



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

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

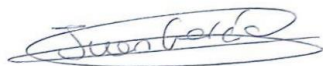
Autor: Juan García Montero

Director: Manuel Moreno

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Reparación de presa existente para garantizar posterior aprovechamiento eléctrico del
salto de agua para un colegio de formación profesional en Zimbabwe
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2020/21 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

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

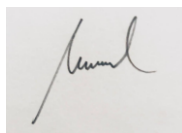


Fdo.: Juan García Montero

Fecha: 11/ 07/ 2021

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Manuel Moreno

Fecha: 11/ 07/ 2021



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

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

Autor: Juan García Montero

Director: Manuel Moreno

Madrid

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

Autor: García Montero, Juan.

Director: Moreno, Manuel.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en el diseño de una presa para almacenar agua posteriormente destinada a la generación de electricidad y abastecer el cultivo de cosechas colindantes. El proyecto se realiza en colaboración con la ONG Project Zimbabwe con el objetivo principal de implementarlo en una pequeña comunidad al norte de Zimbabwe, en Mashonaland Central para contribuir con el desarrollo de dicha localidad.

1. Introducción

El agua es un recurso indispensable para la vida humana. Debido a la escasez de recursos destinados al almacenamiento y aprovechamiento de agua, la comunidad donde se va a implementar el proyecto tiene escasez de agua que impacta negativamente en el consumo, regadío, generación energética, higiene...; en definitiva, en la calidad de vida de sus habitantes. Es por ello, que mediante este proyecto se pretende contribuir de manera filantrópica a remediar esta situación.

2. Definición del Proyecto

El proyecto queda definido como el diseño de una presa basado en cálculos previos de terreno, hídricos y mecánicos y una posterior implementación que se realizará previsiblemente en los meses de entre junio y agosto de 2021.

3. Descripción del modelo

El modelo empleado para lograr la retención de agua es una presa, que obtendrá agua por medio de las precipitaciones que recogerá el embalse y los caudales que se formen debido a estas precipitaciones en la cuenca. Para lograr esto se debe construir una estructura de contención de agua de material impermeable aguas abajo del cauce y lograr asegurar un vaso impermeable para evitar filtraciones en la superficie. La siguiente figura muestra un esquema básico de una presa.

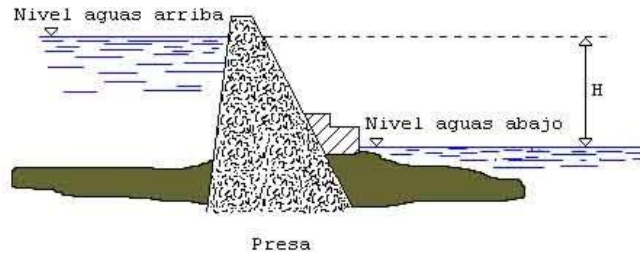


Ilustración 1: Esquema básico de presa. Fuente: [1]

4. Resultados

Basado en cálculos para asegurar la seguridad estructural de la construcción y en factores determinantes como la reducción de costes, se ha determinado la implantación de una presa de materiales sueltos con núcleo de arcilla y espaldones de escollera con aliviadero de hormigón, que provocará la acumulación de agua en una superficie impermeabilizada para evitar pérdidas con una lona de polietileno. La siguiente ilustración muestra el diseño de la estructura de la presa que se va a emplear.

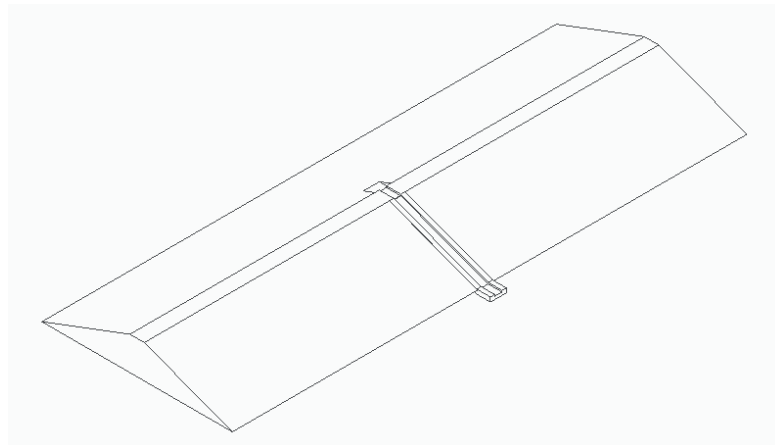


Ilustración 2: Diseño de presa de núcleo con sistema de desagüe. Fuente propia.

5. Conclusiones

El proyecto proporciona un diseño de una presa con bajo coste que se prevé de gran utilidad para los habitantes de la comunidad. Debido a las condiciones del terreno, no se ha logrado crear una presa con capacidad suficiente para abastecer la gran demanda de agua para generación eléctrica y riego, por tanto, se deberá destinar parcialmente a ambos sistemas de aprovechamiento. A pesar de ello, esta construcción será un gran recurso para resolver el gran problema de escasez de agua y así dotar a los habitantes de nuevas oportunidades educativas, creación de riqueza, electricidad e higiene y por tanto un progreso en su calidad de vida.

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

Autor: García Montero, Juan.

Director: Moreno, Manuel.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The project consists of the design of a dam to store water for the generation of electricity and to supply the cultivation of adjacent crops. The project is carried out in collaboration with the NGO Project Zimbabwe with the main objective of implementing it in a small community in the north of Zimbabwe, in Mashonaland Centraluna to contribute to the development of the locality.

1. Introduction

Water is an indispensable resource for human life. Due to the scarcity of resources for water storage and use, the community where the project will be implemented has a water shortage that has a negative impact on consumption, irrigation, energy generation, hygiene...; in short, on the quality of life of its inhabitants. For this reason, this project aims to contribute in a philanthropic way to remedy this situation.

2. Definition of the Project

The project is defined as the design of a dam based on previous terrain, water and mechanical calculations and a subsequent implementation that will take place between June and August 2021.

3. Description of the model

The model used to achieve water retention is a dam, which will obtain water by means of the precipitation that the reservoir will collect and the flows that are formed due to this precipitation in the basin. To achieve this, a water containment structure of impermeable material must be built downstream of the watercourse and an impermeable basin must be secured to prevent surface seepage. The following figure shows a basic diagram of a dam.

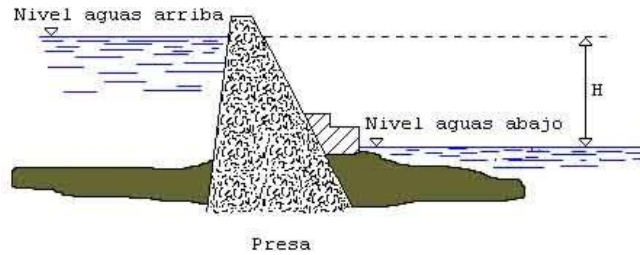


Ilustración 3: Basic diagram of a dam. Source: (Professor online)

4. Description of the model

Based on calculations to ensure the structural safety of the construction and on determining factors such as cost reduction, it has been determined to implement a dam of loose materials with a clay core and rockfill embankments with a concrete spillway, which will cause the accumulation of water on a waterproofed surface to prevent losses with a polyethylene tarpaulin. The following illustration shows a design of the dam to be used.

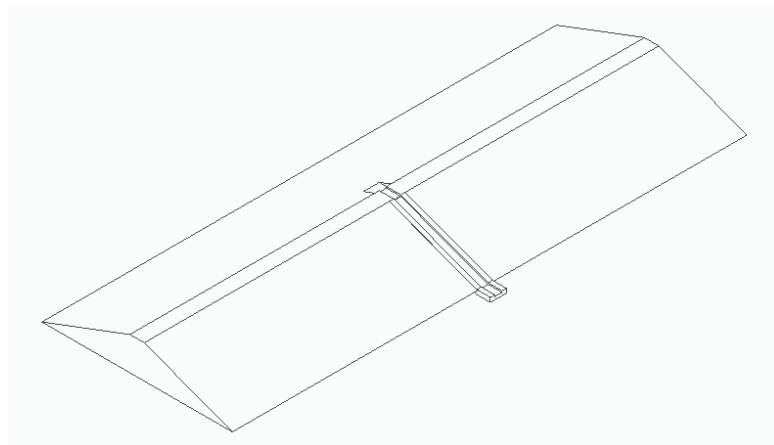


Ilustración 4: Core dam design. Source: Fuente propia

5. Conclusion

The project provides a low-cost dam design that is expected to be of great use to the inhabitants of the community. Due to the conditions of the terrain, it has not been possible to create a dam with sufficient capacity to supply the large demand of water for electricity generation and irrigation, therefore, it will have to be partially destined to both systems of use. Despite this, this construction will be a great resource to solve the great problem of water scarcity and thus provide the inhabitants with new educational opportunities, wealth creation, electricity, and hygiene and therefore a progress in their quality of life.

Agradecimientos

A mi familia.

Contenido

Índice de figuras	III
Índice de tablas	VI
1. Introducción	9
1.1 Motivación del proyecto.....	12
1.2 Objetivos del proyecto.....	12
1.3 Metodología.....	17
1.4 Recursos	18
1.5 Contexto	19
1.5.1 Sociedad y cultura	19
1.5.2 Político	22
1.5.3 Económico.....	24
1.5.4 Geográfico.....	26
2. Presa 27	
2.1 Tipos de presa.....	27
2.1.1 Presa de materiales sueltos	27
2.1.2 Presa de fábrica (hormigón).....	29
2.2 Factores	31
Los factores que se han de tener en cuenta para determinar el tipo de presa son los siguientes..	31
3. Estado de la cuestión.....	35
3.1 Ejemplos de construcciones	36
3.1.1 Construcción de presa en mutange	36
3.1.2 Construcción de presa en Mukurumudzi, Kenya.....	38
3.1.3 Construcción de presa en el río kibish, sur de ethiopia	39
3.1.4 Construcción de presa en Kambu, Kenya	41
4. Estudio del terreno	43
4.1 Topografía	43
4.2 Geología	48
4.3 Clima.....	53
4.4 Geotecnia.....	62

4.5	Hidrología.....	64
5.	Cálculos.....	72
5.1	Volumen de agua demandado	72
5.1.1	Sistema de regadío	72
5.1.2	Sistema de generación eléctrica.....	80
5.2	Dimensionamiento de la presa.....	85
5.2.1	Estructura.....	86
5.2.2	Embalse	88
5.3	Cálculos hídricos	89
5.3.1	Capacidad de la presa.....	89
5.3.2	Estudio de abastecimiento de la demanda	90
5.3.3	Alternativa de la demanda.....	93
5.3.4	Avenidas	100
5.4	Redimensionamiento de la estructura.....	114
5.5	Cálculos estructurales.....	116
5.5.1	Cálculo de solicitaciones.....	116
5.5.2	Resistencia ante solicitaciones	122
5.6	Impermeabilización del vaso.....	130
6.	Conclusiones.....	132
6.1	Conclusión.....	132
7.	Plan de implantación a alto nivel	134
8.	Plan de mantenimiento.....	138
9.	Estudio de viabilidad económica.....	140
9.1	Presupuesto.....	140
9.2	Financiación	145
10.	Bibliografía.....	147
	ANEXO I: PLANOS DE ALIVIADERO Y PRESA.....	150

Índice de figuras

Ilustración 1: Esquema básico de presa. Fuente: [1]	5
Ilustración 2: Diseño de presa de núcleo con sistema de desagüe. Fuente propia.	5
Ilustración 3: Basic diagram of a dam. Source: (Professor online).....	7
Ilustración 4: Core dam design. Source: Fuente propia.....	7
Ilustración 5: Ubicación de la presa. Fuente: Google Earth.	9
Ilustración 6: Gráfico de población distribuida por edad. Fuente propia	20
Ilustración 7: Gráfico de religiones en Zimbabwe. Fuente: [6].....	21
Ilustración 8: Gráfico de PIB de Zimbabwe distribuido en sectores. Fuente: [7]	25
<i>Ilustración 9: Posición geográfica de Mount Darwin. Fuente: [8]</i>	<i>26</i>
Ilustración 10: Sección de presa homogénea. Fuente: [2].....	28
Ilustración 11: Sección de presa de núcleo. Fuente: [2].....	28
Ilustración 12: Sección de presa de pantalla. Fuente: [2].....	28
Ilustración 13: Sección de presa de gravedad. Fuente: [9].....	29
Ilustración 14: Sección de presa de arco. Fuente: [9].....	30
Ilustración 15: Sección de presa de contrafuerte. Fuente: [9]	30
Ilustración 16: Vista de la pared de la presa en Mutange. Fuente: [10]	37
Ilustración 17: Presa de Murukudzi. Fuente: [11]	39
Ilustración 18: Presa de Kambu. Fuente: [12]	42
Ilustración 19: Estudio topográfico. Fuente: [13].....	44
Ilustración 20: Mapa topográfico Zimbabwe. Fuente: [14]	45
Ilustración 21: Leyenda de mapa topográfico Zimbabwe. Fuente: [14]	45
Ilustración 22: Estudio topográfico Global Mapper. Fuente propia.	46
Ilustración 23: Caudales que desembocan en la presa. Fuente propia.....	47
Ilustración 24: Mapa topográfico Global Mapper. Presa y vaso. Fuente propia.....	48
Ilustración 25: Mapa geológico de Zimbabwe. Fuente: [16]	49
Ilustración 26: : Leyenda de mapa geológico de Zimbabwe. Fuente: [16]	49
Ilustración 27: Mapa geológico de Zimbabwe. Fuente: [17]	50
Ilustración 28: Leyenda de mapa geológico de Zimbabwe. Fuente: [17]	50

Ilustración 29: Principales zonas de suelos rojos del mundo. Fuente: [18].....	51
Ilustración 30: Contenido de arcilla del terreno. Fuente: [19].....	53
Ilustración 31: Temperaturas anuales en Mont Darwin. Fuente: [22].....	54
Ilustración 32: Temperaturas anuales en Mount Darwin. Fuente: [22].....	55
Ilustración 33: Estimación de días de lluvia mensuales. Fuente: [23].....	56
Ilustración 34: Velocidad del viento promedio en Mount Darwin. Fuente: [22]	56
Ilustración 36: Humedad relativa mensual. Fuente: [25]	58
Ilustración 37: Gráfica de evaporación diaria.....	60
Ilustración 39: Superficie de la cuenca Global Mapper. Fuente: Propia	68
Ilustración 40: Superficie de cultivo de total. Fuente propia.....	73
Ilustración 41: Plantación de maíz. Fuente propia.	74
Ilustración 42: Plantación de cerezos. Fuente propia.	75
Ilustración 43: Plantación de arándanos. Fuente propia	77
Ilustración 44: Gráfico que relaciona el caudal con la altura del salto. Fuente propia.....	82
Ilustración 45: Gráfica de perfil transversal de la estructura. Fuente: Global Mapper	85
Ilustración 46: Sección de la estructura ISO (m). Fuente propia.....	87
Ilustración 47: Distribución de materiales en la sección de la estructura. Fuente propia...	88
Ilustración 48: Presa y superficie del embalse Global Mapper. Fuente propia.	89
Ilustración 49: Media anual de precipitaciones. Fuente: [28]	103
Ilustración 50: Sección del aliviadero rectangular: Fuente [29].....	113
Ilustración 51: Sección del aliviadero ISO (m). Fuente propia.	114
Ilustración 52: Diseño del aliviadero. Fuente propia.....	114
Ilustración 53: Sección de la estructura ISO (m). Fuente propia.....	115
Ilustración 54: Diseño final de la estructura de la presa con sistema de desagüe. Fuente propia.	116
Ilustración 55: Nivel de llenado para cálculo de peso del agua. Fuente propia.	118
Ilustración 56: Diagramas de fuerzas que ejercen las solicitaciones. Fuente propia.....	122
Ilustración 57: Estudio de resistencia del terreno aguas arriba. Fuente propia.	128
Ilustración 58: Estudio de resistencia del terreno aguas arriba. Fuente propia.	128
Ilustración 59: Estudio de resistencia del terreno aguas arriba. Fuente propia.	129

Ilustración 60: Diseño final de la presa. Fuente propia 133

Índice de tablas

Tabla 1: Cronograma de actividades. Fuente propia.	17
Tabla 2: Factores que satisface cada tipo de presa. Fuente propia	33
Tabla 3: Datos de la construcción de presa en Mutange. Fuente: [10].....	36
Tabla 4: Datos de la construcción de la presa en Mukurumudzi.. Fuente: [11]	38
Tabla 5: Datos de la construcción de la presa en Kibish. Fuente: [12]	40
Tabla 6: Datos de la construcción de la presa en Kambu. Fuente:[13]	41
Tabla 7: Profundidades de las capas del terreno. Fuente: [19].....	52
Tabla 8: Radiaciones. Fuente: [23].....	57
Tabla 9: Valores necesarios para el cálculo de evaporación	60
Tabla 10: Volumen de agua perdido por evaporación. Fuente propia.....	61
Tabla 11:Propiedades mecánicas de granito y gneis. Fuente: [20].....	63
Tabla 12: Valores promedios de propiedades de Gneis. Fuente: [21].....	64
Tabla 13: Precipitaciones mensuales. Fuente: [22]	65
Tabla 14: Volumen aportado en el vaso por precipitaciones. Fuente propia.	67
Tabla 15: Coeficiente de escorrentía. Fuente: [26].....	69
Tabla 16: Volumen aportado por precipitaciones en la cuenca. Fuente propia.....	70
Tabla 17: Volumen de agua total aportado por precipitaciones. Fuente propia.	71
Tabla 18: Agua requerida para el cultivo de maíz. Fuente propia.....	74
Tabla 19:Agua requerida para el cultivo de ciruelos y cerezoss. Fuente propia	76
Tabla 20:	78
Tabla 21: Volumen de agua requerido por la presa para abastecer el cultivo. Fuente propia	79
Tabla 22: Potencia de los aparatos electrónicos de la escuela. Fuente propia.....	81
Tabla 23: Potencia total requerida. Fuente propia.	81
Tabla 24: Agua requerida por la generación eléctrica. Fuente propia.	83
Tabla 25: Agua requerida por la presa. Fuente propia	84
Tabla 26:Altitud. Fuente propia.....	86
Tabla 27: Estudio de condición de llenado máximo. Fuente propia.	91

Tabla 28: Abastecimiento de la demanda de agua. Fuente propia	92
Tabla 29: Distribución óptima de aprovechamiento para los meses críticos. Fuente propia	93
Tabla 30: Potencia generada en función de volumen y caudal. Fuente propia.	94
Tabla 31: Distribución de aprovechamiento de los meses críticos. Fuente propia.....	95
Tabla 32: Agua requerida por la generación eléctrica. Fuente propia.....	97
Tabla 33: Demandas actualizadas de la nueva alternativa. Fuente propia.	98
Tabla 34: Abastecimiento de las demandas de la alternativa: Fuente propia.....	99
Tabla 35: Periodos de retorno de cada tipo de avenida. Fuente: [27]	100
Tabla 36: Precipitaciones anuales (mm) en función de periodos de retorno. Fuente: [28]	101
Tabla 37: Precipitaciones diarias para T=25. Fuente propia.	102
Tabla 38: Precipitaciones diarias para T=100. Fuente propia.	104
Tabla 39: Tabla de precipitaciones diarias en función de periodos de retorno. Fuente propia.	105
Tabla 40: Intensidad de precipitaciones. Fuente propia	107
Tabla 41: Caudal de las avenidas. Fuente propia.	108
Tabla 42: Nivel de avenida de proyecto en función de longitud del aliviadero. Fuente propia	112
Tabla 43: Dimensionamiento del aliviadero. Fuente propia.....	112
Tabla 44: Pesos específicos. Fuentes: [30],	117
Tabla 45: Peso del agua sobre la presa. Fuente propia.	118
Tabla 46: Empuje del agua sobre la presa: Fuente propia.	119
Tabla 47: Valor de las solicitaciones. Fuente propia.	121
Tabla 48: Valor de las solicitaciones distribuidas en sus componentes. Fuente propia. ...	122
Tabla 49: Momentos creados por las solicitaciones. Fuente propia.	123
Tabla 50: Momentos creados por la componente normal. Fuente propia.	125
Tabla 51: Factor de seguridad al deslizamiento para embalse lleno en función de los niveles. Fuente: [31]	126
Tabla 52: Comprobación del deslizamiento. Fuente propia.	126
Tabla 53: Tensiones en aguas arriba. Fuente propia.	128

Tabla 54: Tensiones de la parte media, Fuente propia.	129
Tabla 55: Tensiones en aguas abajo. Fuente propia.	130
Tabla 56: Presupuesto de desbroce. Fuente: [32]	141
Tabla 57: Presupuesto de zanja. Fuente: [33]	141
Tabla 58: Presupuesto de arcilla. Fuente: [34]	142
Tabla 59: Presupuesto de escollera. Fuente [35]	142
Tabla 60: Presupuesto del hormigón. Fuente: [36]	143
Tabla 61: Presupuesto de lona de polietileno impermeable. Fuente: [37]	143
Tabla 62: Presupuesto total. Fuente propia	144

1. INTRODUCCIÓN

EL TFG consiste en un plan de reparación o construcción de una presa ya existente en una pequeña comunidad del norte de Zimbabue, en la región de Mashonaland Centraluna, dónde se encuentra un centro de educación secundaria con el cual la organización Project Zimbabwe está colaborando para mejorar las condiciones de los habitantes de esa localidad.



Ilustración 5: Ubicación de la presa. Fuente: Google Earth.

La función principal de esta presa es suministrar agua de calidad de manera segura e ininterrumpida a la localidad ya que el agua es un recurso indispensable para que haya vida en la tierra y en países en vías de desarrollo como Zimbabwe la escasez de agua conlleva un deterioro en las condiciones de vida y un aumento de la mortalidad de los habitantes de las localidades afectadas.

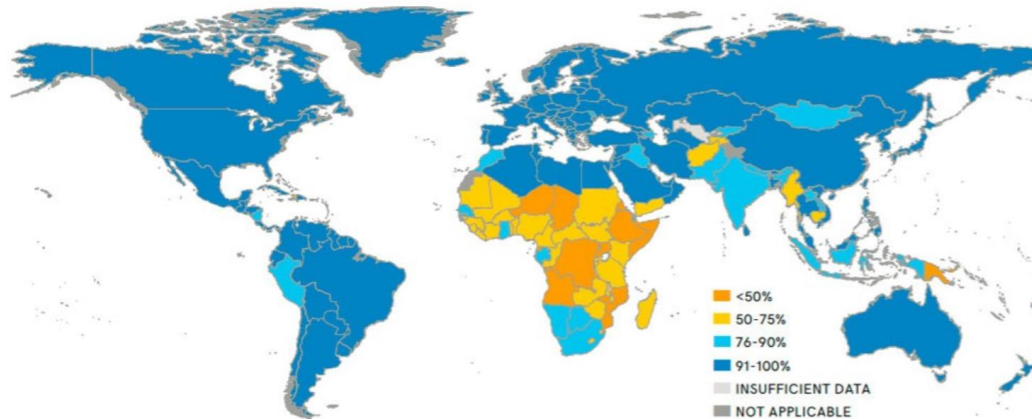


Ilustración 2: Porcentaje de la población con acceso a servicios básicos de agua potable. Fuente: [3]

La localidad en cuestión cómo muestra la figura 1, es una localidad en la cuál 50-75% de la población tienen acceso a agua potable. Esto es un dato dramático, teniendo en cuenta que Zimbabwe tiene una media de precipitaciones anual de 1284 l/m^2 , que indica que hay una escasez de recursos dedicados al almacenamiento del agua. Por ello se deben impulsar proyectos como este para el aprovechamiento de agua para mejorar las condiciones de vida de la población.

El aprovechamiento del agua retenido tras ejecutar este proyecto irá destinado a la generación de electricidad para abastecer el colegio de educación secundaria y para fines de regadío de las cosechas cercanas a la presa través de la realización de dos proyectos complementarios para el desarrollo de una turbina para generación de electricidad y de un sistema de regadío para abastecer las cosechas colindantes. Es imprescindible tratar de aprovechar y optimizar la retención del agua que se va a conseguir con este proyecto a través de la presa como recurso para mejorar las condiciones de vida de los habitantes de la localidad y dotarles de herramientas para ellos poder producir dicha mejora. A continuación, se puede observar cómo Zimbabwe y en particular la localidad en cuestión carece de acceso a la electricidad, por lo que abastecer con electricidad al colegio supondrá un gran avance para garantizar una correcta enseñanza.

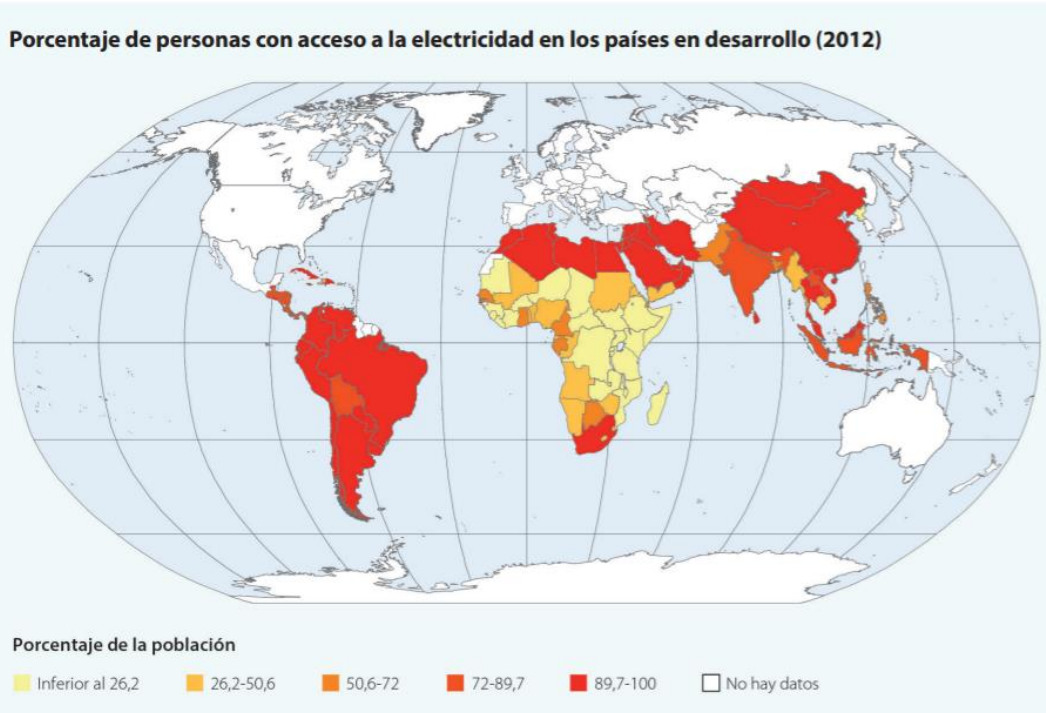


Ilustración 3: Porcentaje de personas con acceso a electricidad en los países en desarrollo. Fuente: [4]

El objetivo de este proyecto es el diseño de la presa y el estudio de materiales, recursos y metodologías a emplear para una posterior ejecución del proyecto. La ejecución del proyecto está prevista en los meses de junio y julio de 2021, por la organización Project Zimbabwe y con ayuda de la comunidad rural de la localidad.

Anteriormente, la comunidad rural de esta localidad construyó una presa para satisfacer ambas funciones, pero desafortunadamente por defectos de construcción no se lograron los objetivos. Actualmente, la presa se encuentra en un estado de deterioro y por tanto este proyecto analizará la posibilidad de beneficiarse de la construcción de la presa anterior o directamente diseñar una presa completamente nueva. Además, se tendrá en cuenta los errores cometidos en el diseño y la ejecución de la presa anterior para así diseñar y ejecutar una presa que logre cumplir los objetivos.

A lo largo de este proyecto se definirá la solución para reparar la presa que comenzó a construir la comunidad rural y se definirá el plan de ejecución a alto nivel para que pueda ser construido en Zimbabwe.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La motivación principal de este proyecto es mejorar la calidad de vida de la población dotando al centro de educación secundaria de esta localidad de Zimbabue de herramientas para que se logren satisfacer las necesidades básicas de los alumnos y el profesorado para el desarrollo de una educación correcta para que de una manera paulatina los habitantes vayan adquiriendo capacidades para no prescindir de ayudas externas y de este modo progresar y en definitiva mejorar la calidad de vida.

Como se ha explicado anteriormente estas herramientas son la presa junto a la generación de electricidad por medio de un proyecto de turbinas y junto al sistema de regadío que supondrán la electricidad en el centro, bien indispensable para una correcta enseñanza y el riego de las cosechas de la zona, para abastecer las necesidades alimentarias de los habitantes.

El proyecto se va a realizar en colaboración con habitantes de esta localidad, requisito indispensable para que se sientan involucrados en el proyecto, lo sientan suyo y, por tanto, en caso de que se produzca algún tipo de problema, tengan no solo la capacidad de resolverlo si no también la ilusión para trabajar en ello y lograr su mantenimiento por el bien de la comunidad.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo final de este proyecto es la construcción de una presa para posterior aprovechamiento del agua para generación eléctrica para abastecer el colegio de educación secundaria y para un sistema de regadío para el cultivo de las cosechas en las proximidades de la presa.

Se trata proyecto de aplicación real, por tanto, el principal objetivo es implementarlo. El proyecto tratará tener un enfoque lo suficientemente práctico y pautas claras y directas en el diseño del sistema de captación y almacenamiento de agua para facilitar la labor de

construcción de los voluntarios de la ONG Project Zimbabwe y los ayudantes de la comunidad rural que serán los encargados de aplicar este proyecto.

En el desarrollo de este proyecto los objetivos son los siguientes:

- Labor de investigación previa sobre factores relevantes en el proyecto, cómo lo son el agua, diferentes elementos que conforman el contexto y proyectos similares.
- Diseño del sistema de captación y almacenamiento, incluyendo cálculos que respalden los resultados y decisiones tomadas.
- Estudio y selección de materiales, recursos y metodologías a emplear con un enfoque de optimización.
- Gestión de materiales y recursos con la comunidad rural, proveedores...
- Presupuestar el proyecto.
- Plan de ejecución.
- Ejecución del proyecto.

