



**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO Y REPARACIÓN DE UNA PRESA  
EXISTENTE Y SIN FUNCIONAMIENTO EN UNA  
COMUNIDAD RURAL EN MT. DARWIN, ZIMBABUE**

Autor: Antonio García del Valle

Director: Manuel Moreno García

Madrid

Agosto de 2020

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

**Diseño y reparación de una presa existente y sin funcionamiento en una comunidad rural en Mt. Darwin, Zimbabue**

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

curso académico 2019/2020 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Antonio García del Valle

Fecha: 25/ 08/ 2020

Autorizada la entrega del proyecto

**EL DIRECTOR DEL PROYECTO**



Fdo.: Manuel Moreno García

Fecha: 25/ 08/ 2020



**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO Y REPARACIÓN DE UNA PRESA  
EXISTENTE Y SIN FUNCIONAMIENTO EN UNA  
COMUNIDAD RURAL EN MT. DARWIN, ZIMBABUE**

Autor: Antonio García del Valle

Director: Manuel Moreno García

Madrid

Agosto de 2020

# Agradecimientos

A mi familia.

# **DISEÑO Y REPARACIÓN DE UNA PRESA EXISTENTE Y SIN FUNCIONAMIENTO EN UNA COMUNIDAD RURAL EN MT. DARWIN, ZIMBABUE**

**Autor: García del Valle, Antonio**

Director: Moreno García, Manuel.

Entidad Colaboradora: ICAI– Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

El proyecto consiste en realizar el diseño de una presa, que sustituirá otra que realizó la comunidad y que, por errores de construcción, no se ha conseguido poner en funcionamiento. Dada la escasa información de la zona en la que se proyecta la presa, se realiza también un extenso estudio de la zona. Todo para seleccionar el tipo de presa que mejor se adapta a la zona.

**Palabras clave:** Presa, mampostería, Zimbabwe, ODS.

### **1. Introducción**

El agua es un elemento esencial para el mantenimiento de la vida, sin ella no seríamos capaces de vivir. A pesar de ser tan necesaria no se accede con la misma facilidad en todo el mundo. Cuando finalice la construcción de la presa, esta podrá albergar agua suficiente para abastecer al menos a 2000 personas.

El agua no solo tiene importancia como fluido vital, son muchas las tareas que se podrá realizar de una manera más adecuada tras la instalación de la presa.

### **2. Definición del proyecto**

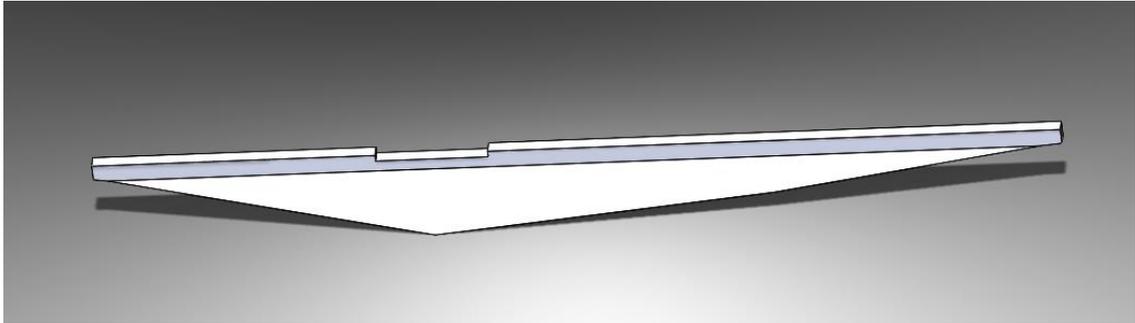
El proyecto que se presenta en este documento no solo tiene una parte de diseño, cuenta además con una parte de ejecución del diseño. Tras las estimaciones pertinentes realizadas el proyecto se llevará a cabo en una pequeña comunidad rural al norte de Mount Darwin, Zimbabwe. De esta manera al construir el proyecto diseñado, este tiene una utilidad real.

### **3. Descripción del método empleado**

Antes de comenzar con el diseño de la presa, se realizó un estudio del país con objeto de comprender de una manera más fiel la situación por la que estaban pasando los zimbabuenses. Tras esta primera toma de contacto con la cultura y costumbres del país

fue preciso realizar un estudio exhaustivo del emplazamiento seleccionado para la construcción de la presa. Al ser reducida la información disponible, se han basado gran parte de los cálculos en aproximaciones y estimaciones todas ellas justificadas.

#### **4. Resultados**



*Ilustración 1. Modelado 3D de la presa*

La presa que se plantea en este documento se trata de una solución a caballo entre una presa superficial y una presa subterránea. De esta manera, se asegura que cuando la presa no cuente con agua en la superficie los miembros de la comunidad puedan realizar un pequeño pozo y extraer el agua almacenada en la arena.

Han sido varios los diseños considerado hasta encontrar aquel que cumplía con todos los requisitos de seguridad. Es imprescindible que una construcción de este tipo cuente con factores de seguridad elevados ya que así se asegura que soporte cargas superiores a las consideradas en el estudio.

#### **5. Conclusiones**

Mejorar el acceso al agua la comunidad, no solo repercutirá en las condiciones de vida los locales, sino que supondrá al mismo tiempo un elemento dinamizador de la economía. Los miembros de la comunidad podrán centrarse en otras actividades para la consecución de metas personales al dejar de suponer la búsqueda de agua una condición esencial para la supervivencia.

# **DESIGN AND REPAIR OF AN EXISTING AND NON-FUNCTIONING DAM IN A RURAL COMMUNITY IN MT. DARWIN, ZIMBABWE**

**Author: García del Valle, Antonio**

Supervisor: Moreno García, Manuel.

Collaborating entity: ICAI- Universidad Pontificia Comillas

## **ABSTRACT**

The project main idea is to design a dam, which will replace another one built by the community. The dam the community built has not been put into operation due to construction errors. Given the scarce information about the conditions in the area where the dam should be built, an extensive study of the zone is also carried out. This study was necessary to gather all the information needed to select the type of dam which was best suits the area.

**Key words:** dam, masonry, Zimbabwe, SDGs.

### **1. Introduction**

Water is an essential element for the maintenance of life, without this resource we would not be able to live. Although it is so necessary, its access around the world is not the same. Once the construction of the dam is completed, it will be able to hold enough water to supply at least 2000 people.

Water is not only important as a vital fluid, there are many tasks that will be carried out more adequately after the installation of the dam.

### **2. Project definition**

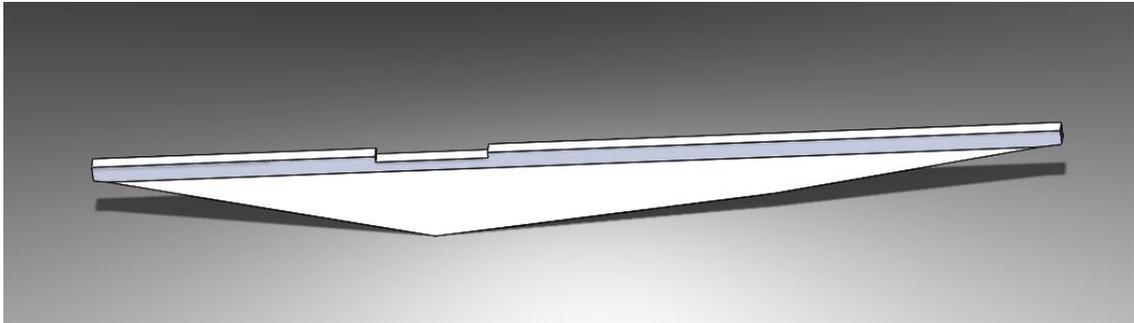
The project developed in this document has both a design part and constructive part. Following all the considerations assumed, the project will be carried out in a small rural community north of Mount Darwin, Zimbabwe. The project will have a real utility as it will be executed.

### **3. Description of the method used**

In order to understand more accurately the situation Zimbabweans were going through, before starting with the design of the dam, a study on the country's culture was carried out. After this first approach to the culture and customs of the country, an exhaustive study of the site selected for the construction of the dam was carry out. A large part of

the calculations was based on approximations and estimates, all of which were justified, as a consequence of the scarce information available.

#### **4. Results**



*Ilustración 2. 3D model of the dam*

The dam proposed is a solution between a surface dam and an underground dam. It ensures that when the dam has no water on its surface, community members can dig a small well to extract the water stored in the sand.

Several designs were considered until the one that met all the safety requirements was found that. It is essential to have high safety factors in a construction of this type as it can ensure that the structure can withstand higher loads than those considered in the study.

#### **5. Conclusions**

Improving the community's access to water will not only have an impact on the locals' living conditions but it will also be a driving force of the economy. Community members will be able to focus on other activities for the achievement of personal goals, as gathering water will no longer be an essential condition for survival.

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>11</b>
1.1 Motivación del proyecto.....	13
1.2 Objetivos del proyecto.....	15
1.3 Metodología.....	18
1.4 Recursos .....	19
<b>Capítulo 2. Contexto del proyecto .....</b>	<b>21</b>
2.1 Contexto Geográfico .....	21
2.2 Sociedad y Cultura .....	23
2.3 Contexto económico.....	26
2.4 Contexto Político.....	28
<b>Capítulo 3. Estado de la Cuestión .....</b>	<b>33</b>
3.1 Presa superficial .....	36
3.1.1 Presa de materiales sueltos.....	37
3.1.2 Presa de fábrica .....	37
3.2 Presa subterránea.....	38
3.2.1 Presa subterránea de arcilla.....	40
3.2.2 Presa subterránea de mampostería.....	40
3.2.3 Presa subterránea arena .....	42
3.3 ventajas e inconvenientes .....	43
3.4 Ejemplos constructivos.....	47
3.4.1 Presa de mampostería en Kokuselei, región de Turkana (Kenia).....	48
3.4.2 Proyecto constructivo presa de tierra en el Kibish (sur de Etiopía).....	50
3.4.3 Proyecto construcción presa de arena en Itatini.....	52
<b>Capítulo 4. Estudio del terreno .....</b>	<b>55</b>
4.1 Emplazamiento.....	56
4.2 Demanda.....	61
4.3 Topografía .....	67
4.4 Estudio Geológico .....	72
4.5 Estudio Geotécnico.....	77

4.6	Clima .....	81
4.6.1	Evaporación .....	82
4.7	Estudio Hidrológico .....	86
4.7.1	Datos .....	86
4.7.2	Aportaciones.....	88
4.7.3	Avenidas .....	91
<b>Capítulo 5. Cálculos .....</b>		<b>101</b>
5.1	Cálculos Hídricos .....	104
5.1.1	Perfil transversal.....	104
5.1.2	Curvas de volumen y superficie.....	105
5.1.3	Cotas.....	108
5.1.4	Aliviadero .....	114
5.1.5	Coronación.....	114
5.1.6	Taludes .....	117
5.1.7	Pendiente de la base.....	119
5.1.8	Vértice resistente .....	119
5.1.9	Volumen.....	119
5.2	Cálculos estructurales.....	123
5.2.1	Cálculo de empujes.....	126
5.2.2	Estabilidad frente al deslizamiento .....	128
5.2.3	Estabilidad frente al vuelco.....	130
5.2.4	Máxima tensión admisible del terreno .....	133
5.3	CONCLUSIÓN DE LA PROPUESTA.....	133
<b>Capítulo 6. Metodología .....</b>		<b>135</b>
<b>Capítulo 7. Plan de mantenimiento .....</b>		<b>141</b>
<b>Capítulo 8. Estudio económico .....</b>		<b>143</b>
8.1	Financiación .....	143
8.2	Presupuesto.....	144
8.3	Viabilidad .....	146
<b>Capítulo 9. Posibles mejoras .....</b>		<b>149</b>
9.1	Cerramiento perimetral embalse.....	149

9.2 Camino de acceso.....	150
9.3 Canalizaciones de agua .....	151
9.4 Potabilización del agua.....	151
<b>Capítulo 10. Conclusiones.....</b>	<b>153</b>
<b>Capítulo 11. Bibliografía.....</b>	<b>155</b>
<b>ANEXO I</b>	<b>163</b>
<b>PLANOS</b>	<b>165</b>



## *Índice de figuras*

Ilustración 1. Modelado 3D .....	6
Ilustración 2. 3D model .....	8
Ilustración 3. Representación escasez de agua. Fuente: propia .....	11
Ilustración 4. Acceso a necesidades de agua básica. Fuente: UN .....	13
Ilustración 5. Objetivos sostenibles. Fuente: Naciones Unidas .....	15
Ilustración 6. Diagrama de Gantt. Fuente: propia .....	18
Ilustración 7. Situación del país. Fuente: Mapsland .....	22
Ilustración 8. Regiones agroecologías. Fuente: FAO .....	23
Ilustración 9. Afiliación religiosa Zimbabwe. Fuente: Enciclopedia Británica .....	24
Ilustración 10. Reparto poblacional 2017. Fuente: Enciclopedia Británica .....	25
Ilustración 11. Distribución del PIB por sectores. Fuente: propia .....	27
Ilustración 12. Situación presa y Dotito. Fuente: Google Earth .....	33
Ilustración 13. Restos de la presa. Fuente: Google Earth .....	34
Ilustración 14. Tipos de presa. Fuente: propia .....	35
Ilustración 15. Presa superficial. Fuente: propia .....	36
Ilustración 16. Presa de materiales sueltos. Fuente: Ministerio agua y regadío de Kenia ..	37
Ilustración 17. Presa de superficial mampostería. Fuente: Claudio Olalla Marañón .....	38
Ilustración 18. Presa subterránea. Fuente: propia .....	38
Ilustración 19. Excavación zanja. Fuente: RAIN, n.y. ....	39
Ilustración 20. Presa subterránea de hormigón. Fuente: Sam Sam Water .....	41
Ilustración 21. Presa de arena. Fuente: propia .....	42
Ilustración 22. Presa subterránea (derecha) y de arena (izquierda). Fuente: Sam Sam Water .....	43
Ilustración 23. Presa finalizada. Fuente: UPM .....	49
Ilustración 24. Aumento capacidad de embalse. Fuente: Ana Gil Merino .....	52
Ilustración 25. Miembros de la comunidad y presa construida. Fuente: The Water Project	53

Ilustración 26. Construcciones colina Divamombe. Fuente: Google Earth .....	57
Ilustración 27. Emplazamiento y radio de acción. Fuente: Google Earth .....	58
Ilustración 28. Situación de la escuela y terreno cedido. Fuente: Google Earth .....	59
Ilustración 29. Comparación vegetación de la zona en marzo (superior) y agosto (inferior) .....	61
Ilustración 30. Incremento población de la zona. Fuente: propia.....	63
Ilustración 31. Consumo mensual estimado dentro de 25 años. Fuente: propia .....	64
Ilustración 32. Reparto necesidades agua maíz. Fuente: propia.....	65
Ilustración 33. Consumos totales. Fuente: Propia .....	66
Ilustración 34. Relieve de la zona escala 1:1000000. Fuente: Gobierno de Zimbabue.....	68
Ilustración 35. Mapa topográfico del emplazamiento. Fuente: propia .....	69
Ilustración 36. Propuesta de cerrada y zona de embalse. Fuente: propia .....	70
Ilustración 37. Cuenca y cauces. Fuente: propia .....	71
Ilustración 38. Textura del terreno del emplazamiento. Fuente: propia.....	75
Ilustración 39. Texturas para la construcción de una presa de arena. Fuente: propia .....	76
Ilustración 40. Diagrama de Mohr-Coulomb. Fuente: Wikipedia.....	78
Ilustración 41. Comparación resistencias. Fuente: RocScience .....	80
Ilustración 42. Precipitaciones 2010-2020. Fuente: World Weather Online.....	81
Ilustración 43. Temperaturas máximas y mínimas. Fuente: Weather Spark .....	82
Ilustración 44. Evaporación diaria. Fuente: propia.....	85
Ilustración 45. Precipitación media 1991-2016. Fuente: propia.....	87
Ilustración 46. Aportaciones medio por mes. Fuente: propia.....	90
Ilustración 47. Número de precipitaciones mensuales. Fuente: Weather Atlas .....	93
Ilustración 48. Perfil transversal eje de la presa. Fuente. propia .....	105
Ilustración 49. Comparación curvas embalse. Fuente: propia.....	106
Ilustración 50. Incremento aumento de cota. Fuente: propia .....	108
Ilustración 51. Elementos del vertedero. Fuente: Hidráulica de Tuberías y Canales (Arturo Rocha Felices) .....	110
Ilustración 52. Volumen del embalse. Fuente: propia .....	121
Ilustración 53. Cotas sección presa. Fuente: propia .....	124

Ilustración 54. Vista de planta de la presa. Fuente: propia.....	134
Ilustración 55. Ejemplo vallado perimetral. Fuente: Cerralba.....	149
Ilustración 56. Ejemplo camino afectado por lluvias. Fuente: Elonce .....	150



## *Índice de tablas*

Tabla 1. Comparación tipos de presas. Fuente: propia.....	47
Tabla 2. Resumen proyecto Kokuselei. Fuente: Propia.....	48
Tabla 3. Resumen proyecto Kibish. Fuente: Propia .....	51
Tabla 4. Resumen proyecto Itatini. Fuente: Propia .....	53
Tabla 5. Coordenadas del emplazamiento. Fuente: propia.....	56
Tabla 6. Reparto necesidades agua maiz. Fuente: propia.....	65
Tabla 7. Valores consumos totales. Fuente: Propia.....	67
Tabla 8. Valores macizo rocoso. Fuente: propia .....	79
Tabla 9. Parámetros evaporación media. Fuente: propia.....	84
Tabla 10. Valores evaporación. Fuente: propia.....	86
Tabla 11. Valores precipitación media 1991-2016. Fuente: propia .....	87
Tabla 12. Valores de coeficientes de escurrimientos C.....	89
Tabla 13. Valores aportación media por mes. Fuente: propia.....	90
Tabla 14. Periodos de retorno. Fuente: propia. ....	92
Tabla 15. Precipitaciones máximas. Fuente: propia.....	93
Tabla 16. Grupos hidrológicos de suelo a efectos de la determinación del valor inicial del umbral de escorrentía. Fuente: Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana ....	95
Tabla 17. Coeficiente de escorrentía según periodo de retorno. Fuente: propia .....	96
Tabla 18. Intensidades según periodo de retorno. Fuente: propia.....	98
Tabla 19. Parámetros para el cálculo de los caudales de avenida. Fuente: propia .....	98
Tabla 20. Caudales máximos. Fuente: propia.....	99
Tabla 21. Cotas. Fuente: propia.....	105
Tabla 22. Datos curvas de embalse. Fuente: propia .....	107
Tabla 23. Datos incremento aumento de cota. Fuente: propia .....	109
Tabla 24. Calado vertiente y el Nivel Avenida de Proyecto. Fuente: propia .....	112
Tabla 25. Calado vertiente y el Nivel Avenida de Extrema 1. Fuente: propia.....	113

---

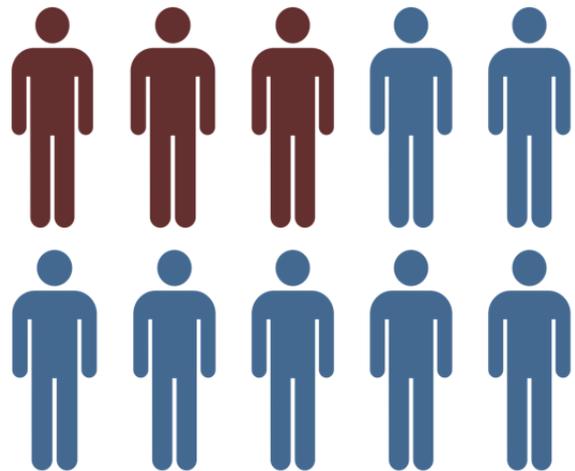
Tabla 26. Calado vertiente y el Nivel Avenida de Extrema 2. Fuente: propia.....	113
Tabla 27. Selección dimensión aliviadero. Fuente: propia.....	114
Tabla 28. Parámetros calculo resguardo. Fuente: propia.....	116
Tabla 29. Recopilación de cotas. Fuente: propia.....	117
Tabla 30. Taludes. Fuente: propia .....	118
Tabla 31. Evaporación mensual. Fuente: propia .....	121
Tabla 32. Comparación excedente con volumen del embalse. Fuente: propia.....	122
Tabla 33. Estimación caudal excedente. Fuente: propia .....	123
Tabla 34. Solicitaciones. Fuente: propia .....	128
Tabla 35. Componentes según cota lámina de agua. Fuente: propia.....	129
Tabla 36. Comprobación deslizamiento. Fuente: propia.....	130
Tabla 37. Momentos. Fuente: propia.....	131
Tabla 38. Momentos debido a la fuerza normal. Fuente: propia.....	132
Tabla 39. Tensiones en los pies de la presa. Fuente: propia.....	132
Tabla 40. Comprobación tensión admisible. Fuente: propia.....	133
Tabla 41. Precios asociados con el desbroce. Fuente: Tragsa.....	145
Tabla 42. Precios asociados con la realización de la zanja. Fuente: Tragsa.....	145
Tabla 43. Precios asociados con la construcción del dique. Fuente: Tragsa.....	145
Tabla 44. Precios totales. Fuente: Propia .....	146

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

"Olvidamos que el ciclo del agua y el ciclo de la vida son uno mismo"

Con esta cita Jacques Y. Cousteau nos invita a reflexionar sobre la importancia del agua para el ser humano. La facilidad con la que generalmente se obtiene el agua en los países desarrollados, ha podido distorsionar nuestra percepción sobre este recurso hasta el punto de olvidar la importancia que tiene para el mantenimiento de la vida en la tierra. El agua es un elemento esencial para la realización de procesos biológicos y como regulador de la temperatura terrestre.

A pesar de la importancia que el agua tiene para la vida, 3 de cada 10 personas carecen de acceso a servicios de agua potable seguros [UN ODS] y más del 40% de la población mundial están directamente afectados por la escasez de agua. Además, debido a los efectos del cambio climático se prevé que este porcentaje aumente en las próximas décadas, lo que hace notable la necesidad de tomar medidas si se quiere revertir esta situación.



*Ilustración 3. Representación escasez de agua.*

*Fuente: propia*

En las zonas de la tierra donde el agua escasea, sus habitantes se ven obligados a consumir agua de dudoso estado. Al ser un recurso tan escaso, su empleo en tareas domésticas como la higiene o en el riego de cultivos es limitado al considerarlo como un desperdicio. La ingesta de agua contaminada unido a la falta de higiene da lugar a la proliferación de enfermedades como la diarrea en zonas donde el agua es limitada. Las personas que contraen enfermedades diarreicas, debido a la deshidratación que estas enfermedades conllevan requieren una ingesta de agua superior; algo que no es posible y acaba provocándoles la muerte. Se estima

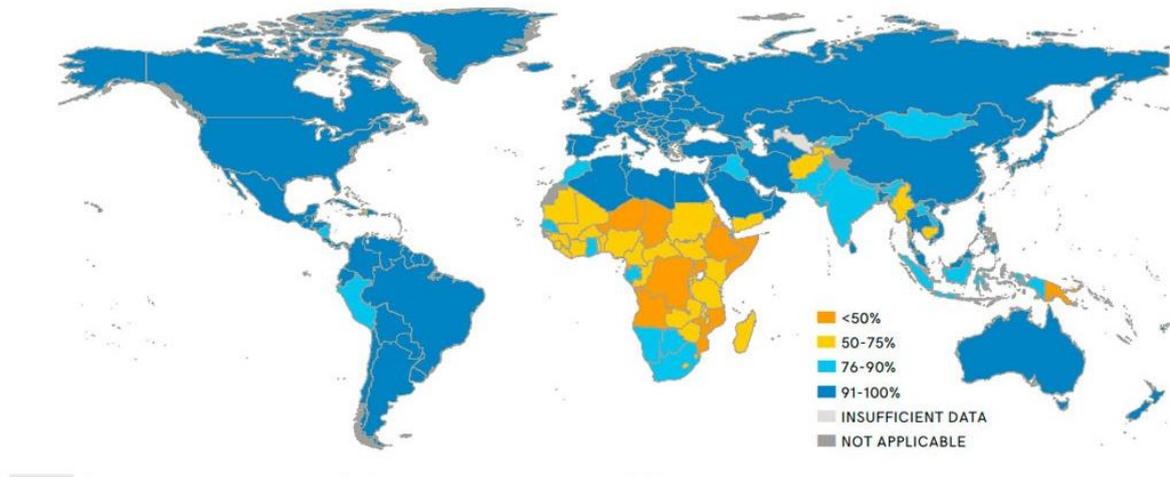
que cada día mueren en el mundo 1000 niños debido a enfermedades diarreicas debido a la falta de higiene en los accesos al agua [UN ODS], lo que supone la muerte de un niño cada dos minutos. En muchos casos la contaminación del agua puede evitarse con la construcción de letrinas, reduciendo el número defecaciones al aire.

En su encíclica Laudato Si, el Papa Francisco exponía que *“el acceso al agua potable y segura es un derecho humano básico, fundamental y universal, porque determina la sobrevivencia de las personas, y por lo tanto es condición para el ejercicio de los demás derechos humanos”*. En 2002 el comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas ya exponía en su Observación General el papel tan importante que juega el agua para la vida. A su vez en dicho documento se hacía ver que obtener un acceso adecuado a este recurso natural es imprescindible para vivir dignamente, ya que es el paso previo para la consecución de derechos humanos como el derecho a la vida o la dignidad humana (ONU02).

El agua también es imprescindible para la actividad económica de los países siendo necesaria para el desarrollo de sectores como la agricultura. El derecho a la alimentación no es negociable. Alimentar a la creciente población y reducir el hambre sólo será posible si los rendimientos agrícolas se pueden aumentar de manera significativa y sostenible [FAO]. La agricultura tiene una gran dependencia del agua, elemento imprescindible para el crecimiento de las cosechas. Sin el agua, los agricultores no pueden cultivar los alimentos necesarios para el sustento de la población. Esto sin duda supone un lastre mayor para las comunidades más pobres ya que en muchos casos sus economías tienen una fuerte dependencia de la agricultura.

Del total de agua disponible en la tierra, una cantidad muy pequeña sirve para consumo humano, ya que el agua potable solo constituye el 3% del total. Cabe destacar que en muchos casos el agua no se encuentra en condiciones óptimas para el consumo humano o los procesos necesarios para su obtención imposibilitan su extracción, suponiendo un 1% del total de agua la que se puede extraer de manera directa. Además, el agua no está repartida equitativamente en el mundo, como ocurre con otros recursos hay países que gozan de

suministros de agua prácticamente infinitos mientras en otras partes del mundo apenas hay la suficiente para garantizar la supervivencia de sus habitantes.



*Ilustración 4. Acceso a necesidades de agua básica. Fuente: UN*

Aunque se hable de escasez de agua, es necesario remarcar que el agua dulce en la tierra es suficiente para que todos los seres vivos podamos sobrevivir. Según Enrique Castellanos, ingeniero con más de 16 años de ejercicio de la ingeniería en una compañía líder del sector, plantea que el reparto del total de agua de lluvia en un año entre el número de habitantes de la tierra equivale a más de 60.000 litros por persona al día. Si se tiene en cuenta que el consumo de agua medio en la Unión Europea es de 120 litros por persona al día, se puede determinar que el problema radica en la gestión de este recurso. Es por ello por lo que la construcción de elementos que puedan asegurar la perpetuación del agua a lo largo de todo el año es de gran importancia.

## **1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO**

Este proyecto se desarrollará en colaboración con la ONG local Child Future África (CFA, en adelante). La ONG, nace con el propósito de mejorar la calidad de vida de la población asentando en tres pilares fundamentales: acceso al agua, educación para formar el futuro y la agricultura como actividad para obtener alimentos y conseguir ser autosuficientes. Para

alcanzar estos objetivos, CFA lleva operando en la zona desde 2002 liderando proyectos que favorezcan el desarrollo de la población local hasta alcanzar la meta final de convertirse en autosuficientes. Además, dirige el orfanato local, institución que permite mejorar la vida de alrededor de 30 niños proporcionándoles alojamiento y educación. Dada su integración en la zona, la ONG conoce perfectamente los problemas de la comunidad. CFA será de gran ayuda para entender lo que la comunidad realmente demanda e integrar sus necesidades en el proyecto.

Este trabajo no solo se centrará en la parte de diseño de la presa, sino que también lleva consigo una fase constructiva. Finalizada la fase constructiva, será necesario formar a la comunidad en las técnicas necesarias para el mantenimiento de la presa. Una vez el proyecto haya concluido, este cobrará una utilidad real en la comunidad, al proporcionar a la comunidad las herramientas necesarias para almacenar agua y así poder mejorar su calidad de vida. Saber que el proyecto tendrá una utilidad real es una motivación más para tratar de presentar la mejor solución posible. Todo con la esperanza que cuando concluya el proyecto, este podrá mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

## 1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO



*Ilustración 5. Objetivos sostenibles. Fuente: Naciones Unidas*

Dada la naturaleza del proyecto, su principal objetivo queda alineado a la perfección con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6: garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible. Cuando la presa se construya, la comunidad local tendrá acceso a una fuente de agua potable durante todo el año con independencia relativa del nivel de lluvias presente en un momento dado. Esta agua, procedente de lluvias y que actualmente es desperdiciada, podría ser eficientemente gestionada al construir una presa. Además, esta servirá como una barrera disminuyendo la erosión en el terreno, provocada por la manera intensa y repentina con la que se manifiestan las lluvias.

