



# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

REPARACIÓN DE PRESA EXISTENTE EN EL  
PAÍS DE ZIMBABUE PARA PODER  
PROPORCIONAR UN ABASTECIMIENTO DE  
AGUA AL CULTIVO EN EL DISTRITO DE MOUNT  
DARWIN.

Autor: Álvaro Ariznavarreta Mayado

Director: Manuel Moreno García

Madrid

Julio 2022



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
**Reparación de presa existente en el país de Zimbabue para poder proporcionar un  
abastecimiento de agua al cultivo en el distrito de Mount Darwin**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2021/22 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.: Álvaro Ariznavarreta Mayado

Fecha: 11/ 07/ 2022

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Manuel Moreno García

Fecha: 11/ 07/ 2022





# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

REPARACIÓN DE PRESA EXISTENTE EN EL  
PAÍS DE ZIMBABUE PARA PODER  
PROPORCIONAR UN ABASTECIMIENTO DE  
AGUA AL CULTIVO EN EL DISTRITO DE MOUNT  
DARWIN.

Autor: Álvaro Ariznavarreta Mayado

Director: Manuel Moreno García

Madrid

Julio 2022



# REPARACIÓN DE PRESA EXISTENTE PARA GARANTIZAR POSTERIOR APROVECHAMIENTO ELÉCTRICO DEL SALTO DE AGUA PARA UN COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN ZIMBABUE.

**Autor: Ariznavarreta Mayado, Álvaro**

Director: Manuel Moreno García

Entidad Colaboradora: ICAI– Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se trata de restaurar el servicio de una presa hidráulica situada en el nordeste de Zimbabwe, para ello se estudiarán los diferentes problemas por los cuales no se ha podido llevar a cabo el servicio de la presa. Se realizará un estudio meteorológico de la zona para conocer la cantidad de agua a embalsar y así poder conocer las dimensiones requeridas para la construcción del dique. Además, se desarrollará una investigación sobre los materiales e infraestructura de la zona y finalmente se procederá al estudio de las alternativas para solucionar las filtraciones de la presa.

Como nos situamos en uno de los países con menos desarrollo, tenemos que ser conscientes de la calidad de suministro que disponemos y de la inversión que se pueda hacer a corto plazo, por ello se intentarán dar soluciones lo menos comprometedoras para la economía del lugar.

Estos son los principales pasos para proceder a construir una presa hidráulica y poder darles suministro a los habitantes de la escuela del distrito de Mount Darwin.

**Palabras clave:** Presa, Zimbabwe, suministro, fugas, impermeabilidad

### 1. Introducción

La construcción de una presa nos da la posibilidad de soportar agua creando un embalse y posteriormente poder suministrarlo, en este caso se les proporcionará este suministro para el cultivo y así puedan obtener una variedad en la nutrición.

### 2. Definición del proyecto

Se trata de comprobar que la instalación de la presa es correcta, que está bien orientada y que los materiales utilizados son suficientes para soportar las fuerzas estructurales y posteriormente se desarrollará una solución para resolver los problemas que tiene la presa con las filtraciones.

### 3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

Antes de empezar a realizar cálculos y soluciones para la presa, se realizó unas investigaciones sobre el país, para conocer en que contexto vivían. Más adelante se empezaron a realizar distintos cálculos sobre la presa, aunque se han tenido que tomar algunas estimaciones debido a la poca información que se puede encontrar sobre Zimbabwe

### 4. Resultados

Las comprobaciones que se hicieron sobre la estructura de la presa eran todas correctas, por lo que no sufrirá daño de vuelco ni de deslizamiento. La presa acaba teniendo unas cotas de 2,9 metros de alto y un ancho de 1,6 metros. Finalmente se ejecutará la obra del panel de polietileno para poder solucionar las pérdidas de agua que se producen en épocas de altas precipitaciones.



### 5. Conclusiones

Como conclusión, queda un suministro de agua durante seis meses al año que es dedicado prácticamente destinado en su totalidad al cultivo, pudiendo llegar a mejorar la calidad de vida de algunos habitantes del distrito de Mount Darwin, mejorando su nutrición.



# REPAIR OF AN EXISTING DAM TO GUARANTEE LATER ELECTRICAL USE OF THE WATERFALL FOR A VOCATIONAL SCHOOL IN ZIMBABWE

**Author: Ariznavarreta Mayado, Álvaro**

Supervisor: Manuel Moreno García

Collaborating entity: ICAI- Universidad Pontificia Comillas

## **ABSTRACT**

The aim of this project is to restore the service of a hydraulic dam located in the north-east of Zimbabwe by studying the various problems for which the dam has not been serviced. A meteorological study of the area will be made to know the amount of water to be packed and thus be able to know the dimensions required for the construction of the diversion dam. In addition, research will be developed on the materials and infrastructure of the area and finally we will proceed to study the alternatives to solve the leaks of the dam.

As we are in one of the least developed countries, we must be aware of the quality of supply that we have and the investment that can be made in the short term, so we will try to find solutions that are the least compromising to the local economy. These are the main steps to proceed to build a hydro dam and supply the school residents of Mount Darwin district.

**Key words:** Zimbabwe, dam, leakage, permeability, supply

### **1. Introduction**

The construction of a dam gives us the possibility of supporting water by creating a reservoir and later being able to supply it, in this case this supply will be provided for the crop and thus they can obtain a variety in nutrition.

### **2. Definition of the project**

The aim is to verify the installation of the dam is correct, that it is well oriented and that the materials used are sufficient to support the structural forces and later a solution will be developed to solve the problems that the dam has with leaks.

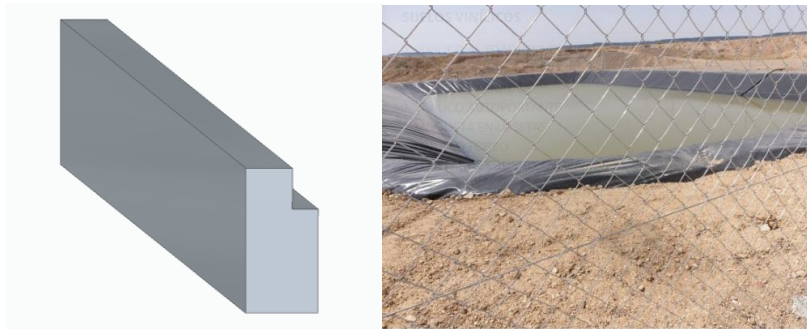
### **3. Model description**

Before beginning to make calculations and solutions for the dam, some research was carried out on the country, to find out in what context they lived. Later, different

calculations began to be made about the dam, although some estimates had to be made due to the little information that can be found about Zimbabwe.

#### **4. Results**

The checks that were made on the structure of the dam were all correct, so it will not suffer damage from tipping or sliding. The dam ends up being 2.9 meters high and 1.6 meters wide. Finally, the work of the polyethylene panel will be carried out to solve the water losses that occur in times of high rainfall.



#### **5. Conclusiones**

In conclusion, there is a supply of water for six months a year that is dedicated practically entirely to cultivation and may improve the quality of life of some inhabitants of the Mount Darwin district, improving their nutrition

## Índice de la memoria

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
MOTIVACIÓN .....	10
OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	11
OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE .....	12
METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....	13
<b>2. CONTEXTO DEL PROYECTO .....</b>	<b>16</b>
CONTEXTO POLÍTICO .....	16
<i>Política interior</i> .....	17
<i>Política exterior</i> .....	17
CONTEXTO ECONÓMICO .....	18
CONTEXTO SOCIAL Y CULTURAL .....	19
CONTEXTO GEOGRÁFICO .....	21
<b>3. TIPOS DE PRESAS .....</b>	<b>23</b>
PRESA DE FÁBRICA .....	25
<i>Presa de gravedad</i> .....	25
<i>Presa de bóveda</i> .....	26
PRESA DE MATERIALES SUELTOS .....	27
<i>Presa homogénea</i> .....	28
<i>Presa de núcleo</i> .....	28
<i>Presa de pantalla</i> .....	29
<b>4. ANÁLISIS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PRESA .....</b>	<b>30</b>
DEMANDA POR SATISFACER .....	30
TOPOGRAFÍA .....	32
ESTUDIO GEOLÓGICO .....	35
ESTUDIO GEOTÉCNICO .....	37
ESTUDIO HIDROLÓGICO .....	39
<i>Aportaciones cuenca hídrica</i> .....	41
<i>Cálculo de las avenidas</i> .....	43
<i>Cálculo de evapotranspiración</i> .....	48
<b>5. CÁLCULOS .....</b>	<b>51</b>
CÁLCULOS HÍDRICOS .....	51
<i>Cálculo volumen del embalse</i> .....	51
<i>Cálculo volumen de regadío</i> .....	53
<i>Cálculo cota de coronación</i> .....	58
<i>Cálculo ancho de coronación</i> .....	63
<i>Volumen final del embalse</i> .....	64
CÁLCULOS RESISTIVOS .....	66
<i>Cálculo parámetros roca intacta</i> .....	66

	<i>Cálculo de esfuerzos estructurales</i> .....	72
	COMPROBACIÓN ESTABILIDAD FRENTE A DESLIZAMIENTO .....	76
	COMPROBACIÓN ESTABILIDAD FRENTE A VUELCO .....	77
	COMPROBACIÓN DE LA TENSION MAXIMA ADMISIBLE .....	80
<b>6.</b>	<b>ANALISIS DE SOLUCIONES</b> .....	<b>81</b>
<b>7.</b>	<b>DESARROLLO DE LA SOLUCION</b> .....	<b>85</b>
<b>8.</b>	<b>PRESUPUESTO</b> .....	<b>90</b>
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>92</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>93</b>
<b>11.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>97</b>
	ANEXO I: MAPAS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS.....	97
	ANEXO II: COEFICIENTES HIDROLÓGICOS.....	99
	ANEXO III: CÁLCULOS HÍDRICOS .....	103
	ANEXO IV: CÁLCULOS RESISTIVOS .....	103
	ANEXO V: PLANOS .....	106
	ANEXO VI: PLANO CON PANTALLA IMPERMEABLE.....	108

## *Índice de figuras*

<i>Figura 1 Presa de materiales sueltos</i>	9
<i>Figura 2 Azud</i>	9
<i>Figura 3 Objetivos Desarrollo Sostenible</i>	12
<i>Figura 4 Metodología</i>	13
<i>Figura 5 Datos meteorológicos de Zimbabue</i>	14
<i>Figura 6 Organización de la política exterior en Zimbabue</i>	18
<i>Figura 7 Distribución del PIB en Zimbabue</i>	18
<i>Figura 8 Tipos de provincias en Zimbabue</i>	21
<i>Figura 9 Ubicaciones</i>	22
<i>Figura 10 Distancia entre presa y Mt. Darwin</i>	22
<i>Figura 11 Presa existente</i>	23
<i>Figura 12 Presa existente</i>	24
<i>Figura 13 Diferentes tipos de presas</i>	25
<i>Figura 14 Presa de gravedad</i>	25
<i>Figura 15 Presa con perfil triangular</i>	26
<i>Figura 16 Presa de bóveda</i>	27
<i>Figura 17 Presa homogénea</i>	28
<i>Figura 18 Presa de núcleo</i>	29
<i>Figura 19 Presa de pantalla</i>	29
<i>Figura 20 Terreno dedicado al cultivo</i>	30
<i>Figura 21 Curvas de nivel de la zona</i>	32
<i>Figura 22 Simulación de embalse</i>	33
<i>Figura 23 Cuencas hidrológicas</i>	34
<i>Figura 24 Geología de Mt. Darwin</i>	36
<i>Figura 25 Tipos de minerales</i>	36
<i>Figura 26 Geotecnia de Mt. Darwin</i>	37
<i>Figura 27 Tipos de suelos de la zona</i>	38
<i>Figura 28 Triangulo de texturas</i>	39
<i>Figura 29 Cotas de la presa</i>	72
<i>Figura 30 Esfuerzos terrenales</i>	77
<i>Figura 31 Perfil con pantalla impermeable</i>	84
<i>Figura 32 Lámina de polietileno</i>	85
<i>Figura 33 Lámina de polietileno II</i>	86
<i>Figura 34 Adhesivo CT-1</i>	87
<i>Figura 35 Barra metálica de soporte</i>	88
<i>Figura 36 Unión entre panel y barra</i>	88

## *Índice de tablas*

<i>Tabla 1 Precipitaciones por mes en el distrito de Mt. Darwin</i>	40
<i>Tabla 2 Volumen que aporta la cuenca hidrográfica</i>	42
<i>Tabla 3 Años de retorno</i>	43
<i>Tabla 4 Precipitaciones máximas por los periodos de retorno</i>	44
<i>Tabla 5 Coeficiente de escorrentía para el caudal de las avenidas</i>	45
<i>Tabla 6 Intensidad de las avenidas por cada periodo de retorno</i>	47
<i>Tabla 7 Resultado del caudal de las avenidas con los parámetros utilizados</i>	47
<i>Tabla 8 Parámetro de la radiación solar extraterrestre</i>	49
<i>Tabla 9 Resultado de la radiación total incidente con sus respectivos parámetros</i>	49
<i>Tabla 10 Cálculo de las pérdidas por evaporación</i>	50
<i>Tabla 11 Área y Volumen que se puede llegar a acumular en el embalse</i>	52
<i>Tabla 12 Datos para riego</i>	54
<i>Tabla 13 Datos para riego</i>	55
<i>Tabla 14 Volumen total requerido para el cultivo</i>	56
<i>Tabla 15 Distribución de los animales y su consumo</i>	56
<i>Tabla 16 Volumen requerido por parte de los animales</i>	57
<i>Tabla 17 Caudales de los distintos tipos de avenidas</i>	60
<i>Tabla 18 Valores del caudal de vertiente para la avenida del proyecto</i>	60
<i>Tabla 19 Valores del caudal de vertiente para la avenida extrema 1</i>	61
<i>Tabla 20 Valores del caudal de vertiente para la avenida extrema 2</i>	61
<i>Tabla 21 Cota de coronación</i>	63
<i>Tabla 22 Calculo de resguardo</i>	63
<i>Tabla 23 Altura teórica de la presa</i>	63
<i>Tabla 24 Evapotranspiración existente por mes en milímetros de agua</i>	64
<i>Tabla 25 Volúmenes que afectan al embalse</i>	65
<i>Tabla 26 Volumen final del embalse con su excedente</i>	65
<i>Tabla 27 Parámetros del macizo rocoso</i>	68
<i>Tabla 28 Parámetros del macizo rocoso</i>	69
<i>Tabla 29 Tensión normal y tangencial con su respectivo ángulo</i>	70
<i>Tabla 30 Parámetros geotécnicos imprescindibles para los cálculos estructurales</i>	71
<i>Tabla 31 Resultados de las cargas resistivas por las diferentes avenidas</i>	75
<i>Tabla 32 Distribución vertical y horizontal de las cargas en sus respectivas avenidas</i>	75
<i>Tabla 33 Cálculo de las fuerzas de fricción con los factores de seguridad.</i>	77
<i>Tabla 34 Resultado de los Momentos que aplican las cargas para la avenida NMN</i>	78
<i>Tabla 35 Resultado de los Momentos que aplican las cargas para la avenida del proyecto</i>	78
<i>Tabla 36 Resultado de los Momentos que aplican las cargas para la avenida extrema 1</i>	78

<i>Tabla 37 Resultado de los Momentos que aplican las cargas para la avenida extrema 2</i>	79
<i>Tabla 38 Reacción Normal de las avenidas</i>	79
<i>Tabla 39 Resultados de las tensiones terrenales en los puntos aguas arriba y debajo de la presa</i>	80
<i>Tabla 40 Comprobación de la tensión máxima admisible</i>	80
<i>Tabla 41 Evaluación de las diferentes alternativas</i>	83
<i>Tabla 42 Presupuesto</i>	91

## *Índice de gráficas*

<i>Gráfica 1 Porcentajes de la población de Zimbabue según el rango de edad</i>	<i>-----19</i>
<i>Gráfica 2 Tipo de religión que se practica en Zimbabue</i>	<i>-----20</i>
<i>Gráfica 3 Cantidad de horas de sol producidas en el distrito de Mt. Darwin</i>	<i>-----31</i>
<i>Gráfica 4 Precipitaciones medias producidas en Mt. Darwin</i>	<i>-----40</i>
<i>Gráfica 5 Volumen aportado por las cuencas hídricas</i>	<i>-----42</i>
<i>Gráfica 6 Resultado de las pérdidas por evaporación</i>	<i>-----50</i>
<i>Gráfica 7 Máxima área del embalse</i>	<i>-----51</i>
<i>Gráfica 8 Área acumulada con las respectivas curvas de nivel</i>	<i>-----52</i>
<i>Gráfica 9 Volumen acumulado con las respectivas curvas de nivel</i>	<i>-----53</i>
<i>Gráfica 10 Volumen total requerido por parte de los animales.</i>	<i>-----57</i>
<i>Gráfica 11 Volumen total necesario para satisfacer la demanda.</i>	<i>-----58</i>
<i>Gráfica 12 Volumen final que logramos embalsar</i>	<i>-----66</i>
<i>Gráfica 13 Comparación de la tensión normal con la tensión tangencial</i>	<i>-----70</i>
<i>Gráfica 14 Ampliación de la comparación entre tensión normal y tangencial</i>	<i>-----71</i>



## 1. Introducción

Nos situamos en un país al sudeste de África, Zimbabue con capital Harare, dicho país se encuentra en una situación de bastante bajo desarrollo económico careciendo de grandes cantidades en provisiones y artículos que, a su vez, tienen un gran problema con el desarrollo humano, aunque en los últimos años haya ido mejorando.

Una de las funciones principales que tiene la ingeniería en nuestra sociedad viene dado, generalmente por un desarrollo técnico que sirve para mejorar la calidad de vida del individuo y el bienestar de los seres humanos.

Con este proyecto tenemos la posibilidad de garantizarles un suministro de energía a bajo coste, ya que se trata de un desarrollo de presa hidráulica, que, al caracterizarse por ser una energía renovable, tiene unas grandes ventajas frente al impacto medioambiental, aunque después hablaremos más detalladamente de las ventajas o inconvenientes que puedan existir.

No se va a estudiar tanto el desarrollo demográfico que existe en este país, sino centrarnos más en el desarrollo económico, qué tipo de infraestructura disponemos, cómo puede evolucionar el clima durante los últimos años, para así poder ejecutar adecuadamente nuestro plan de la presa hidráulica.

Este proyecto tiene como fin desarrollar una serie de ideas para poder poner en servicio una presa hidráulica situada en el nordeste de Zimbabue, concretamente en el distrito de Mount Darwin, cuyo pueblo es Dotito, dónde se sitúan un pequeño número de escuelas que han sido construidas hace pocos años para que puedan adquirir cada vez nuevos conocimientos y vivir en un ambiente más sociable en el que puedan disfrutar de las pequeñas cosas tienen.

Por lo tanto, la instalación de la presa tiene que ser relativamente pequeña, ya que solo necesitaremos suministrar energía al colegio de agricultura construido hace pocos años y situado muy cerca de la zona de la instalación de la presa minihidráulica.

Zimbabue dispone de multitud de ríos y lagos, debido a las elevadas precipitaciones y fuertes lluvias que sufre el país durante una pequeña época del año. Esta es una de las características esenciales en las que hay que basarse para poder realizar el diseño de la presa, necesitando conocer cuánta agua hay disponible, además de qué tipo de contaminantes contiene la que llegaremos a almacenar, aunque esto será un paso más secundario por lo que nos centraremos más detenidamente en la construcción de la presa.

Por ello se estudiarán todos los aspectos técnicos y económicos para desarrollar una presa lo más efectiva y fiable posible, con las provisiones justas que puedan contar los habitantes de esta ciudad, para no comprometer de manera drástica la economía de estos territorios.

Todo esto será viable si los aspectos positivos contrarrestan con claridad a los aspectos negativos, ya que no se instalará una presa en la que haya que gastarse una gran cantidad

de dinero. Hay que ser conscientes de dónde se va a realizar, en qué desarrollo técnico nos encontramos y evidentemente de qué presupuesto se dispone.

La energía hidroeléctrica contiene unas grandes ventajas, como la de ser limpia, autóctona, y como el resto de las energías renovables se caracteriza por ser inagotable. Especialmente las centrales de menos de 10 MW, que son las que trataremos en este trabajo, son denominadas centrales minihidráulicas y a diferencia de las centrales de una potencia mayor a 10 MW, pueden alojarse en diferentes áreas para el aprovechamiento hidroeléctrico, mientras que las otras deben estar cerca de la cuenca hidrográfica.

Uno de los problemas principales a los que se enfrenta Zimbabue a la hora de instalar cualquier central hidroeléctrica es que sufren, debido a la situación geográfica a la que han sido destinados, de un clima tropical prácticamente durante todos los meses del año, dependiendo de la estación, alcanzan unas temperaturas máximas de 23 a 31 grados, mientras que en los meses más fríos disponen de una temperatura de hasta los 8 grados. Esto supone unas grandes épocas de sequía, poniendo en dificultades la captación de las aguas para el embalse, así como de realizar un diseño del desarrollo de un aprovechamiento hidroeléctrico.

Los principales proyectos en el que me estoy basando sería el de Manuel Pequeñas y Rebeca Diaz Muñoz.

El primero habla y elabora un plan sobre la instalación de una presa pequeña en las zonas de Uruguay, está más centrado en los cálculos del volumen del embalse, de la potencia necesaria y la demanda del agua que, de la propia construcción de la presa, pero todos estos detalles son muy útiles para la construcción. Además, desarrolla un proyecto sobre la instalación de presas en zonas de Uruguay poco desarrolladas, lo que facilita la recogida de información de las diferentes ideas que se hayan podido dar.

Luego la siguiente información sobre la que me estoy basando sería la construcción de pequeñas presas en León, la gran ventaja que me está dando este proyecto es la información que muestra sobre las diferentes presas que se pueden instalar según donde este situada la central, porque el mayor problema que tenemos es que nuestra presa se sitúa muy lejos del río más cercano, y la mayoría de los proyectos están basados en construcciones de centrales a pie de presa (se construye el embalse mediante las aportaciones del río).

Por último, me encantaría mencionar al proyecto de Francisco Javier Martínez. Este proyecto se basa principalmente en dar información sobre los tipos de presa, como puede ser de gravedad, de bóveda, de escollera, homogéneas y más. Lo que más me sorprende de este estado es que detalla toda la información de cada una, sobre los tipos de materiales necesarios para cada presa, el tipo de altura necesaria según el tipo de presa y muchas más cosas.

Como conclusión, en todos los proyectos en los que me estoy basando mencionan siempre lo mismo, hay que investigar el tiempo necesario y con efectividad, el terreno donde vamos a realizar la presa, para así conocer todos los materiales que puedan estar a nuestra disposición y los que nos sean útiles, para así poder realizar la presa más efectiva fiable y económica posible.

En las siguientes dos imágenes podemos ver dos distintas presas bastante parecidas al proyecto final.



*Figura 1 Presa de materiales sueltos*



*Figura 2 Azud*

La primera de ellas tiene la característica de que está construida por los materiales de la naturaleza del lugar, que en ese caso son piedras y tierra además proporcionando la suficiente impermeabilidad para que no existan fugas.

La segunda presa contiene unas dimensiones muy semejantes a la presa diseñada en Zimbabue, aunque está construida por otros materiales como es el hormigón.

## MOTIVACIÓN

Durante los últimos años, se ha intentado realizar el desarrollo de la presa hidráulica, pero por varios asuntos que existen en la actualidad, como en el caso del COVID-19, que ha estado muy presente sobre estas zonas de África, por grandes problemas económicos que sufre el país y pocas ayudas que han podido tener desde el exterior, no se ha podido llevar a cabo dicha instalación.

La motivación principal que me llevó a lanzarme por este proyecto fue por la sencilla razón de poder ayudar a personas desfavorecidas a raíz de todo lo aprendido y evolucionado durante estos cuatro años de carrera, es todo un privilegio poder alcanzar un desarrollo de una presa hidráulica a la misma vez que puedo aportar un mínimo beneficio a las personas que habitan en un país de las características como este.

Los habitantes que viven en este tipo de países tienen la tendencia a vivir en una especie de burbuja en la que no optan a ningún tipo de alojamiento, ni de estudios, ni de algo tan necesario como es la comida y bebida del día a día.

Muchos de ellos han tenido la desgracia de no disponer de ningún tipo de derecho, ya que en estos países existen clases con grandes desequilibrios, generalmente, el que nace pobre muere pobre.

Algunos alumnos que estudiamos en esta universidad tenemos la posibilidad de cambiar esta situación, aunque sea en menor medida, en mi caso, tengo la oportunidad de poder suministrarles, a un pequeño recinto de Zimbabue, energía eléctrica mediante el diseño de la presa, sin llegar a tener ningún impacto en el exterior.

Otras de las razones que me hicieron decantarme por este proyecto fue por los grandes problemas que tienen en la actualidad a la hora de adquirir nuevos conocimientos. En Zimbabue, la educación primaria es gratuita hasta la edad de los 8 años, pero para alcanzar la educación secundaria deberías, prácticamente, ser hijo de una familia sin ningún problema monetario, ya que se necesita el pago de unas tasas realmente elevadas que muy poca gente se puede permitir.

Por lo tanto, no están en la disponibilidad de poder llegar a desarrollar un trabajo como este, quizás tengan todo lo necesario para implantar la presa, pero no los argumentos para poder ponerla en servicio.

## OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es realizar un estudio sobre la viabilidad de la instalación de una presa hidráulica en Zimbabue, en el distrito de Karoi.

Está pensado aprovechar diversas herramientas y elementos de los que se favorece la ciudad, para poder minimizar todos los costes posibles y, por consiguiente, minimizar cualquier impacto medioambiental.

Mediante un pequeño tratamiento del agua, se devolverá consecuentemente al río al haberse realizado todo el proceso, y la producción de energía eléctrica se dirigirá a la red eléctrica.

Con todo esto obtendremos cantidades de energía eléctrica que pueden servir para calefacción, alumbrado, en una zona en la que apenas se dispone de electricidad.

### Este proyecto tiene diversos objetivos:

1. Evaluación y estudio de los distintos recursos hidrológicos que dispone el área en cuestión.
2. Estudio de los materiales disponibles en el área en cuestión.
3. Cálculo y diseño de la obra civil (de lo que sea necesario) y de todos los parámetros que intervengan en la operación.
4. Estudio de la viabilidad económica.

Todos estos objetivos planteados son cruciales para llevar a cabo correctamente el desarrollo de la presa.

Primeramente, necesitaremos conocer de dónde viene el agua que queremos embalsar, y qué tipo de contaminación contiene, a posterior se deberá investigar el tipo de terreno y qué dimensiones adopta, para así conocer de antemano, aproximadamente, la cantidad de agua que podrá aguantar la presa y a raíz de ahí calcular la altura.

Para poder minimizar todos los costes, tendremos que familiarizarnos con los materiales que disponen en ese sitio, y consecuentemente construir la presa con los materiales que más habiten, evidentemente no se escogerán materiales con poco soporte, ya que tienen que aguantar litros y litros de agua.

Finalmente habrá que evaluar si realmente es necesario la instalación de la presa, se estimarán los costes que supone el desarrollo de todo el proyecto, así como los beneficios que esta puede producir.

Con respecto al impacto medioambiental, Zimbabue fue uno de los países más afectados por fenómenos meteorológicos en 2019, sufriendo graves tormentas y ciclones tropicales de alto impacto. En los últimos dos años, Zimbabue se ha subido al tren del cambio climático, logrando bajar más de unas 0,5 megatoneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>, que corresponde con un 4,2% con respecto a 2019, por ello es necesario analizar el impacto

medioambiental que esta presa hidráulica puede suponer al país, aunque estemos hablando de una energía limpia y renovable.

## OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

La ONU presenta los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible que a la hora de realizar nuestro proyecto deberemos tener en cuenta cuáles son los implicados y cómo los podríamos cumplir.



*Figura 3 Objetivos Desarrollo Sostenible*

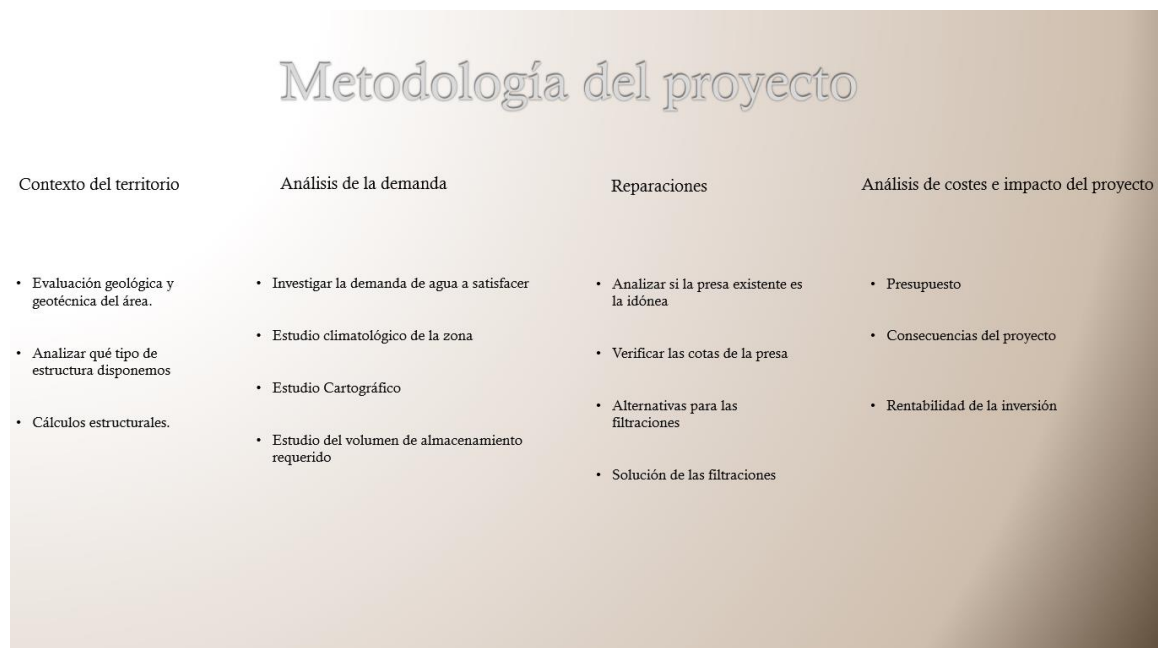
Claramente como el proyecto se basa en un país con muy poco desarrollo, deberíamos nombrar **‘fin de la pobreza’**, **‘hambre cero’**, **‘salud y bienestar’**. Con este proyecto y los demás realizados en la parte de Zimbabue podríamos cumplir con estos tres objetivos, en mi caso, suministrándoles energía a poco precio. Otros de los objetivos que están intrínsecamente relacionados con este trabajo serían **‘agua limpia y saneamiento’**, **‘energía asequible y no contaminante’**, **‘trabajo decente y crecimiento económico’**, **‘industria, innovación e infraestructura’**, **‘producción y consumo responsables’** y **‘acción por el clima’**.

Estos últimos seis objetivos están muy implicados, ya que nuestro diseño es el de una presa, una energía limpia la cual no contamina ni el aire ni el agua. Además, el desarrollo de la presa puede originar diferentes actividades como la pesca. Se mejorará la calidad del agua, ya que es necesario un agua limpia para el embalse. Se aportará un desarrollo

en la infraestructura, porque en Zimbabue, sobre todo en esa zona, no optan por ejecutar infraestructuras así.

## METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Para realizar este proyecto deberemos seguir la metodología que se muestra en la siguiente imagen:



*Figura 4 Metodología*

### Contexto del territorio:

Conocer el tipo de área en la que vamos a trabajar es primordial para poder desarrollar adecuadamente nuestros conocimientos para la ejecución de la presa. Se investigarán los materiales, materias primas, herramientas, dimensiones del embalse de la zona para poder ahorrar todo lo posible en suministros y acabar realizando una presa fiable.

La localización ya la tenemos determinada, como se mencionó anteriormente, el desarrollo de la presa ya se inauguró, pero no se pudo llevar a cabo debido a diversos problemas. Lo que deberemos estudiar en este apartado son todos los elementos de utilidad que necesitamos y familiarizarnos con el entorno.

Coordenadas: 16°32'59.9"S 31°31'29.1"E

### Análisis de la demanda del agua:

Antes de realizar cualquier cálculo técnico o económico, es necesario conocer la disposición de agua en nuestra zona, para ello se analizará la situación climatológica que sufre el lugar, de dónde nos conviene aportar el agua a la represa.

Nuestro embalse se caracteriza por ser de tipo lateral, eso significa que tiene una ubicación fuera del cauce fluvial, cuya función principalmente es la de almacenamiento de agua, esto es debido a que en Zimbabue los climas de sequía son mucho más presentes que los húmedos y habrá que almacenar esta energía para poder suministrarla en épocas punta.

Aunque Zimbabue se caracteriza por tener un clima tropical, tiene bastantes épocas de precipitaciones altas proporcionando grandes periodos de lluvia.

En la siguiente figura se muestra las temperaturas medias y precipitaciones durante los últimos 30 años en el nordeste de Zimbabue. <sup>1</sup>

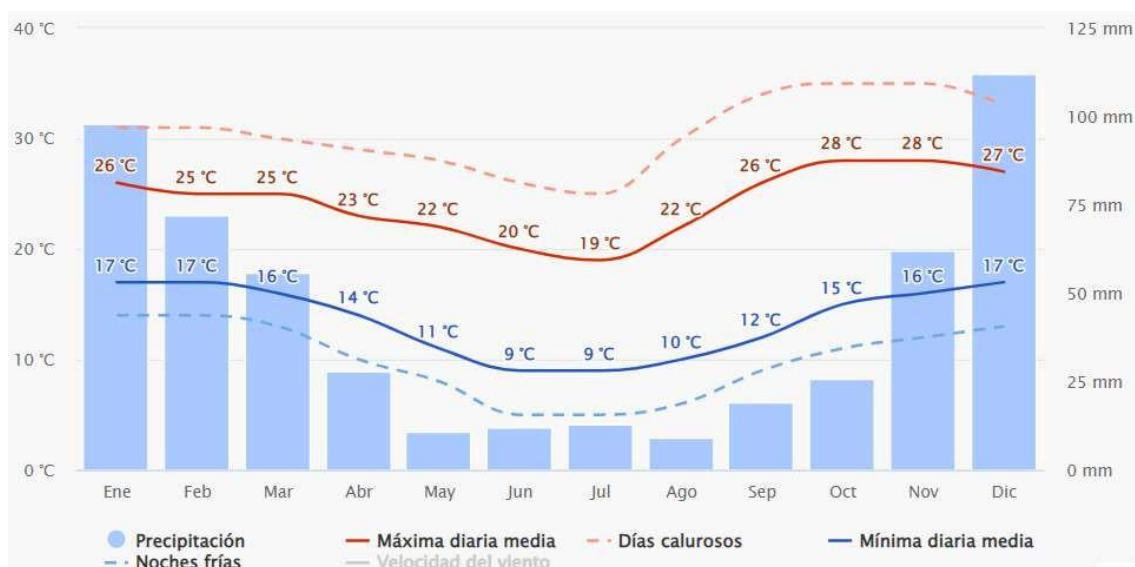


Figura 5 Datos meteorológicos de Zimbabue

Podemos observar que se presentan unas precipitaciones más altas en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre, estos serán los meses donde procederemos a almacenar el agua en el embalse para poder suministrarla durante los demás meses del año, que es dónde se aprecia una época de sequía.

### Diseño de las obras necesarias:

Después de conocer el contexto territorial y la cantidad de agua que disponemos en el embalse procederemos a diseñar la presa y los elementos necesarios para la realización.



En primer lugar, se decidirá qué tipo de presa es la más apropiada, al situarnos en un lugar como este, no es muy común la obtención del hormigón, que es el material mas utilizado para el soporte del embalse, ya que puede elaborar construcciones muy estables y duraderas. En este caso tenemos la opción de hacer una presa de tierra en la que se requiere una serie de factores o una presa de escollera, cuya mayor parte está compuesta de piedras volcadas o en capas.

Posteriormente se estudiará el diseño del aliviadero o vertedero, es un elemento imprescindible que descarga todos los excesos de agua que no se desean almacenar, sino se realizara dicho diseño podría llegar algún momento en el que el agua se exceda de la presa y empiece a caer por la corona originando un posible colapso en la estructura.

#### Análisis de costes e impactos del proyecto:

Conociendo la potencia instalada de la central podremos conocer la viabilidad económica de la central hidráulica, se tendrán en cuenta los costes de la inversión inicial y los costes de operación y mantenimiento. Además, se estimarán los ingresos por los beneficios obtenidos de la venta de energía eléctrica a la red.

El estudio del impacto medioambiental trata de estudiar y tomar diferentes medidas para los cambios que produce la instalación de la presa, se presentaran diferentes impactos como pueden ser el impacto sónico, biológico o paisajístico.

Los impactos que analizaremos en este proyecto ocurrirán durante la fase de operación de la presa, ya que la central hidráulica producirá otros impactos al medioambiente.

A parte de lo comentado en esta sección, se analizará el impacto que tiene la instalación de esta presa a la sociedad, pudiendo producir un desarrollo en la industria pesquera, regadíos etc.

## 2. CONTEXTO DEL PROYECTO

Antes de adentrarnos en el desarrollo del proyecto necesitamos conocer las características esenciales del país en cuestión. Para ello se mostrarán una serie de datos relevantes sobre la situación que contiene hoy en día Zimbabue.

Esta contextualización es la principal base para poder ejecutar el proyecto de la manera más idónea posible, posteriormente se analizarán todos los tipos de presas existentes, que evidentemente, para elegir el tipo de presa más factible será necesario conocer los diferentes factores políticos, sociales, económicos y geográficos del país.

Más adelante nos ceñiremos en el desarrollo del territorio de Mount Darwin, pero para ello es de vital importancia conocer los aspectos más importantes del país situado al sur de África.

### CONTEXTO POLÍTICO

El estado de Zimbabue está constituido por una República, cuyo poder ejecutivo es ejercido por el presidente, quien es jefe del Estado, del Gobierno y de las Fuerzas de Defensa y es elegido de forma directa por un periodo de cinco años.

El actual presidente de Zimbabue, Emmerson Mnangagwa, es el encargado de designar a los ministros y viceministros entre miembros del Senado y la Asamblea Nacional, y de personas que no pertenezcan al Parlamento.

Por otro lado, el poder legislativo está depositado en el Parlamento, compuesto por el Senado y la Asamblea Nacional, cuyos miembros también tienen un periodo de cinco años.

La composición del Senado contiene 64 integrantes de diferentes grupos parlamentarios, de los cuales 35 son hombres y 29 mujeres.

Mientras que la Asamblea Nacional está compuesta por 197 integrantes, con 152 hombres y 45 mujeres, colocándose en el número 45 a nivel mundial por el número de escaños ocupados por mujeres en el Parlamento.

### *Política interior*

Con la independencia reconocida en 1980, Zimbabue pasa de ser uno de los países de África con mejor desarrollo a uno de los países más pobres del condado.

Todo viene determinado por un conflicto entre el expresidente Robert Mugabe, que lideraba grupos armados de la ZANU (Unión Nacional Africana de Zimbabue), Joshua Nkomo de la ZAPU (Unión Popular Africana de Zimbabue) e Ian Smith, que en 1965 se convierte en primer ministro de Rodesia del sur. Se adquirió el nombre de Rodesia debido a que Cecil John Rhodes, magnate de la minería, fundó la compañía británica del sur de África, con el objetivo de obtener todo el control sobre los minerales de la zona, dándoles a cambio a las propias tribus su protección absoluta. Es por ello por lo que se le acabó llamando Rodesia del norte (Zambia) y Rodesia del sur (Zimbabue).

Entre 1969 y 1970, por medio de un referéndum, se adoptó una Constitución en la que se estableció la República de Rodesia y el control político de la minoría blanca.

Una década después, comenzaron los ataques entre la armada de Robert Mugabe y el Gobierno de Smith, lo que, en 1979, derivó en un acuerdo de paz entre todos los partidos políticos y elaboraron una nueva Constitución que asegura los derechos de las minorías.

Finalmente, en 1980 consiguen independizarse de Reino Unido y Robert Mugabe es elegido primer ministro. Durante su mandato se expropiaron las tierras a los agricultores blancos del país y pasaron a manos de ciudadanos afines al gobierno con escasa experiencia.

Llegado el siglo XXI, la situación ya era inadmisibles, y el presidente Robert Mugabe acabó dimitiendo ante la toma de poder por parte del Ejército y la tensa relación que tenía con su partido. Tras finalizar el 2017, Mnangagwa fue nombrado primer ministro, prometiendo que su administración sería diferente.

### *Política exterior*

La Constitución de Zimbabue está basada en la protección de sus derechos nacionales y el respeto al Derecho Internacional.

Mantiene unas grandes relaciones con los países colindantes, no de igual manera con la Unión Europea, que en la última década se ha visto bastante dañada.

Zimbabue forma parte de varias organizaciones, como pueden ser las más importantes:

<i>Ámbito</i>	<i>Organización</i>
Internacional	Naciones Unidas (ONU)
Internacional	Organización Mundial del Comercio (OMC)
Internacional	Organización Mundial de la Salud (OMS)
Internacional	Fondo Monetario Internacional (FMI)
Internacional	Asociación Internacional del Desarrollo (IDA)
Regional	Banco Africano del Desarrollo (BAfD)
Regional	Mercado Común de África Oriental y Meridional (COMESA)
Regional	Unión Africana (UA)
Regional	Comunidad de Desarrollo de África Austral (CDAA)

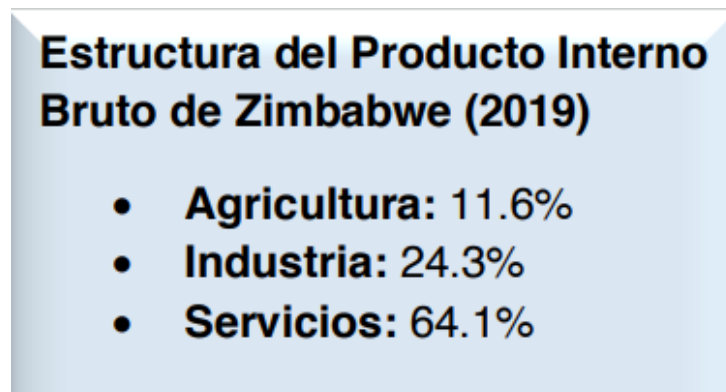
*Figura 6 Organización de la política exterior en Zimbabwe*

## CONTEXTO ECONÓMICO

Pasada la independencia en 1980, la economía del país empezó a descender considerablemente, debido a la mala gestión realizada por el presidente Mugabe, empezaron a aumentar las deudas del país, en especial las tasas de inflación, que llegaron en 2019 hasta un 255% de incremento.

Aunque Zimbabwe está dotada de grandes cantidades de recursos como pueden ser el tabaco, el algodón, el maíz y grandes yacimientos de oro, plata, cobre, diamante, níquel y carbón, los factores como la falta de divisas, combustible, electricidad y la gran sequía producida por el fenómeno del ‘Niño’, dejando a la región de África del sur con 2,7 millones de niños en riesgo de desnutrición, provocaron una disminución en la agricultura y en la minería de un 27% en 2019.

Concretando más sobre la situación económica del país hoy en día, se estima que en 2019 el producto interior bruto (PIB), se puede clasificar en tres sectores:

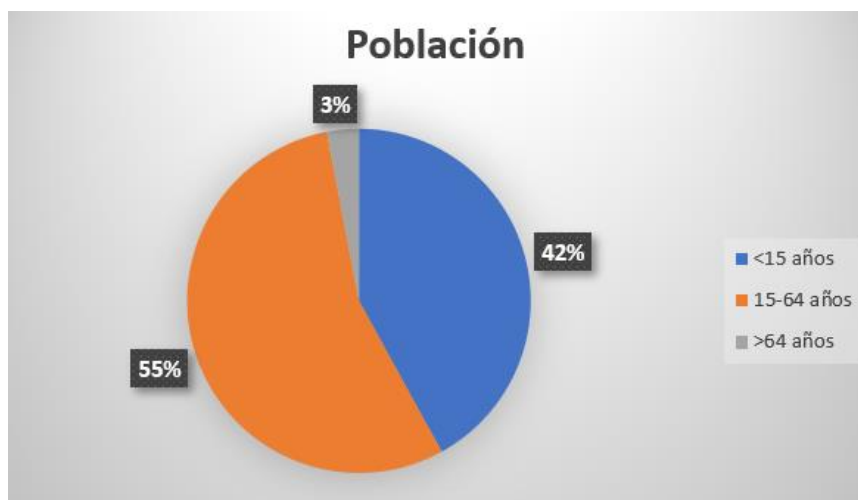


*Figura 7 Distribución del PIB en Zimbabwe*

Finalmente, en 2019, el gran aumento en el precio del combustible y a la enorme sequía a la que está sometida el país, provocó un considerable aumento en los alimentos, derivando en un 34% de la población que sufren de pobreza extrema. Es por ello por lo que se pasó de nuevo a la moneda nacional, el dólar zimbabuense, ya que en 2009 debido a la hiperinflación utilizaban divisas como el dólar y el euro. <sup>2</sup>

## CONTEXTO SOCIAL Y CULTURAL

Según las estimaciones de los últimos años, Zimbabue cuenta con una población de casi 14 millones de habitantes (13.724.317 habitantes), de los cuales el 42% son niños menores de 14 años, el 55% están entre 15 y 64 años, y el 3% que resta mayores de 64 años.

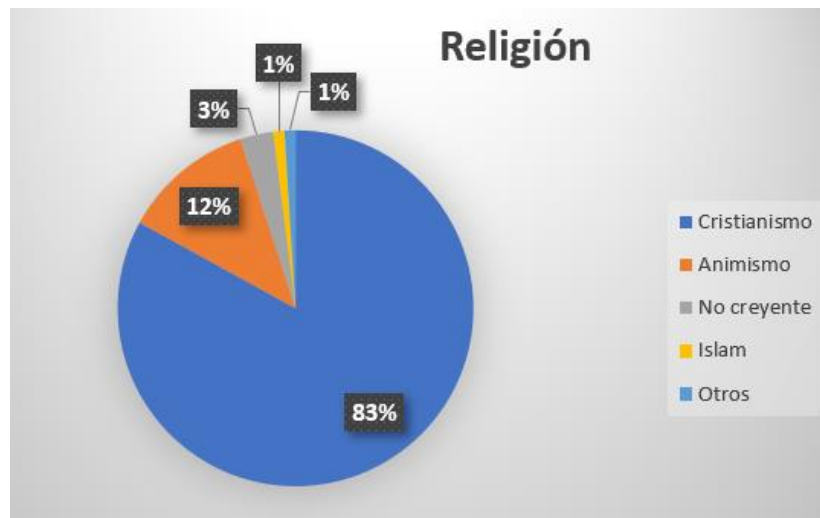


*Gráfica 1 Porcentajes de la población de Zimbabue según el rango de edad*

En 1986 la esperanza de vida era de aproximadamente los 61 años, mientras que según avanzaban los años la economía del país descendía drásticamente y por lo tanto la esperanza de vida decayó en 2004 hasta los 43 años.

Hoy en día no tenemos datos exactos de la natalidad y mortalidad en Zimbabue, pero debido a la pandemia mundial, no hay una esperanza de mejora en la población.

Con respecto a la religión de Zimbabue, podemos decir que un gran porcentaje de la población es creyente en un 97,5% en Zimbabue, siendo el cristianismo la religión más predicada, con más del 80%. La segunda religión con más importancia es el Animismo, con un 12% de la población que lo profesa.



*Gráfica 2 Tipo de religión que se practica en Zimbabwe*

En cuanto al lenguaje en el país, Zimbabwe tiene tres lenguas oficiales, como son el Shona, el Ndebele y el inglés. La lengua más utilizada es el Shona, que lo hablan aproximadamente dos tercios de la población, mientras que el Ndebele es hablado solamente por un quinto. El inglés en estos casos es utilizado mayoritariamente para los negocios.

Por último, la relación que existe entre personas que habitan en zonas rurales con las que lo hacen en zonas urbanas es bastante importante, únicamente el 32% de la población viven en zonas urbanas, donde se concentran en las grandes ciudades, como son en la capital Harare, y Bulawayo por su gran infraestructura ferroviaria.

El otro 68% habitan en zonas rurales, donde se han ido mejorando los accesos al agua potable, aunque aún queda mucho por hacer, ya que una parte de la población sufren de diarreas y hepatitis por la falta de acceso.

Este proyecto viene hilado a la perfección con estos acontecimientos nombrados anteriormente, ya que tenemos la posibilidad de aumentar este acceso, aunque sea a un pequeño territorio de Zimbabwe, aumentando las cosechas y los regadíos del distrito, y por lo tanto proporcionando más facilidades para la obtención de alimentos. <sup>3</sup>

## CONTEXTO GEOGRÁFICO

La República de Zimbabwe se encuentra al sur de África, rodeada por Sudáfrica, Botsuana, Zambia y Mozambique. Este país se encuentra limitado por dos ríos, el más famoso y turístico en el noroeste, el río Zambeze, donde se sitúan las cataratas Victoria, y en el sur por el río Limpopo. Zimbabwe consta de una superficie total de 390.580 km<sup>2</sup>, destinados casi un 40 % a la agricultura.

Concretando más detenidamente en el proyecto, Zimbabwe está dividida en 8 provincias y dos ciudades con estado de provincia como son Bulawayo y Harare (la capital).<sup>4</sup>

Como ya se ha comentado, el distrito de Mount Darwin se sitúa al nordeste del país, concretamente en la provincia de Mashonalandia Central, que está a unos 160 km de la capital Harare.

Según los últimos datos, se estima que la población en el distrito es de unos 6350 habitantes.

La ubicación exacta donde se encuentra la ONG, Child Future África, es en el poblado de Dotito, donde se estiman en torno a los mil habitantes y se encuentran a unos 25 km de Mount Darwin.



Figura 8 Tipos de provincias en Zimbabwe

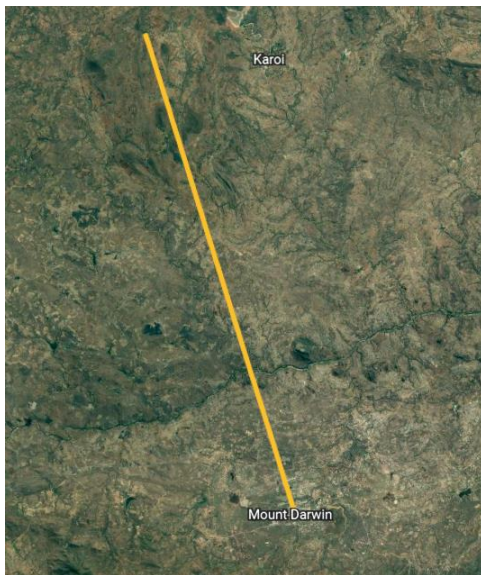


Figura 10 Distancia entre presa y Mt. Darwin

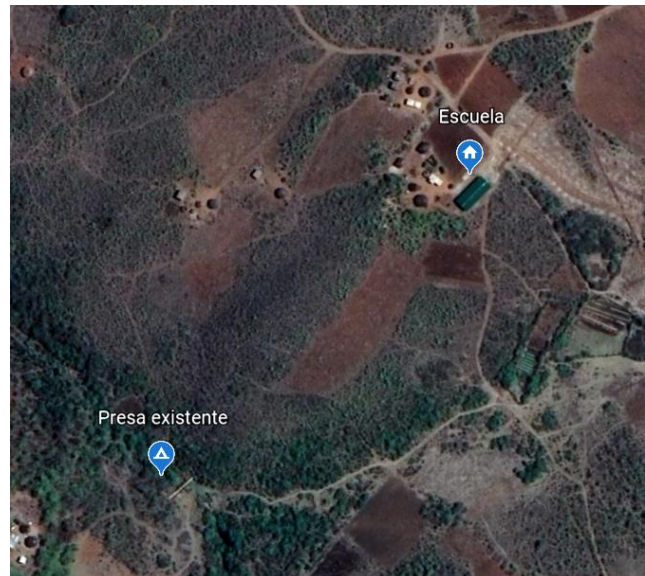


Figura 9 Ubicaciones

Como se puede observar en la Figura 9, la escuela a la que la ONG proporciona toda la ayuda posible tanto en educación, formación, suministro de agua, alimentación, se encuentra solamente a unos 250 metros de la presa.

Finalmente, Zimbabwe también está dividido según una serie de factores relacionados con el nivel de lluvia, calidad de la tierra y la propia vegetación de la zona. Situándose la zona de mayor nivel de agua en el nordeste del país, mientras que las zonas más cálidas se ubican más al sur de Zimbabwe. Esto da lugar a una temperatura media en el distrito de Mount Darwin de 20 °C y un 38% de humedad.



### 3. TIPOS DE PRESAS

La mini presa implementada en el distrito de Mount Darwin se hizo con la intención de poder sostener el agua en la presa durante las épocas más cálidas y poder conseguir una mejora en la calidad de vida.

Dicha presa fue construida prácticamente por las personas de la comunidad, aunque la idea es sensacional, ya que más del 90% de los que habitan en zonas rurales sufren considerablemente de falta de recursos hídricos, no fueron capaces de implementar la ejecución de la presa de forma correcta. Esto es algo evidente, estas personas no tienen la oportunidad de adquirir los conocimientos técnicos suficientes para poder elaborarlo de la mejor manera.

Debida a estas limitaciones tecnológicas, no se pudo retener el agua en los suelos de la presa, debido a algún problema en las impermeabilidades del suelo, produciendo fugas y proporcionando la incapacidad de suministro.

Por lo tanto, este proyecto tendrá el fin de poderles aportar todos los materiales necesarios para que puedan restaurar la presa y así, poder obtener un pequeño suministro de electricidad, a la vez que se pueden proporcionar alguna serie de actividades y trabajos.

Antes de empezar a describir y analizar los distintos tipos de presa, se identificará brevemente la presa que está ya instalada en el distrito de Mount Darwin.



*Figura 11 Presa existente*



*Figura 12 Presa existente*

En las siguientes imágenes podemos observar que la presa se ha construido mediante la composición de grandes rocas adheridas con gran parte de arena y arcilla.

Se trata de una presa construida por los materiales que habitan en el territorio, para evitar cualquier coste extra. El principal problema de la presa es que el suelo no alcanza la suficiente impermeabilidad para poder aguantar el agua durante las épocas de sequía, para ello se estudiarán todas las características esenciales del terreno y se argumentará cual es la mejor opción para poder evitar este problema.

