



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE SISTEMA DE REGADÍO PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN DOTITO, ZIMBABWE

Autora: Alicia Iparraguirre Vañó

Directora: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Junio de 2020

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**“DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE SISTEMA DE REGADÍO PARA COLEGIO DE
FORMACIÓN PROFESIONAL EN DOTITO, ZIMBABWE”**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2020 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.: Alicia Iparraguirre Vañó

Fecha: 05/07/2020

Autorizada la entrega del proyecto

LA DIRECTORA DEL PROYECTO



Fdo.: Miren Telleria Ajuriaguerra

Fecha: 05/07/2020



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE SISTEMA DE REGADÍO PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN DOTITO, ZIMBABWE

Autora: Alicia Iparraguirre Vañó

Directora: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Junio de 2020

DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE SISTEMA DE REGADÍO PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN DOTITO, ZIMBABWE

Autora: Iparraguirre Vañó, Alicia

Directora: Tellería Ajuriaguerra, Miren

Entidad Colaboradora: Child Future Africa

RESUMEN DEL PROYECTO

Con el presente proyecto se pretende mejorar la situación de vida de los alumnos que acuden a un colegio de formación profesional en Dotito, situado en el país africano de Zimbabwe.

Lejos de escribir el proyecto como si de un mero trámite se tratase, la autora buscaba poder hacer de su Trabajo de Fin de Grado un proyecto que sirviese para algo, aplicando los conocimientos de ingeniería adquiridos durante el grado. No solo resulta de utilidad, sino que brinda una oportunidad a gente que no la ha tenido, con la principal intención de poder conseguir que se mantengan por sí mismos, al margen de las donaciones. Gracias a la colaboración de la Fundación de Ingenieros del ICAI con la ONG Child Future Africa surge el presente proyecto.

La gestión política y las diversas reformas agrarias han hecho que Zimbabwe sufra una carencia de uso de sus recursos. Muchos de los que son propietarios de tierras no tienen los conocimientos para explotarlos, es por ello que, a día de hoy cientos de miles de toneladas de maíz deben ser importadas anualmente al país para cubrir las necesidades alimentarias básicas.

El proyecto en cuestión busca implementar un sistema de regadío para un colegio de formación profesional que cuenta con 6 hectáreas dispuestas para el cultivo. Con la enseñanza impartida en el colegio de formación profesional pueden aumentar sus conocimientos en temas agrícolas, entre otros. Para poder mejorar el aprendizaje, es necesario contar con un sistema de riego que permita enseñar a los alumnos a utilizar las técnicas de regadío en distintas plantaciones. De esta forma, también se conseguirá maximizar la producción, siendo esta viable durante todo el año, lo que generará mayores ingresos que favorezcan la sustentación del colegio.

Para que este proyecto se lleve a cabo de manera satisfactoria, se debe tener en cuentas las limitaciones existentes. Las limitaciones con las que cuenta este proyecto son el presupuesto, el agua y la energía, por ello el uso de cada uno de estos recursos será analizado y reducido al máximo. La simplicidad, la sostenibilidad y el incremento de la vida útil son algunos de los objetivos que también resultan de vital importancia.

A continuación, se expone brevemente el proceso que se ha seguido a lo largo del diseño del proyecto.

En primer lugar, se ha analizado la necesidad de la implantación del proyecto, basándose en la situación afín al contexto de Zimbabwe. Resulta de vital importancia para el proyecto comprender la importancia del mismo, ya que es una razón más para favorecer la búsqueda

de una solución idónea acorde a las circunstancias y para motivar a la implicación de su autora.

Seguidamente, ha sido necesario analizar las condiciones climáticas del lugar, a expensas de posibles variaciones en las condiciones del mismo, se debe cuidar que la solución escogida sea idónea para el lugar en el que se va a implantar. Tras analizar las diferentes alternativas existentes, se opta por diseñar un sistema de riego por goteo.

Aprovechando la toma de agua, brindada por proyectos realizados con anterioridad, se hace uso de la energía potencial con la que cuenta el agua por estar almacenada en tanques elevados. De esta forma se consigue un sistema de riego en el que el agua se distribuye hasta los puntos de riego gracias a la gravedad.

El compromiso de este proyecto no está solo en la realización del mismo, sino que se considera imprescindible que sea duradero. Para conseguir que el proyecto perdure es necesaria la implicación por parte de los locales, más concretamente de los beneficiarios. Para favorecer la implicación se debe facilitar la formación acerca del mantenimiento y del cuidado del sistema. Adquiriendo los materiales necesarios en el lugar donde se lleva a cabo el proyecto no solo se apoya el mercado local, sino que se facilita la disponibilidad de recambios en caso de que fueran necesarios.

Este proyecto se llevará a cabo durante el verano de 2021. En caso de tener más tiempo y contar con un mayor presupuesto, se han planteado ampliaciones posibles.

Una vez se ha concretado la propuesta para el proyecto se analizan las necesidades que existen para llevarlo a cabo.

En primer lugar, son necesarias las iniciativas benéficas llevadas a cabo por los alumnos implicados en este tipo de proyectos para conseguir el presupuesto de los mismos. En este proyecto en concreto la cifra asciende a 21628,51 €, aunque esta cifra se base en el mercado español, que seguramente diste de los precios en Zimbabue.

En segundo lugar, se evalúan los cálculos a realizar y los elementos necesarios para el diseño del sistema. Dada la capacidad de los tanques, la velocidad del llenado y las horas de sol en las que se puede ejecutar la bomba que los llena, se dispone de unos 15 m³ de agua diarios. Las necesidades hídricas para el cultivo de maíz en Zimbabue son de unos 2,5 m³/ha diarios. Con estos recursos de agua es posible abastecer el riego de un terreno de dimensión de hasta 6 hectáreas.

Tras conocer el caudal procedente de cada uno de los grifos se propone la atribución del terreno de tal manera que el Sistema A abastece el riego de 1 hectárea, el Sistema B abastece el riego de 2 hectáreas y Sistema C abastece el riego de 3 hectáreas. De esta forma es posible que todos los terrenos reciban la misma cantidad de agua diaria.

Una vez se ha identificado el objetivo de abastecimiento, se desarrollan los cálculos necesarios para el dimensionamiento de los elementos del proyecto. Para favorecer el equilibrio entre las pérdidas de carga primarias y secundarias se opta por una disposición común en este tipo de sistemas para optimizar las pérdidas hidráulicas generadas por el fluido al ser conducido, se dimensionará teniendo en cuenta que la separación entre los puntos de riego será de 70 cm.

Según el caudal y las velocidades deseadas a lo largo del sistema de riego goteo, se escogen los diámetros óptimos de las tuberías para cada uno de los tramos, demandando así tuberías de diámetros 12 mm, 16 mm, 20 mm y 32 mm. Se detallan los materiales escogidos para todos los tramos de tubería y para todos y cada uno de los elementos que unen las mismas, en este caso PVC y PE. Generalmente, allí donde se encuentran las tuberías de PVC las uniones dispuestas serán del mismo material, al igual que las uniones de PE en las tuberías de PE. Se escogen estos materiales plásticos por su bajo coste y por sus buenas propiedades físicas y químicas, entre las que se encuentra la resistencia a la corrosión.

Tal y como se ha comentado serán necesarias uniones para conexas los diferentes tramos de tubería. Tanto los codos como las tes serán necesarios para cambiar de dirección, teniendo también como función las tes dividir el caudal según necesidad. Así como los tapones para finalizar los tramos. Estos elementos producen altas pérdidas de carga secundaria, es por ello que se colocarán allí donde sean indispensables, sin excederse en el uso de los mismos para evitar pérdidas.

Por cuestión de perduración de la vida útil del sistema serán necesarios filtros de arena a la entrada de este, de tal manera que mediante un pequeño elemento se evitan obturaciones y posibles problemas en la red.

Para mejorar la calidad y asegurar la efectividad del sistema de riego será conveniente implantar un programador analógico que indique el tiempo de regado y la frecuencia de el mismo, de tal manera que se asegure el riego diario. En caso de que este no fuera posible de conseguir o si se diera el caso en que se deba hacer una reparación, se implantarán una serie de válvulas a lo largo del sistema que faciliten este control del caudal.

Para evaluar las presiones y las pérdidas de carga que se dan en el sistema se aplican los conocimientos de Mecánica de Fluidos, con los que es posible evaluar estos valores, así como el régimen del fluido a lo largo del sistema. Encontrándose estos valores dentro de unos rangos comunes, para unos sistemas de gran envergadura como son los presentes, se puede concluir que las decisiones tomadas para el proyecto desde este aspecto son aceptables.

Todo el proceso de diseño ha estado advertido por las circunstancias que se pueden dar una vez se proceda a implantar el proyecto en lugar de destino. Una apropiada consideración del contexto, de la forma de vida y de trabajo de los locales facilita la toma de decisiones ya que es necesario adaptarse a ellas. Se trataba de idear un proyecto acorde a la situación de Zimbabue, no a la de España.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN IRRIGATION SYSTEM FOR A VOCATIONAL SCHOOL IN DOTITO, ZIMBABWE

Author: Iparraguirre Vañó, Alicia

Supervisor: Tellería Ajuriaguerra, Miren

Collaborating Entity: Child Future Africa

ABSTRACT

This project aims to improve the live situation of students attending a vocational school in Dotito, located in the African country of Zimbabwe.

Far from writing the project as a mere formality, the author sought to make her End-of-Grade Project a useful one, applying the engineering knowledge acquired during the degree. Not only is it useful, but it provides an opportunity to people who have not had it, with the main intention of being able to get them to stand on their own feet, regardless of donations. Thanks to the collaboration of the ICAI Engineers' Foundation with the NGO Child Future Africa, the present project was born.

The political management and the different agrarian reforms have made Zimbabwe suffer a lack of use of its resources. Many of those who own land do not have the knowledge to farm the land, which is why, today, hundreds of thousands of tons of corn must be imported annually into the country to cover basic food needs.

The project seeks to implement an irrigation system for a vocational school that has 6 hectares available for cultivation. With the teaching given in the vocational school they can increase their knowledge in agricultural issues, among others. In order to improve learning, it is necessary to have an irrigation system that allows students to learn how to use irrigation techniques in different plantations. In this way, it will also be possible to maximize production, which will be viable throughout the whole year, thus generating greater income to support the school.

For this project to be carried out satisfactorily, the existing limitations must be taken into account. The limitations of this project are the budget, water and energy, so the use of each of these resources will be analyzed and reduced as much as possible. Simplicity, sustainability and increased lifespan, are some of the objectives that are also of vital importance.

The process that has been followed throughout the design of the project is briefly described below.

Firstly, the need for project implementation has been analysed, based on the situation relevant to the Zimbabwean context. It is of vital importance for the project to understand its importance, as it is one more reason to favour the search for an ideal solution according to the circumstances and to motivate the involvement of its author.

Next, it has been necessary to analyze the climatic conditions of the place, at the expense of possible variations in the conditions of the same one, it is necessary to take care that the chosen solution is suitable for the place in which it is going to be implanted. After

analysing the different existing alternatives, the decision is made to design a drip irrigation system.

Taking advantage of the water intake provided by previous projects, the potential energy of the water is available because it is stored in elevated tanks. By this way, an irrigation system is achieved in which the water is distributed to the irrigation points thanks to gravity.

The commitment of this project is not only in the realization of the same, but it is considered essential that it is durable. To ensure that the project lasts, the involvement of the local people, more specifically the beneficiaries, is necessary. In order to encourage involvement, training in the maintenance and care of the system must be provided.

Acquiring the necessary materials in the place where the project is carried out not only supports the local market, but also facilitates the availability of spare parts in case they are needed.

This project will be carried out during the summer of 2021. In case of having more time and having a bigger budget, possible extensions have been considered.

Once the proposal for the project has been specified, the needs that exist to carry it out are analysed.

First of all, the charity initiatives carried out by the students involved in this type of project are necessary to obtain the budget for the project. In this particular project, the figure is 21628.51 €, although this cost is based on the Spanish market, which surely is different from the prices in Zimbabwe.

Secondly, the calculations to be made and the elements necessary for the design of the system are evaluated. Given the capacity of the tanks, the speed for filling them and the hours of sunshine in which the pump that fills them would be running, about 15 m³ of water per day is available. The water requirement for maize cultivation in Zimbabwe is about 2.5 m³/ha per day. With these water resources it is possible to supply the irrigation of a field of up to 6 hectares in size.

After knowing the flow from each of the taps, the allocation of the land is proposed so that System A supplies the irrigation of 1 hectare, System B supplies the irrigation of 2 hectares and System C supplies the irrigation of 3 hectares. In this way it is possible that all the land receives the same amount of water daily.

Once the supply objective has been identified, the necessary calculations are developed for sizing the project elements. In order to favour the balance between primary and secondary pressure losses, a common arrangement is chosen in this type of system to optimise the hydraulic losses generated by the fluid when it is conveyed, and this will be sized taking into account that the separation between the irrigation points will be 70 cm.

Depending on the flow rate and the desired speeds along the drip irrigation system, the optimal pipe diameters are chosen for each of the sections, thus demanding pipes with diameters of 12 mm, 16 mm, 20 mm and 32 mm. The materials chosen for all the pipe sections and for each of the elements joining them, in this case PVC and PE. Generally,

where the PVC pipes are located, the joints arranged will be of the same material, as are the PE joints in the PE pipes. These plastic materials are chosen for their low cost and good physical and chemical properties, including resistance to corrosion.

As mentioned above, joints will be required to connect the different pipe sections. Both elbows and tees will be necessary to change direction, with the tees also having the function of dividing the flow as required. As well as the plugs to finish the sections. These elements produce high secondary pressure losses, which is why they will be placed where they are indispensable, without overusing them to avoid extra losses.

For reasons of durability of the system, sand filters will be necessary at the entrance of the system, so that a small element avoids clogging and possible problems in the network.

To improve the quality and ensure the effectiveness of the irrigation system it will be convenient to implement an analogical programmer that indicates the time of irrigation and the frequency of the same one, in such a way that the daily irrigation is assured. If this is not possible or if a repair is necessary, a series of valves will be implanted throughout the system to facilitate this flow control.

To evaluate the pressures and pressure losses that occur in the system, knowledge of Fluid Mechanics is applied, with which it is possible to evaluate these values, as well as the regime of the fluid throughout the system. Since these values are within common ranges, for large systems such as those present, it can be concluded that the decisions made for the project from this aspect are acceptable.

The whole design process has been warned by the circumstances that can occur once the project is about to be implemented in the destination. An appropriate consideration of the context, the way of living and working of the locals, facilitates the decision making process since it is necessary to adapt to them. The aim was to devise a project in line with the situation in Zimbabwe, not the one in Spain.

ÍNDICE DE ILUSTACIONES

Ilustración 1 Ubicación de Dotito en el mapa de Zimbabue. Fuente: Google Maps.....	6
Ilustración 2 Robert Mugabe. Fuente: Diario ABC.....	7
Ilustración 3 Cultivos de riego por gravedad. Fuente: sistemaagricola.com.mx.....	12
Ilustración 4 Velocidad de infiltración según textura. Fuente: Portalfruticola.com.....	12
Ilustración 5 Riego por aspersión móvil. Fuente: Ministerio de agricultura.....	13
Ilustración 6 Riego subterráneo en cultivo de maíz Fuente: Azud.....	14
Ilustración 7 Riego por goteo. Fuente: agrohuerto.com	15
Ilustración 8 Elementos de un sistema de riego por goteo. Fuente: Davis and Shirliff	16
Ilustración 9 Esquema de la instalación. Fuente: suelosolar.com	26
Ilustración 10 Esquema de la instalación previa para la toma de agua. Fuente: Matías Llorente.....	27
Ilustración 11 Distribución de cultivos de producto. Fuente: Propia	30
Ilustración 12 Disposición de tuberías. Fuente: Propia	31
Ilustración 13 Distribución de caudal por terreno. Fuente: Propia.....	32
Ilustración 14 Elección de tuberías. Fuente: Leroy Merlin	34
Ilustración 15 Codo de PVC. Fuente: Bricomart.es	40
Ilustración 16 Cono de reducción de PVC. Fuente: mundoriego.es.....	40
Ilustración 17 Te de PVC. Fuente: bricomart.es	41
Ilustración 18 Conector inicial de PE. Fuente: talvit.co.il.....	41
Ilustración 19 Tapa final de PE. Fuente: Tuberiassoler.cat.....	42
Ilustración 20 Tapa final de PVC. Fuente: Abcbricoten.com.....	42
Ilustración 21 Gotero de caudal fijo de PE. Fuente: manomano.es.....	43
Ilustración 22 Gotero regulable de PE. Fuente: tuverano.com.....	43
Ilustración 23 Gotero compensante de PE. Fuente: tuverano.com.....	43
Ilustración 24 Micro aspersor de PE. Fuente: solucionjardin.com.....	44
Ilustración 25 Válvula manual de PVC. Fuente: mundoriego.es	45
Ilustración 26 Diferentes modelos de reguladores de presión. Fuente: iagua.es.....	45
Ilustración 27 Programador de riego analógico. Fuente: lo-mejor.com	46
Ilustración 28 Filtro de malla. Fuente: ingemecanica.com.....	47
Ilustración 29 Diferentes texturas del suelo. Fuente: iagua.es	48
Ilustración 30 Diagrama de Moody. Fuente:Mecánica de fluidos ICAI	51