Al mejorar las condiciones de acceso al agua de la zona pueden darse nuevas conductas en cuanto al uso de este recurso natural. Se deberá promover un consumo equilibrado y garantizar el acceso al agua de toda la población.

Todas las acciones que tengan lugar en la zona deberán haber sido consensuadas previamente por la comunidad para asegurar que su bienestar no se vea comprometido. Trabajar de forma conjunta con la comunidad local será imprescindible para la correcta ejecución del proyecto.

Su participación en la construcción de la presa puede ser de gran ayuda para recalcar factores que se hayan podido pasar por alto durante la etapa de diseño. Esta forma de trabajo también servirá para mejorar el grado de aceptación del proyecto, en la medida en que se involucre a la comunidad en la toma de decisiones, mayor será el sentimiento hacia la presa como algo propio.

Por otra parte, con la ejecución del proyecto también se cumplirán, aunque de manera indirecta, otros objetivos. A continuación, se hace una reflexión de las implicaciones más destacadas:

### **Hambre cero**

El objetivo final del proyecto es proporcionar un acceso continuo al agua durante todo el año. Esto, indudablemente mejorará las técnicas de regadíos y por tanto la productividad del sector agrícola también se verá favorecida. La comida será más abundante y de calidad. Incluso podrán convertirse en una comunidad autosuficiente, siendo capaz de producir todo para su sustento. En caso de que generen más productos de los que necesiten, estos podrán ser vendidos a comunidades cercanas. De esta forma, se podrá ofrecer alimentos de calidad y a un precio asequible a una porción de la población mayor. El excedente de productos también puede ser almacenado para usarse en épocas de escasez.

### **Salud y bienestar**

Mejorar la red hídrica de la zona, aumentando los accesos al agua disponible, reducirá la cantidad de enfermedades transmitidas por el agua ya que no será necesario el consumo de agua de dudoso estado. Además, al poder disponer de más agua, la comunidad podrá aumentar la higiene y saneamiento reduciendo notablemente el contagio. Así mismo, al poder acceder al agua más fácilmente, los miembros de la comunidad no necesitarán realizar largas caminatas para obtener agua.

### **Educación de calidad**

Uno de los lugares dentro de la comunidad donde el agua es imprescindible es en la escuela de agricultura. En esta institución se le da continuidad a la educación de los jóvenes formándolos en técnicas de cultivo. El agua proveniente de la presa será necesaria para regar los campos de la escuela.

### **Igualdad de genero**

Las mujeres son normalmente las encargadas de la recolección del agua. Al disponer de un acceso cercano a la comunidad, no necesitarán dedicar gran parte de su tiempo en llevar agua a casa. Podrán usar este tiempo para desarrollar actividades que impliquen su crecimiento personal y finalmente obtener una mayor presencia en la sociedad. Además, por razones de higiene, las niñas no pueden acudir a la escuela cuando tienen el periodo. Proporcionar a la comunidad agua repercutirá en el saneamiento y consecuentemente las niñas podrán acudir a la escuela con más regularidad.

### **Trabajo decente y crecimiento económico**

Junto con el centro de agricultura, se estará promoviendo la creación de puestos de trabajo en la comunidad. Se necesitará gente durante su construcción y para el mantenimiento cuando el proyecto concluya. Al formar a jóvenes en agricultura, la zona experimentará un crecimiento económico ya que estos serán capaces de desarrollar un trabajo técnico y proporcionar un salario adicional en sus casas. Las cosechas serán cada vez más abundantes lo que dará paso a comerciar con comunidades cercanas.

### 1.3 METODOLOGÍA

Tareas	Inicio	Final	01-Dec-19	15-Dec-19	01-Jan-20	15-Jan-20	01-Feb-20	15-Feb-20	01-Mar-20	15-Mar-20	01-Apr-20	15-Apr-20	01-May-20	15-May-20	01-Jun-20	15-Jun-20	01-Jul-20	15-Jul-20	01-Aug-20	15-Aug-20
Busqueda de financiación	01-12-19	01-06-20																		
Estudio de soluciones	01-01-20	01-03-20																		
Diseño del proyecto	01-02-20	01-06-20																		
Implicaciones sociales y ecológicas	01-03-20	01-06-20																		
Presentación del proyecto	15-06-20	15-06-20																		
Implantación del proyecto	01-07-20	15-08-20																		

Ilustración 6. Diagrama de Gantt. Fuente: propia

La parte constructiva del proyecto dependerá directamente de las aportaciones recibidas. De ahí que este paso sea tan importante y comprenda un lapso tan amplio. Un análisis de distintas soluciones será llevado a cabo hasta encontrar la que mejor concuerde con las necesidades del proyecto. Durante esta etapa se podrán conocer elementos claves de otros proyectos similares ya que pueden contener elementos útiles para este proyecto.

Posteriormente, se pasará a la fase de diseño donde se realizarán los cálculos pertinentes para dimensionar los distintos elementos del proyecto. Paralelamente a esta etapa se hará un estudio de las implicaciones sociales y ecológicas que el proyecto conlleva. Ya que el proyecto se desarrollará en un país extranjero, se le deberá dedicar el tiempo necesario a entender bien costumbres populares, ya que esto redundará en el correcto desarrollo del proyecto.

Concluida la parte de diseño, se presentará el trabajo y dará comienzo la etapa constructiva. Dentro de la implantación del proyecto será esencial, realizar un estudio del terreno para determinar posibles cambios que haya que introducir en el diseño. También habrá que tener reuniones con la comunidad local para determinar sus necesidades y elaborar un grupo de voluntarios. A su vez, una vez terminada la presa será necesario crear una comisión que se encargue del mantenimiento de la presa.

## ***1.4 RECURSOS***

El proyecto contempla tres grandes etapas, de diseño, constructiva y formación. En la primera parte, se realizarán todos los cálculos pertinentes para la buena ejecución del proyecto. Una vez, el diseño haya finalizado dará comienzo la fase constructiva en la que se materializará la presa. Los recursos empleados en estas etapas son distintos, de ahí que sea necesario realizar una diferenciación entre ellos.

Para diseñar la presa se hará uso de programas de diseño asistido por ordenador, como Geostudio, con el que se podrá conocer las cargas a las que la estructura se verá sometida y predecir comportamientos de esta, o APSIM, que será de gran ayuda para estimar consumos de agua y así poder dimensionar la presa.

Para la realización del proyecto es imprescindible la recaudación de fondos. De estos fondos dependerá el alcance del proyecto. No obstante, se buscará dar una solución que sea a la vez efectiva y sencilla, sin elementos innecesario, ya que esto repercutirá en una reducción de los costes y simplificará los mantenimientos a realizar. En cuanto a los materiales empleados en la construcción, se hará un estudio a fondo de las condiciones del terreno y los elementos más adecuados para esta construcción. A su vez, será de gran importancia la colaboración de la comunidad en el proyecto. De esta manera, los locales se involucrarán en la construcción de la presa, aumentando la aceptación de esta infraestructura en la comunidad.

En la última etapa, se tratará de consolidar toda la información que los locales hayan aprendido durante la construcción de la presa. Con esta intención se realizarán una serie de cursos en los que se enseñen nociones sobre el mantenimiento de la presa. Para tratar de presentar la información de la manera más visual y sencilla se usarán diagramas que contenga la información clave.



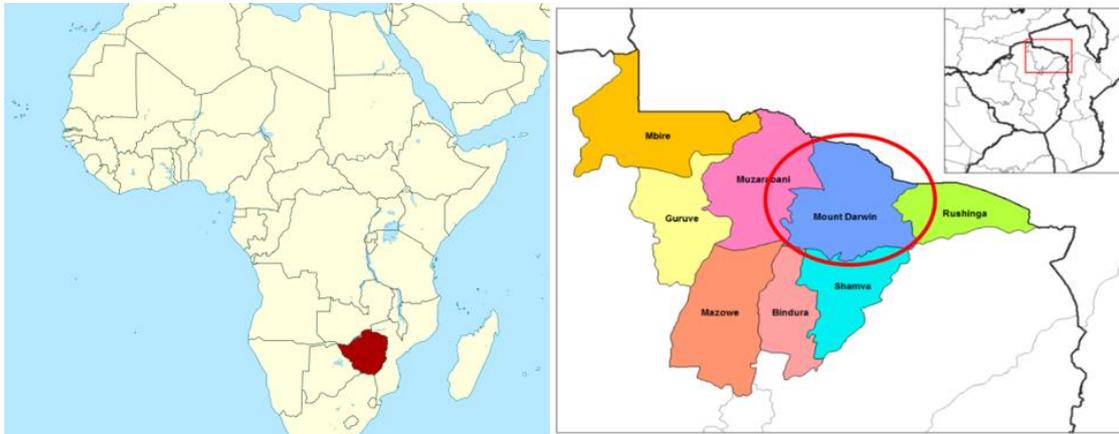
## **Capítulo 2. CONTEXTO DEL PROYECTO**

Para la correcta ejecución del proyecto desde la etapa de diseño hasta su implementación será necesario tener en cuenta el contexto en el que se desarrollará. Por eso es necesario realizar un análisis exhaustivo de diversos factores referentes a Zimbabwe. Aunque la construcción tendrá lugar en una pequeña comunidad del norte de Zimbabwe, en la región de Mashonaland Central, es necesario comprender una serie de factores referentes al país tales como: contexto geográfico, sociedad y cultura, contexto económico, contexto político. A continuación, se recogen una serie de datos de carácter general del país. Más adelante se aportará información más concreta de la zona de trabajo referente al terreno y así determinar la idoneidad de la construcción de un tipo de presa frente a otro.

Este estudio es de vital importancia en la primera etapa del proyecto ya que permite estudiar una serie de actores que están involucrados en el proyecto. Al tratarse de un proyecto que se llevará a cabo en un país cuya situación difiere a la española, se podrán encontrar diferencias y similitudes que deberán tenerse en cuenta en la forma de actuar.

### **2.1 CONTEXTO GEOGRÁFICO**

La República de Zimbabwe se encuentra en el África Austral, haciendo frontera con Zambia al norte, Mozambique al este, Sudáfrica al sur y Botsuana al oeste. Las fronteras al norte y al sur están marcadas por dos ríos, Limpopo al sur y Zambeze al norte, donde se encuentran las Cataratas Victoria. Las Cataratas Victoria, consideradas Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO son el mayor atractivo turístico del país. A pesar de estar rodeado por ríos, es un país sin salida directa al mar, razón por la que la mayor parte de su comercio exterior se dan con los países con los que tiene frontera física. Su capital Harare, centro de la actividad comercial del país tiene una población de 1.7 millones de personas. Zimbabwe posee una superficie total de 390.580 km<sup>2</sup>, de los cuales el 40% están destinados a la agricultura.



*Ilustración 7. Situación del país. Fuente: Mapsland*

En cuanto a la división territorial, el país se encuentra dividido en 8 provincias administrativas, y dos ciudades con estatus de provincia, la capital Harare y Bulawayo. Las provincias a su vez se encuentran divididas en porciones más pequeñas, constituyendo un total de 62 distritos.

El país se puede dividir en 5 regiones agroecológicas en función de una serie de factores entre los que destacan el nivel de lluvia, calidad de la tierra y la vegetación de la zona. Las zonas que más lluvia reciben a lo largo del año se encuentran al noreste del país, y contrastan con las zonas secas que se pueden apreciar en el sur. Antes de la reforma agraria del año 2000, aquellas regiones más productivas estaban en manos de blancos. En concreto la región II, tenía una industria agraria basada en el cultivo intensivo y con un alto uso de maquinaria.

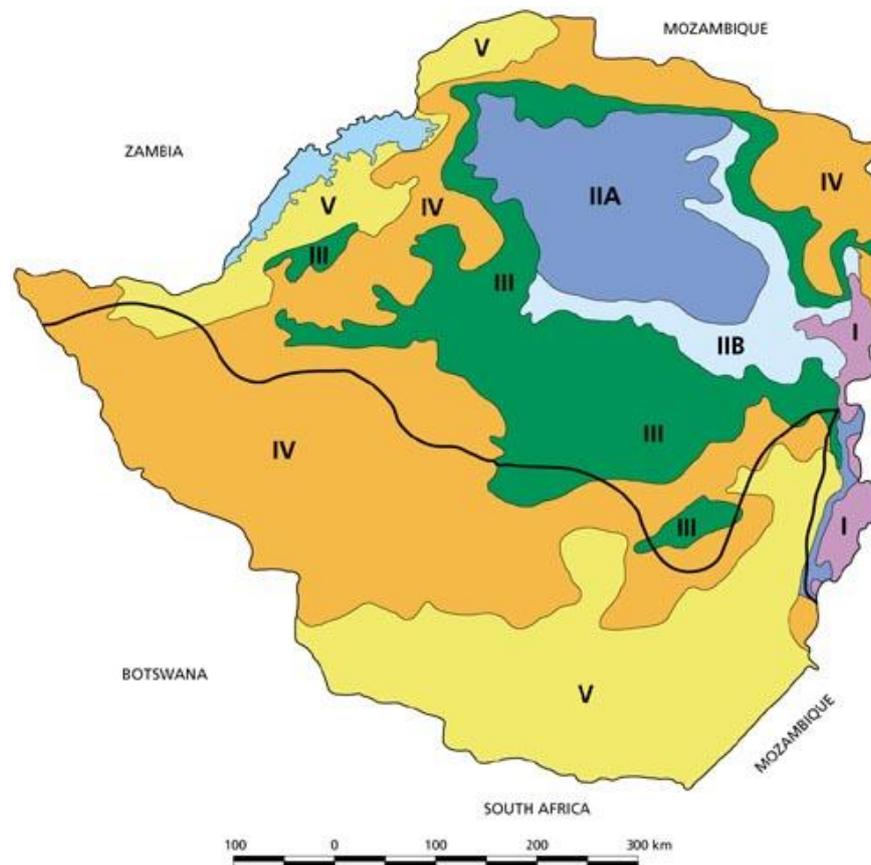


Ilustración 8. Regiones agroecológicas. Fuente: FAO

## 2.2 SOCIEDAD Y CULTURA

Zimbabue cuenta con una población de 14.546.314 personas, la mayor parte de la población viven en zonas rurales y está repartida equitativamente a lo largo del país. Solo un 32.2% de su población vive en zonas urbanas, concentrándose en grandes ciudades. Entre las que destacan Harare por ser la capital de país y Bulawayo por su infraestructura ferroviaria. Además, en estas dos ciudades se encuentran las universidades más prestigiosas del país, NUST y UZ, factor que también explica la alta población de estas ciudades.

- En cuanto al lenguaje, Zimbabue tiene 3 lenguas oficiales el Ndebele, el Shona y el inglés. El Shona, es la lengua más usada, siendo nativa para más de dos tercios de la población. Por

el contrario, el uso del Ndebele no está tan extendido y es usada por escasamente un quinto de los zimbabuenses. Por su parte el inglés, es generalmente usado para los negocios. La mayoría de las personas que hablan en Ndebele se encuentran en los alrededores de Bulawayo y están rodeados por otras comunidades que emplean el Shona. Tanto el Shona como el Ndebele son lenguas que comparten la misma proveniencia al tratarse de lenguas Bantu.

Una gran parte de la población es creyente, más del 80% de los zimbabuenses siguen alguna corriente del cristianismo, como el metodismo, católica romana o la iglesia anglicana. En muchas ocasiones estas distintas formas del cristianismo adoptan creencias propias de religiones indígenas, como la adoración de ancestros. La gran presencia del cristianismo en la zona se debe a la influencia que las instituciones cristianas han tenido en la educación del país. Solo un 4% de la población practica religiones indígenas.

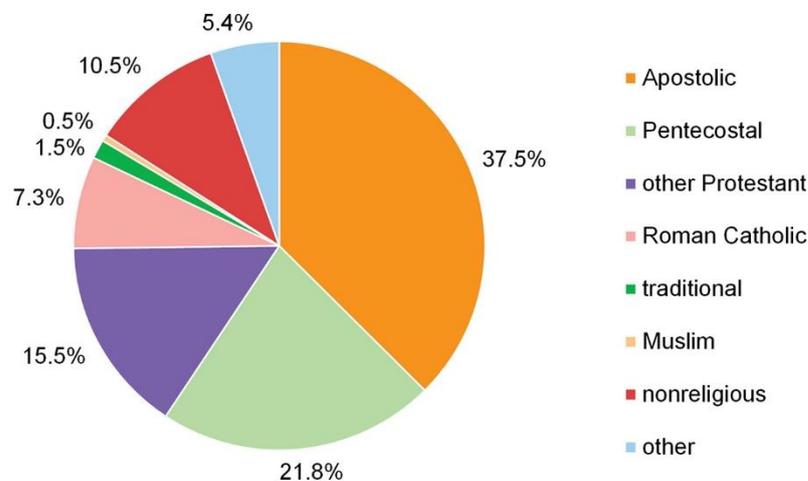
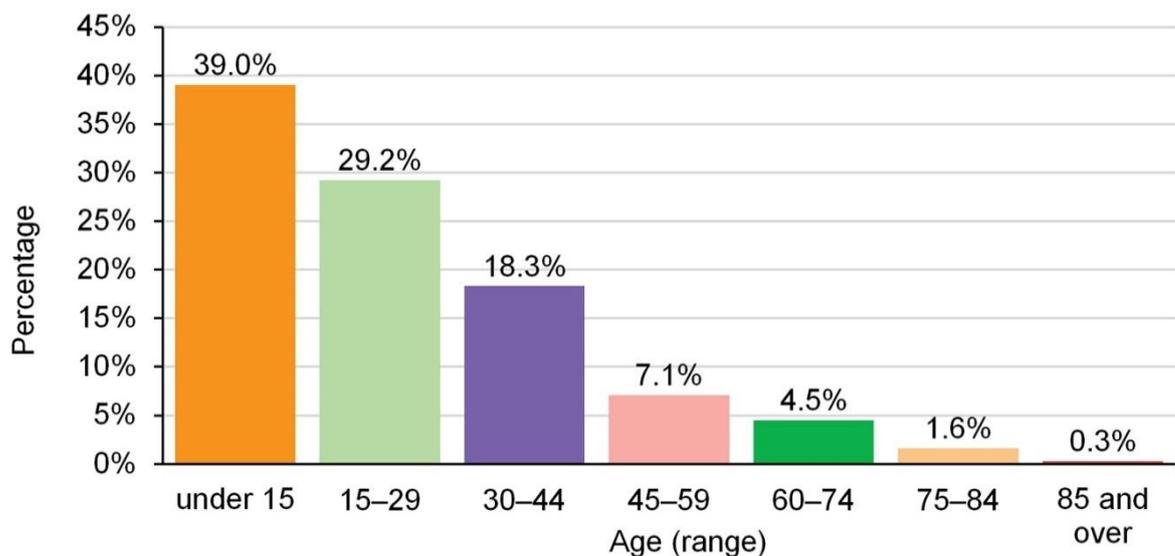


Ilustración 9. Afiliación religiosa Zimbabue. Fuente: Enciclopedia Británica

Después de obtener su independencia del Reino Unido el gobierno inicio una campaña para mejorar el sistema educativo del país. En la actualidad Zimbabue invierte un 6.1% del PIB en educación, colocándose como uno de los países que más invierten de su entorno. Esto queda reflejado en el alto nivel de alfabetismo, con un 86.5% de la población a partir de los 15 años siendo capaz de leer y escribir en inglés.

Uno de los graves problemas sanitarios del país se debe al VIH, enfermedad que deja huérfanos a miles de niños al año. A pesar de que el porcentaje de la población enferma se haya reducido desde un 29%, en 1997, hasta el 15% actual, Zimbabue aún tiene uno de los porcentajes más altos de personas con VIH del mundo. La esperanza de vida se ve perjudica por este motivo estando fijada en los 62.3 años, en la media de los países que tiene a su alrededor y por encima de Zambia y Mozambique. El país tiene uno de los peores datos de mortalidad en las mujeres al dar a luz y puede deberse a factores como complicaciones después del parto por falta de higiene. La mayor parte de su población son menores de 14 años, y suponen un 38.82% del total de la población. Esta distribución demográfica junto con la corta esperanza de vida influencia la edad media del país que se encuentra en 20.5 años.



*Ilustración 10. Reparto poblacional 2017. Fuente: Enciclopedia Británica*

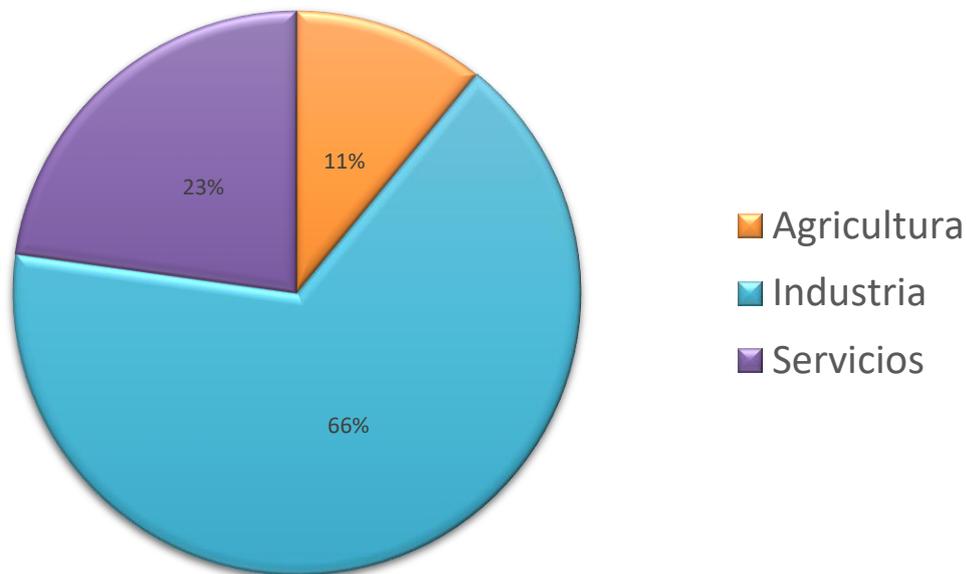
El 67.3% de la población que vive en zonas rurales tiene acceso mejorados al agua potable en comparación con zonas urbanas en las que se alcanza un 97%. A pesar de que el acceso en zonas urbanas es elevado, aun es necesario introducir mejoras en las zonas rurales y así tratar de alcanzar la media global que se sitúa en el 84.7%. Las principales enfermedades

transmitidas por la falta de accesos al agua adecuados son la diarrea, fiebre tifoidea y la hepatitis A.

A su vez la escasez de agua repercute en la calidad de las cosechas lo que tiene a su vez una gran incidencia en la alimentación de la población. Zimbabue es el quinto país en África con el mayor número de personas en situación de extrema necesidad. Se calcula que 5.3 millones de zimbabuenses están al borde de la hambruna, esto supone un tercio de la población total del país (ANYE19). Todo esto es debido a la falta de agua, sin este recurso natural las cosechas son escasas y los pocos productos disponibles no son fácilmente accesibles.

### **2.3 CONTEXTO ECONÓMICO**

Su economía está fuertemente vinculada con la minería y la agricultura, actividad que emplea aproximadamente a dos tercios del país, un 67% de la población activa (MINE17). A pesar de este alto nivel ocupacional, debido a la baja productividad que tiene la agricultura solo supone un 11% del PIB. Esto es en parte debido a la gran dependencia que la agricultura tiene del agua como elemento imprescindible para el crecimiento de las cosechas y alimentación del ganado. Esta fuerte dependencia se evidencia cada vez que hay sequías fuertes provocando caídas del PIB. Recientemente, las sequías de 2015-2016 provocadas por el fenómeno climático conocido como El Niño hicieron tambalearse a la economía del país. Se calcula que, en las zonas semiáridas de Zimbabue, 3 de cada 5 cosechas quedan inservibles debido a la falta de agua (MUGA03). El resto del PIB está distribuido entre el sector de los servicios (66%) y el sector secundario (23%), en el que se incluye la industria y la minería.



*Ilustración 11. Distribución del PIB por sectores. Fuente: propia*

La economía en Zimbabwe ha ido fluctuando en las últimas décadas. Después de conseguir su independencia el país experimentó un leve repunte hasta los años 90 cuando empezó a desacelerarse la economía. El debilitamiento de la economía zimbabuense se hizo más latente al principio de los años 2000, motivados por la expropiación de tierras a los agricultores blancos. Estas tierras en muchos casos pasaron a manos de personas sin experiencia y afines al gobierno que no eran capaces de cultivar de una manera productiva. A su vez la UE y EE. UU. impusieron restricciones de comercio por su participación en la guerra civil de la República Democrática del Congo y la violación de derechos humanos en Zimbabwe. Aunque estas restricciones iban dirigidas a la alta administración, la economía de todo el país se vio afectada.

En 2008, el país registró el PIB per cápita más bajo desde que obtuvieron su independencia en 1980. Para tratar de paliar la situación economía, el estado comenzó a imprimir más moneda, pero su valor caía en picado. Esta impresión descontrolada alcanza su máximo exponente en el año 2009, cuando el gobierno permite a ciertas empresas el uso de moneda extranjera más fuertes. En esa época se hace común el uso de monedas como el dólar americano y el rand sudafricano. En los años siguientes, gracias a esta medida se pudo

reducir la hiperinflación del país en un 10% cada año. En 2015 se elimina el dólar zimbabuense y en 2016, se empiezan a emitir bond notes, una especie de moneda con cambio 1:1 con el dólar americano pero que carecía de validez fuera del país.

La deuda de 1700 millones de dólares que el país aún mantiene con el Banco Mundial y el Banco Africano de Desarrollo es inmensa y el hecho de que Zimbabue aún no haya mostrado intención de devolverla o propuesto un plan para lograr este objetivo, indica que con mucha probabilidad el país tendrá problemas para conseguir financiación en veces futuras.

En los últimos años la situación ha vuelto a empeorar, la inflación ha aumentado alcanzando un 255.3% en el 2019. Además, el aumento de los precios del combustible junto con la sequía que sufre el país ha provocado un aumento de los precios de los alimentos. Esta situación ha desplazado al 34% de la población a la pobreza extrema. Para tratar de solventar esta situación, Zimbabue decidió recuperar su moneda, 10 años después de que tuviera que retirarlo por falta de valor.

## **2.4 CONTEXTO POLÍTICO**

Cecil John Rhodes, magnate de la minería, había fundado la compañía británica del sur de Africa con el objetivo final de obtener control de los minerales de la zona dándoles a cambio a las tribus protección. Con este objetivo en mente su compañía, llegados desde el sur de África, coloniza las zonas del actual Zimbabue y Zambia. En 1895, estas zonas quedaron unificadas bajo el nombre de Rodesia en honor a Cecil Rhodes.

En 1911 Rodesia queda dividida en dos territorios, Rodesia del norte y del sur, actualmente Zambia y Zimbabue, respectivamente. En Rodesia del sur, tras varios levantamientos por parte de las tribus de la zona, en 1922 se celebró un referéndum. Como consecuencia de la finalización de la empresa de Cecil Rhodes se celebró un referéndum, en el que los europeos del país determinaron si debían convertirse en una provincia de Sudáfrica u obtener el autogobierno. La mayoría de los votantes eligieron el autogobierno por el que el sur de

Rodesia se convertía en colonia autónoma bajo el mandato de la corona británica. Esto ocurre en 1923.

En 1953 se forma la Federación de Rodesia y Nyasalandia al congregar los territorios de Rodesia del norte y sur con Nyasalandia. La idea detrás de la creación de esta federación de naciones era que la unión sirviese para mejorar el comercio en la zona y para asegurar el mantenimiento de un estado fuerte que compartiese costumbres británicas. Finalmente, la Federación fue disuelta y se volvió a la situación inicial.

En 1965 Ian Smith se convierte en primer ministro de Rodesia del sur. Ese mismo año, declara la independencia de Reino Unido de manera unilateral, independencia que no será reconocida por la corona británica al considerarla inconstitucional. Para condenar estas acciones el comité de seguridad de las Naciones Unidas impuso sanciones económicas al país, que se endurecieron en 1968. En junio de 1970, se celebró un referéndum por el cual el poder político quedaría en manos de una minoría blanca y se proclamaría la República de Rodesia. Dado que el electorado estaba compuesto casi en su mayoría por ciudadanos blancos, ambas proposiciones fueron aprobadas. En 1970 queda aprobada la constitución por la que se constituía la república de Rodesia.

Las acciones de los opositores al gobierno rápidamente escalaron, hasta el punto de producirse ataques por parte de los grupos nacionalistas de ZAPU y ZANU. ZAPU dirigido por Joshua Nkomo y ZANU dirigido por Robert Mugabe, populares entre las tribus Ndebele y Shona respectivamente. Los líderes de ambas facciones acordaron unirse bajo un mismo grupo que aunaba a la gran mayoría de la población. El recién formado Frente Patriótico (PF, en inglés) ejerció una gran presión contra el gobierno de Ian Smith que acabó en 1979 con la firma de un acuerdo de paz. Una vez firmado este documento, todos los partidos políticos se pusieron de acuerdo para elaborar una nueva constitución en la que quedarán recogidas las necesidades de toda la población sin diferencia de color.

En 1980, tras décadas de lucha el renombrado país, Zimbabue consigue su independencia del Reino Unido, y Robert Mugabe, es elegido primer ministro. Mugabe gobierna Zimbabue durante los siguientes 37 años. Durante su mandato se crea el ZANU-PF partido político que

incluía miembros de los movimientos nacionalistas ZANU y ZAPU, como respuesta a un creciente movimiento cerca de provocar una guerra civil por encarcelar a miembros de ZAPU. Su mandato se caracterizó por el cambio de propiedad de las tierras dedicadas a la agricultura. Se les expropiaron las tierras a los agricultores blancos del país y pasaron a manos de ciudadanos afines al gobierno con poca experiencia. Esta medida no solo afectó a la población blanca del país, si no que muchos negros se vieron sin trabajo ni techo.