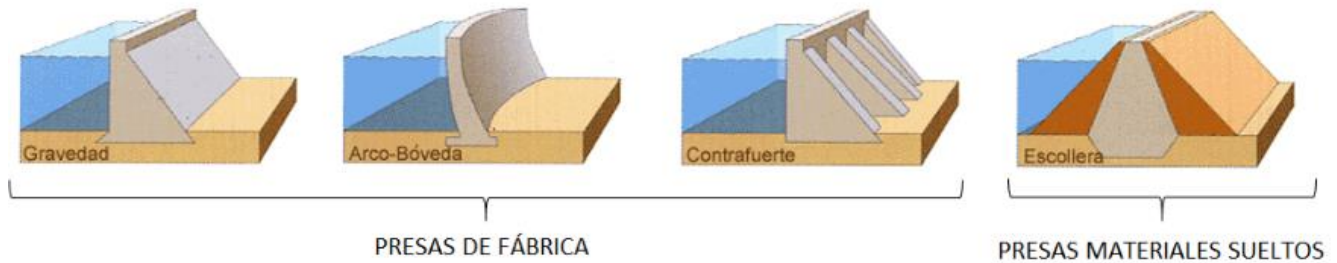
Primero, para poder elegir adecuadamente el tipo de presa nos tenemos que fijar en varios factores determinantes, para ello se deberá estudiar la topografía, las condiciones geológicas y geotécnicas del terreno, los aspectos hidrológicos y climáticos y la disponibilidad de materiales para la construcción, así como algunos aspectos ambientales y sociales que se estudiarán más adelante.

Por lo tanto, lo que se realizará será un análisis exhaustivo de todos los tipos de presa que existen y finalmente se decidirá cuál es conveniente para imponerla en el terreno.

El tipo de presa se caracteriza según dos principales criterios, uno es el tipo de materiales y técnicas que lo componen, y el otro según donde tiene el agua almacenada, puede ser superficial o subterránea.

En cualquier caso, las presas se clasifican por dos grandes grupos, presas de fábrica, que son las que contienen hormigón, y las presas de materiales sueltos, que suelen ser las más utilizadas debido a su gran versatilidad.

En la siguiente imagen podemos observar los distintos tipos de presa según las características mencionadas anteriormente: <sup>5</sup>



*Figura 13 Diferentes tipos de presas*

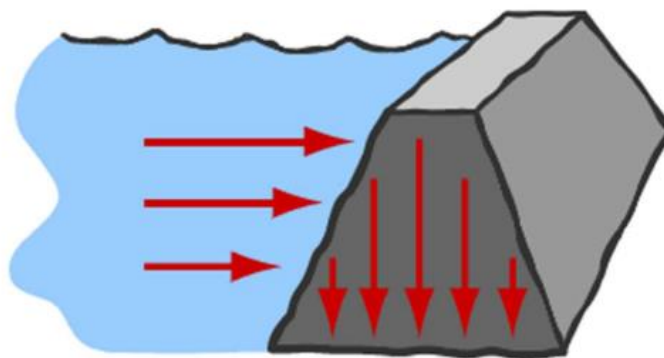
A continuación, se mostrará una serie de información sobre cada tipo de presa, así como las ventajas y desventajas que tienen en algunos factores determinados para la realizar la correcta elección de esta.

## PRESA DE FÁBRICA

Este tipo de presas se caracterizan por ser relativamente esbeltas y construidas generalmente con hormigón. Estas construcciones antiguamente se utilizaba la mampostería.

### *Presa de gravedad*

Como bien dice su nombre, el principal mecanismo resistente de la presa es el rozamiento del cuerpo de la presa con el terreno. Por lo tanto, la fuerza resultante del agua tiene que ser soportada en su totalidad por la fuerza contenida en la base del cuerpo de la presa.



*Figura 14 Presa de gravedad*

Prácticamente en su totalidad están construidas por hormigón, que trabaja a compresión, por lo que habrá que tener un especial cuidado en el control de tracciones, siendo evidentemente, el punto de más arriba el más desfavorable.

Inicialmente, cuando aún no había llegado el conocimiento suficiente sobre la resistencia de materiales, se construían presas de forma rectangular con el aliviadero fuera del cuerpo de presa, pero con la teoría de Navier en 1826, se llegó a la conclusión de que el perfil más eficiente tendría una forma triangular, de esa manera tendría mayores niveles de resistencia a compresión como una mejora económica.

Finalmente, se descubrió que la combinación entre la estructura triangular y una planta curva mejoraría la resistencia del conjunto. <sup>6</sup>



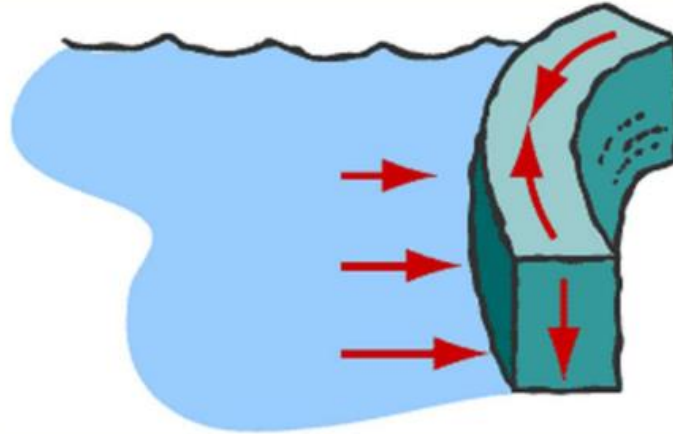
*Figura 15 Presa con perfil triangular*

Con respecto a los factores que influyen en la presa, podemos decir que generalmente son construidas para un tipo de suministro elevado, que para ser efectivas deben tener la mayor longitud posible.

Es difícil ver este tipo de presas en países subdesarrollados, ya que se necesita de un equipo bastante cualificado para poder llegar a armarlas, otra de las evidentes razones por la cual no es conveniente esta presa es el tipo de material a utilizar, ya que en el territorio en el que está construida la presa no disponen de hormigón, y no es posible poder adquirirlo para la construcción.

*Presa de bóveda*

Estas presas también son construidas con hormigón, pero con mucha menos cantidad. Se tratan de construcciones curvas y delgadas, donde la base en cimentaciones y estribos debe tener un alto grado de resistencia.



*Figura 16 Presa de bóveda*

Aunque se trate de una forma curva, debido a la menor cantidad de hormigón, las hace menos costosas y con un menor plazo de proceso de ejecución.

El problema principal en este tipo de presas está en los estribos, que es la parte de la presa que se apoya o penetra en las orillas del río o en un curso de agua. Se tiene la necesidad de conocer con exactitud la capacidad de los esfuerzos de los estribos para poder hacer frente a las cargas que puedan aparecer. Como conclusión, se necesita un terreno de gran capacidad portante y un gran cimiento interior de presa.

## PRESA DE MATERIALES SUELTOS

Estas presas se caracterizan por su versatilidad, porque se pueden construir prácticamente con cualquier material, siendo consecuentemente las más abundantes en el mundo. Son mucho menos esbeltas que las de fábrica, con la característica de zonificación de sus materiales, es decir, cada tipo de material es colocado donde mejor ejerza su función.

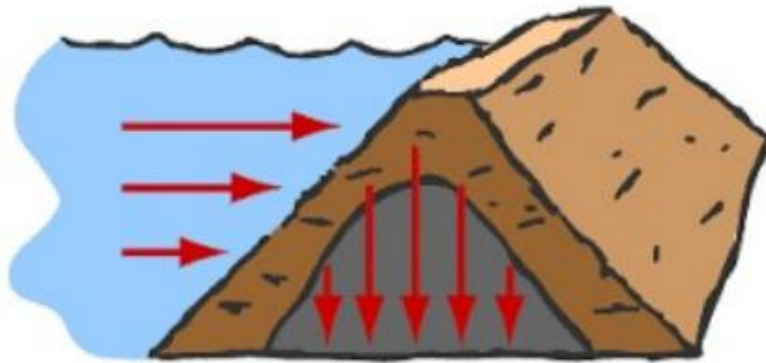
El cuerpo de estas presas se puede construir ya bien sea con escollera, arcilla, arena, gravas, rocas o limos.

### *Presa homogénea*

Son presas donde los materiales utilizados por naturaleza no sufren de ningún tipo de transformación química, siendo colocados por procedimientos de compactación propios de la mecánica de suelos.

Se hace uso de un material impermeable sobre todo el cuerpo de la presa, empleándose en pequeñas y medias alturas, alrededor de seis y ocho veces menor que la base de la presa.

La característica principal es que se construye íntegramente por materiales procedentes del emplazamiento, dando en un coste económico mucho más inferior que las comentadas anteriormente.<sup>7</sup>

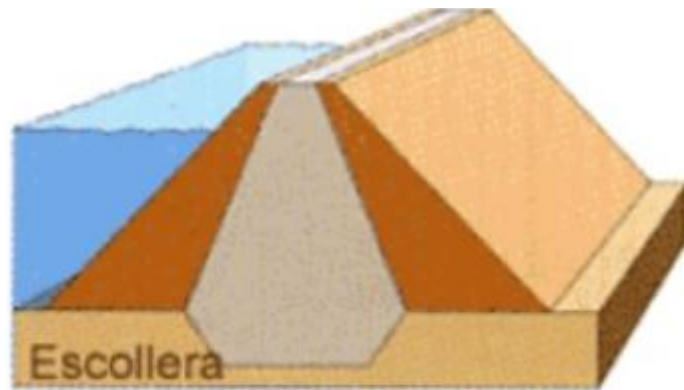


*Figura 17 Presa homogénea*

### *Presa de núcleo*

Son bastante similares a las presas homogéneas, pero poseen en este caso, un núcleo impermeable en su parte interna, caracterizándose por la morfología del núcleo (su anchura) y por la inclinación de esta.

El núcleo inclinado aporta diversas ventajas desde el punto de vista de la construcción y la seguridad.

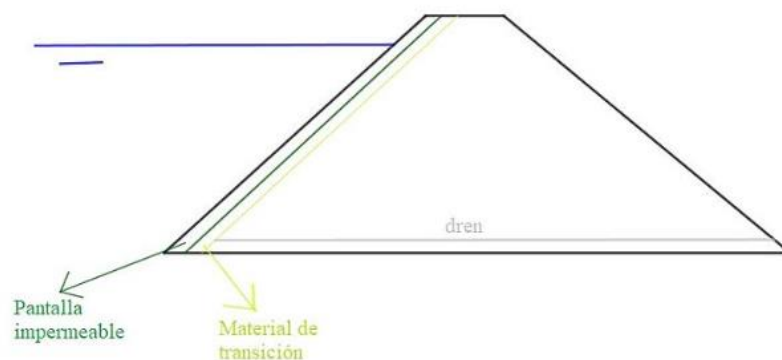


*Figura 18 Presa de núcleo*

### *Presa de pantalla*

Finalmente, la presa de pantalla es también parecida a la homogénea, pero con alguna pequeña diferencia. La mayor parte del cuerpo de la presa está constituido por materiales permeables, pero incorporan una pantalla impermeable que se apoya sobre el paramento de aguas arriba.

Debajo de la pantalla impermeable, se incorporan uno o varios materiales de transición, así como una pequeña capa drenante en la base de la presa. <sup>8</sup>



*Figura 19 Presa de pantalla*

## 4. ANÁLISIS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PRESA

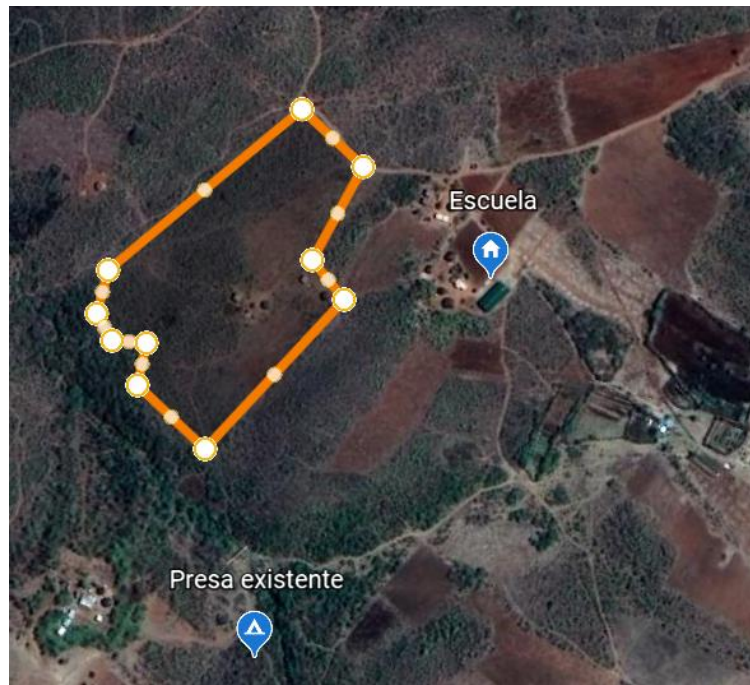
### DEMANDA POR SATISFACER

Para conocer correctamente cuál es el volumen de agua a embalsar, es conveniente saber las necesidades de la comunidad con respecto al agua. Se valorará si será posible suministrar el suficiente suministro de agua para abastecer la agricultura de la zona.

Posteriormente, se calculará el área de regadío para saber cuánta agua es la necesaria para el cultivo. Lo más cultivado en la zona es el maíz, por lo que la mitad del área del emplazamiento estarán destinadas a este producto.

También se ha planteado cultivar hortalizas y frutales, y así poder garantizar más variedad al cultivo. La mitad del área de cultivo se repartirá una mitad a las hortalizas y otra mitad para los frutales.

En la siguiente imagen se muestra cual será el terreno de cultivo.



*Figura 20 Terreno dedicado al cultivo*

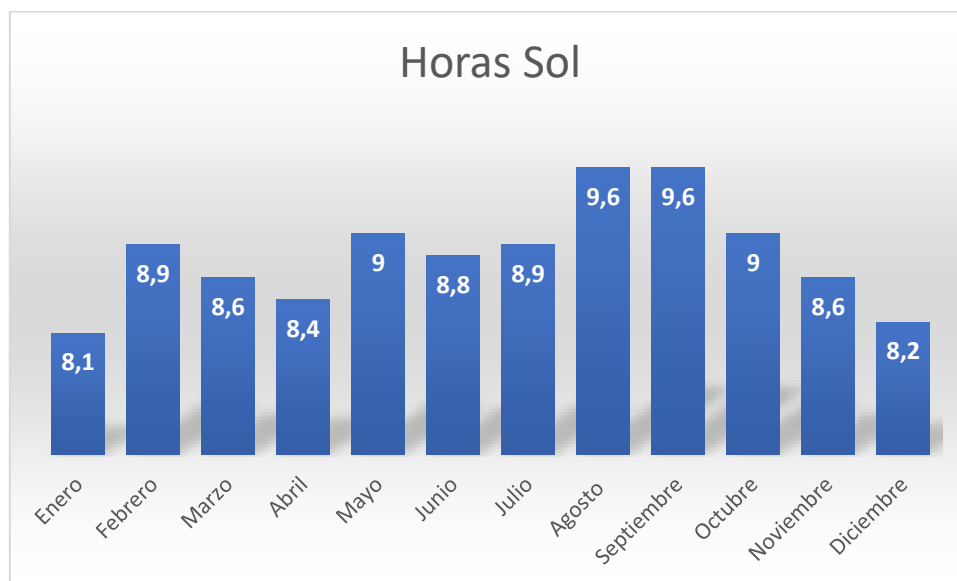
El terreno de regadío consta de un área de unos 26068,84 m<sup>2</sup> aproximadamente, que tendrán que estar abastecidos por la presa durante toda la época del año. Ciertamente no



es lo mismo la época de primavera que se da en España, que la que es producida en el sur de África, ya que la evolución del clima es totalmente diferente.

Normalmente el maíz, las frutas y las verduras suelen ser cultivadas en épocas de calor, lo más conveniente es que el sol se presente entre 6 y 10 horas al día, generalmente el cultivo de estos alimentos suele ser implementado en las fechas de cultivarlas primavera y verano.

Como en Mt Darwin las temperaturas son lo suficientemente cálidas todo el año, no tiene mucho sentido hablar de periodos de cultivo. No obstante, en la siguiente tabla se muestra las horas de sol que se suelen producir al mes:



Gráfica 3 Cantidad de horas de sol producidas en el distrito de Mt. Darwin

Como se puede observar todos los meses del año superan las seis horas de sol, por lo que no será necesario empezar el cultivo en un mes concreto, pero seguramente se realice en periodos de primavera y verano que son en el caso de Mt Darwin, entre octubre y enero.

También se tiene pensado dar suministro de agua a la gente que tiene la adquisición de animales, se estima que en el distrito poseen un total de 80 animales, distribuidos en vacas, cabras, cerdos y gallinas, con un porcentaje respectivamente del 15%, 40%, 5%, 40%.

Con estos datos, posteriormente se calculará cuánto agua se necesita embalsar, y a raíz de esto se empezará a diseñar los elementos de la presa.

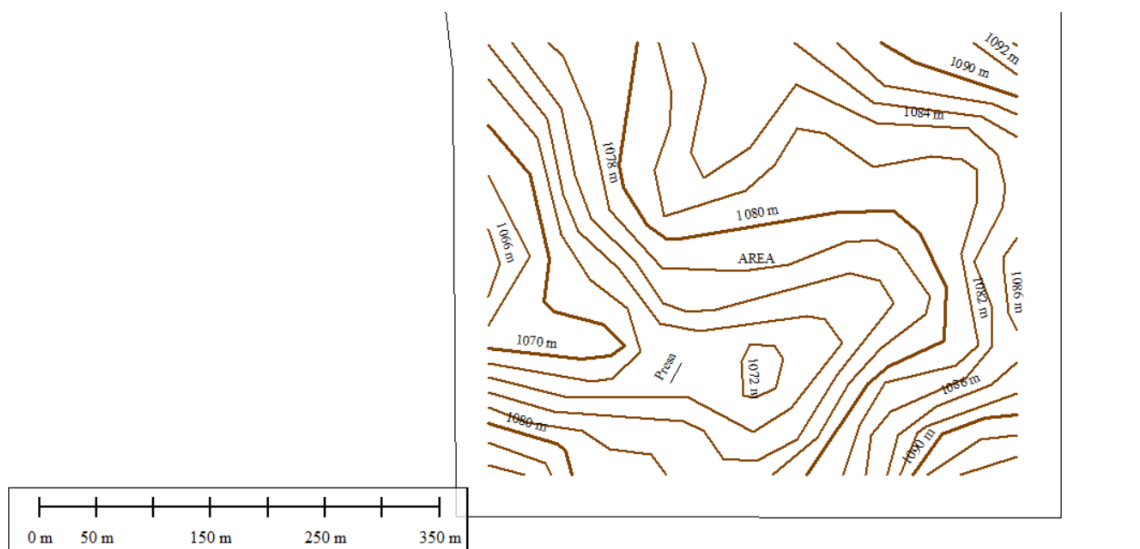
## TOPOGRAFÍA

Para poder determinar las cualidades del embalse es necesario hacer un estudio sobre las curvas de nivel que dispone la zona a embalsar. El estudio topográfico es vital para observar si la presa está situada en el sitio adecuado, la zona del embalse tiene que ser un emplazamiento que no tenga mucha inclinación, para poder soportar bien las aguas en el terreno y así no sufrir graves problemas en el diseño.

El estudio topográfico requiere de infinidad de datos y satélites que contengan información para poder sacar unas curvas de nivel apropiadas. Sin embargo, en Zimbabue no dotan de estas actualizaciones y la única información disponible que se puede sacar es un mapa topográfico de una escala 1:1000000, que, para el estudio, en este caso, de una presa pequeña, no tiene ningún sentido basarse en este tipo de mapa.

Para ello se ha hecho uso de dos aplicaciones, y así poder sacar las curvas de nivel más similares que se producen en la zona de la presa. La primera de ellas es GOOGLE EARTH, que ha servido para poder extraer los datos de dimensiones de la presa y de la zona del embalse para poder importarlos a la segunda aplicación que es GLOBAL MAPPER, una aplicación bastante útil e intuitiva para poder sacar todo tipo de diagramas topográficos.

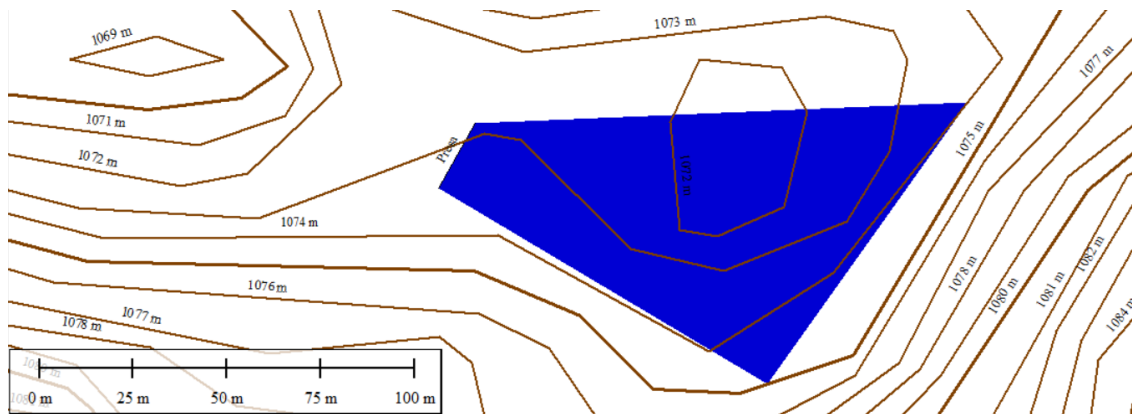
En la siguiente imagen se muestran las curvas de nivel de la zona y la presa:



*Figura 21 Curvas de nivel de la zona*

Como se puede observar, la zona escogida para la construcción de la presa parece idílica, ya que está situada sobre una superficie plana y dónde alrededor no tiene grandes pendientes. Por lo tanto, a primera vista se podría decir que es la mejor ubicación de la zona.

En la siguiente imagen se ha realizado una simulación, a una escala todavía más ampliada, de cómo podría ser el embalse.

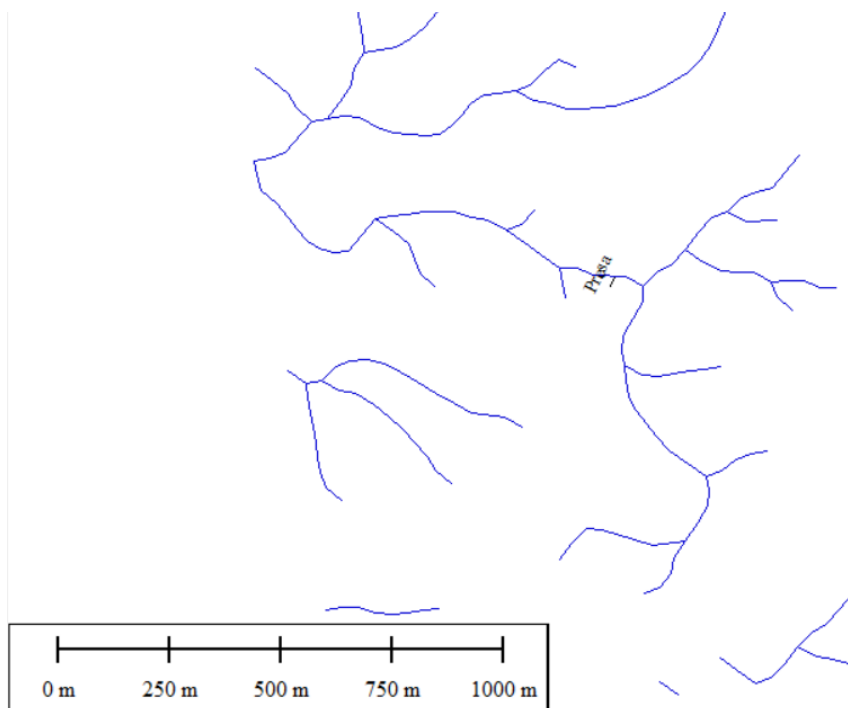


*Figura 22 Simulación de embalse*

Se puede observar que la cota más alta del embalse podría ser de 1075 metros, siendo la más pequeña de unos 1072 metros, esto quiere decir que podremos ser capaces de embalsar agua entre una diferencia de pequeñas cotas y por lo tanto, no se necesitará un tamaño de presa elevado, que es lo que nos interesa.

Posteriormente, para poder analizar cuánta agua se va a poder embalsar durante el año, tendremos que fijarnos primordialmente en las aguas que vienen de la cuenca hídrica, para ello se hará uso también de la aplicación GLOBAL MAPPER, que nos da la posibilidad de diseñar las diferentes cuencas de la zona.

En la siguiente imagen se muestra una simulación de las cuencas que tiene el emplazamiento:



*Figura 23 Cuencas hidrológicas*

Se puede observar claramente, que son dos cauces los que finalmente acaban en la presa. Para poder calcular posteriormente el agua que los cauces son capaces de dar al embalse, es necesario conocer el área de las cuencas. Esto se ha vuelto a realizar con el GLOBAL MAPPER, y ha dado un área de la cuenca vertiente de unos 0,4044 km<sup>2</sup> aproximadamente.

Además, se han calculado detalles sobre la cuenca más influyente en el embalse, que es la más grande, ya que más adelante necesitaremos estos datos.

El nivel más alto de la cuenca se encuentra 1094,545 metros y el nivel más bajo de ella a los 1071,7 metros, que es dónde tiene la ubicación la presa.

Posteriormente se determinan las dimensiones de los cauces: el cauce más largo tiene una dimensión de 716,31 metros, mientras que el cauce más corto es de 328,9 metros.

Finalmente, la cuenca más importante presenta una inclinación bastante baja de un 3,39%, lo mismo que una pendiente de 1.94°. Esto son buenas noticias, ya que una cuenca con grandes inclinaciones podría hacer averías en la presa logrando alguna rotura. De todos modos, más adelante se estudiará la fiabilidad de la presa en casos desfavorables.

## ESTUDIO GEOLÓGICO

El estudio geológico es de vital importancia para poder conocer algunas de las características del terreno, principalmente los materiales que se encuentran en el área de estudio.

Este estudio se hace con la idea de no generar ningún fallo en la infraestructura, ya que el terreno tiene que ser capaz de soportar el peso de aquella. Al mismo tiempo, se necesitan saber las condiciones de filtración del terreno, para no tener problemas con las fugas de agua.

Para hacer con exactitud un estudio geológico se necesitarían realizar varias pruebas en el terreno para valorar las filtraciones de este, así como pruebas de laboratorio, pero como ya se ha comentado previamente no tenemos la posibilidad de hacer ese tipo de estudios, así que nos limitaremos a realizar el estudio mediante los conocimientos de la gente local del país. En este caso, el estudiante Joseph Madondo ofrece una charla muy interesante sobre la geología del país de la que se pueden sacar muchos datos y conclusiones.<sup>10</sup>

Primeramente, hay que conocer un poco sobre la historia geológica del país, para ello se introducirán una serie de nombres claves en la geología de Zimbabwe.

- **Cratón:** Sector extenso de una masa continental que ha alcanzado la estabilidad y que no ha sido deformada durante un largo periodo de la historia terrestre.
- **Metamorphic Mobile belts:** Cinturones de rocas metamórficas que han sido sufridos una tectónica compresional y generalmente rodean cratones arcaicos.
- **Metamorphic Greenstone belts:** Zonas con secuencias volcánicas, desarrolladas entre cuerpos de granito y gneises en cratones arcaicos y proterozoicos.