Ilustración 31 Coeficiente k de pérdida secundaria en válvulas. Fuente: Mecánica de fluidos ICAI.....	52
Ilustración 32 Coeficiente k de pérdida secundaria en codos y tes. Fuente: Recursos de la asignatura de Mecánica de fluidos ICAI	53
Ilustración 33 Coeficiente k de pérdida secundaria en contracciones y ensanchamientos. Fuente: Recursos de la asignatura de Mecánica de fluidos ICAI	53
Ilustración 34 Puntos de interés para el estudio del sistema A. Fuente: Propia	55
Ilustración 35 Puntos de interés para el estudio del sistema B. Fuente: Propia	59
Ilustración 36 Puntos de interés para el estudio del sistema C. Fuente: Propia	62
Ilustración 37 Desbroce con hoz. Fuente: artesaniadeasturias.es	72
Ilustración 38 Obturaciones por raíces. Fuente: Azud	74
Ilustración 39 Tubería cercana al suelo. Fuente: agromatic.es	75
Ilustración 40 Tuberías afectadas por la cal. Fuente: dimasplus.com	77
Ilustración 41 Logo de Project Zimbabwe. Fuente: Propia	83
Ilustración 42 Merchandising de camisetas y pulseras. Fuente: Propia	83
Ilustración 43 Cartel de fiesta benéfica. Fuente: Propia.....	84
Ilustración 44 Cartel de torneo de fútbol benéfico. Fuente: Propia.....	84
Ilustración 45 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: Naciones Unidas	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales condiciones ambientales en Zimbabue. Fuente: Propia.....	9
Tabla 2 Clasificación según precipitaciones. Fuente: Roofwater Harvesting	10
Tabla 3 Necesidad de riego según clima. Fuente: Instituto mexicano de tecnología del agua	10
Tabla 4 Programación para la cumplimentación del diseño. Fuente: Propia.	20
Tabla 5 Velocidades a la salida de los grifos. Fuente: Propia	28
Tabla 6 Caudal y tiempo de riego según grifo. Fuente: Propia	28
Tabla 7 Propiedades del agua. Fuente: Propia.....	33
Tabla 8 Diámetros normalizados para tuberías de PVC. Fuente: desatrancosdnp.com	35
Tabla 9 Tubos de polietileno (PE) de baja densidad para ramales de riego por goteo. Fuente: abcbricoten.wordpress.com	35
Tabla 10 Diámetros de tuberías en el sistema derivado del grifo A. Fuente: Propia	36

Tabla 11 Longitudes de tuberías de diámetros normalizados para el sistema A. Fuente: Propia.....	37
Tabla 12 Diámetros de tuberías en el sistema derivado del grifo B. Fuente: Propia.....	38
Tabla 13 Longitudes de tuberías de diámetros normalizados para el sistema B. Fuente: Propia.....	38
Tabla 14 Diámetros de tuberías en el sistema derivado del grifo C. Fuente: Propia.....	39
Tabla 15 Longitudes de tuberías de diámetros normalizados para el sistema C. Fuente: Propia.....	39
Tabla 16 Tiempo de regado diario a introducir en el programador. Fuente: Propia	47
Tabla 17 Régimen del flujo según el número de Reynolds. Fuente: Propia	50
Tabla 18 Límites de presión en la red de tuberías. Fuente: iagua.es	55
Tabla 19 Valores conocidos para el cálculo de Bernoulli en el sistema A. Fuente: Propia.	56
Tabla 20 Propiedades de las tuberías entre los puntos 2 y 4. Fuente: Propia	56
Tabla 21 Pérdidas de carga entre los puntos 2 y 4. Fuente: Propia	57
Tabla 22 Propiedades de las tuberías entre los puntos 1 y 2. Fuente: Propia.....	58
Tabla 23 Pérdidas de carga entre los puntos 1 y 2. Fuente: Propia	58
Tabla 24 Valores conocidos para el cálculo de Bernoulli en el sistema B. Fuente: Propia.	59
Tabla 25 Propiedades de las tuberías entre los puntos 2 y 6. Fuente: Propia	60
Tabla 26 Pérdidas de carga entre los puntos 2 y 6. Fuente: Propia	60
Tabla 27 Propiedades de las tuberías entre los puntos 1 y 2. Fuente: Propia.....	61
Tabla 28 Pérdidas de carga entre los puntos 1 y 2. Fuente: Propia	61
Tabla 29 Valores conocidos para el cálculo de Bernoulli en el sistema C. Fuente: Propia.	63
Tabla 30 Propiedades de las tuberías entre los puntos 2 y 8. Fuente: Propia.....	63
Tabla 31 Pérdidas de carga entre los puntos 2 y 8. Fuente: Propia	63
Tabla 32 Propiedades de las tuberías entre los puntos 1 y 2. Fuente: Propia.....	64
Tabla 33 Pérdidas de carga entre los puntos 1 y 2. Fuente: Propia	65
Tabla 34 Pérdidas de carga en los distintos sistemas. Fuente: Propia.....	66
Tabla 35 Presupuesto general del proyecto. Fuente: Propia.....	86

ESTE PROYECTO CONTIENE LOS SIGUIENTE DOCUMENTOS:

DOCUMENTO I: MEMORIA

1. MEMORIA	pág.1 a 21
2. CÁLCULOS	pág.22 a 67
3. PLAN DE EJECUCIÓN Y MANTENIMIENTO	pág.68 a 77
4. SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA	pág.78 a 87
5. ANEXOS	pág.88 a 95

DOCUMENTO I:MEMORIA

CAPÍTULO I: MEMORIA

CONTENIDO DEL CAPÍTULO I: MEMORIA

<i>1. Introducción.....</i>	<i>6</i>
1.1 Contexto histórico de Zimbabwe	7
1.2 Condiciones ambientales en Zimbabwe	8
<i>2. Estado de la cuestión</i>	<i>10</i>
2.1 Valoración de alternativas	11
2.1.1 Riego por gravedad.....	11
2.1.2 Riego por aspersión.....	13
2.1.3 Riego subterráneo	14
2.2 Solución escogida.....	15
<i>3. Motivación</i>	<i>16</i>
<i>4. Objetivos del Proyecto.....</i>	<i>17</i>
<i>5. Recursos a emplear.....</i>	<i>18</i>
<i>6. Ampliaciones posibles.....</i>	<i>18</i>
<i>7. Metodología de trabajo</i>	<i>19</i>

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se desarrolla gracias a la colaboración de ICAI con la ONG Child Future Africa. Es así como los alumnos de ICAI, quienes han adquirido sus conocimientos de ingeniería durante el grado, pueden llevar a cabo su Trabajo de Fin de Grado con carácter solidario y mejorar las condiciones de vida de una pequeña aldea en el distrito de Dotito, en Zimbabwe.



Ilustración 1 Ubicación de Dotito en el mapa de Zimbabwe. Fuente: Google Maps

El proyecto que se presenta consiste en el diseño, para su posterior implantación, de un sistema de regadío que proporcione la distribución del agua necesaria para cultivar en un terreno cuya extensión llega a las 6 hectáreas. El sistema de riego se destinará a un colegio de formación profesional de reciente construcción, cuya función es aportar a los alumnos conocimientos de agricultura y ganadería. Gracias a la implantación de este sistema de riego los alumnos del colegio de formación conocerán la técnica de regadío. Otra de las razones por las que resulta de vital importancia la implantación del sistema, es que el colegio maximizará la producción anual, ya que se podrá cultivar durante todo el año y en grandes cantidades, generando así un ingreso que sustente el colegio.

Se trata de un proyecto de ayuda humanitaria que permite el desarrollo sostenible de su comunidad. Dirigido con la intención de ayudar a los más desfavorecidos, a través de la ingeniería, mejorando el nivel de vida de éstos mismos colectivos. Todo ello siendo cautos en cuanto al uso de los recursos y el presupuesto disponible.

Para favorecer la implicación, la sostenibilidad y la durabilidad del proyecto se solicitará el apoyo de los locales para la obtención de los recursos y el desarrollo del mismo. De esta forma se debe asegurar que la complejidad no es un problema para ellos y por lo tanto se abogará por la sencillez.

1.1 CONTEXTO HISTÓRICO DE ZIMBABUE

Para comprender la necesidad de la implantación de este proyecto resulta de vital importancia conocer las cuestiones históricas relacionadas. De esta forma es posible comprender en cierto modo la actitud de los locales y su forma de vida, sobre todo en lo relacionado con el cultivo.

En 1923 Zimbabwe formaba parte de la colonia británica conocida como Rhodesia del Sur. En ella únicamente los hombres blancos tenían el derecho a voto y por tanto la mayor parte de la población no podía decidir acerca del gobierno. Años más tarde se desató una guerra civil entre los guerrilleros negros y el gobierno minoritario blanco con motivo de la independencia africana que finalizó en 1980. Se celebraron unas elecciones generales en las que se proclamó el inicio del mandato del líder nacionalista negro Robert Mugabe, que pertenecía al partido ZANU y quien estuvo al frente durante 37 años.



Ilustración 2 Robert Mugabe. Fuente: Diario ABC

Mugabe, quien en un principio fue considerado un héroe, fue desprestigiándose con el paso de los años. Durante su mandato el país entró en crisis económica, en la que hubo un incremento de la inflación y de paro, situación que empeoró con una manipulación en las elecciones y una represión de la oposición.

Para revitalizar su fama, Mugabe introdujo una ley de expolio de tierras a los descendientes de antiguos colonizadores blancos, las tierras serían adquiridas por parte del gobierno sin compensación alguna para los propietarios y entregadas a ciudadanos negros sin tierras. A partir de una ley arbitraria de desigualdad trataron de paliar la injusticia vivida en el pasado. La consecuencia de ello fue que quienes tenían los conocimientos para cultivar las tierras ya no disponían de ellas, sin embargo, los nuevos propietarios carecían de experiencia y por ello actualmente existen numerosos terrenos sin explotar, por la falta de conocimientos para hacerlo. El resultado de esto es una economía poco operativa en la que el incremento del desempleo y el de los precios se mantienen.

Ante la situación, en 2017 el ejército se rebeló en contra de Mugabe tras la destitución del vicepresidente Emmerson. Tras la rebelión, Mugabe a sus 93 años, renunció a la presidencia, comenzando así el mandato de Emmerson Mnangagwa. A pesar del cambio de gobierno las condiciones acerca de las tierras y su explotación se mantiene en su precariedad. Resulta preocupante que el país que antiguamente se denominaba “El granero de África” ahora demande la importación de cientos de miles de toneladas de maíz para cubrir las necesidades alimenticias de su población, es por ello que el colegio de formación debe solucionar en la medida de lo posible esta situación tan precaria.

1.2 CONDICIONES AMBIENTALES EN ZIMBABUE

Zimbabue es un país ubicado al sur del continente africano sin salida al mar, con un área aproximada de 390.760 km² y cuenta con unas condiciones ambientales que se muestran en la Tabla 1. De todo el terreno disponible el 1% se encuentra limítrofe al agua y únicamente el 10,9% se puede utilizar para el cultivo.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media Anual
HUMEDAD REL. [%]	72,5	72,4	72,8	66,4	58,9	58,2	56,1	49	43,5	48,1	59,4	72	60,8
NUBOSIDAD [% tiempo]	74	66	47	25	10	7	6	7	10	24	49	70	33
PRECIPITACIONES [mm]	190	165	95	35	7	1	1	1	5	35	85	170	66
SOL [h]	13,2	13	12,4	11,8	11,5	11	11,3	11,5	11,8	12,5	12,8	13,2	12,2
TEMPERATURA [°C]	26/16	26/16	26/15	25/13	24/9	22/7	22/7	24/9	28/12	29/15	28/16	26/16	25,5/12,6
VIENTO [km/h]	11,3	11,4	12	12	11,7	12,5	13,3	14,5	16,5	16,7	14,6	12,2	13,2

Tabla 1 Principales condiciones ambientales en Zimbabwe. Fuente: Propia

A pesar de encontrarse en una zona tropical, el clima de Zimbabwe resulta moderado por su altitud. La diversidad de su clima durante el año distingue entre las tres principales épocas que se dan:

- Verano: Desde noviembre hasta marzo. Se define como la estación cálida y húmeda, se encuentran altas temperaturas que superan los 30 grados, así como lluvia.
- Invierno: Desde abril hasta agosto. Son frescos y secos, tras la temporada de lluvias veraniegas que le precede.
- Estación cálida y seca: Desde septiembre hasta octubre. Los niveles de agua resultan más bajos y el clima es templado, no hay momentos de excesivo calor o frío.

En función de los regímenes de precipitación y de las estaciones podría caracterizarse como un clima semi-árido.

Clima	Precipitación media anual (mm)	Meses húmedos al año	Rendimiento diario medio en épocas húmedas (litro/persona/día)	Rendimiento diario medio anual (litro/persona/día)	Ejemplo
Árido	200	2	15	2,5	Pakistán
Semi-árido	400	4	15	5	Zimbabwe
Lluvias en verano	800	4	25	10	Ecuador
Viento Monzón y humedad costera	1000	6	25	12,5	Mozambique
Ecuatorial	1500	9	25	18,5	Nigeria
Grandes precipitaciones todos los meses	2000	12	25	25	Brasil
Gran precipitación estacional	>2500	7	>50	>30	Sierra Leona

Tabla 2 Clasificación según precipitaciones. Fuente: Roofwater Harvesting

Conocidas las condiciones ambientales medias durante el año en el país y en función de las precipitaciones, se puede estimar que el carácter de la implantación de un sistema de riego según su clima es necesario.

Clima	Precipitación (mm)	Necesidad de riego
Árido	<400	Indispensable
Semi-árido	400-600	Necesario
Semi-húmedo	600-1500	Conveniente
Húmedo	>1500	Innecesario

Tabla 3 Necesidad de riego según clima. Fuente: Instituto mexicano de tecnología del agua

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El proyecto en cuestión busca implementar un sistema de regadío para el colegio de formación profesional ubicado en el distrito de Kazai, Mt. Darwin. La reciente construcción de este centro supone un gran avance para las comunidades cercanas. Con la enseñanza impartida en el colegio de formación profesional pueden aumentar sus conocimientos en temas agrícolas, entre otros. Para poder mejorar el aprendizaje, es necesario contar con un sistema de riego que permita enseñar a los alumnos a utilizar técnicas de regadío en distintas plantaciones. De esta forma también se conseguirá maximizar la producción, siendo esta viable durante todo el año, lo que creará mayores ingresos que favorezcan la sustentación del colegio. Para que este proyecto se lleve a cabo de manera satisfactoria, se debe contar con las limitaciones existentes afines al contexto presentado previamente:

- Escasez de agua, principalmente en épocas secas. Gracias a los proyectos realizados en años pasados, más concretamente en 2019, el suministro de agua proviene de un pozo y se hace llegar mediante una red de distribución. Una de las principales razones por las que se construyeron fue para una posterior implantación

del sistema de riego. Sin embargo, eso no supone que se deba abusar de los recursos ya que son escasos, por ello se debe tomar conciencia a la hora de escoger una solución.

- La mano de obra con la que se cuenta es del tipo local, ya que favorece su implicación y posterior colaboración en el mismo, sin embargo, brinda un personal menos cualificado al que podría darse en condiciones distintas.
- El material debe ser comprado allí, lo que favorece el comercio local y supone una existencia de recambios. En caso de ser necesaria la reparación en un futuro, los locales podrán proveerse de éstos. A pesar de que esto favorece la sostenibilidad del proyecto, limita la variedad de los materiales con la que normalmente se podría trabajar y se debe tener en cuenta en la toma de decisiones.
- Debe tratarse de un sistema de mantenimiento sencillo, unido con la existencia de recambios, la vida útil debe ser lo suficiente como para que la necesidad de mantenimiento sea algo excepcional y no común.

Con las presentes limitaciones se debe implementar un sistema de regadío durante el verano de 2021. Situado en los terrenos disponibles para el colegio de formación profesional que suponen un total de 6 Ha.

2.1 VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS

Un sistema de riego se define como aquel procedimiento que permite una distribución eficiente del agua sobre la superficie. Actualmente existen distintos tipos de riego que facilitan la actividad del agricultor, de manera que pueda compensar el déficit de precipitaciones. En pos de tomar una buena decisión, es necesario evaluar estos distintos tipos de sistemas de riego.

2.1.1 RIEGO POR GRAVEDAD

Este sistema de riego distribuye el agua en la superficie a través de canales o surcos que se encuentran en ésta y que están dispuestos a lo largo del área de cultivo. Para llevar a cabo este tipo de riego es necesario contar con un embalse de gran envergadura. En dicho

estanque se acumula el agua y se dirige a los puntos de riego, donde una vez discurrida la fuerza de gravedad se encarga de dirigirla a la superficie sembrada.



Ilustración 3 Cultivos de riego por gravedad. Fuente: sistemaagricola.com.mx

Al implantar un sistema de riego por gravedad es necesario conocer la capacidad de infiltración del suelo, siendo más rápida en suelos arenosos y más lenta en los arcillosos, dependiendo así del terreno como muestra la Ilustración 4. Se conoce que la textura del terreno es franco-arenosa, aunque cabe esperar que ésta no sea uniforme, lo cual resulta ser un inconveniente para implantar esta técnica de regadío.

