto modesto, encarecido por los aspersores, los cuales son el componente más importante y en el que no se debería escatimar en gastos.

## 4.2 PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

El sistema de extracción se prevé superior dado el gran coste que aporta la bomba de superficie (Ilustración 3-2). No obstante, también hay que tener en cuenta otros materiales necesarios para llevar a cabo este sistema.

En primer lugar, la extracción del pozo consta de varios elementos a tener en cuenta. En primer lugar, la bomba sumergible MSW-SPP48-220 (Ilustración 3-1). Esta bomba tiene que ir anclada a una tubería de PVC (Ilustración 4-5) de 90 metros.



*Ilustración 4-5: Tuberías de PVC*

Además de estos 90 metros, habrá que añadir los 60 metros, y los dos codos (Ilustración 4-6) enlazados que permitan el giro de la tubería hasta el depósito, como se puede ver en el Anexo I-Plano 4.



*Ilustración 4-6: Codo de 90° de PVC*

Posteriormente, el depósito necesitará de un recubrimiento de hormigón armado, como ya se comentó en el punto anterior. Este necesitará ocupar toda la superficie del depósito, la cual será 200 metros cuadrados.

Finalmente, se necesitarán, aparte de la bomba de superficie, 200 metros de tubería de PVC de 75 milímetros, como se ve en el Anexo I-Plano 6, y otros 4.5 metros con dos codos de 90° de PVC para succionar el agua del depósito.

Con todos estos datos y componentes, se puede desarrollar el siguiente presupuesto (Tabla 4-3) para el sistema de extracción. Se usarán también precios de Bricodepôt para completar la tabla con los componentes sin citas, ya que este distribuidor puede facilitar todos los componentes.

| Componente                        | Precio unitario | Cantidad | Metros | Precio total |
|-----------------------------------|-----------------|----------|--------|--------------|
| Bomba sumergible MSW-SPP48-220    | 309             | 1        | n.a.   | 309          |
| Tubería de PVC 96 mm (3m)         | 5,39            | 50       | 150    | 269,5        |
| Codo 90 PVC 96 mm                 | 1,1             | 1        | n.a.   | 1,1          |
| Codo 45 PVC 96mm                  | 1,1             | 1        | n.a.   | 1,1          |
| Bomba ARA-3050                    | 9769            | 1        | n.a.   | 9769         |
| Tubería PVC 75mm (3m)             | 5,99            | 69       | 207    | 413,31       |
| Codo 90 PVC 75 mm                 | 0,95            | 2        | n.a.   | 1,9          |
| Hormigón armado (m <sup>2</sup> ) | 4,18            | 200      | n.a.   | 836          |
| Total                             |                 |          |        | 11600,91     |

Tabla 4-3: Presupuesto del sistema de extracción

Como era de esperar, este presupuesto es mucho mayor al del sistema de riego pese a tener menos componentes. Eso se debe, como ya se ha comentado al gran coste que aporta la bomba de superficie.

### 4.3 PROJECT ZIMBABWE

Project Zimbabwe (Ilustración 4-7) es una iniciativa vinculada a la ONG Child Future Africa (Ilustración 4-8) desde el curso académico 2016-2017. Esta ONG se encarga de financiar el proyecto que se aborda en este trabajo de fin de grado como muchos otros de la Universidad Pontificia de Comillas ICAI, organizados por esta asociación.



*Ilustración 4-7: Logo Project Zimbabwe e Ilustración 4-8: Logo ONG Child Future Africa*

No obstante, la iniciativa también obtiene fondos para ayudar a esta ONG dentro del ámbito de España y el ambiente universitario en el que se mueven sus integrantes. Para poder conseguir esto se han realizado varias campañas como la venta de camisetas y pulseras (Ilustración 4-9) o un torneo benéfico de pádel (Ilustración 4-10).