Este proyecto está alineado con varios de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), que se muestran en la ilustración 4.



Ilustración 4: Objetivos de desarrollo sostenible. Fuente: [5]

- **Fin de la pobreza**

Este proyecto está totalmente ligado al objetivo de enriquecer la comunidad en la que se va a implantar este proyecto y por tanto contribuir a poner fin a la pobreza. En primer lugar, la presa será una herramienta para la comunidad para incrementar la producción agrícola, que supondrá un enriquecimiento del sector agrícola y un incremento en la oferta de los alimentos que conllevará menos costes para los habitantes de la población. Además, en caso de exceder la demanda de la comunidad, estos alimentos podrán venderse a otras comunidades cercanas y así ayudar a esas localidades. En segundo lugar, con la generación de electricidad se reducirá el gasto en electricidad y se mejorarán las condiciones de enseñanza incrementando así el nivel de formación de los habitantes que a largo plazo supondrá generaciones con mayores capacidades para conseguir optimizar e implementar nuevos recursos. Todo ello, contribuye al enriquecimiento de la comunidad en la que se implantará el proyecto.

- **Hambre cero**

Como se ha mencionado anteriormente el aprovechamiento del agua para incrementar la producción agrícola supondrá una mayor oferta de alimentos, lo cual eliminará carencias alimenticias de los habitantes de la localidad.

- **Salud y bienestar**

El control sobre el agua almacenada en la presa y su posterior potabilización reducirá la cantidad de enfermedades transmitidas por el agua, ya que se erradicará el consumo de agua en mal estado o sin control previo. Además, el aumento de agua supone incrementar la higiene y saneamiento que evitará que se propaguen con facilidad enfermedades, entre las cuales se encuentran las transmitidas por agua. Por último, el almacenamiento de agua en la comunidad supondrá la reducción de los actuales métodos de obtención de agua, es decir, se evitarán los largos trayectos para llegar a zonas dónde conseguir agua.

- **Educación de calidad**

La presa se implementará en las proximidades de un centro educativo de formación profesional. Tanto el agua como la electricidad generada supondrá ayudas para el centro educativo. Esto supondrá una mejora en la calidad de la enseñanza, que uno de los objetivos principales para así lograr generaciones bien formadas que puedan contribuir para el desarrollo de la comunidad. Además, en el centro de formación profesional se desarrolla formación agrícola de manera que la contribución del agua para el regadío no sólo es fundamental para una mejora en la producción si no también a nivel educativo.

- **Igualdad de género**

Cómo se ha mencionado anteriormente el almacenamiento de agua en un lugar de la comunidad supone evitar largas distancias para buscar agua. Este cometido en la localidad en cuestión se atribuye a las mujeres. Por tanto, evitar esa actividad que supone tanta pérdida de tiempo supondrá permitir a las mujeres desarrollar otras actividades provechosas para la comunidad y para desarrollarse personalmente y adquirir mayor presencia en la sociedad. Por otro lado, cabe destacar el hecho de que las jóvenes no van a la universidad cuando tienen el periodo debido a la falta de higiene. Con el aumento de agua disponible estos problemas de higiene desaparecerán y las jóvenes podrán ir a la escuela regularmente, evitando así una desigualdad educativa frente a los varones.

- **Agua limpia y saneamiento**

La construcción de la presa provocará el almacenamiento de agua y posterior aprovechamiento, donde se incluye el uso de este recurso para ingerir tras la potabilización de esta agua. Por supuesto, tras este proyecto tendrá lugar una gestión del agua almacenada para optimizar su aprovechamiento en los diferentes campos. A su vez, uno de estos campos para los que se va a aprovechar el agua almacenada

es para el saneamiento e higienización que supondrá una mejora significativa en la salud de los miembros de la población.

- **Energía asequible y no contaminante**

Junto al desarrollo del proyecto complementario de instalación de una turbina se logrará independencia energética, para abastecer con electricidad al menos el centro educativo por un sistema de producción energética asequible y no contaminante.

- **Trabajo decente y crecimiento económico**

Con la mejora de la calidad de la enseñanza que se persigue con este proyecto se logrará un incremento de nivel de educación en las generaciones venideras que supondrán nuevas oportunidades laborales más exigentes y con mejores condiciones. Esto también supondrá un crecimiento económico en la comunidad, a parte de otros factores cómo el sistema de regadío y la generación de electricidad desarrollados en el primer objetivo.

- **Comunidades sostenibles**

Este proyecto aportará a esta pequeña comunidad del norte de Zimbabue su propio sistema de almacenamiento y aprovechamiento de agua, generación energética propia e incremento de la producción agrícola que supondrá la independencia de productores exteriores. Por tanto, se contribuirá a crear una comunidad sostenible e independiente.

1.3 METODOLOGÍA

Actividades	01/01/2021	15/01/2021	01/02/2021	15/02/2021	01/03/2021	15/03/2021	01/04/2021	15/04/2021	01/05/2021	15/05/2021	01/06/2021	15/06/2021	01/07/2021	15/07/2021
Estudio del contexto	■	■	■	■										
Estudio de soluciones			■	■	■	■								
Introducción a cálculos					■	■	■							
Diseño y cálculos del proyecto						■	■	■	■	■				
Establecer presupuesto									■	■				
Repaso general										■	■			
Presentación del proyecto												■		
Implantación del proyecto													■	■

Tabla 1: Cronograma de actividades. Fuente propia.

En primer lugar, se realizará un estudio del contexto del proyecto en cuestión, haciendo un análisis del terreno, de las necesidades de la localidad, de las herramientas disponibles para desarrollar el proyecto (materiales, voluntarios, ayuda externa de mano de obra etc.) para enfocar el desarrollo posterior del proyecto de manera que se alinee con estas condiciones iniciales. Esto es imprescindible para que se optimice el proyecto en función del estado y de los recursos disponibles y para que sea posible implantar el proyecto en la localidad. A continuación, se estudiarán las posibles soluciones, dónde se contrastarán proyectos similares para poder sacar ideas provechosas que se puedan implantar en este proyecto. Se analizarán estos proyectos y se pensarán soluciones eficaces en la optimización de recursos y en la calidad para garantizar los objetivos del proyecto. Estos procesos de estudio previo serán muy duraderos como se refleja en el cronograma, ya que es una parte fundamental del proyecto que condiciona directamente el desarrollo y la posterior ejecución.

En segundo lugar, se procederá al desarrollo del proyecto, dónde tendrá lugar los cálculos, el diseño completo de la presa, con selección de materiales, todo ello basado en cálculos pertinentes para lograr las especificaciones que garanticen los objetivos del proyecto. En esta

fase se reúne la mayor parte del proyecto, por tanto, se puede considerar la parte más importante y, por tanto, es la parte que va a requerir más tiempo y trabajo. Para el correcto desarrollo de los cálculos y del diseño se van a utilizar múltiples herramientas tecnológicas entre las que debemos destacar programas como AutoCAD, Solid Edge y Solid Works.

A continuación, se revisará el proyecto con ayuda del director para evitar errores que puedan condicionar la implantación de la construcción y errores en la presentación y para incluir detalles que han pasado desapercibidos para mejorar la calidad del proyecto. Tras esta revisión exhaustiva, se presentará la totalidad del proyecto ante tribunal.

Por último, el objetivo principal es la implantación de la presa para lograr ayudar a la pequeña localidad donde se va a implantar y es el motivo por el cual este proyecto se va a realizar. Por tanto, se tratará de implantar en el mes de julio de 2021, aunque en caso de que las restricciones sanitarias lo impidan la construcción tendrá que postponerse hasta que sea posible implantarlo.

1.4 RECURSOS

Para analizar los recursos a emplear en el proyecto hay que distinguir entre dos etapas diferentes, la etapa de diseño del proyecto donde se incluyen cálculos, realización de planos... y la etapa de la obra de construcción.

En lo referente a la etapa de diseño, los recursos a emplear son mayoritariamente herramientas tecnológicas que en combinación con los conocimientos de la cuestión y con un correcto empleo alcanzan soluciones que sin ellas sería imposible o mucho más complicado alcanzar. Entre estas herramientas tecnológicas se utilizarán programas como Global Mapper, Solid Works o ANSYS para analizar las cargas que soportará la estructura, AutoCAD y Solid Edge para la realización de planos y de diseño o técnicas como el trazado de líneas topográficas para analizar la zona óptima para la construcción de la presa. A estos programas se añadirá cualquier programa que resulte de utilidad para llevar a cabo cuestiones internas del proyecto.

En cuanto al proceso de construcción, cómo se ha comentado anteriormente, se contará con la ayuda directa de la comunidad rural de la zona que proporcionará mano de obra, para seguir las directrices que marca el proyecto y ayudar a llevar a cabo la construcción. A su vez, la comunidad rural proporcionará materiales y demás recursos a su alcance que sean de utilidad para desempeñar la construcción de la mejor manera posible.

1.5 CONTEXTO

Previamente a la realización de un proyecto se debe analizar el contexto social, político, económico y geográfico de la localidad donde se va a realizar la construcción que propone este proyecto. Esto se debe a que el contexto condiciona totalmente el proyecto debido a diversos factores que puedan presentarse y puedan afectar al proyecto. Además de existir factores condicionantes, mediante el estudio del proyecto también se puede comprender mejor la motivación y los objetivos de la realización del proyecto, que quizás en un contexto distinto podría diferir. El estudio tendrá un enfoque general, ya que se estudiará principalmente el país.

1.5.1 SOCIEDAD Y CULTURA

La población de Zimbabue cuenta con 14.645.468 habitantes, de los cuales un 37,2 % de personas cuenta con edades entre 0 y 14 años, 59,3 % entre 15 y 64 años y un 3,5% de personas con edades superiores a 65 años.

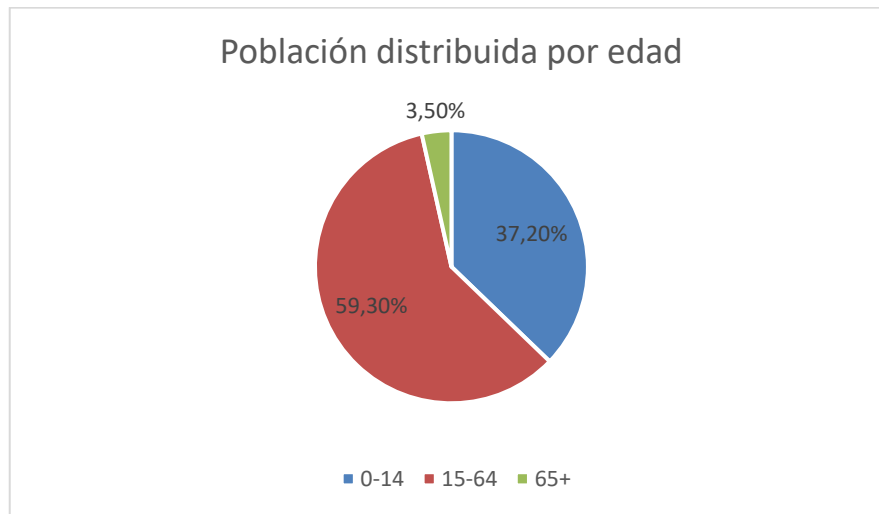


Ilustración 6: Gráfico de población distribuida por edad. Fuente propia

Un 98,8% de la población es negra, donde se pueden distinguir entre los shonas (80-85%) y los ndebeles (8-10%), estos últimos con una gran tendencia a abandonar el país a lugares como Sudáfrica en busca de una mejoría de calidad de vida, en lo referente a lo económico, por lo que se prevé una gran disminución de habitantes ndebeles con el transcurso de los años. Los asiáticos y mestizos conforman un 1% de la población y los blancos un 0,2%. Se produjo una gran disminución de estos habitantes debido a que se vieron afectados por el gobierno de Mugabe de 1987 a 2017 que propulsó una campaña de expropiación a integrantes de este grupo.

Los idiomas oficiales del país son el inglés, el Shona y el Ndebele. El Shona es el idioma más extendido, ya que es el idioma nativo de los shonas que componen una gran parte de la población, en cambio el Ndebele es un idioma minoritario. Un 86,7% de zimbabuenses, han adquirido la capacidad de escribir y hablar mediante el inglés. A pesar de estar tan extendido debido a la implantación del idioma en la educación, el inglés se desarrolla principalmente en contextos de negocios. Existen a su vez múltiples dialectos tribales como el xhosa y el chichewa.

Zimbabue, es un país caracterizado por la alta cantidad de población creyente; un 97,44% es creyente. La religión principal en Zimbabue es el cristianismo, ya que un 81,88% de la población lo profesa, a pesar de que muchas veces se deba a variantes o al menos una influencia directa de esta religión, como es el caso de las creencias sincretistas que es una combinación de cristianismo y creencias indígenas. Un 13,57% profesa el animismo y un 1% profesa el musulmán.

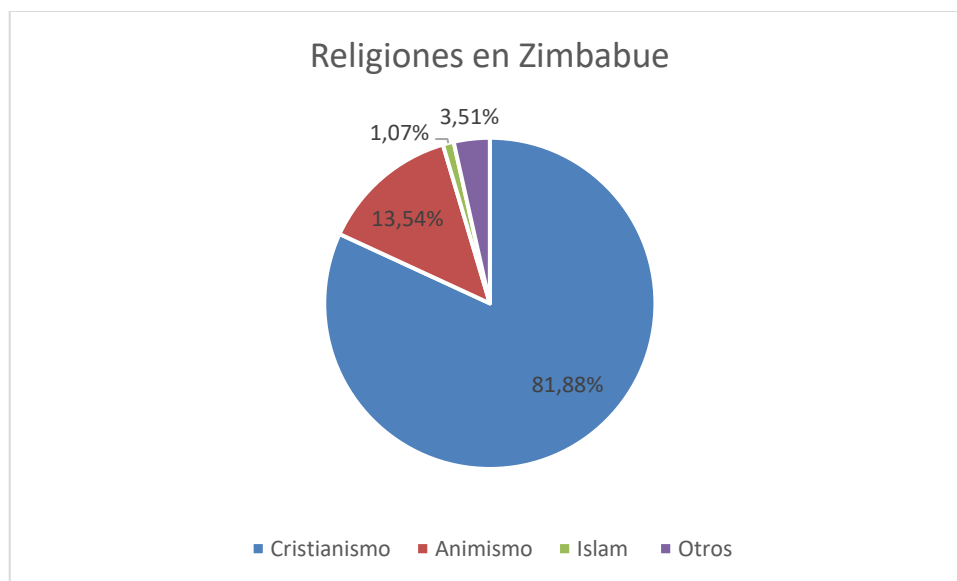


Ilustración 7: Gráfico de religiones en Zimbabue. Fuente: [6]

En cuanto a la cultura, Zimbabue es uno de los países africanos con mas relevancia cultural. Es por ello, que los artistas zimbabuenses son apreciados en el país y tienen en muchos casos capacidad de vivir dedicándose a sus prácticas artísticas, mientras que en otros países del continente estos artistas se ven obligados por necesidad a abandonar su país de origen para vivir, debido al escaso reconocimiento y valor de sus obras. Entre las principales tradiciones artísticas del país, destacan los trabajos de alfarería, cestería, telas pintadas, joyería y madera tallada. La música también adopta un papel muy importante dentro de la cultura de Zimbabue, ya que tiene gran relevancia en eventos sociales y celebraciones. Las leyendas africanas, son transmitidas mediante canciones y cantadas en coros con la participación del

público. Los instrumentos con mayor influencia en las canciones son la marimba la mbira y el xilófono de madera.

La esperanza de vida en Zimbabue es de 62,3 años. Este dato es mayor en los países del sur de África y menor en países colindantes como Mozambique y Zambia. A pesar de ello, se considera una esperanza de vida baja. Esto es debido principalmente a las dificultades de combatir ciertas enfermedades. El principal problema sanitario en Zimbabue se debe al VIH, que esta disminuyendo con el transcurso de los años, pero sigue siendo uno de los países del mundo con mayor tasa de enfermos de VIH del mundo con un 16% de la población. El Covid-19 ha afectado duramente a Zimbabue, registrando 1 800 muertes, entre marzo de 2020 y junio de 2021. Se trata de uno de los países menos afectados del continente en cuanto a número de fallecidos y número de contagios, pero a pesar de ello ha tenido un efecto dramático en la economía, la forma de vida y la calidad de vida del país.

1.5.2 POLÍTICO

Actualmente Zimbabue es una República presidencialista, donde el presidente es jefe de Estado y de Gobierno. La elección de dicho presidente es democrática basado en el sufragio universal a partir de 18 años. El parlamento está organizado en dos cámaras: La Asamblea Nacional de Zimbabue, que cuenta con 150 escaños, de los cuales 120 son elegidos por los ciudadanos, 20 son elegidos por el presidente previamente elegido y 10 son jefes tribales y el Senado que fue recientemente instaurado en 2005.

Desde 1885 Reino Unido, incorporó los actuales países de Zimbabue, Mozambique y Zambia como una colonia con nombre de Rhodesia a pesar de las múltiples reivindicaciones del territorio de Portugal. El nombre de esta colonia hacía honor a Cecil John Rhodes, magnate de la minería, que había fundado la compañía minera británica del sur de África. En 1867 se divisó oro en este territorio y este fue el principal motivo que impulso la colonización del territorio.

En 1911 Rodesia queda dividida en dos territorios, Rodesia del norte y del sur. Rhodesia del sur, fue el territorio más desarrollado y tras el fin de la compañía de Cecil John Rhodes y

varios levantamientos de las tribus colonizadas, en 1922 se realiza un referéndum acerca de proclamar un autogobierno o regirse bajo el control de Sudáfrica, convirtiéndose Rhodesia del sur en una provincia de Sudáfrica. Esto supuso el autogobierno de Rhodesia del sur bajo el mandato de Reino Unido en 1923.

En 1953 Rhodesia conforma una federación junto a Nyasalandia, protectorado británico, con el objetivo de consolidar un estado que mejoraría la economía de ambas colonias. La federación fue disuelta en 1964 y Rhodesia volvió a la situación anterior a la federación, mientras que el protectorado británico de Nyasalandia logró la independencia plena como República de Malaui. En 1965 Ian Smith tras ser elegido primer ministro de Rhodesia del sur, declara la independencia de Reino Unido de manera unilateral. La independencia fue reclamada por la corona británica y la ONU impuso sanciones económicas al país, en 1968.

En 1970 se proclama la República de Rhodesia, tras un referéndum en el que se determinó que el poder residiría en la minoría blanca y se conformaría la república. Los opositores, no asumieron la proclamación debido a que no se ofreció la oportunidad de voto a la población negra, realizando ataques por grupos nacionalistas denominados ZAPU y ZANU, al mando de Joshua Nkomo y Robert Mugabe respectivamente. Ambos grupos conformaron el Frente Patriótico que estaría en la oposición del gobierno de la república.

En 1979 debido a las presiones del Frente Patriótico se elaboró una nueva constitución basada en la igualdad de la población, sin tener en cuenta el color de piel. En 1980, finalmente Zimbabwe logra la independencia de Reino Unido, nombrando a Robert Mugabe primer ministro de Zimbabwe.

El mandato de Robert Mugabe destaca por la expropiación de tierras a los agricultores blancos del país para ser proporcionadas a ciudadanos afines a su gobierno, lo que supuso una disminución de habitantes blancos y trabajadores de estas tierras que quedaron su hogar ni trabajo. A partir del año 2000, el gobierno comenzó a ejercer prácticas de represión contra la oposición, produciéndose el cierre de periódicos de opinión, destrucción de cientos de hogares y tiendas.

Debido a estas prácticas, el país fue expulsado de la Commonwealth, que causó un abandono de empresas que prestaban servicios de ayuda en el país, que resintió la economía. En las elecciones de 2008, la persecución a la oposición se intensificó. En dichas elecciones el partido de la oposición MDC de Tsvangirai ganaría la primera ronda y previo a la segunda ronda se produjeron arrestos a miembros del partido. La segunda ronda, tuvo lugar de manera que se alcanzase la mayoría absoluta y fue en esta ronda donde Mugabe alcanzó la mayoría absoluta tras jornadas de represión a parte del electorado y con sospechas de gran parte de la población.

En 2017, se produjo un alzamiento por parte del ejército que se hizo con el poder que supuso la dimisión y el abandono de Mugabe. Se produjo una transición orquestada por el ejército y Emmerson Mnangagwa, anterior vicepresidente y se convocaron elecciones. En 2017, tras estas elecciones Emmerson Mnangagwa fue elegido y continúa de presidente de Zimbabwe en la actualidad.

1.5.3 ECONÓMICO

Zimbabwe es un país en vías de desarrollo, con una economía marcada por la inestabilidad y acciones de los gobiernos como se ha descrito anteriormente. Zimbabwe fue el país africano más próspero y con una economía más fuerte, pero debido a varios factores se encuentra actualmente en una mala situación económica.

Zimbabwe sufre en la actualidad una altísima tasa de desempleo del 90%, un alto índice de pobreza (el 70% de la población vive por debajo de la línea de la pobreza) y una inflación muy alta (tasa inflacionaria del 319%).

Uno de los factores que ha provocado la situación económica actual más determinante ha sido la participación del país en la Segunda Guerra del Congo (1998-2003), que ocasionó un gasto de cientos de millones de dólares. Esto ocasionó un altísimo déficit presupuestal, que conllevó sobreimpresión de dinero por la Reserva del Banco de Zimbabwe para sostener el déficit y ha conllevado una hiperinflación que alcanzó su peor estado julio de 2008 con 231 000 000 % de inflación anual. Esta devaluación fue tal que la moneda propia de Zimbabwe

tuvo que ser suspendida y reemplazada por el dólar estadounidense en el año 2015. En el año 2016 se imprime una especie de moneda nueva, denominada “zólar” con el mismo valor que el dólar pero que carecía de validez fuera de Zimbabwe y en pocos meses un dólar ya pasaba a equivaler 6 zólares. En el año 2000 Zimbabwe recibió una ayuda internacional de 178 millones de dólares, deuda que no se ha saldado en los últimos años que provoca una falta de inversión extranjera.

En los últimos años, la situación económica ha continuado siendo dramática, siendo la inflación hasta un 319% en 2020. En 2019 Zimbabwe optó por recuperar su moneda local para paliar la situación y se ha comenzado a imprimir billetes lo cual puede conllevar una situación similar a la acontecida anteriormente. La Covid-19 ha dañado severamente la industria desde 2020 y actualmente se encuentra en una fase de reactivación.

La economía se sustenta en tres principales fuentes de riqueza; la agricultura, la minería y el turismo. Se ha logrado desarrollar una sólida industria exportadora en los dos primeros sectores. Las exportaciones de productos agrícolas y de minerales (principalmente oro, níquel y tabaco) representan cerca del 90% de las exportaciones totales de mercancías. En cuanto al turismo, este está basado en recibir a visitantes de las Cataratas Victoria, considerado patrimonio de la humanidad por la Unesco. El PIB del país se distribuye en agricultura (20,3%), industria (25,1%) y servicios (54,6%).

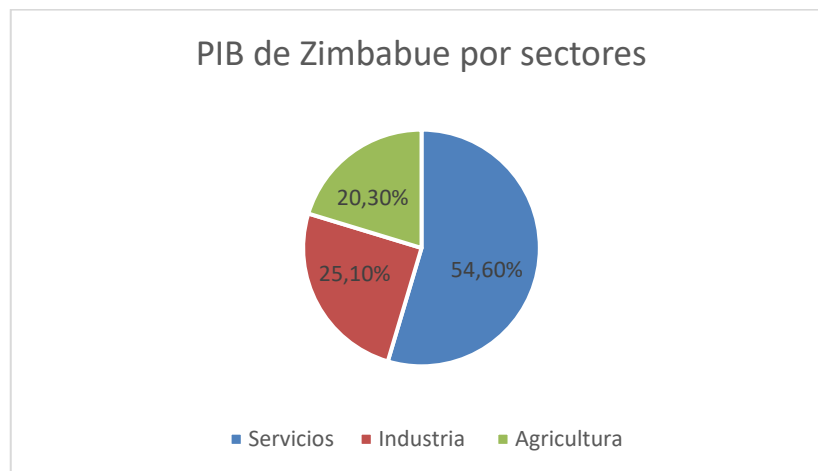


Ilustración 8: Gráfico de PIB de Zimbabwe distribuido en sectores. Fuente: [7]

1.5.4 GEOGRÁFICO

Zimbabue se encuentra en el sureste de África situado entre el río Zambeze, las cataratas Victoria y el río Limpopo. Los países fronterizos son Zambia, Mozambique, Sudáfrica y Botsuana, que reciben la mayor parte de exportaciones de Zimbabue. La capital de Zimbabue es Hararé, que se encuentra a aproximadamente 186 km del lugar de la construcción.

Zimbabue se compone de 8 provincias, con capitales como se aprecie en la siguiente ilustración y dos ciudades independientes Hararé y Bulawayo. A su vez, las provincias están compuestas de distritos, con un total de 62. La construcción se sitúa en la provincia de Mashonalandia Central, en el distrito de Mount Darwin.

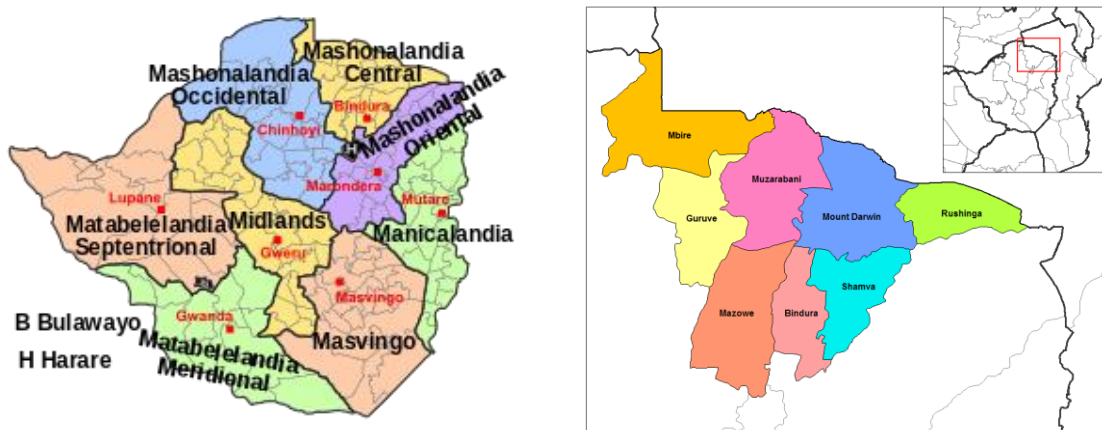


Ilustración 9: Posición geográfica de Mount Darwin. Fuente: [8]

2. PRESA

Para determinar el tipo de presa que se va a emplear para la construcción se deben analizar los distintos tipos de presa existentes y factores tanto técnicos como económicos y como el tipo de presa afecta a dichos factores. Se debe evaluar qué factores son los más importantes para el objeto de estudio y en función de ello seleccionar el tipo de presa que se va a construir.

2.1 TIPOS DE PRESA

Los tipos de presa existentes se clasifican en dos grupos en función de los materiales que se emplean en su construcción. A su vez, estos grupos están divididos en subgrupos en función de su forma, como ofrecen resistencia al caudal o de la distribución de los materiales que constituyen la estructura.

2.1.1 PRESA DE MATERIALES SUELTOS

Son presas versátiles ya que pueden ser construidas por diversos materiales, que ejerzan entre ellos impermeabilidad para evitar la filtración de agua en la estructura. Este tipo de presas no ejerce resistencia en la parte superior de la presa, es decir, no aguanta que el agua sobrepase la estructura. La estructura tiene una sección trapezoidal. Los materiales más comunes empleados y que además se pueden obtener en la localidad son la arcilla y la escollera. En función de la distribución de los materiales podemos clasificar este tipo de presas.

1. **Presa homogénea:** Este tipo de presas están construidas en su totalidad con un material impermeable. El material más común es arcilla debidamente compactada. El tamaño de la base de la estructura es aproximadamente 6-8 veces la altura.

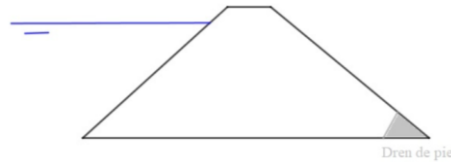


Ilustración 10: Sección de presa homogénea. Fuente: [2]

2. **Presas de núcleo:** Este tipo de presas se construye con varios materiales sueltos permeables, salvo el núcleo central de la estructura que está formado por un material impermeable, tal como lo es la arcilla. A ambos lados del núcleo impermeable se encuentran unas capas de gravilla con el objetivo de filtrar y drenar denominado material de transición. Por último, el material a ambos lados de estas capas y por tanto la parte en contacto con la superficie es una parte construida por escollera, que también es un material impermeable. Esta última capa se denomina espaldones.

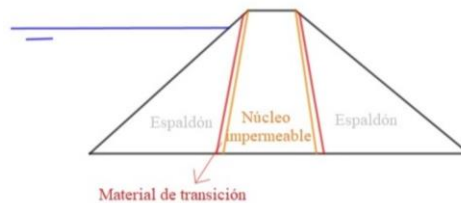


Ilustración 11: Sección de presa de núcleo. Fuente: [2]

3. **Presas de pantalla:** Del mismo modo que el caso anterior, este tipo de presas se componen por materiales sueltos permeables y en vez de formar un núcleo con materiales impermeables, incorporan una primera capa impermeable aguas arriba de la estructura. Esta primera capa suele estar compuesta por hormigón. El resto de la estructura, esta formada por una capa de transición formada por gravilla y por una última capa de escollera u otros materiales resistentes.

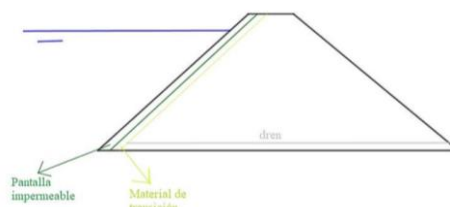


Ilustración 12: Sección de presa de pantalla. Fuente: [2]

2.1.2 PRESA DE FÁBRICA (HORMIGÓN)

Son presas construidas en su totalidad de hormigón. Esto implica una alta resistencia y permite soportar que se vierta agua sobre el cuerpo de la presa. El hormigón es un material que ofrece buenas propiedades, pero adquirir dicho material puede suponer un elevado coste. Este tipo de presas están a su vez clasificadas, en función de su manera de ofrecer resistencia.