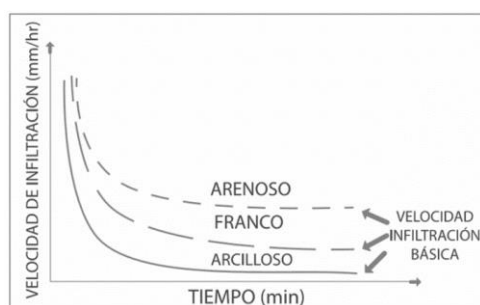


Ilustración 4 Velocidad de infiltración según textura. Fuente: Portalfruticola.com

Por otro lado, se debe detener el flujo de agua tan pronto como se alcance el punto de saturación, ya que se podría producir una inundación como se muestra en la Ilustración 3. Los recursos necesarios para evitar dicha inundación serían un sistema de bloqueo y una revisión constante del nivel de saturación, así como revisiones periódicas del estado del terreno, lo cual se aleja de la simplicidad y sostenibilidad requeridas. Además, no es

conveniente utilizar esta técnica en terrenos donde hay desnivel, lo cual resulta difícil de evaluar y es muy probable que ocurra a la hora de implantarlo.

Dada la simplicidad de este sistema, en cuestión de infraestructura y requerimientos energéticos resulta ser de los más económicos. Sin embargo, supone una gran demanda de agua, que en épocas cálidas puede incurrir en grandes pérdidas por evaporación debido a la estanqueidad del agua y la temperatura que hace que ésta se evapore. No solo por una cuestión de practicidad, sino también de conciencia debemos optimizar los recursos, en este caso el agua que resulta un bien escaso.

2.1.2 RIEGO POR ASPERSIÓN

Este sistema de riego se basa en hacer llegar el agua a los terrenos mediante aspersores que humedecen la superficie de forma similar a como lo hace la lluvia. Para simularlo están compuestos por varias tuberías, conectadas a boquillas giratorias cuyos radios de aspersión están calculado para no dejar espacios sin regar. Estos aspersores pueden ser fijos, móviles o autopropulsados.

En el caso de usar la aspersión el viento puede ser limitante, sin embargo, no es problema en terrenos donde éstos no superan los 15 km/h, como es Zimbabue. Además, el tipo de la boquilla determina el tamaño de la gota, siendo las más pequeñas vulnerables a desviarse o evaporarse. Estos son algunos de los factores que deben considerarse además de la presión de trabajo, el caudal etc. En función de ellos se debería elegir el tipo de aspersor y así garantizar la eficiencia del riego.



Ilustración 5 Riego por aspersión móvil. Fuente: Ministerio de agricultura

Si se tratase de automatizar quizás sería conveniente esta técnica de riego, pero supondría un coste elevado, necesidad de mano de obra cualificada, una instalación compleja y en caso de ser móviles, unos motores eléctricos cuya función podría resultar más útil en otros proyectos.

2.1.3 RIEGO SUBTERRÁNEO

Esta técnica de riego se caracteriza, como su propio nombre indica, por aportar el agua por debajo de la superficie del suelo. El caudal que se demanda para esta técnica suele ser bajo, similar al del riego por goteo, así como las bajas presiones que se encuentran. Así pues, genera riegos pequeños y de alta frecuencia, de forma radicular. Sin estar expuesto a la radiación solar mejora la vida útil de las tuberías.



Ilustración 6 Riego subterráneo en cultivo de maíz. Fuente: Azud

Siendo una técnica más utilizada por motivos estéticos y para poder hacer uso del terreno mientras se riegan, no resulta coincidir con lo que se espera del presente proyecto. Resulta ser un sistema conveniente para evitar las pérdidas por evaporación, pérdidas que dado el lugar donde se encuentra y el clima pueden ser frecuentes. Sin embargo, al estar bajo tierra resultaría difícil encontrar un fallo en caso de que lo hubiere, ya que habría que desenterrar el sistema de tuberías hasta encontrarlo. Además, tiene gran necesidad de revisión del sistema para evitar las posibles obturaciones o entrada de raíces. Comúnmente se controlan los posibles fallos a través de medidores de presión y caudal, para este proyecto resultan

costosos y de difícil manejo, dada la cualificación del personal local encargado del mantenimiento futuro.

2.2 SOLUCIÓN ESCOGIDA

Una vez concluido el estudio de las posibles técnicas, en aras a la consecución de un proyecto sostenible, económico y eficiente se decide que el riego más apropiado es el riego por goteo. Contrastando con el resto de técnicas, el riego por goteo disminuye notablemente el gasto de agua, haciendo uso de ella de manera más eficiente. Este ahorro se debe a que el agua se aplica únicamente en la hilera donde se encuentra sembrado el cultivo, a ello se une que las pérdidas por evaporación se compensan con el mantenimiento de la humedad, gracias a que la infiltración va en todas las direcciones.



Ilustración 7 Riego por goteo. Fuente: agrohuerto.com

No sólo por el ahorro, sino que también se adapta a las condiciones previamente presentadas, resulta ser un riego apropiado para zonas áridas y los materiales más comunes para las redes de tuberías son polietileno (PE) y el policloruro de vinilo (PVC), fáciles de conseguir y de bajo coste.

En este tipo de sistema se hace uso de la energía potencial que brindaba el agua por encontrarse en los tanques elevados, siendo ésta la única requerida. Ya que el riego por goteo no demanda altas presiones o velocidades y con las presentes es suficiente, la necesidad de una fuente de energía es nula, favoreciendo así la continuidad del suministro

sin dependencia eléctrica. Dada la necesidad de caudales bajos y presiones relativamente bajas, se aplicarán pequeños volúmenes de agua de manera periódica que se introducirán posiblemente en un programador.

A partir del caudal disponible en la toma de agua correspondiente, proveniente de un proyecto realizado con anterioridad se mostrará el estudio del caudal. En función de él se hará una distribución del terreno disponible para asegurar que el sistema cubre las necesidades hídricas de los cultivos. De esta forma se conocerá el producto que se cultivará en cada terreno, la distancia entre los puntos de riego y la toma de agua encargada de satisfacer su riego.

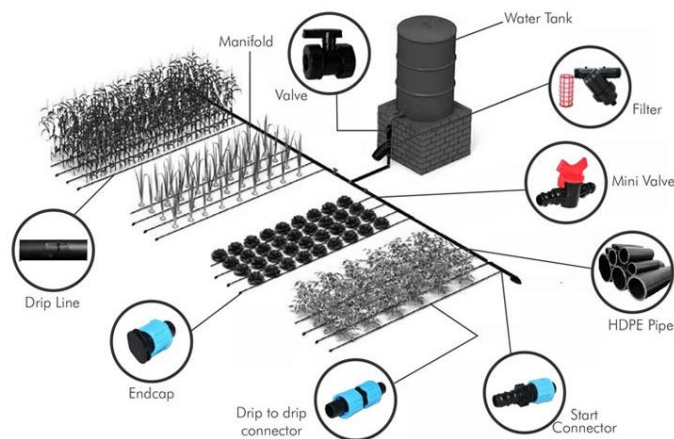


Ilustración 8 Elementos de un sistema de riego por goteo. Fuente: Davis and Shirliff

Una vez realizado este estudio se evaluará la red de tuberías, el material, las dimensiones, todos sus componentes y las pérdidas que se producen en ella.

3. MOTIVACIÓN

La principal motivación de este proyecto es poner en práctica los conocimientos de ingeniería adquiridos durante el grado para ayudar a quienes lo necesitan. Sin resultar un trabajo excesivamente complejo o innovador, se trata de un proyecto que cuenta con la motivación de llevarse a cabo en la realidad con un fin solidario. Como presenta el

contexto, es necesaria la realización del proyecto para mejorar la educación que recibirán los alumnos en el colegio de formación en los temas relacionados con el cultivo. Además, gracias a la implantación del sistema de riego y la posibilidad de abarcar un mayor terreno con él, como se comentaba los excedentes de cultivo resultarán un beneficio, ya que mediante la venta de los mismos el colegio generará ingresos que lo sustenten y que permitan una futura ampliación y mejora.

Lejos de escribir el proyecto como si de un mero trámite se tratase, la autora buscaba poder hacer de su Trabajo de Fin de Grado un proyecto que sirviese para algo. No solo resulta de utilidad, sino que brinda una oportunidad a gente que no la ha tenido, con la principal intención de poder mantenerse por sí solo. No basta con aportar económicamente, ya que de esta manera no se satisface la prosperidad, es necesario invertir en una iniciativa como esta que permita que los locales desarrollen el sistema y alcancen una independencia, favoreciendo así su propio desarrollo.

4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Con el principal objetivo de garantizar un correcto riego para la plantación del colegio de formación se deben lograr unos objetivos previos. Preservando las expectativas, para poder realizar este proyecto de manera óptima será necesario cumplimentar cronológicamente los siguientes requisitos:

1. Recaudación de la financiación que se estima requerida para el proyecto. Los alumnos que participan en este tipo de proyectos trabajarán en conjunto para recaudar el presupuesto necesario, mediante actos benéficos y donaciones.
2. Se plantearán y llevarán a cabo los cálculos y los elementos necesarios para el diseño de la instalación.
3. Revisión de los materiales disponibles, así como de los recursos, necesarios para la implantación del diseño, en el lugar donde se llevará a cabo.
4. Implantación del sistema de riego durante el verano de 2021

5. RECURSOS A EMPLEAR

En consecución con los objetivos del proyecto, todos los materiales necesarios para implantar el sistema, así como las herramientas de trabajo serán compradas en el lugar de desarrollo del proyecto, en este caso en la capital de Zimbabue, Harare. De esta manera se favorecerán dos objetivos que resultan vitales:

1. Apoyará al comercio local y de esta manera se conseguirá que los máximos beneficiarios del proyecto, cuya inversión es nula, se impliquen en las negociaciones y compras del material.
2. Favorecerá la longevidad del sistema, al ser materiales obtenidos allí, los locales encargados del mantenimiento del sistema no tendrán inconvenientes a la hora de conseguir recambios, ya que en caso de ser necesarios conocerán mejor dónde conseguirlos.

6. AMPLIACIONES POSIBLES

De forma adicional se valora la posibilidad de una ampliación. Dado que este sistema supone la etapa final y continuación de otros proyectos (el pozo, los tanques de almacenamiento), a partir de él resultaría muy complejo realizar un nuevo proyecto. En un proyecto como es este es posible realizar cambios o ampliaciones del mismo, pero no tanto como derivar uno nuevo.

Como se ha comentado, el factor limitante de las dimensiones del proyecto es mayoritariamente el agua, sin embargo, existen diversas alternativas que podrían favorecer una ampliación por pequeña que fuera.

1. En un sistema de riego como es el presente sería posible implantar todos los goteros de forma que sean compensantes y favorecer así el reparto de presión a lo largo del sistema, que de forma natural resulta un tanto desequilibrado.
2. Renovar la red de tuberías de riego por goteo e implantar tubos exudantes. Esta técnica moderna, consiste en implantar en la zona de cultivo unas tuberías de un material textil de poliéster recubierto de una resina porosa. Las propiedades de este material permiten que por los poros se exude el agua, de manera que hay un caudal continuo y uniforme a lo largo de todo el terreno de cultivo. De esta forma, se reduce incluso más el gasto de agua y no se debe cuidar que el producto crezca en el mismo lugar donde se encuentra el gotero, sino que será posible cultivar cercano a cualquier punto de la tubería.

Cualquiera de las opciones presentadas sería factible en caso de contar con un mayor presupuesto. A pesar de ser posible una ampliación, los objetivos de este proyecto se basan en el uso eficiente de los recursos, de tal manera que, siendo suficiente con realizar un proyecto como el presente, no hay necesidad de aumentar la complejidad del mismo.

7. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología que se plantea pretende orientar acerca de la consecución de objetivos en pos de diseñar el proyecto antes de llevarlo a cabo. La propuesta supone una organización de los objetivos y el tiempo transcurrido hasta completarlos, de manera orientativa. El objetivo final consiste en ejecutar el proyecto diseñado en el verano de 2021.

Objetivo	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Familiarización con el proyecto y la técnica a aplicar						
Introducción y desarrollo de la memoria						
Cálculos del sistema y distribución						
Decisión de materiales y técnicas según disponibilidad						
Repaso general						

Tabla 4 Programación para la cumplimentación del diseño. Fuente: Propia.

CAPÍTULO II: CÁLCULOS

CONTENIDO DEL CAPÍTULO II: CÁLCULOS

8. Toma de agua.....	27
9. Control del caudal	28
10. Distribución del terreno de riego	29
11. Transporte de aguas	30
11.1 Red de tuberías	31
11.1.1 Fluido de la instalación.....	32
11.1.2 Material de las tuberías para el sistema de riego	33
11.1.3 El diámetro de las tuberías y la velocidad del fluido	35
11.1.4 Uniones.....	40
11.1.5 Emisores o goteros	42
11.1.6 válvulas.....	44
11.1.7 Reguladores de presión	45
11.1.8 Programadores.....	46
11.1.9 Filtros	47
11.2 Consideraciones agrónomas	48
11.3 Pérdidas de carga por conducción	49
11.3.1 Pérdidas de carga primarias.....	49
11.3.2 Pérdidas de carga secundarias	52
11.3.3 Cálculo de las pérdidas de carga.....	54
12. Compendio de los cálculos	65

En este segundo capítulo correspondiente al primer documento, se presentan los cálculos realizados para evaluar el material necesario, la distribución del sistema y los requerimientos para que éste funcione de manera correcta. Es necesario realizar los cálculos de consumo, caudal, presión y tamaño de todos y cada uno de los elementos que componen el presente proyecto. Este sistema está compuesto por la salida de los grifos y la red de distribución de tuberías. Este proyecto cuenta con que previamente se construyó el pozo, el estanque y una distribución del agua almacenada en dicho estanque hasta unos grifos instalados, dicha información se encuentra recogida en el proyecto realizado por Matías Llorente, del que se recoge parte de la información utilizada en el presente capítulo.

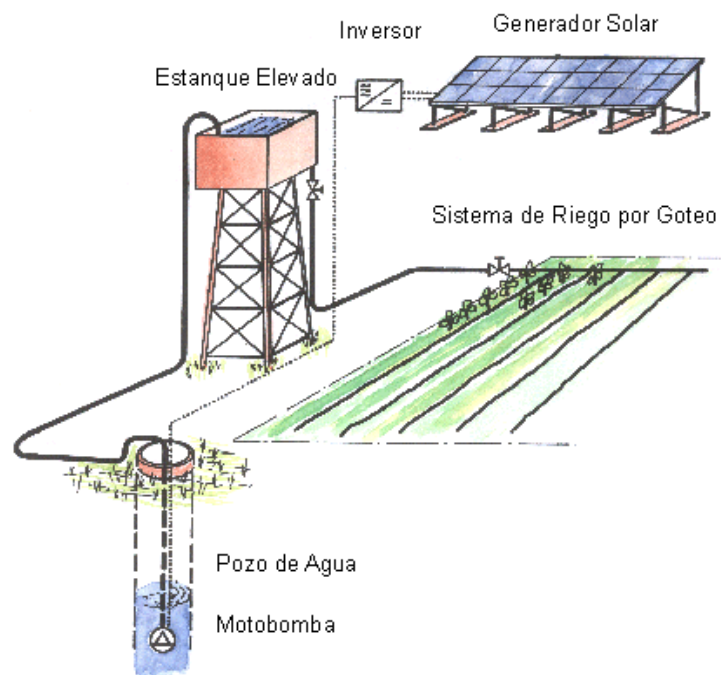


Ilustración 9 Esquema de la instalación. Fuente: suelosolar.com

8. TOMA DE AGUA

Para suministrar de agua del sistema es necesario un lugar donde encontrarla, siendo este proyecto una continuación de los ya realizados, ésta se puede captar de los grifos instalados en las proximidades del colegio de formación profesional.

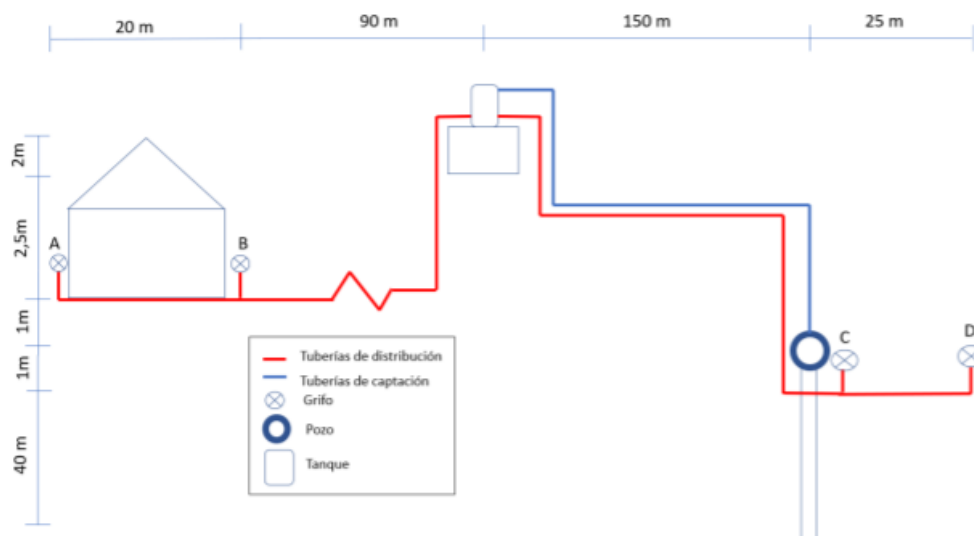


Ilustración 10 Esquema de la instalación previa para la toma de agua. Fuente: Matías Llorente

En vista de la instalación existente, esta misma consta de cuatro grifos con denominación A-D, de los cuales es posible captar el agua para el sistema de riego.