*Ilustración 4-9: Campaña de venta de camisetas y pulseras e Ilustración 4-10: Cartel del torneo de pádel*

Otros años se han llevado a cabo un sinfín de iniciativas más como cócteles solidarios, pero este año, debido a las restricciones del covid-19, no se han podido llevar a cabo. También se esperaba que los encargados de este tipo de proyectos pudieran viajar a Zimbabue a llevar a cabo sus proyectos. Sin embargo, debido a diversos temas derivados de la pandemia, no va a ser posible.

#### **4.4 RENTABILIDAD**

El análisis de rentabilidad del proyecto dependerá de las ganancias producidas por la producción de maíz frente a las posibles pérdidas por mantenimiento.

Para hallar los beneficios, calcularemos el número de plantas de las que constará el plano y calcularemos así la producción media de maíz. Habrá que tener en cuenta que el cultivo de maíz puede asegurar dos cosechas anuales. Posteriormente, se multiplicará la producción de maíz por el precio de maíz en Zimbabwe.

Para calcular el número de plantas de maíz en el campo, tendremos que ver cuantas líneas separadas 80 centímetros se pueden colocar en el campo con una longitud de 400 metros. En nuestro caso se podrán situar 500 plantas.

En el caso del ancho del campo, que son 100 metros, se situarán plantas separadas 50 centímetros, por lo que contaremos con 200 plantas por línea. Esto da un número de 100 000 plantas para el campo a cultivar.

Estas 100 000 plantas de maíz producirán una media 5 mazorcas cada una, pesando una media de 300 gramos cada una (Infoagro System, s.f.). Esto asegura una producción media de medio millón de mazorcas y 150 toneladas de maíz por cosecha. El precio del maíz en España está alrededor de 180 euros la tonelada de maíz. Por eso, se esperan unos beneficios de 27 000 euros por cosecha.

No obstante, debido a que el precio del maíz en Zimbabwe puede ser menor, supondremos para el cálculo de rentabilidad unos beneficios de 20 000 euros por cosecha. Esto es más que suficiente para garantizar el mantenimiento del sistema e incluso su renovación completa anual.



## **Capítulo 5. IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA Y**

### **MANTENIMIENTO**

En este capítulo se pretende plantear los pasos necesarios para instalar este proyecto en la zona prevista en Dotito. También se espera concretar las necesidades de mantenimiento que pueden necesitarse en este sistema a corto, medio y largo plazo.

#### **5.1 *INSTALACIÓN***

La instalación de este proyecto se puede dividir en dos partes principales. La instalación del sistema de riego y la construcción del depósito para almacenar el agua y garantizar el abastecimiento del sistema de riego.

##### **5.1.1 SISTEMA DE RIEGO**

Para este apartado, será necesario, en primer lugar, habrá que limpiar el campo de rastrojos y desbrozar la vegetación ya existente. También es recomendable realizar surcos con las separaciones entre líneas (80 centímetros). Esta técnica mejorará la calidad del suelo. También sería recomendable realizar un análisis químico del terreno y realizar un tratamiento en caso de que sea pertinente.

Posteriormente, habría que instalar los soportes de los aspersores. Para ello es recomendable hacer pequeños y profundos orificios en la tierra ya que necesitan 50 centímetros de profundidad para asegurar un correcto funcionamiento.

Finalmente se procederá a la instalación de las tuberías del sistema. En el caso de la bomba sumergida, dado que no emplea soportes, es recomendable realizar el conexionado de tuberías antes de insertar la bomba y usar las tuberías a modo de guía.

### **5.1.2 CONSTRUCCIÓN DEL DEPÓSITO**

La construcción del depósito deberá hacerse de acuerdo con el Anexo I-Plano 5 y Plano 6. En estos se muestra la posición y las dimensiones finales del depósito. Para poder llevarlo a cabo, en primer lugar, igual que en el apartado anterior, se deberá despejar la zona de rastrojos y desbrozar toda la zona.