Al comienzo de siglo XXI la situación empezaba a ser inviable, apenas existía libertad de expresión lo que provocó el cierre de muchos periódicos y una persecución feroz a la oposición. En los siguientes comicios, Mugabe arremetió con gran hostilidad también contra la población civil con la destrucción de cientos de hogares y tiendas. Tras estas acciones, el país fue expulsado de manera indefinida de la Commonwealth. Debido a las sanciones internacionales impuestas al país, la economía se resintió mucho ya que un gran número de empresas que prestaban ayuda económica abandonaron Zimbabue.

La persecución a la oposición se intensificó en las elecciones de 2008, tanto los políticos como los ciudadanos que apoyaban el cambio de gobierno fueron perseguidos. Inicialmente, los votos daban la victoria a Tsvangiri de MDC, sin un comunicado oficial en el que se determinaran los resultados una gran parte de la población consideró que los votos se estaban amañando. El gobierno comunicó que el partido más votado había sido MDC de Tsvangiri, pero al no alcanzar la mayoría se tendría que realizar una segunda ronda. Hasta que estas nuevas elecciones se celebraron, la oposición se vio sometida a constantes ataques dirigidos por Mugabe. Tsvangiri y otros miembros de su partido fueron encarcelados en los días siguientes. Aunque Tsvangiri anunció que se retiraba de las elecciones, las elecciones se celebraron y dieron la victoria a Mugabe.

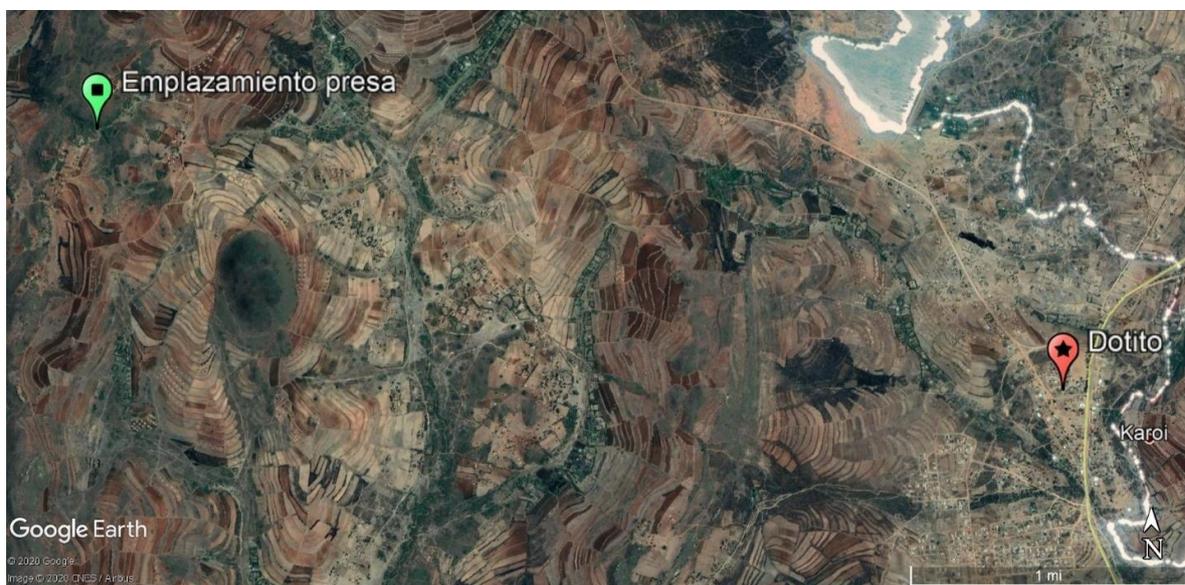
En 2017, la tensión en el país volvió a escalar provocando un alzamiento por parte del ejército que se hizo con el poder. Ante esta situación, Mugabe es obligado a dimitir y abandonar el país. El anterior vicepresidente Emmerson Mnangagwa junto con el ejército se encargaron de la transición y convocó elecciones para el año siguiente. En estas elecciones

fue elegido presidente Emmerson Mnangagwa, aunque por una pequeña diferencia con el siguiente partido más votado.



## Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La falta de recursos hídricos se hace más evidente en las zonas rurales del país, donde viven el 98% de los zimbabuenses sin accesos adecuados al agua. Este proyecto se ejecutará en una zona rural al norte de Mount Darwin. Dotito, que se encuentra a unos 6 km del emplazamiento propuesto para el proyecto, el pueblo más cercano.



*Ilustración 12. Situación presa y Dotito. Fuente: Google Earth*

La dificultad para obtener agua supone una gran parte del día a día de los miembros de la comunidad. Son varios los esfuerzos que los locales han realizado para revertir esta situación y tratar de conseguir una mejor calidad de vida. En uno de estos intentos para solucionar la escasez de agua, miembros de la comunidad construyeron una presa artesanal. Con ella podrían retener agua durante la estación lluviosa y emplearla posteriormente cuando las lluvias empezasen a escasear. Aunque la idea era muy acertada ya que con esta infraestructura se podría conseguir acceso al agua durante todo el año; la ejecución no lo fue tanto, debido a limitaciones técnicas la construcción de la presa no fue adecuada.



*Ilustración 13. Restos de la presa. Fuente: Google Earth*

Este primer intento para construir una presa fue ejecutado casi en su totalidad por miembros de la comunidad y sin tener en consideración factores vitales para la integridad estructural. El estudio de las características del terreno quedó relegado a un segundo nivel, sin esta información no se supo a ciencia cierta la capacidad de filtrabilidad del terreno. Además, no se consiguió llegar hasta una capa de suelo compacta que previniese el filtrado de agua. Todo esto supuso que, al llegar las primeras lluvias el agua comenzó a infiltrarse por las zonas inferiores del dique, debilitando su estructura hasta provocar el colapso.

El objetivo fundamental de este proyecto es proporcionar a la comunidad las herramientas necesarias para la construcción de una presa, que permita retener el agua de lluvia. Además, la presa será útil para reducir el impacto de las escorrentías cuando las lluvias se manifiesten de manera espontánea e intensa.

Antes de establecer los distintos tipos de presas y analizar otros proyectos que se han llevado a cabo con anterioridad, es necesario tener una idea clara de lo que se considera que una presa es. La Real Academia española aporta la siguiente definición:

*“Muro grueso de piedra u otro material que se construye a través de un río, arroyo o canal, para almacenar el agua a fin de derivarla o regular su curso fuera del cauce”.*

Una presa o represa, es una barrera natural o artificial que rompe el flujo habitual de una corriente de agua con el objetivo de almacenar agua. Esta barrera se puede construir empleando materiales arcillosos o rocas. El agua que queda almacenada puede ser usada por comunidades cercanas para el regadío de cultivos o para abastecer el consumo humano y animal. Al recolectar el agua que lleva el cauce, se consigue elevar el nivel de una gran masa de agua. Esta diferencia de cotas se puede emplear según se desee para la generación de electricidad a través de turbinas hidráulicas. A su vez, las presas sirven para regular el curso del agua y evitar los efectos devastadores que pueden acarrear las inundaciones.

Una vez establecido el punto de partida con la definición del término, se caracterizarán las presas según dos criterios, lugar en el que el agua queda almacenada (superficial o subterránea) y, los materiales y técnicas que se empleen en la construcción del dique. En la siguiente ilustración, se puede observar de manera más visual esta separación según los criterios mencionados anteriormente.

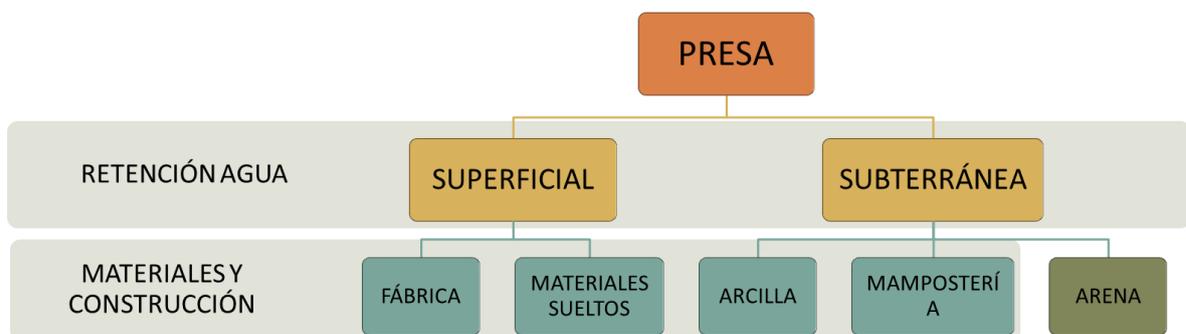
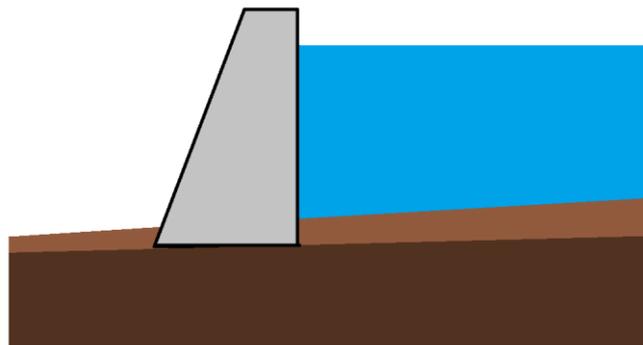


Ilustración 14. Tipos de presa. Fuente: propia

Siguiendo la ilustración, a continuación, se desarrollarán los elementos que caracterizan a las presas. Además, se aportará información referente a las ventajas o desventajas que conllevan cada tipo de infraestructura según una serie de factores. Finalmente, para entender de manera más precisa como se procede en la construcción de las presas, se expondrán ejemplos, mencionando sus objetivos de recolección y desarrollo para la comunidad en la

que fueron implantadas. De esta forma se podrá analizar los puntos fuertes y débiles de cada construcción y la manera en la que se relacionan con este proyecto.

### **3.1 PRESAS SUPERFICIALES**



*Ilustración 15. Presa superficial. Fuente: propia*

Es el tipo de presa más común y visual, al quedar el agua recogida en la superficie del terreno. Con el objetivo de que el agua permanezca en esa zona, se cierra el valle mediante la construcción de diques haciendo uso de varias técnicas y materiales. Una vez el valle ha quedado cerrado, se restablece el flujo natural del río, o en el caso de ríos efímeros, el agua comenzará a fluir cuando se den las primeras lluvias. Gradualmente, el agua comienza a acumularse en la superficie ya que el dique impide que continúe su camino aguas abajo. Para reducir la posibilidad de que se den filtraciones que pueden poner en riesgo la estructura del dique y reducir drásticamente la cantidad de agua almacenada, es necesario que el terreno inundado, tenga las características de impermeabilidad necesarias. El grado de eficiencia de la presa está directamente relacionado con el tipo de tierra en la que se construya la presa ya que si la arena no está suficientemente compactada o su porcentaje de arcilla no es el adecuado la presa no será impermeable y se producirán pérdidas de agua.

Dentro de las presas superficiales se pueden diferenciar varios tipos según su naturaleza constructiva (materiales y métodos empleados), pudiendo ser de materiales sueltos o de fábrica.

### **3.1.1 PRESA DE MATERIALES SUELTOS**

Este tipo de presas están formadas por arenas, arcillas o rocas dispuestas unas encima de otras sin usar ningún tipo de conglomerante hidráulico (cemento u hormigón). El volumen total de materiales necesarios para la construcción del dique es mayor que en las presas de mampostería. Sin embargo, estos materiales se pueden encontrar generalmente sin mucha dificultad y no es imprescindible el uso de maquinaria pesada, haciéndolas ideales para comunidades remotas en las que el acceso a este tipo de elementos es limitado. Esta es la razón por la es el tipo de presa más común en el mundo con un porcentaje uso del 77%. A pesar de que su uso está tan extendido a lo largo del mundo, la calidad del agua es menor que el caso de las presas de fábrica. El agua obtenida generalmente se destina para el riego de cosechas o el consumo de animales.



*Ilustración 16. Presa de materiales sueltos. Fuente: Ministerio agua y regadío de Kenia*

### **3.1.2 PRESA DE FÁBRICA**

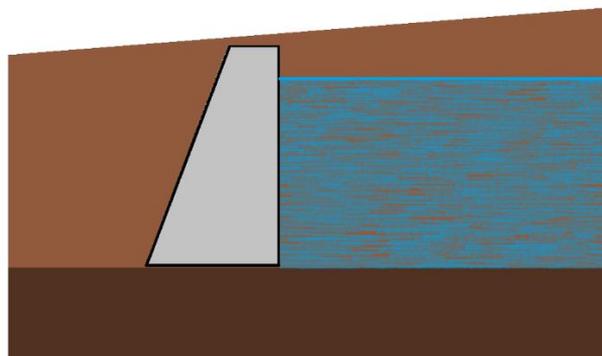
Dentro de este grupo se encuentran las presas de mampostería y aquellas en las que solo se emplea hormigón para su construcción. En las presas de mampostería, a diferencia de las presas de materiales sueltos, las rocas quedan unificadas haciendo uso de materiales como el hormigón. Gracias al uso de los conglomerantes hídricos se puede conseguir una pared con apenas fisuras en las que las filtraciones no es algo común. Esto repercute en la eficiencia de la presa ya que al reducir la cantidad de pérdidas que tienen lugar, se consigue almacenar

más agua por un periodo mayor. Además, al crear un dique más resistente, se puede alcanzar una mayor complejidad estructural, llegando a haber presas en las que el dique se encuentra abovedado. Con esta disposición, se consigue distribuir de una manera más eficiente las fuerzas a las que se encuentra sometido el dique. Las presas de gran tamaño que se ven expuestas a grandes fuerzas se suelen construir de esta manera.



*Ilustración 17. Presa de superficial mampostería. Fuente: Claudio Olalla Marañón*

### **3.2 PRESA SUBTERRÁNEA**



*Ilustración 18. Presa subterránea. Fuente: propia*

La presa subterránea, es el otro tipo de presa que se puede diferenciar según donde se produzca la retención de agua. En este caso, el agua queda almacenada debajo de una capa de arenas y sedimentos. La idea detrás de esta infraestructura es la misma que en las presas superficiales, el agua proveniente de las lluvias fluye libremente y al llegar al dique se encuentra con una barrera que bloquea su curso natural, por lo que se queda retenida en ese lugar. Sin embargo, en este caso, el movimiento de aguas ocurre por debajo de la capa superficial de tierra. Las presas subterráneas logran bloquear el movimiento de las aguas subterráneas que componen los acuíferos de la zona. Este tipo de presa suele darse en lugares en los que el terreno es dado a infiltraciones y por tanto es muy complicado conseguir que el agua se mantenga en la superficie.

Para construir el dique, que frenará el avance del agua, es necesario construir una zanja en el suelo con una profundidad que varía en función del emplazamiento. Es imprescindible llegar hasta el lecho rocoso o encontrar una capa de materiales arcillosos que puedan garantizar que no se produzcan filtraciones por debajo del dique. Cualquier movimiento de agua descontrolado en los alrededores del dique, especialmente los que se dan por debajo de él, puede condicionar la integridad estructural de la presa comprometiendo su utilidad.



*Ilustración 19. Excavación zanja. Fuente: RAIN, n.y.*

El agua queda almacenada entre los poros de la arena, quedando protegida de elementos contaminantes y de la evaporación. La arena bloquea la radiación solar, reduciendo significativamente la cantidad de agua perdida a causa de la evaporación. Esta es la razón principal por la que se recomienda este tipo de presas en climas cálidos y con una alta radiación solar. Además, de servir como barrera frente animales e insectos, la arena filtra de manera lenta el agua contenida, haciéndola adecuada para el consumo humano.

Al igual que ocurría con las presas superficiales y siguiendo la ilustración 14 según el tipo de material usado para la construcción del dique se pueden distinguir tres subtipos de presas.

### **3.2.1 PRESA SUBTERRÁNEA DE ARCILLA**

La arcilla es el material empleado en la construcción de una barrera que quedará enterrada y servirá para bloquear el movimiento de aguas y así poder mantener el agua esa zona determinada. Como se observa en la ilustración 20, el dique que queda totalmente soterrado está construido hasta una base de roca no porosa que impide filtraciones o en su defecto una capa de arcilla no permeable. Sin este aspecto constructivo, las aguas seguirían su flujo natural y el desembolso sería inútil al no cumplir la presa su objetivo final. Para el buen funcionamiento de la presa y asegurar que perdure a lo largo de los años la selección de la arcilla y el nivel de compactación al que se le someterá juegan un papel primordial. La arcilla contraria a la arena impide las filtraciones por lo que, con el comienzo de las lluvias, el acuífero comenzará a llenarse. Al quedar la barrera construida soterradas no se ve expuesta a la erosión que las inundaciones en la época lluviosa pueden provocar.

### **3.2.2 PRESA SUBTERRÁNEA DE MAMPOSTERÍA**

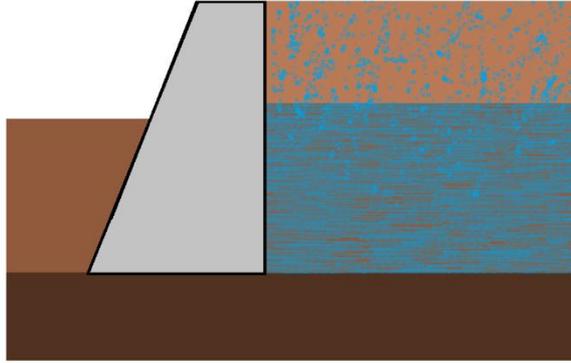
Este tipo de presas siguen el mismo principio que las de arcilla, pero en la construcción del muro se emplea una combinación de rocas y hormigón. Así, se consigue unir las tocas formando una pared compacta. También existen presas en las que no se emplean rocas y están construidas en su totalidad por hormigón. Al usar un material conglomerante como el hormigón, la barrera es más sólida que en el caso anterior. En comparación con las presas

de arcilla y a pesar de que se requieren menos materiales para la construcción, sus costes suelen ser más elevados.



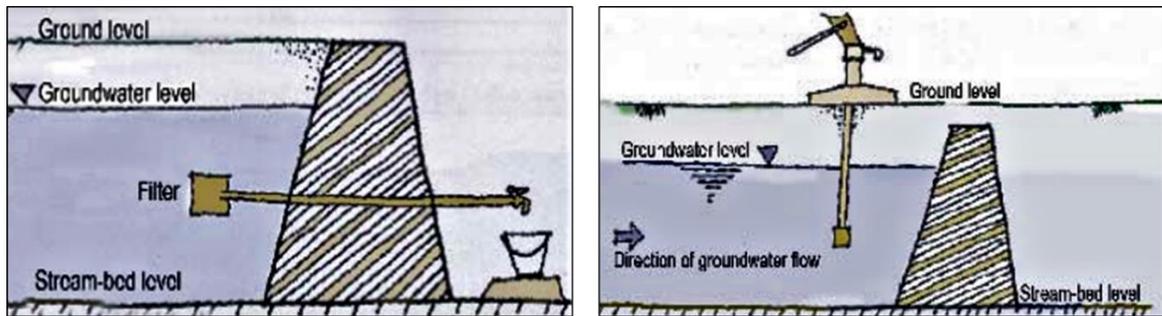
*Ilustración 20. Presa subterránea de hormigón. Fuente: Sam Sam Water*

### 3.2.3 PRESA SUBTERRÁNEA ARENA



*Ilustración 21. Presa de arena. Fuente: propia*

Este tipo de presas es complicado encasillarlo en el esquema que se ha seguido hasta ahora, ya que comparte principios constructivos con otras presas examinadas anteriormente. El nombre por el que este tipo de presas es conocido comúnmente no hace referencia al tipo de material empleado en la construcción del dique, si no a la forma en la que el agua es almacenada. Al igual que ocurre en las presas subterráneas, el agua queda retenida en la arena. En este caso y como se puede observar en la ilustración 21 el dique que retiene el agua asciende por la superficie del terreno. Con esta medida se logra retener tanto el agua que discurre por los acuíferos como el agua superficial proveniente de la lluvia. Todo con el objetivo final de aumentar la capacidad de la presa, que en algunos casos llega a triplicar la cantidad de agua almacenada en comparación con los otros tipos de presas subterráneas.



*Ilustración 22. Presa subterránea (derecha) y de arena (izquierda). Fuente: Sam Sam Water*

En la construcción del dique se pueden emplear cualquiera de las dos técnicas mencionadas anteriormente, usar arcilla o mampostería. Los beneficios que cada uno de estos aportan difieren y deberán adaptarse a las necesidades del proyecto. Por último, un elemento que permite la prolongación de la vida de la presa es la colocación de rocas de mayor tamaño en las laderas del río para impedir la erosión. El mantenimiento necesario, si han sido bien construidas, es prácticamente nulo; pudiendo durar hasta 50 años.

Uno de los pioneros de la construcción de presas de arena es la ONG Excellent Development. Se trata de una ONG con sede en Reino Unido que cuenta con bastante experiencia en la construcción de estas infraestructuras en África, especialmente en Kenia y Zimbabue. Están muy comprometidos con la causa e incluso han elaborado un manual para asegurar la correcta implantación de las presas de arena, teniendo en cuenta factores esenciales como encontrar el emplazamiento adecuado para dicha infraestructura o favorecer la integración de la comunidad en el proyecto. Esto último es de gran importancia para crear una sensación de pertenecía y reducir el posible rechazo a la construcción.

### **3.3 VENTAJAS E INCONVENIENTES**

A continuación, se hace una comparación entre las ventajas e inconvenientes que las presas superficiales y subterráneas conllevan en función a una serie de factores:

- **Acceso al agua**

En las presas superficiales, el agua queda retenida en la superficie por lo que se puede acceder directamente sin la necesidad de usar otros elementos mecánicos como una bomba hidráulica. Gracias a canalizaciones y la acción de la gravedad, se puede hacer llegar el agua a poblaciones debajo de la presa para su uso en agricultura o consumo doméstico. Por el contrario, en las presas subterráneas, el agua se encuentra contenida en el suelo por lo que para obtenerla es necesario construir pozos que pueden ser excavados manualmente o incorporar una bomba.

- **Perdidas por evaporación**

La facilidad con la que se accede al agua en las presas superficiales es a la vez un inconveniente. El agua queda expuesta directamente a los elementos, pudiendo ponerse en contacto con químicos contaminantes, animales o incluso bacterias e insectos. Grandes concentraciones de agua sin movimiento son el lugar donde proliferan mosquitos que transmiten enfermedades. Además, al no disponer de ninguna barrera contra la radiación solar, gran parte del agua que las presas retienen se pierde como consecuencia de la evaporación. En el caso de las presas subterráneas, tanto en las convencionales como en las de arena, el agua está protegida de patógenos y la evaporación por la arena en la que se encuentra retenida.

- **Calidad del agua**

La calidad del agua es una de las mejoras que conlleva almacenar el agua entre la arena, ya que sirve de filtro natural. Esto es algo que dado a su naturaleza no se da en las presas superficiales, donde el agua está más expuesta. En caso de querer utilizar esa agua para el consumo humano será necesario construir filtros en las fuentes donde se obtiene el agua.

- **Ocupación de tierras**

Las presas superficiales se basan en cerrar artificialmente un valle para que con el curso natural del río, el agua quede retenida hasta crear una masa de agua. La parte negativa de esta forma de estancar agua es que requiere la inundación de las zonas

colindantes. La inundación puede obligar a agricultores y habitantes a desplazarse al quedar sus tierras debajo de agua. En las presas subterráneas, se consigue recargar los acuíferos que ya se encuentran debajo de las tierras de cultivo. Este aumento en la cantidad de agua debajo de las cosechas puede incluso mejorar significativamente la calidad de las tierras favoreciendo su productividad.

- **Selección del emplazamiento**

Encontrar un lugar adecuado en el que construir la presa es más complicado en el caso de las presas subterráneas ya que en muchos casos las características del subsuelo son desconocidas. En este tipo de presas, en las que el agua queda retenida en los intersticios de la arena permitiendo la recarga de acuíferos, es muy importante conocer las características geológicas del emplazamiento. Normalmente el agua puede alcanzar hasta el 40% del volumen total del terreno en la que se retiene. Sin embargo, este porcentaje puede disminuir en caso de que el terreno no sea adecuado. Por el contrario, en las presas superficiales, no existe una correlación tan directa entre la cantidad de agua almacenada y las características del terreno.

- **Efectos en caso de fallo**

Los efectos que el fallo de una presa superficial acarrea aguas abajo pueden llegar a ser catastróficos. Las presas alojan grandes cantidades de agua, que se va acumulando a lo largo de la época lluviosa. La aparición de fuertes lluvias de manera espontánea, no contempladas en el diseño de la infraestructura, puede llevar al derrumbe de esta y por consiguiente toda el agua retenida detrás del dique es liberada repentinamente. Son numerosos los defectos que una cantidad de agua como esta pueden ocasionar en comunidades cercanas, inundando y arrasando con campos de cultivo y viviendas. En el caso de las presas subterráneas el agua se almacena en la arena hasta que alcanza su límite, por lo que una situación como la mencionada anteriormente es casi imposible que suceda.

- **Mantenimiento**

Debido a los efectos devastadores provocados por el fallo de la estructura de las presas superficiales, sus mantenimientos deben de ser más rigurosos y continuos. Este requisito implica que los mantenimientos tengan que ser llevados a cabo por personal cualificado. Uno de los fallos más comunes es el deterioro del aliviadero de la presa, elemento encargado de evacuar el exceso de agua de la presa y prevenir que rebose. Si el agua no es evacuada correctamente y pasa por encima del dique de la presa, se corre el riesgo de que este se venga abajo al debilitarse la estructura. En las presas subterráneas, una vez queda el dique construido los mantenimientos que hay que realizar son mínimos.

En la siguiente tabla quedan recogidos estos factores de una forma más visual según sean beneficiosos o no para el proyecto, recibiendo una puntuación del 1-3, (siendo 1 negativo para el proyecto y 3 beneficioso).

FACTORES	PRESA SUBTERRÁNEA	PRESA SUPERFICIAL
Acceso al agua	2	3
Perdidas por evaporación	3	2
Calidad agua	3	1
Ocupación de tierras	2	1
Selección emplazamiento	1	2
Efectos en caso de fallo	3	1

Mantenimientos	3	2
<i>Total</i>	17	12

*Tabla 1. Comparación tipos de presas. Fuente: propia*

Tras este breve análisis en el que se han tenido en cuenta factores propios de la construcción se puede concluir que a priori en cuanto a beneficios para la comunidad las presas subterráneas tienen más ventajas que las presas superficiales. En el capítulo 4 se realizará un estudio detallado de las condiciones del terreno, y así poder determinar qué tipo de construcción es la más adecuada para la comunidad de Mount Darwin. Con ese objetivo se analizarán elementos como las condiciones hídricas, geológicas, topográficas del lugar, etc. Tras este análisis se podrá afirmar con certeza qué tipo de construcción presenta más ventajas y suple de manera más efectiva las necesidades de la comunidad de Mount Darwin.

### **3.4 EJEMPLOS CONSTRUCTIVOS**

En la selección del tipo de presa más adecuado puede ser de gran ayuda analizar otros ejemplos constructivos y así estudiar los factores que han jugado un papel primordial en el éxito de la construcción. Con esta intención, a continuación, se aporta una serie de ejemplos.

Son muchos los elementos de estos proyectos que pueden servir para la construcción de la presa en Mount Darwin, a pesar de que estas construcciones sean de mayor envergadura y cuenten con un presupuesto más amplio que se contempla en este proyecto. Todos ellos, se encuentran en comunidades remotas poco conexionadas con otras comunidades más desarrolladas y con una falta de accesos al agua potable. Así mismo, la agricultura juega un papel importante en las economías de las zonas, siendo la principal fuente de ingresos. En general, las características de los lugares en los que estas construcciones han tenido éxito son muy similares a las que se dan en la comunidad de Mount Darwin. Las técnicas empleadas en estos ejemplos se adaptarán a las condiciones concretas de la comunidad de Mount Darwin.

Además, a la hora de elegir el proyecto se deberá tener presente la posterior incorporación de una turbina hidráulica con la que se suministrará electricidad a la comunidad. El diseño de esta turbina no queda enmarcado dentro del alcance de este proyecto y será llevado a cabo por el compañero de la escuela Rodrigo Ruano en su Trabajo de Fin de Grado, "Aprovechamiento de salto de agua mediante turbina en poblado de Zimbabue".

### **3.4.1 PRESA DE MAMPOSTERÍA EN KOKUSELEI, REGIÓN DE TURKANA (KENIA)**

#### *DATOS DEL PROYECTO*

<i>Lugar</i>	Valle de Kokuseli distrito de Turkana Kenia
<i>Entidad colaboradora</i>	MCSPA
<i>Beneficiarios</i>	Hasta 2500 personas en el fin de su vida útil
<i>Tipo de construcción</i>	Presas superficial de mampostería
<i>Presupuesto</i>	37.620,86 €

*Tabla 2. Resumen proyecto Kokuselei. Fuente: Propia*



*Ilustración 23. Presa finalizada. Fuente: UPM*

El proyecto se plantea como una medida para alcanzar los objetivos de desarrollo del milenio, mejorando el acceso a servicios básicos como el agua en comunidades necesitadas. La idea detrás del proyecto es construir una presa de mampostería con la que se pueda acceder a agua potable de una manera continua durante todo el año. Además, en el proyecto se contempla la creación de un sistema con el que recargar los acuíferos de la zona. Se trata del Trabajo de Fin de Grado de Inés Errazuriz Moreno, alumna de la Universidad Politécnica de Madrid.