A continuación, se evaluará cuál de ellos es preferible para el sistema, estando todos a disposición del presente proyecto. El objetivo es elegir el o los grifos que garanticen la circulación del agua en el sistema con una presión aceptable. Siendo las tuberías de 32 mm de diámetro y reduciendo el diámetro a la salida de los grifos a 25 mm es posible conseguir una velocidad óptima. Sin embargo, no todas las tuberías recorren la misma distancia y por tanto las pérdidas de carga provocan velocidades distintas a la salida de cada uno de los grifos.

Grifo	Velocidad [m/s]	Caudal[m ³ /s]	Localización
A	0,2	0,000161	Centro de formación
B	0,47	0,000378	Centro de formación
C	0,85	0,000684	Cercano a los terrenos
D	0,25	0,000201	Comunidad

Tabla 5 Velocidades a la salida de los grifos. Fuente: Propia

Tras hacer uso del estudio previamente realizado se puede concluir que la velocidad a la salida de cada uno de los tramos es aproximadamente la que se muestra en la Tabla 5.

9. CONTROL DEL CAUDAL

Es necesario evaluar el caudal demandado para regar el terreno deseado. En España se estima que para una plantación suburbana se necesita un caudal de 20 m³/ha/día Sin embargo en Zimbabue el consumo se reduce. Recurriendo a los locales que conocen el terreno, se estima que la necesidad de caudal desciende a 2,5m³/ha/día, este valor también se puede ver alterado en función del producto que se desee cultivar.

Grifo	Caudal[m ³ /h]	Tiempo necesario de riego diario por hectárea
A	0,579	4 h 12 min
B	1,361	1 h 50 min
C	2,461	1 h
D	0,724	3 h 28 min

Tabla 6 Caudal y tiempo de riego según grifo. Fuente: Propia

La disponibilidad diaria de agua asciende a más de 10.000 litros (10 m^3), ya que contamos con dos tanques de 5.000 litros los cuales se llenan en 8,33 horas, siendo el caudal de llenado $1,2\text{ m}^3/\text{h}$. Se debe valorar regar las parcelas por turnos, de tal manera que se consigue aprovechar que las horas de sol, que alimentan el bombeo que suministra agua al tanque. Este número de horas son superiores a las necesarias para llenar el tanque por completo una vez. Estableciendo unos turnos, se evita secar el pozo y acabar con los recursos del tanque. Tal y como observábamos en la Tabla 1, de media en Zimbabue hay unas 12 horas de sol, si con 8,33 horas ambos tanques se llenan por completo, con las horas adicionales de luz se consigue un volumen equivalente a 3 tanques. Es decir, contamos con casi unos 15.000 litros (15 m^3) diarios para regar. De esta manera, retomando la cifra de regado de $2,5\text{ m}^3/\text{ha}/\text{día}$ es posible abastecer el riego de unas 6 hectáreas.

10. DISTRIBUCIÓN DEL TERRENO DE RIEGO

Haciendo uso de la información recogida en la Tabla 6, el lugar de la toma de agua, el caudal y el tiempo necesario para satisfacer el riego de $2,5\text{ m}^3$ para cada hectárea variarán. Una vez establecido que el terreno en el que se instalará el sistema de riego forma en conjunto unas 6 hectáreas, se dispondrá a realizar la distribución del mismo.

Resulta lógico dividir el terreno de tal manera que cada mitad sea regada con el agua de un solo tanque. Es por ello, que 3 hectáreas deben ser regadas a partir de los grifos A y B que se encuentran abastecidos por uno de los tanques y que el grifo C abastezca a las otras 3 hectáreas. A pesar de contar con un cuarto grifo D, este resultó ser diseñado para facilitar que los locales de una comunidad cercana contaran con recursos de agua. A pesar de ser el colegio el principal beneficiario del agua almacenada en los tanques no es inconveniente dejar el grifo D a disposición de la comunidad, ya que en paralelo se encuentra unido al mismo tanque el grifo C, que cuenta con el mayor caudal que permitiría en 3 horas regar las 3 hectáreas que le corresponden.

En base a las necesidades hídricas del maíz, se conoce que las semillas que distinguen una planta de otra deben distanciarse unos 70 cm, de esta manera, siendo el producto que se cultivará en mayor cantidad, esta separación es la establecida entre los puntos de riego.

Además de maíz se cultivarán otros productos como el tomate y la cebolla. En base a las costumbres alimenticias del lugar y el consumo de cada producto se distribuirá el terreno. Siendo el maíz el principal producto, 4 de las 6 hectáreas serán destinadas a cultivar este producto. El espacio restante se dividirá de tal manera que 1 hectárea sea utilizada para cultivar tomate y la hectárea restante se componga de cebolla.

Color	Producto	Extensión
Amarelo	Maíz	4 ha
Verde	Tomate	1 ha
Negro	Cebolla	1 ha

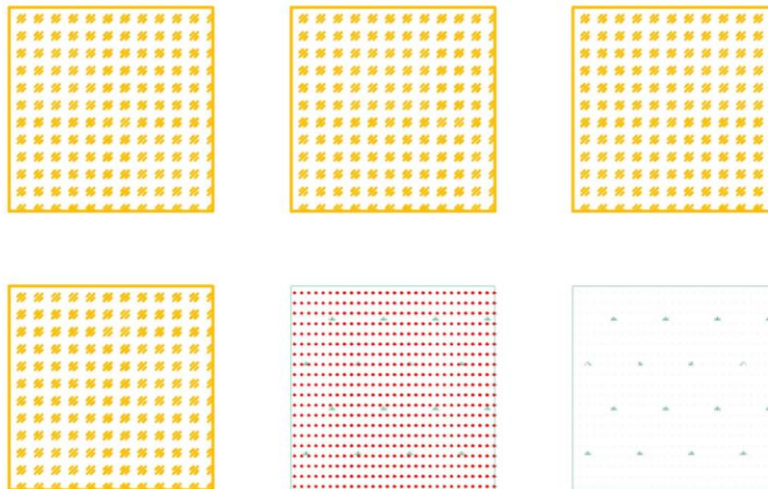


Ilustración 11 Distribución de cultivos de producto. Fuente: Propia

11. TRANSPORTE DE AGUAS

El transporte de aguas consta principalmente de la red de tuberías, a la que se suman elementos necesarios como válvulas, uniones o goteros.

11.1 RED DE TUBERÍAS

Una vez establecida la distribución del sistema de riego, así como la localización de los terrenos donde se cultivará es posible diseñar la orientación y colocación de las tuberías. En base a esta decisión variarán las pérdidas de carga tanto primarias como secundarias, que se estudiarán en este mismo capítulo. Para que las pérdidas sean equitativas es preferible que se reduzca el número de tuberías, así como las bifurcaciones, que alteran la dirección del vector velocidad, lo máximo posible. Al considerar el diseño de las tuberías se debe hacer de manera concienciada con la economía del proyecto. Haciendo un estudio de las principales disposiciones, se escoge la que supone mayor equilibrio entre las pérdidas de carga.

Color	Tubería
Dark Blue	Primaria
Blue	Secundaria
Cyan	De Riego

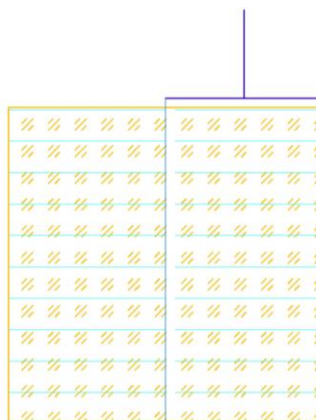


Ilustración 12 Disposición de tuberías. Fuente: Propia

Puesto que hay 3 grifos disponibles y 6 hectáreas, en base al caudal que proporciona cada uno de ellos, mostrado en la Tabla 6, la mejor decisión es que el sistema de tuberías que abastezca a 3 hectáreas de maíz se alimente del grifo C de mayor caudal, mientras que 2 hectáreas (una de maíz y otra de tomate) sean regadas con el agua proporcionada por el

grifo B que cuenta con el segundo mayor caudal y que la última hectárea, en la cual se cultiva cebolla, sea regada a partir del grifo A.

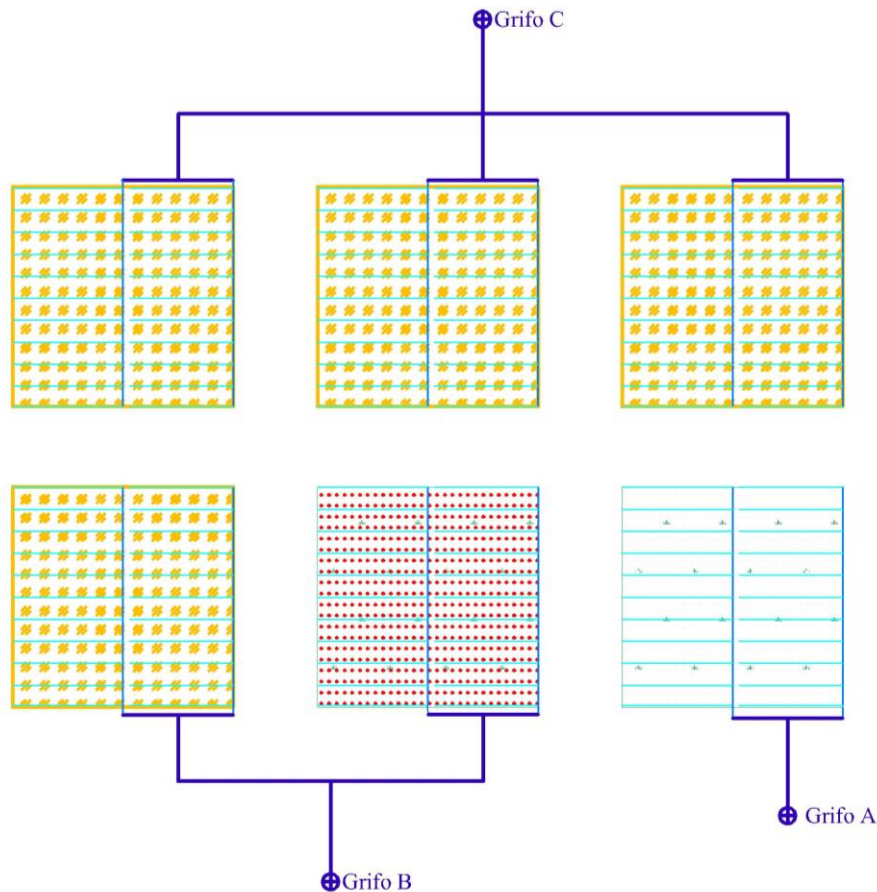


Ilustración 13 Distribución de caudal por terreno. Fuente: Propia

Las variables restantes a tener en cuenta se mostrarán a continuación y la decisión tomada para las mismas.

11.1.1 FLUIDO DE LA INSTALACIÓN

El fluido transportado y depositado por el sistema de riego es el agua limpia que ha sido extraída del pozo previamente y almacenada en los tanques cerrados. Hay cierta regulación acerca de los sólidos en suspensión para este tipo de sistemas, en este caso resulta ser

35mg/L. El objetivo de establecer este valor y mantenerlo es evitar posibles obturaciones en el sistema de tuberías. Para la prevención, se instala el filtro de arena.

Es necesario presentar las principales propiedades del agua, ya que se hará uso de algunas de ellas a lo largo del presente proyecto, principalmente para los cálculos del sistema de riego.

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	998	kg/m ³
Temperatura de trabajo	20	°C
Viscosidad dinámica	0,001	kg/m·s
Viscosidad cinemática	1,002 e-6	m ² /s
Presión de vapor	0,02333	MPa
Capacidad térmica específica	4,172	KJ/Kg·K

Tabla 7 Propiedades del agua. Fuente: Propia

11.1.2 MATERIAL DE LAS TUBERÍAS PARA EL SISTEMA DE RIEGO

En el caso de los materiales utilizados para la red de tuberías se valora principalmente los materiales plásticos, ya que existe una gran variedad y son los más asequibles en relación calidad-precio.

Entre todas las posibilidades que existen dentro de los materiales plásticos se opta por utilizar dos de los materiales más comunes para este tipo de sistemas de riego. Tanto para las líneas principales como para las secundarias se hará uso de tuberías de Policloruro de vinilo-PVC. Por otro lado para las tuberías de riego conviene que el material sea flexible, para poder realizar posibles ajustes o sortear obstáculos y que no resulte tan frágil como el PVC, por ello para las tuberías de riego se escoge el material denominado Polietileno-PE.

Ambos materiales resultan económicos y facilitan la instalación, lo cual favorece los principales objetivos de este proyecto.

Comparativa entre Sistemas de Alimentación de Agua										
Materiales	Agua caliente	Calefacción	Para exterior	Tipo de conexión	Fácil instalación	Características			Coste instalación	Diámetros disponibles
Polibutileno	✓	✓	✗	Empujar	→ → → → → +	Soporta hasta 12 bares	Flexible	No corrosión	→ → → → → +	15, 22
Multicapa compresión	✓	✓	✗	Roscar	→ → → → → +	Soporta hasta 20 bares	Flexible	No corrosión	→ → → → → +	16, 20, 25
PPR	✓	✓	✗	Máquina Termofusión	→ → → → → +	Soporta hasta 20 bares	Rigido	No corrosión	→ → → → → +	20, 25
Cobre	✓	✓	✗	Soldar	→ → → → → +	Soporta hasta 20 bares	Rigido	May resistente	→ → → → → +	12, 15, 18, 22
Polietileno	✗	✗	✓	Roscar	→ → → → → +	Soporta hasta 10 bares	Flexible	No corrosión	→ → → → → +	20, 25, 32
PVC Presión	✗	✗	✗	Encolar	→ → → → → +	Soporta hasta 16 bares	Rigido	No corrosión	→ → → → → +	20, 25, 32, 40, 50

Ilustración 14 Elección de tuberías. Fuente: Leroy Merlin

Además de un mejor precio, las tuberías de plástico presentan unas ventajas de las que las metálicas u otras tuberías carecen.

- Factor de fricción: Ambos materiales presentan un bajo coeficiente de rozamiento, con una rugosidad de 0,0015mm, las pérdidas de carga primaria que se dan a lo largo del sistema resultarán relativamente bajas considerando la dimensión del sistema.
- Ligereza: El polietileno tiene una densidad cercana a 0,94 g/cm³ siendo así uno de los materiales más ligeros.
- Resistencia de presión: Las tuberías fabricadas a partir de estos mismos materiales resisten de manera adecuada a las presiones que se dan en este tipo de sistemas, gracias mayoritariamente a su elevado módulo de elasticidad.
- Facilidad de montaje: La ligereza y la flexibilidad facilita el montaje del sistema. Cabe la posibilidad de curvarlos y hacer ajustes de piezas únicamente mediante el calentamiento. Es común también el uso de manguitos, así como el corte mecánico o el encolado.

11.1.3 EL DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS Y LA VELOCIDAD DEL FLUIDO

Los posibles valores tomados para los diámetros de las tuberías deberán estar normalizados. De esta forma, no se elevará el coste del proyecto de manera innecesaria, a pesar de ser importante la precisión, no es indispensable que se fabrique una tubería específica para el proyecto, además de ser muy complicado de conseguir en el lugar donde se lleva a cabo el proyecto. Generalmente se tomarán mayores diámetros de tuberías para las líneas principales y menores diámetro en las ramificaciones que llegan al cultivo.

En el mismo sistema hay distintos tipos de tubería, por ello se presentan los diámetros normalizados de interés. Teniendo en cuenta que el material PVC se utilizará en tuberías primaria y secundaria, mientras que para los ramales se hará uso del PE como ya se comentó en la elección de materiales, se evalúan los diámetros normalizados disponibles de cada material.

DN (mm)	DI (mm)			
	4 atm	6 atm	10 atm	16 atm
16	-	-	-	13,6
20	-	17,5	-	17
25	22,6	22,6	22	21,2
32	29,6	29,2	28,4	27,2
40	37,2	36,4	36	34

Tabla 8 Diámetros normalizados para tuberías de PVC. Fuente: desatrancosdnp.com

Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Espesor de pared (mm)
12	10	1,0
16	13,6	1,2
18	15,5	1,25
20	17,4	1,3

Tabla 9 Tubos de polietileno (PE) de baja densidad para ramales de riego por goteo. Fuente: abcbricoten.wordpress.com

La elección del diámetro de las tuberías condiciona de manera directa la velocidad a la que se transporta el fluido. Para los cálculos es necesario tomar el diámetro interior ya que es el que está en contacto con el fluido. Estando el caudal fijado en cada grifo, previamente

mostrado en Tabla 6, queda elegir el correspondiente diámetro normalizado en función de la velocidad deseada. Tomando una velocidad óptima se obtendrá un diámetro, de esta manera se escogerá el diámetro normalizado más aproximado y partir de ahí se obtendrá la nueva velocidad.

A partir de las velocidades deseadas y conociendo el caudal, se definirán los diámetros de las tuberías haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

D : Diámetro de la tubería [m]

Q : Caudal [m³/s]

v : velocidad de transporte del fluido [m/s]

11.1.3.1 Tuberías en el sistema de riego propio del grifo A

Puesto que cada grifo aporta un caudal distinto se debe valorar las dimensiones de las tuberías para el sistema correspondiente a cada grifo comenzando por el caso más desfavorable, es decir el de menor caudal, es el caso del grifo A.