Posteriormente, se deberá realizar una excavación en la zona con las dimensiones del depósito sobredimensionadas para poder situar el hormigón armado. Empezando por el fondo del depósito, y una vez fraguado el hormigón, situar un encofrado en las paredes para garantizar el correcto posicionamiento de las paredes. El encofrado se retirará una vez haya fraguado el hormigón.

## **5.2 *MANTENIMIENTO***

El mantenimiento de la instalación consistirá en una continua comprobación visual del correcto funcionamiento y la ausencia de fugas en el sistema y en las tuberías, con el fin de replazar los componentes que fallen.

No obstante, hay algunos defectos que serán más difíciles de detectar. Estos consistirán, dada la naturaleza de la fuente de suministro de agua y el diseño del depósito, en obstrucciones por acumulación de cal o sales minerales presentes en los acuíferos y ocasionadas por la succión de ramas, hojas u otros elementos biológicos.

Los primeros son inevitables dada la naturaleza del agua, para ello, se deberá comprobar mensualmente el estado de las tuberías desmontando secciones para comprobar sus paredes internas y, si es necesario, sustituir las. Esto se hará cuando los componentes no estén en funcionamiento.

Los segundos son evitables con la colocación de una rejilla a la entrada de la tubería de succión del depósito. Esta deberá ser limpiada semanalmente y sustituida en caso de rotura. Si algún elemento pasara esta rejilla, se podría localizar con los controles rutinarios en busca de calcificación de las tuberías, o visualmente cuando obstruyera un aspersor, el cual deberá ser reemplazado en cuanto se detecte el fallo cerrando la válvula de la línea de distribución en la que se encuentre el problema.

Por último, el depósito necesitará una simple comprobación visual con cierta asiduidad y, si se encontraran grietas, se aprovecharía a que el depósito estuviera vacío para tapar la grieta con hormigón y se recubriría la zona con una película plástica durante el tiempo de fraguado para poder continuar con el correcto funcionamiento del sistema.



## **Capítulo 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

En este capítulo se explicará como este proyecto ha conseguido la realización de sus objetivos, con alguna pequeña modificación, como la creación del depósito, siempre siguiendo los objetivos de desarrollo sostenible. También se hablará de cómo se podrá mejorar y actualizar este proyecto en el futuro.

### **6.1 OBJETIVOS CONSEGUIDOS**

A continuación se enumeran los objetivos que se han resuelto en este proyecto. Estos se pueden separar en constructivos, como diseños, y socioeconómicos, como la evaluación económica del proyecto.

En primer lugar, el diseño de sistema de distribución de agua que consta sistema de canalizaciones que permite, con los aspersores pertinentes, abarcar toda la superficie disponible para realizar los cultivos. También se han tenido en cuenta las necesidades hídricas y de espacio del cultivo que se plantará

Posteriormente se ha procedido al diseño de sistema de bombeo de agua. Se ha dimensionado un sistema de bombeo que permite abastecer el sistema de riego a partir del acuífero. Frente a la idea inicial de usar una sola bomba, diversas complicaciones ya explicadas han llevado al diseño de un depósito y la instalación de una segunda bomba.

Durante todo el proyecto se llevó a cabo un estudio de viabilidad de materiales en la zona debido a las condiciones extremas a las que se verá sometida toda la instalación. Por esto se han seleccionado los componentes que hay en este escrito para lleva el proyecto a cabo.

En los objetivos socioeconómicos se ha realizado una evaluación económica del proyecto y un estudio de desarrollo sostenible y autónomo. Para el primero se ha realizado un estudio

de los costes derivados de la construcción del sistema debido a la escasez de recursos con la que se cuenta. También se espera fomentar la economía local al suplirse de los materiales de construcción en Zimbabwe.

Finalmente, se ha llevado a cabo un estudio de desarrollo sostenible y autónomo. Esto se ha materializado como un estudio de la contribución del proyecto de cara a un desarrollo sostenible así como la capacidad de autogestión del proyecto. La parte de desarrollo sostenible se explica con más detalles a continuación.