La presa que se plantea en el proyecto se construyó en el valle de Kokuselei, perteneciente al distrito de Turkana, Kenia. Una región semidesértica, que carece de infraestructuras y los accesos a zonas más desarrolladas son prácticamente inexistentes. Al desarrollarse en una pequeña comunidad remota, tanto la información disponible sobre el clima y topografía como los recursos disponibles para la construcción eran limitados.

La solución hidráulica que se presentó contemplaba el uso del agua únicamente para el consumo humano y el ganado, no se consideró el uso del agua para la agricultura en el

diseño. La presa que se prevé que contará con una capacidad de 51000 m<sup>3</sup> se ha diseñado teniendo en cuenta una vida útil de 25 años. En ese mismo año se estima que la presa sirva para abastecer a un total de 2500 personas.

El proyecto contaba con un presupuesto de 4.494.033,98 chelines kenianos que al cambio al cambio son unos 37.620,86 euros. La totalidad del dinero necesario fue aportada por entidades colaboradoras con la ONG que se encargó de la construcción. Comunidad Misionera de San Pablo Apóstol (**CMSPA**, en adelante) es la ONG con la que se desarrolló el proyecto. Se trata de una organización con gran presencia en la zona habiendo impulsado varios proyectos a lo largo de los más de 25 años que llevaba colaborando en la región. Durante ese tipo, la ONG ha favorecido el desarrollo de la zona con la construcción de unas 130 presas y más 120 pozos.

### **3.4.2 PROYECTO CONSTRUCTIVO PRESA DE TIERRA EN EL KIBISH (SUR DE ETIOPIA)**

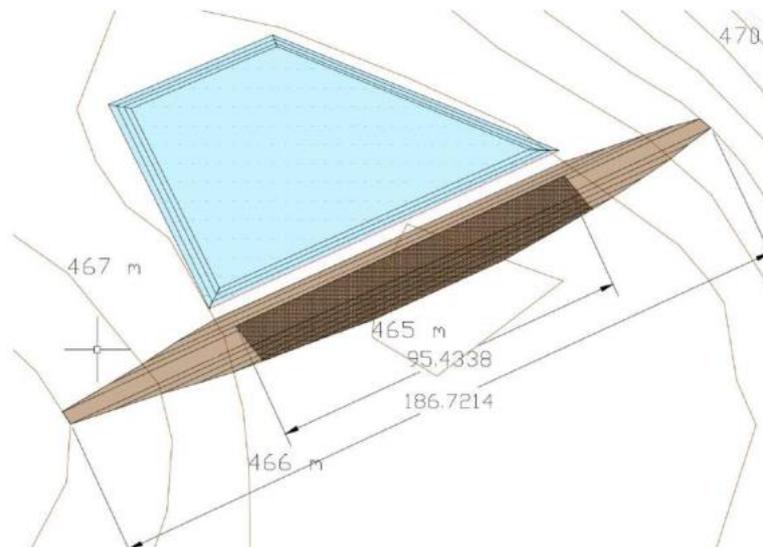
#### ***DATOS DEL PROYECTO***

<i>Lugar</i>	Kibish, región Nyangatom, Etiopia
<i>Entidad colaboradora</i>	MCSPA
<i>Beneficiarios</i>	Hasta 30.000 personas en el fin de su vida útil
<i>Tipo de construcción</i>	Presa superficial de materiales sueltos
<i>Presupuesto</i>	62.497,10 €

*Tabla 3. Resumen proyecto Kibish. Fuente: Propia*

El objetivo de este proyecto es mejorar los accesos a agua potable en el sur de Etiopía, concretamente en la región Nyangatom, donde se encuentra establecida la misión Naturomoe. Se trata de construir una presa de materiales sueltos con los que poder abastecer la demanda de agua destinada para consumo humano y para el ganado. La presa se encuentra cerca de la frontera con Sudán, lugar altamente transitado por pastores nómadas de distintas tribus. La falta de agua junto con la presencia de distintas comunidades en la zona da lugar a conflictos armados entre ellos para conseguir la poca agua que hay. Es por ello por lo que además de los beneficios fisiológicos que pueden acarrear mejorar los accesos a agua potable, en esta zona la presa adquiere un significado adicional ya que supone poner una solución a la continua disputa por el agua.

Una vez concluida la presa, se estima que el dique tendrá unos 3 metros de altura, una longitud total de orilla a orilla del río de 190 m y un área total de 29.8 km<sup>2</sup> serán inundados. Los cálculos fueron realizados teniendo en consideración una vida útil de 30 años. En ese mismo año se estima que la presa sirva para abastecer de agua a 30.000 personas y más de 1.000.000 de animales. La construcción del dique se planeó hacerse usando materiales excavados aguas arriba de la presa y así conseguir una zona más profunda. Con esta medida se pueden reducir costes al no tener que comprar gran parte de los materiales empleados y sirve para aumentar la capacidad del embalse. Además, al tener una zona más profunda se consigue reducir las pérdidas por evaporación en función del total almacenado, ya que el volumen es mayor mientras el área inundada es la misma. Toda la financiación necesaria para la construcción proviene de donaciones, se estimó que tendría un coste total de 62.497,10 euros.



*Ilustración 24. Aumento capacidad de embalse. Fuente: Ana Gil Merino*

Este proyecto también se realiza gracias a la intervención de CMSPA, encargada de conseguir la financiación y los requisitos legales para materializar la construcción.

### **3.4.3 PROYECTO CONSTRUCCIÓN PRESA DE ARENA EN ITATINI**

#### ***DATOS DEL PROYECTO***

<i>Lugar</i>	Condado Makueni, Kenia
<i>Entidad colaboradora</i>	The Water Project y Africa Sand Dam Foundation
<i>Beneficiarios</i>	500 personas máx.
<i>Tipo de construcción</i>	Presa de arena

*Presupuesto*

-

*Tabla 4. Resumen proyecto Itatini. Fuente: Propia*

Se trata de la construcción de una presa de arena en una región en el sur de Kenia. Para ello, se tuvo que excavar hasta una base de rocas impermeable para prevenir filtraciones. Desde ahí se erigió un muro con el que se frena el agua y provoca la decantación de los elementos en suspensión que transporta el río.

El objetivo principal del proyecto era mejorar los accesos a agua de la zona y así poder beneficiar a un total de 1474 personas provenientes de tres comunidades: Mukimwani, Kivani y Kitui. Además, también se buscaba enseñar a los locales técnicas de regadío y cultivo, con la que se pudo mejorar su productividad. Gracias a un acceso mejorado de agua, nociones básicas de higiene también fueron introducidas en la zona.



*Ilustración 25. Miembros de la comunidad y presa construida. Fuente: The Water Project*

Para construir la presa, se estableció un grupo de trabajadores de las comunidades cercanas. Este grupo estaba mayormente constituido por mujeres, lo que demuestra una mayor implicación en actividades para mejorar el acceso al agua, al ser la recolección de agua una tarea que les afecta más a ellas. Antes de que la presa se construyera, la mayor parte de los locales tenían que andar más de 6 km para obtener agua. Tras la construcción de la presa, el nivel freático de la zona aumento por lo que se puso en marcha la segunda etapa del proyecto: construcción de un pozo con el que poder obtener el agua más fácilmente. La construcción de la presa comenzó en octubre de 2015 y finalizó en noviembre de ese mismo año. La obra se materializó gracias a la ONG The Water Project en colaboración con la Africa Sand Dam Foundation.

## **Capítulo 4. ESTUDIO DEL TERRENO**

En este capítulo, se recogen las características técnicas del lugar en el que se construirá la presa, con el fin de determinar el tipo de presa y el emplazamiento más adecuados. Por ello, será necesario considerar factores como la topografía, geología, clima y la hidrología de la zona, además dado las limitaciones en el presupuesto, se tratará de buscar que la solución dada emplee de la manera más eficiente el dinero disponible. La obra se llevará a cabo en una región remota donde el acceso a maquinaria pesada es limitado y muy caro, por lo que se le dará importancia a aquellos métodos de construcción que puedan hacerse de manera manual. Siempre que sea posible, se emplearán materiales que se encuentran en las proximidades del emplazamiento. De esta manera, se pueden reducir tiempos de espera hasta recibir los materiales, pudiendo así ejecutar la construcción de una manera más efectiva, esta medida también repercutirá de manera positiva en el presupuesto.

Otro aspecto que se considerará es la aceptación del proyecto por parte de la comunidad, por ello será de vital importancia su integración en las labores de construcción y toma de decisiones desde el primer momento. Este factor también repercutirá en la complejidad de la infraestructura de cara a sus mantenimientos, si se termina construyendo una infraestructura muy compleja, los mantenimientos asociados deberán ser más rigurosos y se puede correr el riesgo de que la comunidad no sea capaz de llevarlos a cabo y la construcción acabe en desuso.

Una vez analizada detenidamente esta información se seleccionará el tipo de presa más adecuado para el proyecto.

## 4.1 EMPLAZAMIENTO

El objetivo de esta sección es conocer en detalle los aspectos sociales de las zonas colindantes al emplazamiento seleccionado para la presa. Para ello, se estudiará la existencia de otras construcciones en la zona, especialmente viviendas, cuyos habitantes será los beneficiarios directos de proyecto. Este análisis servirá para determinar la demanda que la presa tendrá que abastecer, que se estudia en detalle en una sección posterior. Además, se hará una reflexión sobre la idoneidad del emplazamiento para la construcción de la presa ateniéndose a factores como la presencia de pozos de agua en la zona o la presencia de vegetación en las orillas del río durante todo el año.

La zona elegida para construir la presa se encuentra al norte del país, en el distrito Mount Darwin, perteneciente a la región Mashonaland central. Se trata de una región remota con una escasa red de carreteras hacia zonas más desarrolladas, siendo la mayoría de ellas caminos de tierra. El emplazamiento se encuentra a 25 km de Mount Darwin, a 6 km de Dotito y a 150 km al norte de Harare. Con más exactitud, el emplazamiento se encuentra en las siguientes coordenadas.

### *Coordenadas*

<i>Latitud</i>	-16.55
<i>Longitud</i>	31.52

*Tabla 5. Coordenadas del emplazamiento. Fuente: propia.*

Son apreciables, aunque muy dispersas, construcciones en la zona. El tipo de construcción que predomina en la zona se basa en tres elementos con usos diferenciados: la vivienda propiamente dicha, que queda reserva para dormir, la cocina, lugar de encuentro donde pasan la mayor parte del tiempo y comen, y las letrinas.

La mayor concentración de edificaciones en las inmediaciones de la presa se encuentra en las laderas de la colina Divamombe, a menos de 3 km al oeste de la zona elegida para la construcción. Tanto los habitantes de esas casas como los que se encuentran en las

proximidades de la presa podrán beneficiarse de la infraestructura, aunque tendrá un mayor efecto en la vida de estos últimos. Los locales tendrán a su disposición una fuente de agua potable cerca de sus casas que podrán utilizar tanto para su consumo propio como en la agricultura. Esta construcción puede favorecer el desarrollo de la comunidad gracias a un aumento de la productividad en el cultivo de cosechas y una mejora en las condiciones de higiene.



*Ilustración 26. Construcciones colina Divamombe. Fuente: Google Earth*

En las imágenes satélite disponibles, aún se observan los restos de la presa que los locales construyeron, una línea recta blanca de unos 20 metros. En la siguiente ilustración se ha representado una circunferencia con un radio de 600 m (circunferencia roja) para así delimitar el número de personas que se beneficiarían de manera directa de la presa.



*Ilustración 27. Emplazamiento y radio de acción. Fuente: Google Earth*

En la zona delimitada, que ocupa un área de algo más de  $1\text{km}^2$ , son varias las concentraciones de viviendas que se pueden encontrar en la parte derecha e inferior (zona dentro de los ovalos amarillos). Las construcciones que se encuentran la zona inferior del radio de acción están dispuestas a lo largo de un camino de tierra que llega hasta la presa. La existencia de este camino directo facilita considerablemente el acceso hasta la presa. Los habitantes de estas casas será los principales beneficiados por esta construcción. En el peor de los casos, los locales tendrían que andar como máximo entre ida y vuelta un poco más de 1 km para obtener agua.

Dentro del perímetro delimitado y al norte de la presa se encuentra también la escuela de agricultura, que la ONG ha construido en los últimos años. Los terrenos de las proximidades de la escuela fueron donados por el ayuntamiento y se destinará a la agricultura. Cabe destacar que este terreno tiene una elevada inclinación, aspecto que puede complicar el cultivo de cosechas ya que se pueden producir fuertes escorrentías con las intensas lluvias de la zona. Para tratar de solventar este inconveniente, y como se ha realizado en cultivos cercanos, se recomienda realizar terrazas siguiendo las curvas de nivel para solventar el

desnivel. Su cercanía con respecto a la presa, las hacen ideales para la instalación de algún sistema de regadío.



*Ilustración 28. Situación de la escuela y terreno cedido. Fuente: Google Earth*

En las regiones rurales de Zimbabue, siguen una economía de subsistencia basada en la agricultura como principal medio de ingresos. Por esta razón encontrar en los alrededores de la comunidad almacenes, en los que adquirir los materiales de construcción será complicado. En anteriores construcciones, la ONG ha adquirido los materiales necesarios para otros proyectos en Dotito, donde se encuentra el establecimiento de construcción más cercano. En caso de necesitar equipamiento con unas características más concretas, se tendrá que recurrir a tiendas en Harare. Al tratarse de la capital del país, son varios los establecimientos especializados que se pueden encontrar allí. Es importante tener en cuenta durante el diseño, que la solución presentada debe ser flexible para que se puedan introducir pequeños cambios para adaptar el proyecto a las condiciones que se den allí.

Varias de las construcciones recientes que se pueden encontrar en la zona se han llevado a cabo gracias a CFA en colaboración con voluntarios locales y la Fundación de Ingenieros del ICAI. Esta institución cuenta con 20 años de experiencia en la zona realizando una gran

labor para mejorar la calidad de vida de la comunidad asegurando una educación de calidad y ayudando a desarrollar técnicas en la agricultura. Son varios los proyectos que demuestran el grado de compromiso de la ONG con el desarrollo de la zona, entre los que destacan la construcción de la escuela, a escasos metros de la zona elegida para la presa, una piscifactoría y varios pozos.

La existencia de pozos en la zona, el más cercano de ellos a pocos metros al norte de la presa, es un elemento positivo para la construcción de la presa ya que demuestra el elevado nivel freático de la zona y la existencia de acuíferos que se podrán recargar. Otro elemento que sirve para determinar la idoneidad del emplazamiento para construir una presa es la existencia de vegetación durante casi todo el año en las orillas del río. El hecho de que haya vegetación, incluso en la época seca, cuando el agua por lo general escasea, indica que ese terreno tiene la humedad necesaria para que estos árboles sobrevivían. Conociendo el tipo de vegetación se puede llegar a estimar a la profundidad a la que se puede encontrar agua.



*Ilustración 29. Comparación vegetación de la zona en marzo (superior) y agosto (inferior)*

## **4.2 DEMANDA**

Para saber el volumen de agua que la presa tendrá que alojar es necesario conocer las necesidades que la comunidad tiene respecto al agua. En esta sección se hará un estudio de la cantidad de agua que la comunidad necesita para sus tareas diarias. La idea es que en la medida de lo posible la presa sea capaz de abastecer las necesidades para uso humano (consumo e higiene) y en la agricultura (cultivos). Con el objetivo de estimar estas

necesidades se realiza un estudio de la población de la zona y la extensión de los campos de cultivo cercanos que usarían esta agua para el regadío.

La población actual en las inmediaciones de la presa, y que por tanto se podrá beneficiar directamente de ella, se estima en unas 2000 personas. La población no es factor fijo en el tiempo si no que irá fluctuando en los próximos años, pudiendo aumentar o disminuir. Para el dimensionamiento de la presa es necesario realizar una estimación considerando un año horizonte. En este caso se estudia la población y consiguientemente el consumo que las comunidades cercanas harán a 25 años vista. Todo ello para asegurar el suministro de agua a la población en caso de que la demanda futura aumente.

Para estimar esta variación de la demanda a lo largo del tiempo se ha empleado el método geométrico de crecimiento poblacional.

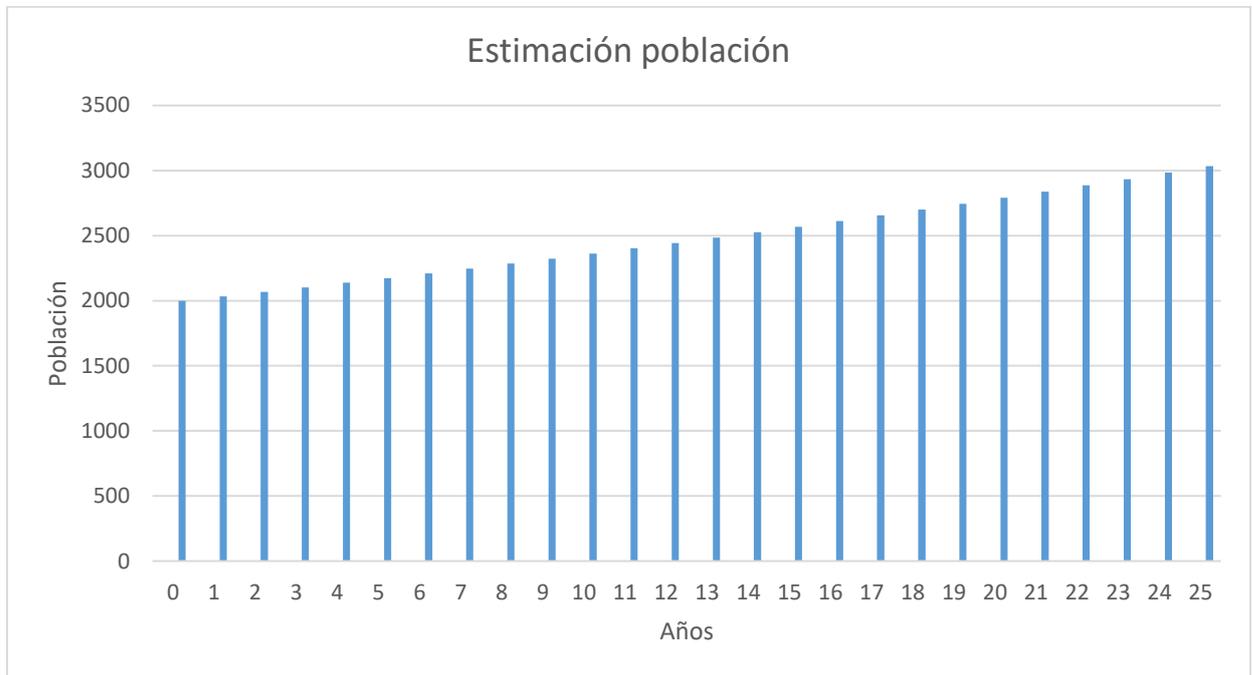
$$P_j = P_o(1 + j)^i$$

Donde:

- $P_j$ : población estimada del año  $j$
- $P_o$ : población inicial
- $j$ : año en el que se realiza la estimación
- $i$ : tasa de crecimiento poblacional

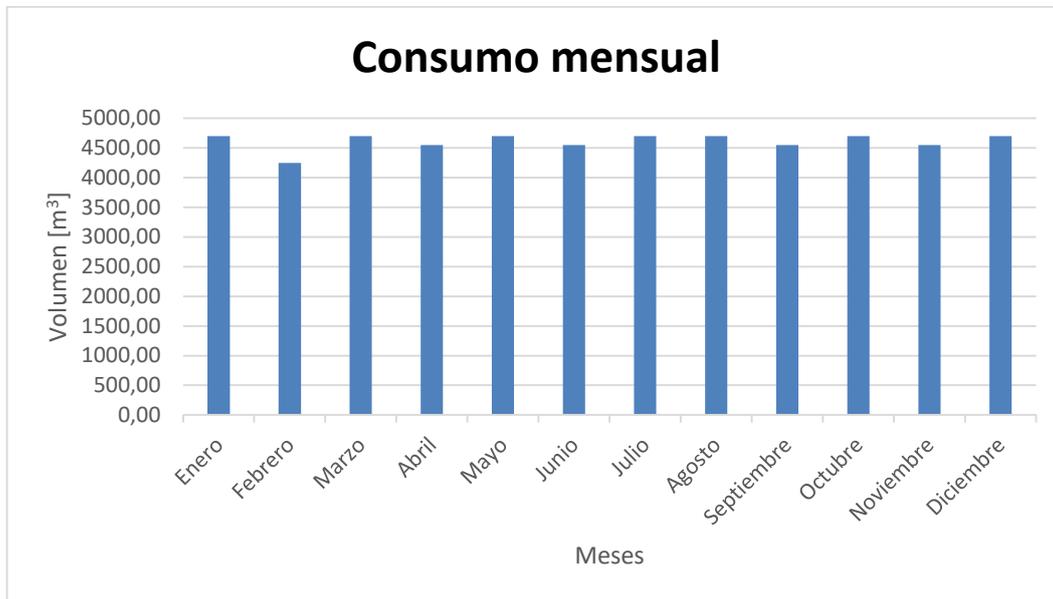
En este cálculo, se ha empleado la tasa de crecimiento poblacional estimada en 2018 para todo el país, dato que se encuentra en el 1.68%. El crecimiento de la comunidad de interés no diferirá sustancialmente de la tasa estimada para el país.

Teniendo en cuenta estas estimaciones se calcula que, dentro de 25 años, la presa tendrá que ser capaz de suministrar agua a 3300 personas.



*Ilustración 30. Incremento población de la zona. Fuente: propia*

Conocida la población para el año horizonte establecido, es necesario determinar la dotación de agua necesaria diaria para esas personas. Se fija el consumo diario por persona en 50 litros, volumen que según la OMS es el necesario para cubrir las necesidades básicas de consumo e higiene. Esta cifra contrasta fuertemente con los 300 litros que se usan de media en los países desarrollados. Estableciendo un consumo diario de 50 litros por persona y teniendo en cuenta la población estimada anteriormente para el año horizonte, dentro de 25 años, la presa tendrá que proporcionar mensualmente los siguientes volúmenes:



*Ilustración 31. Consumo mensual estimado dentro de 25 años. Fuente: propia*

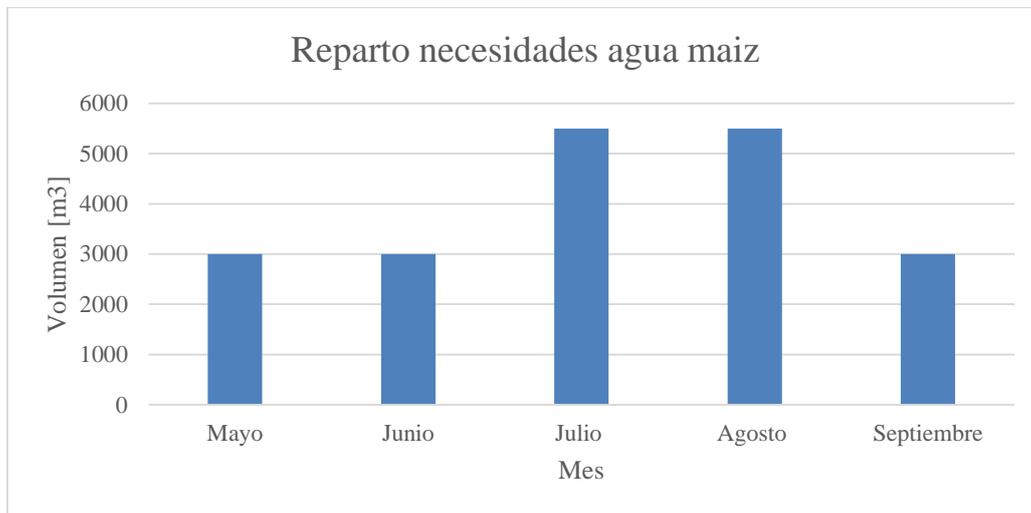
Se pretende que la presa también tenga la capacidad para proporcionar agua a los cultivos de la escuela de agricultura. El maíz es el cultivo que se da con mayor presencia en la zona y supone uno de los productos más exportados por el país. Dado a la gran importancia del maíz en la zona, se ha decidido destinar parte de las tierras cedidas por el ayuntamiento a su cultivo. Dado a la inclinación del terreno, el total de hectáreas destinadas al cultivo de maíz dependerá de la realización de terrazas, como se comentaba en el apartado de topografía. De las casi 3 hectáreas que se han decidido destinar para la agricultura, tras el proceso de aplanamiento del terreno, se estima que se puedan cultivar unas 2.5 hectáreas.

El maíz es un cultivo que tiene unos requisitos hídricos elevados, necesita de media a lo largo de su cultivo una aportación media entre 500 mm y 800 mm. Las mayores aportaciones de agua se deben realizar en la etapa intermedia del crecimiento del maíz, que es cuando da lugar la floración y su demanda es mayor.

Para repartir la demanda del maíz a lo largo del año, se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La mejor época para su cultivo se da de mayo a septiembre.

- No se considera un aumento del terreno a regar en los próximos años,
- Se asume que su consumo es el mayor de la horquilla de valores anterior, 800 mm. Lo que da un consumo total para las 2.5 hectáreas que se pretenden regar de 20000 m<sup>3</sup>
- Mayor necesidad hídrica en el periodo central. En la siguiente tabla se muestra el reparto de las necesidades hídricas en función del mes.



*Ilustración 32. Reparto necesidades agua maíz. Fuente: propia*

<i>Mes</i>	<i>Aportación [m<sup>3</sup>]</i>
<i>Mayo</i>	3000
<i>Junio</i>	3000
<i>Julio</i>	5500
<i>Agosto</i>	5500
<i>Septiembre</i>	3000

*Tabla 6. Reparto necesidades agua maiz. Fuente: propia*

Si se tienen en cuenta los consumos de la población y de la agricultura, se obtienen los siguientes consumos totales cada mes para el año horizonte. Se observa que el consumo máximo se da en julio y agosto.

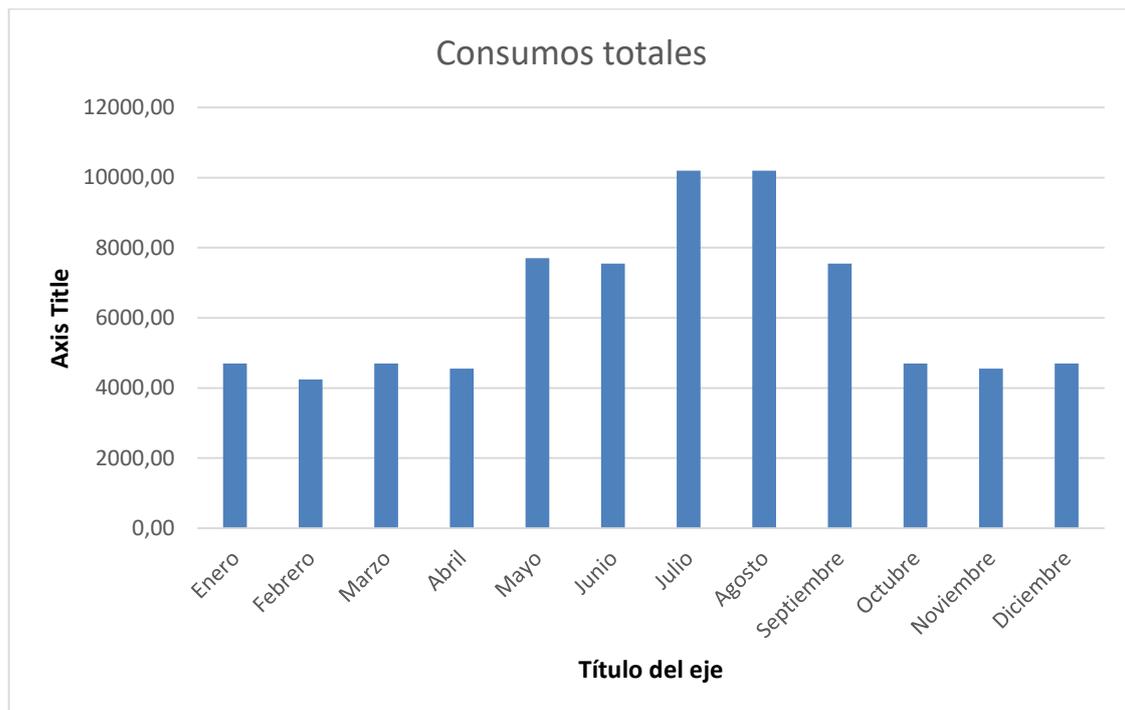


Ilustración 33. Consumos totales. Fuente: Propia

Mes	Consumo humano [m³]	Agricultura [m³]	Total [m³]
Enero	4701.65	0	4701.65
Febrero	4246.65	0	4246.65
Marzo	4701.65	0	4701.65
Abril	4549.98	0	4549.98
Mayo	4701.65	3000	7701.65

<i>Junio</i>	4549.98	3000	7549.98
<i>Julio</i>	4701.65	5500	10201.65
<i>Agosto</i>	4701.65	5500	10201.65
<i>Septiembre</i>	4549.98	3000	7549.98
<i>Octubre</i>	4701.65	0	4701.65
<i>Noviembre</i>	4549.98	0	4549.98
<i>Diciembre</i>	4701.65	0	4701.65

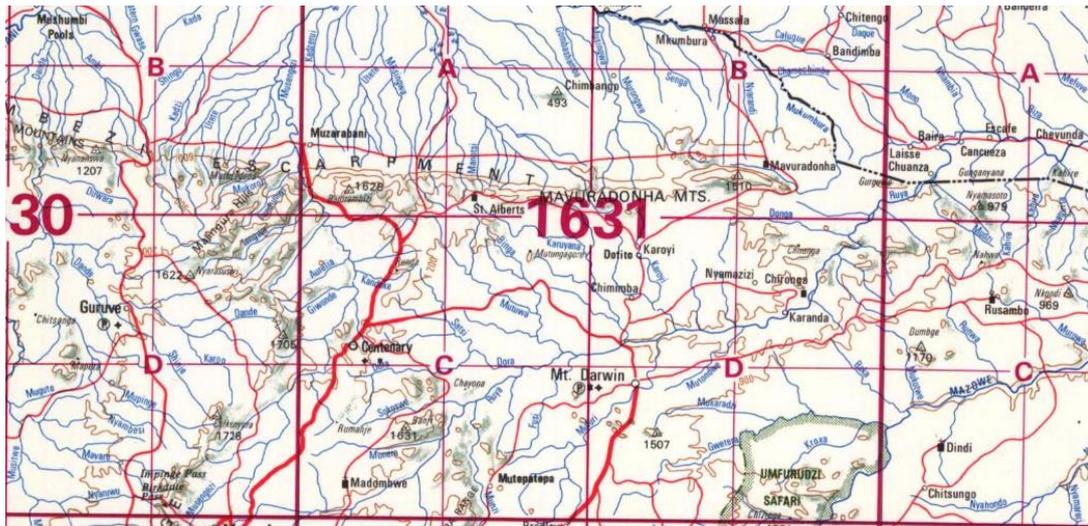
*Tabla 7. Valores consumos totales. Fuente: Propia*

### **4.3 TOPOGRAFÍA**

La información topográfica de la zona es de gran importancia para determinar el desnivel del terreno y los cauces de los ríos efímeros que aportará agua al embalse. Analizar la topografía de la zona será de interés para determinar si el emplazamiento propuesto cumple con las condiciones necesarias para el almacenamiento de agua. Se realizará una reflexión sobre el lugar más idóneo para realizar el cerramiento del valle, teniendo como objetivo final alcanzar la máxima capacidad con la construcción de un dique del menor tamaño posible.