Tramo	Caudal [m ³ /s]	Rango velocidad óptimo [m/s]	Velocidad escogida [m/s]	Diámetro [m]	Diámetro normalizado aproximado[mm]	Velocidad de circulación [m/s]
Tubería primaria	0,000161	0,5-2,5	1,2	0,01307	16	1,1083
Tubería secundaria	0,0000805	0,5-2,5	1,2	0,009242	16	0,554151
Tubería de riego	5,75e-7	0,15-1,5	0,15	0,002209	12	0,002209

Tabla 10 Diámetros de tuberías en el sistema derivado del grifo A. Fuente: Propia

De esta forma, trabajando con velocidades bajas se conseguirá que haya mayores presiones, aun sin ser excesivamente altas. Además, tomando velocidades bajas directamente aumenta el diámetro y se reducen pérdidas de carga. Para asegurar este comportamiento, a partir del valor calculado que considera el mínimo se toma el diámetro normalizado inmediatamente superior. A este razonamiento se suma que la denominación de los diámetros nominales hace referencia al valor del diámetro exterior de los mismos. El espesor varía en función de la presión a la que se someta la propia tubería.

Una vez conocidos los diámetros de cada uno de los tramos es posible estimar las longitudes demandadas de cada uno de ellos.

Diámetro normalizado [mm]	Longitud [m]	Material
16	100	PVC
12	14000	PE

Tabla 11 Longitudes de tuberías de diámetros normalizados para el sistema A. Fuente: Propia

11.1.3.2 Tuberías en el sistema de riego propio del grifo B

Haciendo un estudio del mismo modo que se hace para el sistema derivado del grifo A se estudia la distribución del caudal dentro del sistema para poder escoger las tuberías de diámetro óptimo para el sistema B.

Tramo	Caudal [m ³ /s]	Rango velocidad óptimo [m/s]	Velocidad escogida [m/s]	Diámetro [m]	Diámetro normalizado aproximado [mm]	Velocidad de circulación [m/s]
Tubería de bifurcación	0,000378	0,5-2,5	1,2	0,02003	20	1,57154

Tubería primaria	0,000189	0,5-2,5	1,2	0,01416	16	1,30105
Tubería secundaria	0,0000945	0,5-2,5	1,2	0,10013	16	0,650525
Tubería de riego	6,75e-7	0,15-1,5	0,15	0,002394	12	0,008594

Tabla 12 Diámetros de tuberías en el sistema derivado del grifo B. Fuente: Propia

De nuevo se obtienen velocidades bajas, que favorece que las presiones sean mayores y las pérdidas de carga menores. Una vez conocidos los diámetros de cada uno de los tramos se estima el material necesario para este sistema.

Diámetro normalizado [mm]	Longitud [m]	Material
20	50	PVC
16	405	PVC
12	28000	PE

Tabla 13 Longitudes de tuberías de diámetros normalizados para el sistema B. Fuente: Propia

11.1.3.3 Tuberías en el sistema de riego propio del grifo C

Siendo el último de los tres sistemas es el que proporciona mayor caudal y por ello es el que debe regar una mayor superficie de terreno. Para satisfacer el riego de tres veces el espacio del que se encarga el grifo A, el caudal procedente del grifo C debe trifurcarse. Las divisiones realizadas y las elecciones de las tuberías, así como de las velocidades se muestran en la Tabla 14.

CAPÍTULO II: CÁLCULOS

Tramo	Caudal [m ³ /s]	Rango velocidad óptimo [m/s]	Velocidad escogida [m/s]	Diámetro [m]	Diámetro normalizado aproximado [mm]	Velocidad de circulación [m/s]
Tubería de trifurcación	0,000684	0,5-2,5	1,2	0,02694	32	0,993992
Tubería primaria	0,000228	0,5-2,5	1,2	0,015554	16	1,56952
Tubería secundaria	0,000114	0,5-2,5	1	0,012048	16	0,784761
Tubería de riego	8,14e-7	0,15-1,5	0,15	0,002629	12	0,010368

Tabla 14 Diámetros de tuberías en el sistema derivado del grifo C. Fuente: Propia

De acuerdo con los cálculos realizados, se estima que el material necesario para construir el sistema de riego derivado del grifo D será necesario tomar los siguientes materiales.

Diámetro normalizado [mm]	Longitud [m]	Material
32	50	PVC
16	957,5	PVC
12	42000	PE

Tabla 15 Longitudes de tuberías de diámetros normalizados para el sistema C. Fuente: Propia

11.1.4 UNIONES

Existen numerosos tipos de uniones, muchos de ellos serán utilizados para el sistema diseñado. A pesar de introducir pérdidas de carga estos elementos deben estar presentes para conectar los distintos tramos, facilitar el cambio de dirección o incluso el cambio de diámetro.

- Codos: Variando la dirección del flujo 90°, los codos serán necesarios principalmente en tramos de tubería primaria y secundaria, por ello se valoran las existencias de estos elementos fabricados en PVC.



Ilustración 15 Codo de PVC. Fuente: Bricomart.es

Los codos fabricados en PVC se pueden unir mediante el encolado. El procedimiento consiste en lijar el interior del codo y el exterior de la tubería a ensamblar y posteriormente encolar ambas superficies para unirlos.

- Conos de reducción: El cono de reducción es un elemento necesario en este sistema para unir en un tramo tuberías de distinto diámetro. Será necesario el uso de los mismo para la conexión de las tuberías primarias con las de bifurcación y trifurcación ya que en ellas el diámetro es mayor.



Ilustración 16 Cono de reducción de PVC. Fuente: mundoriego.es

El método de unión de los codos fabricados en PVC será, una vez más mediante el método del encolado.

- Tes: Teniendo una función similar a la realizada por parte de los codos, estos elementos son necesarios en las tuberías primarias y secundarias no solo para cambiar la dirección del flujo sino también para dividir el caudal. En al menos un punto del sistema de riego más reducido, correspondiente al grifo A, es necesario dividir el caudal para las tuberías secundarias.



Ilustración 17 Te de PVC. Fuente: bricomart.es

Siendo necesarios en tramos donde únicamente se encuentra tubería de PVC las tes presentes en el sistema estarán fabricadas del mismo material. La unión necesaria para esta conexión sigue siendo el encolado.

- Conectores iniciales: La conexión entre las tuberías secundarias y las tuberías de riego coincide con el tramo en el que el material cambia de PVC a PE, de esta manera será necesario un conector inicial de PE que facilite este cambio de dirección y de material.



Ilustración 18 Conector inicial de PE. Fuente: talvit.co.il

Para acoplar este tipo de unión al sistema será necesario realizar una primera incisión de menor tamaño a la del conector en la tubería de PVC. Alineando la parte más puntiaguda del conector con el agujero realizado se aplicará una presión que introducirá el conector de manera que no haya un retorno. La unión de la tubería de PE al conector resulta muy simple ya que la zona dentada permite que se unan ambas partes sin necesidad de adhesivo, gracias a la presión entre ambos.

- Tapas finales: Las tapas finales de riego serán necesarias, como su propio nombre indica, para finalizar el sistema de riego.



Ilustración 19 Tapa final de PE. Fuente: Tuberiassoler.cat

Principalmente serán en necesarias en cada una de las líneas de las tuberías de riego que se ocupan del mismo. El material seguirá siendo PE al igual que la tubería y la conexión se realizará por medio de enroscado.



Ilustración 20 Tapa final de PVC. Fuente: Abcbricoten.com

En el caso de la tubería secundaria únicamente será necesario una tapa por cada una de ellas, pero en este caso el material será PVC, al igual que la tubería en la que introducirá.

11.1.5 EMISORES O GOTEROS

Existen distintos tipos de goteros en función del caudal, de la colocación en el sistema y de la forma en que suministra el agua. Algunos de estos modelos son:

- Goteros de caudal fijo: En ellos el caudal es constante, siempre proporcionan la misma cantidad de agua, además el método de colocación suele ser el pinchado que resulta muy cómodo de instalar y sustituir. Son los más sencillos y económicos



Ilustración 21 Gotero de caudal fijo de PE. Fuente: manomano.es

- **Goteros regulables:** Este tipo de goteros permiten ajustar el caudal. Se usa comúnmente cuando las líneas contienen plantas distintas con distintas necesidades hídricas, no es el caso del actual sistema, en este caso se cultiva el mismo producto a lo largo de toda la hectárea correspondiente. Su colocación también es sencilla, gracias al pinchado.



Ilustración 22 Gotero regulable de PE. Fuente: tuverano.com

- **Goteros compensantes:** En ellos el caudal se mantiene relativamente constante a lo largo de toda la tubería a pesar de que la presión cambie. Se recomienda su uso para evitar el posible efecto de las pérdidas de carga que provocan que los goteros que se encuentran al final del tubo den menos agua que los que se encuentran al principio. Su colocación también es sencilla, gracias al pinchado.



Ilustración 23 Gotero compensante de PE. Fuente: tuverano.com

- **Micro aspersores:** Estos emisores ofrecen un riego que simula una lluvia muy fina. Su uso es conveniente cuando el producto cultivado crece a lo ancho más que a lo alto.



Ilustración 24 Micro aspersor de PE. Fuente: solucionjardin.com

Entre los existentes resulta que los modelos de caudal fijo y los compensantes son los que se valoran para el presente proyecto. El único inconveniente es que los goteros compensantes, a pesar de ser más efectivos y los óptimos para este sistema por su gran dimensión, son tres veces más caros que los de caudal fijo, de no ser así serían los únicos que se utilizarían. Para hacer un uso óptimo de ellos se situarán los goteros compensantes en las tuberías más cercanas a la tubería primaria y en las posiciones más cercanas a la secundaria, evitando así que evacúe la mayoría del agua en estos puntos y la distribución resulte más equitativa a lo largo del terreno

11.1.6 VÁLVULAS

Las válvulas son elementos que pueden situarse a lo largo de todo el sistema. La necesidad de las válvulas se basa en que allí donde se sitúan es posible cortar y retomar el paso del agua, de tal manera que apenas se introducen pérdidas de carga adicionales si se encuentran en el sistema. De esta manera, en caso de considerar que una parte del terreno estuviera suficientemente regada se podría cortar el suministro en esa misma zona sin afectar al resto. Otra de las funciones que tiene es la seguridad, en caso de que fuera necesario reparar o sustituir algún tramo esto se podría hacer sin necesidad de asumir grandes pérdidas.



Ilustración 25 Válvula manual de PVC. Fuente: mundoriego.es

Dado que el uso de las válvulas es opcional y únicamente se usará en casos excepcionales no es necesario instalar unas de alta gama. Basta con tomar unas válvulas manuales fabricadas en PVC. Se colocarán a la salida de los grifos y en caso de los sistemas B y C, adicionalmente en las tuberías primarias.

11.1.7 REGULADORES DE PRESIÓN

Los reguladores de presión son elementos que provocan unas altas pérdidas de carga con el objetivo de garantizar la uniformidad del riego, evitando así las presiones excesivas. Estos dispositivos resultan convenientes cuando se encuentran zonas de pendiente aguas arriba, lo cual es desconocido previo a la implantación del proyecto. Los reguladores de presión se caracterizan por presiones de entrada y caudales que admiten, y por la presión de salida proporcionada a partir de ellos.



Ilustración 26 Diferentes modelos de reguladores de presión. Fuente: iagua.es

En el caso de instalarse, el regulador mantendrá una presión de salida determinada y constante en el tubo correspondiente. La necesidad de estos dispositivos resulta experimental, una vez instalado el riego cuyas pérdidas de carga son conocidas, es posible evaluar la diferencia de presión entre los goteros de una misma tubería secundaria y decidir si implantarlos o no.

11.1.8 PROGRAMADORES

Existe gran variedad entre los programadores que actualmente se encuentran disponibles en el mercado europeo, sin embargo, en Zimbabue lo más probable es que las opciones se reduzcan. Se puede distinguir entre los programadores analógicos y los modelos digitales, existiendo también variedad dentro de cada uno de ellos. Según las principales características que distinguen el modelo digital del analógico, se opta por tomar este último. Resulta que el programador analógico funciona basándose en un reloj de tipo mecánico, es por ello que, su uso resulta más sencillo y quizás los locales estén más familiarizados con este mecanismo en vez de con el digital.

Funcionando ambos modelos a base de pilas, el programador digital consume más carga y resulta más complejo de utilizar que uno digital, lo cual impide que la mayoría sepan usarlo mientras que el analógico sí. Además de resultar más económico un modelo analógico a un modelo digital.



Ilustración 27 Programador de riego analógico. Fuente: lo-mejor.com

En la disposición diseñada en el presente proyecto se encuentran tres sistemas de riego, por ello será necesario obtener tres programadores. Dado que cada sistema riega una parcela de dimensiones distintas a la del resto y que cada grifo proporciona un caudal distinto la frecuencia y la duración de cada uno de los sistemas será distinta.

En base al estudio del caudal realizado en la Tabla 6 se conoce el tiempo diario que debe encontrarse el riego activo para aportar el caudal necesario por hectárea, $2.5\text{m}^3/\text{ha}$. Una vez conocida la distribución del sistema y las hectáreas correspondientes a cada grifo, se pueden establecer los tiempos diarios de riego que se introducirán en el programador.

Programador	Hectáreas	Duración mínima del regado diario	Tanque
Sistema A	1	4 h 12 min	1
Sistema B	2	3 h 40 min	1
Sistema C	3	3 h	2

Tabla 16 Tiempo de regado diario a introducir en el programador. Fuente: Propia

11.1.9 FILTROS

Es común el uso de filtros para este tipo de sistemas, sin embargo, al tratarse de agua que proviene de la profundidad de un pozo el nivel de filtrado natural resulta más que suficiente. Siendo un agua que se encuentra a disposición del consumo humano no resulta problemática para el cultivo. Además del resto de filtros no intencionados por los que pasa antes de salir del grifo, como es el caso de la bomba o el efecto de la estanqueidad en el propio tanque, que permite que los posibles sólidos se desplacen al fondo. Los filtros necesitan ser revisados y limpiados periódicamente, lo cual supone un compromiso por parte de los locales para el correcto funcionamiento del sistema.

Una vez allí, en caso de tomar la decisión de implantar un filtro, el óptimo sería un filtro de malla. La razón por la cual se escogería este tipo de filtro es que sería suficiente para eliminar las impurezas que pudieran causar obturaciones y su precio es asequible, en caso de encontrarlo en el mercado del lugar donde se desarrolla el proyecto.



Ilustración 28 Filtro de malla. Fuente: ingemecanica.com

11.2 CONSIDERACIONES AGRÓNOMAS

En los terrenos donde se implantará el sistema el producto que se cultiva mayormente es maíz. Por ello, es necesario conocer las condiciones que debe cumplir el sistema para satisfacer el riego de manera correcta. Conociendo el caudal y las dimensiones del terreno de cultivo, resulta que el volumen de agua aportada por el riego es $2,5 \text{ m}^3$ por hectárea diariamente. El tiempo que debe transcurrir desde que la semilla de maíz se entierra hasta que se cosecha dura entre 130 y 150 días. Este valor se encuentra sujeto a las condiciones climáticas, el agua disponible y la técnica de cultivo empleada. Las necesidades de riego son más importantes durante la fase de germinación de la semilla y la fase de la formación de la espiga-grano.

En caso de utilizar goteros compensantes únicamente en algunos puntos, se debe cuidar que la presión resulte similar allí donde estos no se encuentran, de esta manera se evita una distribución irregular del agua entre unas plantas y otras.

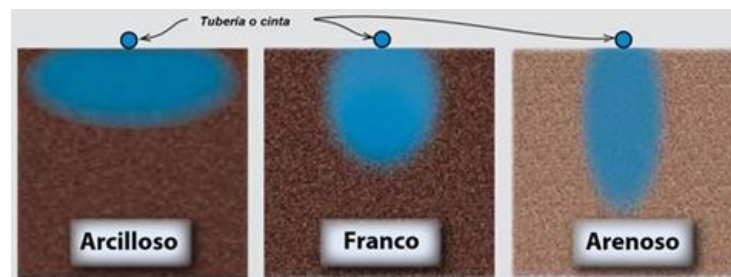


Ilustración 29 Diferentes texturas del suelo. Fuente: iagua.es

La textura del terreno también determinará la distribución del agua emitida por un gotero, de esta manera existen suelos más y menos favorables para el cultivo de los productos, en el caso del maíz resulta idóneo un suelo de textura media franco-arenoso. En relación, se distribuirán los goteros con una mayor separación dentro de lo habitual, incluyendo así un coeficiente de seguridad adaptado a todo tipo de suelo.

11.3 PÉRDIDAS DE CARGA POR CONDUCCIÓN

En el transporte de los fluidos siempre se encuentran pérdidas de carga de mayor o menor envergadura, conduciendo el fluido existe rozamiento con las paredes, así como cambios en la dirección del vector velocidad, lo cual favorece estas mismas pérdidas. Para evaluar si los diámetros escogidos resultan óptimos también se deben analizar las pérdidas de carga que tienen lugar a lo largo de todo el sistema.

Las pérdidas correspondientes al rozamiento del fluido con las paredes de la tubería por la que circulan generan unas caídas de presión y se denominan pérdidas de carga primaria, el cálculo de éstas dependerá de si hay o no desprendimiento de la capa límite del fluido, en ese caso el flujo será turbulento.

Las pérdidas en las que se incurren al cambiar bruscamente la dirección del vector velocidad se denominan pérdidas de carga secundaria, estas pérdidas se dan al introducir diferentes elementos como es el caso de válvulas, codos, goteros, etc. Estas dependen de la forma del elemento, así como del sentido en el que circula el fluido.

Los cálculos hasta el momento no cuentan con los efectos de estas pérdidas es por ello que será necesario revisar los cambios que estas mismas producen a lo largo de todo el sistema de riego.