1. **Presa de gravedad:** En este caso, el mecanismo que ofrece resistencia en este tipo de presas es el rozamiento de la estructura con el terreno sobre el que se apoya. La resistencia es elevada ya que el hormigón es un material muy pesado y consecuentemente el rozamiento es muy elevado. Este tipo de presas requieren de una gran resistencia del terreno para soportar el peso de la estructura.

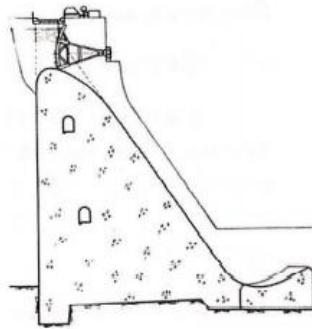


Ilustración 13: Sección de presa de gravedad. Fuente: [9]

2. **Presa de arco:** Se trata de un tipo de presas de estructura más ligera que la presa de gravedad, siendo esta aproximadamente un 30% de la altura de la estructura. Por ello, esta presa emplea una cantidad reducida de material y en vez de ejercer resistencia mediante la fuerte resistencia al deslizamiento que proporciona su peso, es su forma de arco la que produce la resistencia. La forma de arco de la estructura produce que los esfuerzos que el agua ejerce sobre la presa se distribuyan de manera axial y así produciéndose estos esfuerzos en los estribos de la cerrada. Este tipo de presas requiere una alta resistencia en los estribos.



Ilustración 14: Sección de presa de arco. Fuente: [9]

3. **Presa de contrafuerte:** Este tipo de presas poseen un mecanismo resistente similar al de las presas de gravedad. Se trata de presas en las que la parte frontal está inclinada y se encuentra apoyada sobre unos elementos inclinados que sujetan la parte frontal y son estos los que ejercen resistencia a los esfuerzos que provoca el agua.

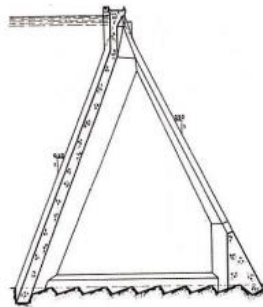


Ilustración 15: Sección de presa de contrafuerte. Fuente: [9]

2.2 FACTORES

Los factores que se han de tener en cuenta para determinar el tipo de presa son los siguientes.

- **Sencillez estructural:** Es un factor importante, ya que repercute directamente en la ejecución de la construcción. En caso de ser una estructura compleja, al no contar con un equipo especializado en este tipo de construcciones, habría más facilidad de cometer errores en la ejecución y por tanto que se produzcan fallos en la estructura. Además, el mantenimiento de la presa es imprescindible para lograr mantener la función de la presa el mayor tiempo posible y una estructura compleja, podría suponer dificultades en cuanto al mantenimiento. Las presas de arco y de contrafuerte, presentan una mayor dificultad para construir la estructura, debido a la complejidad del diseño.
- **Cimentación:** Es importante seleccionar una presa con mayor facilidad de cimentación, para evitar dificultades en la construcción y tipos de estructura que el terreno requiera alta resistencia y ponga en riesgo la seguridad.

En este caso, la presa de materiales sueltos, formada por capas de escollera, gravilla y un núcleo de arcilla, ofrece gran facilidad de cimentación, ya que no genera presiones excesivas sobre el terreno y los materiales que conforman la estructura pueden proceder directamente del propio terreno y pueden proceder de la comunidad rural de la localidad ya que trabajan con estos materiales habitualmente.

Por el contrario, otro tipo de presas como las presas de fábrica, construidas con hormigón, presentan complicaciones en cuanto a las tensiones que debe soportar la base ya que proporcionan altas presiones sobre la base. Además, el hormigón es un material que debido a la escasez de recursos de la localidad supondría un encarecimiento del proyecto.
- **Desbordamiento:** Se debe tener en cuenta la respuesta de cada tipo de presa a un desbordamiento. Se trata de una situación muy presente en nuestro proyecto ya que como se ha indicado en el estudio climático, la localidad puede sufrir grandes tormentas repentinas difícilmente previsibles que causen desbordamientos.

Para este tipo de situaciones, las presas de hormigón son altamente resistentes y un desbordamiento no amenazará la integridad de la estructura. En cambio, la presa de materiales sueltos no aguanta el desbordamiento del agua y esta situación pondría en riesgo la integridad de la estructura.

- **Seguridad:** La seguridad es el factor más importante en este proyecto y va determinado por la correcta ejecución del proyecto, de situaciones como el desbordamiento descrito en el punto anterior y cualquier otro elemento que pueda poner en juego la integridad de la estructura y en consecuencia la seguridad del proyecto.

Las presas de hormigón o de mampostería, están dotadas de mayor capacidad para resistir desbordamientos, pero en caso de que la presa colapse o se desestabilice en caso de errores de ejecución las consecuencias serán peores que en caso de una presa de materiales sueltos.

- **Reducción de costes:** El presupuesto del proyecto es muy limitado y, por tanto, la reducción de costes es el factor más importante para determinar el tipo de presa, obviando el factor de seguridad. Los costes que debemos analizar son los de los materiales, ya que la construcción no va a suponer ningún coste, debido a que va a ser realizada por la ONG en colaboración con la comunidad rural. Estos costes están marcados por la disponibilidad del material en la zona.

La presa de materiales sueltos presenta la opción más económica de los diferentes tipos de presa, ya que va a ser formada por materiales que se trabajan habitualmente en esta localidad y hay constancia de que la comunidad rural los puede proveer a bajo coste.

A continuación, la tabla muestra los diferentes tipos de presas y los factores que satisface cada tipo de presa, excepto la seguridad que es el factor más complejo y requiere mayor profundidad.

Tipo de presa	Sub grupo	Sencillez estructural	Cimentación	Desbordamiento	Reducción de costes
Materiales sueltos	Homogénea	■	■	□	■
	Núcleo	■	■	□	■
	Pantalla	■	■	□	□
De fábrica (hormigón)	Gravedad	■	□	■	□
	Arco	□	□	■	□
	Contrafuerte	□	□	■	□

Tabla 2: Factores que satisface cada tipo de presa. Fuente propia

Analizando los factores, que se han expuesto anteriormente se ha seleccionado la presa de materiales compuestos, formada con gravilla, escollera y un núcleo de arcilla. Esto es debido a la gran adaptabilidad que tiene sobre el terreno, sin ejercer grandes presiones que podrían causar un fallo en la estabilidad de la presa, ya que en caso de construir otro tipo de presa habría que hacer un estudio geológico más exhaustivo de la roca madre del terreno para poder garantizar la seguridad de la construcción.

Por otro lado, se ha seleccionado este tipo de presa debido importancia que tiene la reducción de costes, y la facilidad de obtener los materiales que componen este tipo de presa.

No obstante, este tipo de presa no es capaz de soportar desbordamientos de la estructura. Por ello, se debe modificar la presa de tal manera que en caso de que este fenómeno ocurra la

presa no vea afectada su integridad y así garantizar la seguridad de la estructura. Para ello, se va a optar por construir un aliviadero hormigón, a una altura inferior que la del resto de la estructura para así provocar que el agua no desborde por la parte vulnerable de la estructura. Se procederá a calcular situaciones límite en las que este aliviadero sea de utilidad para determinar el dimensionamiento de la presa teniendo en cuenta esta situación. De este modo, se logra garantizar la seguridad de la presa y a su vez reducir costes en la medida de lo posible.

Este tipo de presa ha sido seleccionada sobre la presa homogénea, que también presenta una buena alternativa por sus características, debido a que no se puede prever adquirir una arcilla totalmente compacta y en caso de que esto no pueda darse, este tipo de presa presentará mayores problemas que la presa de núcleo, que cuenta con otras capas de materiales perfectamente accesible.

3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Actualmente, la presa se encuentra en un estado muy deteriorado y como se ha mencionado anteriormente habrá que realizar un proyecto de construcción de una presa desde el inicio, ya que no hay ninguna base útil sobre la que reconstruir la presa. No obstante, cómo el objetivo de este proyecto es el diseño para una posterior ejecución de este, se evaluará en la ejecución si hay algún resto útil para la construcción de esta presa.

Previo al desarrollo del diseño se estudiará a fondo los datos climatológicos de la zona de instalación, las precipitaciones anuales, la localización óptima de construcción teniendo en cuenta el terreno, la proximidad a las zonas de cultivo y demás factores.

En cuanto a las soluciones tecnológicas a emplear, cabe destacar la utilización de herramientas como Solid Edge, Solid Works para el desarrollo de los planos de la instalación y la posibilidad de emplear estos programas para analizar fuerzas y presiones en partes críticas de la construcción para garantizar el correcto funcionamiento de la presa ante situaciones que podemos prever. También se empleará el programa AutoCAD, principalmente para desarrollar los planos del lugar donde se va a construir la pieza. Por último, se utilizarán herramientas como el trazado de líneas topográficas para analizar la zona óptima de construcción de la presa. Estas herramientas tecnológicas no se utilizaron en la anterior construcción de esta presa y es precisamente por la falta de recursos tecnológicos por los que considero que fue un proyecto fallido.

Es muy positivo analizar otros proyectos de construcciones de sistemas de retención y aprovechamiento de agua en contextos similares para así, poder contrastar entre ellos y adquirir mayor conocimiento para poder plasmarlo en el proyecto.

A continuación, se van a exponer construcciones similares a las que se va a realizar detallando sus características principales y el contexto de cada proyecto.

3.1 EJEMPLOS DE CONSTRUCCIONES

Es muy positivo analizar otros proyectos de construcciones de sistemas de retención y aprovechamiento de agua en contextos similares para así, poder contrastar entre ellos y adquirir mayor conocimiento para poder plasmarlo en el proyecto.

A continuación, se van a exponer construcciones similares a las que se va a realizar detallando sus características principales y el contexto de cada proyecto.

3.1.1 CONSTRUCCIÓN DE PRESA EN MUTANGE

Este proyecto, es interesante debido a que comparte multitud de características con el proyecto que se va a desarrollar, tanto en objetivos como en contexto. A continuación, se muestran los datos generales de la construcción.

Lugar	Gokwe del este, Midlands, Zimbabwe
Tipo de presa	Presa de arco de gravedad
Propiedad	Ministerio de Recursos hídricos y desarrollo
Propósito	Suministro de agua potable para seres humanos y ganado, generación eléctrica y riego
Beneficiarios	Ciudad de Gokwe, plan de riego de Mutange, municipio de Chisina y aldeas rurales de la zona
Coste	\$ 8 224 504,00

Tabla 3: Datos de la construcción de presa en Mutange. Fuente: [10]

Este proyecto fue desarrollado con los objetivos de proporcionar agua potable a los habitantes de las localidades cercanas y al ganado, generar electricidad a través de una central hidroeléctrica y utilizar el agua para cultivar mediante un sistema de regadío. De esta manera se logra dotar a las localidades beneficiadas de mayores recursos como el acceso al agua y a la electricidad para generar riqueza mediante el cultivo, la ganadería y la reducción de gasto en energía, de manera que las localidades de la zona se desarrollen. Estos objetivos casan directamente con los objetivos del proyecto que se va a realizar.

La ciudad de Gokwe, presenta unos datos climatológicos muy similares al resto de ciudades de Zimbabue con temperaturas previstas de entre 12°C - 30°C y precipitaciones de noviembre a febrero con un máximo de 148 mm promedio en el mes de enero, lo que supone una gran escasez de agua en los meses restantes del año y por tanto una necesidad de construir presas para retener el agua durante esta época.

La construcción está basada en una estructura de hormigón con forma de arco, que logra una máxima de 4 500 000 m³. Las dimensiones y el material de la estructura determinan en este caso el elevado presupuesto de esta construcción, lo cual indica que, a pesar de las diferencias en las dimensiones con respecto a la presa de este proyecto, este tipo de estructura va a ser probablemente demasiado costosa para ser elegida.



Ilustración 16: Vista de la pared de la presa en Mutange. Fuente: [10]

3.1.2 CONSTRUCCIÓN DE PRESA EN MUKURUMUDZI, KENYA

Esta construcción es de diferente tipo que la que la construida en Mutange, concretamente de materiales sueltos con núcleo de arcilla y coincide con el contexto de la construcción en cuestión. Por ello es interesante, analizar dicho proyecto. En la siguiente tabla, se muestran los datos generales de esta presa.

Lugar	Mukurumudzi, Kenya
Tipo de presa	Presa de materiales sueltos, núcleo de arcilla
Promotora	ARQ Consulting Engineers
Propósito	Proporcionar agua para el proyecto Kwale Mineral Sands, que tiene como objetivo extraer minerales de titanio y circón de las dunas en el área al sur de Mombasa
Beneficiarios	Proyecto Kwale Mineral Sands
Coste	-

Tabla 4: Datos de la construcción de la presa en Mukurumudzi.. Fuente: [11]

Este proyecto tiene la peculiaridad, que el objetivo de retención y almacenamiento de agua es para su uso en el proyecto de Kwale Mineral Sands, proyecto destinado a la extracción de las dunas en el sur de Mombasa.

Se trata de una estructura de materiales sueltos, con núcleo de muy baja permeabilidad de 24 m de altura. El embalse no contaba con un terreno de materiales con propiedades impermeables, lo que supuso impermeabilizar la superficie del vaso mediante una membrana

impermeable de bentonita-cemento-suelo. Las presas de materiales sueltos y en concreto la de núcleo impermeable carecen de propiedades resistentes ante las avenidas, por lo que esta presa cuenta con un rebosadero de hormigón para garantizar la seguridad de la estructura. La presa cuenta con un área de captación de 133 km^2 y una capacidad máxima de $10 \times 10^6 \text{ m}^3$.



Ilustración 17: Presa de Murukudzi. Fuente: [11]

3.1.3 CONSTRUCCIÓN DE PRESA EN EL RÍO KIBISH, SUR DE ETHIOPÍA

El proyecto analizado anteriormente, presentan construcciones de presas con objetivos y características similares al que se va a desarrollar, pero totalmente desproporcionados con respecto a la construcción en cuestión, en cuanto a dimensiones y recursos. Este proyecto, cuenta con características similares en cuanto a dimensiones y recursos. En la siguiente tabla, se muestran los datos generales de la construcción.

Lugar	Kibish, Nyangatom, Etiopía
Tipo de presa	Presa de materiales sueltos
Promotora	Comunidad rural en colaboración con MCSPA
Propósito	Abastecimiento de agua para la zona y desarrollo de las tribus de la zona
Beneficiarios	Los habitantes de la zona y tribus
Coste	62.497,10 €

Tabla 5: Datos de la construcción de la presa en Kibish. Fuente: [12]

Esta construcción tiene como objetivo almacenar agua potable para el posterior consumo de los integrantes de las tribus que habitan en la zona y ganado. La construcción emplea una estructura de materiales sueltos para lograr su propósito. Para evitar filtraciones, este proyecto plantea la excavación del terreno, evitando así las capas con materiales permeables para construir la estructura. Esto a su vez proporciona una mayor profundidad que será positivo para evitar pérdidas de agua por evaporación, ya que la profundidad aporta mayor volumen manteniendo la misma superficie.

Esta presa está localizada, en una zona donde debido a las condiciones climatológicas y los escasos recursos de aprovechamiento hay una escasez de agua notable, que provoca enfrentamientos entre diferentes tribus para adquirir la poca agua potable que hay. Es por ello, que la motivación del proyecto trasciende los objetivos de proporcionar agua a los habitantes de la localidad, ya que también evita conflictos entre las comunidades cercanas.

3.1.4 CONSTRUCCIÓN DE PRESA EN KAMBU, KENYA

Esta construcción es de diferente tipo que las anteriores, concretamente es una presa de arena. En la siguiente tabla, se muestran los datos generales de esta presa.

Lugar	Kambu, Kenya
Tipo de presa	Presa de arena
Promotora	The Water Project
Propósito	Almacenamiento de agua para labores agrícolas y saneamiento e higienización
Beneficiarios	Habitantes de la comunidad de Kambu
Coste	-

Tabla 6: Datos de la construcción de la presa en Kambu. Fuente:[13]

Este tipo de presas, funcionan debido a la retención de agua por un bloque de hormigón y se aprovechan de la arena que arrastra el agua, de tal manera que estos granos de arena se acumulan y llegan hasta la cota del aliviadero. Esto supone que el agua se almacene en la presa con mayor facilidad ya que se encuentra más protegida contra la evaporación y la contaminación. Este tipo de presas, se llevan a cabo cuando el terreno cuenta con la arena necesaria para que suceda este fenómeno.

Este proyecto lo lleva a cabo la ONG The Water Project, cuyos objetivos en sus acciones se alinea con la motivación de este proyecto; como puede ser la integración de la comunidad rural en el proyecto o el incremento de oportunidades para los habitantes de las zonas a las que se ayuda. Esta ONG es conocida por su gran presencia en todo el territorio de Kenya,

habiendo ejecutado hasta 500 proyectos que incluyen presas, pozos, tanques de retención de lluvias y protección de manantiales.



Ilustración 18: Presa de Kambu. Fuente: [12]

4. ESTUDIO DEL TERRENO

En este capítulo del proyecto se realizará un estudio del terreno en el lugar donde se construyó la anterior presa y las zonas de alrededor con el objetivo de conocer las características del terreno para poder adaptar la presa a dicho terreno y seleccionar el lugar óptimo para situar la presa de manera que se optimicen los recursos. Para analizar dichas características se evaluará la topografía, geología y geotecnia, el clima, y la hidrología del lugar.

4.1 TOPOGRAFÍA

En cuanto a la topografía del lugar, es complicado encontrar estudios topográficos en los países africanos y en concreto en Zimbabwe, debido a la escasez de medios que estos países en vías de desarrollo emplean para este tipo de estudios, priorizando su inversión en otro tipo de recursos de mayor necesidad. Se podrían llevar a cabo este tipo de estudios en la zona con GPS y material especializado, pero esto supondría un gasto significativo y debido a las limitaciones económicas del proyecto, se debe priorizar en invertir en la construcción.

En primer lugar, a través de una herramienta de topografía a nivel mundial que facilita topographic-map [13], se ha realizado el primer intento de hallar datos que nos indiquen la altitud de puntos relevantes alrededor de la ubicación seleccionada. El resultado de este estudio topográfico se muestra en la siguiente figura.

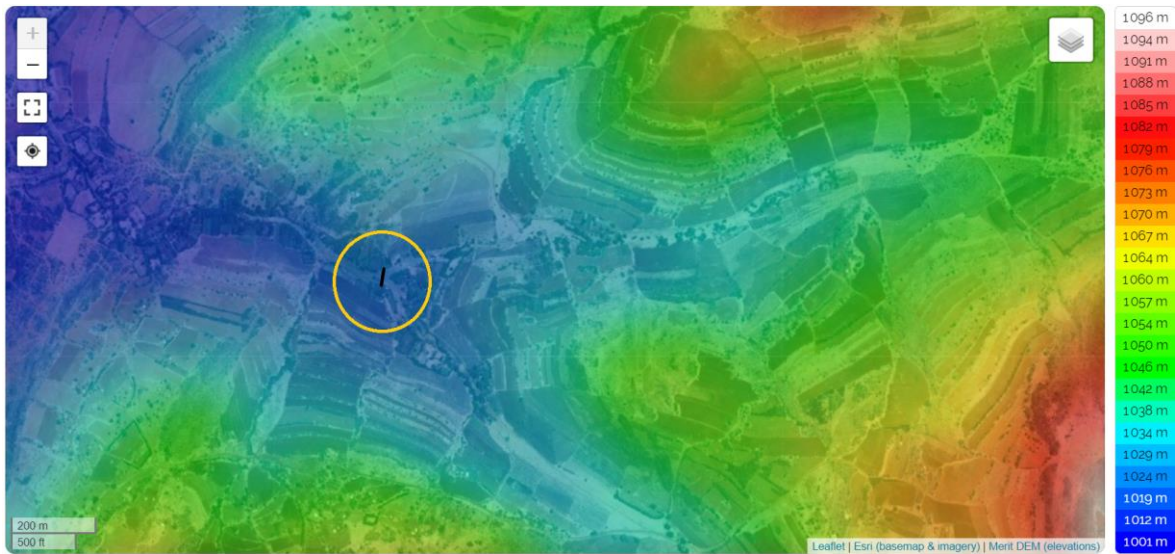


Ilustración 19: Estudio topográfico. Fuente: [13]

Se puede observar que la altitud del terreno se muestra en la leyenda de la parte derecha de la figura a la que la gama de colores hace referencia. La mínima escala que este programa permite es 200 m, que como se puede observar no es suficiente para determinar con exactitud el estudio topográfico de la zona en este caso indicada con el círculo amarillo. A partir de este mapa se puede intuir que la altitud del terreno será ligeramente superior a los 1000 m, con ligera diferencia de las altitudes entre el vaso y las vertientes que desembocan en la presa.

En segundo lugar, se ha encontrado un mapa topográfico desarrollado en 1975 por el departamento de topografía general de Causeway. [14].



Ilustración 20: Mapa topográfico Zimbabue. Fuente: [14]

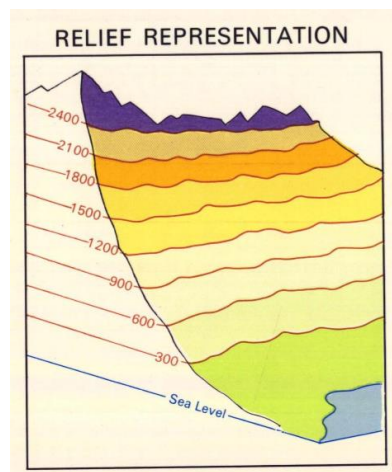


Ilustración 21: Leyenda de mapa topográfico Zimbabue. Fuente: [14]

Se puede observar que el mapa topográfico obtenido no es suficientemente específico para ser de utilidad para analizar el lugar en el que se va a construir la presa. De este mapa topográfico se puede saber que en la zona encontramos una altitud de entre 900 m y 1200 m que reafirma los datos obtenidos en el estudio previo, que indicaban una altitud alrededor de los 1000 m.

Para realizar un estudio más detallado se ha optado por utilizar el programa Global Mapper v22.1, que permite el uso de una gran cantidad de modelos de terreno que pueden ofrecer datos más detallados que los obtenidos en el anterior programa. Concretamente, se ha optado por usar el modelo STRM Worldwide elevation data y reflejar sobre él líneas de nivel con un intervalo de 0.5 m entre cada nivel. En la siguiente ilustración se puede observar el resultado obtenido, estando la presa reflejada con la indicando en la leyenda una escala de colores que se refleja en el mapa y la escala empleada.

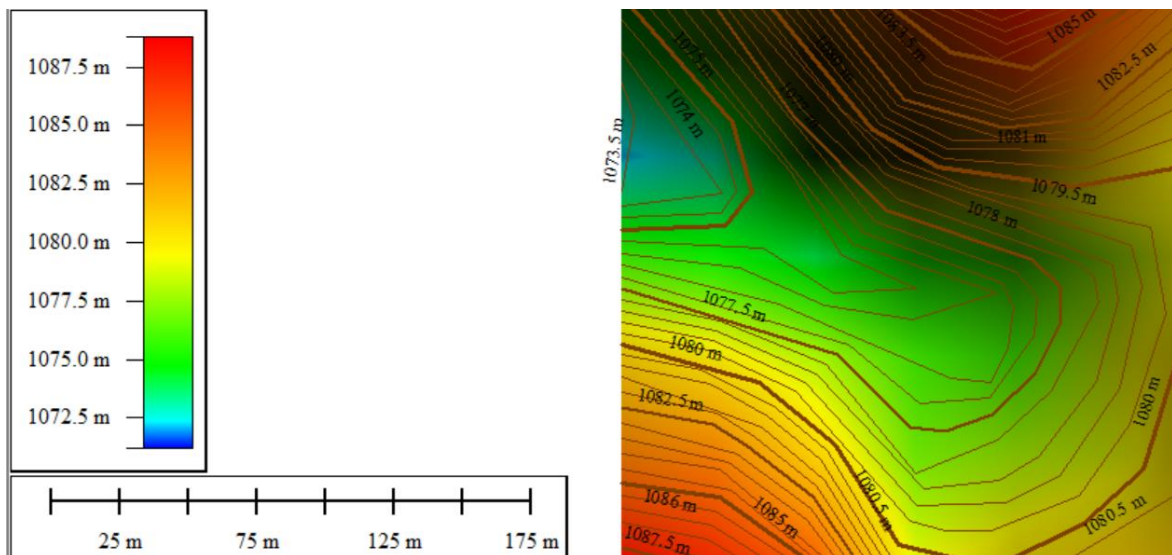


Ilustración 22: Estudio topográfico Global Mapper. Fuente propia.

A partir de este estudio más preciso del terreno, donde los residentes de la localidad construyeron la presa, se puede determinar si la construcción es adecuada en este terreno y en caso de serlo cual sería la mejor posición. En primer lugar, se puede apreciar un estrechamiento del terreno, concretamente en la parte reflejada con color verde. Alrededor de esta zona el terreno aumenta, logrando cerrar el valle, permitiendo así poder cerrar un terreno donde se puede almacenar el agua con facilidad. Logrando de esta manera, que para

cercar la presa simplemente haga falta a priori un dique de contención de agua no muy amplio, debido al estrechamiento.

Además, como se puede apreciar en el mapa que muestra la siguiente ilustración, obtenido a través de Google Earth, hay dos vertientes de río que desembocan directamente en la zona que previamente se ha analizado como zona de almacenamiento de agua.



Ilustración 23: Caudales que desembocan en la presa. Fuente propia

Por tanto, se puede determinar que el terreno evaluado es un lugar que desde un punto de vista topográfico cumple con los requisitos para ser el lugar de construcción de la presa. En la siguiente ilustración se indica una primera aproximación del lugar donde se localizará la presa y el vaso.

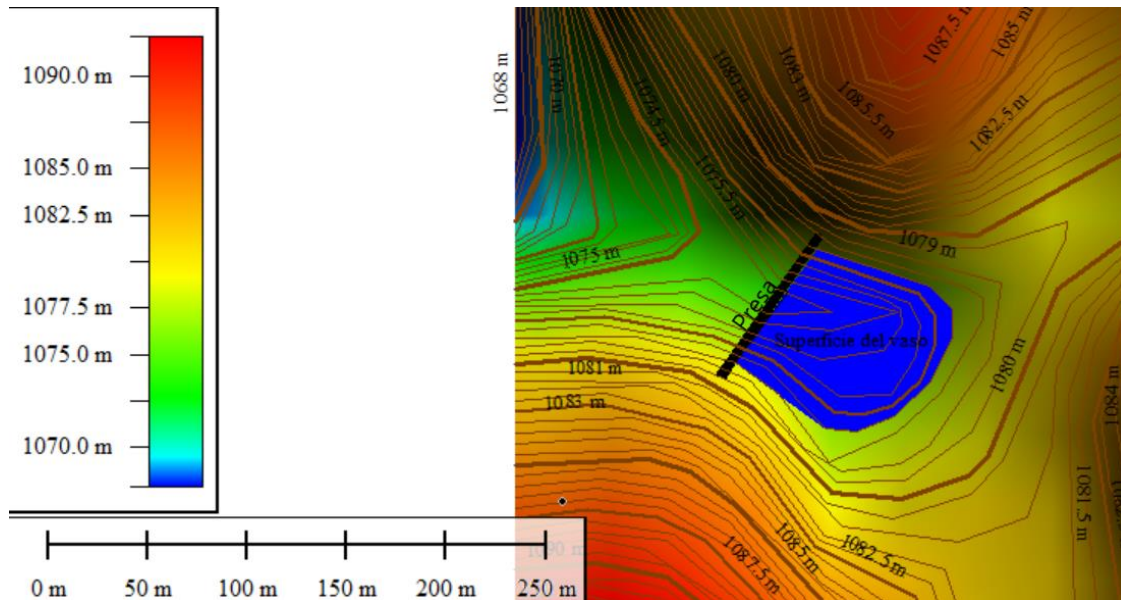


Ilustración 24: Mapa topográfico Global Mapper. Presa y vaso. Fuente propia

A partir del mapa topográfico obtenido con Global Mapper, si se realiza un estudio superficial, estableciendo el límite en la cota de 1080 m, se obtiene una superficie de 6370 m^2 .

4.2 GEOLOGÍA

El estudio de la geología es fundamental en la construcción de una presa ya que afecta varios aspectos de vital importancia, como la capacidad del terreno para soportar la estructura deseada para construir la presa y la impermeabilidad de los materiales no solo en el lugar exacto para prevenir la filtración de agua sino también en los alrededores como recurso para ayudar impermeabilizar el terreno o construir la presa.

Del mismo modo que en el estudio topográfico, no se ha invertido suficiente en realizar estudios de carácter geológico o geotécnico en Zimbabwe y por tanto tenemos información limitada acerca de la geología de la localidad.

Para ello es necesario observar varios mapas geológicos proporcionados por el archivo digital europeo de mapas de terrenos [15].