Realizar un estudio exhaustivo de la topografía de un país es una labor tediosa y necesita la inversión de grandes recursos económicos. Zimbabue, dado a su situación económica no ha destinado grandes sumas de dinero a la elaboración de estudios de este tipo con la precisión que este proyecto requiere. La información topográfica disponible es muy limitada. El plano topográfico de mayor resolución que se dispone se realizó en 1973 y cuenta con una escala de 1:1000000, muy baja para este proyecto. Hay que tener en cuenta que 1 cm de este mapa suponen 10 km en la realidad. Además, teniendo en cuenta que las líneas de contorno

representadas se han trazado cada 300 metros y que la presa tendrá una longitud inferior a 100 metros de largo, se llega a la conclusión de que este mapa no es válido para la realización del proyecto.

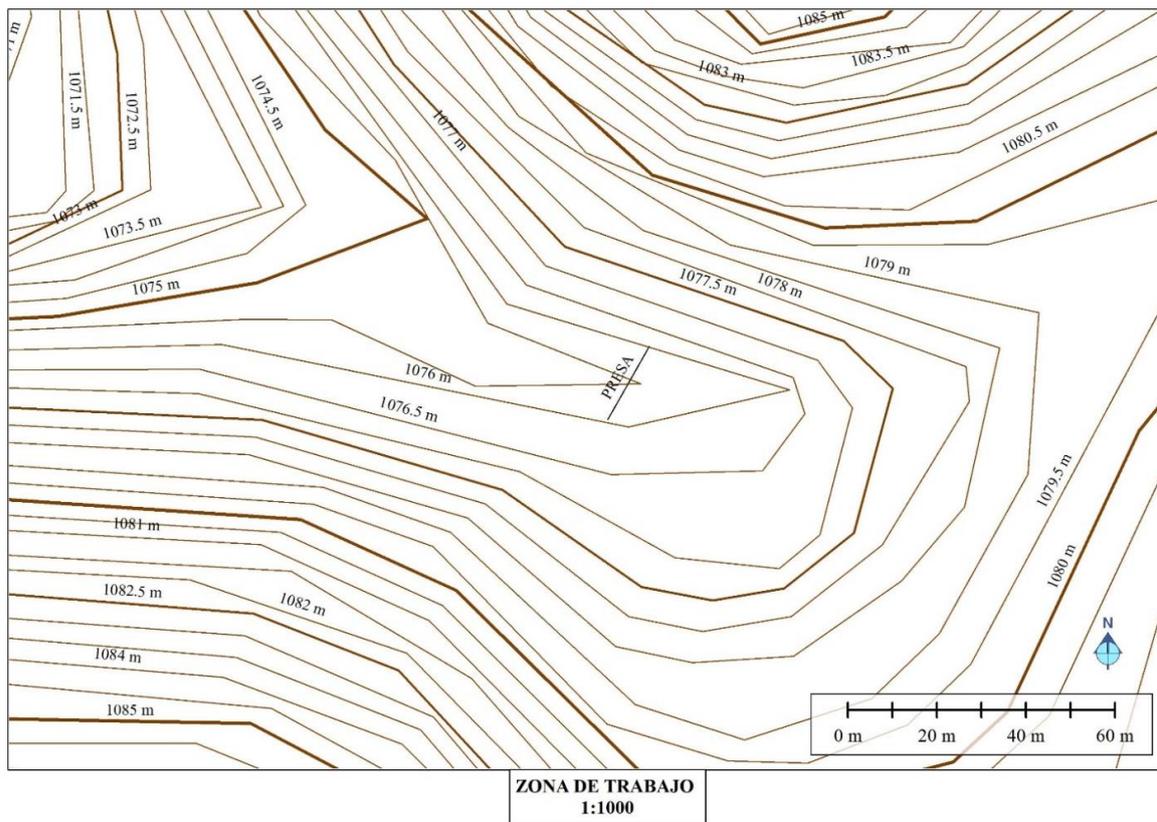


*Ilustración 34. Relieve de la zona escala 1:1000000. Fuente: Gobierno de Zimbabue*

Haciendo uso de GPS y equipamiento especializado, se puede realizar un estudio topográfico del emplazamiento. Como se comentaba antes, se trata de un estudio que requiere destinar una gran parte de tiempo y recursos. En caso de realizarse, se estaría invirtiendo en este estudio tiempo que es necesario para la construcción de la presa; la intervención en la zona es limitada y se deberá hacer de acuerdo con la metodología previamente establecida. Al aumentar el tiempo de intervención los recursos necesarios podrían aumentar, especialmente si es preciso usar material técnico. Además, sería necesario realizar dos intervenciones en la zona, una primera para estudiar el terreno y una vez esta información fuera analizada, otra para comenzar la construcción de la presa.

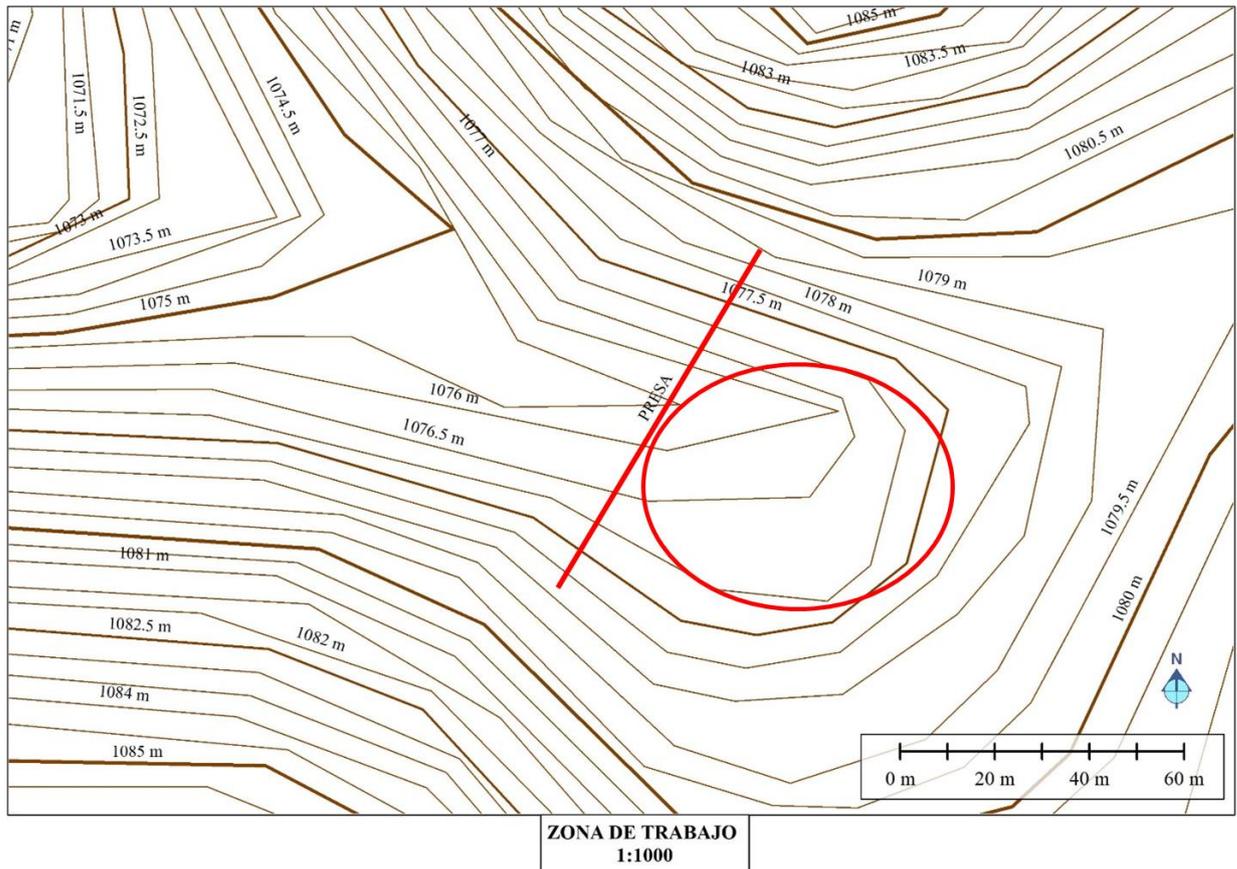
Para este proyecto, dado a los buenos resultados que ofrece y los pocos recursos que emplea se ha optado por elaborar los mapas topográficos haciendo uso de un programa GIS. Global Mapper ha sido el programa seleccionado en esta ocasión, tomado como base los modelos digitales de terreno (MDT), Shuttle Radar Topography Mission (STRM) en su tercera versión, elaborados por la NGA y la NASA. Con esta información topográfica del terreno e

introduciendo los valores de escala y curvas de nivel deseados, se obtuvieron los mapas topográficos del terreno. Se ha considerado que una escala adecuada para representar con detalle la zona a estudiar es de 1:1000 con unas curvas de nivel cada 0.5 m. A continuación, se puede observar el mapa obtenido.



*Ilustración 35. Mapa topográfico del emplazamiento. Fuente: propia*

Hay que tener en cuenta que, aunque los resultados sean buenos y ayude a comprender de mejor manera el terreno, este tipo de estudio topográfico no puede sustituir a un estudio clásico, que cuentan con un nivel de precisión aún mayor. Por esto, cuando se llegue a la zona, habrá que realizar un análisis del terreno para determinar en qué grado se parece la realidad a lo estudiado. En todo caso, las diferencias con respecto a la realidad no serán excesivas por lo que con cambios ligeros en el diseño la presa se podrá adaptar a la perfección.

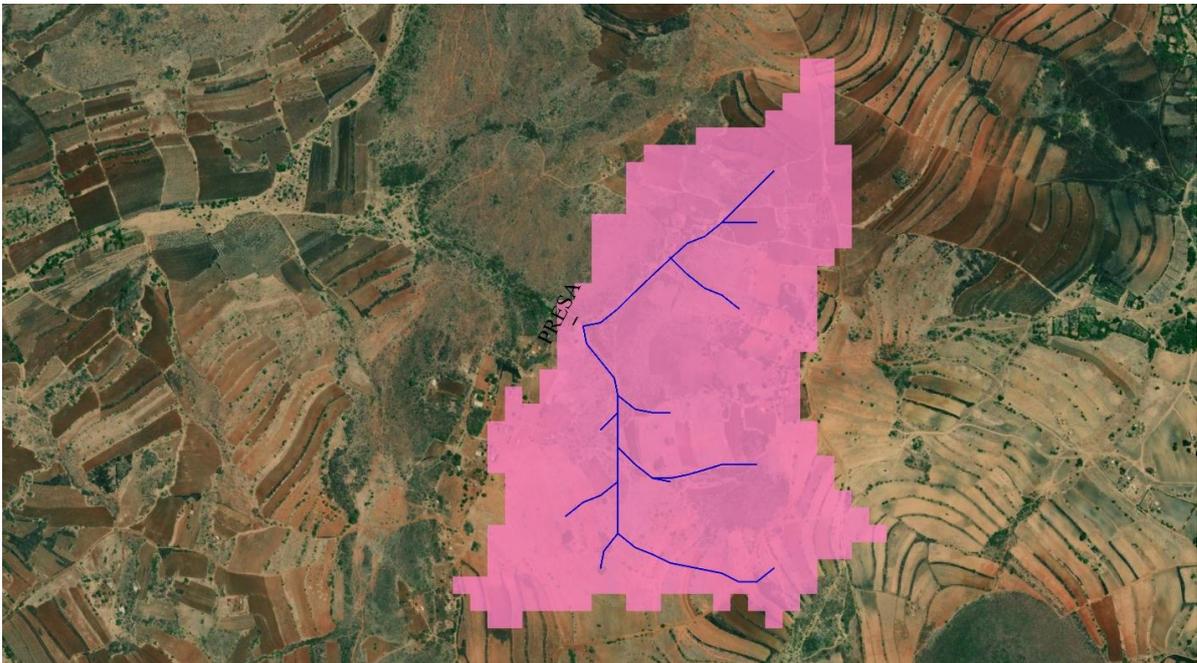


*Ilustración 36. Propuesta de cerrada y zona de embalse. Fuente: propia*

Elaborado el mapa, se puede comprender con mayor facilidad las características del relieve de la zona y llegar a determinar si el emplazamiento es adecuado para la presa o si es necesario situar la presa en otro lugar. Observando la ilustración 36, se ha señalado una propuesta para el eje de la cerrada de la presa, en una zona en la que se aprecia un estrechamiento del terreno y un aumento repentino de las laderas. Aguas arriba de este emplazamiento, se puede observar una zona amplia en la que la pendiente es menor (parte dentro de la circunferencia roja), ideal para destinarla a la acumulación de agua. Estas características del terreno son ideales para la construcción de una presa ya que suponen que una mayor cantidad de agua se puede almacenar y el cerramiento del valle se puede realizar con un dique no muy largo. El emplazamiento propuesto coincide casi a la perfección con el que los locales consideraron adecuado y construyeron la pequeña presa inicial.

Las cuencas hídricas y los cauces que aportan agua a la presa también se han obtenido haciendo uso de Global Mapper. Para calcular la superficie de las cuencas vertientes se hace de nuevo uso de Global Mapper. Introduciendo el eje de la presa, se obtienen las cuencas que vierten y las áreas de cada una de ellas. Se ha seleccionado calcular las cuencas empleando una cuadrícula de 150x150 m, lo que supone un área de 22500 m<sup>2</sup>.

Se observa en la siguiente ilustración que son dos los cauces que llegan hasta la presa, algo muy positivo ya que implica una mayor aportación de agua, pudiendo así llegar retener volúmenes mayores.



*Ilustración 37. Cuenca y cauces. Fuente: propia*

La cuenca vertiente tiene un área total de 0.677 km<sup>2</sup> y presenta una pendiente media del 5.14%. Este valor se encuentra en el límite recomendado para la construcción de presas superficiales, para las que se recomienda construir en zonas con una pendiente sea menor a un 4%-5%. En el caso de las presas de arena la pendiente se debe encontrar en entre el 0.3% y el 4% para que tengan un funcionamiento óptimo. Por esto la construcción de una presa de arena puede no ser la mejor solución teniendo en cuenta la pendiente del terreno. Además,

la construcción de presas de arena no se recomienda en cauces con un ancho mayor de 25 metros. Si se construyese una presa de esa longitud en este emplazamiento la cantidad de agua recolectada sería ínfima, no pudiendo abastecer la demanda de la población cercana.

Por su parte el cauce más largo que se forma en la cuenca tiene una longitud total de 859.77 metros y transcurre desde la cota 1102.867 m hasta la 1075.727.

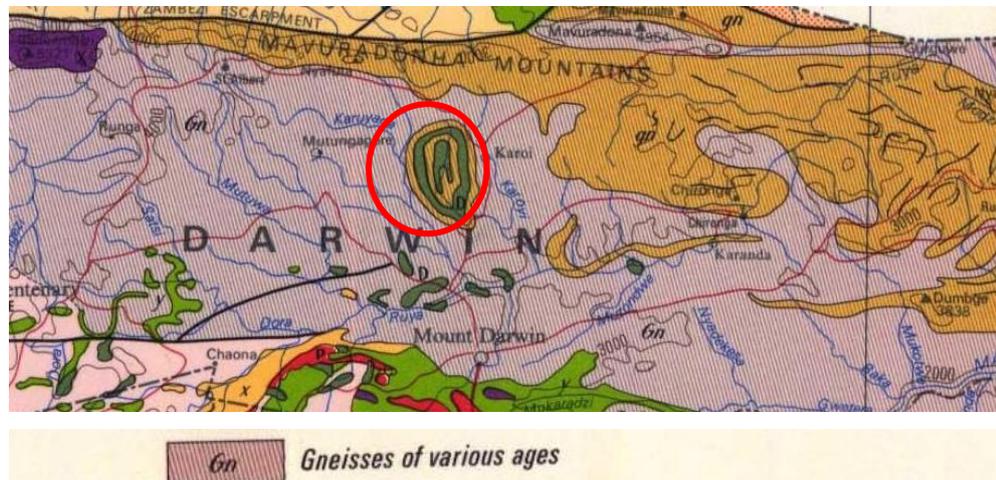
#### **4.4 ESTUDIO GEOLÓGICO**

El estudio geológico del terreno y posteriormente el geotécnico es de vital importancia en la construcción de una presa para determinar si cumple con los siguientes requisitos:

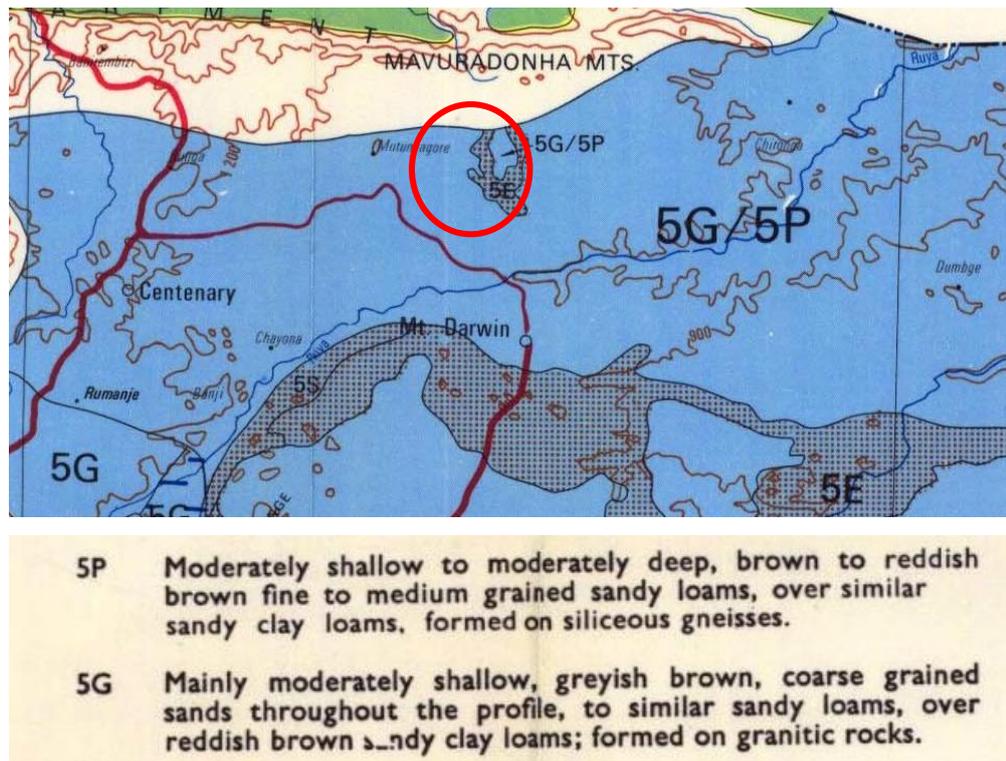
- El terreno tendrá que ser capaz de soportar el peso de la infraestructura construida, en caso opuesto no servirá para nada los hitos alcanzados y la presa estará expuesta a un deterioro acelerado pudiendo causar el colapso de la estructura. A su vez, el terreno debe tener las condiciones apropiadas para impedir las filtraciones y así conseguir que no se produzcan pérdidas de agua.
- Conocer con fidelidad las condiciones geológicas del terreno es un paso primordial en cualquier obra civil, para ello es preciso realizar trabajos de campo en el lugar que se pretende realizar el proyecto. En este caso, tal y como se ha expuesto a lo largo de este capítulo, la información disponible del país es limitada y no es posible realizar una caracterización del terreno previo a la puesta en marcha del proyecto. Teniendo en cuenta estas condiciones se decide obtener la información geológica necesaria para el proyecto basándose en estudios previos realizados por instituciones locales.

Para determinar las características del suelo se han empleado tres fuentes para poder contrastar la información recogida en cada una de ellas y así conseguir una representación de la realidad lo más precisa posible. Son dos los mapas geológicos de la zona que permiten establecer el tipo de suelo del emplazamiento.

- Mapa geológico de Rodesia 1:1.000.000 Sexta Edición 1971



- Mapa de terreno Zimbabwe 1:1.000.000 Edición 2



La información que se extrae de los mapas geológicos junto con los perfiles del terreno desarrollados en 1965 por J. G. Thompson, permite establecer que el suelo de la zona es ferralítico.

Los suelos ferralíticos se caracterizan por tener composiciones elevadas de aluminio y hierro dado al grado de meteorización al que se han visto sometidos. En determinadas zonas también es frecuente la presencia de caolinita en el terreno.

A continuación, se exponen las distintas capas de materiales que se dan en la zona hasta que se alcanza la roca madre:

<i>Profundidad</i>	<i>Características</i>
<b>0-12 cm</b>	Suelos marrones con tonalidades rojizas con un tamaño de grano fino a mediano de arena franca. El terreno se caracteriza por ser quebradizo y por no tener una fuerte consistencia. Es frecuente la presencia de raíces. Esta primera capa alcanza los 12 cm en las zonas más profundas.
<b>12-30 cm</b>	Terreno marrón rojizo similar al anterior, en diversas zonas se aprecian pequeñas partículas que se pueden ser mica. La consistencia es mayor que en la capa anterior, aunque las raíces siguen estando presente.
<b>30-62 cm</b>	Se aprecia un aumento de la composición de arcilla del terreno, aunque no llegando a ser substancial da lugar a una textura franco-arcillo arenosa. La consistencia del terreno es mayor siendo este firme y bien compactado. A esta profundidad, la presencia de raíces es casi nula.
<b>62-115 cm</b>	Finalmente se llega a la capa de roca madre, una capa sólida en la que dependiendo de la zona se puede encontrar roca gneis o granito, aunque en menores proporciones. El gneis es un tipo de roca metamórfica, que se formó entre la era paleoarcaica y la mesoarcaica, hace 3600 y 3200 millones de años, respectivamente.

De la tabla anterior, en la que se recogen las distintas capas que se dan en el terreno hasta alcanzar el lecho rocoso, se extrae que para alcanzar una capa sólida en la que poder establecer los cimientos de la presa se tiene que excavar algo más de 1 metro. Para redondear el valor, en cálculos futuros tomaremos 1,2 m como profundidad hasta el granito o gneis. La composición mayoritaria del terreno es franco arenoso y franco-arena arcillosa, caracterizada por composiciones de arena comprendidas entre el 60% y el 90%, una composición de arcilla no superior al 40%. El tipo de terreno presente en el emplazamiento queda recogido en el triángulo de texturas siguiente, que representa el tipo de suelo en función de su composición de arcilla, arena y limo.

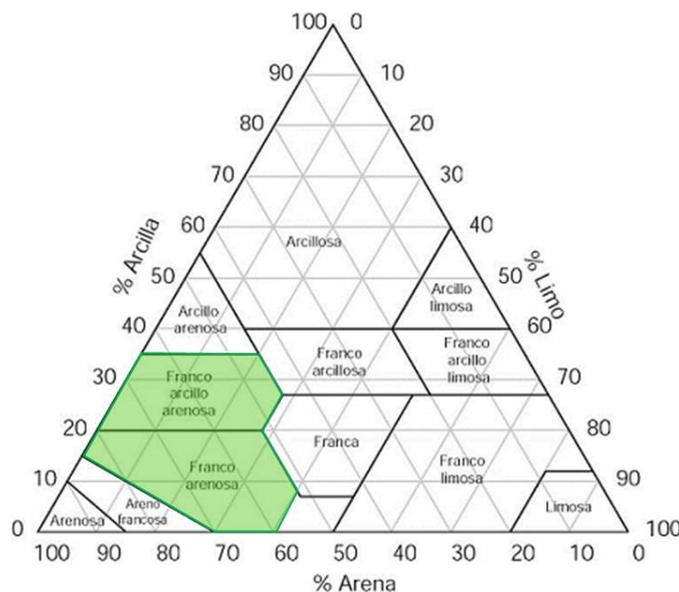


Ilustración 38. Textura del terreno del emplazamiento. Fuente: propia

El triángulo de texturas se emplea para determinar si el tipo del terreno es adecuado para la construcción de una presa de arena. Dentro del recuadro verde quedan recogidas los terrenos óptimos para construir una presa de arena y dentro del amarillo aquellos que pueden suponer algún tipo de problema, el resto de las tierras no se recomienda construir estas presas. El tipo de suelo que se da en la zona de la presa queda dentro de la región verde. Este tipo de terreno es el correcto para la construcción de una presa de arena, se trata de un terreno con pocos porcentajes de arcilla y limo, que junto a su tamaño entre mediano y grueso asegura una buena retención de agua.

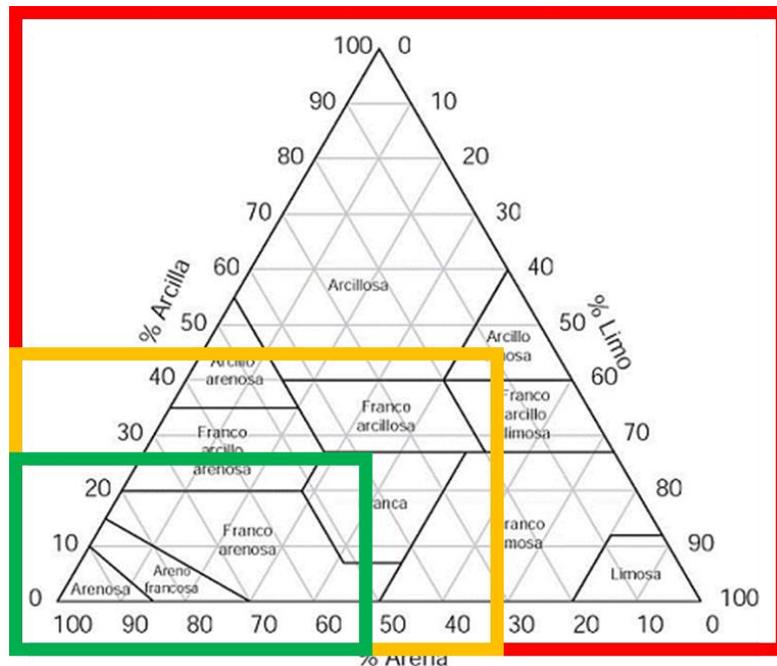


Ilustración 39. Texturas para la construcción de una presa de arena. Fuente: propia

Una vez en la zona, se podrá estudiar de manera más concreta las características del terreno. En el capítulo de metodología se detallan dos formas sencillas pero efectivas para la determinación del terreno que no precisan de equipamiento especializado o una gran aportación económica.

Debajo de la capa de arena, debe existir un lecho rocoso para frenar el avance del agua y así asegurar que no se den infiltraciones. El tipo de roca adecuado para una presa de arena es el granito, seguido del gneis. En este emplazamiento el tipo de roca predominante es el gneis, un material resistente usado en varias presas en el mundo tanto en los cimientos para soportar el peso de la estructura, como material de relleno en presas de materiales sueltos.

El tipo de materiales que se depositan detrás de la presa depende directamente de los materiales que componen el terreno. Las deposiciones de materiales con altos contenidos de limo son responsables en muchos casos de una reducción en la capacidad de almacenamiento de la presa y, además, potencian la evaporación al propiciar las condiciones adecuadas para la aparición de algas. Por esto, que el terreno en el que se pretende construir la presa no tenga apenas presencia de limo es un factor positivo.