Para cumplir con la norma de diseño del sistema de riego por goteo, la pérdida de carga en las tuberías secundarias y de riego no debe ser excesivo. En caso de ser excesivamente altas, para reducir las pérdidas, será necesario valorar un aumento del diámetro, reduciendo así la velocidad de circulación del fluido y por consiguiente la pérdida de carga.

11.3.1 PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS

Para calcular las pérdidas de carga primaria basta con evaluar la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{f \cdot L \cdot v^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

f: Factor de fricción de Darcy [-]

L: Longitud de la tubería recta [m]

v: Velocidad del fluido transportado [m/s]

D: Diámetro de la tubería de transporte [m]

g: Constante de gravedad [m/s²]

Para aplicar la presente fórmula será necesario calcular el factor de fricción de Darcy. Este valor indicado como *f* depende del régimen del flujo, distinguiéndose entre laminar o turbulento. Para determinar el régimen del fluido será necesario evaluar el número adimensional de Reynolds:

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

ρ : Densidad del fluido [kg/m³]

v: Velocidad del fluido transportado [m/s]

D: Diámetro de la tubería de transporte [m]

μ : Viscosidad dinámica del fluido [kg/m·s]

Valor del número de Reynolds	Régimen
<2300	Laminar
>2300	Turbulento

Tabla 17 Régimen del flujo según el número de Reynolds. Fuente: Propia

Una vez conocido el régimen del flujo, el factor de fricción de Darcy se calcula de la siguiente manera en caso de tratarse de un flujo laminar:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Re : Número de Reynolds [-]

En caso de tratarse de un régimen turbulento, para el fluido que circula por la instalación, el método de obtención del factor de fricción de Darcy variará. Si se trata de un régimen turbulento es necesario conocer más información como es la rugosidad media de la tubería, denominada ϵ para calcular el factor de fricción. Conociendo este dato y mediante un sencillo cálculo se accede al diagrama de Moody mostrado en la Ilustración 30.

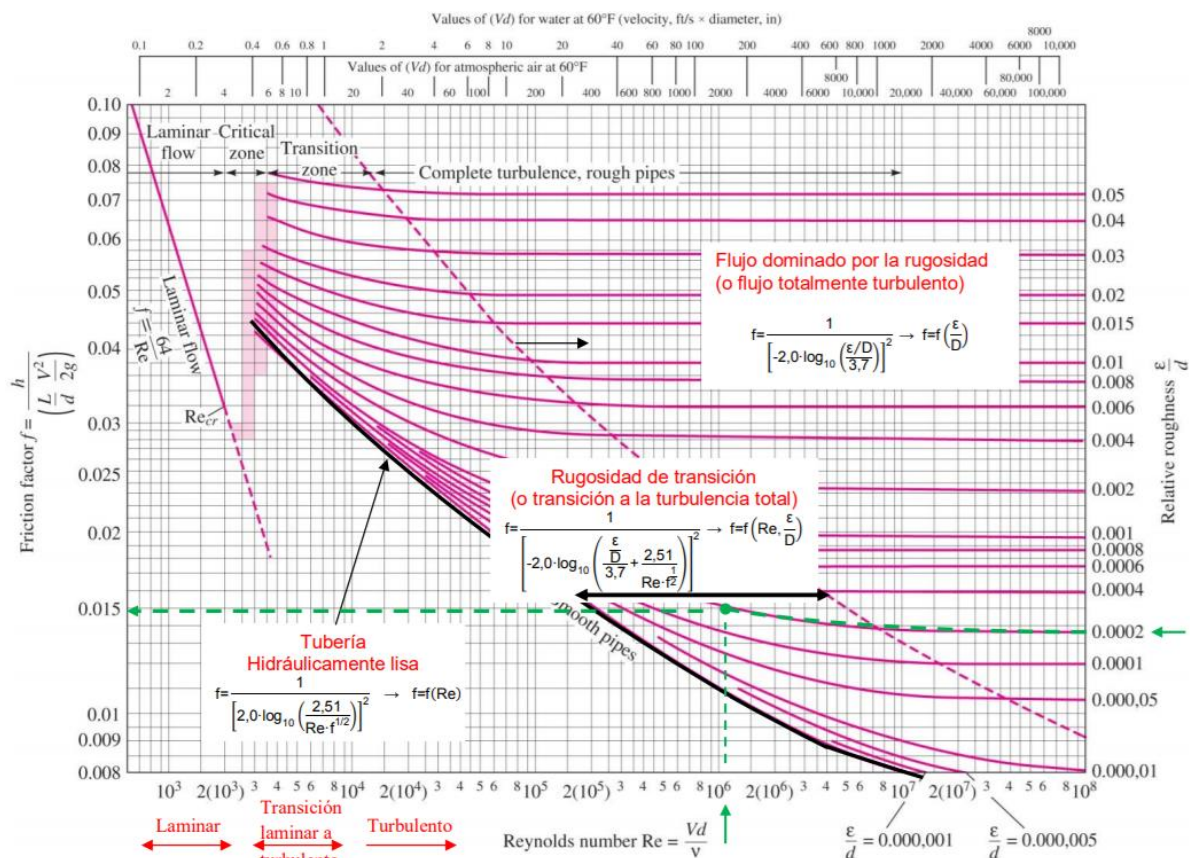


Ilustración 30 Diagrama de Moody. Fuente: Mecánica de fluidos ICAI

11.3.2 PÉRDIDAS DE CARGA SECUNDARIAS

Para realizar el cálculo de las pérdidas de carga secundaria es necesario conocer los elementos, adicionales a las tuberías, que se encuentran en este sistema. Los elementos que se encontrarán de forma común serán codos, reducciones, válvulas y desembocaduras.

Para evaluar el impacto de estos elementos en la presión del sistema se hace uso de la siguiente ecuación:

$$h_m = \sum_i k_i \cdot \frac{v_i^2}{2 \cdot g}$$

k : Coeficiente de pérdida de carga secundaria [-]

v : Velocidad del fluido transportado [m/s] En casos donde la velocidad cambie su valor en ese punto específico se tomará la mayor, ya que produce mayor pérdida de carga y se estudia así el caso más desfavorable.

g : Constante de gravedad [m/s²]

i : Elemento i del sistema

A diferencia del coeficiente de pérdida de carga primaria, en el caso del coeficiente de pérdida de carga secundaria este depende de la geometría del elemento y de la dirección del flujo. Algunos de los valores tabulados y conocidos que se usan para el cálculo de la pérdida de carga en el presente proyecto se muestran en las siguientes ilustraciones.

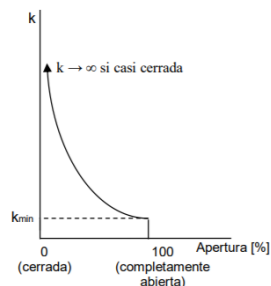


Ilustración 31 Coeficiente k de pérdida secundaria en válvulas. Fuente: Mecánica de fluidos ICAI







Component	K_L	
a. Elbows		
Regular 90°, flanged	0.3	 90° elbow
Regular 90°, threaded	1.5	
Long radius 90°, flanged	0.2	
Long radius 90°, threaded	0.7	
Long radius 45°, flanged	0.2	
Regular 45°, threaded	0.4	
b. 180° return bends		
180° return bend, flanged	0.2	 45° elbow
180° return bend, threaded	1.5	
c. Tees		
Line flow, flanged	0.2	 180° return bend
Line flow, threaded	0.9	
Branch flow, flanged	1.0	
Branch flow, threaded	2.0	
d. Union, threaded		
	0.08	 Tee
e. Valves		
Globe, fully open	10	 Tee
Angle, fully open	2	
Gate, fully open	0.15	
Gate, $\frac{1}{2}$ closed	0.26	
Gate, $\frac{1}{4}$ closed	2.1	 Union
Gate, $\frac{3}{4}$ closed	17	
Swing check, forward flow	2	
Swing check, backward flow	∞	
Ball valve, fully open	0.05	
Ball valve, $\frac{1}{2}$ closed	5.5	
Ball valve, $\frac{3}{4}$ closed	210	

Ilustración 32 Coeficiente k de pérdida secundaria en codos y tes. Fuente: Recursos de la asignatura de Mecánica de fluidos ICAI

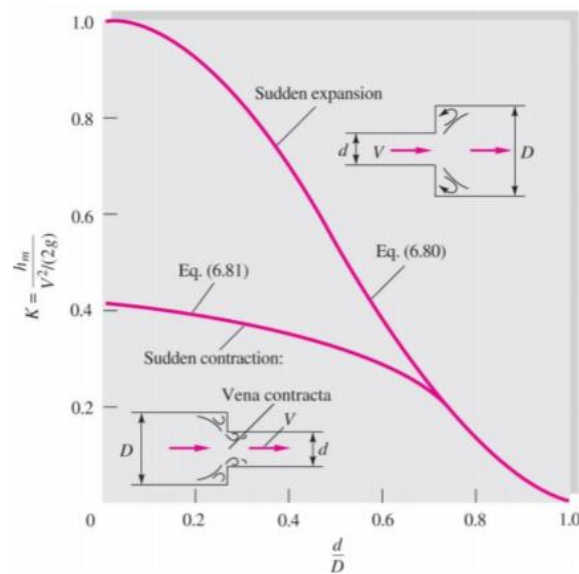


Ilustración 33 Coeficiente k de pérdida secundaria en contracciones y ensanchamientos. Fuente: Recursos de la asignatura de Mecánica de fluidos ICAI

11.3.3 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA

Se dispone a calcular las pérdidas de carga del sistema, para ello será necesario evaluar los diferentes sistemas en función de la toma de agua. Como se indica en la Tabla 6 los caudales varían en función del grifo y es por ello que, tal y como se muestra en la Ilustración 11, la distribución del terreno de cultivo se realiza en función de este mismo caudal. De esta forma se decide calcular las pérdidas de los sistemas de riego individuales que derivan de cada grifo, distinguiendo entre el subsistema perteneciente al grifo A, el correspondiente al B y el del grifo C.

Para evaluar las pérdidas de carga entre los distintos puntos, comúnmente entre la entrada y la salida, es necesaria la resolución de la ecuación de Bernoulli que incluye los valores presentados de las pérdidas de carga.

$$\frac{p_i}{\rho \cdot g} + z_i + \alpha_i \frac{v_i^2}{2 \cdot g} - h_f - h_g = \frac{p_j}{\rho \cdot g} + z_j + \alpha_j \frac{v_j^2}{2 \cdot g}$$

p : Presión [Pa]

ρ : Densidad del fluido [kg/m³]

z : Altura del punto estudiado [m]

v : Velocidad del fluido transportado [m/s] En casos donde la velocidad cambie su valor en ese punto específico se tomará la mayor, ya que produce mayor pérdida de carga y se estudia así el caso más desfavorable.

α : Factor de corrección en función del flujo [-] $\alpha = 1$ para flujo turbulento $\alpha = 2$ para flujo laminar

g : Constante de gravedad [m/s²]

h_f : Pérdidas de carga primaria [m]

h_m : Pérdidas de carga secundaria [m]

En todos los sistemas de riego que derivan de los grifos la cantidad de tuberías de riego es muy grande, concretamente 280 tuberías de riego por hectárea. Es por ello, que para realizar los cálculos entre los puntos se deberían evaluar todas y cada una de estas tuberías, sin embargo, para reducir los cálculos y tener en cuenta las pérdidas se estudiará el caso más desfavorable. El caso más desfavorable resulta ser la tubería de riego más alejada del grifo que le corresponde.

Una vez evaluadas las pérdidas de carga será necesario comprobar las presiones a lo largo del sistema, para comprobar que no se sobrepasan los límites mostrados.

Presión máxima	350 KPa
Presión mínima	35 KPa

Tabla 18 Límites de presión en la red de tuberías. Fuente: iagua.es

11.3.3.1 Pérdidas de carga en el sistema de riego propio del Grifo A

Como se muestra en el método de cálculo de las pérdidas de carga se procede con los puntos mostrados en la Ilustración 34.

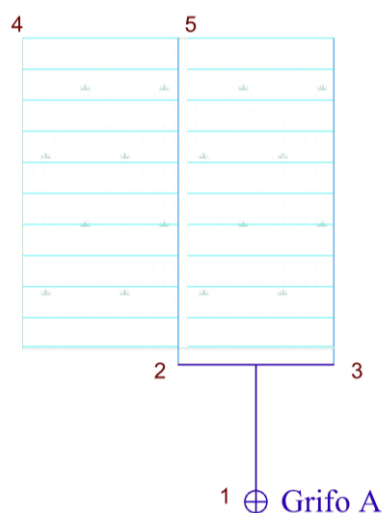


Ilustración 34 Puntos de interés para el estudio del sistema A. Fuente: Propia

Conocida la velocidad en todos los puntos a partir del caudal que se conserva gracias a la incompresibilidad del fluido, se evaluará la pérdida de carga que supone el traslado de un punto a otro. A falta de conocer la presión en el sistema es necesario comenzar por el punto que desemboca en el ambiente, ya que los goteros expulsan el fluido a presión de ambiente por estar en contacto con él. Conociendo la presión en los puntos 4 y 5 es preferible comenzar por uno de ellos e ir averiguando la pérdida de carga de manera inversa al sentido del fluido.

Para facilitar el cálculo se recogen los valores conocidos inicialmente de las variables que se quieren en los puntos de estudio.

Punto	Presión [Pa]	Cota [m]	Velocidad [m/s]
1	Desconocida	0,84	1,1083
2	Desconocida	0	0,554151
3	Desconocida	0	0,554151
4	0	0	0,002209
5	0	0	0,002209

Tabla 19 Valores conocidos para el cálculo de Bernoulli en el sistema A. Fuente: Propia.

Como se explica, primero se realiza el cálculo de la pérdida de carga mediante la ecuación de Bernoulli entre los puntos 2 y 4. Para ello será necesario evaluar las condiciones de los tramos de tubería que se encuentran entre esos dos puntos.

Longitud [m]	Diámetro normalizado [mm]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Flujo
50	12	0,002209	22,1	Laminar
100	16	0,554151	7521,4	Turbulento

Tabla 20 Propiedades de las tuberías entre los puntos 2 y 4. Fuente: Propia

Elemento	v	k	f	h _m	h _f
Tubería de 50 m	0,002209	-	2,8959	-	0,00361
Tubería de 100 m	0,554151	-	0,034	-	3,9129
Codo de 90°	0,554151	1,5	-	0,023477	-
Estrechamiento	0,554151	0,225	-	0,003522	-

Tabla 21 Pérdidas de carga entre los puntos 2 y 4. Fuente: Propia

Con un total de pérdidas de carga de 3,95 mca, introduciendo este valor en la ecuación de Bernoulli entre los puntos 2 y 4, obtendremos el valor de la presión en el punto 2 que es 38,519 KPa. Comprobando que este supera el valor de la presión en el punto 4 donde es 0 Pa, aseguraremos que el fluido se transporta de manera correcta ya que por naturaleza el fluido va desde zonas con mayor presión a zonas con menor presión.

Teniendo en cuenta que los goteros que se encuentran en el punto 5 también descargan al ambiente y que los diámetros y caudales entre los puntos 3 y 5 son equiparables a los de los puntos 2 y 4 podemos asegurar que la presión en el punto 3 coincide con la presión en el punto 2.

Para evaluar el punto que falta por conocer la presión el punto 1, que conecta con el grifo se evaluará indistintamente desde el punto 3 o desde el punto 2, ya que los resultados deberían ser iguales.

Nuevamente para realizar los cálculos de la ecuación de Bernoulli, será necesario evaluar los elementos que encontramos entre los puntos en cuestión y las pérdidas de carga que producen los mismos.

Longitud [m]	Diámetro [mm]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Flujo
25	16	0,554151	8848,68	Turbulento
50	16	1,1083	17697	Turbulento

Tabla 22 Propiedades de las tuberías entre los puntos 1 y 2. Fuente: Propia

Elemento	v	k	f	h_m	h_f
Tubería de 25 m	0,554151	-	0,033	-	0,807
Tubería de 50 m	1,1083	-	0,031	-	6,456
Codo de 90°	1,1083	1,5	-	0,0939	-
Te	1,1083	2	-	0,125	-

Tabla 23 Pérdidas de carga entre los puntos 1 y 2. Fuente: Propia

Con un total de pérdidas de carga de 7,48 mca, se introduce este valor en la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2, obteniendo así el valor de la presión en el punto 1 que resulta 103,067KPa. Una vez más, esta presión resulta ser mayor a la del punto siguiente, en este caso el punto 2 y se encuentra dentro de los límites por ello no será necesario realizar ajustes de diámetro. De esta manera, el fluido se transporta de manera correcta ya que por naturaleza el fluido va desde zonas con mayor presión a zonas con menor presión.

11.3.3.2 Pérdidas de carga en el sistema de riego propio del Grifo B

Para el estudio del sistema de riego que deriva del grifo B el procedimiento es el mismo al realizado en el apartado anterior, distinguiendo entre los distintos puntos como se muestra en la Ilustración 35.