En primer lugar, encontramos el mapa provisional de Zimbabwe Rhodesia creado en 1979. [16]



Ilustración 25: Mapa geológico de Zimbabwe. Fuente: [16]

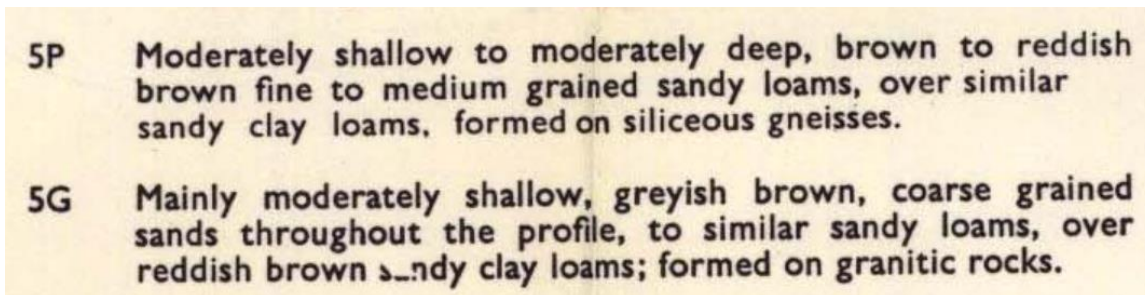


Ilustración 26: : Leyenda de mapa geológico de Zimbabwe. Fuente: [16]

Como se puede observar en las ilustraciones previas, en la localidad encontramos una combinación de arenas superficiales, de color marrón grisáceo, de grano grueso en todo el perfil, hasta francos arenosos similares, sobre francos arcillosos arenosos de color marrón rojizo; formado sobre rocas graníticas y arenas de moderadamente superficiales a moderadamente profundas, de color marrón a marrón rojizo de grano fino a medio arenoso franco, sobre franco arcilloso arenoso, formado sobre gneis silíceos.

En segundo lugar, encontramos el mapa provisional de Zimbabwe Rhodesia creado en 1971. [17].

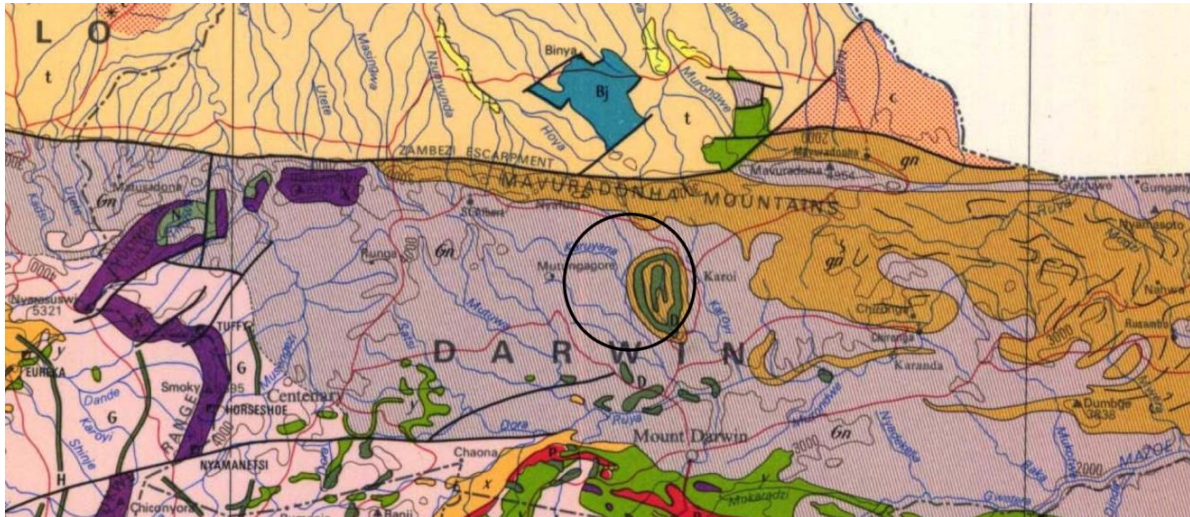


Ilustración 27: Mapa geológico de Zimbabwe. Fuente: [17]

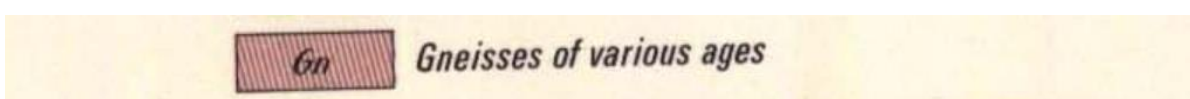


Ilustración 28: Leyenda de mapa geológico de Zimbabwe. Fuente: [17]

Se puede observar en las ilustraciones previas que el terreno contiene gneis, una roca metamórfica compuesta por los mismos minerales que el granito, cuarzo, feldespato y mica. Por tanto, este estudio concuerda con el anterior en que existe una primera capa de gneis o materiales graníticos. Esta roca puede ser de gran utilidad en caso de poder llegar a acceder a ella principalmente para construir la presa ya que aguantará altas cargas y para evitar filtraciones de agua en el vaso y retener el agua.

En tercer lugar, como indican varios especialistas en geología en su *informe Los suelos rojos en las principales clasificaciones* [18], en gran parte del continente africano y concretamente en la zona donde se va a llevar a cabo la construcción de la presa, encontramos terrenos con suelos rojos, como se puede apreciar en la siguiente ilustración que están compuestos con material ferralítico. Esto coincide con la descripción de la primera capa del terreno que describe el primer mapa provisional de Zimbabwe en la ilustración 11.

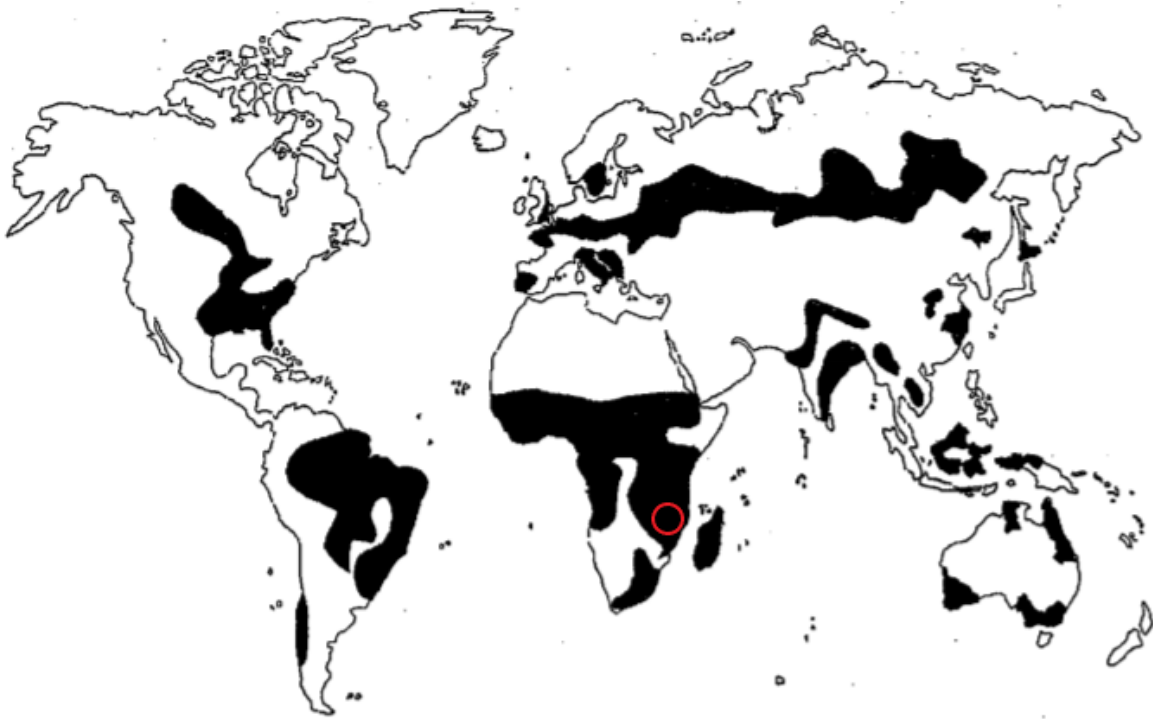


Ilustración 29: Principales zonas de suelos rojos del mundo. Fuente: [18] Los tres estudios previos acerca de la geología de la zona son acertados ya que coinciden entre ellos, y por tanto se ha podido determinar la geología del terreno. En función de las características que presenten los materiales se va a poder determinar las facilidades que ofrece este terreno para llevar a cabo el proyecto en este lugar.

En primer lugar, enfocándonos en la construcción del dique, se necesitan materiales resistentes sobre los cuáles poder construir y que soporten la estructura construida.

Por otro lado, para evitar filtraciones en el vaso se necesitan materiales impermeables, de este modo se tratará de buscar propiedades arcillosas o rocas en los materiales que componen el terreno para lograr esta impermeabilidad.

En función de los materiales que conforman el terreno, se puede obtener una aproximación de las profundidades de dichos materiales. A continuación, se muestra una tabla indicando la profundidad de los materiales que conforman el terreno, siguiendo la guía de descripción de suelos [19].

Profundidad	Características
0-16 cm	Encontramos arenas de color marrón grisáceo y marrón rojizo combinando granos finos, medios y gruesos a lo largo del perfil.
16-35 cm	Encontramos francos arenosos a la capa más superficial de grano fino a medio franco arenoso.
35-60 cm	Encontramos una presencia de arcilla en el terreno, haciendo esta capa más consistente y favoreciendo la impermeabilidad, siendo francos arcillosos arenosos de color marrón rojizo
60- cm	La capa más profunda se compone de rocas gneis silíceos y rocas graníticas. No podemos determinar hasta dónde llega dicha capa

Tabla 7: Profundidades de las capas del terreno. Fuente: [19]

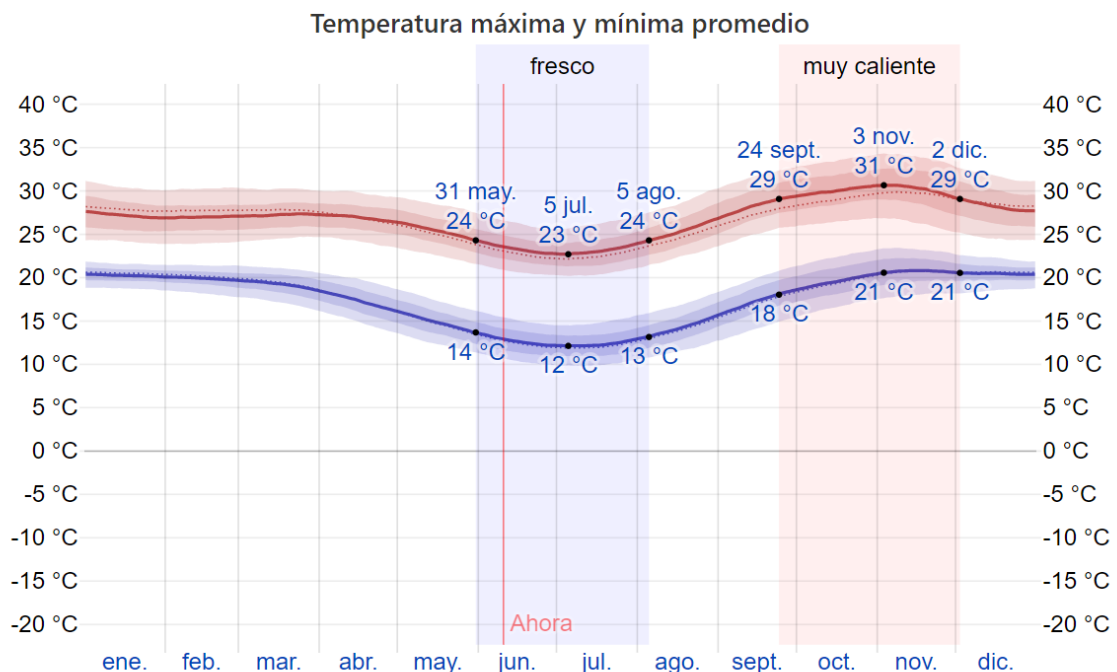
Como se ha mencionado anteriormente, para evitar añadir construcciones que supongan mayor gasto para impermeabilizar el vaso, se debe analizar si hay capas impermeables.

En primer lugar, se debe evaluar el contenido de arcilla de la tercera capa, ya que la arcilla es un material impermeable. En la siguiente ilustración se observa que el contenido de arcilla de la tercera capa alcanzará un contenido de arcilla máximo de 36%. Este contenido de arcilla no es suficiente para evitar filtraciones del agua.

Por último se debe analizar la capa mas interna donde encontramos gneis y rocas graníticas. Para ello, previo a la construcción se tratará de hacer una cata de terreno para corroborar la

la evaporación. Estos datos que van a ser analizados son de Mont Darwin que es el lugar más cercano a la localidad en cuestión donde se han realizado estudios meteorológicos concluyentes.

En lo referente a la temperatura, se puede observar en la ilustración 31 como las temperaturas no experimentan una gran variación entre los meses del año y tampoco entre las mínimas y máximas diarias. Los meses más frescos son entre abril y septiembre, donde se experimentan temperaturas de entre 23°C/24°C y 12°C/14°C siendo junio y julio los meses más frescos del año. Por el contrario, los meses más calurosos son de octubre a marzo, contando con temperaturas entre 31°C/29°C y 21°C, registrándose las temperaturas más altas en el mes de noviembre.



La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes.

Ilustración 31: Temperaturas anuales en Mont Darwin. Fuente: [22]

En cuanto a las precipitaciones, en la ilustración 32 se observa, que de mayo a mediados de octubre tiene lugar una época completamente seca, la cuál va a suponer unos meses en los que no se va a producir captación de agua mediante precipitaciones, que va a suponer dificultades para mantener el agua necesaria para lograr los objetivos marcados. De octubre a abril se van a producir precipitaciones que ayudaran a aumentar la captación de agua, alcanzando las máximas precipitaciones en enero con una acumulación total promedio de 188 mm de media. A su vez, las precipitaciones logran un aumento en los caudales de los ríos que desembocan en la presa.

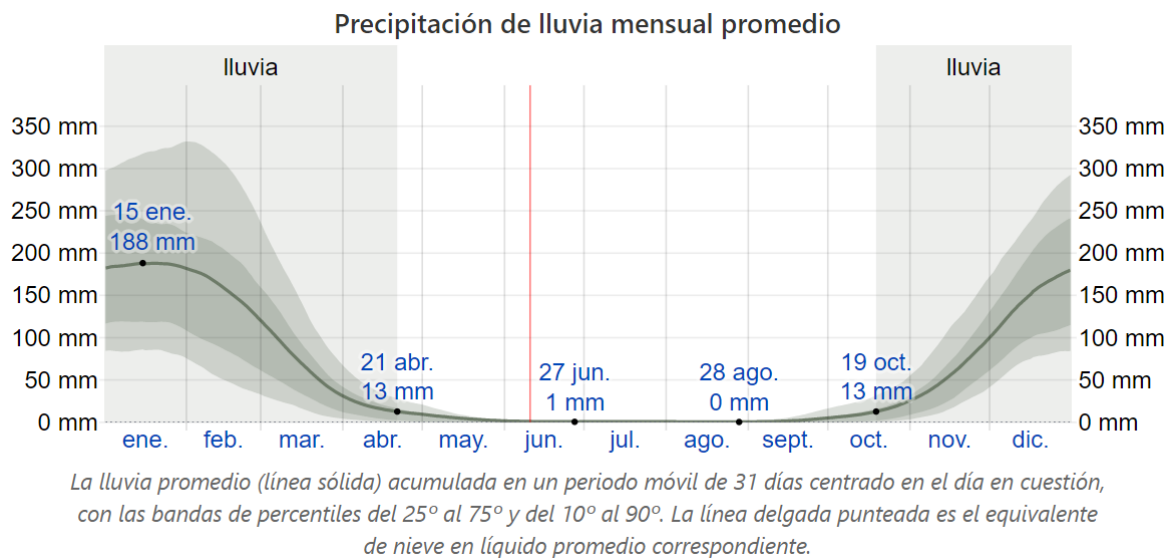


Ilustración 32: Temperaturas anuales en Mount Darwin. Fuente: [22]

La siguiente ilustración muestra una estimación del promedio de días de lluvia por cada mes en la ciudad de Harare, ciudad muy próxima Mount Darwin. Esta información es de utilidad para evaluar la cantidad de mm de agua que pueden aportar las precipitaciones diariamente y así estudiar las avenidas que estas precipitaciones pueden ocasionar.

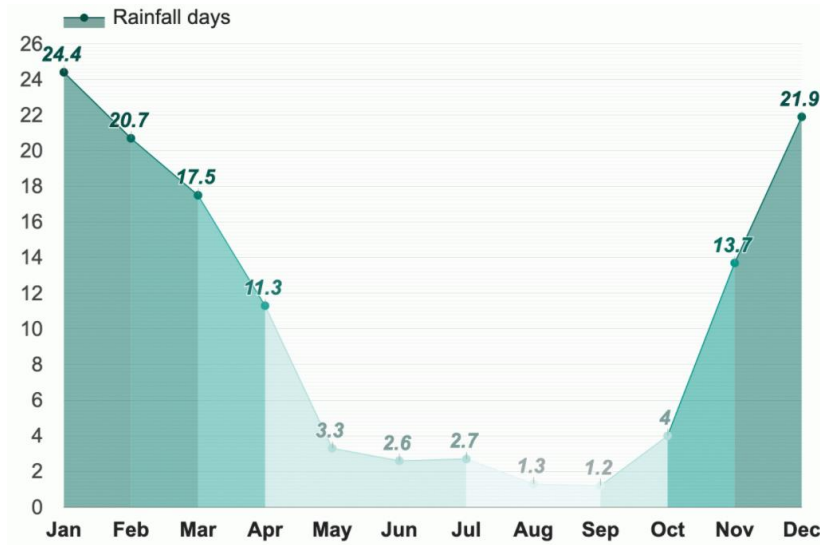


Ilustración 33: Estimación de días de lluvia mensuales. Fuente: [23]

En cuanto al viento, en la ilustración 34, se puede observar una estimación de la velocidad promedio del viento. La época del año con más viento tiene lugar entre los meses de agosto y noviembre, alcanzando las máximas velocidades en el mes de octubre.

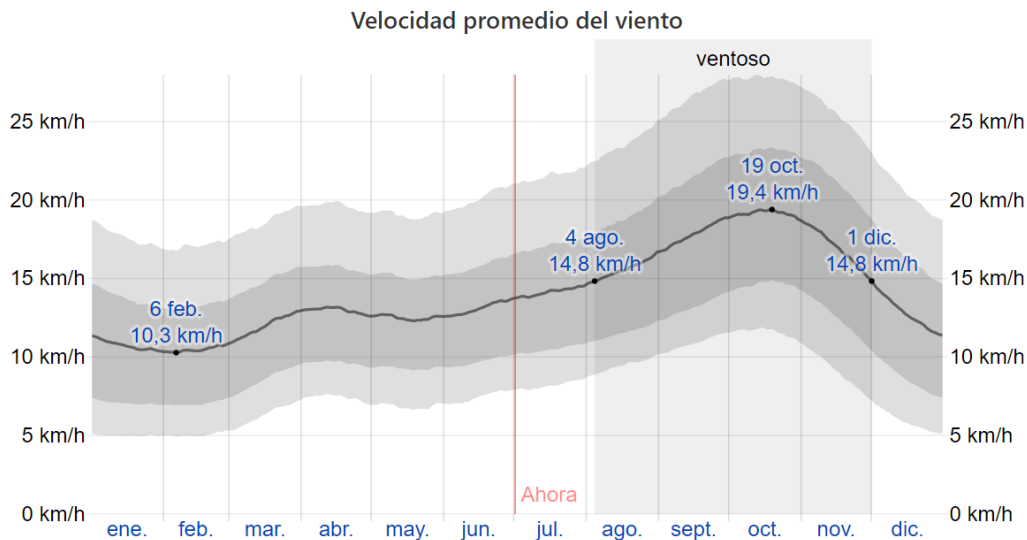


Ilustración 34: Velocidad del viento promedio en Mount Darwin. Fuente: [22]

En cuanto a las radiaciones, se ha procedido a utilizar el programa Meteonorm para el cálculo de las previsiones de radiaciones que se van a producir en el lugar donde se va a construir la presa en función del estudio de años anteriores. La mayor radiación tendrá lugar en los meses de marzo y abril llegando a 194 kWh/m^2 . La radiación neta anual será de 2096 kWh/m^2 .

	Gh (kWh/m^2)	Dh (kWh/m^2)	Bn (kWh/m^2)	Ta (°C)	Td (°C)	FF (m/s)
Enero	157	80	114	22,3	18,4	2,3
Febrero	162	72	134	21,9	18,4	2,4
Marzo	194	63	189	21,6	17,5	2,1
Abril	194	37	230	20,6	16	2
Mayo	182	29	254	18,4	12,3	1,8
Junio	160	25	238	15,9	9,2	2,2
Julio	171	26	251	15,8	8,3	2,5
Agosto	185	39	227	17,6	8,8	2,6
Septiembre	186	57	189	21,2	11,2	3
Octubre	184	74	154	23,2	14	3,4
Noviembre	167	78	124	23,5	16,3	3,2
Diciembre	153	83	101	22,3	18,2	2,7
Año	2096	664	2203	20,4	14	2,5

Tabla 8: Radiaciones. Fuente: [23]

Por último, para el estudio de la humedad de la localidad se ha optado por utilizar los datos obtenidos en Harare, una localidad próxima a Mount Darwin, debido a la falta de estudios de humedad relativa en la zona exacta de la construcción. Estos datos van a permitir aproximar los resultados que se pudieran obtener de la zona en cuestión. El gráfico de la **ilustración 20** muestra como la humedad relativa de la zona supera el 50%, llegando a valores alrededor de 78% en los meses de enero y febrero y disminuye por debajo de 50% en los meses de agosto, septiembre y octubre.

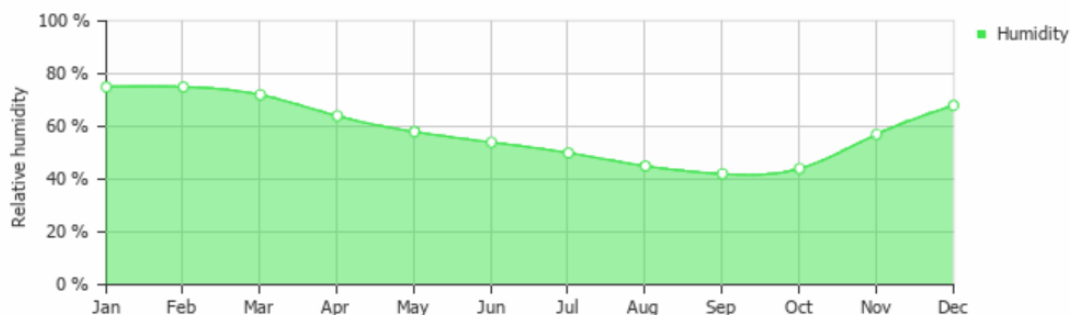


Ilustración 35: Humedad relativa mensual. Fuente: [25]

Estas condiciones climatológicas van a determinar la evaporación de agua retenida en la presa, lo cuál va a suponer una disminución del volumen de agua con el que debemos contar. Por tanto, es necesario calcular la pérdida de volumen de agua que va a suponer este fenómeno en cada época del año.

Para calcular una aproximación del volumen de agua que se perderá por la evaporación se va a emplear la ecuación de Priestley-Taylor;

$$E = \beta \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G)$$

Los datos necesarios para calcular evaporación son el albedo, heliofanía efectiva mensual, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento. Debido a las limitaciones de información acerca en cuanto a la climatología de Zimbabue, se debe utilizar la siguiente simplificación de la ecuación de Priestley-Taylor;

$$E = 0,31 \frac{T}{T+15} (S_n + 2,09) \left(1 + \frac{50-H_r}{70}\right), \text{ para } H_r < 50\%$$

$$E = 0,31 \frac{T}{T+15} (S_n + 2,09), \text{ para } H_r > 50\%$$

Siendo:

E : profundidad equivalente de agua evaporada por unidad de tiempo (mm/día)

T : Temperatura promedio (°C)

S_n : Radiación solar neta (mm/día)

H_r : Humedad relativa (%)

Para calcular la radiación solar neta, con los datos previamente obtenidos es necesario adaptar las unidades y dividir la radiación obtenida entre ρ : densidad del agua y L : calor latente de evaporación, es decir, $S_n = \frac{G_h}{\rho L}$. Consideramos un calor latente de evaporación de $L = 2260 \text{ J/kg}$ y una densidad del agua de $\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$.

En la siguiente tabla, se indican los parámetros necesarios para realizar el cálculo de la evaporación del agua a lo largo del año.

Meses	Temperatura media (°C)	Radiación neta mensual (KWh/m ²)	Radiación neta diaria (KWh/m ²)	Radiación neta diaria Sn (mm/día)	Hr (%)	Evaporación diaria (mm/día)
Enero	22,3	157	5,23	8,3	78	1,9
Febrero	21,9	162	5,4	8,6	78	2
Marzo	21,6	194	6,5	10,3	72	2,3
Abril	20,6	194	6,5	10,3	62	2,2
Mayo	18,4	182	6,1	9,7	59	2
Junio	15,9	160	5,3	8,5	57	1,7
Julio	15,8	171	5,7	9,1	50	1,8
Agosto	17,6	185	6,2	9,8	43	3,4
Septiembre	21,2	186	6,2	9,9	41	3,7
Octubre	23,2	184	6,1	9,8	43	3,8
Noviembre	23,5	167	5,6	8,9	59	2,1
Diciembre	22,3	153	5,1	8,1	69	1,9

Tabla 9: Valores necesarios para el cálculo de evaporación



Ilustración 36: Gráfica de evaporación diaria

A continuación, se muestra el volumen de agua evaporado mensualmente. Para ello, se asume un llenado máximo y por tanto, la superficie total del embalse con una cota de 1080 m, cuyo valor es 6370 m².

Mes del año	Volumen evaporado (m³)
Enero	375,193
Febrero	356,72
Marzo	454,181
Abril	420,42
Mayo	394,94
Junio	324,87
Julio	355,446
Agosto	671,398
Septiembre	707,07
Octubre	750,386
Noviembre	401,31
Diciembre	375,193
Anual	375,193

Tabla 10: Volumen de agua perdido por evaporación. Fuente propia.

4.4 GEOTECNIA

Para adaptar el estudio geológico analizado con anterioridad a la construcción de la presa es necesario realizar un estudio geotécnico del lugar para analizar la resistencia de la capa rocosa. Para ello se van a calcular la resistencia a compresión, el ángulo de fricción y el coeficiente de cohesión del macizo rocoso, material sobre el cual recae todo el peso de la estructura.

Para evaluar la resistencia de la capa rocosa se debe analizar el esfuerzo cortante que es una fuerza interna que se va a desarrollar en dicha capa, en respuesta a una fuerza cortante que produce la estructura de manera tangencial a la superficie. La resistencia a este esfuerzo cortante es la tensión que se desarrolla en el plano de corte, en el momento del fallo. Por otro lado, también es imprescindible analizar la cohesión del material sobre el que se va a construir, que es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo que determinará la resistencia al cortante. Por último, es necesario examinar el coeficiente de rozamiento del material en cuestión que dependerá de varios factores, entre ellos; el tamaño y la forma de los granos y la distribución de los tamaños de granos.

La teoría de Coulomb indica que un material falla cuando el esfuerzo cortante que actúa alcanza su valor límite máximo. A su vez, la teoría de Mohr establece que se puede producir fallo por deslizamiento y esto se produce a lo largo de una superficie particular. Por tanto, combinando ambas teorías se obtiene el criterio de Mohr-Coulomb para roturas, que define la resistencia del suelo como la suma entre la cohesión del suelo y el rozamiento interno. Con la siguiente ecuación obtenemos la tensión de rotura: $\tau = c + \sigma * \tan(\varphi)$.

Siendo:

τ : resistencia máxima a esfuerzos cortantes

c : cohesión del material rocoso

σ : tensión normal al plano de rotura

φ : ángulo de rozamiento

Como no se dispone de los datos necesarios para lograr calcular la resistencia utilizando el método expuesto, las rocas de granito y gneis será la capa sobre la que se construirá la estructura y por tanto hay que considerar las propiedades mecánicas de dichos materiales. La tabla a continuación mostrará dichas propiedades.

Rocas	Densidad (kg/m^3)	Módulo de Young (GPa)	Coefficiente de Poisson	Porosidad (%)	Resistencia a compresión (MPa)	Resistencia a tracción (MPa)	Resistencia a flexión (MPa)
Granito	2500-2750	30-70	0,12-0,25	0,1-2	120-180	4-7	10-20
Gneis	2600-2780	25-60	0,09-0,2	1-5	80-250	4-7	8-20

Tabla 11: Propiedades mecánicas de granito y gneis. Fuente: [20]

Hay que suponer que estamos trabajando con un macizo rocoso, es decir, roca sin discontinuidades, debemos fijarnos en la resistencia a compresión, que es la propiedad que interesa en este caso ya que al producirse esfuerzos cortantes normales a la superficie el macizo rocoso sufrirá esa tensión de compresión. Como se puede observar, ambos tipos de material tienen resistencias a compresión considerablemente alta, por lo que son buenos materiales sobre los cuales construir la estructura. Se debe escoger 80 MPa, que es el valor límite de resistencia a compresión; el mínimo posible que puede experimentar el gneis.

La tabla que se muestra a continuación muestra valores promedios de propiedades mecánicas adicionales de gneis, que se han determinado a partir de someter a este material a múltiples ensayos de resistencia al corte.

Tipo de roca	Humedad (%)	Peso volumétrico (kN/m³)	Cohesión (kN/m²)	Ángulo de fricción interna (°)
Gneis	18,3	26,0	197,0	33,94

Tabla 12: Valores promedios de propiedades de Gneis. Fuente: [21]

4.5 HIDROLOGÍA

Es necesario realizar un estudio hidrológico, para así determinar la capacidad de almacenamiento de agua en función de varios factores como la aportación de los ríos que desembocan en la presa, la evaporación del agua y las precipitaciones.

Los ríos que aportan caudal a la presa son los que se muestran en la ilustración 23. Estos ríos son caracterizados por ser efímeros, es decir, solo van a tener caudal y en consecuencia aportar agua a la presa en determinadas épocas del año en las que el volumen de precipitaciones es elevado. Por tanto, para evaluar la aportación de estos ríos al embalse, se debe tener en cuenta la cantidad de agua que recogerá la cuenca del río próxima al embalse a partir de las precipitaciones.