La información que se ha obtenido a través de los medios expuestos en esta sección ha sido contrastada con los datos que se conocen gracias a la ONG. La presa anterior construida por los locales falló dada a la alta filtrabilidad del terreno y no llegar a lecho rocoso. Por lo que la información obtenida se puede considerar adecuada.

#### **4.5 ESTUDIO GEOTÉCNICO**

En el estudio geológico recogido anteriormente, se ha establecido el tipo de terreno predominante en la zona y determinado las profundidades en las que se encuentran los distintos estratos. Tomando esta información como punto de partida, en esta sección, se realiza un estudio geotécnico del terreno con el objetivo de calcular la **resistencia a compresión del macizo rocoso, el ángulo de fricción y el coeficiente de cohesión**. En este proyecto, como en cualquier otra civil, es de vital importancia conocer estos factores del macizo, ya que será sobre el dónde recaiga todo el peso de la estructura.

El criterio de rotura de Mohr-Coulomb, define la resistencia del suelo a esfuerzos cortantes como la suma entre la cohesión del suelo y el rozamiento interno. Permite establecer una relación lineal entre la resistencia al esfuerzo cortante y la tensión normal al plano de corte. Esta simpleza, supone a la vez un inconveniente al solo poder usar este criterio directamente para determinar roca homogénea, en la que no hay presente ningún tipo de discontinuidad.

$$\tau = c + \sigma * tg(\phi)$$

Donde:

- $\tau$ : resistencia a esfuerzos cortantes
- $c$ : cohesión del macizo rocoso
- $\sigma$ : tensión normal al plano de rotura
- $\phi$ : ángulo de rozamiento

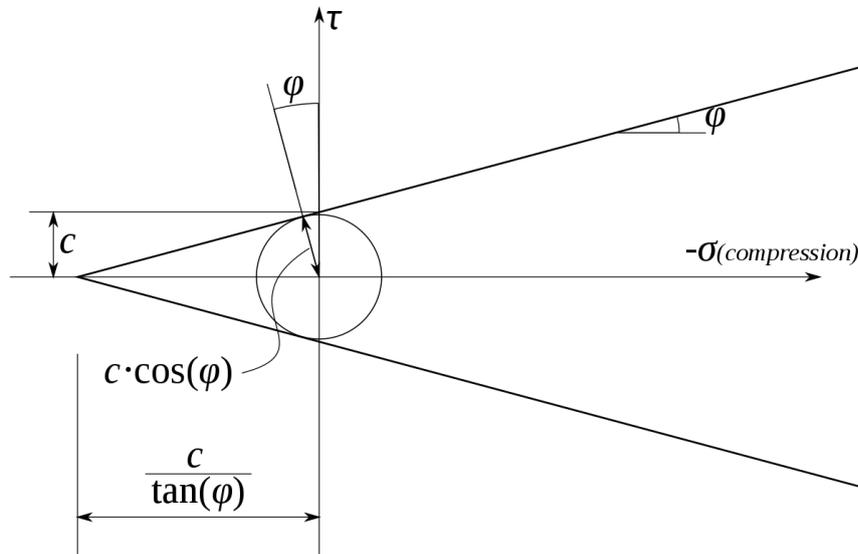


Ilustración 40. Diagrama de Mohr-Coulomb. Fuente: Wikipedia

En la aplicación que comprende la construcción de la presa, interesa caracterizar el macizo rocoso y no la roca intacta. Se entiende por macizo rocoso al conjunto de rocas que si presentan discontinuidades. Al no tratarse de un bloque homogéneo y continuo de roca, es más útil hacer uso del criterio de rotura de Hoek-Brown y posteriormente linealizarlo para obtener la cohesión y ángulo de fricción. El método de Hoek-Brown permite determinar los esfuerzos máximos que el macizo rocoso puede soportar en función a parámetros que dependen de la roca intacta y el estado del macizo.

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

Para realizar la linealización es necesario definir un nuevo concepto, la sigma máxima  $\sigma_{3max}$ . Gracias a este factor se establece una sigma máxima que el macizo puede soportar, que suele ser 4 veces superior al valor de la resistencia uniaxial de la roca intacta. En caso de que este límite no se definiese la recta linealizada podría tener una pendiente más o menos acusada.

$$\sigma_{3max} = 4 * \sigma_{ci}$$

Al no haberse realizado previamente prospecciones en el emplazamiento, no se disponen de las probetas necesarias sobre las que realizar ensayos triaxiales. Consecuentemente, al no ser capaz de determinar los principales rasgos del macizo de esa manera, se decide emplear programa Rocdata 5, desarrollado por Rocscience. Este programa permite caracterizar el macizo rocoso en función de cuatro parámetros:

- Resistencia a compresión uniaxial de roca intacta
- GSI: siglas en inglés para el índice geológico de resistencia, mide el grado de libertad del macizo rocoso. En su valor influyen la blocosidad y las condiciones de discontinuidades del macizo.
- $m_i$ : constante de Hoek-Brown para roca intacta.
- D: factor de disturbio, que se fija en cero en este caso. Indica el nivel de vibraciones al que se ha sometido el macizo como consecuencia de ondas sísmicas. También considera las vibraciones provocadas por maquinaria pesada.
- MR: siglas en inglés de Modulus Ratio, determinan la calidad de la roca

En caso de no disponer de los valores exactos de estos parámetros, la aplicación dispone de unos rangos tabulados para cada tipo de roca. En este caso se han empleado los valores medios de dichos rangos para los cuatro factores.

A continuación, se recogen las siguientes características para el gneis y el granito, que son el tipo de roca predominante en la zona.

<i>Parámetros</i>	<i>Gneis</i>	<i>Granito</i>
<i>Resistencia a la compresión uniaxial</i>	2.99 Mpa	3.307 Mpa
<i>Resistencia a la compresión global</i>	20.325 Mpa	25.049 Mpa
<i>Cohesión</i>	5.098 Mpa	6.164 Mpa
<i>Angulo de fricción</i>	36.717	37.589

*Tabla 8. Valores macizo rocoso. Fuente: propia*

En el dimensionamiento de la presa se tomará los valores de la roca gneis al presentar los valores más desfavorables.

Son dos los valores de resistencia a la compresión obtenidos, la resistencia a la compresión uniaxial y la resistencia a la compresión global. Las implicaciones de estos valores de cara a la resistencia son distintas de ahí que sea necesario considerarlos por separado.

- Resistencia a la compresión uniaxial: corresponde a la mayor tensión bajo la envolvente de Hoek-Brown que puede soportar el macizo cuando solo se le aplica compresión en su eje. Esta tensión determina el comienzo de la rotura del macizo dando lugar a la aparición de las primeras fisuras en el macizo.
- Resistencia a la compresión global: al linear la envolvente de Hoek-Brown aparece un nuevo estado tensional tangente al criterio de Mohr-Coulomb. Se trata de la resistencia a la tensión que produce la rotura total del macizo.

La resistencia a la compresión uniaxial no deberá de ser superada en ninguna condición y será de utilidad para determinar las dimensiones de la planta de la presa.

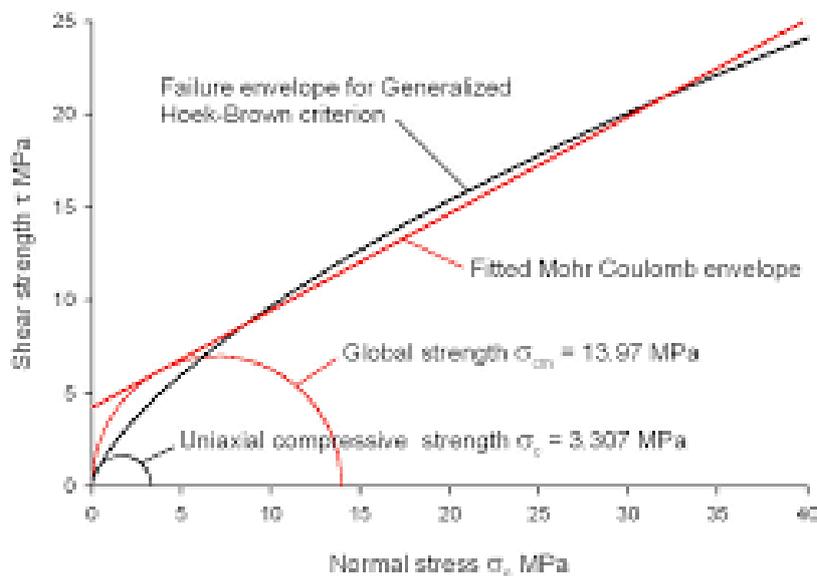
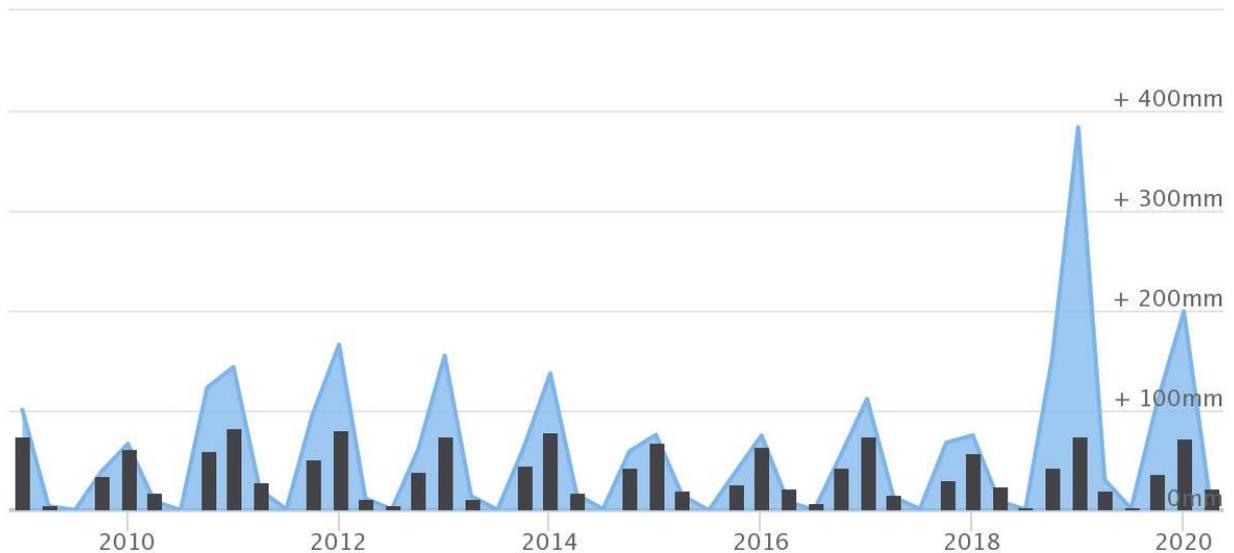


Ilustración 41. Comparación resistencias. Fuente: RocScience

## 4.6 CLIMA

Para esta sección, dada a la escasa información climatología disponible del emplazamiento de la presa, se ha optado por usar la información referente a Mount Darwin, donde se encuentra la estación meteorológica más cercana.

A pesar de que el país no se encuentra en el ecuador, el clima predominante es subtropical, debido a la altura del terreno. Existe una gran diferencia entre la época lluviosa y la seca. Las lluvias siguen un proceso cíclico, siendo muy abundantes de noviembre a marzo y casi inexistentes de mayo a septiembre. A pesar de que la época lluviosa es predominante durante un largo lapso, las lluvias suelen concentrarse en enero, siendo este el mes más lluvioso.



*Ilustración 42. Precipitaciones 2010-2020. Fuente: World Weather Online*

La temperatura no sufre grandes fluctuaciones a lo largo del año, no siendo excesiva la diferencia entre el periodo más caluroso y el más frío. El mes más caluroso es octubre con una temperatura máxima media es de 30°C el día más caluroso y el más frío es junio cuya temperatura mínima media el día más frío es de 20°C. Existen oscilaciones de temperatura en el territorio del país directamente relacionadas con el cambio de altitud. Generalmente hay 8 horas de sol al día e incluso en la época lluviosa, la media no desciende de las 6 horas.

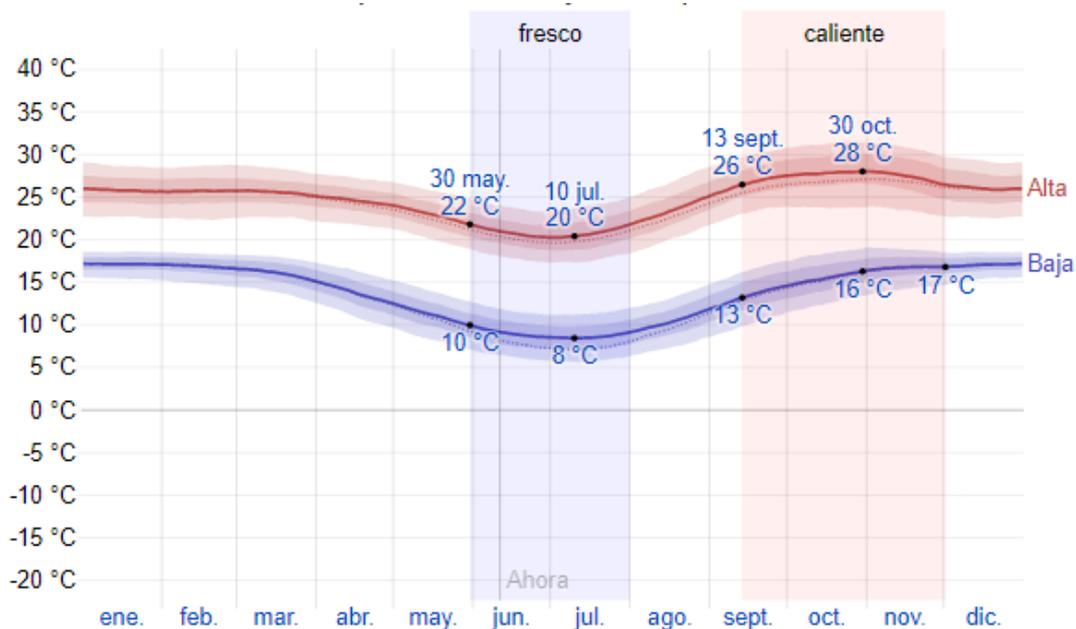


Ilustración 43. Temperaturas máximas y mínimas. Fuente: Weather Spark

La cantidad e intensidad de las precipitaciones son dos de los factores climáticos que más influencia tienen en la cantidad de agua que la presa logrará alojar. Además, también hay que tener en cuenta el grado en el que se da la evaporación en la zona como consecuencia de la radiación. Por tanto, la cantidad de agua almacenada en la presa y consiguientemente la eficiencia de la infraestructura, depende directamente del clima de la zona.

#### 4.6.1 EVAPORACIÓN

Una cantidad notable del total de agua almacenado en la presa se pierde como consecuencia de la evaporación. Realizar un estudio detallado del grado de incidencia de este fenómeno en la presa es útil para estimar con una mayor precisión el volumen que la presa puede alojar según la época del año.

Dado a la falta de información climatológica disponible, se ha decidido emplear una simplificación de la ecuación de Penman, ya que solo es necesario conocer datos de la temperatura de la zona.

$$E_0 = \frac{\frac{700 * T_m}{100 - A} + 15 * (T - T_d)}{80 - T}$$

Donde:

- $T$ : es la temperatura media
- $T_m$ : es una corrección de la temperatura en función de la altitud del emplazamiento

La corrección de la temperatura se calcula con la siguiente ecuación.

$$T_m = T + 0.006 * h$$

Donde:

- $A$ : es la latitud del emplazamiento en grados.
- $T_d$ : es la temperatura de rocío.

La temperatura media mensual se ha calculado a partir de una serie de temperaturas mensuales medias desde 1901 hasta 2016, obtenidas del portal Climate Change Knowledge del Banco Mundial. En el caso de la temperatura de rocío, no se disponen datos para el emplazamiento. Es por ello, que se utiliza la fórmula propuesta por Mark G. Laurence en el boletín de la asociación americana de meteorología. Con esta fórmula se obtiene la temperatura de rocío en función de la temperatura media y la humedad relativa del emplazamiento.

$$T_d = T - \frac{100 - HR}{5}$$

Donde:

- $HR$ : es la humedad relativa

Al no ser posible obtener datos de la humedad relativa para la zona ni las ciudades cercanas, se decide usar los datos de humedad relativa de Harare. Los datos empleados han sido obtenidos del dominio inglés Weather Online.

Los datos empleados para calcular la evaporación quedan recogidos en la siguiente tabla:

<i>Mes</i>	<i>HR [%]</i>	<i>T</i> [°]	<i>Td</i> [°]	<i>Elevación</i> [m]	<i>Latitud</i> [°]	<i>Tm</i> [°]
<i>Enero</i>	76.238	24.300	19.548	1078.000	-16.550	30.768
<i>Febrero</i>	79.289	24.470	20.328	1078.000	-16.550	30.938
<i>Marzo</i>	73.019	23.750	18.354	1078.000	-16.550	30.218
<i>Abril</i>	69.010	22.030	15.832	1078.000	-16.550	28.498
<i>Mayo</i>	65.888	19.880	13.058	1078.000	-16.550	26.348
<i>Junio</i>	55.735	17.450	8.597	1078.000	-16.550	23.918
<i>Julio</i>	62.106	16.970	9.391	1078.000	-16.550	23.438
<i>Agosto</i>	49.336	18.360	8.227	1078.000	-16.550	24.828
<i>Septiembre</i>	48.190	21.380	11.018	1078.000	-16.550	27.848
<i>Octubre</i>	41.218	25.330	13.574	1078.000	-16.550	31.798
<i>Noviembre</i>	50.133	25.350	15.377	1078.000	-16.550	31.818
<i>Diciembre</i>	89.483	25.010	22.907	1078.000	-16.550	31.478

*Tabla 9. Parámetros evaporación media. Fuente: propia*

Teniendo en cuenta las aproximaciones mencionadas anteriormente y los datos reflejados en la tabla 9 se obtiene los siguientes valores de evaporación.

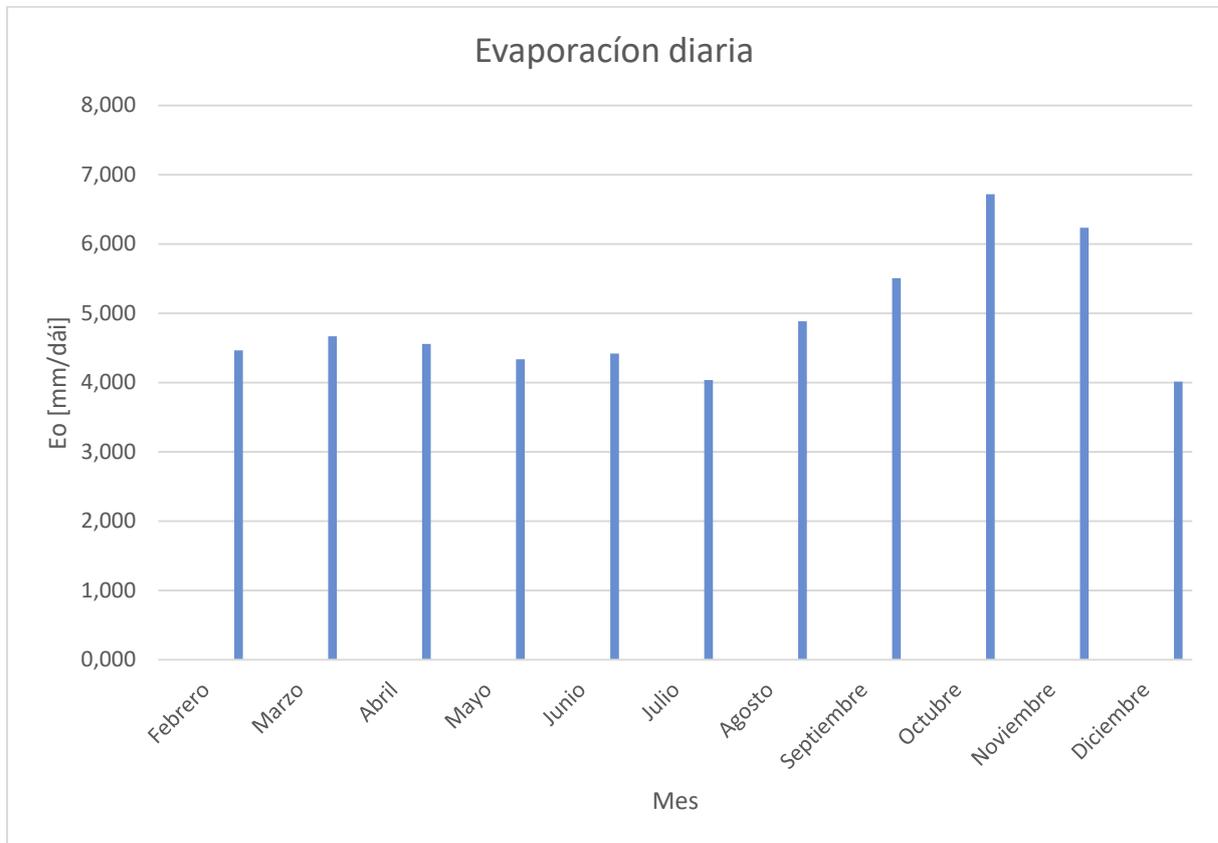


Ilustración 44. Evaporación diaria. Fuente: propia

<i>Mes</i>	<i>Eo</i> [mm/día]
<i>Enero</i>	4.597
<i>Febrero</i>	4.465
<i>Marzo</i>	4.665
<i>Abril</i>	4.556
<i>Mayo</i>	4.334
<i>Junio</i>	4.420
<i>Julio</i>	4.037
<i>Agosto</i>	4.885
<i>Septiembre</i>	5.505
<i>Octubre</i>	6.719

<i>Noviembre</i>	6.234
<i>Diciembre</i>	4.012

*Tabla 10. Valores evaporación. Fuente: propia*

Hay que tener en cuenta que estos valores corresponden a milímetros evaporados diariamente por lo que para calcular el volumen total mensual perdido será necesario tener en cuenta la superficie de la lámina de agua y el número de días que componen cada mes.

## **4.7 ESTUDIO HIDROLÓGICO**

Analizado el clima del emplazamiento se procede al estudio hídrico de la cuenca aportadora para caracterizar las aportaciones mensuales de la cuenca, la evaporación y avenidas. Todo ello con el objetivo final de conocer la capacidad que la presa puede llegar a tener y las pérdidas que se darán por la acción de la evaporación.

### **4.7.1 DATOS**

Para los siguientes cálculos es preciso usar una serie numérica de precipitaciones que permita realizar predicciones sobre precipitaciones futuras. Se ha empleado una serie de precipitaciones totales mensuales, desde 1901 hasta 2016, obtenidas del Climate Change Knowledge portal del Banco Mundial. A continuación, se exponen los valores medios de precipitaciones mensuales en el periodo estudiado.

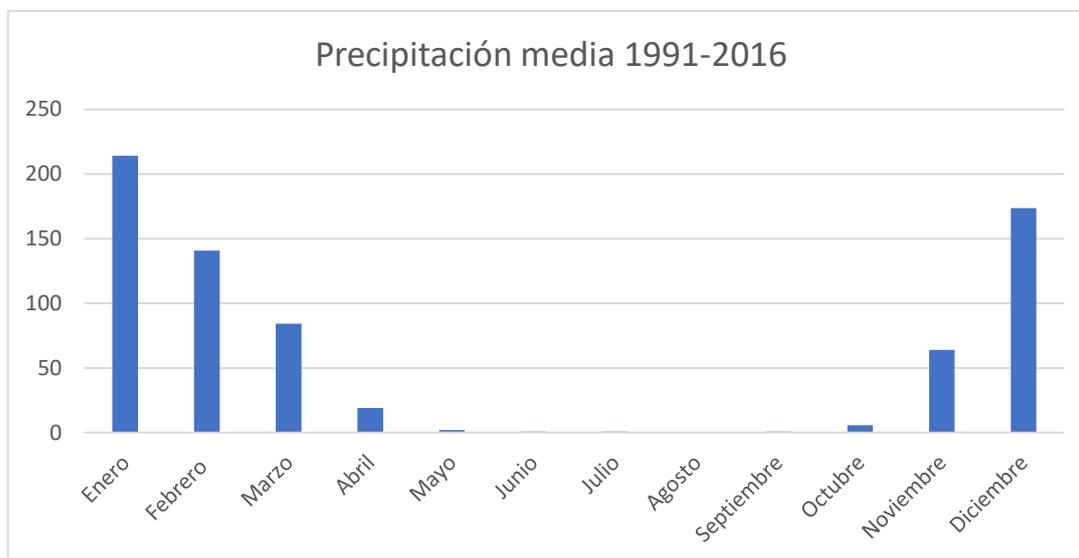


Ilustración 45. Precipitación media 1991-2016. Fuente: propia

<i>Mes</i>	<i>Precipitación media (mm)</i>
<i>Enero</i>	214.0769249
<i>Febrero</i>	140.8230803
<i>Marzo</i>	84.33077064
<i>Abril</i>	19.12307741
<i>Mayo</i>	1.892307725
<i>Junio</i>	0.72307694
<i>Julio</i>	0.761538475
<i>Agosto</i>	0
<i>Septiembre</i>	0.746153859
<i>Octubre</i>	5.657692391
<i>Noviembre</i>	64.01923183
<i>Diciembre</i>	173.6384659

Tabla 11. Valores precipitación media 1991-2016. Fuente: propia

De la serie de datos anterior se puede extraer que la precipitación anual media durante el periodo 1991 y 2016 fue de 705.8 mm. Durante este periodo, la mayor precipitación mensual, se dio en enero de 1997 cuando cayeron 490.4 mm, lo que supuso casi el 63% de

las lluvias de ese año. Esto demuestra el alto efecto torrencial de la lluvia en la zona, donde son frecuentes lluvias intensas en un corto periodo de tiempo.

#### **4.7.2 APORTACIONES**

La presa se construirá en el cauce de un río efímero, caracterizado por tener flujo de agua en determinados periodos del año. Por ello, el agua que la presa recogerá depende directamente de las precipitaciones y las aportaciones que la cuenca realice. Es preciso estudiar la cantidad potencial de agua que la cuenca aportará a la presa en condiciones normales. Para calcular la aportación mensual de la cuenca se hace uso de la ecuación mostrada a continuación:

$$Aportación_{mensual} = S * c * P_m$$

Donde:

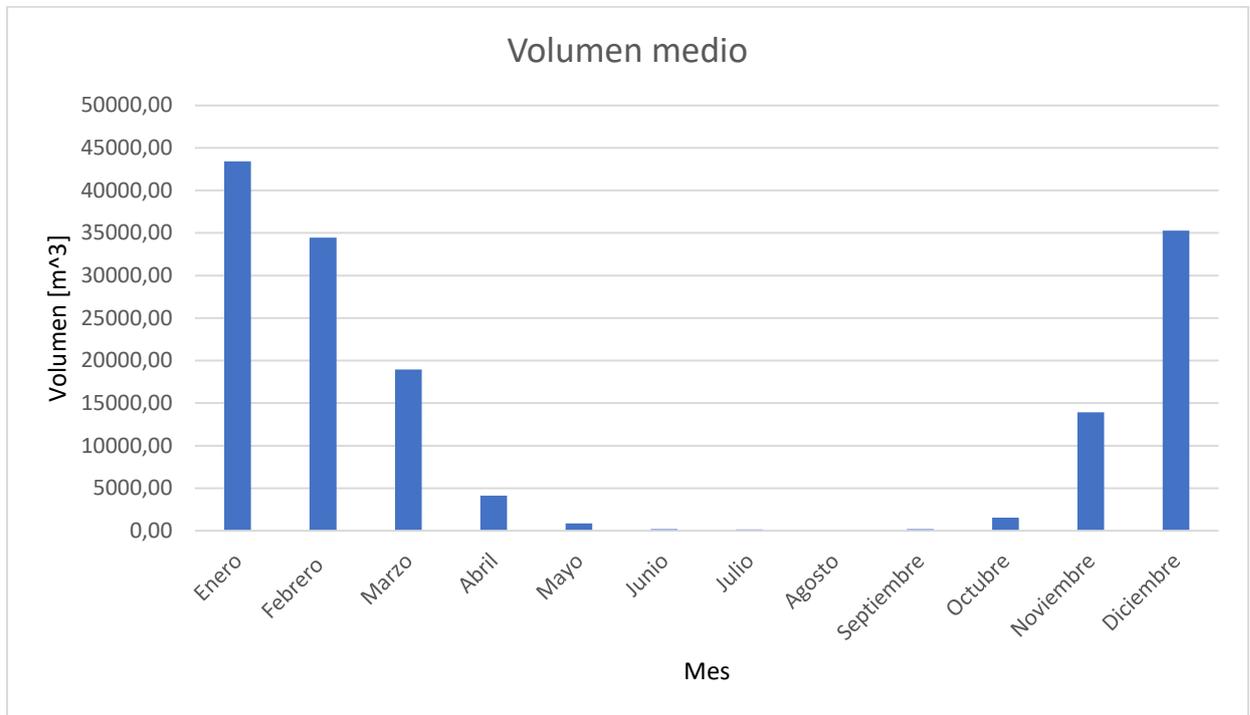
- $S$ : es la superficie de la cuenca
- $c$ : coeficiente de escorrentía
- $P_m$ : precipitación media

El valor del coeficiente de escorrentía se ha obtenido del Texto Básico de Hidrología de la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua en función de la textura del suelo, el tipo de vegetación y el grado de inclinación del terreno de la cuenca. Se extrae de la siguiente tabla que el valor adecuado según las condiciones del emplazamiento es de  $c = 0.3$ .