## **6.2 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE**

Los objetivos de desarrollo sostenible u ODS (Ilustración 6-1) son una serie de objetivos establecido por la organización de naciones para garantizar la prosperidad de todos al tiempo que se erradica la pobreza y se protege el planeta (O.N.U., s.f.),



*Ilustración 6-1: Objetivos de desarrollo sostenible*

De acuerdo a los objetivos descritos por la O.N.U. y recogidos en la ilustración 6-1, este proyecto se alinea con los siguientes objetivos:

Fin de la pobreza (ODS 1): Con este proyecto se espera ayudar a que personas con recursos limitados puedan cursar unos estudios que les permitan tener un trabajo digno. Además, como ya se ha comentado, apoya a la activación de la economía, no solo con trabajadores cualificados, si no que invirtiendo en comercios locales.

Hambre cero (ODS 2): Este proyecto aspira a favorecer el crecimiento de la agricultura de forma indirecta y así reducir la escasez de alimentos. También hay que tener en cuenta que se producirán 150 toneladas de maíz por cosecha, lo cual también ayudará a reducir el hambre en la zona de Dotito.

Educación de calidad (ODS 4): Al estar vinculado a un centro de formación profesional, este es el objetivo de desarrollo sostenible que más se alinea con el proyecto, ya que se espera que el centro genere anualmente agricultores cualificados.

Trabajo decente y crecimiento económico (ODS 8): Como ya se ha comentado anteriormente, de forma indirecta, este proyecto se plantea como fin último fomentar la agricultura y la economía de Zimbabue.

Reducción de las desigualdades (ODS 10): Como se ha mencionado el punto anterior, se plantea un crecimiento económico y consecuentemente una reducción en las desigualdades entre países. Esto también se verá acrecentado con la existencia de aportaciones de capital de otros países.

Producción y consumos responsables (ODS 12): Con el crecimiento de la agricultura se plantea que las comunidades de Zimbabue puedan ser capaces de autoabastecerse de forma responsable. También se espera que el propio centro de formación profesional se encargue de consumir responsablemente los recursos de los que disponen.

### **6.3 TRABAJOS FUTUROS**

De cara al futuro, se pueden implementar varias mejoras para optimizar las condiciones de funcionamiento del sistema completo. Esto además, será fácilmente instalable debido a la alta rentabilidad del proyecto.

En primer lugar, se podrán cambiar las bombas por otras más eficientes cuando acabe su vida útil. Cuando se produzca un reemplazo, se puede analizar el expandir la zona de cultivo siguiendo el esquema del Anexo I-Plano 3 para 2 hectáreas. Añadir estos nuevos módulos requerirán un aumento de caudal de  $38\,500 \frac{l}{h}$ , y una necesidad de aumentar la capacidad del depósito, para que pueda almacenar  $100\text{ m}^3$  más.

De cara al depósito, se podría aumentar la capacidad de recolección de agua de lluvia del depósito situando unas rampas en las zonas aledañas. Esto reducirá la demanda del acuífero en la temporada de lluvias ya que se podrá aprovechar mejor el agua de los fenómenos naturales.

Finalmente, se podría instalar un filtro de osmosis inversa o de intercambio iónico para reducir las sales provenientes del acuífero y alargar la vida útil de las tuberías. No obstante, habría que hacer un análisis de costes para ver si el desgaste de las tuberías justifica el uso del filtro

## Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] International Labour Organization (2019). *Country Profiles* [Dataset]. Recuperado el 10/02/2021 de <https://ilostat.ilo.org/data/country-profiles/>
- [2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *La agricultura de conservación contribuye a la recuperación económica de Zimbabwe*. Recuperado el 10/02/2021 de <http://www.fao.org/in-action/conservation-agriculture-contributes-to-zimbabwe-economic-recovery/es/>
- [3] Fundación Aquae. *Tipos de sistema de riego y sus características*. Recuperado el 10/02/2021 de <https://www.fundacionaquae.org/tipos-de-riego/>
- [4] Weather Spark (2017). *El clima promedio en Harare* [Ilustración 1-1]. Recuperado el 14/02/2021 de <https://es.weatherspark.com/y/96831/Clima-promedio-en-Harare-Zimbabwe-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [5] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Zimbabwe* <sup>[115]</sup>. Recuperado el 15/02/2021 de <http://www.fao.org/3/y4632s/y4632s2u.htm#:~:text=Los%20principales%20productos%20agr%C3%ADcolas%20de,la%20leche%20y%20la%20le%C3%B1a.>
- [6] Ndlovu, R (2020). *Zimbabwe Quietly Lifts Ban on Genetically Modified Corn Imports in Bid to Avert Famine*. Bloomberg. Recuperado el 14/02/2021 de <https://time.com/5775168/zimbabwe-genetically-modified-corn-famine/>
- [7] Palacios Briceño, T. J. E. (2018). *EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO POR GOTEO EN EL PROYECTO AGRÍCOLA HUARMEY, DISTRITO Y PROVINCIA DE HUARMEY – ÁNCASH* (Trabajo Fin de Grado).
- [8] Huamaní Juárez, A. M. y Ruiz Salazar, C. A. (2016). *PROPUESTA DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL EN SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN – CASO DE ESTUDIO: UCUSCANCHA – SHULLAPAMARCA – CALZADA, DISTRITO CHICLA* (Trabajo Fin de Grado). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- [9] Infoagro Systems, S.L. *El cultivo del maíz*. Infoagro Systems, S.L. recuperado el 25/05/2021 de <https://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.htm>

- [10] Arteaga, G. Legarda, L. Puentes, G (2001). *El sistema de riego por exudación, una alternativa viable para la producción de cultivos de clima cálido en regiones secas*. Pasto. Universidad de Nariño.
- [11] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Centroamérica (2005). Producción artesanal de semilla de maíz para el pequeño agricultor. Technologies and practices for small agricultural producers. 6497
- [12] Amazon. Difusor de Riego Hunter PSU-02-17A. [Ilustración 2-1] Recuperado el 31/05/2021 de [https://www.amazon.es/Hunter-PSU-02-17A-Difusor-alcance-metros/dp/B01GOGPEMM/ref=asc\\_df\\_B01GOGPEMM/?tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=301309063334&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=17758776709730941576&hvppone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=9061040&hvtargid=pla-423679365300&psc=1](https://www.amazon.es/Hunter-PSU-02-17A-Difusor-alcance-metros/dp/B01GOGPEMM/ref=asc_df_B01GOGPEMM/?tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=301309063334&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=17758776709730941576&hvppone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=9061040&hvtargid=pla-423679365300&psc=1)
- [13] VYR S.A. Aspersor Circular VYR-70. [Ilustración 2-2]. Recuperado el 03/06/2021 de <https://www.vyrsa.com/es/catalogo/productos/vyr-70/>
- [14] Diagramasweb.com. *Diagrama de Moody*. [Ilustración 2-8]. Recuperado el 08/06/2021 de <https://diagramaweb.com/moody/>
- [15] Academia Ingnova. *Como dimensionar una red hidráulica*. Curso de Hidráulica Básica. Recuperado el 08/06/2021 de [https://academia.ingnova.es/recursos/apuntes\\_demo/hidraulica\\_basica.pdf](https://academia.ingnova.es/recursos/apuntes_demo/hidraulica_basica.pdf)
- [16] Fesmex (2020). *Perdidas por fricción en tuberías*. Recuperado el 09/06/2021 de <http://www.fesmex.com.mx/article/perdidas-por-friccion-en-tuberias>
- [17] Amazon. Bomba de agua sumergible MSW-SPP48-220. [Ilustración 3-1]. MSW Motor technics. Recuperado el 10/06/2021 de [https://www.amazon.es/MSW-Bomba-sumergible-MSW-SPP48-220-caudal/dp/B07DPM5GVT/ref=sr\\_1\\_38?dchild=1&keywords=bomba+de+agua+sumergibles+para+pozo&qid=1617362420&sr=8-38](https://www.amazon.es/MSW-Bomba-sumergible-MSW-SPP48-220-caudal/dp/B07DPM5GVT/ref=sr_1_38?dchild=1&keywords=bomba+de+agua+sumergibles+para+pozo&qid=1617362420&sr=8-38)
- [18] Mundoriego. Tubo PVC encolar ø90mm 6 atmósferas [Ilustración 4-6]. Recuperado el 11/06/2021 de <https://mundoriego.es/producto/tubo-pvc-encolar-90mm-6-atmosferas/>