Para realizar el cálculo del volumen de agua que la presa tendrá, es necesario calcular la superficie del embalse. Para ello, se va a emplear el archivo de Global Mapper, previamente empleado en el estudio topográfico, ilustración 24, que indica una superficie total de 6370 m². Para saber el volumen de agua que se espera almacenar en dicho embalse hay que tener en cuenta las precipitaciones que se van a producir y restar las pérdidas debido a la evaporación. En el caso del vaso, se deben despreciar las pérdidas por filtraciones ya que asumimos la presa completamente impermeable.

En lo referente a las precipitaciones, se debe observar los datos reflejados en el estudio del clima, que indica la previsión de las precipitaciones mensuales acumuladas. Dichos datos se reflejan en la siguiente tabla.

Mes del año	Precipitaciones (mm)
Enero	188
Febrero	142
Marzo	85
Abril	13
Mayo	2
Junio	1
Julio	1
Agosto	0
Septiembre	1
Octubre	13
Noviembre	62
Diciembre	168
Anual	676

Tabla 13: Precipitaciones mensuales. Fuente: [22]

Para obtener la aportación de volumen mensual de agua debido a precipitaciones, se debe emplear la siguiente ecuación; $Volumen = A * c * P_m$

Siendo:

- A : Superficie de la cuenca (m^2)
- c : Coeficiente de escorrentía
- P_m : Precipitaciones mensuales (m)

El coeficiente de escorrentía es un valor que indica el porcentaje de precipitaciones que serán flujo superficial, y por tanto que desembocan en la presa. Este coeficiente varía en función del terreno que conforma la cuenca.

En el primer caso, se ha de evaluar las precipitaciones sobre el vaso. El valor del coeficiente de escorrentía en este caso se asume como 1, ya que se debe asumir que el vaso es totalmente impermeable y por tanto no se producen filtraciones. En la siguiente tabla se indica el volumen por precipitaciones que se obtendrá en la parte del vaso.

Mes del año	Volumen aportado (m³)
Enero	1197,56
Febrero	904,54
Marzo	541,45
Abril	82,81
Mayo	12,74
Junio	6,37
Julio	6,37
Agosto	0
Septiembre	6,37
Octubre	82,81
Noviembre	394,94
Diciembre	1070,16

Tabla 14: Volumen aportado en el vaso por precipitaciones. Fuente propia.

En segundo lugar, se debe calcular el volumen de agua que van a aportar las precipitaciones a los ríos que se formarán en la cuenca en determinadas épocas del año. Para ello es necesario calcular la superficie de la cuenca que desemboca en la presa. Para ello se va a utilizar de nuevo el programa Global Mapper. Como se muestra en la siguiente ilustración, la superficie rayada representa la cuenca que hace que desemboque el agua principalmente mediante dos

ríos, uno a cada lado en la presa. La superficie de la cuenca es de $0,639 \text{ km}^2$, valor al que habrá que restar los 6370 m^2 que se han calculado previamente como superficie del vaso. Obteniendo una superficie de 632630 m^2 .

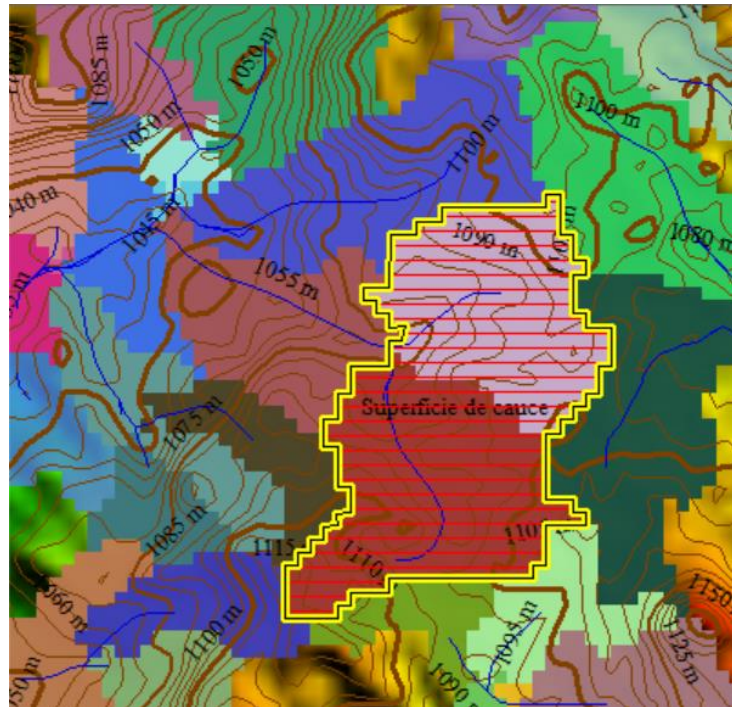


Ilustración 37: Superficie de la cuenca Global Mapper. Fuente: Propia

En este caso, habrá que evaluar el coeficiente de escorrentía, para determinar correctamente el volumen que aportarán las precipitaciones al embalse. Para ello, según la clasificación de este coeficiente de Velasco-Molina [26] se deben determinar tres características del terreno que conforma la cuenca.

En primer lugar, la pendiente del terreno influye significativamente en el coeficiente de escorrentía, ya que cuanto mayor es la inclinación, mayor facilidad tiene el agua para fluir. En este caso, se deben observar las líneas topográficas que se muestran en el estudio topográfico, donde se puede apreciar que las zonas más elevadas de la cuenca experimentan una altitud máxima de 1110 m con respecto al nivel del mar y la altitud del terreno donde se va a construir la presa se encuentra a 1075 m, suponiendo una pendiente máxima de 3,2%.

En segundo lugar, se debe analizar la vegetación de la cuenca, que como se ha indicado en el estudio topográfico se trata de pastizal, a pesar de haber zonas de cultivo en las proximidades, en lo que respecta a la cuenca se trata de un terreno de pasto.

Por último, se debe evaluar la textura del suelo, que como se puede apreciar en el estudio del terreno analizado anteriormente, cuenta con una primera capa de arena rojiza, pero con capas interiores arcillo-arenosas.

Por tanto, en base a estas tres características del terreno, siguiendo el criterio de Velasco-Molina que se muestra en la siguiente tabla, se puede determinar que el coeficiente de escorrentía correspondiente a la cuenca en cuestión es de 0,3.

VEGETACIÓN	PENDIENTE (%)	TEXTURA DEL SUELO		
		Arenosa	Arcillosa y limosa	Arcilla
Bosques	0-5	0,10	0,30	0,40
	5-10	0,25	0,35	0,50
	10-30	0,30	0,50	0,60
Pastizales	0-5	0,10	0,30	0,40
	5-10	0,16	0,36	0,55
	10-30	0,22	0,42	0,60
Terrenos de cultivo	0-5	0,30	0,50	0,60
	5-10	0,40	0,60	0,70
	10-30	0,52	0,72	0,82

Tabla 15: Coeficiente de escorrentía. Fuente: [26]

De este modo, las siguientes tablas van a mostrar la aportación de agua por medio de las precipitaciones al cauce de los ríos que van a desembocar en la presa y la aportación de agua por precipitaciones total.

Mes del año	Volumen aportado (m³)
Enero	35680,33
Febrero	26950,04
Marzo	16132,07
Abril	2467,26
Mayo	379,58
Junio	189,79
Julio	189,79
Agosto	0
Septiembre	189,79
Octubre	2467,26
Noviembre	11766,92
Diciembre	31884,55

Tabla 16: Volumen aportado por precipitaciones en la cuenca. Fuente propia.

Mes del año	Volumen aportado al vaso (m³)	Volumen aportado a la cuenca (m³)	Volumen aportado total (m³)
Enero	1197,56	35680,33	36877,89
Febrero	904,54	26950,04	27854,58
Marzo	541,45	16132,07	16673,52
Abril	82,81	2467,26	2550,07
Mayo	12,74	379,58	392,32
Junio	6,37	189,79	196,16
Julio	6,37	189,79	196,16
Agosto	0	0	0
Septiembre	6,37	189,79	196,16
Octubre	82,81	2467,26	2550,07
Noviembre	394,94	11766,92	12161,86
Diciembre	1070,16	31884,55	32954,71
Anual	4306,12	128297,36	132603,48

Tabla 17: Volumen de agua total aportado por precipitaciones. Fuente propia.

5. CÁLCULOS

5.1 VOLUMEN DE AGUA DEMANDADO

Como se ha indicado en el apartado de los objetivos del proyecto, el almacenamiento de agua que se va a conseguir llevando a cabo esta instalación, se va a aprovechar para crear un sistema de regadío para la zona de cultivo próxima a la presa y para el aprovechamiento eléctrico a partir de la construcción de una turbina. Por ello, es necesario calcular el volumen de agua que se va a necesitar para cumplir ambos objetivos y así poder dimensionar la presa para lograr ambos objetivos.

5.1.1 SISTEMA DE REGADÍO

En primer lugar, se debe estudiar la cantidad de agua requerida para regar los campos de cultivos.

La ilustración 40 muestra la superficie total que conforma los cultivos que se pretenden regar. Dicha superficie abarca dos tipos de cultivo. 50% de la superficie va a ser empleada para plantación de maíz, mientras que el 50% restante será destinado para el cultivo de frutales. Se ha estudiado la superficie del cultivo con la herramienta Global Mapper y consta de $25\,377,82\text{ m}^2$, suponiendo $12\,688,91\text{ m}^2$ para el cultivo de maíz y $12\,688,91\text{ m}^2$ para el cultivo de frutales.



Ilustración 38: Superficie de cultivo de total. Fuente propia

El maíz requiere un riego exigente. Cada planta de maíz requiere una cantidad de entre 500-750 mm de agua por temporada, que suelen ser periodos de 80-100 días al año, ocupando cada planta una superficie ligeramente superior a $1 m^2$. Contaremos con $1 m^2$ como el área de cada planta de maíz ya que se superponen unas con otras. De este modo habrá que establecer la mejor época del año para cultivar maíz, no solo basándonos en la época de más precipitaciones sino analizando otros factores como el sol y demás condiciones climatológicas. El maíz, es un alimento que requiere gran aportación solar, por tanto, en Zimbabue comúnmente se cultiva este elemento en los meses de octubre, noviembre y diciembre.



Ilustración 39: Plantación de maíz. Fuente propia.

El agua total requerida para regar la superficie total de cultivo de maíz está representada en la siguiente tabla.

Mes	Agua requerida (m^3)
Octubre	2644
Noviembre	2644
Diciembre	2644

Tabla 18: Agua requerida para el cultivo de maíz. Fuente propia.

En segundo lugar, para la superficie de terreno destinado al cultivo de frutales se van a proponer para cultivo, los siguientes frutales que debido al terreno y las condiciones climatológicas de la zona tienen gran facilidad para ser cultivados. La mitad del terreno destinado para frutales será destinada al cultivo de ciruelos y cerezos, que requieren 350 mm de agua anuales por cada árbol distribuido de manera aproximadamente equitativa en todos los meses del año. Cada árbol debido a su gran tamaño se cultivará en una superficie aproximada de 3 por cada m^2 . Se trata de un proyecto a largo plazo ya que se procederá a

plantar estos árboles por semillas y hasta 4 años después de la plantación, no producirán frutos. Se considera un proyecto muy beneficioso, ya que al cabo de 4 años los frutos que proporcionan estos árboles son muy abundantes y serán destinados tanto para el consumo como para la venta a localidades próximas y posibilidad de exportación. También, la escuela agrícola se favorecerá de la variedad de cultivos para proporcionar a los alumnos mayores capacidades. Estos frutales van a requerir poco volumen de agua, ya que las precipitaciones van a ser suficientes excepto en la época seca del año, de mayo a septiembre que se va a requerir agua a la presa.



Ilustración 40: Plantación de cerezos. Fuente propia.

La siguiente tabla recoge el agua total requerida para el cultivo de ciruelos y cerezos.

Mes	Agua requerida (m^3)
Enero	62
Febrero	62
Marzo	62
Abril	62
Mayo	62
Junio	62
Julio	62
Agosto	62
Septiembre	62
Octubre	62
Noviembre	62
Diciembre	62

Tabla 19: Agua requerida para el cultivo de ciruelos y cerezos. Fuente propia

Por último, para el aprovechamiento de los restantes $6\,344,46\ m^2$ que abarcará una cuarta parte del terreno, se va a proponer el cultivo de arándanos, que son unos frutales con facilidad de cultivo en Zimbabwe, debido a las condiciones climatológicas y son muy demandadas en

países colindantes, lo que supone una gran oportunidad de venta o exportación. De la misma manera que los cerezos, se trata de una inversión a largo plazo, ya que estas plantas tardan aproximadamente 3 años en comenzar a dar frutos. En los últimos años el cultivo de arándanos ha sido fomentado en el sector agrícola de Zimbabue, debido a esta demanda. Estas plantas requieren aproximadamente 1,5 mm de agua diaria en la época de marzo a agosto y en su época de crecimiento que trata de septiembre a febrero requieren el doble de agua 3 mm diarios. Cada planta ocupará aproximadamente 1 m² del terreno.



Ilustración 41: Plantación de arándanos. Fuente propia

La siguiente tabla recoge el agua total requerida para el cultivo de arándanos.

Mes	Agua requerida (m^3)
Enero	571
Febrero	571
Marzo	286
Abril	286
Mayo	286
Junio	286
Julio	286
Agosto	286
Septiembre	571
Octubre	571
Noviembre	571
Diciembre	571

Tabla 20:

A continuación, teniendo en cuenta las precipitaciones medias mensuales reflejadas en la tabla 5, se va a calcular la aportación de las precipitaciones para el regadío, que se restará a

la cantidad de agua necesitada, para así obtener el volumen de agua que requiere el cultivo de la presa.

Mes	Agua para maíz (m ³)	Agua para cerezos/ciruelos (m ³)	Agua para arándanos (m ³)	Agua total (m ³)	Agua de precipitaciones (m ³)	Agua requerida a la presa (m ³)
Enero	-	62	571	633	4771	-
Febrero	-	62	571	633	3604	-
Marzo	-	62	286	348	2157	-
Abril	-	62	286	348	330	18
Mayo	-	62	286	348	51	297
Junio	-	62	286	348	25	323
Julio	-	62	286	348	25	323
Agosto	-	62	286	348	0	348
Septiembre	-	62	571	633	25	608
Octubre	2644	62	571	3277	330	2947
Noviembre	2644	62	571	3277	1573	1704
Diciembre	2644	62	571	3277	4263	-

Tabla 21: Volumen de agua requerido por la presa para abastecer el cultivo. Fuente propia

Se puede observar que, hay ciertos meses sobre todo en los meses de cultivo de maíz, y en la época seca que se requiere una gran aportación de agua del almacenado en la presa para mantener el cultivo. Por el contrario, encontramos meses en los que el agua de las precipitaciones se estima que sea suficiente para el cultivo y esto supondrá un mayor llenado de la presa para poder afrontar los meses con mayor demanda de agua.

5.1.2 SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Para analizar el volumen de agua que la presa debe aportar para la generación eléctrica de la escuela se debe evaluar la demanda eléctrica de la escuela y en función de ello el caudal que requiere la instalación hidroeléctrica que a su vez dependerá del salto dimensionado dimensionar para dicha instalación.

La escuela, consta de dos edificios de una superficie de 200 m^2 cada uno, con iluminación LED y dos ordenadores en cada edificio para impartir las clases. Se considera, una iluminación constante durante ocho horas diarias, durante todos los días de la semana. Además, se evaluará el consumo de los ordenadores para un uso diario constante de los mismos.

Para iluminar los edificios se emplearán lámparas LED de 10 W de potencia. Se disponen veinte lámparas LED para iluminar los 200 m^2 de cada edificio. En cuanto a los ordenadores, se van a emplear ordenadores básicos de 125 W de potencia. Las tablas que se muestran a continuación determinan la potencia total que se necesita.

	Unidades	Potencia unitaria (W)	Potencia total (kW)
Bombilla LED	40	10	0,4
Ordenador	4	125	0,5

Tabla 22: Potencia de los aparatos electrónicos de la escuela. Fuente propia.

Potencia total requerida	0,9 kW
---------------------------------	---------------

Tabla 23: Potencia total requerida. Fuente propia.

Se ha obtenido una potencia total requerida de 0,9 kW por lo que se va a realizar una instalación de 1 kW.

Para determinar el caudal que se va a requerir para lograr generar 1 kW de potencia se va a utilizar la siguiente expresión

$$P_a = \rho Q g H \eta$$

Siendo:

- P_a : Potencia de la instalación, en este caso 1 kW
- ρ : Densidad del agua, 1000 kg/m^3
- Q : Caudal (m^3/s)
- g : Gravedad, $9,81 \text{ m/s}^2$
- H : Altura del salto (m), siendo $H = 0,9H_b$, ya que se asumen 10% de pérdidas
- H_b : Altura del salto bruto (m)
- η : Rendimiento de la instalación, tomando como referencia un valor desfavorable de entre los determinados por los fabricantes se asumirá una eficiencia de 0,87

El siguiente gráfico muestra la relación entre el caudal y la altura del salto, para los valores dados e introduciendo alturas de 1-20 m ya que como se aprecia en el estudio topográfico habría que instalar la turbina en un sitio muy lejano para llegar a cotas de terreno inferiores a 1060 m.

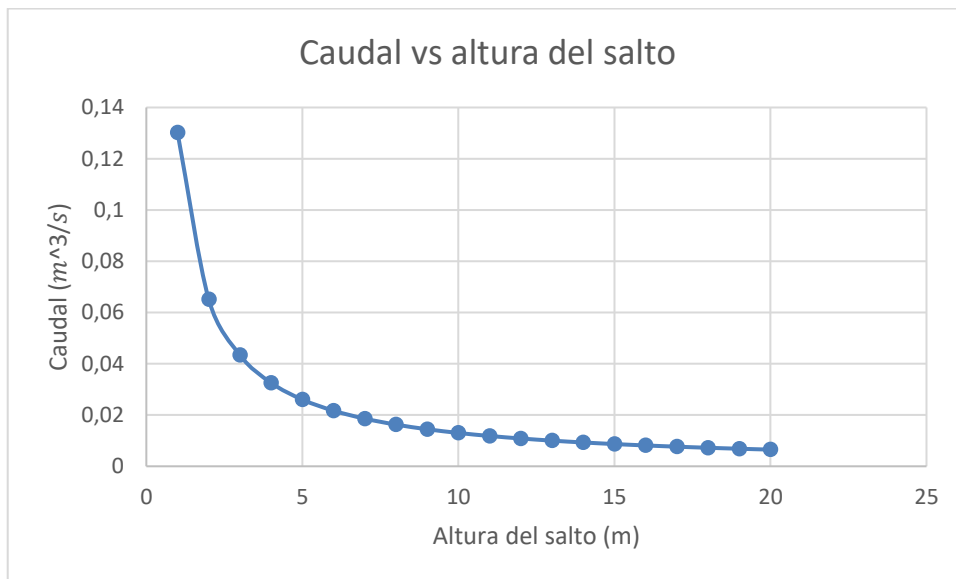


Ilustración 42: Gráfico que relaciona el caudal con la altura del salto. Fuente propia.

Debido al volumen demandado por el sistema de riego para cultivo se opta por dimensionar la altura del salto para obtener el menor caudal posible de la presa. Por tanto, el valor seleccionado es 20 m. Esto supondría un caudal de $0,0065 \text{ m}^2/\text{s}$ durante ocho horas diarias para generar la demanda eléctrica de la escuela.

La siguiente tabla muestra el volumen de agua total que demanda la central hidroeléctrica.

Mes	Agua requerida (m^3)
Enero	5803
Febrero	5242
Marzo	5803
Abril	5616
Mayo	5803
Junio	5616
Julio	5803
Agosto	5616
Septiembre	5803
Octubre	5616
Noviembre	5803
Diciembre	5616

Tabla 24: Agua requerida por la generación eléctrica. Fuente propia.

Mes	Agua requerida regadío m^3	Agua requerida central hidroeléctrica m^3	Agua requerida total m^3
Enero	-	5803	5803
Febrero	-	5242	5242
Marzo	-	5803	5803
Abril	18	5616	5634
Mayo	297	5803	6100
Junio	323	5616	5939
Julio	323	5803	6126
Agosto	348	5616	5964
Septiembre	608	5803	6411
Octubre	2947	5616	8563
Noviembre	1704	5803	7507
Diciembre	-	5616	5616

Tabla 25: Agua requerida por la presa. Fuente propia

5.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA PRESA

Para dimensionar, tanto el embalse como la estructura, en este caso se debe tener en cuenta la altitud a la que se produce un aplanamiento de las paredes, para de este modo obtener la máxima capacidad posible para almacenar la mayor cantidad de agua, teniendo en cuenta la cantidad de agua que se requiere como se ha estudiado en el apartado anterior.

Por ello, analizando la siguiente gráfica que muestra las cotas en el perfil transversal donde se va a construir la presa, observamos la altitud que tiene el cauce y la altitud que los estribos laterales deben de tener.

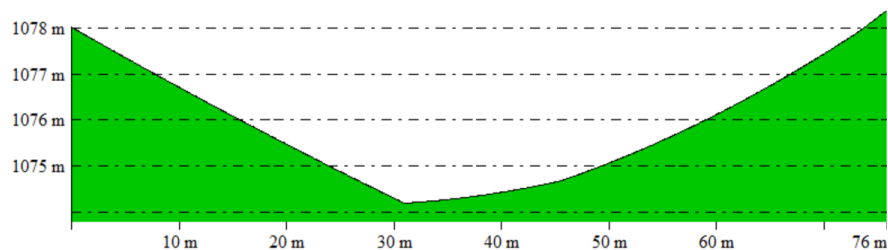


Ilustración 43: Gráfica de perfil transversal de la estructura. Fuente: Global Mapper

La máxima altitud posible que se puede considerar es situar los estribos laterales a 1078 m de altitud, para lograr la máxima capacidad de volumen de agua en el embalse. Se desechan las opciones de construir la presa a mayor altitud, ya que a partir de este punto se obtiene una ganancia de volumen insignificante por cada incremento de altitud y se debe tener en cuenta que para evitar filtraciones se debe hacer una zanja en el terreno lo cual requiere mayor coste a mayor altitud.

Elementos	Cota (m)
Estribo derecho (de aguas abajo a aguas arriba)	1078
Estribo izquierdo (de aguas abajo a aguas arriba)	1078
Cauce	1074,2

Tabla 26:Altitud. Fuente propia.

5.2.1 ESTRUCTURA

Para localizar los estribos a una altitud de 1078 m, la longitud de la base de la presa ha de ser de 71,3 m.

Teniendo en cuenta que la altitud mínima del perfil donde se va a construir la estructura es de 1074,2, desde esta altitud hasta la cota de los estribos laterales habrá 3,8 m. A esto se debe sumar la zanja que se va a realizar en el terreno para llegar a la roca madre y así evitar filtraciones que se producirían en las capas más superficiales del terreno debido a la permeabilidad de los materiales que encontramos en estas capas. Esta excavación, como se ha reflejado previamente en el estudio topográfico debe ser de 60 cm, para así realizar la construcción sobre roca impermeable. Por tanto, el nivel máximo normal NMN será de 4,4 m, mismo valor que la altura de la estructura de la presa.

Siguiendo las recomendaciones de la guía de seguridad de presas [27], para presas de materiales sueltos con núcleo, se debe diseñar el ancho de la sección 6 veces mayor que la altura de la propia sección, para así lograr una gran estabilidad en la estructura. Por tanto, la sección tendrá una forma trapezoidal de base mayor 26,4 m. La coronación debe ser al menos

una séptima parte de la base mayor, es decir, de 1,87 m, por tanto, aproximaremos a 2 m. La estructura cuenta con una esbeltez $\beta = 3$, mayor que 1 que es el mínimo permitido para la construcción de presas de estas características. La siguiente ilustración representa el dimensionamiento de la sección de la estructura.

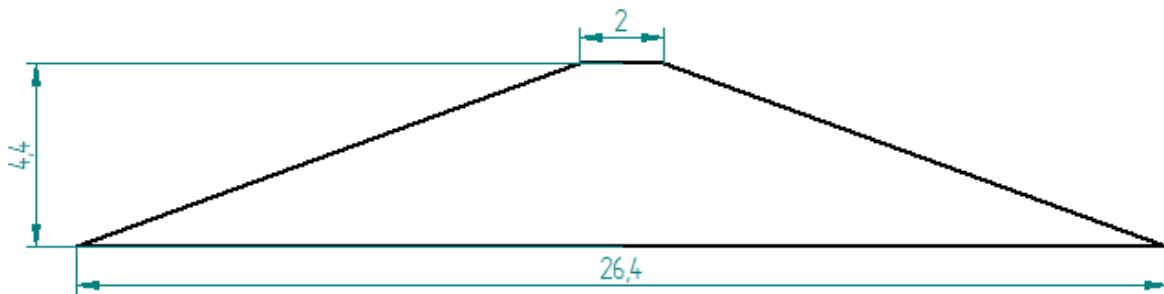


Ilustración 44: Sección de la estructura ISO (m). Fuente propia.

En cuanto a la distribución de materiales en la presa, contaremos con un núcleo de arcilla con estructura trapezoidal con una base mayor de 3,55 m, una base menor de 2 m y una altura de 3,4 m la cual será suficiente para evitar filtraciones debido a su impermeabilidad. Los espaldones aportan estabilidad a la presa y siguiendo el dimensionamiento determinado anteriormente, recubrirá el núcleo de arcilla formando una estructura trapezoidal de 26,4 m de base mayor, 2 m de coronación y 4,4 m de altura. Este dimensionamiento influye directamente en el estudio de resistencias ante vuelco y deslizamiento, por tanto, en dicha sección se analizará si el dimensionamiento es correcto. La ilustración 47 muestra la distribución de los materiales en la sección de la estructura de la presa.

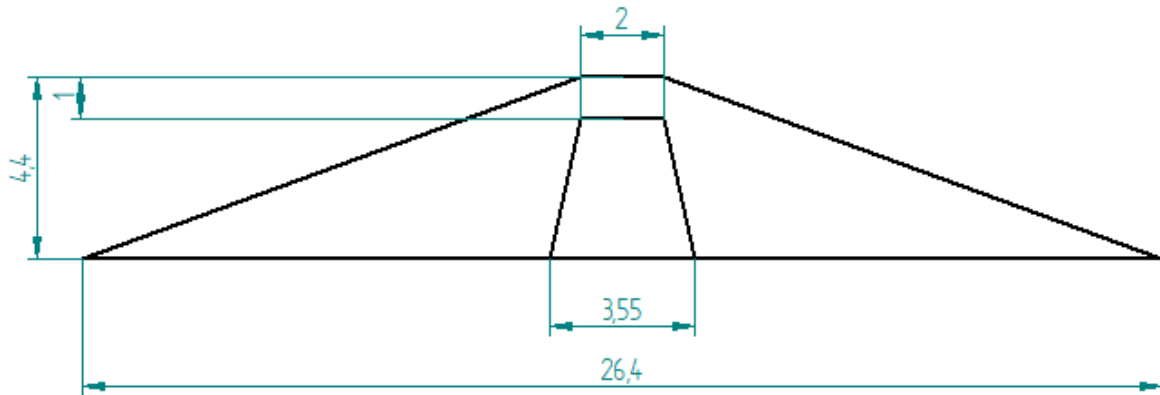


Ilustración 45: Distribución de materiales en la sección de la estructura. Fuente propia.

6.2.2 EMBALSE

La superficie del embalse ha quedado previamente determinada en el estudio del terreno a partir de un análisis elaborado con el programa Global Mapper, en el que se han usado los límites de cota de 1078 m que se han obtenido con el perfil transversal. Dicho valor de superficie es 6370 m^2 . En la siguiente ilustración se muestra la superficie que ocupará el embalse.

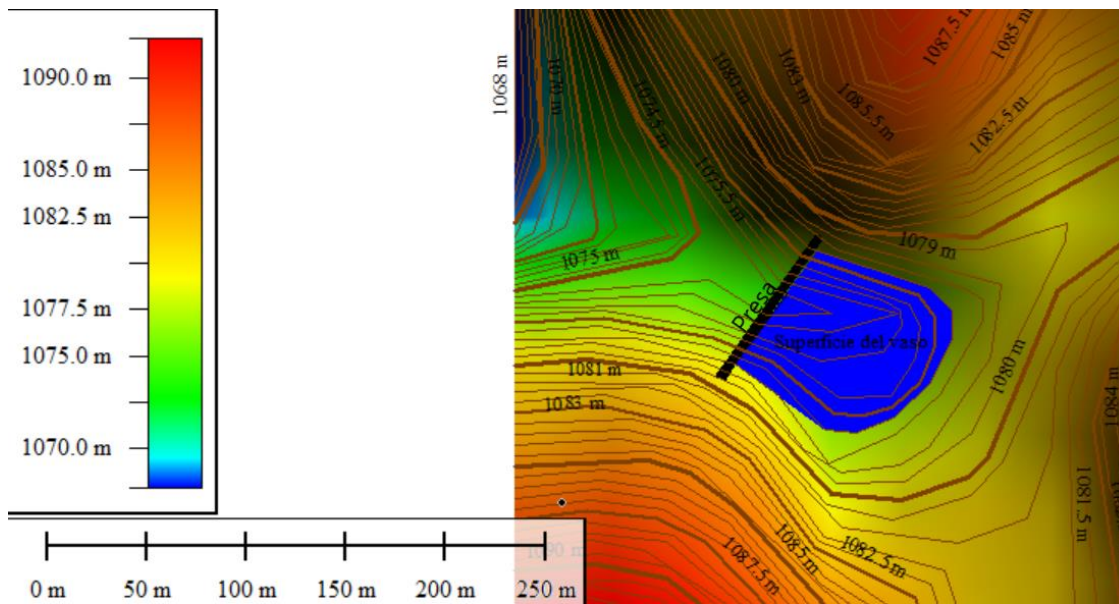


Ilustración 46: Presa y superficie del embalse Global Mapper. Fuente propia.

5.3 CÁLCULOS HÍDRICOS

En este apartado se va a realizar un estudio de la capacidad volumétrica del embalse y de las avenidas, basado en el estudio hidrológico que se ha producido anteriormente.