VEGETACION Topografía	Textura del suelo		
	GRUESA	MEDIA	FINA
<b><u>BOSQUES</u></b>			
Plano (0-5%)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10%)	0.25	0.35	0.50
Escarpado (11-30%)	0.30	0.50	0.60
<b><u>PASTIZALES</u></b>			
Plano (0-5%)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10%)	0.10	0.36	0.55
Escarpado (11-30%)	0.22	0.42	0.60
<b><u>TERRENO CULTIVADOS</u></b>			
Plano (0-5%)	0.30	0.50	0.60
Ondulado (6-10%)	0.40	0.60	0.70
Escarpado (11-30%)	0.52	0.72	0.82

Tabla 12. Valores de coeficientes de escurrimientos C

Teniendo en cuenta los datos de superficie de la cuenca expuestos en el apartado de topografía, el coeficiente de escurrimiento y las precipitaciones medias, se obtienen los siguientes valores.



*Ilustración 46. Aportaciones medio por mes. Fuente: propia*

<i>Mes</i>	<i>Volumen medio [m<sup>3</sup>]</i>
<i>Enero</i>	43419.80
<i>Febrero</i>	34445.76
<i>Marzo</i>	18938.38
<i>Abril</i>	4120.48
<i>Mayo</i>	846.89
<i>Junio</i>	199.60
<i>Julio</i>	161.43
<i>Agosto</i>	0.00
<i>Septiembre</i>	191.02
<i>Octubre</i>	1522.55
<i>Noviembre</i>	13912.00
<i>Diciembre</i>	35291.43

*Tabla 13. Valores aportación media por mes. Fuente: propia*

Las mayores aportaciones se dan de diciembre a febrero por lo que se prevé que en ese periodo de tiempo no existirán problemas de disponibilidad de agua. El periodo más preocupante para la capacidad de la presa se intuye que será entre mayo y octubre que coincide con las menores aportaciones de agua.

### **4.7.3 AVENIDAS**

Se entiende por avenida el crecimiento repentino e inusual del nivel de agua en un cauce. Los efectos de las avenidas pueden ser devastadores para la presa pudiendo causar su colapso. Es por ello imprescindible tenerlas en cuenta en el diseño de los órganos de desagüe y en los cálculos estructurales. Las avenidas se estudiarán en función a varios periodos de retorno.

El Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses establece la necesidad de considerar dos tipos de avenidas en el diseño:

- Avenida de proyecto: necesario considerarla en el cálculo de las dimensiones de los órganos de desagüe y la estructura.
- Avenida extrema: máxima avenida que la presa puede soportar sin que se produzca su rotura. Útil para comprobar que se mantiene la integridad de la presa.

Además de las dos avenidas recogidas en el reglamento, se considerará una tercera denominada avenida normal que servirá para conocer aquellos caudales que la presa tendrá que soportar de manera más frecuente.

Para los distintos tipos de avenidas se consideran los periodos de retorno expuestos en la siguiente tabla:

<i>Avenida</i>	<i>Periodo de retorno</i>
<i>Normal</i>	25 años
<i>Proyecto</i>	100 años
<i>Extrema</i>	200 y 500 años

*Tabla 14. Periodos de retorno. Fuente: propia.*

El cálculo de los caudales se ha hecho de acuerdo con la Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial (Orden FOM/298/2016 de 15 de febrero).

#### **4.7.3.1 Precipitación máxima**

La precipitación máxima diaria para los distintos periodos de retorno se calcula aplicando el método Gumbel. Para ello es preciso tener una serie suficientemente grande de datos de precipitaciones máximas diarias y así establecer la precipitación máxima en 24 horas para cada mes. En este caso, como se ha comentado con anterioridad, los datos climatológicos disponibles están muy limitados por lo que solo se cuenta con las precipitaciones totales mensuales.

Se decide dividir el valor de precipitación mensual entre el número de ocurrencia de las precipitaciones cada mes. Todo ello con el objetivo de no sobredimensionar la estructura ya que podría suponer un encarecimiento del proyecto.

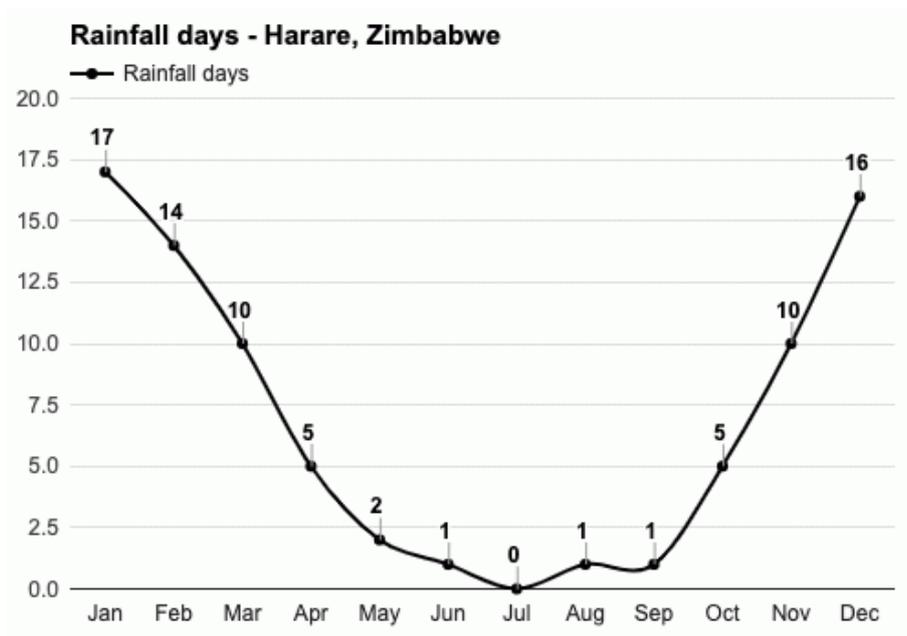


Ilustración 47. Número de precipitaciones mensuales. Fuente: Weather Atlas

Haciendo de la herramienta para el estudio hidrológico de cuencas desarrollada por HIDROJING y realizando las modificaciones pertinentes para adecuarlos a esta aplicación se obtienen las precipitaciones máximas recogidas en la tabla 15. Los resultados mostrados se han calculado teniendo en cuenta un factor de corrección de 1.13.

<i>Periodo de retorno</i>	<i>Pd [mm]</i>
2	19.0379
5	23.7051
10	26.7953
25	30.6997
50	33.5962
100	36.4713
200	39.3359
500	43.1152

Tabla 15. Precipitaciones máximas. Fuente: propia

### 4.7.3.2 Coeficiente de escorrentía

Este factor adimensional representa la porción de agua de total aportada a la cuenca que llega hasta su punto de desagüe. Este coeficiente se calcula con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{\left(\frac{P_d * K_A}{P_0} - 1\right) * \left(\frac{P_d * K_A}{P_0} + 23\right)}{\left(\frac{P_d * K_A}{P_0} + 11\right)^2}$$

Donde:

- $K_A$ : factor reductor de la precipitación. Este factor depende del área de la cuenca. En este proyecto, el área de la cuenca es menor que 1 Km<sup>2</sup> por lo que toma por valor la unidad.
- $K_A = 1$
- $P_0$ : es el umbral de escorrentía. Representa la mínima precipitación necesaria para que el terreno no sea capaz de retener más agua y de comienzo la escorrentía

Se procede al cálculo del umbral de escorrentía, imprescindible para obtener el coeficiente de escorrentía, que se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$P_0 = P_0^i * \beta$$

Donde:

- $P_0^i$ : valor inicial umbral escorrentía.
- $\beta$ : coeficiente corrector del umbral de escorrentía.

Teniendo en cuenta la información acerca del tipo de textura predominante en el terreno, se puede clasificar el terreno de acuerdo con la tabla 16 como terreno tipo B.

Grupo	Infiltración (cuando están muy húmedos)	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Tabla 16. Grupos hidrológicos de suelo a efectos de la determinación del valor inicial del umbral de escorrentía. Fuente: Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana

Tomando esta clasificación y la pendiente del terreno recogida en la sección de topografía, se establece de acuerdo con la Tabla 2.3 de la Norma el valor inicial del umbral de escorrentía.

$$P_0^i = 14$$

Por su parte, el coeficiente de escorrentía depende de la existencia de elementos en la cuenca que den lugar al drenaje transversal impidiendo el flujo normal del agua en la superficie del terreno. En este caso, no se aprecian construcciones de este tipo que puedan interferir en el flujo natural del agua por lo que se decide obviar este coeficiente.

$$\beta = 1$$

De acuerdo con esto, se obtiene el siguiente valor de umbral de escorrentía:

$$P_0 = 14mm$$

Considerando todo lo expuesto con anterioridad, quedan recogido en la tabla 17 los coeficientes de escorrentía en función del periodo de retorno.

<i>Periodo de retorno</i>	<i>C [-]</i>
2	0.0574
5	0.1062
10	0.1365
25	0.1727
50	0.1980
100	0.2220
200	0.2449
500	0.2736

*Tabla 17. Coeficiente de escorrentía según periodo de retorno. Fuente: propia*

#### **4.7.3.3 Tiempo de concentración**

Se define como el tiempo mínimo necesario desde que comienza el aguacero para que toda la cuenca se encuentre aportando agua al punto de desagüe. Este factor depende totalmente de las características del terreno que se encuentran recogidas en la sección de topografía.

$$t_c = 0.3 * L_c^{0.76} * J_c^{-0.19}$$

Donde:

- $L_c$ : es la longitud del cauce.
- $J_c$ : pendiente media del cauce [m/m]

El valor del tiempo de concentración calculado es el siguiente:

$$t_c = 0.5157 \text{ horas}$$

#### 4.7.3.4 Coeficiente de uniformidad

Este factor introduce en el cálculo de los caudales de avenidas la posibilidad de que la precipitación no se produzca de manera uniforme. Para el cálculo de este coeficiente, que solo depende del tiempo de concentración se ha empleado la siguiente ecuación.

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

Obteniéndose el siguiente valor

$$K_t = 1.0303$$

#### 4.7.3.5 Intensidad

De nuevo volvemos a hacer uso de la herramienta de HIDROJING, en este caso para el cálculo de la ecuación de la intensidad en función del periodo de retorno y el tiempo de la duración de la precipitación. A través de regresiones geométricas se calcula los parámetros que componen esta ecuación.

$$I = \frac{71.1582 * T^{0.142836}}{t^{0.61854}}$$

Para una precipitación que dure el tiempo de concentración y los distintos periodos de retorno se obtiene las intensidades recogidas en la tabla 18.

<i>Periodo de retorno</i>	<b>I</b> <i>[mm/h]</i>
2	9.4028
5	10.7176
10	11.8330
25	13.4876
50	14.8913

100	16.4411
200	18.1522
500	20.6904

Tabla 18. Intensidades según periodo de retorno. Fuente: propia

#### 4.7.3.6 Caudales de avenida

Finalmente, realizados los cálculos previos se llega a la ecuación que relaciona el caudal de las avenidas con los factores anteriores.

$$Q_t = \frac{I(T, t_c) * C * A * K_t}{3.6}$$

Los valores calculados hasta el momento se recogen en la tabla 19.

Periodo de retorno	$P_d$ [mm]	$t_c$ [h]	$C$ [-]	$K_t$ [-]	$I$ [mm/h]
2	19.0379	0.5157	0.0574	1.0303	9.4028
5	23.7051	0.5157	0.1062	1.0303	10.7176
10	26.7953	0.5157	0.1365	1.0303	11.8330
25	30.6997	0.5157	0.1727	1.0303	13.4876
50	33.5962	0.5157	0.1980	1.0303	14.8913
100	36.4713	0.5157	0.2220	1.0303	16.4411
200	39.3359	0.5157	0.2449	1.0303	18.1522
500	43.1152	0.5157	0.2736	1.0303	20.6904

Tabla 19. Parámetros para el cálculo de los caudales de avenida. Fuente: propia

Los caudales que se obtienen para cada periodo de retorno son:

<i>Periodo de retorno</i>	<b>Caudal avenidas</b> <i>[m<sup>3</sup>]n</i>
2	0.1045
5	0.2206
10	0.3130
25	0.4512
50	0.5713
100	0.7073
200	0.8614
500	1.0968

*Tabla 20. Caudales máximos. Fuente: propia*



## Capítulo 5. CÁLCULOS

Antes de comenzar con el dimensionamiento de los distintos elementos que componen la estructura de la presa, es necesario determinar el tipo de construcción más adecuado para la aplicación que se persigue en este proyecto. Son tres los elementos que se seleccionaran:

- Tipo de cerrada
- Materiales empleados
- Tipo de elemento de desagüe

A lo largo del documento se ha incidido en una serie de requisitos que la presa debe seguir para asegurar el correcto desarrollo de la construcción y la perpetuación de su funcionalidad en los próximos años. Estas características esenciales que se deberán tener en cuenta en la selección del tipo de cerrada y al dimensionar la estructura son las siguientes:

- **Máximo seguridad estructural**

La seguridad primará en el diseño de la presa, siempre que sea posible, y los elementos esenciales del diseño no se vean comprometidos ni suponga un aumento elevado del coste de la construcción. Es importante recalcar que tener un coeficiente de seguridad elevado es una característica favorable. En el emplazamiento no se puede asegurar que se realice la construcción de acuerdo con los estándares europeos. Al mismo tiempo la escasa accesibilidad a ciertos materiales puede dar lugar al uso de alternativas menos favorables. A pesar de que son muchos los factores que pueden tener un efecto negativo en la estabilidad de la estructura, la seguridad queda garantizada ya que se cuenta con un factor de seguridad elevado.

- **Sencillez estructural.**

Pudiendo repercutir en unos mantenimientos más sencillos.

- **Reducción de costes.**

Al tratarse de un proyecto de cooperación internacional que cuenta con un presupuesto muy limitado se tendrán que tomar decisiones para que el coste no exceda los recursos disponibles. Un ejemplo de esta forma de actuar se observa en el deseo de aprovechar la mayor cantidad de recursos disponibles en el emplazamiento.

- **Integración de la comunidad en la toma de decisiones.**

Crear un sentimiento de pertenencia con el que asegurar la aceptación de la presa.

En cuanto a los factores técnicos, a continuación, se detallan los aspectos a considerar en cada uno de ellos:

- **Cimentación**

Las presas de materiales sueltos presentan una gran adaptabilidad al tipo de terreno, pudiendo ser desde roca firme hasta suelos con permeabilidades considerables. Es necesario construir un dique hasta el material impermeable, ya que de lo contrario la integridad estructural se verá comprometida.

Sin embargo, en la construcción de presas de gravedad es necesario contar con roca sana a una profundidad no superior a 5 metros. Estos requisitos precisan la realización de un estudio geológico y geotécnico con el que determinar la calidad del terreno.

Según lo estudiado en el estudio geológico desarrollado en el capítulo 4, en el emplazamiento seleccionado, la roca predominante se encuentra a longitudes levemente superiores a un metro. Además, según las estimaciones realizadas, esta roca es sana presentando un grado leve de meteorización.

A pesar de que el macizo rocoso tiene la resistencia necesaria para soportar una presa de gravedad convencional, las presas de tipo arco requieren de una mayor resistencia. La posibilidad de que el suelo no sea capaz de resistir a los esfuerzos introducidos por la presa de arco es una razón firme para descartar este tipo de presa.

- **Tipología de la garganta**

La cerrada del emplazamiento se caracteriza por ser amplia y no tener unas laderas escarpadas. Esta característica es otro factor que impide la construcción de una presa de arco e inclina la balanza hacia las de materiales sueltos o gravedad.

- **Aliviadero**

El aliviadero es un elemento esencial en el control de avenidas, pudiendo reducir en un corto periodo de tiempo el nivel del embalse sin causar daños a la estructura o comunidades aguas abajo.

Al mismo tiempo, se trata de otro elemento que hay que construir, lo que dependiendo del tipo de aliviadero seleccionado supone un elevado incremento en el coste. Este es el caso de las presas de materiales sueltos, donde el agua no puede sobrepasar por encima de la estructura. En ellas es preciso instalar un canal lateral por el que redirigir el exceso de agua. Todo esto implica un sobrecoste en comparación con las presas de gravedad, en las que el agua se expulsa por una sección en la coronación.

Además, no se encuentran laderas en las inmediaciones de la presa donde colocar el canal adicional necesario para el aliviadero de las presas de materiales sueltos.

- **Avenidas**

Las presas de materiales sueltos se ven gravemente comprometidas en caso de que se produzcan avenidas no consideradas en el diseño. Al realizar los cálculos de avenidas, no se disponían de los datos de precipitaciones máximas diarias por lo que los caudales máximos se han tenido que estimar de acuerdo con una serie de consideraciones. Esta falta de exactitud en el cálculo y los devastadores efectos que un sobrepeso puede tener sobre la estructura hace latente la necesidad de construir una presa que pueda soportar estos envites. De acuerdo con esto, todo hace apuntar que la presa de gravedad es la más adecuada.

- **Disponibilidad de materiales**

Es imprescindible usar materiales que se encuentren en el emplazamiento o puedan ser adquiridos en las inmediaciones de la presa. Las presas de materiales sueltos necesitan introducir materiales impermeables y filtros con los que frenar el avance del agua. En el caso de construir una presa de gravedad se optaría por realizar una presa de mampostería. Se trata de una técnica que los locales dominan al haberla empleado con anterioridad en otras construcciones.

Estos factores hacen que el tipo de presa elegido para esta aplicación sea, **presa de gravedad de mampostería con mortero de cemento y aliviadero de labio fijo**. En la construcción de la presa se llegará hasta el macizo rocoso, por lo que cualquier movimiento de aguas subterráneas será frenado al llegar al dique. Esto, unido a la gran facilidad del terreno de la zona para retener agua de lluvia durante todo el año hacen de la presa una solución a caballo entre una presa superficial y una presa subterránea. En la época seca, cuando las lluvias dejen de ser comunes y se reduzca el nivel del embalse, los locales podrán seguir obteniendo el agua retenida en la arena con tan solo hacer un pozo manual.

## **5.1 CÁLCULOS HÍDRICOS**

### **5.1.1 PERFIL TRANSVERSAL**

Empleando de nuevo el programa informático Global Mapper se obtiene el perfil transversal del terreno en el eje de la presa. La vista aportada se hace desde aguas abajo hacia aguas arriba.

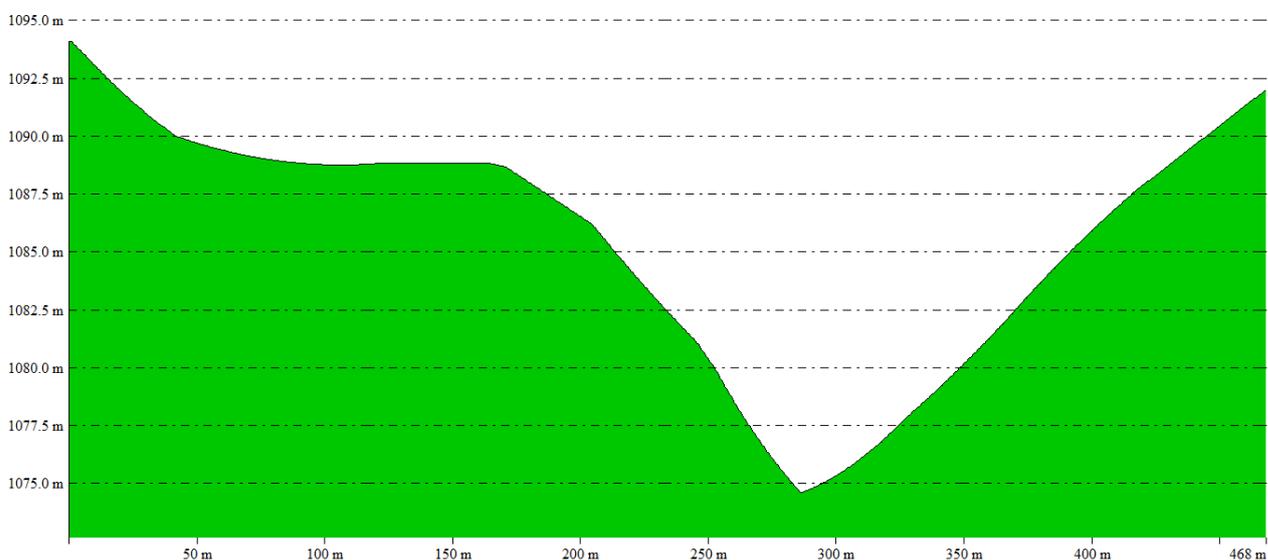


Ilustración 48. Perfil transversal eje de la presa. Fuente: propia

Determinado el perfil transversal se conocen las cotas máximas de cada uno de los estribos y la cota de cauce. El criterio empleado para determinar la cota máxima de los estribos ha sido aportar la cota que se da a escasos metros del aplanamiento de la ladera. Los datos extraídos del perfil transversal quedan recogidos en la siguiente tabla:

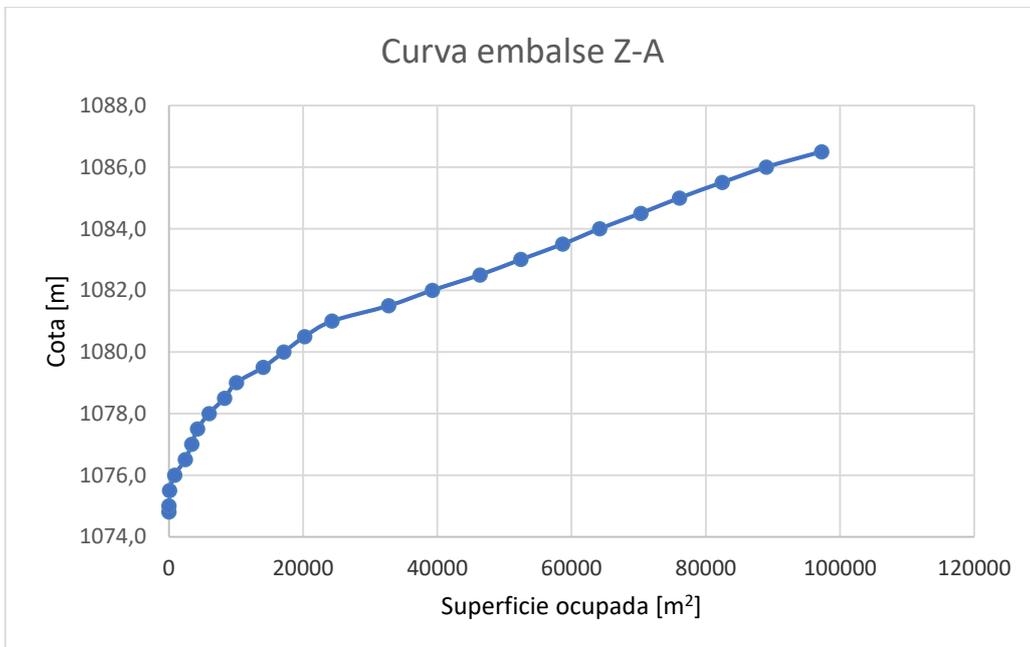
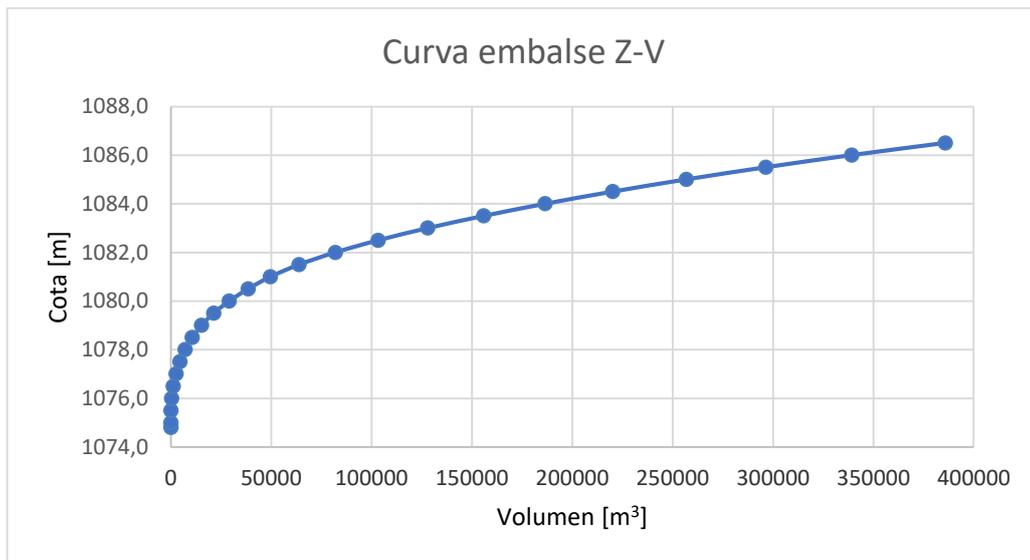
<i>Elemento</i>	<i>Cota [m]</i>
<i>Estribo derecho</i>	1090
<i>Estribo derecho</i>	1086.5
<i>Cota cauce</i>	1074.8

Tabla 21. Cotas. Fuente: propia

### 5.1.2 CURVAS DE VOLUMEN Y SUPERFICIE

El cálculo de las curvas de volumen y superficie permite establecer valores de capacidad del embalse y superficie ocupados en función de distintas cotas de la lámina de agua. Gracias a este estudio se determina una relación entre la cantidad de volumen almacenado y la superficie inundada. El uso de la tierra para cultivo es una actividad de gran importancia en las zonas rurales de en Zimbabue al tratarse de la principal fuente de ingresos. Es por ello,

por lo que inundar la menor extensión del terreno es imprescindible, mientras, al mismo tiempo, se cubran las necesidades de demanda. En el cálculo del volumen y la superficie ocupada se toman como límites inferior y superior las cotas del cauce y el estribo máximo menor, respectivamente.



*Ilustración 49. Comparación curvas embalse. Fuente: propia*

<i>Cota</i> [m]	<i>Área acumulada</i> [m <sup>2</sup> ]	<i>Volumen acumulado</i> [m <sup>3</sup> ]
1074.8	0.00	0.00
1075.00	23.02	23.02
1075.50	106.52	83.50
1076.00	874.92	768.40
1076.50	2460.51	1585.59
1077.00	3415.37	954.86
1077.50	4282.12	866.75
1078.00	5996.28	1714.16
1078.50	8305.67	2309.39
1079.00	10088.11	1782.44
1079.50	14054.27	3966.16
1080.00	17153.27	3099.00
1080.50	20264.14	3110.87
1081.00	24342.60	4078.46
1081.50	32773.04	8430.44
1082.00	39270.15	6497.11
1082.50	46353.35	7083.20
1083.00	52457.44	6104.09
1083.50	58691.03	6233.59
1084.00	64196.74	5505.71
1084.50	70315.21	6118.47
1085.00	76091.11	5775.90
1085.50	82440.91	6349.80
1086.00	89011.80	6570.89
1086.50	97269.14	8257.35

Tabla 22. Datos curvas de embalse. Fuente: propia

### 5.1.3 COTAS

#### 5.1.3.1 Nivel Máximo Normal (NMN)

El Nivel Máximo Normal (NMN) constituye el nivel de llenado máximo del embalse, en caso de que el nivel aumentase los elementos de desagüe comenzarían a funcionar desaguando el exceso de agua. En esta misma cota se encuentra el labio del aliviadero constituyendo el nivel más bajo de desagüe.

La selección del NMN se ha realizado de acuerdo el objetivo mencionado con anterioridad de encontrar la relación adecuada entre el volumen de agua almacenado y la superficie inundada. Para eso, se calcula el incremento porcentual que conlleva el aumento de la cota cada 0.5 metros.