La geología se divide en tres eones:

1. **Arcaico:** representado por Zimbabwe cratón, compuesto por granitos y gneises con fragmentos de cinturones de rocas verdes. Cubre el 60% de la superficie del país y se ubica en el centro de Zimbabwe.
2. **Proterozoico:** representado por el Great Dyke, con la segunda reserva más grande del mundo de PGMs (Platinum Group Metals). Como se puede observar en la figura es la línea negra que separa la frontera entre el Arcaico y el Proterozoico de Zimbabwe. Tiene una longitud de 550 km y entre 4-11 km de espesor.
3. **Fanerozoico:** secuencias de rocas sedimentarias en los bordes del Cratón. Incluyen rocas del Supergrupo Karoo y las arenas del Kalahari.

En la ilustración del ANEXO I se muestra una imagen sobre la geología del país.

De la anterior imagen mencionada se ha aumentado para poder apreciar los distintos materiales de la zona de Mt Darwin.<sup>11</sup>



Figura 24 Geología de Mt. Darwin

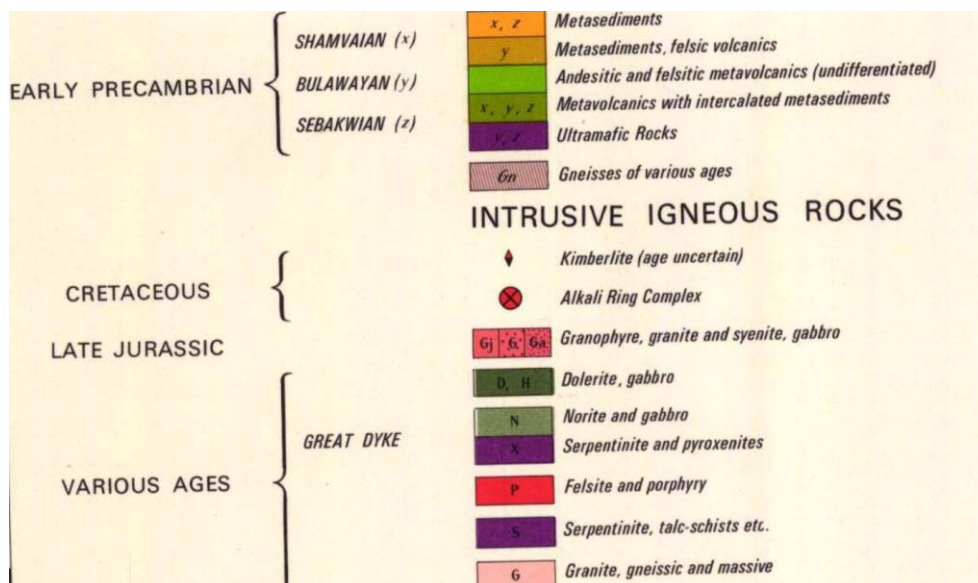


Figura 25 Tipos de minerales

Aquí se presenta la lista con los distintos tipos de materiales, como se puede observar en la figura 25, nuestra zona que es justo la que se encuentra encima de Mount Darwin, está compuesta por gneises de varios años, y por la Dolerita, también llamada comúnmente como Diabasa, conocida por ‘granito negro’, es una roca ígnea intrusiva de granulado fino o medio con muchos cristales de color gris.

Se trata de una roca extremadamente resistente y dura, siendo comúnmente extraída de la cantera para grava.

## ESTUDIO GEOTÉCNICO

El estudio geotécnico comprende diferentes informaciones sobre las características del terreno, que son necesarios para poder realizar el análisis y dimensionado de los cimientos del terreno. Lo que se desea hacer en este apartado es conocer con toda la exactitud posible las características que tiene el terreno, que tipo de materiales contiene y las diferentes capas que componen los suelos.

Para ello se ha hecho uso del *Provisional Soil Map of Zimbabwe Rhodesia*, que en este caso sí nos da la información suficiente para tener una idea clara de los distintos materiales que componen la zona.

En la ilustración del ANEXO I se muestra el mapa de Rhodesia:

En las siguientes imágenes se mostrará la ampliación del mapa de Rhodesia, que se puede ver completo en el anexo. <sup>11</sup>

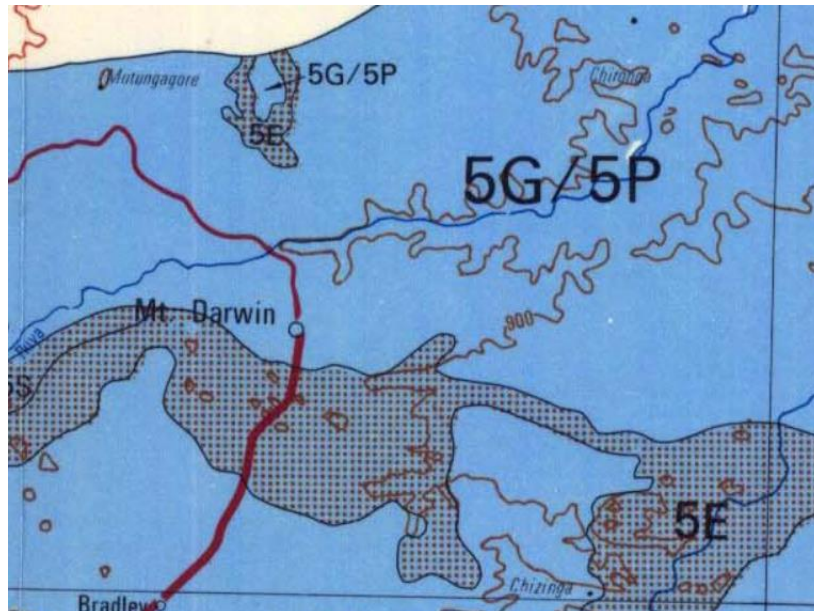
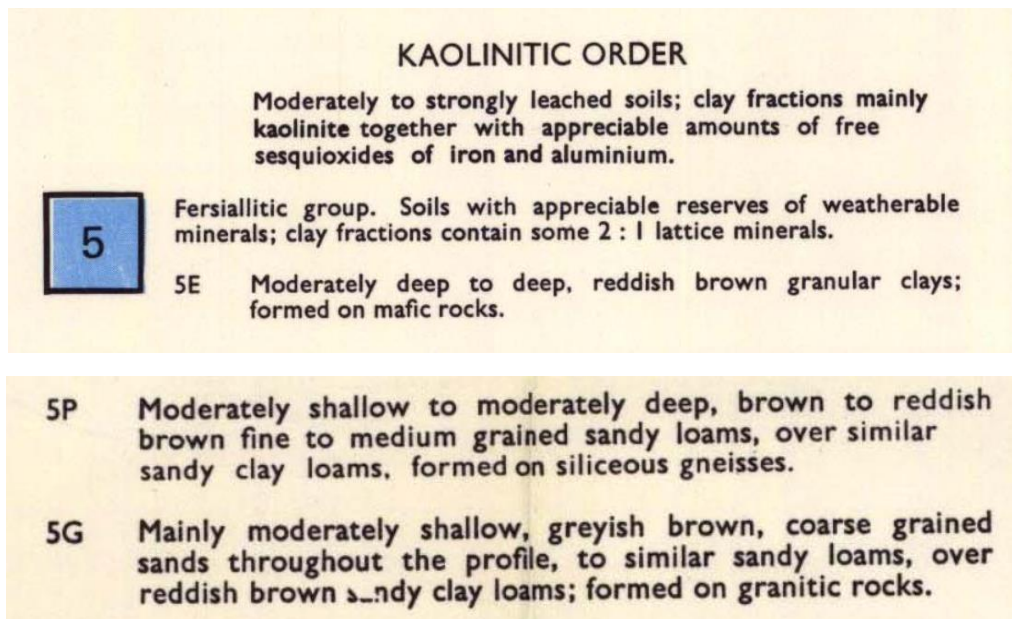


Figura 26 Geotecnia de Mt. Darwin



*Figura 27 Tipos de suelos de la zona*

En estas tres últimas imágenes se muestra una ampliación del mapa, donde se puede ver que tipos de materiales existen.

El terreno pertenece a un orden caolínico, según la traducción, está compuesto por suelos moderadamente a fuertemente lixiviados, con fracciones de arcilla principalmente de caolinita con cantidades apreciables de sesquióxidos libres de hierro y aluminio.

Finalmente se concluye que el terreno pertenece a los grupos 5E/G/P, con el número 5 nos indica el tipo de grupo, en este caso fersialítico, suelos con apreciables reservas de minerales con resistencia a la intemperie y las letras nos dicen:

- E: se tratan de suelos con arcilla granular de color marrón rojizo, formadas sobre rocas máficas, en zonas moderadamente profundas.
- P: se tratan de suelos con arenoso granular de color marrón a marrón rojizo fino hasta marrón rojizo medio, formadas sobre terrenos de arcilla y arena, entre zonas profundas y no tan profundas.
- G: una arena áspera de color marrón grisáceo a lo largo del perfil, sobre terrenos arenosos y arcillosos de color marrón rojizo, en zonas poco profundas.

Con esto nos podemos hacer una idea de qué tipo de textura lo constituye, en la siguiente imagen se muestra el triángulo textural, que fija los límites porcentuales de limo, arcilla y arena: <sup>12</sup>



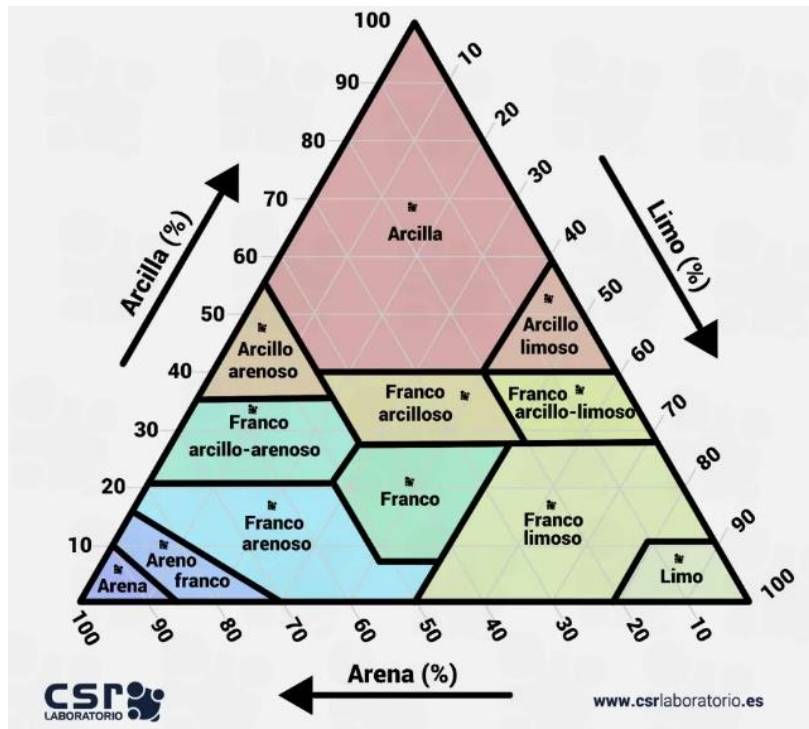


Figura 28 Triángulo de texturas

Con todo lo comentado anteriormente, se concluye que en la zona registrada consiste en menos de un 30% de limo, con un porcentaje de arena mayor del 50% y un porcentaje de arcilla de no superior al 50%, quedándonos con la zona de Arcilloso-arenoso y Franco arcillo-arenoso.

Este estudio también sirve para poder calcular los parámetros de la roca intacta, en este caso de la Dolerita y el Gneis, que son los más abundantes en la zona. Esta serie de cálculos serán realizados posteriormente para el análisis estructural de la presa.

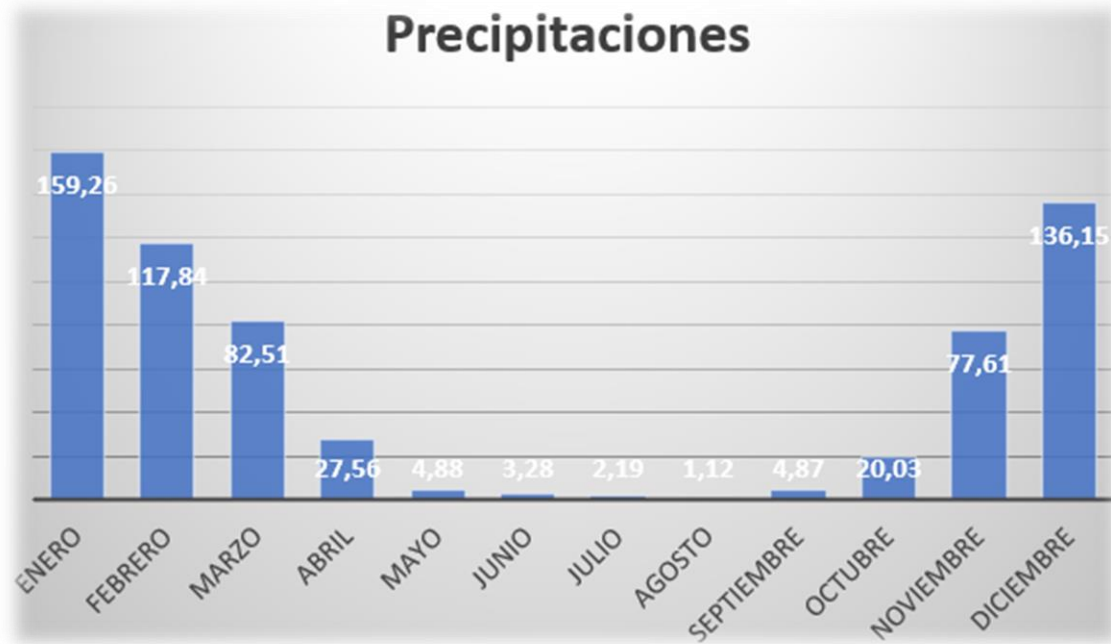
## ESTUDIO HIDROLÓGICO

En este apartado, se realizará un estudio climatológico de la zona, debido a la escasa información del emplazamiento se escogerán datos directamente de la zona de Mount Darwin, que no diferirán mucho ya que se encuentra a pocos kilómetros del lugar.

Como ya se comentó, el clima que hace en Zimbabue suele ser bastante constante, aunque hay pequeñas épocas de precipitaciones elevadas. La diferencia máxima que puede existir durante el año en cuanto a las temperaturas no suele pasar de los 20 grados, produciéndose las mínimas en torno a los 10 grados y las máximas entre los 28 y a lo sumo alcanzan los 30 grados.

Esto es importante a la hora de la plantación del cultivo, ya que el cultivo suele ser producido en temperaturas relativamente altas y cuando se producen elevadas horas de sol durante el día.

Con respecto a las precipitaciones en la zona de Mount Darwin, se presenta una tabla con las precipitaciones medias en mm/mes que se producen durante el año: <sup>13</sup>



Gráfica 4 Precipitaciones medias producidas en Mt. Darwin

Mes	Precipitaciones
Enero	159,26
Febrero	117,84
Marzo	82,51
Abril	27,46
Mayo	4,88
Junio	3,28
Julio	2,19
Agosto	1,12
Septiembre	4,87
Octubre	20,03
Noviembre	77,61
Diciembre	136,15

Tabla 1 Precipitaciones por mes en el distrito de Mt. Darwin

Se puede observar con claridad, que durante los meses de enero febrero noviembre y diciembre, existen unas elevadísimas precipitaciones en comparación al resto de meses, dónde no se presentan prácticamente ninguna precipitación. Esto resultará un problema para el abastecimiento durante los meses de pocas precipitaciones, por lo que se intentará aguantar el agua en el embalse durante las épocas de altas precipitaciones para poder tener acceso en los meses de escasez.

#### *Aportaciones cuenca hídrica*

Como se comentó en el apartado de topografía el almacenamiento del embalse se basa primordialmente de las aportaciones de la cuenca hídrica, por lo tanto, en este apartado se realizará una serie de cálculos para conocer cuanto volumen es capaz de aportar la cuenca al embalse.

Se necesita conocer el área de la cuenca vertiente previamente calculada:

$$Area_{cuenca} = 404400 m^2$$

Con el área de la cuenca y las precipitaciones que se producen en Mount Darwin, ya estamos a la disposición de calcular el volumen de aportaciones.

Pero antes de ello se necesita imponer un coeficiente de escorrentía que depende de la textura del suelo, el tipo de vegetación y el tipo de inclinación que se produce en la cuenca.

Para ello nos basaremos en la siguiente imagen que realiza una estimación dependiendo de los factores previamente comentados

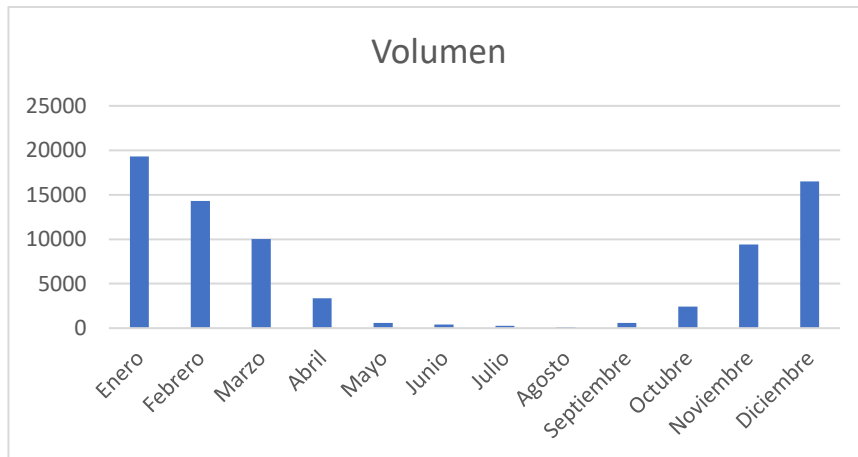
Es necesario aplicar un coeficiente de escorrentía que depende de las calidades del terreno, en este caso es un tipo de terreno pastizal y con una pendiente de 3,39%, por tanto, observando la ilustración del ANEXO II lo aproximamos a un coeficiente del 0,3.

En este caso es necesario conocer el tipo de vegetación, que en nuestro caso debido a las características de la zona se trata de un terreno pastizal, ya que no se presentan muchos bosques ni terrenos cultivados en la zona de la cuenca. Seguidamente, sabemos que el tipo de inclinación tiene la característica de plano, ya que no supera los 5% de inclinación, y por último se estima que la textura del suelo tiende a ser media. Por lo tanto, nos quedamos con un coeficiente de escorrentía de:

$$C_{escorrentía} = 0,3$$

Con estos tres datos ya podemos calcular adecuadamente las aportaciones por la cuenca, dichas aportaciones siguen la siguiente expresión:

$$APORTACIONES = Area_{cuenca} * C_{escorrentía} * Precipitacion_{media}$$



Gráfica 5 Volumen aportado por las cuencas hídricas

Mes	Volumen m <sup>3</sup>
Enero	19321,4232
Febrero	14296,3488
Marzo	10010,1132
Abril	3343,5792
Mayo	592,0416
Junio	397,9296
Julio	265,6908
Agosto	135,8784
Septiembre	590,8284
Octubre	2430,0396
Noviembre	9415,6452
Diciembre	16517,718

Tabla 2 Volumen que aporta la cuenca hidrográfica

Como es lógico las mayores aportaciones de la cuenca son en los meses de enero febrero y diciembre, que es dónde se presentan las precipitaciones más elevadas.

*Cálculo de las avenidas*

Los criterios esenciales para las elecciones de las avenidas vienen determinados por la categoría en la que esté clasificada la presa y en su tipología.

Se van a considerar dos avenidas afluentes del embalse, la primera de ellas es la llamada Avenida del Proyecto, que es la avenida máxima que se tiene en cuenta para el dimensionamiento, y la segunda sería la Avenida Máxima, que se refiere a la avenida máxima que la presa es capaz de soportar sin que se produzca ningún desbordamiento.

Para diseñar estas avenidas hay que conocer los periodos de retorno de éstas, que no deben ser superiores a los mostrados en la siguiente imagen: <sup>14</sup>

CATEGORIA DE LA PRESA	AVENIDA DE PROYECTO	AVENIDA EXTREMA	
		PRESAS DE FABRICA	PRESAS DE MATERIALES SUELTOS
<b>A</b>	1.000	5.000	10.000
<b>B</b>	500	1.000	5.000
<b>C</b>	100	500	1.000

*Tabla 3 Años de retorno*

Los tipos de avenidas están definidas por diferentes niveles:

1. Nivel Máximo Normal (NMN): determina el máximo nivel de lámina de agua que contiene el embalse cuando se realiza un régimen normal de explotación.
2. Nivel De Avenida De Proyecto (NAP): a raíz del NMN, es el máximo nivel de agua que puede alcanzar el embalse cuando pasa la Avenida de Proyecto.
3. Nivel de Avenida Extrema (NAE): a raíz del NMN, es el máximo nivel de agua que puede alcanzar el embalse cuando pasa la Avenida Extrema.

Este cálculo de las avenidas es una de las claves para ver si el cuerpo de la estructura puede lograr soportar toda la presión de las aguas de las avenidas.

La avenida se puede traducir como un crecimiento del nivel del agua en momentos inesperados, entonces lo que se realizará, será calcular el momento más desfavorable de las precipitaciones en los últimos 40 años, por si en algún momento volviera a producirse y de este modo la presa no tenga ningún daño estructural.

El caudal de las avenidas viene dado por la siguiente expresión:

$$Q = \frac{I * C * A * K}{3,6}$$

Por lo tanto, será necesario calcular las intensidades máximas que se producen por las avenidas, el área de la cuenca, que ya es un parámetro conocido, y los distintos coeficientes que son necesarios aplicar.

*PRECIPITACIÓN MÁXIMA:*

Para el cálculo de la precipitación máxima es necesario disponer de una base de datos amplia sobre las precipitaciones en los últimos años en Zimbabue, que como ya se ha comentado no es posible obtener dicha documentación. Por lo tanto, se estimará la precipitación máxima diaria mediante la máxima precipitación dada en un mes y dividida entre los días de lluvia de ese mes.

Como se puede observar en la Tabla 3, la precipitación de enero es la más elevada, como esa es la media de enero de los últimos años se le aplicará un factor  $k = 1.4$  para que no se obtenga ningún error en el cálculo y así asegurar que en algún mes del año se pueda superar esa precipitación media.

Nos queda una precipitación de:  $159,26 * 1,4 = \mathbf{222,964 \text{ mm}}$ .

Los días de lluvia de enero son aproximadamente 11 días, esto nos da una precipitación máxima diaria de  $222,964/11 = \mathbf{20,27 \text{ mm}}$

Para calcular las distintas precipitaciones en los distintos periodos de retorno se ha aplicado un factor de corrección general en estos casos del 1.13.

En la siguiente gráfica se muestran los distintos periodos de retorno que se van a utilizar durante el proyecto.

Esto da un resultado de las precipitaciones:

Periodo de retorno (años)	Precipitaciones (mm)
2	20,27
5	22,905
10	25,882
25	29,2475
50	33,0497
100	37,346
500	42,201

*Tabla 4 Precipitaciones máximas por los periodos de retorno*

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA:

Se ha estimado mediante el método de NRCS (Número de Curva del Natural Resources Conservation Service), del Departamento de Agricultura americano. Se estima mediante el Grupo Hidrológico del suelo, y de su uso y cobertura que se puede observar en el ANEXO II.

Como ya se ha comentado, el terreno es de tipo pastizal y la pendiente se encuentra entre el 2% y el 7%, por lo tanto, el coeficiente de escorrentía para los distintos periodos de retorno se muestra en la tabla 4: <sup>15</sup>

Años	Coficiente
2	0,33
5	0,36
10	0,38
25	0,42
50	0,45
100	0,49
500	0,58

Tabla 5 Coeficiente de escorrentía para el caudal de las avenidas

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN:

El tiempo de concentración es el tiempo que transcurre durante el final de la lluvia hasta el instante dónde acaba la curva de bajada, eso quiere decir, en el final de la escorrentía superficial. Como no podía ser de otra manera, este tiempo dependerá de los factores del terreno, en este caso, de la inclinación de la cuenca y de la longitud del cauce principal.

El tiempo de concentración está definido por la siguiente expresión:

$$t_c = 0,4 * L^{0,77} * S^{-0,385}$$

L = Longitud del cauce principal (km).

S = inclinación del cauce principal (%).

t<sub>c</sub> = tiempo de concentración (horas).

Con los datos calculados en el apartado de topografía obtenemos un tiempo de concentración:

$$t_c = 0,1933 \text{ horas}$$

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:

Es un factor determinante para el cálculo del caudal que produce que la precipitación no se distribuya uniformemente. En este caso solo depende del tiempo de concentración.

$$K_t = 1 + \frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14}$$

$$K_t = 1,009$$

INTENSIDAD:

El cálculo de la intensidad es algo laborioso, ya que se necesita una gran cantidad de datos sobre el terreno y el clima, algo que no se puede obtener con facilidad, por lo que se optará por usar una herramienta bastante conocida llamada HydroJing. <sup>16</sup>

Esta herramienta está compuesta por varios Excel, en los cuales puedes meter la información que conocemos sobre el terreno y el clima y proceder mediante estimaciones al cálculo de la intensidad de las avenidas.

Dicha herramienta nos facilita una fórmula matemática que sigue la siguiente expresión:

$$I = \frac{K * T^m}{t^n}$$

$K, m, n =$  Parámetros de ajuste.

$T =$  Periodo de retorno (años).

$t =$  duración de la lluvia (minutos).

Con los cálculos anteriores del tiempo de concentración, precipitaciones máximas y calculando la intensidad de precipitación por cada hora se pueden calcular los diferentes parámetros de ajuste. Dan los siguientes resultados:

$$K = 68,813$$

$$m = 0,1485$$

$$n = 0,6185$$

El tiempo de duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración, entonces nos queda una intensidad de precipitación de:



Periodo de retorno (años)	Intensidad (mm/h)
2	16,7487
5	19,190
10	21,2706
25	24,37104
50	27,01326
100	29,9419
500	38,02569

Tabla 6 Intensidad de las avenidas por cada periodo de retorno

CAUDAL AVENIDA:

Finalmente, con todos los cálculos obtenidos anteriormente, podemos calcular los caudales máximos para los distintos periodos de retorno. <sup>17</sup>

$$Q = \frac{I * C * A * K}{3,6}$$

$Q$  = Caudal máximo de la avenida ( $m^3/s$ )

$C$  = Coeficiente de escorrentía

$I$  = Intensidad de precipitación (mm/h)

$A$  = Área de la cuenca ( $km^2$ )

$K$  = Coeficiente de uniformidad

En la siguiente tabla se muestran todos los datos utilizados para la obtención del caudal:

Periodo de retorno	Intensidad	K	C	A	Q
2	16,7488	1,009	0,33	0,4044	0,6265
5	19,1901	1,009	0,36	0,4044	0,7830
10	21,2706	1,009	0,38	0,4044	0,9161
25	24,3710	1,009	0,42	0,4044	1,1602
50	27,0133	1,009	0,45	0,4044	1,3778
100	29,9419	1,009	0,49	0,4044	1,6629
500	38,0257	1,009	0,58	0,4044	2,4998

Tabla 7 Resultado del caudal de las avenidas con los parámetros utilizados

### *Cálculo de evapotranspiración*

En los últimos años algunos científicos empezaron a estudiar y analizar más detenidamente la influencia que tenían las pérdidas por evaporación en el embalse, ya que hace años este tema había pasado bastante desapercibido. El problema de estas pérdidas es que hay en algunos casos en las que no son para nada influyentes, mientras que en otros ocurre prácticamente lo contrario, puede ser uno de los problemas principales para poder almacenar el agua. Este tipo de pérdidas se han caracterizado por ser difícilmente cuantificables, y se tendían a despreciar cuando en algunos casos eran imprescindibles tenerlas en cuenta. <sup>18</sup>

En este apartado se calcularán las pérdidas por evaporación y posteriormente se analizarán si se pueden despreciar o no.