5.3.1 CAPACIDAD DE LA PRESA

Para determinar el volumen capaz que la presa es capaz de almacenar, se debe hacer un estudio del terreno, para evaluar los perfiles de altitud que experimenta el terreno en la superficie que ha quedado determinada con anterioridad de 6370 m^2 , con cota 1078 m en el perfil transversal de la estructura.

A través del programa Global Mapper, creando una cuadrícula de elevación en el terreno y un corte a cota 1078 m, se obtiene un volumen total de 1716 m^3 que será la capacidad máxima de almacenamiento de agua que tendrá la presa que se va a construir al N.M.N.

5.3.2 ESTUDIO DE ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA

A partir de los datos hidrológicos obtenidos en el estudio del terreno, del volumen demandado obtenido en el apartado 5.1 y de la capacidad se llevará a cabo un estudio del abastecimiento de la demanda. Para ello se deben distinguir dos situaciones.

- **El volumen de agua almacenado no excede la altura de la presa:** En los meses donde no ocurra un exceso de agua que conlleve la utilización del sistema de desagüe se deberá tener en cuenta el agua aportada por precipitaciones y las pérdidas por evaporación si satisfacen las demandas de la central hidroeléctrica y del sistema de regadío. Se asume que no se almacena volumen de meses anteriores, debido a la alta demanda de agua.
- **El volumen de agua almacenado excede la altura de la presa:** Cuando el volumen aportado exceda la capacidad máxima, se debe asumir que, debido a un sistema de aprovechamiento eficiente, el agua demandada por la central hidroeléctrica y el sistema de regadío será extraída del embalse de manera constante. De este modo, se estudia el abastecimiento teniendo en cuenta las precipitaciones y las extracciones distribuidas de manera uniforme a lo largo del mes. Por ello, se logra cubrir demandas superiores a la capacidad máxima de la presa.

En primer lugar, se analizará, la condición de excedente de volumen, para así poder distinguir los meses y poder realizar un cálculo más preciso de la evaporación.

Mes	Precipitaciones (m^3)	Capacidad máx (m^3)	Llenado máx. (m^3)
Enero	36 877,89	1716	Si
Febrero	27 854,58	1716	Si
Marzo	16 673,52	1716	Si

Abril	2 550,07	1716	Si
Mayo	392,32	1716	No
Junio	196,16	1716	No
Julio	196,16	1716	No
Agosto	0	1716	No
Septiembre	196,16	1716	No
Octubre	2 550,07	1716	Si
Noviembre	12 161,86	1716	Si
Diciembre	32 954,71	1716	Si

Tabla 27: Estudio de condición de llenado máximo. Fuente propia.

A continuación, se realiza un estudio del abastecimiento de la demanda, suponiendo para el cálculo de la evaporación una superficie del vaso total durante los meses de llenado máximo y una relación de evaporación en función del volumen para los meses donde no se produce la condición de llenado máximo.

Mes	Precipitaciones (m^3)	Evaporado (m^3)	Demanda (m^3)	Aprovechamiento (m^3)
Enero	36877,89	375,193	5803	5803
Febrero	27854,58	356,72	5242	5242
Marzo	16673,52	454,181	5803	5803

Abril	2550,07	420,42	5634	2130
Mayo	392,32	90,29	6100	302
Junio	196,16	37,14	5939	159
Julio	196,16	40,63	6126	156
Agosto	0	0,00	5964	0
Septiembre	196,16	80,83	6411	115
Octubre	2550,07	750,386	8563	1800
Noviembre	12161,86	401,31	7507	7507
Diciembre	32954,71	375,193	5616	5616

Tabla 28: Abastecimiento de la demanda de agua. Fuente propia

La capacidad máxima de la presa no va a ser suficiente para hacer frente a la totalidad de la demanda tanto del sistema de riego como la generación eléctrica, en la época seca. Además, para hacer frente a la demanda de los meses restantes sería necesario sistemas de aprovechamiento extremadamente eficientes con los cuales posiblemente sea difícil contar. Pese a esto, como se ha determinado anteriormente un aumento de la altura de la presa supondrá un aumento de coste significativo, teniendo en cuenta la escasa ganancia de capacidad. Además, a pesar de que se aumente ligeramente la capacidad, no se alcanzarán los valores demandados. Por tanto, se concluye que debido a las condiciones del terreno no se puede construir una presa con capacidad suficiente para lograr los objetivos marcados en estos meses. Se propondrá en el siguiente apartado una alternativa posible alternativa de la demanda.

5.3.3 ALTERNATIVA DE LA DEMANDA

Como se puede observar, las precipitaciones son muy abundantes a lo largo del año, excepto en la época seca. Para evaluar la demanda en los meses críticos, se debe administrar el volumen máximo de la presa que se alcanza en el mes de marzo, en los próximos meses hasta comienzos del mes de noviembre. A esto se le debe sumar las escasas aportaciones de agua en estos meses. La siguiente tabla muestra la demanda óptima que se puede abastecer distribuida equitativamente, teniendo en cuenta un llenado máximo en abril.

Mes	Precipitaciones (m^3)	Evaporado (m^3)	Disponible (m^3)	Aprovechamiento (m^3)
Abril	2550,07	420,42	3846	2130
Mayo	392,32	90,29	2018	490
Junio	196,16	37,14	1687	490
Julio	196,16	40,63	1352	490
Agosto	0	0,00	864	490
Septiembre	196,16	80,83	490	490
Octubre	2550,07	750,386	1800	1800

Tabla 29: Distribución óptima de aprovechamiento para los meses críticos. Fuente propia

La mayor demanda de agua en los meses críticos es debido a la central hidroeléctrica, excepto en el mes de octubre que hay altas exigencias de regadío. Por tanto, se va a estudiar una disminución de esta demanda.

Para reducir esta demanda a valores inferiores a 490, se muestra en la siguiente tabla la potencia generada, siguiendo la siguiente ecuación:

$$P_a = \rho Q g H \eta$$

Volumen mensual (m^3)	490
Caudal (m^3/s)	0,000567
Potencia (W)	97

Tabla 30: Potencia generada en función de volumen y caudal. Fuente propia.

El ordenador requiere una potencia de 125 W, por tanto, se decide prescindir de este aprovechamiento de agua de mayo a octubre.

En cuanto, al aprovechamiento de agua para regadío de cultivos, la capacidad de agua para aprovechar es suficiente para satisfacer el requerimiento de los cultivos. Para lograrlo se debe distribuir el agua aportada de manera diferente, debido a una mayor exigencia en el mes de septiembre. La siguiente tabla muestra esta distribución.

Mes	Precipitaciones (m ³)	Evaporado (m ³)	Disponible (m ³)	Aprovechamiento (m ³)
Abril	2550,07	420,42	3846	2130
Mayo	392,32	90,29	2018	460
Junio	196,16	37,14	1717	460
Julio	196,16	40,63	1412	460
Agosto	0	0,00	952	460
Septiembre	196,16	80,83	610	610
Octubre	2550,07	750,386	1800	1800

Tabla 31: Distribución de aprovechamiento de los meses críticos. Fuente propia.

A su vez, en los meses de abril y de octubre, tampoco se consigue satisfacer la demanda de ambos.

En concreto, el mes de octubre no se puede satisfacer las demandas por falta de lluvias y capacidad, por tanto, se propone no satisfacer electricidad y aportar toda la capacidad a regadío a pesar de no ser suficiente.

En cuanto al mes de abril se debe estudiar una reducción de la demanda de la central hidroeléctrica. Esta reducción también se aplicará al resto de meses, que, a pesar de lograr satisfacer la demanda previamente calculada, la exigencia de caudal sigue siendo excesiva y podría verse comprometida en caso de diferencias entre las precipitaciones reales y las estimadas.

Para lograr esta reducción de demanda se debe reducir la potencia total requerida a partir de la reducción de elementos electrónicos. Para ello, se considera reducir las horas de iluminación, ya que el edificio cuenta con ventanas que permiten la entrada de luz solar. Las

clases se imparten durante el día, por tanto, no se va a requerir tanta iluminación. Se supone un uso diario de tres horas de iluminación por cada bombilla, en caso de necesidad.

En cuanto a los ordenadores, a pesar de estar en funcionamiento durante ocho horas diarias, estarán enchufados a la red durante tres horas máximo para lograr ocho horas diarias de rendimiento.

Por tanto, la potencia de la instalación se mantendrá en 1kW, que supone un caudal de $0,0065 \text{ m}^2/\text{s}$ durante tres horas diarias para generar la demanda eléctrica de la escuela.

La siguiente tabla muestra el volumen de agua mensual demandado a la presa para lograr esta potencia.

Mes	Agua requerida (m^3)
Enero	2176
Febrero	1966
Marzo	2176
Abril	2106
Mayo	2176
Junio	2106
Julio	2176
Agosto	2106
Septiembre	2176
Octubre	2106
Noviembre	2176
Diciembre	2106

Tabla 32: Agua requerida por la generación eléctrica. Fuente propia

Se concluye con una alternativa de aprovechamiento evitando la generación eléctrica en los meses de mayo a octubre y con una reducción de volumen de agua destinado a generación eléctrica proponiendo la reducción de horas de funcionamiento de los aparatos electrónicos. A continuación, se muestran las tablas con las nuevas demandas y la tabla con el abastecimiento a dichas demandas.

Mes	Agua requerida regadío <i>m³</i>	Agua requerida central hidroeléctrica <i>m³</i>	Agua requerida total <i>m³</i>
Enero	-	2176	2176
Febrero	-	1966	1966
Marzo	-	2176	2176
Abril	18	2106	2124
Mayo	297	-	297
Junio	323	-	323
Julio	323	-	323
Agosto	348	-	348
Septiembre	608	-	608
Octubre	2947*	-	2947*
Noviembre	1704	2176	3880
Diciembre	-	2106	2106

Tabla 33: Demandas actualizadas de la nueva alternativa. Fuente propia.

Mes	Precipitaciones (m ³)	Evaporado (m ³)	Demanda (m ³)	Aprovechamiento (m ³)
Enero	36877,89	375,193	2176	2176
Febrero	27854,58	356,72	1966	1966
Marzo	16673,52	454,181	2176	2176
Abril	2550,07	420,42	2124	2124
Mayo	392,32	90,29	297	460
Junio	196,16	37,14	323	460
Julio	196,16	40,63	323	460
Agosto	0	0,00	348	460
Septiembre	196,16	80,83	608	610
Octubre	2550,07	750,386	2947*	1800
Noviembre	12161,86	401,31	3880	3880
Diciembre	32954,71	375,193	2106	2106

Tabla 34: Abastecimiento de las demandas de la alternativa: Fuente propia.

5.3.4 AVENIDAS

Se considera una avenida a la afluencia repentina y violenta del agua e inundación debidas a esa crecida del agua. Las avenidas, son un fenómeno necesario de analizar ya que cuando estas se producen, puede ocurrir un desbordamiento del agua en la presa, que teniendo en cuenta el tipo de presa que se va a construir puede ocasionar graves destrozos en la estructura. Para evitar estas situaciones, se debe evaluar la posibilidad de construir aliviaderos. Este aumento repentino del caudal se va a producir principalmente debido a precipitaciones máximas en las épocas del año donde las precipitaciones son más abundantes. Para realizar este estudio, se debe tener en cuenta el nivel máximo normal NMN, que se ha determinado anteriormente, con un valor de 4,4 m a 1078 m de altitud.

Se deben van a considerar otros dos supuestos, en función del nivel de llenado del embalse:

- Nivel Avenida de Proyecto (NAP): Máximo nivel que se alcanza cuando se produce la entrada de la avenida de proyecto al embalse. Siendo la avenida del proyecto la máxima avenida para el dimensionado del aliviadero al embalse. Se trata de la avenida máxima para tener en cuenta para el dimensionamiento de los órganos de desagüe.
- Nivel Avenida Extrema (NAE): Máximo nivel que se alcanza cuando se produce la avenida extrema, siendo esta la mayor avenida que puede soportar.

La siguiente tabla muestra los periodos de retorno que se deben de considerar para cada nivel de avenida, siguiendo las indicaciones de la guía técnica de seguridad de presas.

Nivel máximo normal	Avenida de proyecto	Avenida extrema
25	100	100-500

Tabla 35: Periodos de retorno de cada tipo de avenida. Fuente: [27]

5.3.4.1 Precipitaciones máximas

Para evaluar las precipitaciones máximas, se obtienen datos de precipitaciones máximas anuales en la ciudad de Harare, capital de Zimbabue y zona muy próxima a la localidad de Mount Darwin a partir de un estudio realizado. Para evaluar los distintos periodos de retorno el informe aplica la teoría estadística de valores extremos de Gumbel.

En la siguiente tabla se muestran las estimaciones de precipitaciones anuales máximas en función del periodo de retorno.

T=5	T=10	T=15	T=20	T=25	T=30	T=40	T=50
797,08	885,22	931,00	961,46	984,08	1001,95	1016,65	1049,37

Tabla 36: Precipitaciones anuales (mm) en función de periodos de retorno. Fuente: [28]

A partir de estos datos, se obtiene las precipitaciones para el nivel máximo nominal NMN, con un periodo de retorno de 25 años; 984,08 mm de precipitaciones anuales.

El informe trata valores de precipitaciones anuales probablemente debido a la escasez de datos climatológicos que hay de la zona. Para realizar un estudio con datos diarios de precipitaciones, que es lo que requiere el estudio de avenidas, se valora aproximar los datos en relación a las precipitaciones mensuales y el número de ocurrencia mensual de precipitaciones que se han estudiado en el capítulo 5. A continuación se muestra la tabla con las precipitaciones diarias para 25 años de periodo de retorno.

Mes del año	Días de precipitaciones	Precipitaciones mensuales (mm)	Precipitaciones diarias (mm)
Enero	24,4	273,68	13,22
Febrero	20,7	206,72	11,81
Marzo	17,5	123,74	10,95
Abril	11,3	18,92	5,73
Mayo	3,3	2,91	1,12
Junio	2,6	1,46	0,54
Julio	2,7	1,46	1,12
Agosto	1,3	0,00	0,00
Septiembre	1,2	1,46	0,36
Octubre	4	18,92	1,38
Noviembre	13,7	90,26	4,12
Diciembre	21,9	244,56	11,17

Tabla 37: Precipitaciones diarias para T=25. Fuente propia.

Analizando la tabla, se debe seleccionar el valor de 13,22 mm de precipitaciones diarias en el mes de enero ya que es el máximo valor.

Para analizar las precipitaciones máximas para $T=100$ y $T=100-500$ y poder calcular las avenidas de proyecto y extrema se debe evaluar los datos recogidos de las precipitaciones anuales del siglo 20, que se muestra en el siguiente gráfico.

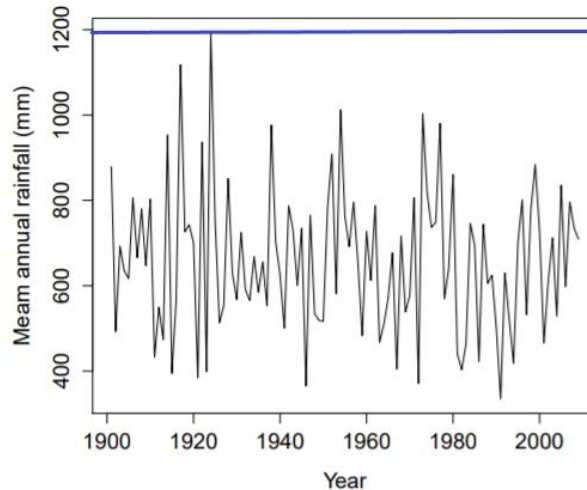


Ilustración 47: Media anual de precipitaciones. Fuente: [28]

En el gráfico se observan las precipitaciones anuales de 100 años. Se puede observar que hay una precipitación máxima de 1195 mm anuales, podemos concluir que para un periodo de retorno de $T=100$ la precipitación máxima anual es 1195 mm. En la siguiente tabla se muestra las precipitaciones máximas diarias para $T=100$.

Mes del año	Días de precipitaciones	Precipitaciones mensuales (mm)	Precipitaciones diarias (mm)
Enero	24,4	332,34	16,05
Febrero	20,7	251,02	14,34
Marzo	17,5	150,26	13,30
Abril	11,3	22,98	6,96
Mayo	3,3	3,54	1,36
Junio	2,6	1,77	0,65
Julio	2,7	1,77	1,36
Agosto	1,3	0,00	0,00
Septiembre	1,2	1,77	0,44
Octubre	4	22,98	1,68
Noviembre	13,7	109,60	5,00
Diciembre	21,9	296,98	13,56

Tabla 38: Precipitaciones diarias para T=100. Fuente propia.

Analizando la tabla, se debe seleccionar el valor de 16,05 mm de precipitaciones diarias en el mes de enero ya que es el máximo valor.

En cuanto al cálculo de las precipitaciones máximas diarias para un periodo de retorno de 100-500 años, debido a la escasez de datos climatológicos de la zona y concretamente de

años anteriores al 1900, no hay una muestra suficientemente grande para determinar este valor que representaría la avenida extrema.

La siguiente tabla resume las precipitaciones máximas en función de los periodos de retorno.

Periodo de retorno (años)	Precipitaciones diarias (mm)
25	13,22
100	16,05
100-500	-

Tabla 39: Tabla de precipitaciones diarias en función de periodos de retorno. Fuente propia.

5.3.4.2 Caudales de avenidas

Tras el cálculo de las precipitaciones diarias máximas, se debe estudiar el caudal de las avenidas causadas por las precipitaciones máximas. Para realizar este cálculo es necesario analizar varios factores.

- **Coefficiente de escorrentía:** El coeficiente de escorrentía depende de las características del terreno y determina la cantidad de agua que evita filtraciones en la cuenca y desemboca en la presa. El coeficiente que se va a emplear es $c=3$. Este coeficiente se ha determinado en el estudio hidrológico tras un estudio previo de terreno.
- **Superficie del embalse y de la cuenca:** La superficie del embalse es fundamental para analizar la cantidad de agua que las precipitaciones aportarán al vaso. En este caso no se usará coeficiente de escorrentía, ya que las precipitaciones aportan agua directamente al embalse.

En cuanto a la cuenca, las precipitaciones que caen en la cuenca aportan agua al embalse ya que la cuenca vierte el agua que no ha sufrido filtraciones. Por tanto, en este caso se debe emplear el coeficiente de escorrentía.

La superficie del embalse y de la cuenca son $6370 m^2$ y $632630 m^2$.

- **Evaporación:** La evaporación es un factor que provoca una pérdida de volumen de agua al volumen total de nuestro embalse. Para el cálculo de caudales de las avenidas este factor se debe despreciar, ya que no supone una gran pérdida de agua. Concretamente, en el mes de enero se estima una pérdida de 1,9 mm/día. A su vez, las pérdidas de volumen que causa este fenómeno dependen de la superficie que cubre el agua, la cual, asumiendo una ocupación total del agua a la superficie, la pérdida de volumen será la misma independientemente del caudal de la avenida. Por tanto, se debe despreciar este factor.
- **Intensidad de las precipitaciones:** Para determinar el caudal de las avenidas, se debe conocer la intensidad de las precipitaciones, es decir, la cantidad de precipitaciones que se producen en un intervalo de tiempo. En el apartado anterior, encontramos precipitaciones que se producen en un día. Este dato debe ser acotado ya que no es realista una distribución equitativa de precipitaciones las 24 h del día. La información sobre las precipitaciones en Zimbabue es muy escasa, y no permite establecer la media de horas de lluvia diariamente en el mes de enero. Por tanto, se va a aproximar a 6 horas, como el número de horas mínimo para producirse la totalidad de precipitaciones diarias en un día con precipitaciones máximas, ya que en Harare se producen tormentas repentinas frecuentes que vierten la mayoría de las precipitaciones. Por tanto, las intensidades de precipitaciones que vamos a considerar son:

Tipo de avenida	Periodo de retorno (años)	Precipitaciones diarias (mm)	Intensidad (mm/h)
NMN	25	13,22	2,20
NAP	100	16,05	2,68

Tabla 40: Intensidad de precipitaciones. Fuente propia

Teniendo en cuenta los factores expuestos, se determinan los caudales de las avenidas en función de los periodos de retorno. Para calcular el caudal de las avenidas se debe emplear la siguiente ecuación:

$$Q = I * A * c$$

Siendo:

- I: Intensidad de las precipitaciones (m/h)
- A: área (m^2)
- c: coeficiente de escorrentía

Para calcular hay que sumar el caudal que aportan las precipitaciones en el embalse y el caudal de agua que vierte la cuenca sobre el embalse. La siguiente tabla muestra los caudales de las avenidas.

Tipo de avenida	Periodo de retorno (años)	Caudal aportado directamente al embalse (m^3/h)	Caudal que aporta la cuenca (m^3/h)	Caudal de las avenidas (m^3/h)
NMN	25	14,01	417,55	431,56
NAP	100	17,07	508,63	525,70

Tabla 41: Caudal de las avenidas. Fuente propia.

5.3.4.3 Aliviadero

El aliviadero es la obra encargada de evacuar el agua excedente o de avenida que no cabe en el espacio destinado para el almacenamiento. En la presa en cuestión es un elemento clave de la construcción, ya que como se ha mencionado anteriormente, las presas de materiales sueltos extremadamente vulnerables ante desbordamientos.

Los aliviaderos se pueden distinguir en distintos tipos según su disposición:

- **Aliviaderos frontales:** Tienen una disposición recta en planta, cuyo vertimiento se realiza coaxial al conducto de descarga. Pueden ocupar grandes extensiones en planta, lo cual traería como consecuencia en caso de construirse en una montaña, grandes volúmenes de excavación.
- **Aliviaderos laterales:** El vertimiento de estos aliviaderos se realiza con cierto ángulo con respecto al conducto de descarga. Existe la posibilidad de ser ubicado de forma tal que bordee la ladera sin necesidad de excavar la montaña, ahorrándose así grandes volúmenes de excavación.
- **Aliviaderos curvos en planta:** Estos aliviaderos son curvos y por tanto el vertimiento se realiza radialmente, existiendo una concentración central del flujo en el conducto de descarga. Ocupan poca área en planta en comparación con uno frontal y presentan gran longitud vertedora.

También se distinguen según su ubicación:

- **Aliviaderos de cauce:** Este tipo de aliviaderos se ubican dentro del cuerpo de la presa, pueden ser superficiales o profundos. Los superficiales tienen como ventajas que no producen debilitamiento en el cuerpo de la presa y no requieren el uso de compuertas. Los aliviaderos de cauce profundos son conductos cerrados generalmente de sección rectangular o circular, donde el flujo puede circular a presión a todo lo largo del conducto o en un tramo de este. Este tipo de aliviadero se utilizan en aquellos casos donde es necesario bajar profundamente el nivel del embalse.
- **Aliviaderos de margen:** Son aquellos que se ubican fuera del cuerpo de la presa y se utilizan en presas de fábrica. Se ejecutan en forma de rápidas o de túneles sin carga, con carga a todo lo largo del aliviadero, o con carga parcialmente.

El tipo de aliviadero seleccionado para la estructura es un aliviadero frontal y de cauce de tal manera que no requiera el uso de compuertas y este ubicado en la superficie de la estructura. El aliviadero tendrá una sección rectangular. Se ha seleccionado este tipo de aliviadero debido a la complejidad del resto de tipos, que podría suponer un encarecimiento de la construcción sin aportar diferencias notables con respecto a este tipo de aliviadero. La presa no va a ser construida en una montaña, con lo cual, un aliviadero frontal no presenta complicaciones. El caudal del aliviadero será vertido coaxialmente al valle que continúa aguas abajo de la estructura. El material empleado para construir el aliviadero va a ser el hormigón.

Para dimensionar el aliviadero, se debe tener en cuenta las avenidas que se han calculado en el apartado anterior, ya que la situación crítica del aliviadero será cuando el nivel del agua este en la cota de NMN y tenga lugar una avenida. La siguiente ecuación define la altitud del nivel del agua en el momento en el que se produzca una avenida:

$$\text{Cota de avenida} = \text{NMN} + H$$

Siendo:

- NMN: Nivel máximo nominal (m)
- H: Carga total (m)

Para dimensionar el aliviadero se debe emplear la ecuación fundamental que caracteriza la descarga sobre el vertedor, que relaciona la carga total de la avenida con la longitud que tendrá el aliviadero:

$$Q = mL\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}}$$

Siendo:

- Q: Caudal que circula por el aliviadero (m^3/s)
- L: Longitud del aliviadero (m)
- g: aceleración de la gravedad (m/s^2)
- H: carga total (m)
- m: coeficiente de gasto adimensional

El coeficiente de gasto caracteriza la eficiencia de la descarga sobre el vertedor. Se asumirá un coeficiente de gasto de 0,44, que es el valor recomendado para aliviaderos de pared delgada.

Para obtener la carga total que provocará la avenida es necesario probar distintos valores de longitud del aliviadero. Se debe tener en cuenta que, en caso de no requerir una estructura adicional para soportar el aliviadero, el valor mínimo del aliviadero debe ser 12,97 m, ya que es la longitud de la arista de aguas debajo de la sección trapezoidal isósceles de la estructura. Esto se debe a que es necesario evitar verter agua sobre la estructura, ya que puede producir fallos en ella. Por ello, se asumirán longitudes del aliviadero de 13 m a 30 m, determinando 30 m como la longitud máxima.

Se obtendrán estos valores a partir de los valores de caudal calculados en el apartado anterior de avenida de proyecto, que es el nivel máximo para el dimensionado del aliviadero.

L (m)	H (m)	NAP (m)
13	0,0321	4,4321
14	0,0306	4,4306
15	0,0292	4,4292
16	0,0280	4,4280
17	0,0269	4,4269
18	0,0259	4,4259
19	0,0250	4,4250
20	0,0241	4,4241
21	0,0233	4,4233
22	0,0226	4,4226
23	0,0220	4,4220
24	0,0214	4,4214
25	0,0208	4,4208
26	0,0203	4,4203
27	0,0197	4,4197
28	0,0193	4,4193

29	0,0188	4,4188
30	0,0184	4,4184

Tabla 42: Nivel de avenida de proyecto en función de longitud del aliviadero. Fuente propia

Dimensionando el aliviadero con longitudes mayores, se reduce la carga y en consecuencia el nivel de la avenida de proyecto. A pesar de ello, no es necesario sobredimensionar el aliviadero para reducir el nivel de la avenida, si el nivel es suficientemente bajo para no presentar problemas a la estructura. Por ello se selecciona 13 m, como la longitud del aliviadero. La carga es de 0,032 m, lo cual es un nivel muy bajo y la estructura no va a presentar ningún fallo provocado por este nivel del agua. Por otro lado, el aliviadero se podrá construir con hormigón sobre la parte agua abajo de la estructura, que supondrá evitar el encarecimiento de la construcción con una estructura para el aliviadero. La longitud, carga y cota para el dimensionamiento del aliviadero se muestra en la siguiente tabla.

L (m)	H (m)	NAP (m)
13	0,0321	4,4321

Tabla 43: Dimensionamiento del aliviadero. Fuente propia

En cuanto al dimensionamiento de la cara del aliviadero, teniendo en cuenta la carga calculada y siguiendo la indicación de la siguiente figura que refleja la sección de un aliviadero rectangular de cauce ubicado en la superficie de la estructura y sin requerimiento de compuertas se obtienen el siguiente dimensionamiento.

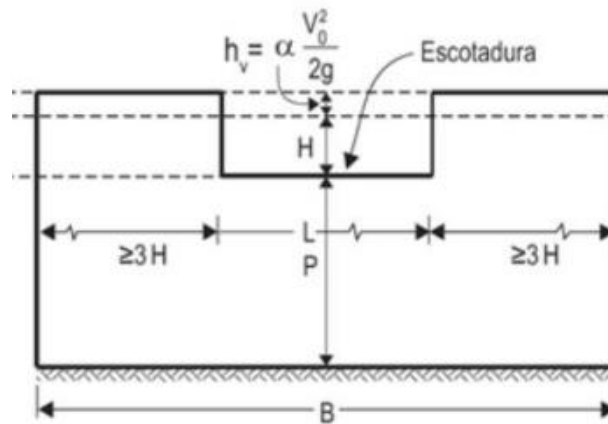


Ilustración 48: Sección del aliviadero rectangular: Fuente [29]

- $H = 0,2$ m; se aplica un coeficiente de seguridad de 6 por si pudiesen provocarse avenidas mayores
- $h_v = 0$; la velocidad es despreciable
- $L = 1$ m
- $B = 2,2$ m
- $P = 0,4$ m

Los valores que muestra el dimensionamiento se han considerado bajo la premisa de reducir la cantidad de hormigón en la construcción debido al alto coste de este.

Considerando la carga y el caudal obtenidos anteriormente para la avenida de proyecto; $H = 0,032$ m y $Q = 0,146$ m^3/s . Considerando el área de desagüe; $A = 0,2$ m^2 , la velocidad de desagüe de avenida de proyecto será $0,73$ m/s.

La siguiente ilustración muestra la cara frontal del aliviadero dimensionada.

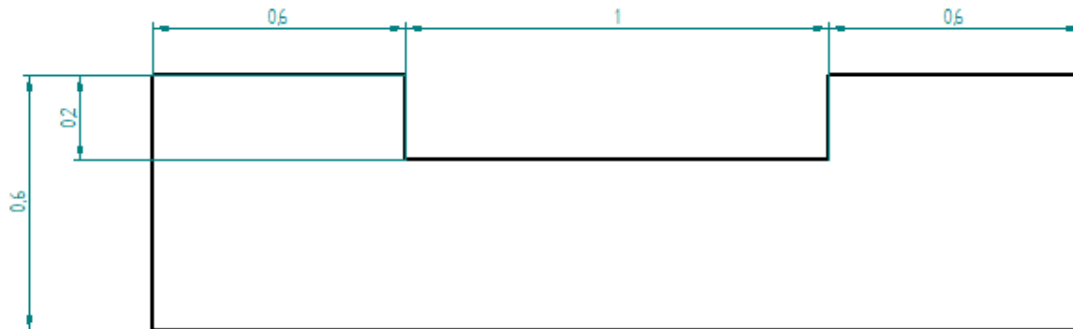


Ilustración 49: Sección del aliviadero ISO (m). Fuente propia.