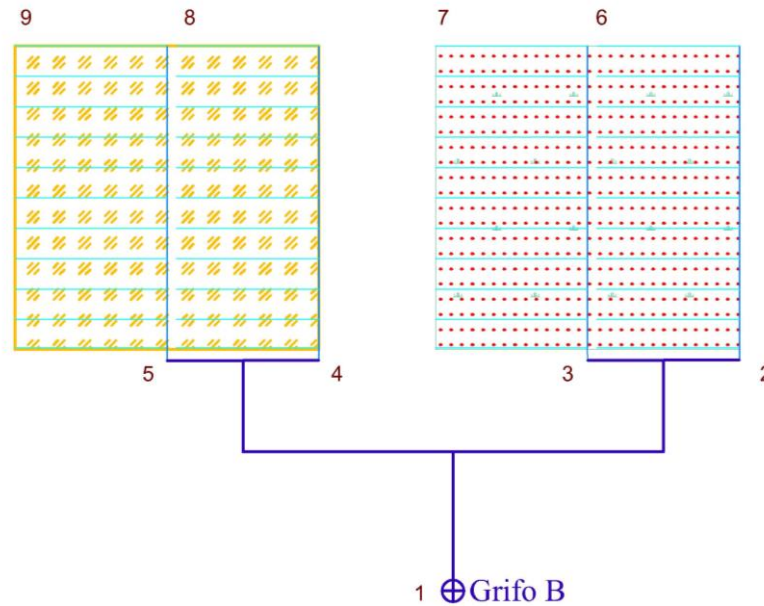


Ilustración 35 Puntos de interés para el estudio del sistema B. Fuente: Propia

De nuevo, resulta conveniente comenzar por uno de los puntos cuya presión es conocida, es decir allí donde el sistema desemboca a la presión del ambiente, es el caso de los puntos 6,7,8 y 9. Iniciando el cálculo por uno de ellos se averigua la pérdida de carga de manera inversa al sentido del fluido.

Para facilitar el cálculo se recogen los valores conocidos inicialmente de las variables que se quieren en los puntos de estudio.

Punto	Presión [Pa]	Cota [m]	Velocidad [m/s]
1	Desconocida	0,84	1,57154
2,3,4 y 5	Desconocida	0	0,650525
6,7,8 y 9	0	0	0,008594

Tabla 24 Valores conocidos para el cálculo de Bernoulli en el sistema B. Fuente: Propia.

Como se explica, primero se realiza el cálculo de la pérdida de carga mediante la ecuación de Bernoulli entre los puntos 2 y 6. Para ello será necesario evaluar las condiciones de los tramos de tubería que se encuentran entre esos dos puntos.

Longitud [m]	Diámetro normalizado[mm]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Flujo
50	12	0,008594	102,922	Laminar
100	16	0,650525	10387,6	Turbulento

Tabla 25 Propiedades de las tuberías entre los puntos 2 y 6. Fuente: Propia

Elemento	v	k	f	h_m	h_f
Tubería de 50 m	0,008594	-	0,62183	-	0,00975
Tubería de 100 m	0,650525	-	0,031	-	4,17898
Codo de 90°	0,650525	1,5		0,032353	-
Estrechamiento	0,650525	0,225	-	0,004853	-

Tabla 26 Pérdidas de carga entre los puntos 2 y 6. Fuente: Propia

Con un total de pérdidas de carga de 4,23 mca, introduciendo este valor en la ecuación de Bernoulli entre los puntos 2 y 6, se obtiene el valor de la presión en el punto 2 que es 41,202 KPa. Comprobando que este supera el valor de la presión en el punto 6 donde es 0 Pa, asegura que el fluido se transporta de manera correcta, ya que por naturaleza el fluido va desde zonas con mayor presión a zonas con menor presión.

Partiendo de las mismas condiciones de contorno, es posible asegurar que los tramos entre los puntos 3-7,4-8 y 5-9 tienen los mismos resultados que los obtenidos a partir del tramo 2-6. Por ello podemos asegurar que la presión en el punto 2 coincide con la presión en los puntos 3,4 y 5.

Para evaluar el punto 1, que conecta con el grifo se evaluará indistintamente cualquiera de los puntos mencionados, por continuidad se evaluará el tramo que va del punto 1 al punto 2.

Nuevamente para realizar los cálculos de la ecuación de Bernoulli, será necesario evaluar los elementos que se encuentran entre los puntos en cuestión y las pérdidas de carga que producen los mismos.

Longitud [m]	Diámetro [mm]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Flujo
25	16	0,650525	8764,52	Turbulento
52,5	16	1,30105	17529	Turbulento
50	20	1,57154	27446,9	Turbulento

Tabla 27 Propiedades de las tuberías entre los puntos 1 y 2. Fuente: Propia

Elemento	v	k	f	h_m	h_f
Tubería de 25 m	0,650525	-	0,033	-	1,11215
Tubería de 52,5 m	1,30105	-	0,031	-	8,77587
Tubería de 50 m	1,57154	-	0,024	-	7,55272
Codo de 90°	0,650525	1,5	-	0,032353	-
Te	1,30105	2	-	0,172552	-
Codo de 90°	1,30105	1,5	-	0,129414	-
Te	1,57154	2	-	0,251757	-
Estrechamiento	1,57154	0,1	-	0,012588	-

Tabla 28 Pérdidas de carga entre los puntos 1 y 2. Fuente: Propia

En este tramo las pérdidas de carga ascienden a 18,04 mca, introduciendo este valor en la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2, se obtiene el valor de la presión en el punto 1 que resulta 208,575 KPa. Una vez más, esta presión resulta ser mayor a la del punto siguiente, en este caso el punto 2. De esta manera, el fluido se transporta de manera correcta ya que por naturaleza el fluido va desde zonas con mayor presión a zonas con menor presión.

11.3.3 Pérdidas de carga en el sistema de riego propio del Grifo C

Para evaluar el último sistema es necesario introducir más puntos de interés, ya que triplica el tamaño del sistema estudiado inicialmente. Al ser el grifo C el que aporta el mayor caudal se encarga de regar más superficie.

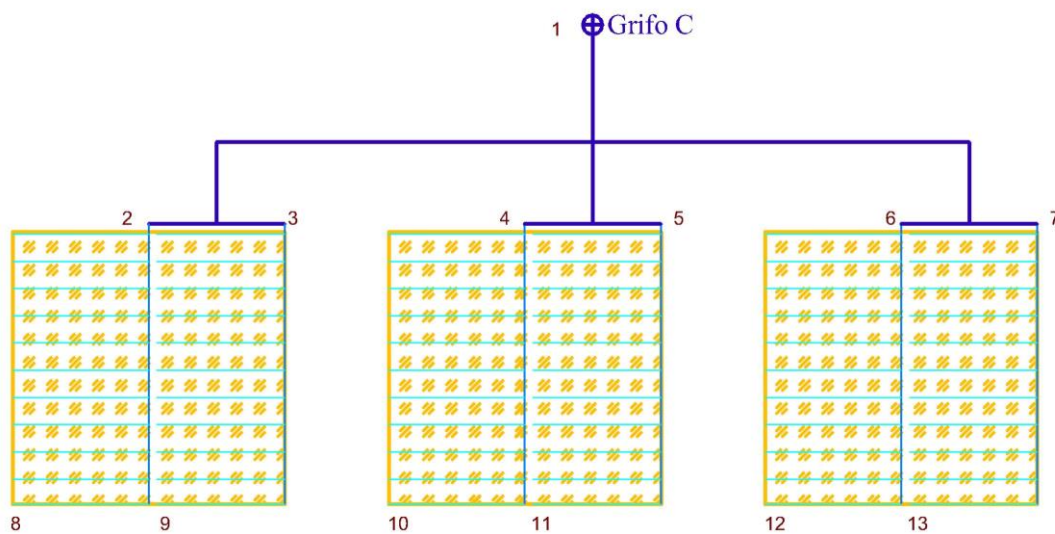


Ilustración 36 Puntos de interés para el estudio del sistema C. Fuente: Propia

De nuevo, resulta conveniente comenzar por uno de los puntos cuya presión conocida, es decir allí donde el sistema desemboca a la presión del ambiente, es el caso de los puntos 8,9,10,11,12 y 13. Iniciando el cálculo por uno de ellos se averigua la pérdida de carga de manera inversa al sentido del fluido, teniendo en cuenta el sentido real y la dirección de este.

Para facilitar el cálculo se recogen los valores conocidos inicialmente de las variables que se quieren en los puntos de estudio.

Punto	Presión [Pa]	Cota [m]	Velocidad [m/s]
1	Desconocida	0,84	0,993992
2,3,4,5,6 y 7	Desconocida	0	0,784761
8,9,10,11,12 y 13	0	0	0,010368

Tabla 29 Valores conocidos para el cálculo de Bernoulli en el sistema C. Fuente: Propia.

Indistintamente, se realiza el cálculo de la pérdida de carga mediante la ecuación de Bernoulli entre alguno de los puntos que se encuentra descargando a presión ambiente y el punto anterior aguas abajo. En este caso se estudiará el tramo entre los puntos 2 y 6. Para ello será necesario evaluar las condiciones de los tramos de tubería que se encuentran entre esos dos puntos.

Longitud [m]	Diámetro normalizado[mm]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Flujo
50	12	0,010368	124,167	Laminar
100	16	0,784761	12531,1	Turbulento

Tabla 30 Propiedades de las tuberías entre los puntos 2 y 8. Fuente: Propia

Elemento	v	k	f	h_m	h_f
Tubería de 50 m	0,010368	-	0,515434	-	0,011767
Tubería de 100 m	0,784761	-	0,031	-	6,0816
Codo de 90°	0,784761	1,5	-	0,047083	-
Estrechamiento	0,784761	0,225	-	0,007062	-

Tabla 31 Pérdidas de carga entre los puntos 2 y 8. Fuente: Propia

Con un total de pérdidas de carga de 6,15 mca, introduciendo este valor en la ecuación de Bernoulli entre los puntos 2 y 8, se averigua el valor de la presión en el punto 2 que resulta ser 59,903 KPa. Una vez más es mayor a la presión del punto posterior que resulta ser 0 y por tanto el fluido se desplaza en sentido correcto.

Partiendo de las mismas condiciones de contorno, es posible asegurar que los tramos entre los puntos 3-9,4-10, 5-11,6-12 y 7-13 tienen los mismos resultados que los obtenidos a partir del tramo 2-8. Por ello se puede asegurar que la presión en el punto 2 coincide con la presión en los puntos 3,4,5,6 y 7.

Para evaluar el punto 1, en el cual se encuentra el grifo se evaluará indistintamente cualquiera de los puntos mencionados, siendo conocidas las presiones en todos ellos, por comodidad se evaluará el tramo que va del punto 1 al punto 2.

Para realizar los cálculos se toma de nuevo la ecuación de Bernoulli, introduciendo los elementos que se encuentran entre los puntos 1-2 y las pérdidas de carga que producen en el tramo entre ellos.

Longitud [m]	Diámetro [mm]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Flujo
25	16	0,784761	10651,4	Turbulento
102,5	16	1,56952	21302,8	Turbulento
50	32	0,993992	29363,3	Turbulento

Tabla 32 Propiedades de las tuberías entre los puntos 1 y 2. Fuente: Propia

Elemento	v	k	f	h _m	h _f
Tubería de 25 m	0,784761	-	0,031	-	1,7887
Tubería de 102,5 m	1,56952	-	0,0255	-	24,1301

Tubería de 50 m	0,993992	-	0,024	-	2,04153
Codo de 90°	0,784761	1,5	-	0,047083	-
Te	1,56952	2	-	0,25111	-
Codo de 90°	1,56952	1,5	-	0,188333	-
Te	1,56952	2	-	0,25111	-
Estrechamiento	1,56952	0,1	-	0,012556	-

Tabla 33 Pérdidas de carga entre los puntos 1 y 2. Fuente: Propia

En este último tramo, al igual que en el resto de sistemas de riego previamente estudiados, las pérdidas de carga ascienden, en este caso a 28,7 mca. Al introducir este último valor, junto con el resto de valores conocidos, en la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2, se obtiene el valor de la presión en el punto 1 resultando 332,477 KPa. Siendo ésta muy superior a la anteriormente vista resulta, una vez más, que el fluido va de zonas de menor presión a zonas de mayor.

12. COMPENDIO DE LOS CÁLCULOS

Partiendo de la toma de agua brindada por proyectos previos se conoce el caudal, obtenido este valor en función del grifo es posible atribuir una dimensión terreno a cada grifo para que el riego cubra las necesidades hídricas del cultivo 2,5 m³/ha/día. De esta forma, con el agua disponible diariamente los sistemas quedan como se muestra en la Tabla 16.

Una vez se ha realizada la atribución de terrenos es posible analizar el transporte de aguas y la red de tuberías encargada del mismo. En la red de tuberías se han analizados los componentes necesarios, los componentes prescindibles y el material en el que se requerirán.

A la luz de los resultados obtenidos en el cálculo de las pérdidas de carga se observa que los diámetros, la longitud y la disposición de las tuberías son óptimas según la propuesta presentada inicialmente.

En la Tabla 34 se recogen los valores obtenidos de las pérdidas de carga, en los distintos tramos de cada sistema.

Sistema	Hectáreas	P.C. Tramo grifo-tubería secundaria	P.C. Tramo tubería secundaria-gotero final	P.C. Sistema completo
Sistema A	1	3,95 mca	7,48 mca	11,43 mca
Sistema B	2	4,23 mca	18,04 mca	22,27 mca
Sistema C	3	6,15 mca	28,70 mca	34,85 mca

Tabla 34 Pérdidas de carga en los distintos sistemas. Fuente: Propia

Resulta lógico que cuanto más grande es el sistema, mayores sean las pérdidas de carga, ya que el recorrido del fluido también se incrementa.

CAPÍTULO III: PLAN DE EJECUCIÓN Y MANTENIMIENTO

CONTENIDO DEL CAPÍTULO III: PLAN DE EJECUCIÓN Y MANTENIMIENTO

<i>13. Plan de ejecución.....</i>	<i>72</i>
13.1 Preparación del terreno.....	72
13.2 Preparación de las tuberías	73
<i>14. Mantenimiento de la instalación.....</i>	<i>73</i>
14.1 Posibles problemas físicos en el sistema de riego	74
14.1.1 Obturaciones	74
14.1.2 Barro pegado y seco en los emisores	75
14.1.3 Abrasión	75
14.2 Posibles deterioros químicos en el sistema de riego.....	76
14.2.1 Deterioro por corrosión	76
14.2.2 Deterioro por cal.....	77

13. PLAN DE EJECUCIÓN

El presente proyecto no supone una gran complejidad, sin embargo, resultará una tarea ardua su implantación. Este apartado tiene como función mostrar las líneas que se deben seguir para implantar el sistema de manera correcta.

13.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO

Previo a esta preparación resultará conveniente que se de una temporada de barbecho, en la que el terreno deje de ser usado para que se regenere.

A expensas de conocer las condiciones en las que se encuentre el terreno de cultivo, se deberán realizar una serie de preparaciones para adecuarlo a la explotación. En primer lugar, será necesario labrar y desbrozar todo tipo de rama, hojas y otros despojos.



Ilustración 37 Desbroce con hoz. Fuente: artesaniadeasturias.es

Seguidamente es conveniente realizar zanjas y surcos en los extremos de las líneas donde se cultivará. De este modo evitar posibles problemas de acumulación excesiva de agua y sales, mejorando así la productividad del cultivo.

13.2 PREPARACIÓN DE LAS TUBERÍAS

Se trata de una preparación sencilla pero laboriosa ya que la preparación resultará repetitiva, dadas las dimensiones del sistema.

En primer lugar, será necesario cortar las tuberías según las distintas longitudes deseadas. Una vez estén todas cortadas, será de gran utilidad que se distribuyan y posicionen según la orientación que llevarán en el sistema una vez esté finalizado.

Es entonces cuando se deben introducir las uniones que hay en el tramo que va desde los grifos hasta las tuberías secundarias. Dejando así las tuberías de riego sin conectar, conviene realizar las incisiones en los lugares donde van los goteros, cuya separación es de 70 cm, e introducirlos.

Cuando todas las tuberías de riego dispongan de goteros, será cuando se realice la conexión entre las tuberías de riego y las tuberías secundarias. Esta conexión se hará mediante los conectores iniciales, los cuales se unen de la misma forma que los goteros, realizando una punción inicial.

Tras poner los tapones a tuberías secundarias y de riego el sistema estará terminado. Es entonces cuando será posible unir cada sistema a su correspondiente toma de agua, es decir, al grifo.

14. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

Al igual que en muchos sistemas es posible que el sistema de riego por goteo falle o incurra en pérdidas, es por ello que una correcta revisión y mantenimiento de la instalación asegurará la sostenibilidad del presente proyecto. Entre los diversos problemas, los más comunes son los mostrados a continuación.

14.1 POSIBLES PROBLEMAS FÍSICOS EN EL SISTEMA DE RIEGO

Es muy probable que con el paso del tiempo y del agua se encuentren sectores donde el agua llega menos que antes o problemas similares. Esto puede deberse a la aparición de fugas o roturas cuyo origen puede ser uno de los siguientes:

- Aplastamiento: puede darse por un error en diseño de la red o por defectos en la construcción
- Agrietamiento: puede ocurrir de dos tipos, en caso de ser un agrietamiento transversal a lo largo de las tuberías, el cual se debe a vibraciones causadas por cargas superficiales o puede ser un agrietamiento longitudinal debido a la fatiga, los defectos de fabricación o los esfuerzos derivados del golpe de ariete.

Son necesarias las inspecciones periódicas para evaluar la instalación y detectar estos mismos problemas.

14.1.1 OBTURACIONES

Las obturaciones se pueden producir a partir de partículas sólidas o arena. Tanto las mangueras como los goteros pueden llegar a acumular una cantidad de partículas que obturen el sistema.