El cálculo de las pérdidas por evaporación se realizará mediante el método de *Hargreaves*, el cual se necesitan solamente datos de temperatura y de Radiación solar. <sup>18</sup>

Se adecua a la siguiente expresión:

$$ET_0 = 0,0135 * (t_{media} + 17,78) * R_s$$

$$ET_0 \equiv \text{evapotranspiración potencial diaria } \left(\frac{mm}{dia}\right)$$

$$t_{media} \equiv \text{temperatura media } (^{\circ}C)$$

$$R_s \equiv \text{radiación solar incidente, convertida en } \left(\frac{mm}{dia}\right)$$

La radiación solar incidente se calcula a través de la radiación solar extraterrestre, la que llega directamente a la parte exterior de la atmósfera, esta es llamada  $R_0$ .

Este parámetro se puede leer en tablas en función de la latitud del lugar y del mes.

Lo podemos encontrar en las ilustraciones del ANEXO II.

Nos encontramos en el hemisferio sur a una latitud de  $16^{\circ}$ .

Los datos se dan en  $MJ/m^2/día$ , para pasarlo a  $mm/día$  conocemos que:

$$1 \text{ mm/día} = 2,45 \text{ MJ/m}^2/\text{día}.$$

Nuestro parámetro  $R_0$  será:

Mes	$R_0$
Enero	6,8544

Febrero	6,6504
Marzo	6,2016
Abril	5,4672
Mayo	4,7328
Junio	4,3656
Julio	4,488
Agosto	5,1
Septiembre	5,8752
Octubre	6,4464
Noviembre	6,7728
Diciembre	6,8544

Tabla 8 Parámetro de la radiación solar extraterrestre

La ecuación para la radiación solar incidente es la siguiente:

$$R_s = R_0 * KT * (t_{max} - t_{min})^{0,5}$$

$KT \equiv$  coeficiente

$t_{max} \equiv$  temperatura diaria máxima (°C)

$t_{min} \equiv$  temperatura diaria mínima (°C)

El coeficiente  $KT$  es de dicha expresión es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de la presión atmosférica, pero *Hargreaves* recomienda  $KT = 0,162$  para regiones de interior y un  $KT = 0,19$  para regiones costeras. Por lo tanto, elegiremos un coeficiente  $KT = 0,162$ .

Las temperaturas máximas y mínimas ya son datos aportados anteriormente.

En la siguiente tabla se muestran los datos disponibles para calcular la radiación incidente:

Mes	$R_0$	$KT$	$t_{max}$	$t_{min}$	$R_s$
Enero	6,8544	0,1620	28,0000	17,8000	3,5464
Febrero	6,6504	0,1620	28,8000	17,6000	3,6056
Marzo	6,2016	0,1620	28,0000	16,5000	3,4070
Abril	5,4672	0,1620	26,5000	14,0000	3,1314
Mayo	4,7328	0,1620	24,5000	9,3000	2,9892
Junio	4,3656	0,1620	23,5000	8,0000	2,7844
Julio	4,4880	0,1620	23,5000	8,5000	2,8159
Agosto	5,1000	0,1620	25,5000	9,0000	3,3560
Septiembre	5,8752	0,1620	29,0000	13,8000	3,7107
Octubre	6,4464	0,1620	31,5000	15,5000	4,1773
Noviembre	6,7728	0,1620	29,5000	16,5000	3,9560
Diciembre	6,8544	0,1620	28,0000	18,0000	3,5114

Tabla 9 Resultado de la radiación total incidente con sus respectivos parámetros

Por último, se calcula la Evapotranspiración:

Mes	Rs	tmed	ETO
Enero	3,5464	24,2	2,0098
Febrero	3,6056	24,5	2,0580
Marzo	3,4070	23,75	1,9101
Abril	3,1314	22,1	1,6859
Mayo	2,9892	19,9	1,5205
Junio	2,7844	17,5	1,3261
Julio	2,8159	17	1,3221
Agosto	3,3560	18,4	1,6392
Septiembre	3,7107	21,4	1,9627
Octubre	4,1773	25,3	2,4294
Noviembre	3,9560	25,35	2,3034
Diciembre	3,5114	25	2,0280

Tabla 10 Cálculo de las pérdidas por evaporación

En esta gráfica se ha calculado la evapotranspiración por mes:



Gráfica 6 Resultado de las pérdidas por evaporación

Para el cálculo del volumen de agua tendremos que conocer la superficie de agua que se va a almacenar en la presa que se calculará más adelante, y así podremos obtener el volumen que se va por evaporación, que a primera vista parece bastante considerable.

## 5. CÁLCULOS

### CÁLCULOS HÍDRICOS

Para realizar adecuadamente los cálculos del almacenamiento del embalse hay que tener en cuenta distintos factores.

Primero se estimará cuanto volumen se puede almacenar en el embalse dependiendo de las distintas curvas de nivel, y así tener una referencia de cuanto se puede almacenar en cada cota. Más adelante se calculará cuál es la demanda total que se va a destinar al cultivo, además del consumo de algunos animales que poseen la población del distrito.

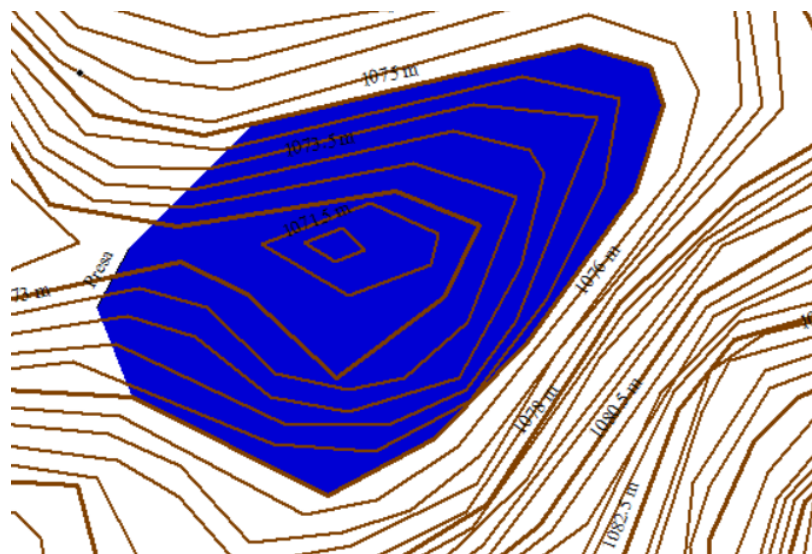
Con estos datos ya podremos empezar a determinar las dimensiones de la estructura dependiendo del tipo de avenida que se produzca.

#### *Cálculo volumen del embalse*

La máxima cota del embalse se ha estimado en 1075 m para que no se produzcan grandes diferencias de cotas en el embalse y así que la presa pueda soportar con más facilidad las fuerzas resistivas.

En la siguiente figura se muestra la máxima área del embalse que se puede producir.

Más adelante se verá si es conveniente o no llegar hasta la cota de 1075 m.



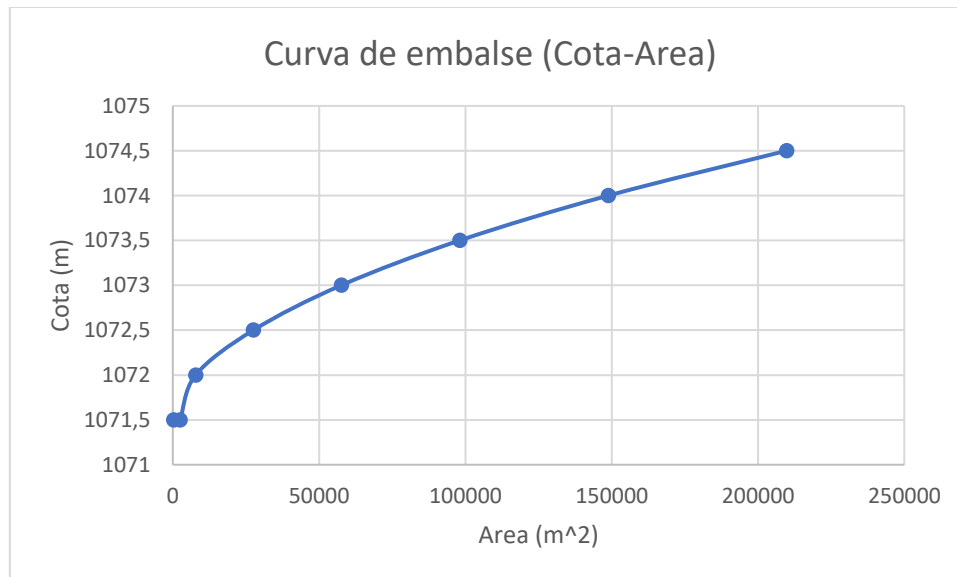
*Gráfica 7 Máxima área del embalse*

En la siguiente tabla se muestran las diferentes áreas y volúmenes para las diferentes curvas de nivel.

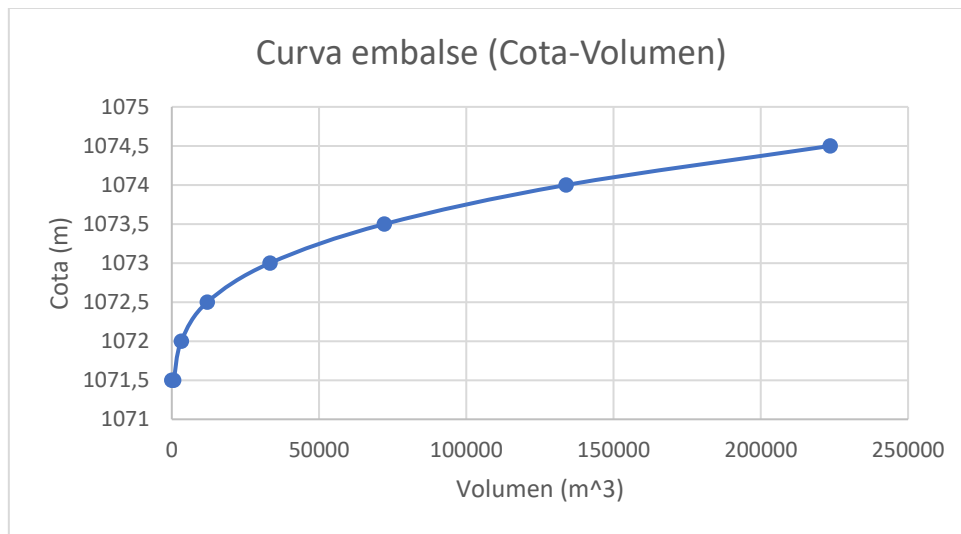
Curva inferior	Curva superior	Area (m <sup>2</sup> )	Area Acumulada	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen Acumulado
1071,5	1071,5	217,0984	217,0984	0	0
1071,5	1072	2207,2538	2424,3522	660,36265	660,36265
1072	1072,5	5360,1036	7784,4558	2552,202	3212,56465
1072,5	1073	19740,9326	27525,3884	8827,46105	12040,0257
1073	1073,5	30025,9067	57551,2951	21269,17088	33309,19658
1073,5	1074	40492,228	98043,5231	38898,70455	72207,90113
1074	1074,5	50751,295	148794,8181	61709,5853	133917,4864
1074,5	1075	60932,6425	209727,4606	89630,56968	223548,0561

Tabla 11 Área y Volumen que se puede llegar a acumular en el embalse

En las siguientes gráficas se compararán el área y volumen acumulado con las respectivas curvas de nivel:



Gráfica 8 Área acumulada con las respectivas curvas de nivel



*Gráfica 9 Volumen acumulado con las respectivas curvas de nivel*

Se puede observar que según se aumenta el desnivel el volumen también incrementa, esto quiere decir que existe un área relativamente grande entre cotas, por lo tanto, se podrá almacenar una gran cantidad de agua en el embalse con una diferencia de cota bastante baja, esto será algo positivo para el diseño del cuerpo de presa, ya que no necesitará que sea de grandes dimensiones.

Antes de elegir cual es el nivel de cota más correcto, debemos conocer cuál es la demanda necesaria por satisfacer.

#### *Cálculo volumen de regadío*

Para el cálculo del volumen de regadío se necesitan una serie de datos, tanto climatológicos como terrenales, para poder calcular algunos parámetros esenciales del cultivo.

Se ha usado una aplicación llamada CROPWAT 8.0, que conociendo algunos datos de Mt. Darwin es capaz de calcular los requerimientos netos del regadío del sistema.

Se necesitan datos de temperatura, humedad, velocidad del viento, horas de sol y precipitaciones en la zona de Mt. Darwin para calcular un factor esencial llamado evapotranspiración del cultivo de referencia.

Además, esta aplicación contiene algunas bases de datos de distintos alimentos que se pueden cultivar.

Como ya se comentó en el apartado de la demanda se ha decidido cultivar tres tipos de alimentos, maíz, hortalizas y frutales.

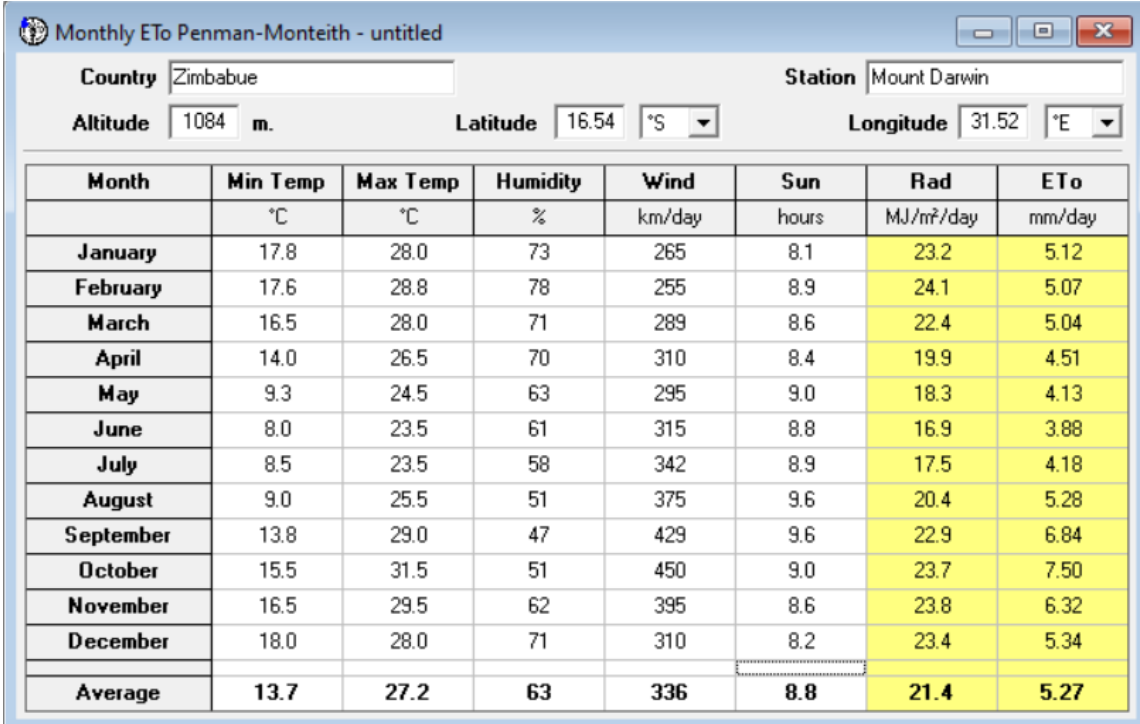
El maíz es el cereal que más exportan desde Zimbabwe y el más es tratado por estas zonas, por lo que se le dedicará la mitad del emplazamiento para el cultivo de maíz.

Para poder darles más variedad de cultivo a la población se dedicará la otra mitad del emplazamiento a los frutales y hortalizas, cultivados en la misma proporción.

A parte de todos los datos necesarios, también se necesita saber cuándo será la fecha del inicio del cultivo, para ello se necesita conocer las características de cultivo de los alimentos.

Todos ellos son cultivados generalmente en la época de primavera, dónde tienen grandes cantidades de horas de sol al día, además de una temperatura en los suelos entre 8 y 10 grados.

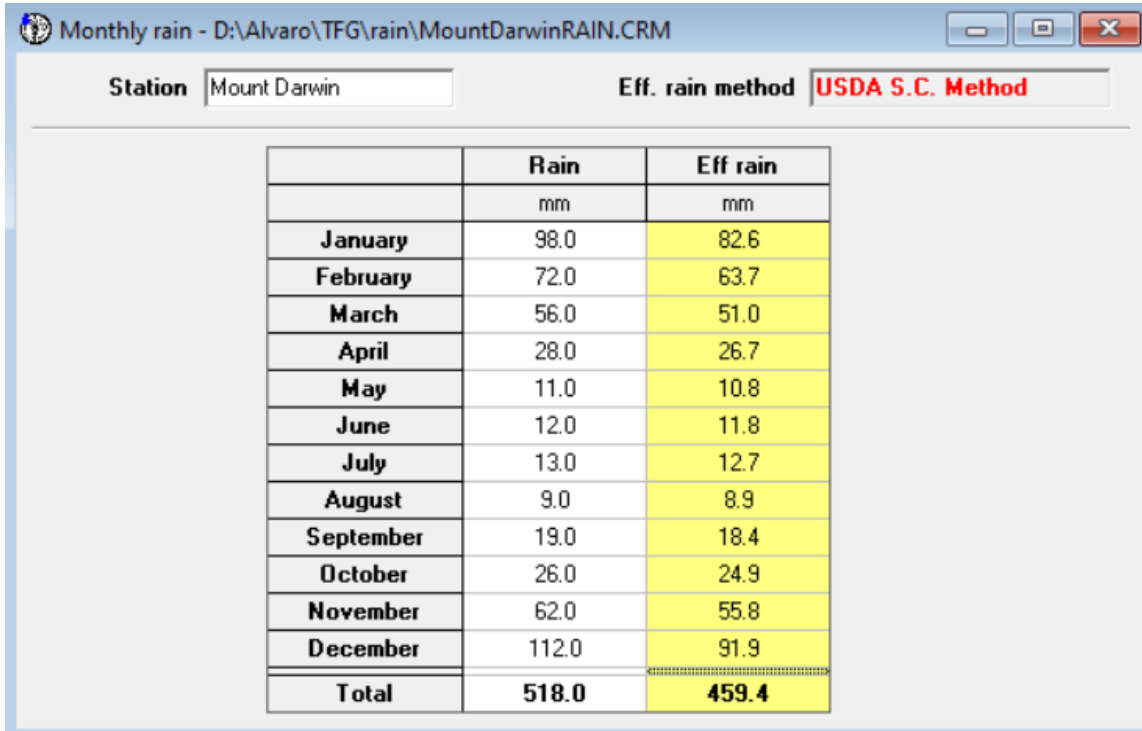
En las dos siguientes imágenes se muestran los datos necesarios para el cálculo del regadío:



Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m <sup>2</sup> /day	ETo mm/day
January	17.8	28.0	73	265	8.1	23.2	5.12
February	17.6	28.8	78	255	8.9	24.1	5.07
March	16.5	28.0	71	289	8.6	22.4	5.04
April	14.0	26.5	70	310	8.4	19.9	4.51
May	9.3	24.5	63	295	9.0	18.3	4.13
June	8.0	23.5	61	315	8.8	16.9	3.88
July	8.5	23.5	58	342	8.9	17.5	4.18
August	9.0	25.5	51	375	9.6	20.4	5.28
September	13.8	29.0	47	429	9.6	22.9	6.84
October	15.5	31.5	51	450	9.0	23.7	7.50
November	16.5	29.5	62	395	8.6	23.8	6.32
December	18.0	28.0	71	310	8.2	23.4	5.34
<b>Average</b>	<b>13.7</b>	<b>27.2</b>	<b>63</b>	<b>336</b>	<b>8.8</b>	<b>21.4</b>	<b>5.27</b>

Tabla 12 Datos para riego





	Rain	Eff rain
	mm	mm
<b>January</b>	98.0	82.6
<b>February</b>	72.0	63.7
<b>March</b>	56.0	51.0
<b>April</b>	28.0	26.7
<b>May</b>	11.0	10.8
<b>June</b>	12.0	11.8
<b>July</b>	13.0	12.7
<b>August</b>	9.0	8.9
<b>September</b>	19.0	18.4
<b>October</b>	26.0	24.9
<b>November</b>	62.0	55.8
<b>December</b>	112.0	91.9
<b>Total</b>	<b>518.0</b>	<b>459.4</b>

Tabla 13 Datos para riego

Se puede observar en la primera imagen, que las horas de sol durante el año suelen permanecer relativamente constantes, con un máximo de 9,6 y un mínimo de 8,1 horas.

Esto nos da la posibilidad de poder realizar en las épocas donde también existan unas precipitaciones elevadas, y así poder abastecer durante esos meses de manera más sencilla el suministro de agua.

Por lo tanto, se ha decidido empezar el cultivo a mediados de noviembre, y así finalizarlo como máximo a mediados de marzo, ya que, en este caso, los frutales son los que más tardan en finalizar el proceso de cultivo.

En la siguiente Anexo III se muestra la distribución de los alimentos por mes, además de los requerimientos netos del sistema por cada mes:

Con estos datos obtenidos por el CROPWAT 8.0, ya somos capaces de calcular cuál es el volumen necesario para abastecer adecuadamente la parte del cultivo.

Sumando todos los requerimientos netos de riego por mes, da un resultado de 277,9 mm/año.

Que si lo pasamos a m<sup>3</sup>/hectárea:  $277,9 \text{ mm/año} \frac{1 \text{ L/m}^2}{1 \text{ mm}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} * \frac{10000 \text{ m}^2}{1 \text{ hectárea}} =$

2779 m<sup>3</sup>/hectárea/año.

Con la superficie calculada en el apartado del terreno:  $26068.84 \text{ m}^2 = 2.606884 \text{ hectáreas}$ .

Por lo tanto, la zona de irrigación tendrá un volumen total de:

$$2779 \text{ m}^3/\text{hectárea/año} * 2.606884 \text{ hectáreas} = \mathbf{7244,53 \text{ m}^3/\text{año}}$$

En la siguiente gráfica se presenta el volumen necesario por mes:

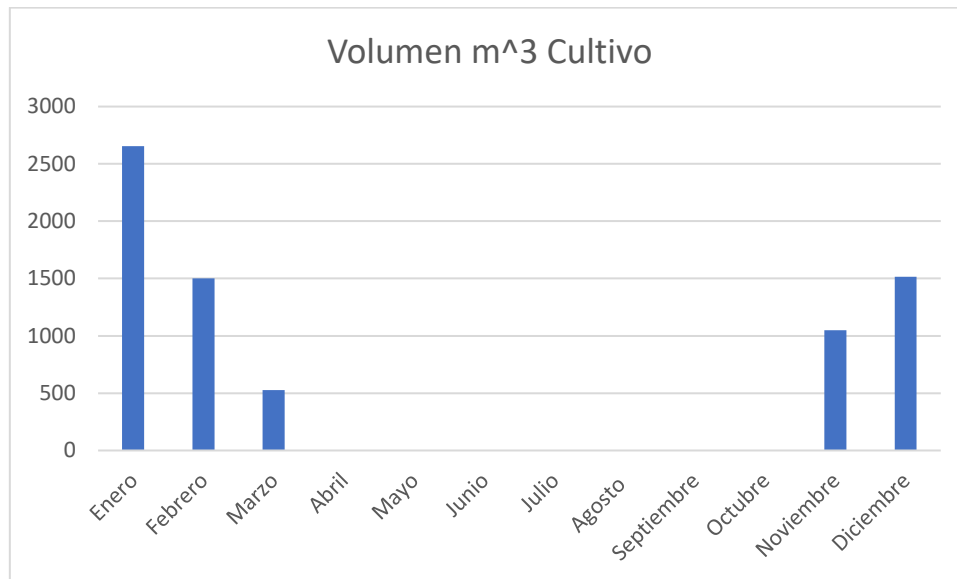


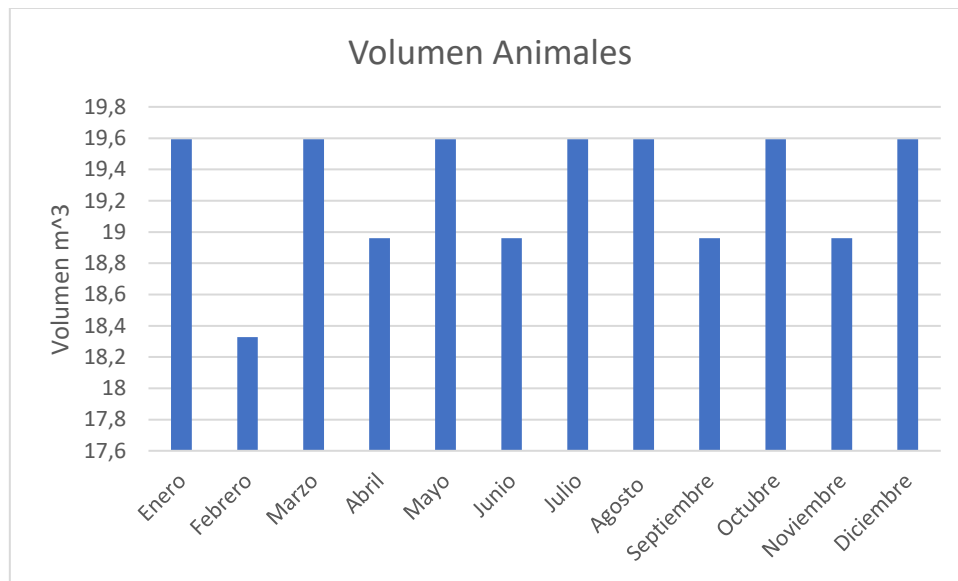
Tabla 14 Volumen total requerido para el cultivo

Con respecto al consumo animal del distrito, como se comentó anteriormente se disponían de unos 80 animales en la zona, con variedad de vacas, cerdos, gallinas y cabras.

En la siguiente tabla se mostrará el consumo que conlleva cada animal, y una gráfica representando el volumen que se necesita cada mes. <sup>19</sup>

Animal	Nº Animales	Litros/dia/animal
Vacas	12	40
Cerdos	4	2
Gallinas	32	0,5
Cabras	32	4

Tabla 15 Distribución de los animales y su consumo



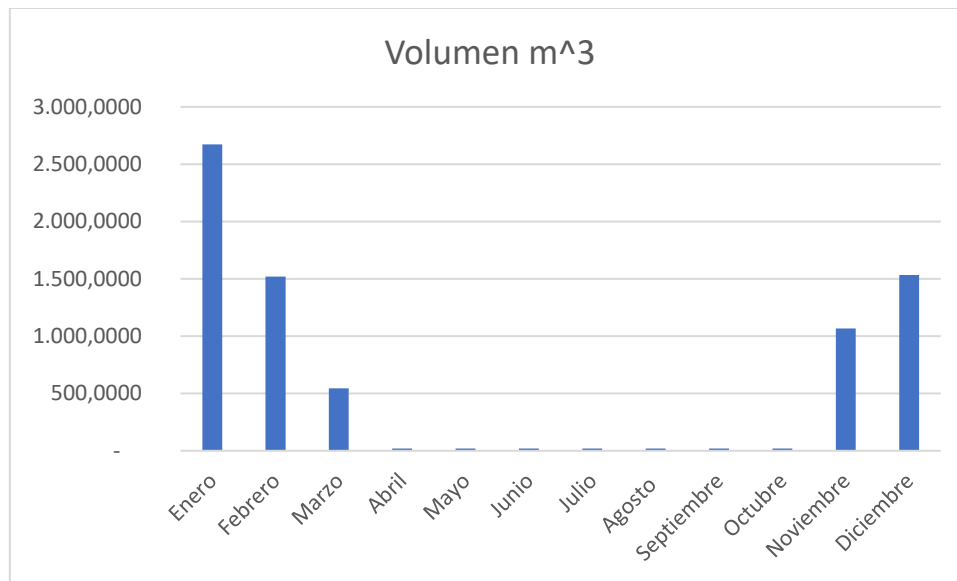
Gráfica 10 Volumen total requerido por parte de los animales.