- [19] Plasticbages Industrial S.L. *Características técnicas del PVC*. Fabricación y comercialización de plásticos técnicos. Recuperado el 11/06/2021 de <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>
- [20] Civeira, W. (2020). *DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE PISCIFACTORÍA PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN KAZAI, ZIMBABUE* (Trabajo fin de grado). Universidad Pontificia de Comillas ICAI. Madrid.
- [21] Aiguapres. *Catálogo de bombas de agua* [Ilustración 3-2]. Recuperado el 11/06/2021 de <https://www.aiguapres.es/catalogo-bombas-agua.pdf>
- [22] Bricodepôt. *ROLLO DE POLIETILENO Ø 20 MM AGRÍCOLA* [Ilustración 4-1]. Recuperado el 12/06/2021 de <https://www.bricodepot.es/rollo-polietileno-o-20-mm-agricola>
- [23] Bricodepôt. *TE 20 MM* [Ilustración 4-2]. Recuperado el 12/06/2021 de <https://www.bricodepot.es/te-500477>
- [24] Bricodepôt. *VALVULA MANUAL 3/4" HEMBRA/HEMBRA CLABER* [Ilustración 4-3]. Recuperado el 12/06/2021 de <https://www.bricodepot.es/valvula-manual-3-4-hembra-hembra-claber>
- [25] Bricodepôt. *REDUCCION 32 MM - 25 MM* [Ilustración 4-4]. Recuperado el 12/06/2021 de <https://www.bricodepot.es/enlace-reducido-o-32-25>
- [26] Bauhaus. *Codo PVC M-H* [Ilustración 4-6]. Recuperado el 12/06/2021 de <https://www.bauhaus.es/accesorios-pvc/codo-pvc-m-h/p/25239092>
- [27] O.N.U. (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Recuperado el 13/06/2021 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [28] O.N.U. (2015). *Se debe acelerar la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible* [Ilustración 6-1]. Recuperado el 13/06/2021 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2017/07/se-debe-acelerar-la-implementacion-de-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [29] La huertina de Toni. *Cultivo Del Maíz Como sembrar En La Huerta* [Ilustración 1-2]. Recuperado el 13/06/2021 de <https://www.lahuertinadetoni.es/cultivo-del-maiz-como-sembrar-en-la-huerta/>

- [30] Ruiz de Angulo, J. 7 problemas y soluciones del riego por goteo [Ilustración 1-3].  
Recuperado el 13/06/2021 de <https://www.agromatica.es/problemas-riego-por-goteo/>
- [31] Valdivieso, A. ¿Cómo funciona el riego por aspersión? [Ilustración 1-4].  
Recuperado el 13/06/2021 de <https://www.iagua.es/respuestas/como-funciona-riego-aspersion>

## **ANEXO I-PLANOS**

A continuación, se encuentran los 6 planos que he diseñado para poder llevar a cabo el proyecto. Este compendio de planos se divide en los siguientes:

Plano 1: *Soporte de aspersor.*

Página 72

Plano 2: *Esquema del sistema de riego completo.*

Página 73

Plano 3: *Esquema del sistema de riego para dos hectáreas.*

Página 74

Plano 4: *Pozo de extracción de agua del acuífero.*

Página 75

Plano 5: *Depósito de agua.*

Página 76

Plano 6: *Sistemas de extracción y riego.*

Página 77