A continuación, se muestra el diseño del aliviadero, que se construirá unido a la estructura.

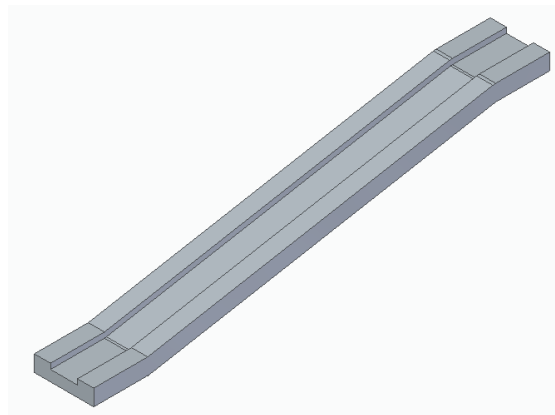


Ilustración 50: Diseño del aliviadero. Fuente propia.

5.4 REDIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

El dimensionamiento de la estructura previo al estudio del aliviadero necesita ser actualizado, ya que para evitar que el agua sobrepase la estructura, se debe establecer el NMN (cota 1078 m) como el nivel del aliviadero y aumentar las dimensiones de la estructura hasta cubrir las paredes del aliviadero. De este modo, la estructura llevará a cabo el desagüe

de avenidas por el aliviadero. En cuanto a la distribución de los materiales en la estructura, el núcleo de arcilla se mantendrá con el mismo dimensionado y serán los espaldones los que aumenten su volumen para dotar de más altura a la estructura. El aliviadero se situará en una parte lateral de la estructura.

La siguiente ilustración muestra el dimensionamiento de la sección de la estructura.

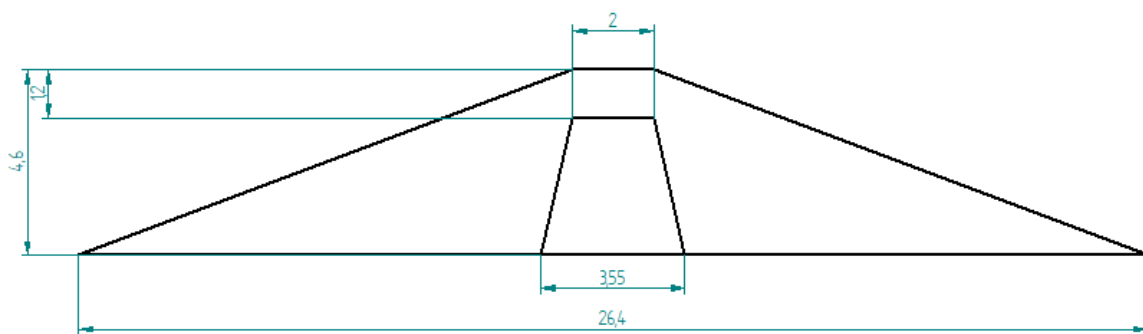


Ilustración 51: Sección de la estructura ISO (m). Fuente propia

A continuación, se muestra un diseño de la estructura de la presa, con el aliviadero incorporado.

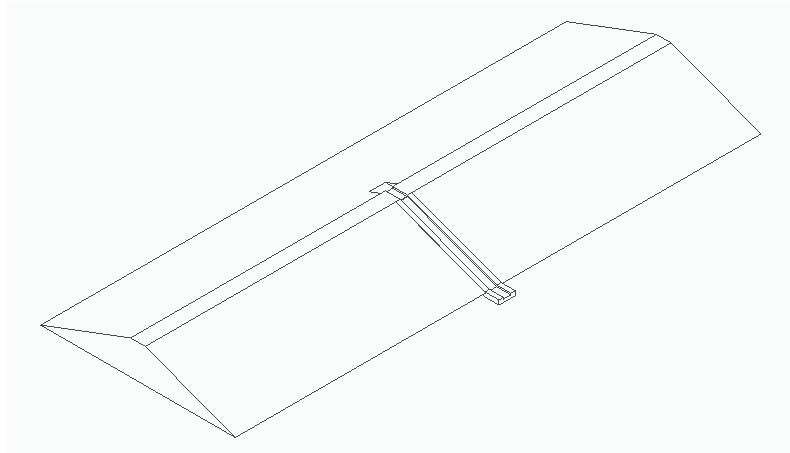


Ilustración 52: Diseño final de la estructura de la presa con sistema de desagüe. Fuente propia.

5.5 CÁLCULOS ESTRUCTURALES

5.5.1 CÁLCULO DE SOLICITACIONES

La estructura va a ser sometida a diferentes cargas y tensiones, las cuáles deben ser calculadas para después evaluar la resistencia de la estructura a este tipo de acciones y asegurar que la integridad de la estructura en ningún caso será comprometida y por tanto garantizar la seguridad de la construcción.

Las distintas acciones que ejercen cargas sobre la estructura y que deben ser objeto de estudio para garantizar la seguridad estructural de la presa según la toma 2 de la segunda guía técnica de seguridad de presas [27] son las siguientes:

- **Peso propio**

Para proceder al cálculo del peso de la estructura sobre el suelo en cuestión, se debe conocer el peso específico de cada material involucrado en esta construcción.

Hay que destacar, que durante el proceso de construcción o en el proceso de llenado, los materiales pueden experimentar cambios en su peso específico. Estos cambios son insignificantes, por tanto, se considerarán despreciables.

Para determinar el peso propio de la presa, se va a proceder al uso de la siguiente ecuación:

$$P = \gamma * A$$

Siendo:

- P: Peso propio
- γ : Peso específico total de los materiales
- A: Área

El peso específico de los materiales de la presa se indica en la siguiente tabla.

Material	Peso específico (γ)	Peso específico (γ)
	kg/m^3	kN/m^3
Núcleo de arcilla	2000	19,62
Espaldones de escollera	2500	24,53

Tabla 44: Pesos específicos. Fuentes: [30],

Observando la sección determinada en el apartado de redimensionamiento obtenemos un área total de $65,32 m^2$, distribuido entre $9,44 m^2$ correspondiente al núcleo de arcilla, $55,88 m^2$ correspondiente a los espaldones de escollera,

Por tanto, el peso propio de la estructura será $P = 1\ 556 kN/m$

- **Empuje del agua. Avenidas**

Se deben analizar las presiones que va a ejercer el agua sobre la parte de la presa en contacto con dicha agua. Este empuje va a estar determinado por la cota de agua

embalsada. De la misma manera que para el peso propio, el peso del agua se obtendrá de la siguiente ecuación:

$$P = \gamma * A$$

Siendo:

- P: Peso propio
- γ : Peso específico total de los materiales
- A: Área

El peso específico del agua que se empleará es $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$.

El área que ocupará el agua está determinada por el nivel que se va a estudiar y su disposición es como la mostrada en la siguiente figura.



Ilustración 53: Nivel de llenado para cálculo de peso del agua. Fuente propia.

La siguiente tabla muestra el peso que ejerce el agua en función de los niveles evaluados.

Nivel	Peso del agua (kN/m)
NMN	179,2
NAP	180,1

Tabla 45: Peso del agua sobre la presa. Fuente propia.

En primer lugar, se debe evaluar el peso que ejerce el agua sobre la presa, debido a la geometría de la sección. La siguiente ecuación, proporciona el valor del dicho empuje:

$$E = \frac{\gamma}{2} * h^2$$

Siendo:

- E: Empuje
- γ : Peso específico total del agua
- h : Altura de la lámina de agua

El peso específico del agua que se empleará es $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$.

Para calcular el empuje hay que tener en cuenta distintas situaciones que se pueden producir. Estas situaciones dependen de la altura de la lámina de agua en el embalse.

El empuje del agua máximo se va a producir en el nivel máximo nominal de la lámina de agua. Esto se produce a una cota de 1078 y la altura de la lámina de agua es 3,8 m. Por tanto, el empuje del agua será de $E = 72,2 \text{ kN/m}$.

También se deben de estudiar los casos en los que se van a producir avenidas.

Para ello, se debe evaluar el tipo de avenida que se ha determinado en el capítulo anterior, que depende de la probabilidad de ocurrencia utilizando el término periodos de retorno. La avenida que se va a evaluar es la de proyecto, debido a la falta recursos para calcular las avenidas extremas. La altura de la lámina de agua en la avenida de proyecto es de 3,8321 m, para el aliviadero seleccionado. Por tanto, el empuje del agua en este caso será de $E = 73,43 \text{ kN/m}$.

La siguiente tabla muestra los empujes que se deben tener en cuenta.

Nivel	Empuje (kN/m)
NMN	72,2
NAP	73,43

Tabla 46: Empuje del agua sobre la presa: Fuente propia.

- **Efectos del viento. Oleaje**

El viento puede provocar un oleaje del agua almacenada en el embalse. Este oleaje causa sobre la presa dos acciones.

En primer lugar, el impacto del oleaje sobre la pared de la presa causa una acción dinámica.

Por otro lado, el oleaje provoca una sobreelevación del nivel de agua que incrementa el empuje hidrostático y puede provocar en determinadas ocasiones el aumento de la probabilidad de avenidas.

Como se puede observar en la estimación de viento promedio en el estudio climático del capítulo 5, la velocidad del viento que se experimenta en Mount Darwin es muy baja durante la mayor parte del año; entre 10-15 km/h. Incluso en octubre, que experimenta velocidades promedias de alrededor de 19 km/h, son velocidades de viento que van a causar oleajes mínimos considerando las dimensiones del embalase. Por tanto, respecto al cálculo de seguridad estructural estos oleajes se deben despreciar.

- **Efectos sísmicos**

Efectos sísmicos como terremotos pueden provocar acciones mecánicas suponiendo resultados catastróficos en estructuras de grandes dimensiones. En el caso de estudio, no se requiere considerar este efecto ya que la estructura no se va a ver afectada por aceleraciones sísmicas del suelo debido a sus pequeñas dimensiones.

- **Subpresión**

La subpresión es el empuje que produce el agua que penetra por debajo de la base de la estructura sobre la misma.

Para evitar que se produzcan infiltraciones de agua que pongan en riesgo la seguridad estructural de la presa se va a producir una excavación en el terreno de 60 cm para construir la presa sobre el macizo rocoso. Por las propiedades del macizo rocoso no deberían producirse filtraciones de agua debido a su total impermeabilidad. En

cualquier caso, se va a impermeabilizar el vaso para evitar filtraciones en el vaso, de manera que tampoco puedan producirse filtraciones en la base de la estructura. Por ello, esta solicitud no va a afectar al cálculo de resistencia de la presa.

- **Otras acciones**

Hay determinadas solicitudes que pueden tener importancia a efectos de calcular la seguridad estructural de alguna presa, como pueden ser cambios térmicos, existencia de suelos depositados en la pared de la presa, hielo en el embalse... En la presa en cuestión este tipo de acciones no se van a tener en cuenta ya que no suelen afectar salvo situaciones extremas al tipo de presa que se emplea y estas situaciones no se producen tras analizar el terreno y el clima.

El valor de las solicitudes que se van a tener en cuenta para estudiar la resistencia de la estructura se muestra en la siguiente tabla.

Solicitaciones	Nivel	Valores (kN/m)
Peso propio		1 556
Peso hidráulico	NMN	179,2
	NAP	180,1
Empuje hidráulico	NMN	72,2
	NAP	73,43

Tabla 47: Valor de las solicitudes. Fuente propia.

A continuación, se agrupan las solicitudes según la dirección de la fuerza, siendo la componente vertical positiva hacia el suelo y la componente horizontal positiva hacia aguas abajo.

Nivel	Componente vertical (<i>kN/m</i>)	Componente horizontal (<i>kN/m</i>)
NMN	1 735	72,2
NAP	1 736	73,43

Tabla 48: Valor de las solicitaciones distribuidas en sus componentes. Fuente propia.

El siguiente diagrama muestra la distribución de fuerzas de las solicitaciones sobre la sección de la estructura:

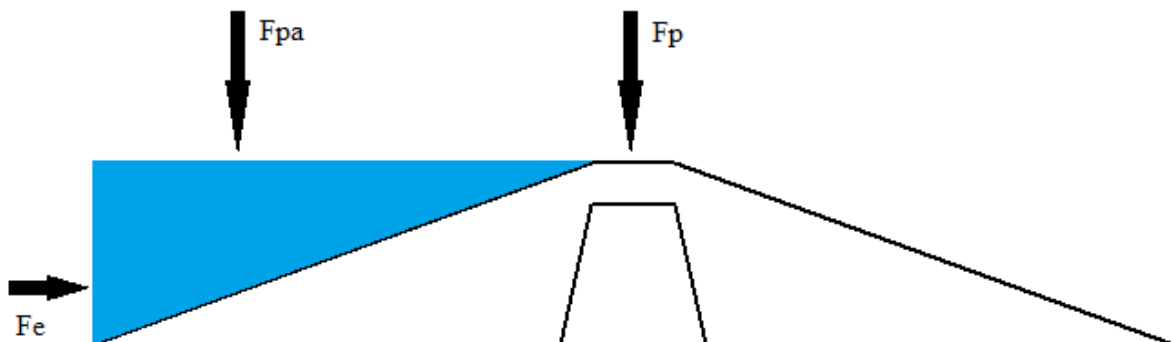


Ilustración 54: Diagramas de fuerzas que ejercen las solicitaciones. Fuente propia

5.5.2 RESISTENCIA ANTE SOLICITACIONES

En este apartado se va a evaluar la resistencia que va a tener la presa a las solicitaciones calculadas previamente. Para ello, se va a distinguir entre tres tipos de acciones que pueden comprometer la seguridad estructural de la presa; el vuelco y el deslizamiento de la estructura y la resistencia del terreno. Para realizar el análisis se considerarán dos niveles de llenado antes estudiados: Llenado hasta el Nivel Máximo Normal (NMN) y llenado momentáneo de agua hasta el Nivel de Avenida de Proyecto (NAP).

5.5.2.1 Resistencia a vuelco

La presa en cuestión cuenta con una gran estabilidad debido a la anchura de la base de la estructura, como se puede apreciar en el dimensionamiento, por tanto, esto va a suponer una mayor dificultad para que se produzca un vuelco.

Para calcular la resistencia de la presa al vuelco, es necesario determinar todos los posibles momentos que la estructura va a experimentar. Estos momentos se van a calcular sobre la altura del terreno, en la parte central de la estructura. Los momentos que se van a producir en la presa son los siguientes:

- M_p : Momento provocado por el peso de la estructura
- M_E : Momento provocado por los empujes hidrostáticos
- M_{pa} : Momento provocado por el peso hidrostático
- M_n : Momento provocado por la fuerza normal

El punto crítico para el cálculo de la resistencia de la estructura ante el vuelco se produce en el punto inferior aguas abajo. La siguiente tabla recoge el momento provocado por las diferentes solicitaciones en este punto.

Solicitación	Nivel	Brazo (m)	Fuerza (kN/m)	Momento (kN * m/m)
Peso propio		13,2	1556	20 539
Peso hidrostático	NMN	21,60	179,20	3 870,72
	NAP	21,61	180,10	3 891,96
Empuje hidrostático	NMN	1,87	72,20	-135,01
	NAP	1,88	73,43	-138,05

Tabla 49: Momentos creados por las solicitaciones. Fuente propia.

Se deben imponer las ecuaciones de estabilidad de la presa, para analizar la fuerza normal que ejerce el terreno sobre la presa y la distancia a la que se produce.

Ecuación de estabilidad de fuerzas:

$$\sum F = 0$$

Analizando el eje y:

$$\sum F_y = F_p + F_{pa} + F_n = 0$$

$$F_n(NMN) = 1\,735 \text{ kN/m}$$

$$F_n(NMN) = 1\,736 \text{ kN/m}$$

Ecuación de estabilidad de momentos:

$$\sum M = 0$$

$$\sum M = M_p + M_{pa} + M_n + M_e = 0$$

$$M_n(NMN) = -24\,275 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

$$M_n(NAP) = -24\,293 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

La siguiente tabla resume los valores de esta componente normal.

	Nivel	Brazo (m)	Fuerza (kN/m)	Momento (kN * m/m)
Componente normal	NMN	14	1 735	-24 275
	NAP	14	1 736	-24 293

Tabla 50: Momentos creados por la componente normal. Fuente propia.

Estos valores son la fuerza que ejercerá el terreno a la estructura para que se cumpla la condición impuesta de estabilidad y evitar que se produzca el vuelco.

5.5.2.2 Resistencia a deslizamiento

Se debe comprobar que la fricción entre la base de macizo rocoso y la estructura resiste a las sollicitaciones que ejercen fuerzas en la dirección horizontal de la sección de la estructura. En caso de que estas sollicitaciones venzan la fuerza de rozamiento entre las dos superficies, la seguridad se vería comprometida ya que la estructura se desplazaría y causaría el fallo de la presa.

Para la comprobación de deslizamiento de estructuras, se emplea un modelo de resistencia basado en el criterio de Mohr-Coulomb que evalúa la resistencia a corte que ofrecen dos cuerpos separados por medio de una superficie cementada plana. Este modelo se basa en la siguiente ecuación:

$$T \leq N * tg(\varphi) + C * A$$

Siendo:

- T: Fuerza desestabilizadora tangencial paralela al plano de deslizamiento (kN/m)
- N: Fuerza normal entre los cuerpos (kN/m)
- φ : Ángulo de rozamiento (°)
- C: Coeficiente de cohesión

- A: Superficie plana de contacto (m^2)

Esta ecuación depende de las propiedades del macizo rocoso que se han determinado en el estudio geotécnico.

La siguiente tabla muestra los factores de seguridad mínimos que se deben aplicar, en función del embalse para el tipo de presa que se va a construir.

Nivel	Tipo de sollicitación	Factor de seguridad
Máximo normal (NMN)	Normal	1,3
Avenida de proyecto (NAP)	Accidental	1,1

Tabla 51: Factor de seguridad al deslizamiento para embalse lleno en función de los niveles. Fuente: [31]

A continuación se muestran los valores de fricción calculados en comparativa con la fuerza desestabilizadora que ejercen las sollicitaciones.

Nivel	Fuerza desestabilizadora (kN/m)	Fricción (kN/m)	Factor de seguridad
NMN	72,2	6 368	88
NAP	73,43	6 369	87

Tabla 52: Comprobación del deslizamiento. Fuente propia.

La estructura no va a sufrir fallos causados por el deslizamiento, ya que experimenta factores de seguridad muy elevados debido al gran peso que tiene este tipo de presas, debido a su volumen y a la gran superficie de contacto entre la estructura y el macizo rocoso. Los factores de seguridad que se han determinado anteriormente son superados con creces.

5.5.2.3 Resistencia del terreno

A parte de analizar la resistencia de la estructura ante las distintas sollicitaciones, se debe tener en cuenta la resistencia del terreno a la estructura, ya que en caso de fallo de este la construcción se vería severamente afectada al experimentarse roturas en el elemento de sujeción de la estructura. La sollicitación, que se debe tener en cuenta en este análisis es el peso propio de la estructura, ya que provoca tensiones sobre el terreno.

Para proceder a realizar el análisis de la resistencia del terreno, se debe tener en cuenta el estudio geotécnico que se ha producido anteriormente, para obtener los datos y conclusiones acerca del terreno y su resistencia. La construcción se realizará sobre el macizo rocoso, ya que se va a producir una excavación de 60 cm hasta llegar a dicha capa de terreno. El macizo rocoso, que se debe considerar uniforme está formado por granito y gneis y cuenta con una resistencia a compresión de 80 MPa como se ha determinado en el capítulo 4.

Las tensiones que la estructura ejerce sobre el terreno van a quedar determinadas por las fuerzas calculadas anteriormente. Las tensiones se obtendrán a partir de la siguiente ecuación.

$$\sigma = F/A$$

Siendo:

- σ : Tensión (Pa)
- F: Fuerza (N)
- A: Área (m^2)

Para caracterizar las tensiones del terreno se procede a distinguir tres partes de la estructura, ya que las cargas en el terreno no van a estar distribuidas uniformemente debido a la geometría de la sección y al peso del agua:

- **Aguas arriba:** En esta parte se debe tener en cuenta tanto el peso de la estructura como el peso del agua. El peso del agua ha quedado determinado en el apartado de cálculo de sollicitaciones. En cuanto al peso de la estructura, la parte que se debe calcular es la que

se muestra recuadrada en la ilustración. Se divide en $26,74 \text{ m}^2$ de escollera y $1,318 \text{ m}^2$ de arcilla y teniendo en cuenta los pesos volumétricos de los materiales que se han expuesto anteriormente se obtienen los siguientes resultados.

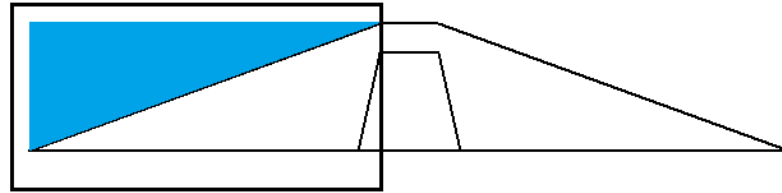


Ilustración 55: Estudio de resistencia del terreno aguas arriba. Fuente propia.

Nivel	Peso propio (kN/m)	Peso hidrostático (kN/m)	Fuerza (kN/m)	Tensión (kPa)
NMN	681,7	179,20	860,9	70,6
NAP	681,7	180,10	861,8	70,6

Tabla 53: Tensiones en aguas arriba. Fuente propia.

- **Parte media:** En esta parte se tiene en cuenta el peso de la estructura, en la parte que se muestra en la siguiente ilustración. Se divide en $6,8 \text{ m}^2$ de arcilla y 2 m^2 de escollera. La siguiente tabla muestra las tensiones que soporta el terreno en esta sección.

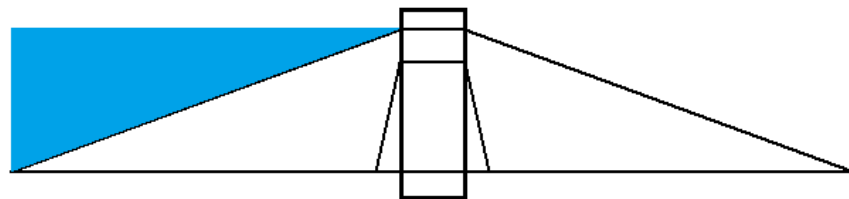


Ilustración 56: Estudio de resistencia del terreno aguas arriba. Fuente propia.

Nivel	Peso propio (kN/m)	Fuerza (kN/m)	Tensión (kPa)
NMN	192,28	192,28	96,14
NAP	192,28	192,28	96,14

Tabla 54: Tensiones de la parte media, Fuente propia.

- **Aguas abajo:** En esta parte de la estructura, se tiene en cuenta el peso de la estructura. El peso coincide con el calculado en aguas arriba, ya que se trata de la misma sección. La siguiente tabla muestra las tensiones en esta parte del terreno.

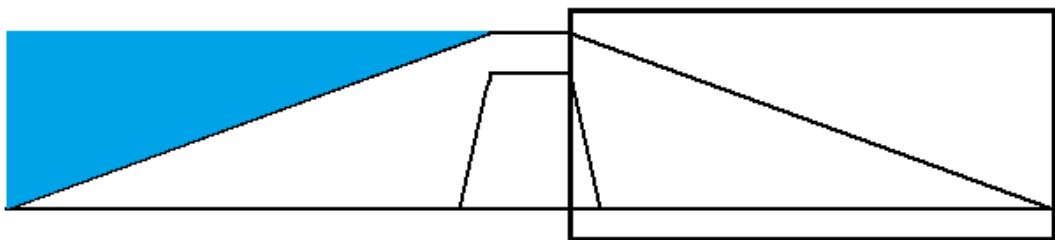


Ilustración 57: Estudio de resistencia del terreno aguas arriba. Fuente propia.

Nivel	Peso propio (kN/m)	Fuerza (kN/m)	Tensión (kPa)
NMN	681,7	681,7	55,9

NAP	681,7	681,7	55,9
-----	-------	-------	------

Tabla 55: Tensiones en aguas abajo. Fuente propia.

La tensión admisible del terreno son 80 MPa. Por tanto, se ha comprobado que el terreno puede soportar la estructura diseñada sin ningún tipo de problemas, ya que está va a ejercer tensiones máximas de 96,14 KPa. Este valor es muy inferior al admisible por el terreno y supondrá un factor de seguridad de 832.

5.6 IMPERMEABILIZACIÓN DEL VASO

Impermeabilizar el vaso es una labor de vital importancia, para evitar filtraciones de agua y garantizar el correcto funcionamiento de la presa. Anteriormente, se construyó una presa en la misma ubicación que la que plantea este proyecto, sin tener en cuenta este factor. La presa fue un fracaso debido a la filtración del agua. Por ello, este proyecto ha realizado un estudio del terreno que ha demostrado que el terreno carece de materiales suficientemente arcillosos y consecuentemente impermeables.

Una solución para lograr impermeabilizar el vaso es extraer arcilla en terrenos próximos e impermeabilizar el vaso con esta arcilla. Tras el estudio del terreno se ha determinado que los suelos de la zona tienen características parecidas al suelo del vaso en las que no se encuentran materiales con la suficiente composición de arcilla. Otra alternativa, incorporar directamente arcilla tras elaboración propia, pero debido a la gran superficie que ocupa el vaso sería un trabajo excesivamente costoso.

Por ello, se han evaluado distintas opciones y tras establecer contacto con los miembros de la comunidad rural, se ha llegado a la conclusión de usar lonas de polietileno que tiene propiedades impermeables. Estas lonas, pertenecen a la comunidad ya que se emplearon para la construcción de una piscifactoría, que actualmente no esta operativa. Estas lonas no presentan desperfectos y son abundantes, por lo que es posible cubrir la totalidad del vaso

de $6370 m^2$. En caso de no ser suficientes, la comunidad tiene contacto con el proveedor local de estas, por lo que la búsqueda de este no será un inconveniente. Es necesario sellar las lonas para que no se produzcan filtraciones entre ellas.

Previo a posicionar las lonas es necesario que se lleve a cabo un desbroce del terreno para así evitar arbustos, piedras, ramas o cualquier material que pueda causar una rotura en la lona de polietileno y esto causar filtraciones de agua.

6. CONCLUSIONES

6.1 CONCLUSIÓN

El proyecto ha realizado diversos estudios del terreno, tipología de presas, ejemplos de construcciones, restricciones externas, hidrología etc., para realizar la propuesta que mejor se adaptaba a todos los estudios llevados a cabo y lograr los objetivos marcados.

Tras analizar los resultados obtenidos del estudio hidrológico y del estudio de la capacidad se ha concluido que, por las condiciones del terreno y recursos, que limitan las dimensiones de la presa, la primera propuesta de aprovechamiento de agua no se ha podido satisfacer. Por ello, se establece una nueva propuesta de aprovechamiento de agua, que propone la reducción de agua destinada a la central hidroeléctrica ya que es la de la instalación eléctrica el tipo de aprovechamiento más exigente. Se ha propuesto la renuncia de generación eléctrica para los meses de mayo a octubre y para el resto del año reducción de tiempo de consumo a tres horas diarias, ya que en la primera propuesta el tiempo era muy elevado. El aprovechamiento para regadío se mantiene, salvo para el mes de octubre que la demanda es muy elevada y se requerirá agua de por otro recurso.

En cuanto a la presa, se ha determinado que la mejor opción es una presa de materiales sueltos de núcleo de arcilla debido a los recursos que ofrece la comunidad para adquirir estos componentes y reducir gastos. Se propone un aliviadero de hormigón, para el desagüe, de tal manera que el agua no desborde la estructura de materiales sueltos y no se ponga en riesgo la seguridad de la estructura. Todo ello respaldado por los resultados de los cálculos hidrológicos y de avenidas que obligan redimensionar la estructura, para permitir ubicar esta vía de desagüe al nivel determinado como NMN y que la estructura no sufra desbordamientos.

Los objetivos de proveer a la localidad el recurso del agua para posterior aprovechamiento eléctrico en la escuela y de regadío de la superficie de cultivo colindante se han a pesar de

los inconvenientes que presentaba la primera propuesta de demanda. En cuanto al objetivo principal de implantar la construcción se va a realizar posterior a la realización de este proyecto.

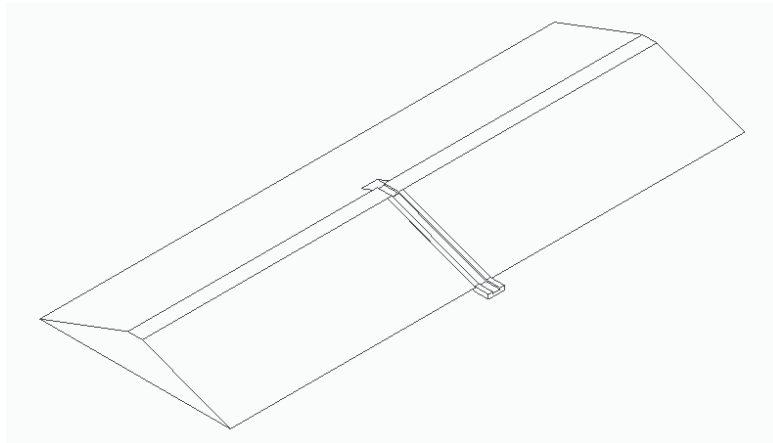


Ilustración 58: Diseño final de la presa. Fuente propia

7. PLAN DE IMPLANTACIÓN A ALTO NIVEL

Para realizar la implantación del proyecto, se va a contar con la colaboración de miembros de la ONG e integrantes de la comunidad rural de la localidad. Esta colaboración de integrantes de la comunidad rural es de vital importancia para así lograr una vinculación real entre los miembros y el proyecto. Para la implantación se van a marcar una serie de pautas que deberán ser explicadas a los involucrados en la implantación.

1. Grupo de implantación

Es necesario establecer un grupo de implantación del proyecto, con personas que vayan a estar involucradas en la implantación, para así poder organizar el trabajo, estableciendo tareas a los integrantes del grupo en función de sus habilidades.

Previo al inicio de la implantación es necesario comunicar a todos los miembros del grupo las pautas de la implantación y el objetivo común para así trabajar juntos sabiendo el motivo de cada tarea.