Finalmente, el volumen total necesario para dar con las satisfacciones de la demanda sería el siguiente:

Mes	Volumen m <sup>3</sup>
Enero	2.673,3954
Febrero	1.519,8909
Marzo	546,1820
Abril	18,9600
Mayo	19,5920
Junio	18,9600
Julio	19,5920
Agosto	19,5920
Septiembre	18,9600
Octubre	19,5920
Noviembre	1.066,9270
Diciembre	1.534,1910

Tabla 16 Volumen requerido por parte de los animales

**Demanda total al año = 7475,8343 m<sup>3</sup>.**



Gráfica 11 Volumen total necesario para satisfacer la demanda.

Con este cálculo del volumen de la demanda, ya se puede obtener cual es la cota del embalse máxima necesaria para satisfacerla. En los siguientes análisis se estudiará cuál es la más idónea.

#### *Cálculo cota de coronación*

La cota de coronación es definida por la parte más elevada de la estructura de la presa, que se calcula dependiendo de los distintos niveles de la lámina de agua y de las sobreelevaciones correspondientes.

Para definir la cota de la estructura hay que seguir la siguiente expresión:

$$Cota\ coronación\ (presa\ materiales\ sueltos) > \begin{cases} N.M.N. + S.O.M. \\ N.A.P. + S.O.A. \end{cases}$$

$$Cota\ coronación = N.M.N. + Resguardo$$

N.M.N = Nivel Máximo Normal.

N.A.P = Nivel Avenida Proyecto.

S.O.M = Sobreelevación del Oleaje Máximo

S.O.A = Sobreelevación del Oleaje en Avenidas

#### 5.1.4.1 CÁLCULO NIVEL MÁXIMO NORMAL.

Lo que condiciona principalmente el cálculo del máximo normal es la demanda de agua que se debe garantizar de forma temporal. En este caso hablamos de una demanda de 7475,8343 m<sup>3</sup>.

Si nos fijamos en la tabla de las curvas de nivel con los respectivos volúmenes, si llenásemos el embalse hasta la cota de 1073 m dispondríamos de más de 12000 m<sup>3</sup>, pero si nos situamos en la cota de 1072,5 obtendríamos poco más de 3000 m<sup>3</sup> de agua en el embalse, por lo tanto, no podríamos satisfacer a la demanda adecuadamente.

Finalmente, se escoge una cota para el nivel máximo normal de 1073 metros.

#### CÁLCULO NIVEL AVENIDA PROYECTO.

Esto viene dado por la siguiente ecuación:  $N.A.P = N.M.N + h$

Donde h es el calado vertiente, que significa la distancia entre la base del aliviadero y la superficie libre de agua.

Para ello se utilizará una ecuación que está relacionada con el caudal de avenida (calculados todos los caudales de las distintas avenidas anteriormente), la longitud del aliviadero y un coeficiente de desagüe.

$$Q = \frac{2}{3} * C_d * \sqrt{g * 2} * L * h^{2/3}$$

$$Q \equiv \text{caudal de avenida } \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

$$C_d \equiv \text{Coeficiente de desagüe}$$

$$L \equiv \text{Longitud de aliviadero (m)}$$

$$h \equiv \text{calado de vertiente (m)}$$

$$g \equiv \text{gravedad (9,81 m/s}^2)$$

Para el cálculo del coeficiente de desagüe empleamos la siguiente ecuación elaborada por Rehbock.<sup>20</sup>

$$C_d = 0,611 + \frac{0,075 * h}{H_r}$$

$H_r \equiv$  la distancia existente entre la cota cauce y el Nivel Máximo Normal (m)

La mínima cota que se produce es de 1071 m y el Nivel Máximo Normal se produce a los 1073 m.  $H_r = 2$  m.

En la siguiente tabla se muestran los diferentes caudales según el tipo de avenida:

Cuenca	Avenida proyecto	Avenida extrema 1	Avenida extrema 2
Periodos de retorno (años)	25	100	500
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	1,1602	1,6629	2,4998

Tabla 17 Caudales de los distintos tipos de avenidas

Lo único que nos falta sería conocer la distancia del aliviadero, lo que se hará será diseñar la distancia dando valores numéricos y calculando la caudal vertiente, finalmente nos quedaremos con el valor que mejor nos convenga para el diseño.

Según las dimensiones de la presa se estimará una longitud de aliviadero igual a 5 metros.

$L_{MAX} = 5$  m.

Aquí se muestran los distintos valores del caudal de vertiente para las diferentes dimensiones del aliviadero, según el tipo de avenida:

L (m)	h (m)	cota N.A.P (m)
0	0	1073
0,5	1,3	1074,3
1	0,493	1073,493
1,5	0,274	1073,274
2	0,179	1073,179
2,5	0,129	1073,129
3	0,098	1073,098
3,5	0,074	1073,074
4	0,064	1073,064
4,5	0,0537	1073,0537
5	0,0459	1073,0459

Tabla 18 Valores del caudal de vertiente para la avenida del proyecto

L (m)	h (m)	cota N.A.E1 (m)
0	0	1073
0,5	2,088	1075,088
1	0,822	1073,822
1,5	0,462	1073,462
2	0,304	1073,304
2,5	0,219	1073,219
3	0,168	1073,168
3,5	0,133	1073,133
4	0,1094	1073,1094
4,5	0,0919	1073,0919
5	0,0785	1073,0785

*Tabla 19 Valores del caudal de vertiente para la avenida extrema 1*

L (m)	h (m)	cota N.A.E2 (m)
0	0	1073
0,5	3,456	1076,456
1	1,436	1074,436
1,5	0,824	1073,824
2	0,548	1073,548
2,5	0,398	1073,398
3	0,305	1073,305
3,5	0,244	1073,244
4	0,2	1073,2
4,5	0,168	1073,168
5	0,144	1073,144

*Tabla 20 Valores del caudal de vertiente para la avenida extrema 2*

Como podemos observar en las siguientes tablas, según se produce un incremento en la longitud del aliviadero, la cota del caudal vertiente disminuye, aspecto que nos interesa, ya que no queremos que se produzcan altos niveles de sobreelevación producidas por las avenidas. Pero tampoco nos interesa un aliviadero grande, ya que se trata de una presa con magnitudes pequeñas.

Finalmente, se ha decidido escoger un aliviadero de 3 metros, que produce un caudal de vertiente de unos 300 milímetros. Es una relación bastante adecuada entre las dimensiones de la presa y las de sobreelevación de las avenidas.

CÁLCULO SOBREELEVACION DEL OLEAJE EN AVENIDAS.

El cálculo de la sobreelevación de las olas se hace mediante la generación del viento de estas que es calculada por el parámetro de fetch.

El parámetro fetch es la máxima distancia recta que se produce entre el eje de la presa y la orilla del embalse, sin encontrarse ninguna zona por inundar. Según el diagrama topográfico y los detalles del embalse se calcula una recta máxima de 95 metros.

La fórmula para calcular la sobreelevación es la siguiente:

$$S.O.A = 1,5 * a$$

Mediante la fórmula de *Stevenson*:

$$a = 0,76 + 0,34 * \sqrt[4]{F} - 0,26 * \sqrt[6]{F}$$

$F \equiv$  *parametro de Fetch (km)*

$a \equiv$  *Amplitud de ola máxima (m)*

Esto resulta una amplitud de **0,773 metros**.

Finalmente

$$S.O.A = 1,16 \text{ metros}$$

CÁLCULO SOBREELEVACION DEL OLEAJE MAXIMO.

La sobreelevación del oleaje máximo depende de las olas que se generan por el viento como anteriormente y de los sismos producidos.

Como Zimbabue se caracteriza por tener una actividad sísmica media, puede repercutir en la sobreelevación de las olas.

$$S.O.M = \max \left\{ \begin{array}{l} h_s + 1 \\ a \end{array} \right.$$

$h_s \equiv$  *amplitud de la ola del sismo (m)*

$a \equiv$  *Amplitud de ola máxima (m)*

Se estima un valor de la ola del sismo de unos 0,05 metros.



$$S.O.M = \max \begin{cases} 1,05 \\ 0,773 \end{cases}$$

La cota de coronación deberá cumplir los siguientes requisitos:

$$Cota\ de\ coronacion \geq \begin{cases} N.M.N + S.O.M \\ N.A.P + S.O.A \\ N.A.E \end{cases}$$

$$Cota\ de\ coronación = N.M.N + Resguardo$$

En la siguiente tabla se muestran todos los cálculos anteriores para las distintas avenidas:

Cuenca	N.M.N + S.O.M (m)	N.A.P + S.O.A (m)	N.A.E1 (m)	N.A.E2 (m)	Cota Coronación (m)
Mt Darwin	1074,05	1074,258	1073,168	1073,305	1074,258

Tabla 21 Cota de coronación

Cuenca	N.M.N (m)	Cota Coronación (m)	Resguardo (m)
Mt Darwin	1073	1074,258	1,258

Tabla 22 Calculo de resguardo

Con todo lo calculado anteriormente se presenta una tabla con las dimensiones de la presa:

Cuenca	Cota Coronación (m)	Cota cauce (m)	Altura Presa (m)
Mt Darwin	1074,258	1071,5	2,758

Tabla 23 Altura teórica de la presa

Esa sería la altura de la presa máxima si se produjese la avenida del proyecto y el máximo oleaje, evidentemente lo normal es que no ocurra, pero para evitar cualquier desbordamiento de agua se implementará la altura de la presa a:

$$Altura\ Presa = 2,9\ metros$$

#### *Cálculo ancho de coronación*

El ancho de la coronación depende principalmente de los servicios que se le quiera dar a la presa. El ancho de coronación debe tener la suficiente longitud como para permitir el tránsito de las personas sobre él, pero como se ha visto se trata de una presa con una altura pequeña, aproximadamente de tres metros, por lo que el ancho de la presa no puede ser demasiado grande.

Con estos dos requisitos, se deduce que el ancho más favorable para la presa debe estar entre 1 y 2 metros de ancho. Posteriormente cuando se analice las cargas sobre la estructura se dará un valor más exacto sobre el ancho de la presa.

#### *Volumen final del embalse*

Para obtener el volumen final del embalse, se sumarán las aportaciones de la cuenca hídrica y las precipitaciones que caigan en el embalse, y se restarán las pérdidas por evaporación y le demanda mensual que se necesita abastecer, tanto para el regadío como para los animales de la zona. <sup>21</sup>

Para el cálculo del volumen de la evaporación tenemos la siguiente gráfica:

Mes	ETO
Enero	60,294
Febrero	61,74
Marzo	57,303
Abril	50,577
Mayo	45,615
Junio	39,783
Julio	39,663
Agosto	49,176
Septiembre	58,881
Octubre	72,882
Noviembre	69,102
Diciembre	60,84

*Tabla 24 Evapotranspiración existente por mes en milímetros de agua*

Estos cálculos tienen las unidades en mm/mes, para ello necesitamos el área en la que se producirá esta evaporación, se estima que la máxima área acumulada se produce cuando el embalse está lleno por completo, por lo tanto, el área acumulada del embalse será la determinada en la tabla 10:

$$\text{Área Embalse} = 2,7 \text{ hectáreas}$$

Solo nos queda pasar los mm/mes a m<sup>3</sup>/hectárea, para ello hay que multiplicar \* 10 los valores de las pérdidas por evaporación. Lo mismo que se hace con la evaporación se tiene que hacer con las precipitaciones que caen mensualmente en el embalse.

En la siguiente tabla se muestra todos los volúmenes que influyen para el cálculo final del embalse:

Mes	APORTACIONES HÍDRICAS m <sup>3</sup>	PRECIPITACIONES m <sup>3</sup>	ET0 m <sup>3</sup>	DEMANDA m <sup>3</sup>
Enero	19321,4232	4300,02	1627,938	2.673,40
Febrero	14296,3488	3181,68	1666,98	1.519,89
Marzo	10010,1132	2227,77	1547,181	546,182
Abril	3343,5792	741,42	1365,579	18,96
Mayo	592,0416	131,76	1231,605	19,592
Junio	397,9296	88,56	1074,141	18,96
Julio	265,6908	59,13	1070,901	19,592
Agosto	135,8784	30,24	1327,752	19,592
Septiembre	590,8284	131,49	1589,787	18,96
Octubre	2430,0396	540,81	1967,814	19,592
Noviembre	9415,6452	2095,47	1865,754	1.066,93
Diciembre	16517,718	3676,05	1642,68	1.534,19

Tabla 25 Volúmenes que afectan al embalse

Mes	VOLUMEN FINAL m <sup>3</sup>	EXCEDENTE m <sup>3</sup>
Enero	19.320,11	7.280,08
Febrero	14.291,16	2.251,13
Marzo	10.144,52	0,00
Abril	2.700,46	0,00
Mayo	0,00	0,00
Junio	0,00	0,00
Julio	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00
Septiembre	0,00	0,00
Octubre	983,44	0,00
Noviembre	8.578,43	0,00
Diciembre	17.016,90	4.976,87

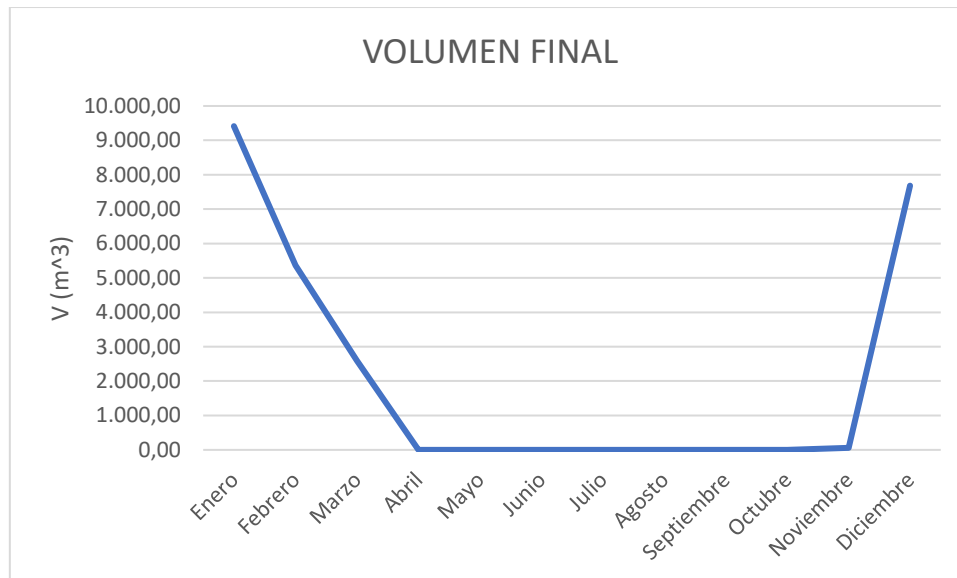
Tabla 26 Volumen final del embalse con su excedente

Como se puede observar en la siguiente tabla, mayo, junio, julio, agosto y septiembre, son meses en los cuales la presa no es capaz de sostener al agua debido a las grandes pérdidas de la evapotranspiración del terreno. Mientras que los meses restantes logran aguantar diferentes volúmenes de agua.

En tres de ellos se produce un excedente de agua, ya que el embalse se ha diseñado para que aguante una capacidad máxima de 12000 metros cúbicos de agua.

Como la demanda está mayoritariamente destinada al cultivo, se podría abastecer perfectamente durante los meses de enero, febrero, marzo, abril, octubre noviembre y diciembre.

El volumen final del embalse quedaría de la siguiente manera:



*Gráfica 12 Volumen final que logamos embalsar*

## CÁLCULOS RESISTIVOS

Como ya disponemos de todos los cálculos hídricos sobre el sistema, podemos empezar a calcular las características resistivas del cuerpo de la presa.

Primeramente, como nuestra presa es caracterizada por presa pequeña, ya que mide menos de 15 metros no se calcularán todos los esfuerzos que se aplican a las presas grandes, ya que algunos de ellos resultan despreciables.

Desde un punto de vista geológico y geotécnico se calcularán unos parámetros que son esenciales para los cálculos resistivos como son, el ángulo de rozamiento, la resistencia máxima del terreno y la cohesión.

Con los datos hidrológicos, los datos obtenidos por los distintos niveles de avenidas y el dimensionamiento del cuerpo de presa, podremos definir cuánta fuerza tendrá que aguantar la presa en los casos temporales y más desfavorables.

### *Cálculo parámetros roca intacta*

Antes de empezar a realizar cálculos estructurales sobre el cuerpo de la presa es necesario conocer algunos parámetros sobre los materiales. Como ya se ha hablado anteriormente,

según lo estudiado en la parte geotécnica y geológica, disponemos de dos tipos de materiales, Dolerita y Gneis.

Se estudiarán las características de ambos materiales y nos quedaremos para los cálculos el que contenga las características más desfavorables.

Para realizar el cálculo de la resistencia del terreno se seleccionan dos tipos de criterios:

Criterio de Mohr Coulomb, también llamado criterio de la fricción interna consiste en valorar la resistencia al corte del suelo en base a: <sup>22</sup>

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi$$

Esto significa, que la resistencia ante el esfuerzo cortante es la suma entre la cohesión y el rozamiento en el plano de rotura.

Pero en este caso, se presenta un problema, esta teoría se puede realizar generalmente para cuerpos homogéneos, pero nuestra presa está diseñada con rocas voluminosas y poco homogéneas, por lo que este criterio no es conveniente utilizarlo.

Criterio Generalizado Hoek y Brown:

El modelo de Hoek y Brown se fundamenta en las características que representan los planos de contacto entre los bloques y en el conocimiento de en cómo se unen entre sí los bloques de roca que componen el macizo rocoso. <sup>23</sup>

El modelo para el macizo rocoso es expresado mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \times \left( m_b \times \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Donde  $\sigma'_1$  es el esfuerzo efectivo principal mayor y  $\sigma'_3$  es el esfuerzo efectivo principal menor. El valor constante para el macizo rocoso es  $m_b$ ,  $s$  y  $a$  son constantes que dependen de las características del macizo rocoso y, por último,  $\sigma_{ci}$  es la resistencia a la compresión axial de roca intacta que conforma el macizo rocoso.

Para poder analizar la resistencia y deformabilidad de los macizos rocosos es necesario conocer:

1.  $\sigma_{ci}$ : La resistencia a compresión uniaxial de los trozos de roca intacta en el macizo rocoso
2.  $m_i$ : La constante del criterio Hoek-Brown para la roca intacta.

### 3. **GSI:** El valor del Índice de Resistencia Geológica para el macizo rocoso.

Al no poder realizarse ningún estudio para la obtención de estos parámetros, se mostrarán una serie de ilustraciones que aproximan los valores dependiendo del tipo de roca.

Se mostrará en el ANEXO IV

Al tratarse de materiales como el gneis o la Dolerita, que es muy similar al gabro, nos situaríamos en el rango 5 de característica muy resistente, pero como no conocemos con exactitud las características de deterioros de los materiales, bajaremos la clasificación dos peldaños, situándonos en una resistencia uniaxial  $\sigma_{ci}$  entre 25-50 MPa.

Para el parámetro de la constante de la roca disponemos de la siguiente tabla del ANEXO IV que muestra los diferentes valores según el tipo de roca y el tipo de textura:

Se tratan de rocas ígneas, especialmente de dolerita, por lo tanto, el parámetro  $m_i$  tomará el valor de 19.

Para el cálculo del Índice de Resistencia Geológica, se dispone de la siguiente información mostrada en el ANEXO IV. Para obtener el parámetro de GIS hay que tener en cuenta el tipo de estructura de la presa y diferentes condiciones de superficie que se puedan presentar.

Para tener un caso relativamente desfavorable y evitar cualquier fallo, se escogerá una calidad de superficie neutra (fair) y una forma de la estructura normal tirando a pobre.

Por lo tanto, el valor más conveniente que se acaba escogiendo es un GIS = 38

Finalmente, los parámetros escogidos son:

Parámetro	Valor
$m_i$	19
$\sigma_{ci}$	35
GIS	38

Tabla 27 Parámetros del macizo rocoso

Para el cálculo de los parámetros de la roca se necesitan primero una serie de ecuaciones que dependen todas ellas de la tensión tangencial y normal.

Estas tensiones son de vital importancia para poder hacerse con el cálculo de la cohesión y el ángulo de rozamiento del macizo rocoso, que posteriormente se utilizarán para los cálculos estructurales del cuerpo de la presa. <sup>24</sup>

Ecuaciones:

$$m = m_i * e^{\frac{GSI-100}{28}} \quad s = e^{\frac{GSI-100}{9}} \quad \beta = \frac{m * \sigma_{ci}}{8} \quad \zeta = \frac{8 * s}{m^2}$$

Parámetro	Valor
m	2,229
s	0,0013
$\beta$	9,752
$\zeta$	0,00205

Tabla 28 Parámetros del macizo rocoso

Para el cálculo de la tensión normal y tangencial:

$$\tau = \beta * \frac{1 - \sin \varphi}{\tan \varphi}$$

$$\sigma_n = \beta * \left( \frac{(1 - \sin \varphi)^2}{2 * (\sin \varphi)^2} * (1 + 2 * \sin \varphi) - \zeta \right)$$

$\tau \equiv$  Tensión tangencial (MPa)

$\sigma_n \equiv$  Tensión normal (MPa)

En la siguiente gráfica se muestran los esfuerzos tangencial y normal para los diferentes ángulos de rozamiento de la roca.

$\varphi$	$\sigma$	$\tau$
30	9,7321	8,4456
32	7,8836	7,336
34	6,4	6,373
36	5,1974	5,533
38	4,22	4,7974
40	3,4218	4,1516
42	2,7677	3,583
44	2,231	3,0835
46	1,7902	2,6431
48	1,4282	2,2554
50	1,1316	1,9145
52	0,889	1,6152
54	0,6914	1,3532

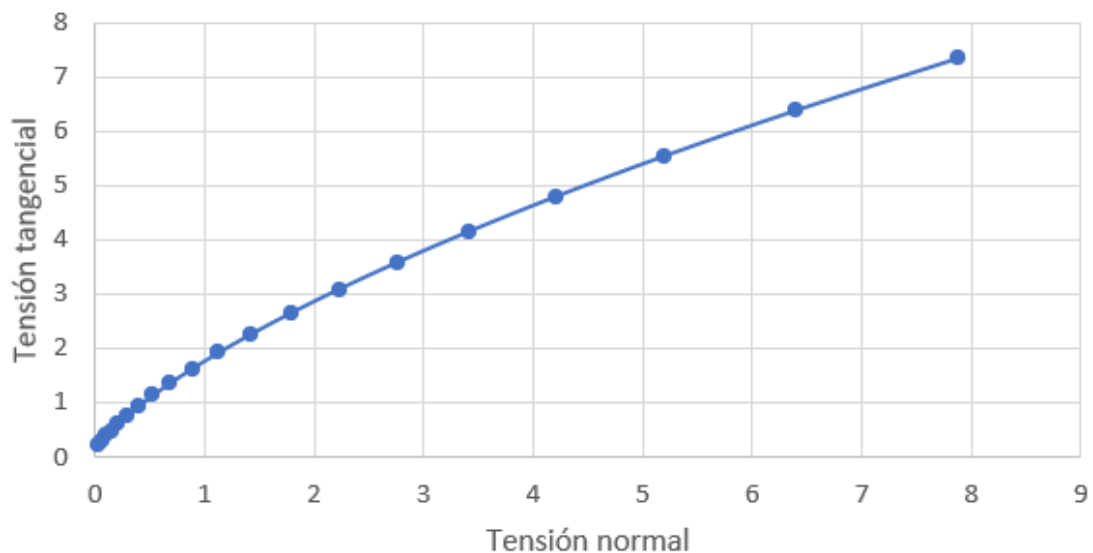
ICAI	ICADE	CIHS
56	0,5312	1,1246
58	0,4021	0,926
60	0,2988	0,7543
62	0,217	0,6069
64	0,1529	0,4814
66	0,1035	0,3754
68	0,06586	0,2869
70	0,03784	0,214

Tabla 29 Tensión normal y tangencial con su respectivo ángulo

Con la siguiente figura podemos sacar la pendiente de la recta entre la tensión normal y tangencial, y consecuentemente calcular el ángulo de fricción de la roca.

Se ha realizado una gráfica con la tensión tangencial en el eje vertical y la tensión normal en el horizontal, y se calculará el ángulo existente en la zona de estabilidad.

### Criterio Hoek-Brown



Gráfica 13 Comparación de la tensión normal con la tensión tangencial

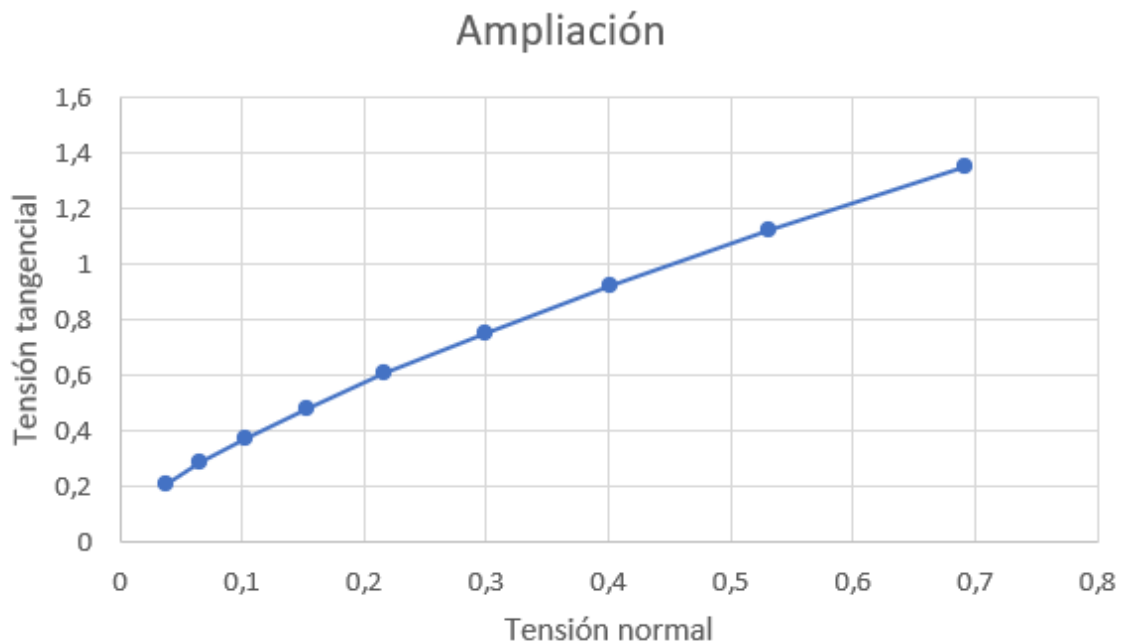


La pendiente de la recta es de aproximadamente  $0,765 = \frac{(6-2)}{(6,05-2,95)}$ ; estos son puntos de la recta representada en la figura.

Realizando la  $\text{tg}(\phi) = 0,765$  nos da un ángulo de fricción de  $37,43^\circ$

Posteriormente calcularemos el valor de la cohesión, que es prácticamente el valor que existe cuando la tensión normal es prácticamente cero.

En la gráfica 14, se presenta una ampliación de la imagen anterior.