Ilustración 38 Obturaciones por raíces. Fuente: Azud

Para evitar este tipo de problemas lo más conveniente es instalar un filtro en la entrada del sistema, la revisión y limpieza de estos filtros también resultan de vital importancia para el

CAPÍTULO III: PLAN DE EJECUCIÓN Y MANTENIMIENTO

correcto mantenimiento del sistema. Si aun así se da el caso de una obturación, para solucionar este tipo de problema será necesario retirar las abrazaderas o codos de los finales y dejar correr el agua para que salga la suciedad.

14.1.2 BARRO PEGADO Y SECO EN LOS EMISORES

Es posible que después de una lluvia fuerte el terreno quede embarrado y los goteros que se encuentran al nivel del terreno de cultivo se vean salpicados de barro y de esta forma taponados por fuera.



Ilustración 39 Tubería cercana al suelo. Fuente: agromatica.es

Para evitar este suceso es conveniente hacer unos surcos allí donde se encuentre el producto cultivado y por lo tanto el emisor, asegurando así que la línea de riego se encuentra un poco elevada, sin estar en contacto directo con el terreno. En caso de que ocurra es posible hacer un pequeño riego después de la lluvia para eliminar el barro antes de que se seque.

14.1.3 ABRASIÓN

La abrasión es un fenómeno producido a raíz de los sólidos en suspensión que son transportados por la red de tuberías. La fricción generada por los sólidos, ya sea por arrastre o por turbulencia, produce un desprendimiento de material en el interior de la tubería, generalmente en la parte inferior. El rozamiento de los sólidos con la tubería disminuye el grosor de las mismas y de esta forma las debilita.

CAPÍTULO III: PLAN DE EJECUCIÓN Y MANTENIMIENTO

La resistencia a la abrasión por parte del PVC pero sobre todo del PE resulta muy superior al resto de materiales disponibles. Para evaluar la resistencia a la abrasión se deben tener en cuenta dos parámetros, la cantidad de material que se ha visto deteriorado en un determinado periodo de tiempo y el tiempo necesario para provocar una perforación. Asimismo, también resultan de interés la velocidad de transporte de los sedimentos, así como la forma, concentración, dureza y tamaño de los mismos. Dentro de la propia abrasión existen diversos tipos:

- Abrasión por arado: En ella el arrastre de una partícula genera un surco, el material desprendido se deposita en el frente y a los lados de la tubería, interrumpiendo así el paso.
- Abrasión por corte: En este caso, la partícula corta pequeñas partes de la conducción.
- Abrasión por penetración: En esta circunstancia, la partícula ocupa un lugar en el tubo durante cierto tiempo y posteriormente se suelta y deja en el lugar que antes ocupaba una cavidad.
- Abrasión por fractura: Siendo el caso más grave, en él la partícula llega a crear una rotura en la tubería.

14.2 POSIBLES DETERIOROS QUÍMICOS EN EL SISTEMA DE RIEGO

Al igual que los deterioros físicos, una solución química puede provocar fallos físicos como roturas o agrietamientos a lo largo del sistema. Es necesario exponer los diversos deterioros pueden afectar al sistema

14.2.1 DETERIORO POR CORROSIÓN

Este fenómeno adverso es capaz de afectar tanto a la red de tuberías como a los componentes instalados a lo largo de ella. Se trata de un suceso en el que una reacción química (óxido-reducción) genera un deterioro, afecta generalmente a los materiales

CAPÍTULO III: PLAN DE EJECUCIÓN Y MANTENIMIENTO

metálicos. Dado que el sistema se diseña haciendo uso de tuberías plásticas no se incurrirá en este fenómeno tan común gracias a que estos materiales son resistentes a la corrosión.

14.2.2 DETERIORO POR CAL

La cal es una sustancia grasienta basada en óxido de calcio que al mezclarse con tierra y agua forma una pasta que cuando recibe calor comienza a endurecerse dentro de la tubería generando obstrucciones. Dado que en el presente proyecto no se transportará agua caliente, se utilizarán tuberías plásticas, éstas no transportan fluidos a altas temperaturas ya que se pueden agrietar, romper o incluso derretir. En el caso de las tuberías de PVC o PE, al ser materiales plásticos su interior es liso, lo cual dificulta que se adhiera esta sustancia a la tubería.



Ilustración 40 Tuberías afectadas por la cal. Fuente: dimasplus.com

Por todo ello este problema, siendo común, no es de los que más debe preocupar ya que gracias al material existe una prevención intrínseca. Para evitarlo es conveniente introducir un filtro de malla, arena o anillas, que además prevenga de otro tipo de obturaciones. En caso de parecer sería conveniente aplicar en la tubería primaria una mezcla de bicarbonato de sodio y vinagre, de esta manera se resolverá en gran medida el problema a base de productos naturales y posibles de conseguir en el lugar donde se llevará a cabo el proyecto.

CAPÍTULO IV:

SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA

CONTENIDO DEL CAPÍTULO IV: SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA

<i>15. Estudio económico.....</i>	<i>82</i>
15.1 Rentabilidad.....	82
15.2 Fiabilidad.....	85
<i>16. Presupuesto</i>	<i>85</i>

En el presente capítulo se estudiará la sostenibilidad económica del proyecto. Para determinar si el proyecto es viable es necesario analizar la rentabilidad del mismo y su fiabilidad económica. Lejos de pretender obtener un beneficio propio a partir del desarrollo del proyecto, uno de los principales objetivos es conseguir que los locales sí que se beneficien de la implantación del sistema.

15. ESTUDIO ECONÓMICO

En base a los recursos disponibles y a la necesidad de los mismos, es necesario analizar las principales líneas económicas que permiten financiar el proyecto.

15.1 RENTABILIDAD

Instalando el modelo de riego por goteo existen numerosas ventajas que garantizan la rentabilidad del uso de esta técnica con respecto a otras:

- **Ahorro energético:** Garantizando el funcionamiento del sistema de riego a partir de la energía potencial almacenada en los tanques se produce un gasto de energía eléctrica nula.
- **Ahorro hídrico:** Es uno de los sistemas con menos pérdidas por evaporación y en él no suponen de gran preocupación las pérdidas provocadas por el viento, dado el clima. Siendo el agua uno de los bienes más preciados, este ahorro supone un gran beneficio para el proyecto
- **Eficiencia:** Comparando la eficiencia del riego por goteo con otras técnicas, el riego por goteo destaca por tener una eficiencia del 90%, teniendo como referencia el 70% de eficiencia que cumple el riego por aspersión. Además, se estima una mejor calidad del producto gracias a la reducción de estrés hídrico.

Evaluando la rentabilidad económica desde el punto de vista de quienes se beneficiarán de la implantación del sistema de riego, se trata de un proyecto completamente rentable.

Recibiendo la inversión inicial por medio de iniciativas benéficas, la inversión inicial del usuario es nula. De esta forma, mediante un proyecto solidario se persigue, como se comenta en los objetivos, que la dependencia de donaciones cese y los locales puedan explotar sus propias tierras y generar un ingreso a partir de los excedentes, desempeñando así su propia actividad económica.

Las iniciativas benéficas organizadas por los compañeros que desarrollan proyectos como este, son parcialmente las que generan el ingreso para la inversión inicial de los proyectos. Junto con la colaboración de la directora de proyectos de infraestructuras de la ONG Child Future Africa, Miren Tellería, ha sido posible recaudar parte del presupuesto necesario para implantar estos proyectos en el lugar de destino durante el verano de 2021. Esta colaboración tiene un nombre y es “Project Zimbabwe”.



Ilustración 41 Logo de Project Zimbabwe. Fuente: Propia

Dada la inviabilidad de realizar los proyectos durante el verano de 2020 se opta por aportar las donaciones recibidas para realizar los mismos proyectos en el verano de 2021, de esta forma el presente trabajo cumple su objetivo más motivacional para la autora que es llevarse a cabo. A continuación, se muestran algunas de las iniciativas que han sido fuente de las donaciones mencionadas.



Ilustración 42 Merchandising de camisetas y pulseras. Fuente: Propia



Ilustración 43 Cartel de fiesta benéfica. Fuente: Propia

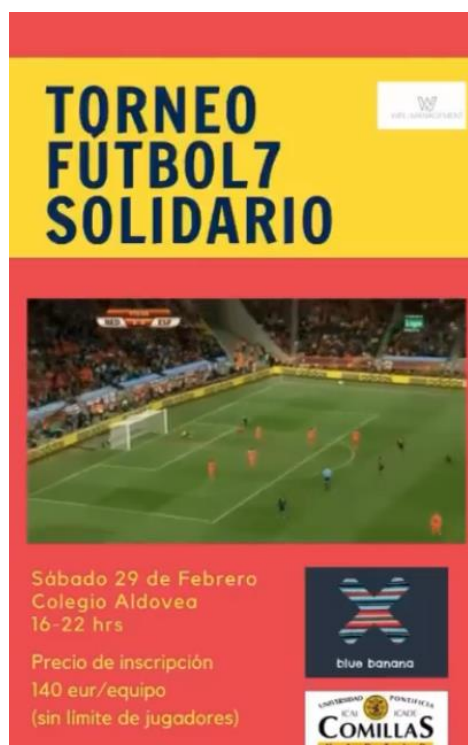


Ilustración 44 Cartel de torneo de fútbol benéfico. Fuente: Propia

Como última instancia es necesario invertir en la formación de quienes se encargarán del mantenimiento de la instalación. De esta forma la rentabilidad del proyecto se incrementa ya que asegura la durabilidad del mismo.

De esta forma es posible afirmar que la rentabilidad global del proyecto resulta satisfactoria.

15.2 FIABILIDAD

A continuación, se evalúa si la solución propuesta cumple con los estándares mencionados al inicio del presente proyecto y si es por tanto una solución segura a largo plazo. Para que el proyecto resulte fiable durante su vida útil será necesario cumplimentar unos requisitos.

Es necesario formar a los locales para que conozcan el sistema y su funcionamiento, de esta manera en caso de avería sabrán como actuar y qué procedimiento llevar a cabo para solventarlo. Para evitar este tipo de fallos, se asegurará también que se encarguen de realizar revisiones periódicas de los elementos del sistema y garanticen así el correcto desempeño durante su vida útil. Este tipo de observaciones se contemplan en el apartado de mantenimiento preventivo recogido en la memoria del presente proyecto.

Durante la implantación del proyecto debe cuidarse el ahorro económico y la eficiencia, de esta manera, estando una vez allí se contemplarán las posibilidades adversas al diseño y se tomarán decisiones en base a estos intereses.

16. PRESUPUESTO

En el presente apartado se estima el coste que tendrá el proyecto. Este valor variará en el lugar de destino, ya que el precio se ha basado en el mercado español, el cual dista del precio de mercado en Zimbabue.

CAPÍTULO IV: SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA

Elemento	Modelo	Precio unitario	Unidad	Cantidad	Precio total
Filtro	Tipo malla	10,98	€	3	32,94
Programador	Analógico	23,28	€	3	69,84
Válvula	PVC Ø 16mm	4,95	€	13	64,35
	PVC Ø 20mm	5,87	€	1	5,87
	PVC Ø 32mm	6,98	€	1	6,98
Tubería	PVC Ø 20 mm 6atm	0,36	€/m	50	18
	PVC Ø 32 mm 6atm	0,77	€/m	50	38,5
	PVC Ø 16 mm 6atm	0,23	€/m	1462,5	336,375
	PE Ø 12 mm 6atm	0,17	€/m	84000	14280
Unión T	PVC Ø 16 mm	0,54	€	6	3,24
	PVC Ø 20 mm	0,68	€	1	0,68
	PVC Ø 32 mm	1,15	€	2	2,3
Cono reductor	PVC Ø 32- Ø16 mm	0,5	€	3	1,5
	PVC Ø 20- Ø16 mm	0,47	€	2	0,94
Codo	PVC Ø 16 mm	0,27	€	16	4,32
Conector inicial	PE Ø 12 mm	0,23	€	1680	386,4
Tapón	PVC Ø 16 mm	0,29	€	12	3,48
Gotero	Caudal fijo PE 2L/h	0,04	€	98000	3920
	Compensante PE 2L/h	0,12	€	19600	2352
Tapa final	PE Ø 12 mm	0,06	€	1680	100,8
PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO [€]					21628,51

Tabla 35 Presupuesto general del proyecto. Fuente: Propia

CAPÍTULO V: ANEXOS

CONTENIDO DEL CAPÍTULO V: ANEXOS

<i>15. Anexo A: Objetivos de desarrollo sostenible</i>	<i>92</i>
<i>16. Bibliografía</i>	<i>93</i>

17. ANEXO A: OBJETIVOS DE DESARROLLO

SOSTENIBLE

La consecución del presente proyecto favorecerá de manera directa o indirecta los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible dictados por las Naciones Unidas. Resulta de especial interés analizar la sostenibilidad del presente proyecto, ya que es uno de los principales objetivos del mismo.



Ilustración 45 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: Naciones Unidas

Estos objetivos acordados en 2015 nacen con la iniciativa de no dejar a nadie atrás. Globalmente pretenden erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad. En la medida que civilmente es posible ayudar a estas causas, el presente proyecto favorece los siguientes:

- El fin de la pobreza. Con la implantación del presente sistema de riego los encargados del mismo obtendrán de manera masiva productos de cultivo para su venta y distribución, generando así una fuente de ingresos.

- Hambre cero. Gracias a la implantación del sistema y a la educación recibida en el colegio acerca de su utilidad, muchos de los alumnos obtendrán conocimientos para cultivar por sí mismos, evitando así la importación innecesaria y masiva que actualmente se da en Zimbabue.
- Educación de calidad. La construcción del sistema de riego eleva el nivel de los estudios que recibirán los asistentes a la escuela, ya que harán uso de un método de riego sofisticado.

18. BIBLIOGRAFÍA

[BUCH19] Clima de Zimbabue

https://www.voyagesphotosmanu.com/clima_zimbabue.html

[RODR18] Fabricación de tubería de Polietileno para riego por goteo

<https://abcbricoten.wordpress.com/2018/06/15/fabricacion-de-tuberia-de-polietileno-para-riego-por-goteo/>

[DOMI16] Como instalar riego por goteo <http://www.tuverano.com/blog/2016/02/como-instalar-riego-por-goteo.html>

[MONG16] Reguladores de presión para riego <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/reguladores-presion-riego>

[IMTA10] Riego por gravedad <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Riego-por-gravedad.pdf>

[MONG19] Prontuario de diseño hidráulico para riego por goteo (1ª Parte)

<https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/prontuario-diseno-hidraulico-riego-goteo-1a-parte>

[MONG19] Prontuario de diseño hidráulico para riego por goteo (2ª Parte

<https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/prontuario-diseno-hidraulico-riego-goteo-2a-parte>

[AZUD19] Manual de manejo y mantenimiento instalaciones de riego por goteo

<https://azud.com/wp-content/uploads/2019/02/Manejo-y-Mantenimiento-de-instalaciones-de-riego.pdf>

[MONG19] Conexiones para riego localizado <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/conexiones-riego-localizado-revision-principales>

Clima de Zimbabwe. Climas y viajes. Web:

<https://www.climasyviajes.com/clima/zimbabue>

Épocas de Zimbabwe. Dios del Sol. Web: <https://www.diosdelsol.com/zimbabue/>

Zimbabwe: una historia en blanco o negro. El Mundo. Web:

<https://www.elmundo.es/internacional/zimbabue/historia.html>

Historia de Zimbabwe. Ikuska Libros. Web:

<http://www.ikuska.com/Africa/Paises/zimbabue/historia.htm>

Aplicaciones, normativa y clasificación de los tubos de polietileno. Aristegui Maquinaria, 2017. Web: <https://www.aristegui.info/aplicaciones-normativa-y-clasificacion-de-los-tubos-de-polietileno/>

Ventajas destacables de las tuberías de Polietileno. Aristegui Maquinaria, 2013. Web:

<https://www.aristegui.info/10-ventajas-destacables-de-las-tuberias-de-polietileno-pe/>

Tubos de riego. Novagric 2016. Web: <https://www.novagric.com/es/riego/materiales-de-riego/tubos-de-riego>

Guía de compra de programadores de riego. Lo mejor, 2020. Web: https://www.lo-mejor.com/herramientas/comparativo-programador-de-riego-precio-opinion/#Modelo_analogico

Cómo elegir un Sistema de riego por goteo. Leroy Merlin, 2019. Web: <https://www.leroymerlin.es/jardin-terrazas/riego/riego-goteo/como-elegir-un-sistema-de-riego-por-goteo>

Comparación de sistemas de riego. Gestiriego 2016. Web: <https://www.gestiriego.com/comparacion-sistemas-de-riego/>

Riego por Aspersión. Novagric,. Web: <https://www.novagric.com/es/riego/sistemas-de-riego/riego-por-aspersion>

Riego por inundación. Datos Agropecuarios. Web: <https://datosagropecuarios.jimdofree.com/agronomia/riego-por-inundaci%C3%B3n/>

Tipos de riego y sus ventajas. Sistema Agrícola, 2016. Web: <http://sistemaagricola.com.mx/blog/tipos-de-riego-en-la-agricultura-y-ventajas/>

Riego por goteo. Novagric. Web: <https://www.novagric.com/es/riego/sistemas-de-riego/riego-por-goteo>

Componentes instalación riego por goteo. Gestiriego 2016. Web: <https://www.gestiriego.com/componentes-instalacion-riego-por-goteo/>

Cálculo de una Instalación de Riego por Goteo. Ingemecanica. Web: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>

Mejora de la agricultura de regadío. FAO. Web: <http://www.fao.org/3/y3918s/y3918s10.htm>

Sistema de riego por goteo. Intagri. Web: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/sistema-de-riego-por-goteo>