2. Preparación de materiales y recursos para la construcción

En primer lugar, es necesario analizar la disponibilidad de todos los materiales que se van a emplear en la construcción y recursos externos que se vayan a necesitar o al menos ser conscientes de los tiempos en los que se van a adquirir. Esto es importante para una correcta organización de tareas, ya que no tener un material para una fase en concreto, puede desestructurar por completo el plan de implantación y si no se conoce a tiempo puede causar una incorrecta implantación.

Los materiales necesarios son:

- Ladrillos de arcilla compactos; para construir el núcleo de arcilla.
- Escollera; para los espaldones de la presa.
- Hormigón; para realizar la estructura del aliviadero.
- Lonas de polietileno; para la impermeabilización del vaso.

Los recursos necesarios son:

- Herramientas para realizar el desbroce, donde se incluyen picos.
- Herramientas para realizar la zanja, dónde se incluyen palas y picos.
- Proveedor que realice la estructura del aliviadero.
- Recursos adicionales que ayuden a la construcción o al resto de tareas.

3. Preparación del terreno

Previo a la construcción se debe preparar el terreno para adecuarlo a la implantación de la estructura. La preparación del terreno consiste en dos fases:

- Desbroce: El desbroce consiste en despejar el vaso de rocas, arbustos, ramas y demás elementos que puedan ejercer daños a las lonas de polietileno y así producir filtraciones. El desbroce se va a realizar en la superficie del vaso, y en la zona donde posteriormente se va a realizar la zanja, para facilitar la labor de la zanja. Para realizar este desbroce se van a utilizar picos y palas para poder levantar elementos del terreno como arbustos y rocas enquistadas.
- Zanja: La zanja va a consistir en cavar en la superficie donde se va a construir la estructura, hasta llegar al macizo rocoso, que según los estudios geológicos realizados se encontrará a 60 cm de profundidad. Es muy importante llegar a este macizo rocoso, ya que el estudio de resistencia del terreno se ha realizado teniendo en cuenta las características de esta capa del terreno.

4. Construcción

La construcción se va a realizar cuando esté terminada la zanja y consistirá en tres fases.

- Núcleo de arcilla: En primer lugar, se formará el núcleo de la estructura con los ladrillos de arcilla con las dimensiones que se han determinado en el redimensionamiento de la estructura.

- Espaldones de escollera: Alrededor del núcleo se colocarán los espaldones de escollera siguiendo el dimensionamiento de la estructura. Se debe dejar la superficie correspondiente al aliviadero, para así introducir entre los espaldones el aliviadero.
- Aliviadero de hormigón: Por último, el aliviadero, previamente fabricado se posicionará en la parte central de la estructura, entre las piedras de la escollera.

5. Impermeabilización del vaso

Una vez finalizados la preparación del terreno y la construcción de la presa, se procede a colocar las lonas impermeables de polietileno sobre la superficie del vaso. Se utilizarán múltiples lonas que se deben sellar entre ellas para permanecer totalmente impermeables. Un aspecto muy importante es cubrir mediante estas lonas la parte de la base de la estructura hasta aproximadamente 1 m de altura y tratar de sellar estas lonas a esa altura con los espaldones de escollera posicionando piedras pesadas en la base de la estructura. Esto es necesario para evitar filtraciones en la base que produzcan subpresiones en la estructura.

6. Adaptación del proyecto a la realidad

Durante la implantación del proyecto se deben considerar todo tipo de modificaciones respecto a lo estudiado cuando en la puesta en práctica haya situaciones que no se ajusten a lo estudiado previamente. Cuando se plantea el proyecto, se realizan los estudios más ajustados posibles a la realidad, pero hay que contar con la posibilidad de que debido a la escasez de datos y recursos en estas zonas se hayan podido producir imprecisiones que es necesario corregir para una correcta implantación.

Una opción que se debe considerar es una estimación errónea de la profundidad de la capa de macizo rocoso. En este caso se debe priorizar construir la estructura sobre esta capa y por tanto, en caso de diferir de lo establecido en el proyecto, será

necesario redimensionar levemente la estructura, realizando de nuevo los cálculos pertinentes para garantizar la seguridad estructural

7. Explicación y asignación de mantenimiento

Por último, tras finalizar la implantación y lograr el objetivo principal del proyecto, se debe instruir a los miembros de la comunidad sobre el mantenimiento de la presa para garantizar su correcto funcionamiento posterior a la implantación.

8. PLAN DE MANTENIMIENTO

El plan de mantenimiento es un requisito indispensable para que la presa cumpla con su función correctamente y perdure en el tiempo aportando el recurso de retención de agua a la comunidad la mayor cantidad de tiempo posible. Se ha tenido en cuenta a lo largo del proyecto la sencillez estructural para no establecer un plan de mantenimiento complejo, es por ello por lo que el plan de mantenimiento no va a presentar muchas actividades. A continuación, se presentan las principales laboras de mantenimiento:

1. Comprobación del buen estado de la lona impermeable

La conservación del buen estado de la lona de polietileno es indispensable para eliminar filtraciones en el terreno. Es por ello, que se deben realizar comprobaciones rutinarias siempre y cuando el llenado de la presa lo permita. Se deben buscar tanto roturas en la lona, como posibles huecos entre las diferentes lonas. Es fundamental, obtener mas lonas cuando comienzan a tener un estado de deterioro o en su defecto cubrir las roturas con parches.

2. Eliminación de depósitos sobre el vaso

Precisamente para evitar las posibles roturas que puedan ocurrir en las lonas de polietileno, se deben retirar todos los elementos que pueda arrastrar el agua hasta la superficie del vaso. Además, estos elementos pueden reducir la capacidad volumétrica del embalse. Para ello, se debe revisar continuamente la superficie del vaso, para evitar acumular este tipo de elementos que son perjudiciales para el embalse.

3. Comprobación de posibles filtraciones en la estructura

No deberían producirse filtraciones en la estructura de la presa debido al núcleo de arcilla. No obstante, se deben realizar comprobaciones de que esto no ocurra. Para ello, simplemente basta con ver si aguas debajo de la estructura hay agua que traspasa

por los espaldones de escollera. En caso de que esto ocurra, será debido a una mala colocación del núcleo de arcilla, o irregularidades en el. La seguridad estructural puede verse comprometida y en este caso se deberá reconstruir la estructura corrigiendo los errores.

4. Comprobación de correcta función del sistema de desagüe

El sistema de desagüe juega un papel muy importante de cara a garantizar la seguridad estructural de la presa. Esto es debido a que la seguridad de la presa se puede ver afectada en caso de que el agua desborde la estructura por la parte de la estructura. Se debe comprobar que el aliviadero no se encuentre taponado, por sedimentos o materiales que pueda arrastrar el agua. Esto podría producir una elevación del nivel de agua hasta tal punto que desbordaría por la escollera y esto podría tener consecuencias catastróficas para la estructura.

9. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

El estudio de viabilidad económica determina el potencial del proyecto con respecto al retorno de la inversión inicial. Este proyecto, tiene como objetivo dotar a la comunidad de una serie de recursos que puedan impulsar su educación, su alimentación y su riqueza a partir del aprovechamiento del agua, pero no persigue el beneficio económico a partir de una inversión inicial. Es por ello, que no es compatible un estudio de viabilidad económica para este proyecto.

No obstante, se van a evaluar en este capítulo aspectos económicos, como el presupuesto y la financiación, vitales para la ejecución de este proyecto.

9.1 PRESUPUESTO

La comunidad rural proveerá los materiales empleados para la construcción y la mano de obra para realizar la construcción en colaboración con miembros de Project Zimbabwe. Es posible, que se produzca algún gasto para conseguir ciertos materiales, maquinaria o servicios de construcción, pero no es previsible debido a las comunicaciones con la comunidad.

No obstante, se va a realizar el presupuesto del proyecto. Tras múltiples intentos de contacto con empresas de servicios de construcción o proveedoras de materiales cercanas a la zona, no se ha obtenido ningún presupuesto acerca del valor de estos servicios en Zimbabwe. En caso de necesidad estos presupuestos se pedirán desde Zimbabwe, días previos a la construcción, en un tiempo posterior al cierre de este proyecto. Por tanto, se recogerá el presupuesto de los servicios y materiales en España.

Se debe tener en cuenta que el resultado de presupuesto puede variar y probablemente sea inferior en Zimbabwe.

A continuación, se muestran los presupuestos de los servicios y materiales que se van a emplear.

- **Desbroce:** El desbroce del vaso es necesario tanto para poder realizar sin impedimentos la posterior zanja para la construcción de la estructura como para evitar arbustos, piedras, ramas o cualquier material que pueda causar una rotura en la lona de polietileno que se va a colocar para impermeabilizar el vaso y con ello que ocurran filtraciones en el vaso.

Servicio	Precio unitario (€/m ²)	Unidades (m ²)	Precio total (€)
Desbroce	0,12	6370	764,4

Tabla 56: Presupuesto de desbroce. Fuente: [32]

- **Zanja:** La zanja se va a realizar del tamaño de la base de la estructura, para así construir la estructura sobre el macizo rocoso, que tiene propiedades impermeables. Al realizar la zanja también se evitan filtraciones por debajo de la presa si hubiera alguna irregularidad en el macizo rocoso ya que la lona de polietileno cubre a mayor altura y no permite filtraciones en esa zona.

Se aproxima un volumen de 1 882 considerando un ancho de la base de 26,4, un largo de 71,3 y una profundidad media de 1m, teniendo en cuenta que la profundidad de la zanja va a ser distinta por la diferencia de cota del terreno.

Servicio	Precio unitario (€/m ³)	Unidades (m ³)	Precio total (€)
Zanja	2,10	1 882	3 952

Tabla 57: Presupuesto de zanja. Fuente: [33]

- **Construcción de la estructura:** La construcción se va a hacer de la estructura de dimensionada y dependerá de los elementos que conforman la estructura.

En primer lugar, el núcleo de arcilla, siguiendo las dimensiones de la estructura tendrá un volumen de 673 m^3 .

Elemento	Precio unitario (€/m ³)	Unidades (m ³)	Precio total (€)
Núcleo de arcilla compacta	21,17	673	14 604

Tabla 58: Presupuesto de arcilla. Fuente: [34]

En segundo lugar, los precios de los espaldones de escollera, se valora en recubrimiento de superficie tapada. Las piedras comprenderán el volumen marcado en el dimensionamiento. A partir de las dimensiones de la estructura se obtiene unas superficies de las paredes de 314 tanto en aguas arriba como en aguas abajo.

Elemento	Precio unitario (€/m ²)	Unidades (m ²)	Precio total (€)
Espaldones de escollera	10	628	6 280

Tabla 59: Presupuesto de escollera. Fuente [35]

En tercer lugar, aliviadero de hormigón, siguiendo su dimensionamiento tendrá una superficie de $1,2 \text{ m}^2$ con una longitud de 13 m que forma un volumen de $15,6 \text{ m}^3$.

Elemento	Precio unitario (€/m ³)	Unidades (m ³)	Precio total (€)
Hormigón del aliviadero	50	15,6	780

Tabla 60: Presupuesto del hormigón. Fuente: [36]

- **Lona impermeable de polietileno:** La lona de polietileno, cubrirá la totalidad del vaso cuya superficie es 6370 m² para evitar filtraciones en la superficie. Debido a la gran superficie que se requiere cubrir, va a ser necesario utilizar múltiples lonas de gran tamaño.

Elemento	Precio unitario (€/m ²)	Unidades (m ²)	Precio total (€)
Hormigón del aliviadero	0,52	6370	3 312

Tabla 61: Presupuesto de lona de polietileno impermeable. Fuente: [37]

A continuación, se muestra el presupuesto total para llevar a cabo el proyecto.

Elemento	Precio total (€)
Desbroce	764,4
Zanja	3 952
Núcleo de arcilla	14 604
Espaldones de escollera	6 280
Aliviadero de hormigón	780
Lona de polietileno	3 312
Total	29 692,4

Tabla 62: Presupuesto total. Fuente propia

El presupuesto obtenido es elevado, pero se debe tener en cuenta que es un presupuesto basado en los precios de España, que son significativamente superiores a los de los de Zimbabwe. A su vez, este presupuesto no se adapta al proyecto en cuestión, ya que está previsto contar con materiales y mano de obra de la comunidad rural de la localidad.

9.2 FINANCIACIÓN

La financiación que va a recibir este proyecto va a estar basado en donaciones y realización de distintas actividades o eventos benéficos que los integrantes de la ONG Project Zimbabwe van a realizar. La recolección final de todos los fondos irá destinado a varios proyectos que se van a realizar para la comunidad y se repartirá en base a la importancia y el presupuesto de cada proyecto.

Las actividades de financiación que se han realizado son las siguientes:

- **Venta de camisetas y pulseras:** Ha consistido en el diseño y producción de camisetas y pulseras para posterior venta de estas a 15€ y 2€ respectivamente. Los miembros de la ONG que buscaron financiación el año anterior para ya impulsaron esta idea y, por tanto, se han podido vender camisetas sobrantes y realizar un diseño parecido al establecido el año anterior. La distribución de camisetas y pulseras también sirve para la promoción del proyecto y llegue a más personas que quizá puedan aportar también.
- **Sorteo:** Se han producido sorteos, cuyo premio ha sido ropa de marcas colaboradoras que se han involucrado en este proyecto conjunto. El sorteo se ha producido a través de redes sociales, para obtener un mayor alcance.
- **Torneos de pádel:** Se han producido torneos de pádel benéficos, en los que se planteaba un premio de una de las marcas colaboradoras para la pareja ganadora. La entrada tenía un coste de 20€.
- **Donaciones externas:** A parte de todas las actividades realizadas, se han producido donaciones por parte de personas cercanas a la organización o familiares de miembros de ella. También, se ha tratado de conseguir donaciones de empresas y existe la posibilidad de que se produzcan previo a la ejecución de los proyectos.

La financiación ha sido tarea difícil, principalmente por la dificultad de realizar eventos con multitud de gente, con las restricciones que han existido durante el año 2021 debido a la pandemia COVID-19. Esto ha conllevado muchas limitaciones que han impedido realizar varias actividades. A pesar de ello, cabe la posibilidad de extender el plazo de realización

del proyecto a junio y julio de 2022, por lo que se podrán producir mayores aportaciones para así tratar de financiar todos los proyectos que se pretenden llevar a cabo.

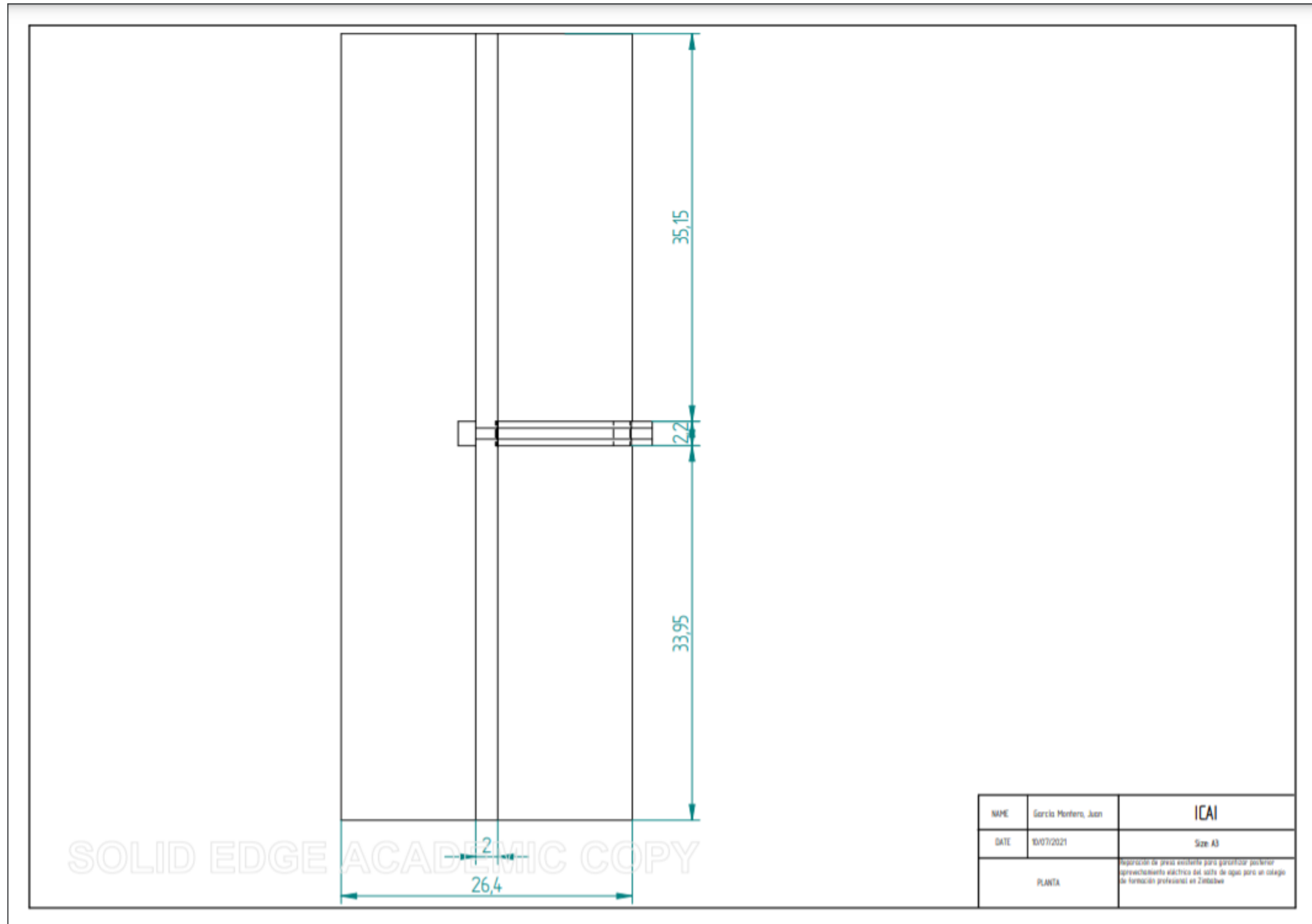
10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Profesor online, «Centrales hidroeléctricas».
- [2] Structuralia, «Obras hidráulicas,» 2018.
- [3] Unicef, «Progress on drinking water, sanitation and hygiene,» 2017.
- [4] WWAP, «Perspectivas de la Energía en el Mundo 2014 Base de datos sobre el acceso a la electricidad,» 2015.
- [5] Naciones Unidas, «Objetivos de desarrollo sostenible,» 2015.
- [6] Datosmacro, «Zimbabue religiones».
- [7] Wikipedia, «Economía de Zimbabue».
- [8] Wikipedia, «Mashonaland central districts».
- [9] Grupo Formación de Empresas Eléctricas, Centrales hidroeléctricas 1, Paraninfo S.A., 1994.
- [10] Wikipedia, «Presa de Mutange,» 2020.
- [11] ARQ Consulting Engineers, «Mukurumudzi Dam,» 2015.
- [12] The Water Project, «Sand dam».
- [13] Topographic map, «Topographic-map,» [En línea]. Available: <https://es-cr.topographic-map.com/maps/a7nl/Mount-Darwin/>.

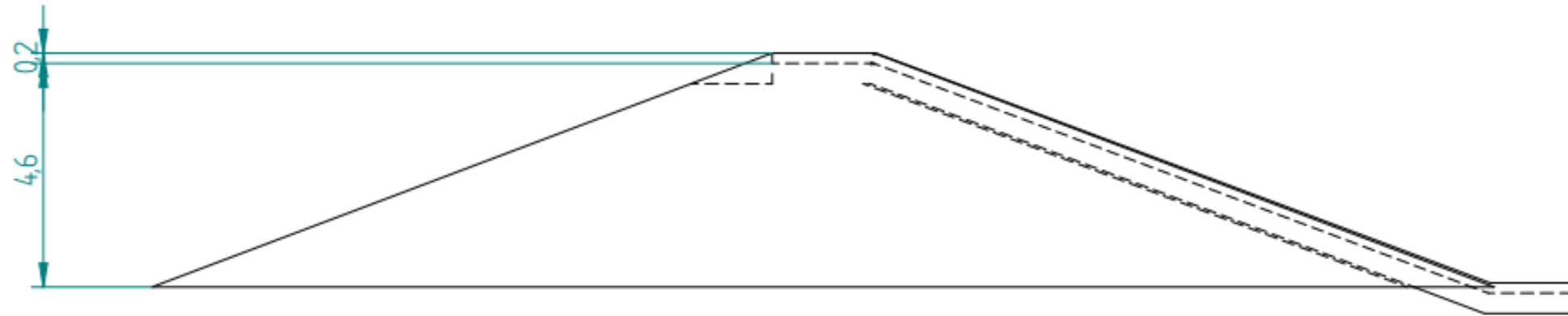
- [14] Department of the Surveyor-General, Causeway, «Rhodesia,» The Surveyor-General, Salisbury, 1975.
- [15] EuDASM, «The soil maps of Africa,» [En línea]. Available: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/EuDASM/Africa/lists/y3_czw.htm.
- [16] Department of the Surveyor-General, Causeway, «Provisional Soil Map of Zimbabwe Rhodesia,» 1979.
- [17] J. Wiles, «Provisional Geological Map of Rhodesia,» The Surveyor-General, Salisbury., 1971.
- [18] J. M. García, G. Delgado, M. S. Marañón, J. Parraga y R. Delgado, «Los suelos rojos en las principales clasificaciones,» GEOGACETA, 1996.
- [19] FAO, «Guidelines of soil description,» Rome, 2006.
- [20] P. Ramírez y L. Alejano, «Mecánica de rocas: fundamentos e Ingeniería de Taludes,» 2004.
- [21] D. M. D. S. Neves-Margarida, Evaluación de las propiedades geotécnicas, Minería y geología, 2012.
- [22] Weather Spark, «El clima promedio en Mount Darwin».
- [23] Weather Atlas, «Previsión meteorológica y clima mensual,» 2021.
- [24] Meteonorm.
- [25] Weather & Climate, «Weather & Climate,» [En línea]. Available: <https://weather-and-climate.com/average-monthly-Humidity-perc,Harare,Zimbabwe>.

- [26] Velasco-Molina, «Particularización al método de coeficientes de escorrentía,» 1991.
- [27] «Guía técnica de seguridad de presas 2,» Comité nacional español de grandes presas.
- [28] R. Chifurira, «Modeling extreme maximum annual rainfall for Zimbabwe,» 2014.
- [29] A. Rocha-Felices, «Hidráulica de tuberías y canales».
- [30] IDC, «Piedra de escollera».
- [31] J. Estaire, «Cálculos de estabilidad al deslizamiento en presas de materiales sueltos,» 2017.
- [32] «Jardín y desbroces».
- [33] Grupo Tragsa, «Tarifas Tragsa Excavación,» 2016.
- [34] gobex, «base de precios de construcción del gobierno de Extremadura».
- [35] Excavaciones bugar, «Precio de escollera».
- [36] Presupuestos, «Presupuestos de hormigón,» 2019.
- [37] Generador de precios, «Lona de polietileno».
- [38] R. Ruano Pérez, «Salto hidráulico en Zimbabwe,» 2020.

ANEXO I: PLANOS DE ALIVIADERO Y PRESA

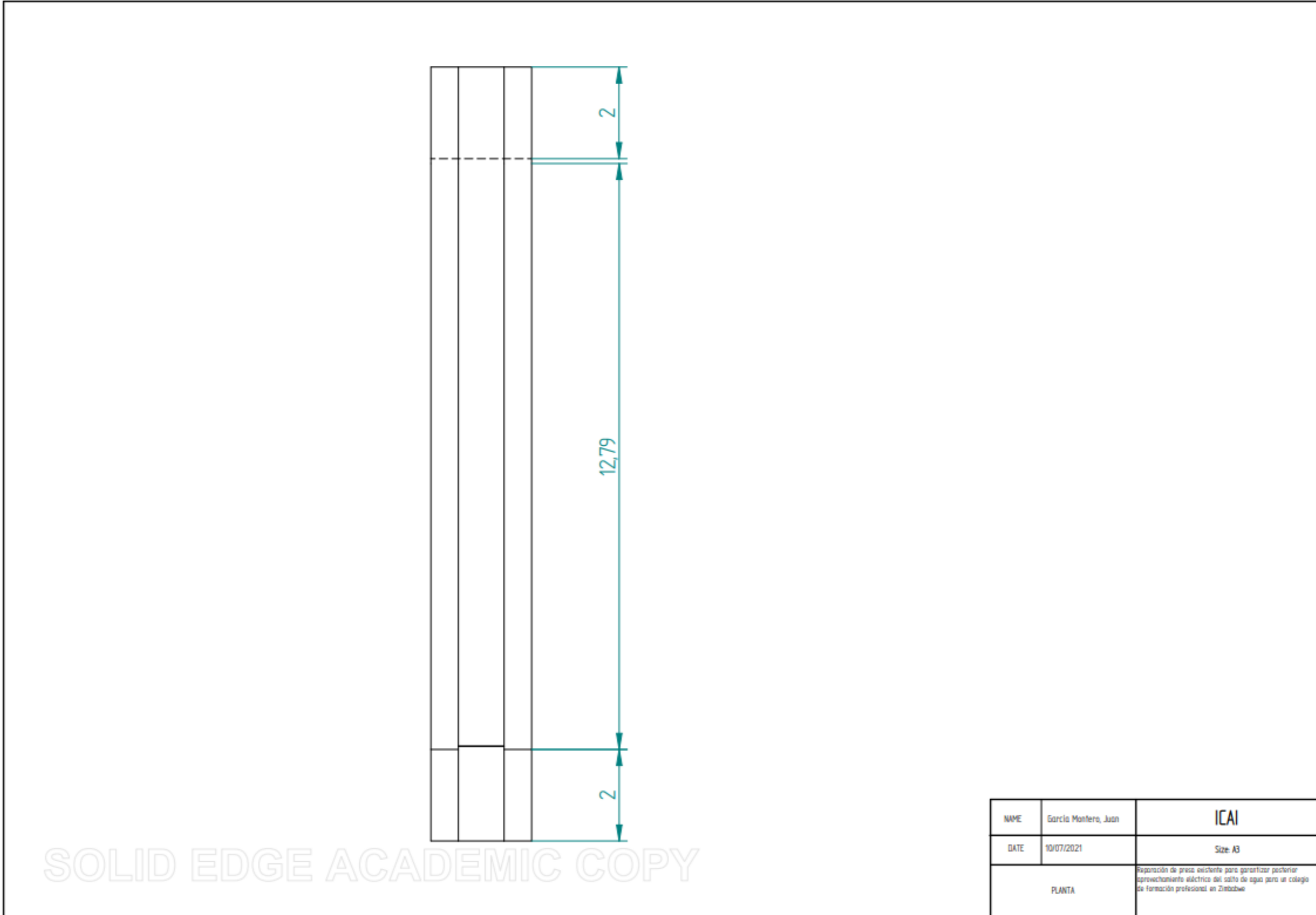


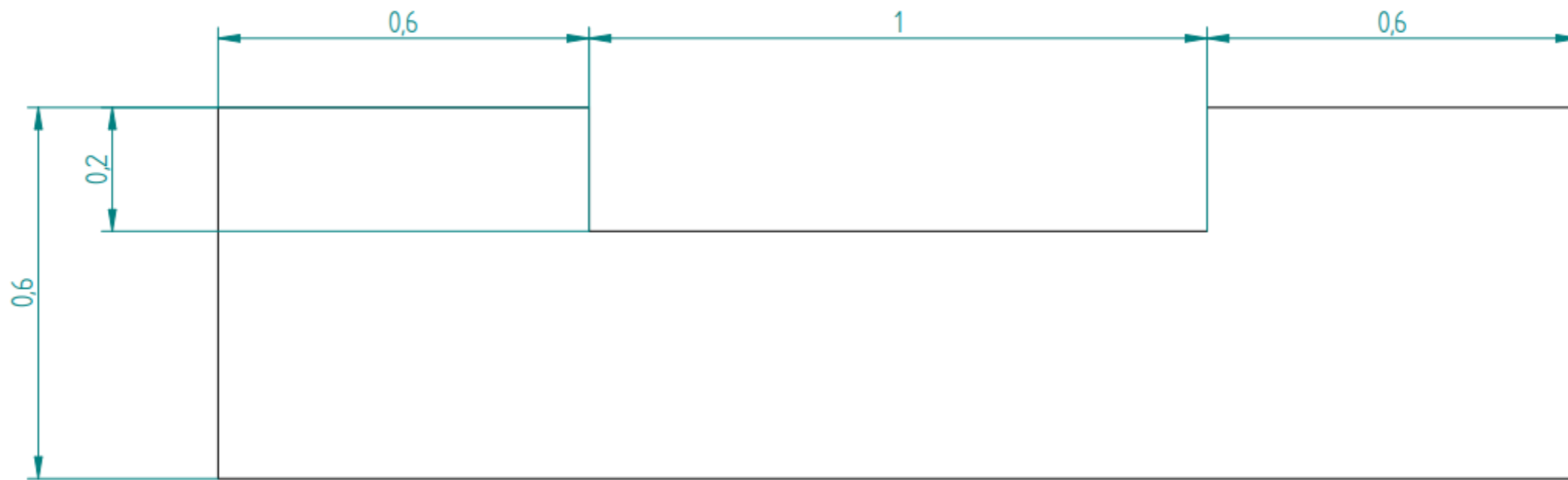
NOME	García Montero, Juan	ICAI
DATE	10/07/2021	Size A3
PLANTA	<small>Reparación de presa existente para garantizar posterior aprovechamiento eléctrico del salto de agua para un colegio de formación profesional en Zimbabwe</small>	



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

NOME	García Montero, Juan	ICAI
DATE	10/07/2021	Size: A3
PLANTA	Reparación de presa existente para garantizar posterior aprovechamiento eléctrico del salto de agua para un colegio de formación profesional en Zimbabwe	





SOLID EDGE ACADEMIC COPY

NAME	García Montero, Juan	ICAI
DATE	10/07/2021	Size: A3
PLANTA	Reparación de presa existente para garantizar posterior aprovechamiento eléctrico del salto de agua para un colegio de formación profesional en Zimbabwe	