*Gráfica 14 Ampliación de la comparación entre tensión normal y tangencial*

Podemos observar que el valor de la cohesión rondará entre los 0,2-0,3 MPa

Finalmente nos queda una tabla de parámetros:

Parámetro	Valor
Ángulo de rozamiento ( $^\circ$ )	37,43
Cohesión (MPa)	0,25
Resistencia a la compresión (MPa)	35

*Tabla 30 Parámetros geotécnicos imprescindibles para los cálculos estructurales*

Con estos parámetros ya tenemos la posibilidad de calcular las diversas cargas resistivas.

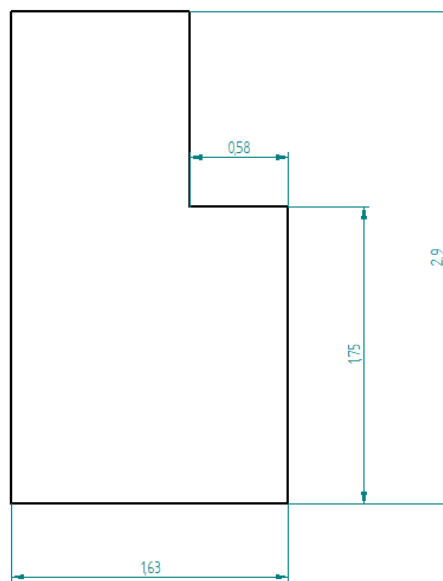
Para realizar adecuadamente esto, se necesita una serie de conocimientos sobre la presa. Como pueden ser, el volumen del embalse, la pendiente de la base, el máximo vértice de la presa y las distintas cargas que tendrá que soportar la estructura.

Hoy en día la presa que está construida no tiene ningún tipo de pendiente. Lo que realiza la construcción de una pequeña pendiente sobre la base es garantizar más estabilidad, pero al tratar con un material lo suficientemente resistente puede ser que no sea del todo necesario. Así que, de primera mano, se partirá con un estado inicial sin pendiente, y si se observa que no es lo suficientemente resistente, se podría cambiar a una base con una pequeña pendiente.

En cuanto al volumen y al vértice de la estructura, ya ha sido calculado en apartados anteriores, por lo tanto, solo nos queda determinar las diferentes cargas que la presa debe ser capaz de soportar.

### *Cálculo de esfuerzos estructurales*

En la siguiente imagen se muestra la sección del perfil que contiene la presa con las dimensiones calculadas:



*Figura 29 Cotas de la presa*

Una vez conocidas las diferentes dimensiones de la presa, solo nos quedaría calcular los tipos de cargas que afectan a ella.

1. Empuje Hidrostático
2. Peso Propio
3. Presión intersticial (Subpresión)
4. Empuje de tierras

Estas son las cuatro cargas que se analizarán, ya que son determinadas como las imprescindibles para el cálculo de presas pequeñas. Existen otras como, efectos sísmicos,

variaciones de temperatura y más que se considerarán despreciables con respecto al daño que puedan causar estas cuatro principales. <sup>25</sup>

Todas las cargas se estimarán que están aplicadas linealmente distribuidas, para poder simplificar los métodos de cálculo. Se muestran las cargas distribuidas en la imagen del ANEXO V.

### EMPUJE HIDROSTÁTICO

La presión hidrostática depende de la lámina de agua en el embalse, es aplicada como es lógico, aguas arriba de la presa, distribuida linealmente, triangular y con el vértice correspondiente al nivel de avenida del embalse.

Viene dada por la siguiente expresión:

$$E_H = \frac{1}{2} * \gamma_a * h_a^2$$

$E_H \equiv$  Empuje hidrostático (kN/m)

$\gamma_a \equiv$  Peso específico del agua (kN/m<sup>3</sup>)

$h_a \equiv$  Altura de la lámina de agua (m)

El peso específico del agua es el siguiente:

$$\gamma_a = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

Al tratarse de una distribución triangular, lo único que hay que hacer para calcular la tensión es calcular el área de la sección, es por ello que se observa un 0,5 en la ecuación y el dato de la altura de la lámina de agua, además todo ello se tendrá que multiplicar por el peso específico del agua.

### PESO PROPIO

Este cálculo es algo más sencillo, ya que solo se necesita conocer el área de la sección de la presa y el peso específico del que está compuesto esta.

$$P = \gamma_m * A$$

$P \equiv$  Peso propio (kN/m)

$\gamma_m \equiv$  Peso específico del material que compone la presa (kN/m<sup>3</sup>)

$A \equiv$  Area de la sección de la presa (m<sup>2</sup>)

Para el peso específico del material se ha escogido el del material de gneis rojizo, es el único material que es bastante parecido a la Dolerita y del cual se pueden extraer datos de pesos y durezas. <sup>26</sup>

$$\gamma_m = 25 \text{ kN/m}^3$$

### PRESION INTERSTICIAL (SUBPRESION)

Este tipo de cargas, en muchos casos y en muchos tipos de presas se suele despreciar, pero en este caso, parece bastante poco despreciable.

La subpresión es la que provoca las filtraciones del agua través de los poros de la presa y el terreno. Pueden producir graves pérdidas por filtración, que actúan en la dirección normal al plano de cimentación, que se opone al sentido del peso de la estructura.

Hay diversos tipos de subpresión, que dependen de la situación en la que nos encontremos. Se realizará el cálculo por drenes ineficaces y sin grietas, ya que no disponemos de la información de ellas, lo que corresponde a una distribución lineal y triangular, como se puede observar en el ANEXO V.

$$P_I = \frac{1}{2} * \gamma_m * h_a * B$$

$P_I \equiv$  Presión intersticial (kN/m)

$\gamma_m \equiv$  Peso específico del material que compone la presa (kN/m<sup>3</sup>)

$h_a \equiv$  Altura de la lámina de agua (m)

$B \equiv$  Base de la estructura (m)

### EMPUJE DE TIERRAS

Este tipo de carga es parecida a la realizada por el empuje hidrostático, lo único que no viene determinada por el agua que se puede almacenar en el embalse, sino que es producida por la decantación de sólidos en el fondo del embalse. A medida que se acumulan estos sólidos, pueden llegar a provocar una carga lo suficientemente considerable para tenerla en cuenta.

$$E_T = \frac{1}{2} * \gamma_t * h_t^2$$

$\gamma_t \equiv$  Peso específico del material que compone el terreno (kN/m<sup>3</sup>)

$h_t \equiv$  *Altura de sedimentos (m)*

Se supondrá que la altura máxima que pueden alcanzar los sedimentos es un quinto de la altura total de la presa.

Con respecto al peso específico del terreno se tomará el peso, en este caso, el de la arena saturada, que como se estudió anteriormente, era el material que más presencia tenía en el terreno.

$$h_t = \frac{1}{5} * 2,9 = 0,58 \text{ metros.}$$

$$\gamma_t = 21 \text{ kN/m}^3$$

En la siguiente tabla se muestra la información de las distintas cargas resistivas según el tipo de avenida en el embalse, hay algunas cargas, como el empuje de tierras y el peso propio que no dependen del agua almacenada en el embalse.

Cargas	Avenidas	Resultados (kN/m)
Empuje Hidrostatico	NMN	11,0363
	N.A.P	12,5254
	N.A.E.1	13,6468
	N.A.E.2	15,9806
Subpresion	NMN	30,5625
	N.A.P	32,5593
	N.A.E.1	33,9855
	N.A.E.2	36,7769
Empuje de Tierras		3,5322
Peso Propio		101,5

*Tabla 31 Resultados de las cargas resistivas por las diferentes avenidas*

En la próxima tabla se han distribuido las tensiones en los ejes vertical y horizontal según la distribución aplicada en el ANEXO V.

Tipo	Componente Horizontal (kN/m)	Componente Vertical (kN/m)
NMN	14,5685	70,9375
N.A.P	16,0576	68,9407
N.A.E.1	17,179	67,5145
N.A.E.2	19,5128	64,7231

*Tabla 32 Distribución vertical y horizontal de las cargas en sus respectivas avenidas*

La componente vertical resulta la componente Normal del cuerpo de la presa, es un dato que necesitaremos para el cálculo frente al vuelco. Viene determinada por las reacciones verticales de la presa, resultaría restar el peso propio menos la subpresión.

En los siguientes apartados se valorará la estabilidad del cuerpo de presa frente al deslizamiento y al vuelco. Cada una viene determinada por expresiones diferentes que se verán a continuación. <sup>25</sup>

## COMPROBACIÓN ESTABILIDAD FRENTE A DESLIZAMIENTO

Con los parámetros geológicos y geotécnicos calculados en el apartado de cálculos resistivos y mediante el criterio de rotura de Mohr-Coulomb, podemos hacer frente al cálculo del deslizamiento.

Además de los parámetros mencionados, actúan una serie de reacciones, que se descomponen en la fuerza de fricción  $T$  (actúa en el sentido del movimiento) y la fuerza normal  $N$  (perpendicular al movimiento). La fuerza Normal realiza una fuerza de rozamiento tangencial que se opone al deslizamiento y viene determinada por la tangente del ángulo de rozamiento del macizo rocoso. A parte de esta reacción, queda la realizada por la cohesión que depende de la longitud de contacto.

A toda la ecuación se le añadirá un coeficiente de seguridad para asegurar el fallo ante el deslizamiento.

$$T \leq (N * \tan(\varphi) + c * L_c) * K$$

$T \equiv$  Fuerza de fricción (kN/m)

$N \equiv$  Reacción normal al plano, la componente vertical (kN/m)

$\varphi \equiv$  ángulo de rozamiento del macizo rocoso (°)

$c \equiv$  cohesión del macizo rocoso (MPa)

$L_c \equiv$  Longitud comprimida del contacto (m)

$K \equiv$  Coeficiente de seguridad aplicado

Se muestra en la tabla el cálculo de la fuerza tangencial para las respectivas avenidas, y consecuentemente el factor de seguridad.

Tipo	Fuerza Friccion (kN/m)	Componente Horizontal (kN/m)	Factor de seguridad
NMN	277,0765	14,5685	19,0189

N.A.P	276,1595	16,0576	17,1981
N.A.E.1	275,5045	17,1790	16,0373
N.A.E.2	274,2227	19,5128	14,0535

Tabla 33 Cálculo de las fuerzas de fricción con los factores de seguridad.

Se observa que se cumple con claridad la estabilidad frente al deslizamiento, ya que en el caso más desfavorable (cuando actúa la avenida N.A.E.2), se obtiene un factor de seguridad de 14.

### COMPROBACIÓN ESTABILIDAD FRENTE A VUELCO

Para comprobar adecuadamente la condición de estabilidad frente al vuelco, hay que conocer las tracciones que se producen en pie de aguas arriba ( $\sigma_A$ ) y las de aguas abajo ( $\sigma_B$ ).

En la siguiente imagen se muestra el perfil de la presa, y los esfuerzos que se aplicarán en aguas arriba y aguas abajo.

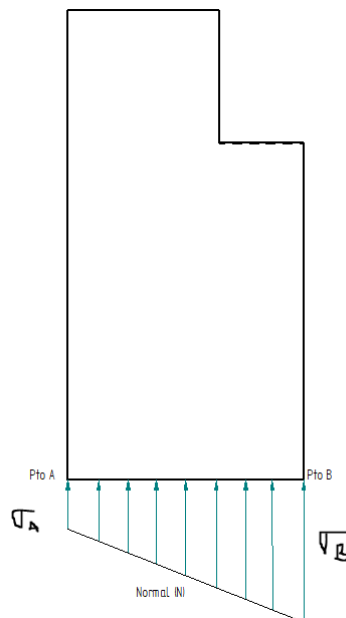


Figura 30 Esfuerzos terrenales

Para calcular estos esfuerzos es necesario calcular los momentos que producen las fuerzas calculadas anteriormente.

Se realizará el cálculo de momentos en el punto del pie de aguas abajo. Para ello es necesario calcular el brazo de cada carga y proyectarlo en el punto de aguas abajo.

Momentos en el pie de aguas abajo de la presa.

$$\sum M_B = M_{P,B} - M_{Eh,B} - M_{S,B} - M_{Et,B} - M_{N,B}$$

Evidentemente todas las cargas estructurales aplican momento sobre la estructura, actuando como positivo el momento del peso y actuando en el otro sentido las cargas que debe aguantar la presa.

Para calcular el brazo de cada carga es necesario calcular el centro de masas de la estructura y posteriormente proyectarlo en el punto B (pie de aguas abajo).

En las siguientes tablas se muestran los momentos para las distintas avenidas del embalse:

Para NMN

Cargas	Brazo (m)	Momentos (kN*m/m)
Peso Propio	0,9013	91,4769
Empuje Hidrostático	0,5000	5,5182
Empuje de Tierras	0,1933	0,6829
Supresión	1,0867	33,2112

*Tabla 34 Resultado de los Momentos que aplican las cargas para la avenida NMN*

Para N.A.P

Cargas	Brazo (m)	Momentos (kN*m/m)
Peso Propio	0,9013	91,4769
Empuje Hidrostático	0,5000	6,2627
Empuje de Tierras	0,1933	0,6829
Supresión	1,0867	35,3811

*Tabla 35 Resultado de los Momentos que aplican las cargas para la avenida del proyecto*

Para N.A.E.1

Cargas	Brazo (m)	Momentos (kN*m/m)
Peso Propio	0,9013	91,4769
Empuje Hidrostático	0,5000	6,8234
Empuje de Tierras	0,1933	0,6829
Supresión	1,0867	36,9309

*Tabla 36 Resultado de los Momentos que aplican las cargas para la avenida extrema 1*

Para N.A.E.2

Cargas	Brazo (m)	Momentos (kN*m/m)
Peso Propio	0,9013	91,4769



Empuje Hidrostático	0,5000	7,9903
Empuje de Tierras	0,1933	0,6829
Supresión	1,0867	39,9642

Tabla 37 Resultado de los Momentos que aplican las cargas para la avenida extrema 2

Finalmente se calcula el momento Normal, que viene determinado por los efectos del resto de los momentos sobre la presa.

Normal

Tipo	Normal (kN*m/m)
NMN	52,0646
N.A.P	49,1502
N.A.E.1	47,0397
N.A.E.2	42,8395

Tabla 38 Reacción Normal de las avenidas

Observando las distintas tablas, podemos deducir que el esfuerzo más considerable es el de subpresión, por lo tanto, dónde más puede sufrir la presa es en las filtraciones que se puedan producir en esta, mientras que el empuje de tierras parece casi despreciable.

El momento y la reacción normal están relacionadas con las tensiones del terreno de aguas arriba y aguas abajo.

Siguiendo la siguiente expresión:

$$M_{N,B} = \frac{1}{2} * \sigma_A * B^2 + \frac{1}{6} * (\sigma_B - \sigma_A) * B^2$$

$$N = \sigma_A * B + \frac{1}{2} * (\sigma_B - \sigma_A) * B$$

$T \equiv$  Momento de la reacción normal en el punto B (kN \* m/m)

$N \equiv$  Reacción normal al plano, la componente vertical (kN/m)

$\sigma_A \equiv$  Tensión del terreno en pie de aguas arriba (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma_B \equiv$  Tensión del terreno en pie de aguas abajo (kN/m<sup>2</sup>)

$B \equiv$  Anchura del cimiento, base de la presa (m)

Como ya disponemos de la información de la reacción y el momento Normal, podemos calcular los esfuerzos terrenales en pies de aguas arriba y aguas abajo.

Situación	Momento Normal (kN*m/m)	Reaccion Normal (kN/m)	Tension $\sigma_A$ (kN/m <sup>2</sup> )	Tension $\sigma_B$ (kN/m <sup>2</sup> )
NMN	52,0646	70,9375	30,5361	56,5038
N.A.P	49,1502	68,9407	26,4046	58,1851
N.A.E.1	47,0397	67,5145	23,3885	59,4514
N.A.E.2	42,8395	64,7231	17,3283	62,0865

Tabla 39 Resultados de las tensiones terrenales en los puntos aguas arriba y debajo de la presa

Finalmente, se calculará la condición de estabilidad, para ello se necesitará el parámetro de la tensión máxima admisible y compararlos con los esfuerzos que sufre la presa.

### COMPROBACIÓN DE LA TENSION MAXIMA ADMISIBLE

$$\sigma_B \leq \sigma_{ADM}$$

$\sigma_{ADM} \equiv$  Tensión máxima admisible por el terreno (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma_B \equiv$  Tensión del terreno en pie de aguas abajo (kN/m<sup>2</sup>)

La tensión máxima admisible del terreno es la resistencia a compresión del terreno, como se vio anteriormente se eligió una tensión de  $\sigma_{ADM} = 35 \text{ MPa}$

Esto resulta una tensión de 35000 kN/m<sup>2</sup>.

Por lo tanto, como se puede observar en la siguiente gráfica, se cumplen los criterios de diseño de tensiones.

Situación	Tension $\sigma_B$ (kN/m <sup>2</sup> )	Tension admisible $\sigma_{ADM}$ (kN/m <sup>2</sup> )	Criterio
NMN	56,5038	35000	Lo cumple
N.A.P	58,1851	35000	Lo cumple
N.A.E.1	59,4514	35000	Lo cumple
N.A.E.2	62,0865	35000	Lo cumple

Tabla 40 Comprobación de la tensión máxima admisible

## 6. ANALISIS DE SOLUCIONES

Una vez desarrollados y estudiados todos los cálculos sobre la estructura de la presa, es hora de empezar a evaluar las diversas soluciones que le podemos dar al problema de las filtraciones de agua en el embalse.

Como se estudió anteriormente, la presa estaba ubicada en una zona muy propicia para poder soportar los diferentes niveles de la lámina de agua conteniendo materiales lo suficientemente resistentes para hacer frente a cualquier tipo de daño que pueda sufrir la presa. Por lo tanto, la estructura de la presa se quedará como está, ya que en estas condiciones no tienen problema frente al vuelco ni al deslizamiento.

El único problema existente son las fugas de agua que se producen a la altura de aguas arriba de la presa.

Como es lógico, las partes más delicadas de la presa y el embalse son la forma y el tipo de estructura que tenga los pies de aguas arriba de la presa, ya que determina el contacto existente entre el terreno, la lámina de agua y el cuerpo de presa.

En consecuencia, se analizarán los diferentes factores para poder determinar cuál es la solución más indicada para aplicar la función de impermeabilidad en los pies de aguas arriba de la presa. <sup>27</sup>

Los factores de elección serán los siguientes:

- Aspecto efectivo: como el propio nombre indica, se valorarán las alternativas en función de la efectividad que contengan, tanto para un periodo a corto plazo como a largo plazo
- Aspecto de complejidad: en este caso se analizará lo fácil o difícil que resulte ejecutar la idea sobre el proyecto.
- Aspecto medioambiental: como es evidente, se estudiarán los impactos al medioambiente que puedan producir las diferentes soluciones.
- Aspecto económico: se tendrá en cuenta el peso económico que contenga el desarrollo de la solución sobre el proyecto.

Con estos cuatro criterios podremos dar con la solución más adecuada para el problema de filtraciones de la presa, ahora mismo solo queda evaluar las diversas alternativas que se puedan aplicar.

1. *Impermeabilidad de los pies de aguas arriba mediante geomembranas sintéticas*

Las membranas sintéticas, son aquellas que contienen un elevado grado de permeabilidad y porosidad, que pueden ser elaboradas por diferentes materiales, relativamente caros, como pueden ser el Polietireno (PE), Polipropileno (PP) y muchos más.<sup>28</sup>

Estos materiales son empleados con diferentes aditivos, como pueden ser plastificantes, aditivos de antienviejamiento. Esto resulta una solución con un precio elevado pero muy fiable, ya que en las membranas sintéticas predomina la permeabilidad.

2. *Impermeabilidad de los pies de aguas arriba mediante diferentes geocompuestos.*

Esta alternativa tiene varias similitudes con la anterior, ya que el proceso es bastante parecido, lo único que cambia es el material que se dispone a utilizar. Se tratará de tapizar los taludes de aguas arriba de la presa, en este caso de geocompuestos, que son el resultado de combinar dos o más elementos trabajando más comúnmente en áreas de drenaje para estructuras.<sup>29</sup>

Resultará una hidratación del material cuando entre en contacto con el agua, formando, por lo tanto, una lámina de agua impermeable que evita el paso del agua a través de la capa del material.

3. *Ejecución de una pantalla impermeable*

Tiene la función de detener el paso del agua sobre láminas que suelen ser principalmente de hormigón, aunque también existen de metal, mezclas asfálticas, materiales plásticos y más.<sup>30</sup>

A diferencia de las dos anteriores alternativas los materiales son más asequibles para la adquisición, aunque tienen un grado más bajo de permeabilidad.

4. *Ejecución de pantalla plástica de cemento.*

Esta última alternativa propone la ejecución de una pantalla impermeable a través del cemento, formando una especie de pared que no permite la circulación del agua por el cimientado. Para la ejecución de la pared se utilizarán materiales adicionales para lograr la capa impermeable.

5. *Lámina de polietileno reforzada con geomembrana.*

Esta última alternativa es la que más difiere de las anteriores, al no utilizarse, en este caso, ninguna pantalla impermeable, sino que solo es necesario una lámina de plástico en este caso de polietileno para poder aguantar el agua y que no acceda hacia las profundidades

del cemento. Como es lógico esta alternativa no necesita maquinaria, solamente se necesitarán los materiales que compone la lámina, como son el termoplástico polietileno y la geomembrana.

Después de haber explicado las siguientes alternativas se discutirán en una tabla la influencia que tienen con los diferentes factores.

Se realizará un rango del 1 al 5, siendo el 1 la peor puntuación y el 5 la máxima puntuación posible.

Factores	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta
Efectivo	5	5	4	4	3
Complejidad	1	2	2	3	5
Medioambiental	4	4	3	3	2
Económico	1	1	2	3	5
Total	11	12	11	13	15

*Tabla 41 Evaluación de las diferentes alternativas*

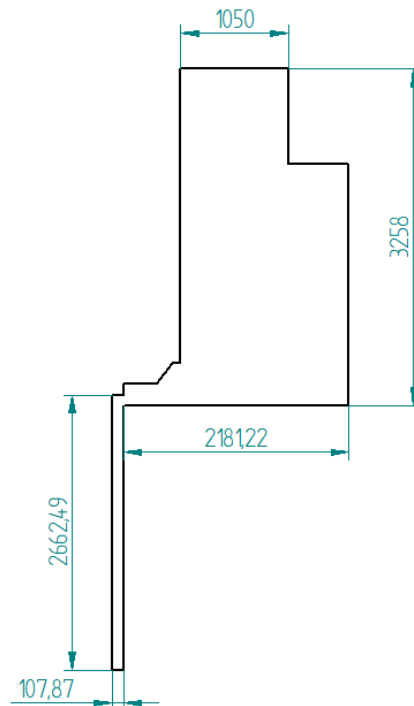
Como podemos observar en la tabla se han mostrado los valores de las alternativas con respecto a los diferentes criterios. Podemos mencionar que las dos primeras alternativas son dos muy buenas soluciones para lograr la impermeabilidad de la presa, pero en nuestro caso, no sería lo más conveniente ya que no debemos realizar un gasto económico elevado.

La tercera opción, suele ser la más utilizada habitualmente, ya que es bastante efectiva y no tan cara como las anteriores, pero sí contiene un trabajo laborioso para poder desarrollarla adecuadamente.

Las últimas dos opciones parecen a simple vista las más competitivas, siendo la alternativa de la pantalla de inyecciones más versátil, al ser más efectiva que la lámina de plástico, sin embargo, esta última alternativa nos puede ahorrar muchos gastos y además proponiendo una instalación bastante sencilla, aspecto importante, debido a que las alternativas anteriores son bastante complejas de instalar y se necesitan bastantes conocimientos sobre la construcción.

Antes de elegir la alternativa más conveniente, se describirá cual es el proceso para colocar una pantalla impermeable sobre el terreno.

En la siguiente imagen se muestra un perfil de cómo sería la presa si se llega a incorporar la pantalla.



*Figura 31 Perfil con pantalla impermeable*

Para hacer la ejecución de las pantallas se necesitaría excavar la profundidad necesaria para localizar la filtración, como no se conoce, se debería descender aproximadamente el tamaño de la presa, en este caso tres metros. Antes de implementar la pantalla, se necesita colocar un plinto, que sirve de unión entre el dique y la pantalla que se vaya a colocar en las profundidades. Además, a través de él, se realizan las inyecciones de consolidación e impermeabilización de la roca.

Después del desarrollo del plinto y la pantalla ejecutado a través de grandes maquinarias como excavadoras y taladradoras, se necesita un método para la inyección del material impermeable que generalmente no suele ser una tarea fácil, ya que se necesita una elevada tecnología para que la mezcla quede bien implementada y la pantalla fiable.

Por estos motivos, y como conocemos la situación del país nos decantaremos por la última opción, ya que puede ser una solución que evite las filtraciones, y además se ahorran muchos gastos en comparación al resto de alternativas.

Por lo tanto, lo que se realizará será desarrollar un poco más detenidamente la alternativa de la lámina de plástico y ver los distintos pasos para poder ejecutarla.

## 7. DESARROLLO DE LA SOLUCION

*Lámina del termoplástico polietileno.*

Para que nos podamos hacer una idea de cómo puede ser la solución con la lámina de polietileno, en la siguiente imagen se muestra una lámina aplicada a un pequeño embalse de agua.



*Figura 32 Lámina de polietileno*



*Figura 33 Lámina de polietileno II*

Primeramente, lo que se realizará será un allanamiento del perímetro donde se colocará la lámina de plástico, se tiene pensado colocar esta lámina sobre el perfil de aguas arriba de la presa, cubriendo parte de la superficie del talud de aguas arriba.

Como la base de la presa consta de unos 80 metros, la altura de 3 metros y el ancho de 1,6 metros, podemos estimar cuanto debería ser el área de la lámina de plástico. Suponiendo que se iniciará el proceso unos cinco metros más adelante del talud de aguas arriba de la presa, conseguimos un ancho de la lámina de 80 metros, igual a la base de la presa, y un largo de 10 metros a lo máximo.

Finalmente, las dimensiones de la lámina de polietileno serán de 10\*80 metros.

Una vez obtenidos las dimensiones del panel y el allanamiento del perímetro, queda la instalación de la lámina sobre la presa.

Se ejecutará de la siguiente manera: se dispondrá de paneles con tamaño de 4 x 50 metros aproximadamente, los que estén situados en la zona de la base de aguas arriba de la presa, posteriormente, se atornillaran al suelo, no de forma muy profunda para no dañar el cimiento, pero sí la necesaria para que queden bien anclados.

Una vez ejecutado lo anterior, cada panel se unirá al próximo mediante un adhesivo, y así poder tener toda la superficie de la presa con panel de polietileno.

Para la ejecución del panel de plástico sobre la zona vertical del dique se realizará de otra manera, aunque algo similar. Primero se colocará una barra metálica, para dar más rigidez, aunque también se puede usar de otro material, será una barra de unos 6 centímetros de ancho y un metro de largo, que será atornillada a una distancia de unos tres quintos de la altura de la presa, aproximadamente a unos dos metros. Una vez esa



barra esté bien atornillada a sobre todo el eje de la presa, ya estamos a la disposición de colocar los paneles de 2\*40 metros sobre la zona vertical del dique.

La barra metálica será unida al panel de polietileno mediante un adhesivo que está especializado en la unión de metal con plástico, es el conocido CT-1.



Figura 34 Adhesivo CT-1

El panel que una la presa con el cimiento es el más importante, ya que es el lugar donde se producen las filtraciones. Por lo tanto, este panel estará unido a la superficie del suelo, por barras metálicas colocadas en las esquinas de la presa para que todo permanezca sujeto. Esta lámina quedará adherida a la lámina anterior puesta sobre la superficie.

Por lo tanto, para cubrir toda la zona de la presa se necesitarán unas 10 vigas metálicas, tres paneles de polietileno, uno de reserva, un taladro para atornillar las barras, tornillos y el adhesivo CT-1.

En las siguientes imágenes se mostrará como será el proceso de la barra vertical y posteriormente, el de la unión del panel de plástico con dicha barra. <sup>31</sup>



*Figura 35 Barra metálica de soporte*



*Figura 36 Unión entre panel y barra*

Con esto conseguiremos una alta resistencia hacia los agentes atmosféricos y a distintos esfuerzos mecánicos, destacando lo fácil y rápido que puede llegar a ser instalar una capa impermeable, ya que son paneles prefabricados con soldaduras realizadas en fábrica.<sup>32</sup>

Esto reducirá considerablemente los costes de la operación, ya que en todas las demás alternativas se necesitaba una gran variedad maquinaria y unos agentes muy especializados en el sector.

## 8. PRESUPUESTO

Para el presupuesto debemos tener presentes varios gastos: materiales necesarios para la instalación de la lámina, materiales para el aumento del dique, desbroce del terreno, costes de mantenimiento de la presa, coste de personal y el coste de transporte.

Como la presa existente presenta una altura de 2,5 metros y la altura que tenemos determinada es de 2,9 metros necesitamos un aumento del dique de 40 centímetros.

$$Volumen_{aumento} = Aumento * B * L$$

Tenemos una base de 1,63 metros y una longitud de presa de 80 metros, esto resulta un volumen para aumentar la presa de 52,16 m<sup>3</sup>.

La construcción tiene aproximadamente un 70% que pertenecer a rocas de gneis y dolerita, por lo tanto, necesitaremos 36,5 m<sup>3</sup> de roca y 15,6 m<sup>3</sup> dedicado al mortero.

Por otro lado, se necesitará laminar toda la zona de la presa, el área del embalse quedaba en unos 8827 m<sup>2</sup>.

Con respecto al mantenimiento de la lámina de polietileno se realizará lo siguiente:

Se actuará siempre y cuando se produzcan las épocas de sequía, se realizará una limpieza a fondo sobre el panel de plástico, preferiblemente con una manguera, para que no quede ningún sólido en el emplazamiento y que no puedan dañar las láminas adheridas al metal.

Una vez quede todo limpio, se verificará el estado del panel sobre la zona de las filtraciones, que es la parte que más daño pueda sufrir, se observará el espesor, y cuando se vea bastante desgastado se procederá al uso de los parches. Los parches deben tener el tamaño suficiente como para cubrir la zona dañada, la que tenga menos espesor. Sobre la superficie del parche se aplicará el adherente, además de aplicar una cinta de enmascarar sobre los vértices del parche. Éste debe aplicarse de tal manera que quede de forma continua sobre el panel de plástico, que no se produzca ninguna arruga para y así poder dar más firmeza.

Finalmente, una vez deteriorado el panel de plástico se procederá al cambio de lámina, que se realizará de la misma manera que se explicó en el apartado anterior.

Es por ello por lo que se debe ir observando la zona del panel durante las épocas de sequía, para que no se produzcan sólidos sobre ella y que no se desgaste la lámina de polietileno.

Se calculará el presupuesto de mantenimiento para los próximos 10 años.

Además, quedaría por contabilizar el coste del personal autorizado y el coste de transporte de los materiales. El ayudante cualificado debe de estar pendiente de la modificación del dique y de la instalación de la lámina de agua.

En la siguiente tabla se muestran los gastos:

Concepto	Unidades	Precio Unitario	Total
<b><i>Materiales para filtración</i></b>			
Panel de polietileno	8	450,00 €	3.600,00 €
Barra metálica	12	15,00 €	180,00 €
Taladradora	1	50,00 €	50,00 €
Parche	20	7,00 €	140,00 €
Tornillos	80	0,60 €	42,00 €
Adhesivo	5	15,00 €	75,00 €
	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b>	
<b><i>Materiales para el dique</i></b>			
Mortero	15,6	75	1.170,00 €
Rocas	36,5	0,1	3,65 €
<b><i>Mano de obra</i></b>			
Profesional autorizado			1.500,00 €
<b><i>Coste fijo</i></b>			
Transporte			1000,00 €
<b>COSTE TOTAL</b>			<b>7.664,65 €</b>

Tabla 42 Presupuesto

## 9. CONCLUSIONES

El país de Zimbabue transita por una situación delicada, con poca variedad de recursos y una escasez en los alimentos bastante seria. Con la instalación de la presa y el desarrollo de alternativas para poder solucionar los problemas que esta conlleva, podemos darles la posibilidad de obtener una mejora, aunque no sea muy grande, en la calidad de vida.

En este proyecto se ha intentado proporcionar un suministro de agua durante grandes épocas del año, existen algunos meses donde no es posible realizar el suministro de agua debido a grandes pérdidas por evaporación en el embalse, pero durante los meses dónde las precipitaciones son relativamente elevadas, sí que es posible dedicar el suministro de agua al área de cultivo y a los animales de la zona.

Con respecto a las actualizaciones de la presa, debido a la buena zona en la que está situada, como se estudió en el apartado de topografía, presentaba pequeñas curvas de nivel dónde se situaba la presa, por lo que no sería necesario realizar una construcción de gran altura en la presa. Finalmente, se modificará la altura de esta, llegando hasta los 2,9 metros, no será un cambio drástico ya que la presa tenía unas cotas similares y el ancho de la presa conservará la misma longitud que tenía cuando se construyó.

Finalmente se decidió incorporar una pantalla de polietileno para solucionar los problemas que tenía la presa con las fugas de agua. Es la solución más económica para poder soportar estas filtraciones, y así algunos habitantes de la zona de Mount Darwin puedan dotar de un cultivo durante grandes épocas del año y conseguir una mayor variedad en la nutrición.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. M. (2022, 30 junio). *Cruce del Kilimanjaro con datos meteorológicos de*. meteoblue.  
[https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/zimbabw e\\_zimbawe\\_878676](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/zimbabw e_zimbawe_878676)
2. Bosques, G. (2020, mayo). *REPÚBLICA DE ZIMBABWE FICHA TÉCNICA*.  
[https://centrogilbertobosques.senado.gob.mx/docs/F\\_Zimbabue.pdf](https://centrogilbertobosques.senado.gob.mx/docs/F_Zimbabue.pdf)
3. *Zimbabue: Economía y demografía 2022*. (2022). datosmacro.com.  
<https://datosmacro.expansion.com/paises/zimbabue>
4. *Cultural Texts of Resistance in Zimbabwe*. (2022). Google Books.  
[https://books.google.es/books?id=XphDEAAAQBAJ&pg=PA39&lpg=PA39&dq=contexto+geografico+Mount+Darwin+zimbabue&source=bl&ots=bmRGD-5LJy&sig=ACfU3U1ajOTRUc\\_y9VWZ1o\\_II46ZZ\\_RPNQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiW\\_5HFvdr4AhWfgc4BHcqLCn8Q6AF6BAgdEAM#v=onepage&q=contexto%20geografico%20Mount%20Darwin%20zimbabue&f=false](https://books.google.es/books?id=XphDEAAAQBAJ&pg=PA39&lpg=PA39&dq=contexto+geografico+Mount+Darwin+zimbabue&source=bl&ots=bmRGD-5LJy&sig=ACfU3U1ajOTRUc_y9VWZ1o_II46ZZ_RPNQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiW_5HFvdr4AhWfgc4BHcqLCn8Q6AF6BAgdEAM#v=onepage&q=contexto%20geografico%20Mount%20Darwin%20zimbabue&f=false)
5. Á. (2020, 25 septiembre). *Principales tipos de presas y su clasificación*. MÁS QUE INGENIERÍA. <https://masqueingenieria.com/blog/tipos-de-presas-y-su-clasificacion/>
6. Blog, S. (2022). *Tipos de presas I: presas de fábrica*. Structuralia.  
<https://blog.structuralia.com/tipos-de-presas>
7. A. (2021, 29 noviembre). *Presas de materiales sueltos*. ingeniero de caminos.  
<https://ingeniero-de-caminos.com/presas-de-materiales-sueltos/>

8. Blog, S. (2022b). *Tipos de presas II: presas de materiales sueltos*. Structuralia.  
<https://blog.structuralia.com/tipologia-de-presas-ii-presas-de-materiales-sueltos>
9. *Detalles climáticos en Zimbabwe*. (2022). DatosMundial.com.  
<https://www.datosmundial.com/afrika/zimbabue/clima.php>
10. *Zimbabwe: Geología y Yacimientos*. (2016, 29 enero). YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=vdCjxjHuzog&t=684s>
11. *Provisional Soil Map of Zimbabwe Rhodesia*. (2009). [Fotografía].  
[https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB\\_Archive/EuDASM/Africa/images/maps/download/afr\\_zw2007\\_ge.jpg](https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/EuDASM/Africa/images/maps/download/afr_zw2007_ge.jpg)
12. A. (2019, 3 mayo). *La textura en los suelos agrícolas*. Universidad de Riego.  
Plataforma de transferencia de conocimientos e innovación en riego.  
<https://www.universidadderiego.com/la-textura-en-los-suelos-agricolas/>
13. *El clima en Mount Darwin, el tiempo por mes, temperatura promedio (Zimbabwe) - Weather Spark*. (2022). Clima promedio en Mount Darwin.  
<https://es.weatherspark.com/y/96834/Clima-promedio-en-Mount-Darwin-Zimbabwe-durante-todo-el-a%C3%B1o>
14. *Normas técnicas grandes presas*. (2021). [Ilustración].  
[https://www.miteco.gob.es/images/es/pp-proyecto-rd-normas-tecnicas-seguridad-grandes-presas-y-sus-embalses-2-proyecto\\_tcm30-452743.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/es/pp-proyecto-rd-normas-tecnicas-seguridad-grandes-presas-y-sus-embalses-2-proyecto_tcm30-452743.pdf)
15. *Manual pequeñas presas*. (2021). [Ilustración].  
[http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Manual%20Pequeñas%20Presas%20V1-v1\\_01.pdf](http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Manual%20Pequeñas%20Presas%20V1-v1_01.pdf)
16. *Hidrojing*. (2021). [Ilustración]. <https://www.hidrojing.com/wp-content/uploads/2014/04/CALCULO-DE-CAUDALES-DE-AVENIDA.pdf>



17. rincondelvago.com. (2017, 12 marzo). *Cálculo de caudales de avenida*.  
*Hidrología*. Calculo de caudales de avenida.  
[https://html.rincondelvago.com/calculo-de-caudales-de-avenida\\_hidrologia.html#:~:text=La%20intensidad%20de%20la%20tormenta%20se%20deber%C3%A1%20calcular%20para%20una,las%20condiciones%20meteorol%C3%B3gicas%20de%20la](https://html.rincondelvago.com/calculo-de-caudales-de-avenida_hidrologia.html#:~:text=La%20intensidad%20de%20la%20tormenta%20se%20deber%C3%A1%20calcular%20para%20una,las%20condiciones%20meteorol%C3%B3gicas%20de%20la)
18. *Hidrología*. (2019). [Ilustración].  
[https://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET\\_Hargreaves.pdf](https://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET_Hargreaves.pdf)
19. *Uso del Agua en establecimientos agropecuarios*. (2020). [Ilustración].  
[https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R139/R\\_139\\_52.pdf](https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R139/R_139_52.pdf)
20. *ORIFICIOS. VERTEDEROS Y RESALTO HIDRÁULICO*. (2019). [Ilustración].  
<https://cidta.usal.es/cursos/hidraulica/modulos/documentos/Unidad%206/u6c2s1>
21. *BALANCE HÍDRICO EN UN EMBALSE*. (2022). [Ilustración].  
[https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/283924/mod\\_resource/content/3/Apuntes%20Balance%20Embalse.pdf](https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/283924/mod_resource/content/3/Apuntes%20Balance%20Embalse.pdf)
22. F. (2022, 12 junio). *Resistencia al corte de los suelos (1): el criterio de rotura de Mohr – Coulomb - Estudios Geotécnicos*. Estudios Geotécnicos - geotecnia, reconocimientos, ensayos y mecánica de suelos.  
<https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/resistencia-al-corte-de-los-suelos-1-el-criterio-de-rotura-de-mohr-coulomb/>
23. M. (2002). *El criterio de rotura de hoek brown 2002*. es.slideshare.  
<https://es.slideshare.net/miguelaguirrecuellar/el-criterio-de-rotura-de-hoek-brown-2002>

24. *OPTIMIZACIÓN DE PRESAS DE GRAVEDAD*. (2018). [Ilustración].  
[http://blogs.upm.es/serpa/wp-content/uploads/sites/325/2018/07/04AG\\_16\\_71947046.pdf](http://blogs.upm.es/serpa/wp-content/uploads/sites/325/2018/07/04AG_16_71947046.pdf)
25. *ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE PRESAS DE GRAVEDAD EN CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE*. (2020). [Ilustración].  
<https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/8518/tfg-mol-ana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
26. *Pesos Específicos y Densidades de los Materiales*. (2022). ingenemecanica.  
<https://ingenemecanica.com/tutoriales/pesos.html#materiales>
27. Juan Campos, V. (2022). ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA RESOLVER LAS FILTRACIONES EN LA CERRADA DE LA PRESA DE ALLOZ. riunet.  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106022/Memoria.pdf?sequence=4>
28. Eprints. (2019). [Fotografía]. Eprint.  
<https://eprints.ucm.es/id/eprint/49066/1/T40164.pdf>
29. Geocompuestos: funciones y aplicaciones. (2022). Texdelta.  
<https://texdelta.com/blog/geocompuestos-funciones-y-aplicaciones/>
30. A. (2021, 29 noviembre). Presas de materiales sueltos. ingeniero de caminos.  
<https://ingeniero-de-caminos.com/presas-de-materiales-sueltos/>
31. » *Plástico Reforzado para Embalses* **【Comprar Online】**. (2021).  
PLASTICOS Y TECHOS S.L. <https://www.playte.es/plasticos-agricultura/240-lamina-de-poli-etileno-reforzada-de-geomembrana.html>
32. *VALLIMPER Impermeabilización terraza con lámina PVC*. (2019, 4 junio).  
YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=iX\\_Q739bUp4](https://www.youtube.com/watch?v=iX_Q739bUp4)





**ANEXO II: COEFICIENTES HIDROLÓGICOS**

Vegetación Topografía	Textura Del Suelo		
	Gruesa	Media	Fina
<b>Bosques</b>			
Plano(0-5%)	0.10	0.30	0.40
Ondulado(6-10%)	0.25	0.35	0.50
Escarpado(11-30%)	0.30	0.50	0.60
<b>Pastizales</b>			
Plano(0-5%)	0.10	0.30	0.40
Ondulado(6-10%)	0.10	0.36	0.55
Escarpado(11-30%)	0.22	0.42	0.60
<b>Terreno Cultivados</b>			
Plano(0-5%)	0.30	0.50	0.60
Ondulado(6-10%)	0.40	0.60	0.70
Escarpado(11-30%)	0.52	0.72	0.82

Características de la superficie	PERÍODO DE RETORNO (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Áreas desarrolladas</b>							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
<b>Zonas verdes (jardines, parques, etc.)</b>							
<b>Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50 % del área)</b>							
Plano, 0-2 %	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7 %	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente superior a 7 %	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<b>Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75 % del área)</b>							
Plano, 0-2 %	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7 %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a 7 %	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<b>Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75 % del área)</b>							
Plano, 0-2 %	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7 %	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente superior a 7 %	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
<b>Áreas no desarrolladas</b>							
<b>Áreas de cultivos</b>							
Plano, 0-2 %	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7 %	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente superior a 7 %	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
<b>Pastizales</b>							
Plano, 0-2 %	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7 %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a 7 %	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<b>Bosques</b>							
Plano, 0-2 %	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7 %	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente superior a 7 %	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

**HEMISFERIO NORTE**

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1
48	4.1	6.4	9.5	13.1	15.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6
46	4.6	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

**HEMISFERIO SUR**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5



### ANEXO III: CÁLCULOS HÍDRICOS

Aprovisionamiento del sistema

ETo estación: Mount Darwin      Patrón de cultivo: Mount Darwin  
Est. de lluvia: Mount Darwin

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Déficit de Precipitación</b>												
1. MAIZE (Grain)	111.6	62.4	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	62.8
2. Small Vegetables	83.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.8	66.2
3. Tomato	101.1	102.6	78.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.7	40.8
<b>Req. Netos sistema</b>												
en mm/día	3.3	2.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.9
en mm/mes	101.8	57.6	20.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.2	58.1
en l/s/h	0.38	0.24	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.22
<b>Area Irrigada</b>												
(% del area total)	100.0	100.0	75.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0
<b>Req. de riego area real</b>												
(l/s/h)	0.38	0.24	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.22

### ANEXO IV: CÁLCULOS RESISTIVOS



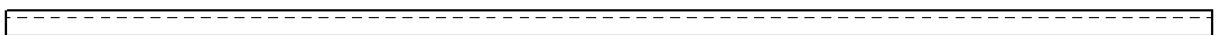
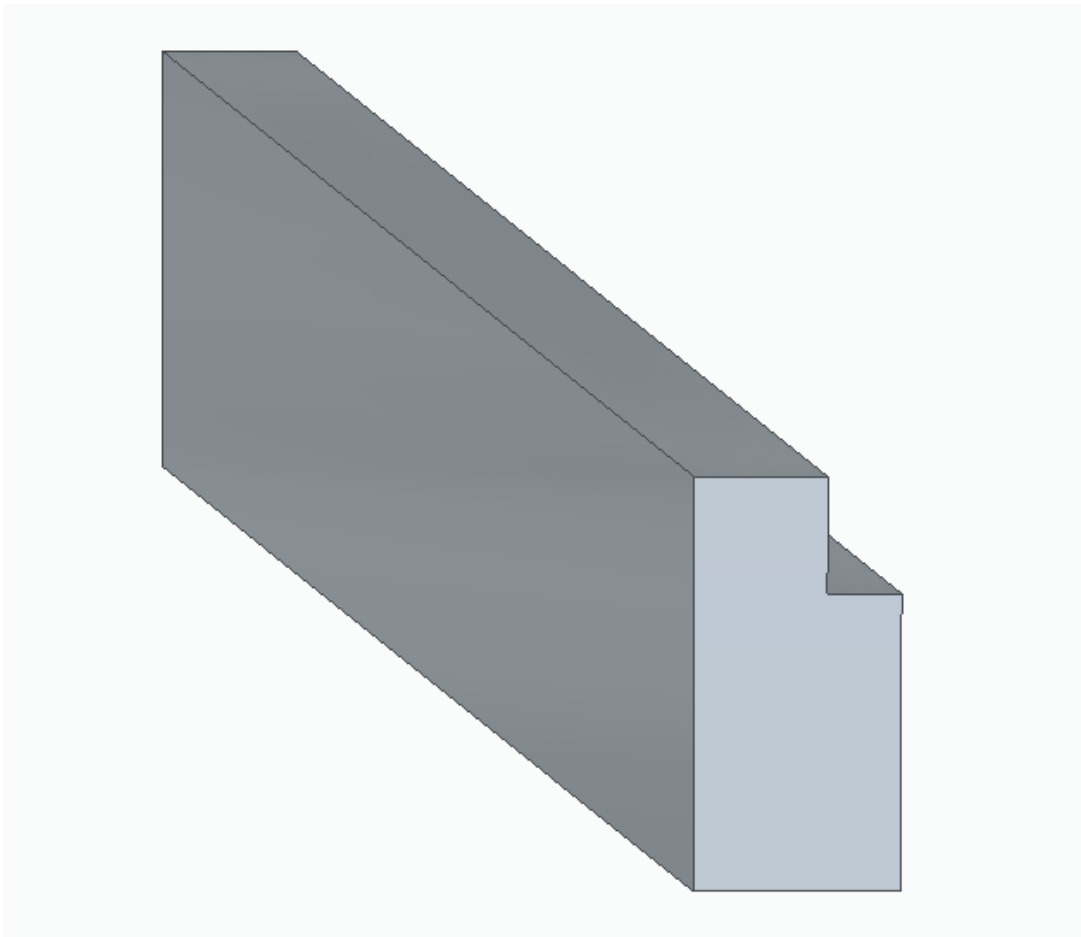
Clase (a)	Calificación de la roca según su resistencia	Resistencia uniaxial (MPa)	Índice de carga puntual (MPa)	Estimación en terreno de la resistencia	Ejemplos
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Golpes de martillo geológico sólo causan descostramientos superficiales en la roca.	Basalto fresco, chert, diabasa, gneiss, granito, cuarcita.
R5	Muy Resistente	100 – 250	4 – 10	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse.	Anfibolita, arenisca, basalto, gabro, gneiss, granodiorita, caliza, mármol, riolita, toba.
R4	Resistente	50 – 100	2 – 4	Un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarse.	Caliza, mármol, filitas, arenisca, esquistos, pizarras.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	1 – 2	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe del martillo geológico, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.	Arcillolita, carbón, concreto, esquistos, pizarras, limolitas.
R2	Débil	5 – 25	(b)	Un golpe con la punta del martillo geológico deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con una cortaplumas pero con dificultad.	Creta, sal mineral, potasio.
R1	Muy Débil	1 – 5		La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo geológico. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas.	Roca muy alterada o muy meteorizada.
R0	Extremadamente Débil	0,25 – 1		La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.	Salbanda arcillosa dura.

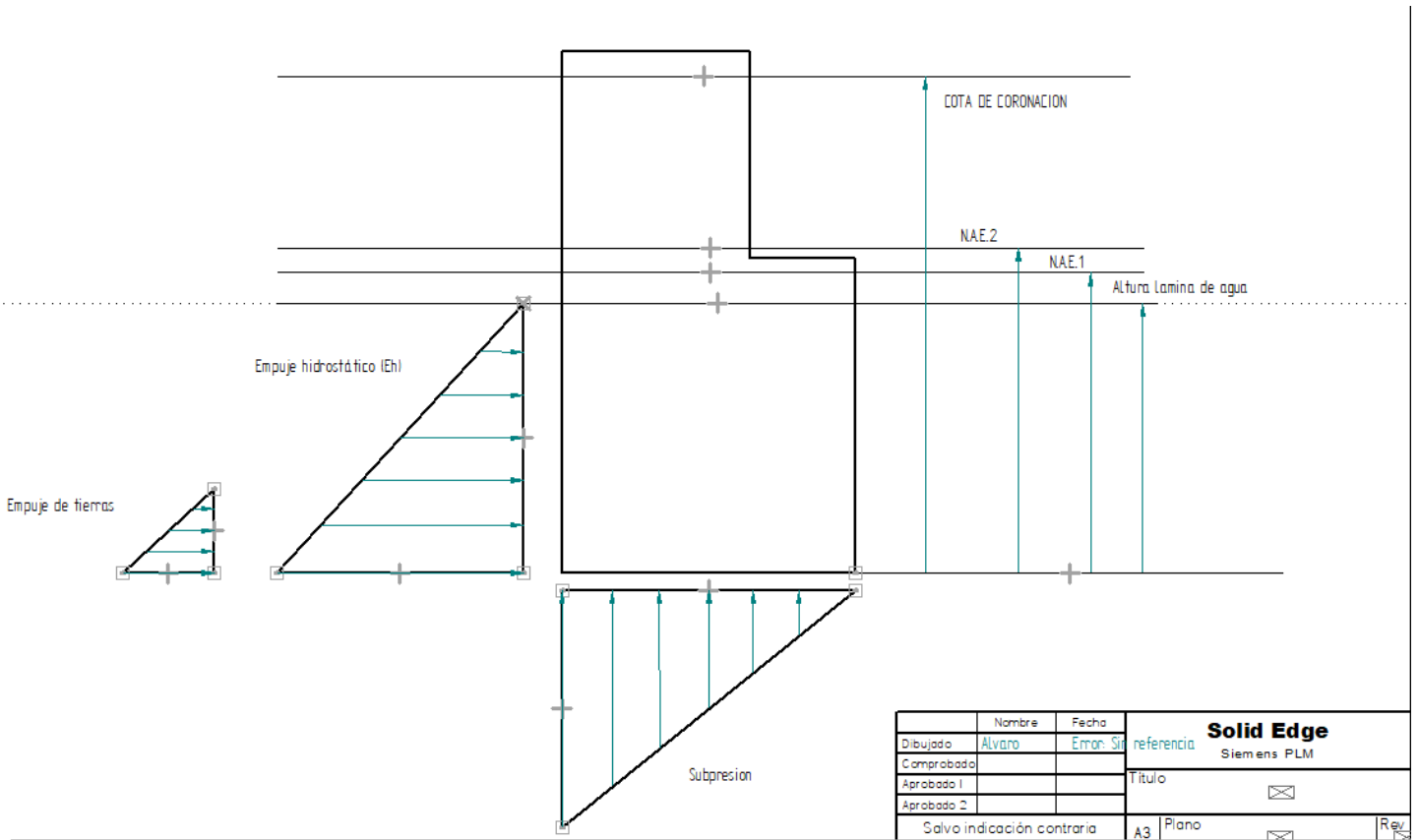
Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy Fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas		Conglomerado (22)	Arenisca 19	Limolita 9	Arcillolita 4
	No Clásticas		←----- Grauwaca ----->			
			←----- Creta ----->			
			←----- Carbón ----->			
Carbonatos		Brechas (20)	Caliza Esparítica (10)	Caliza Micrítica 8		
Químicas			Yeso 16	Anhidrita 13		
METAMORFICAS	No Foliadas		Mármol 9	Rocas Córneas (19)	Cuarcita 24	
	Levemente Foliadas		Migmatita (30)	Anfibolita 25 - 31	Milonitas (6)	
	Foliadas		Gneiss 33	Esquistos 4 – 8	Filitas (10)	Pizarras 9
IGNEAS	Intrusivas	Claras	Granito 33		Riolita (16)	Obsidiana (19)
			Granodiorita (30)		Dacita (17)	
	Oscuras		Diorita (28)		Andesita 19	
		Gabbro 27	Dolerita (19)	Basalto (17)		
Extrusivas Piroclásticas			Norita 22			
		Aglomerados (20)	Brechas (18)	Tobas (15)		



<p><b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)</b></p> <p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		SURFACE CONDITIONS				
		<p><b>VERY GOOD</b> Very rough, fresh unweathered surfaces</p>	<p><b>GOOD</b> Rough, slightly weathered, iron stained surfaces</p>	<p><b>FAIR</b> Smooth, moderately weathered and altered surfaces</p>	<p><b>POOR</b> Stickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments</p>	<p><b>VERY POOR</b> Stickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings</p>
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
<p><b>INTACT OR MASSIVE</b> - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</p>	90			N/A	N/A	
<p><b>BLOCKY</b> - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</p>	80	70				
<p><b>VERY BLOCKY</b>- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</p>		60				
<p><b>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY</b> - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</p>			50			
<p><b>DISINTEGRATED</b> - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</p>			40			
<p><b>LAMINATED/SHEARED</b> - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</p>			30			
				20		
					10	
		N/A	N/A			

**ANEXO V: PLANOS**





	Nombre	Fecha	<b>Solid Edge</b>	
Dibujado	Alvaro	Eman S	referencia	Siemens PLM
Comprobado			Titulo	
Aprobado 1				✉
Aprobado 2				
Salvo indicación contraria			A3 Plano	✉ Rev

**ANEXO VI: PLANO CON PANTALLA IMPERMEABLE**