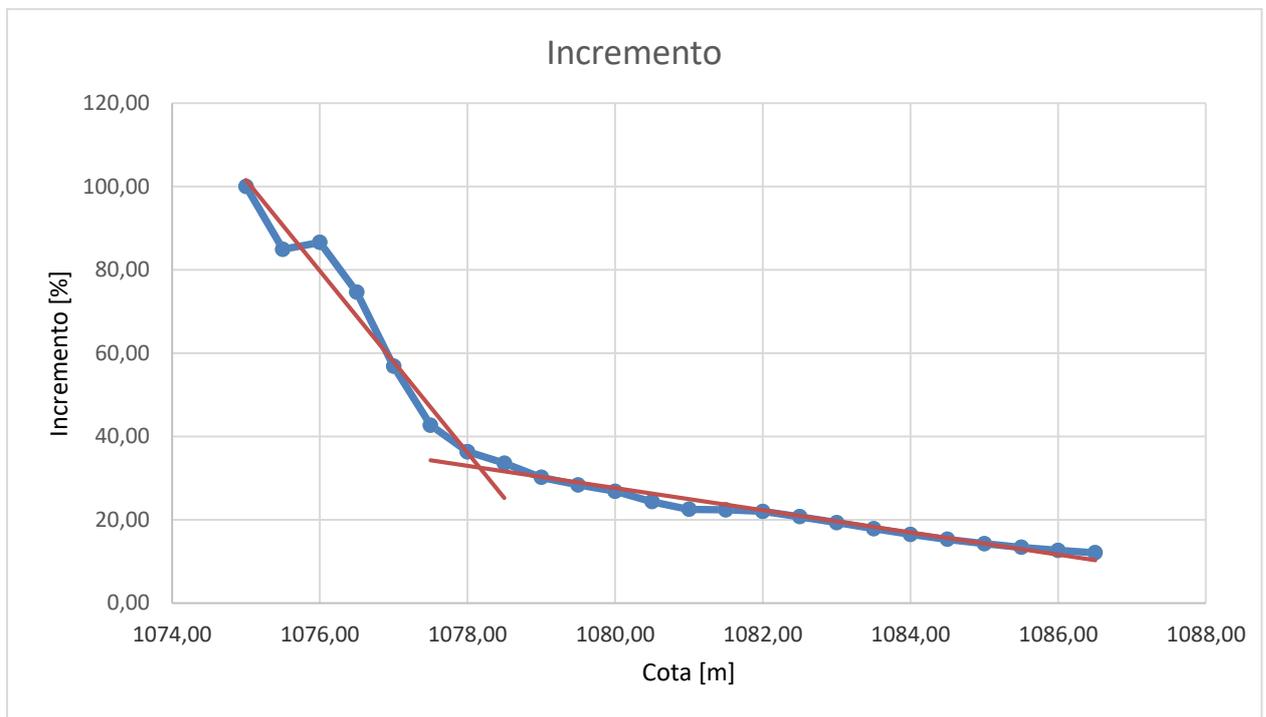


Ilustración 50. Incremento aumento de cota. Fuente: propia

<i>Cota</i>	<i>Crecimiento porcentual</i>
<i>[m]</i>	<i>[%]</i>
1074.8	0
1075.00	100.00
1075.50	84.91
1076.00	86.55
1076.50	74.63
1077.00	56.80
1077.50	42.66
1078.00	36.29
1078.50	33.55
1079.00	30.15
1079.50	28.35
1080.00	26.82
1080.50	24.33
1081.00	22.48
1081.50	22.35
1082.00	21.99
1082.50	20.72
1083.00	19.30
1083.50	17.84
1084.00	16.47
1084.50	15.28
1085.00	14.26
1085.50	13.37
1086.00	12.64
1086.50	12.07

Tabla 23. Datos incremento aumento de cota. Fuente: propia

En torno a la cota 1077.5 y 1078 metros se observa un cambio de tendencia, reduciéndose el incremento del volumen al aumentar la cota. Se considera que a 1078 metros respecto el nivel del agua, se encuentra la relación ideal entre volumen y superficie inundada ya que a partir de este punto aumentos en la cota no suponen cambios de volumen considerables. Estas son las razones por las que se establece el Nivel Máximo Normal en dicha cota. A esa altura la distancia entre los estribos de la presa es 65.8 m.

### 5.1.3.2 Nivel de avenidas

Los niveles de la lámina de agua tanto para las avenidas de proyecto como las avenidas extremas, es un factor que depende del Nivel Máximo Normal y el calado vertiente (distancia vertical entre la base del aliviadero y la superficie libre de agua de agua).

$$\text{Nivel de avenida} = \text{NMN} + h$$

El calado vertiente queda relacionado con la longitud del aliviadero y el caudal de avenida mediante la ecuación característica de vertederos rectangulares, en la que se ha despreciado la velocidad de aproximación. Dependiendo de estos factores, el calado vertiente tomará un valor u otro.

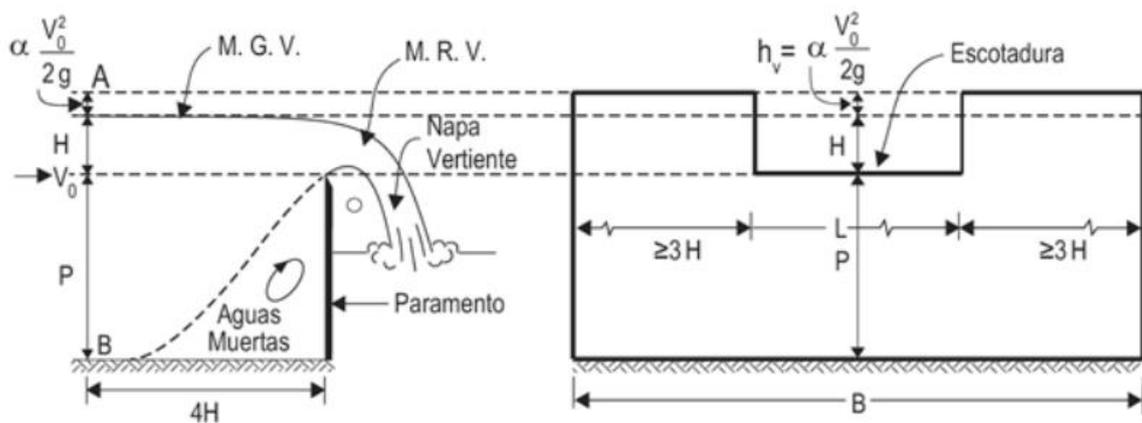


Ilustración 51. Elementos del vertedero. Fuente: Hidráulica de Tuberías y Canales (Arturo Rocha Felices)

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

Donde:

- $L$ : longitud del aliviadero.
- $h$ : calado vertiente o carga del aliviadero.
- $C_d$ : coeficiente de desagüe. Es un factor característico de cada tipo de aliviadero al depender de su geometría.

El coeficiente de desagüe  $C_d$ , se calcula haciendo uso de la ecuación de Rehbock.

$$C_d = 0.611 + \frac{0.075 * h}{H_w}$$

Donde:

- $H_w$ : distancia vertical entre la cota de cauce y el Nivel Máximo Normal

En este caso, se puede considerar el calado vertiente despreciable en comparación con la altura del NMN. Poder depreciar el segundo término de la ecuación supone no tener un tedioso proceso iterativo. Por lo que el coeficiente de desagüe toma el siguiente valor:

$$C_d = 0.661$$

Para determinar el calado vertiente es necesario haber determinado previamente la longitud del aliviadero. Al no conocer esta longitud, ya que fluctúa para conseguir optimizar las dimensiones del aliviadero, se realiza una estimación con distintas longitudes para cada uno de los caudales de avenida. Se toma como longitud máxima del aliviadero 20 metros, y se va reduciendo en incrementos de 10%.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, para cada una de las avenidas consideradas se obtiene:

- **Avenida de proyecto**

En la siguiente tabla se muestra el calado vertiente y el Nivel Avenida de Proyecto (NAP) para cada una de las longitudes consideradas.

$L$ [m]	Reducción [%]	$H_{ap}$ [m]	NAP [m]
2	10	0.32	1078.32
4	20	0.20	1078.20
6	30	0.15	1078.15
8	40	0.13	1078.13
10	50	0.11	1078.11
12	60	0.10	1078.10
14	70	0.09	1078.09
16	80	0.08	1078.08
18	90	0.07	1078.07
20	100	0.07	1078.07

Tabla 24. Calado vertiente y el Nivel Avenida de Proyecto. Fuente: propia

- **Avenida máxima 1**

En la siguiente tabla se muestra el calado vertiente y el Nivel Avenida Extrema 1 (NAE1) para cada una de las longitudes consideradas.

$L$ [m]	Reducción [%]	$H_{ae1}$ [m]	NAE1 [m]
2	10	0.37	1078.37
4	20	0.23	1078.23
6	30	0.18	1078.18
8	40	0.14	1078.14
10	50	0.12	1078.12
12	60	0.11	1078.11

14	70	0.10	1078.10
16	80	0.09	1078.09
18	90	0.08	1078.08
20	100	0.08	1078.08

Tabla 25. Calado vertiente y el Nivel Avenida de Extrema 1. Fuente: propia

- **Avenida máxima 2**

En la siguiente tabla se muestra el calado vertiente y el Nivel Avenida Extrema 2 (NAE2) para cada una de las longitudes consideradas.

<i>L</i> [m]	<i>Reducción</i> [%]	<i>H<sub>ae2</sub></i> [m]	<i>NAE2</i> [m]
2	10	0.43	1078.43
4	20	0.27	1078.27
6	30	0.21	1078.21
8	40	0.17	1078.17
10	50	0.15	1078.15
12	60	0.13	1078.13
14	70	0.12	1078.12
16	80	0.11	1078.11
18	90	0.10	1078.10
20	100	0.09	1078.09

Tabla 26. Calado vertiente y el Nivel Avenida de Extrema 2. Fuente: propia

#### 5.1.4 ALIVIADERO

La principal intención al diseñar la longitud del aliviadero es reducir la sobreelevación producida por las avenidas. Tal y como se observan en los valores de calados vertientes obtenidos con anterioridad, a medida que se reduce la longitud del aliviadero aumenta la sobreelevación. Se pretende encontrar una longitud que no produzca una sobreelevación superior a los 0.5 metros en el caso de la avenida de proyecto.

Ninguno de los calados vertientes calculados, incluyendo aquellos para las avenidas extremas, superan el valor establecido de 0.5 metros. Por ello, se decide tomar una decisión de cara a la seguridad y establecer una longitud superior a la que se necesitaría. La longitud del aliviadero selecciona es 8 metros. Con esta longitud se obtienen las cotas y calados vertientes representado en la tabla 27.

$L$	$H_{ap}$	$NAP$	$H_{ae1}$	$NAE1$	$H_{ae2}$	$NAE2$
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.13	1078.13	0.14	1078.14	0.17	1078.17

Tabla 27. Selección dimensión aliviadero. Fuente: propia

#### 5.1.5 CORONACIÓN

Se denomina castillete de coronación a la sección rectangular situada en la parte superior de la presa. Además de añadir más peso a la estructura, también sirve para establecer un puente entre las dos laderas del valle. Esta función debe tenerse en cuenta en su dimensionamiento, especialmente al determinar su ancho.

El cálculo del ancho del castillete de coronación y el resguardo, distancia entre la cota superior y el NMN, se hace de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 55 de la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas.

La zona en la que se ha planteado la construcción de la presa se caracteriza por ser un emplazamiento con una sismicidad media. Por eso, para determinar el ancho mínimo de la coronación es preciso hacer uso de la siguiente ecuación:

$$C = (3 + 1.5 * \sqrt[3]{A} - 15) * 0.25$$

Donde:

- A: altura de la presa.

La presa diseñada para la comunidad de Zimbabue tiene una altura contenida, encontrándose en torno a los 4 metros de alto. En caso de que la altura de la presa sea inferior a 15 metros, la instrucción determina que el ancho mínimo debe ser de 3 metros. Si se tiene en cuenta que la instrucción está dirigida a presas de gran tamaño, se puede entrever que esa cota es excesiva para la aplicación que se busca en este proyecto. Se decide establecer un ancho más contenido, fijando este parámetro en 1 metro. Hay que destacar, al tratarse también de un elemento de tránsito peatonal, que el Código Técnico de la Edificación establece como ancho mínimo para las escaleras 0.8 metros.

En cuanto a la longitud del resguardo, diferencia de cotas entre el NAP y la coronación, establece la siguiente ecuación para realizar su cálculo.

$$Resguardo = 1.5 * H_s$$

Donde:

- $H_s$ : altura de la ola máxima producida por el viento.

Para determinar la altura de la ola máxima y consiguientemente la longitud del resguardo se emplea la ecuación modificada de Stevenson-Molitor en la que se considera la velocidad del viento, contrario a la ecuación primitiva donde se asumen vientos de 100 km/h.

$$H_s = 0.76 + 0.032 * (v_v * F^{0.5}) - 0.26 * F^{0.25}$$

Donde:

- $F$ : Fetch, máximo recorrido lineal que recorre la ola entre la orilla del embalse y el eje de la presa.
- $v_v$ : velocidad del viento.

La longitud máxima que recorrería la ola en el embalse de este proyecto es de 88.4 metros. La velocidad del viento máxima en Mount Darwin, tomada de un informe que registra datos desde 1980 hasta 2016 es de 19.4 km/h. Para redondear el valor se toma 20 km/h.

Tomando estos valores y empleando las fórmulas recogidas en esta sección se obtienen los resultados presentados en la tabla 28.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Fetch [km]</i>	0.088
<i><math>v_v</math> [km/h]</i>	20
<i><math>H_s</math> [m]</i>	0.809
<i>Resguardo [m]</i>	1.213

Tabla 28. Parámetros calculo resguardo. Fuente: propia

La longitud del resguardo resulta excesiva si se tiene en cuenta el tamaño de la presa que se está dimensionando. Hay que tener presente que la instrucción usada hace referencia a presas de gran tamaño por lo que algunos valores deberán ser adaptados para esta aplicación concreta. Los caudales de avenidas extremas, que a diferencia del oleaje pueden comprometer considerablemente la estabilidad de la estructura, originan aumentos del nivel del agua muy inferiores al valor del resguardo calculado. También hay que considerar que aumentar el resguardo no supone un aumento en el volumen total de la presa, por lo que sería un gasto innecesario en un proyecto donde los recursos son limitados.

Por ello se decide rebajar la altura del resguardo hasta los 0.5 metros, valor que asegura que en caso de producirse avenidas excepcionales no se producirán sobrevertidos. Con el valor

de resguardo estimado se calcula la cota de coronación (NC), cota más alta de la construcción.

$$NC = NAP + Resguardo$$

<i>Nivel</i>	<i>Cota</i>
NMN	1078
NAP	1078.13
NAE1	1078.14
NAE2	1078.17
NC	1078.5

Tabla 29. Recopilación de cotas. Fuente: propia

### 5.1.6 TALUDES

A continuación, se determinarán los taludes de los paramentos que componen la estructura. La forma triangular que suelen tener la presas les confiere una mayor estabilidad ante el vuelco.

En la caracterización de los taludes de una presa se tienen en cuenta dos factores:

- **Suma de taludes**

Si se fija la altura para una presa dada y se comparan dos presas con distintas sumas de taludes, aquella presa que presente la suma de taludes mayor también tendrá una sección y una base mayores. Este aumento de las medidas repercute, como es lógico, en el peso de la estructura, factor que guarda una relación directamente proporcional con la suma de taludes.

Generalmente, los valores que se seleccionan para las sumas de taludes oscilan entre los 0.7 y los 0.8.

En un primer lugar, dado los altos coeficientes de seguridad que se obtenían en la estabilidad frente al deslizamiento, se decidió reducir el valor al máximo hasta fijarlo en 0.7. Esta drástica reducción de la suma de taludes tuvo una repercusión negativa en la estabilidad frente al volteo, provocando el fallo inminente de la presa.

Tras un proceso de prueba y error, se decide fijar el valor en 0.85. Esta suma de taludes garantiza la estabilidad de la presa en todas las condiciones de avenidas recogidas en el proyecto.

- **Distribución de taludes**

Seleccionada la suma de taludes, se procede a realizar el reparto de taludes entre el paramento de aguas arriba y el talud de aguas abajo. En el caso de seleccionar un talud distinto de cero para el paramento de aguas arriba, el empuje del agua queda descompuesto en dos componentes, una vertical y una horizontal. Seleccionar un talud en el paramento de aguas arriba u otro, tiene un efecto directo en la estabilidad de la presa.

Se decide construir el paramento de aguas arriba verticalmente y asignar al talud del paramento de aguas abajo el valor total de la suma de taludes. Seleccionar un talud vertical en el paramento de aguas abajo puede tener un efecto contraproducente en la condición de estabilidad frente al deslizamiento. Al realizar la cimentación sobre el macizo rocoso, la fricción presa-suelo será suficiente y no es necesario introducir una inclinación en la base de la presa.

Los taludes seleccionados quedan recogidos en la tabla 30.

<i>Paramento</i>	<i>Talud</i>
<i>Aguas arriba</i>	0
<i>Aguas abajo</i>	0.85

*Tabla 30. Taludes. Fuente: propia*

### **5.1.7 PENDIENTE DE LA BASE**

Se ha mencionado que la roca de la que se encuentra compuesta el macizo rocoso, a pesar de la meteorización que ha sufrido, las condiciones del macizo son ideales para la cimentación de la presa. En todo caso, los datos disponibles provienen de realizar estimaciones por lo que es preferible dimensionar suponiendo un escenario peor. En caso de que el coeficiente de cohesión y ángulo de rozamiento sean más bajos de los estimados, puede producirse una pérdida de estabilidad por deslizamiento. Esta situación no debe ser de un grave problema ya que se puede solventar de una manera sencilla, introduciendo una inclinación en la base de la presa.

En un primer lugar se consideró que era necesario introducir una inclinación en la base para conferir a la estructura una mayor estabilidad ante el deslizamiento. Sin embargo, tras varias comprobaciones, se llega a la conclusión de que la resistencia al deslizamiento del terreno es elevada, por lo que no es necesario aumentarla introduciendo una inclinación en la base.

### **5.1.8 VÉRTICE RESISTENTE**

El vértice resistente o vértice del triángulo teórico, se forma al prolongar la recta que definen los paramentos de la presa. Se suele situar por encima de niveles de aguas no usuales, en este caso, se fija por encima del Nivel de Avenida Extrema 2 que se considera anteriormente. El NAE2 se había calculado que tenía una cota de 1078.17 metros con respecto al nivel del mar. Finalmente, se decide establecer la cota del vértice en 1078.3 metros, valor superior al NAE2.

### **5.1.9 VOLUMEN**

Una vez que la presa ha quedado totalmente dimensionada, se hace un estudio del volumen que puede llegar a alojar teniendo en cuenta consumos mensuales y el efecto de la evaporación. Además, se puede determinar el excedente de agua que se tendrán que desaguar y la estructura soportar. En todo caso estos caudales son ínfimos en comparación con el caudal de avenida de proyecto por lo que no suponen una amenaza para la presa.

Teniendo en cuenta el volumen que se puede almacenar para el NMN es necesario tomar una decisión en cuanto a la demanda que se tratará de abastecer. El volumen de agua total que es necesario mensualmente excede la capacidad que la presa almacena en determinados meses concentrados en la época seca. Se toma por tanto la decisión de solo suministrar agua para la población y no dar servicio al regadío. Son varios los pozos que se encuentran en la zona por lo que la población no se verá sin agua. La presa ayudará a reducir la dependencia de esos medios y diversificar un poco el suministro. Como se comentaba en la selección del tipo de presa a construir, aunque en la época seca no se ve agua en la superficie esto no quiere decir que todo este seco. A escasos centímetros de la superficie al realizar una pequeña excavación se puede obtener el agua almacenada en el terreno y que la presa es capaz de frenar.

En el apartado de la evaporación, se menciona que para calcular el volumen de agua perdido mensualmente era necesario considerar la extensión de la lámina de agua y el número de días de cada mes. Para la superficie ocupada se toma la superficie ocupada en caso de que la presa se encuentre en su nivel de llenado máximo, en este caso 2309.39 m<sup>2</sup>. A continuación, se recogen los valores de evaporación mensual.

<i>Mes</i>	<i>Evaporación [m<sup>3</sup>]</i>
<i>Enero</i>	854.5942284
<i>Febrero</i>	749.6699735
<i>Marzo</i>	867.2403352
<i>Abril</i>	819.630816
<i>Mayo</i>	805.6887975
<i>Junio</i>	795.0405827
<i>Julio</i>	750.4090849
<i>Agosto</i>	908.0404194
<i>Septiembre</i>	990.2304015
<i>Octubre</i>	1248.953376
<i>Noviembre</i>	1121.460729

Diciembre

745.7245047

Tabla 31. Evaporación mensual. Fuente: propia

Teniendo en cuenta estas pérdidas y el consumo humano en el año horizonte se estima el volumen mensual de la presa y las perdidas por excedente.

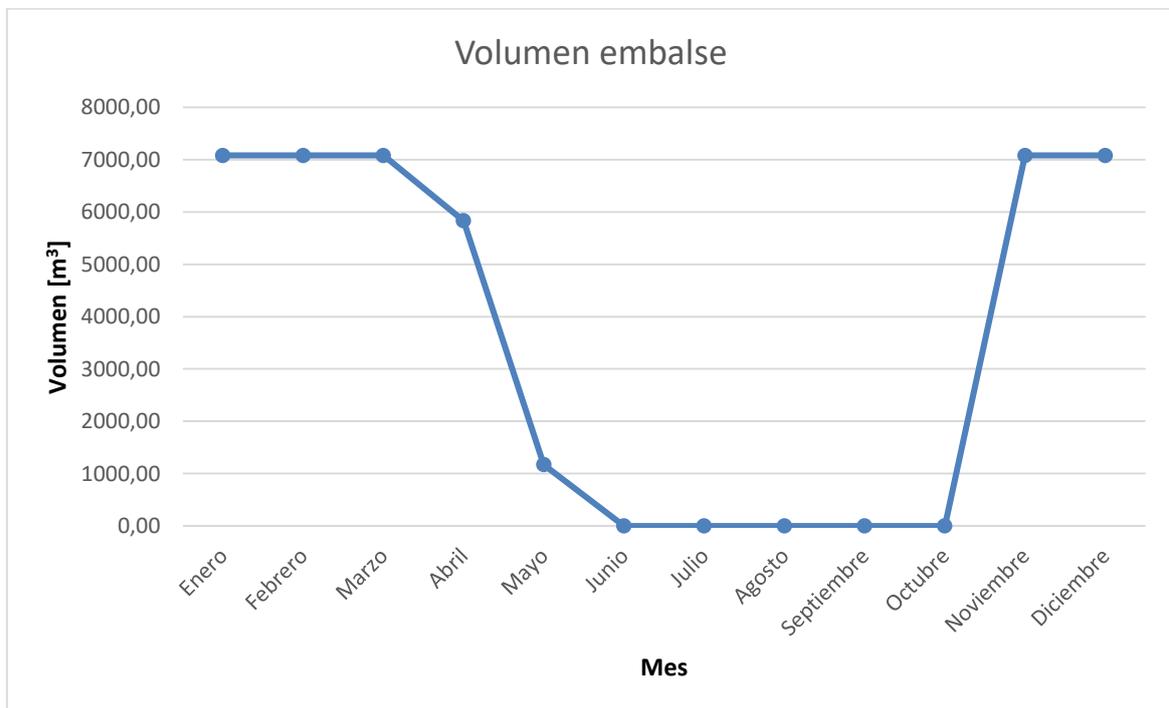


Ilustración 52. Volumen del embalse. Fuente: propia

Mes	Volumen [m³]	Excedente [m³]
Enero	7080.30	36339.51
Febrero	7080.30	27365.46
Marzo	7080.30	11858.08
Abril	5831.16	0.00
Mayo	1170.72	0.00

<i>Junio</i>	0.00	0.00
<i>Julio</i>	0.00	0.00
<i>Agosto</i>	0.00	0.00
<i>Septiembre</i>	0.00	0.00
<i>Octubre</i>	0.00	0.00
<i>Noviembre</i>	7080.30	6831.70
<i>Diciembre</i>	7080.30	28211.13

Tabla 32. Comparación excedente con volumen del embalse. Fuente: propia

Se observa que entre junio y octubre la presa se encuentra seca por lo que para obtener agua los locales tendrán que extraerla de la que se encuentra retenida en el terreno.

Teniendo en cuenta el excedente de agua mensual y considerando el número de días que llueve por mes empleado en el apartado de avenidas, se puede hacer una estimación de los caudales normales que la presa tendrá que soportar estos meses.

<i>Mes</i>	<i>Excedente [m<sup>3</sup>]</i>	<i>Caudal excedente [m<sup>3</sup>/s]</i>
<i>Enero</i>	36339.51	0.03
<i>Febrero</i>	27365.46	0.02
<i>Marzo</i>	11858.08	0.01
<i>Abril</i>	0.00	0.00
<i>Mayo</i>	0.00	0.00

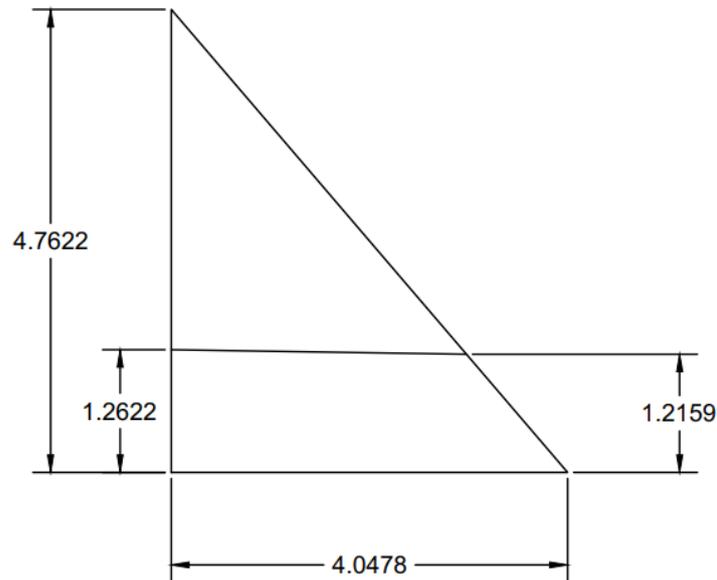
<i>Junio</i>	0.00	0.00
<i>Julio</i>	0.00	0.00
<i>Agosto</i>	0.00	0.00
<i>Septiembre</i>	0.00	0.00
<i>Octubre</i>	0.00	0.00
<i>Noviembre</i>	6831.70	0.01
<i>Diciembre</i>	28211.13	0.02

*Tabla 33. Estimación caudal excedente. Fuente: propia*

Tal y como se comentaba con anterioridad, los caudales normales son ínfimos en comparación con el caudal de proyecto para el que está diseñada la presa.

## 5.2 CÁLCULOS ESTRUCTURALES

Las cotas de la sección de la presa, “grosso modo”, quedan recogidas en la siguiente ilustración.



*Ilustración 53. Cotas sección presa. Fuente: propia*

Una vez que la presa ha sido dimensionada, es preciso realizar un estudio sobre el comportamiento de la estructura frente a las cargas que tendrá que soportar. Primero se realiza un estudio de las cargas que afectan a la estructura, determinando sus valores en función de los distintos niveles de agua que la presa puede experimentar. La Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas, determina que se deben considerar las siguientes solicitaciones:

- Peso propio
- Empujes hidráulicos
- Subpresión
- Empuje de los aterramientos
- Efecto del oleaje
- Acción del hielo
- Efectos sísmicos
- Retracción
- Variaciones de temperatura
- Otras solicitaciones

De la relación total de solicitaciones a considerar en el caso de grandes presas, solo se consideran en este proyecto las cuatro primeras que se encuentran en la lista. El resto de las cargas se han obviado al considerar sus efectos despreciables en una presa pequeña por los siguientes motivos:

- Efecto del oleaje: las olas que se forman no llegan a ser de gran tamaño por lo que no confiere un peligro para la estructura
- Acción del hielo: la zona en la que se encuentra la presa no se caracteriza por la presencia de temperaturas bajo cero que puedan dar lugar a la aparición de hielo.
- Efectos sísmicos: dadas las dimensiones de la presa, no es preciso considerar efectos los efectos de las aceleraciones sísmicas a los que se ve sometido el suelo.
- Retracción: no es necesario considerarla en caso de que se tenga en cuenta en los métodos empleado en la construcción.
- Variaciones de temperatura: no se producen cambios significativos que puedan condicionar la seguridad de la presa.
- Otras solicitaciones: la presa no incluye elementos de desagüe móviles que induzcan esfuerzos dinámicos en la estructura.

Todo ello para después, comprobar la estabilidad de la estructura según dos condiciones:

- **Vuelco**

Aunque no se trata de un fallo común en el caso de que las cargas no se hayan repartido correctamente, existe la posibilidad de que la presa gire respecto el pie de aguas abajo. Esta situación se da cuando el pie de aguas abajo empieza a separarse del terreno. La separación entre el terreno y la base se va extendiendo hasta llegar al pie de aguas abajo, situación cuando se produce el vuelco.

- **Deslizamiento**

La presa se ve sometida en su base a una fuerza de rozamiento que depende de la cohesión del terreno y el ángulo de rozamiento. En caso de que esta fuerza no sea suficiente la presa no se encuentra en equilibrio por lo que comienza a deslizarse por el terreno.

En el análisis de la estabilidad de la presa frente al vuelco y el deslizamiento se tendrán en cuenta tres situaciones de llenado a las que se podrá ver sometida durante su vida útil:

- Llenado hasta el Nivel Máximo Normal
- Incremento momentáneo de la altura hasta el Nivel de Avenida de Proyecto
- Incremento momentáneo de la altura hasta el Nivel de Avenida Extrema 2

### 5.2.1 CÁLCULO DE EMPUJES

Para realizar estos análisis antes es preciso calcular los esfuerzos considerados previamente para dichas condiciones. A continuación, se recogen las ecuaciones empleadas y las hipótesis consideradas.

#### Peso propio

$$P = \gamma_m * A$$

Donde:

- $\gamma_m$ : peso propio del material que compone la presa.
- $A$ : área de la sección

Dado a la similitud en cuanto a los materiales que lo componen, se estima el peso específico de la mampostería formado por rocas y mortero de cemento haciendo uso del valor del peso específico del hormigón.

$$\gamma_m = 24k N/m^3$$

#### Empujes hidráulicos

Resultante de todas las presiones a las que se ve sometido el paramento de aguas arriba debido a la acción del agua. Al tratarse de un empuje que depende directamente de la cota de agua embalsada se consideran los niveles de agua establecidos con anterioridad. En caso de que el embalse se encuentre vacío, al no haber agua, el efecto de esta fuerza es nulo.

$$E_h = \frac{\gamma_w * 1}{2} * H_w^2$$

Donde:

- $\gamma_w$ : peso específico del agua.
- $H_w$ : altura de la lámina de agua.

El peso específico del agua que se usará en el caso es una aproximación.

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

### Subpresión

La presa está diseñada para minimizar las infiltraciones de agua por la base de la estructura, ya que debido al tamaño reducido de esta presa pueden ser fatales. A pesar de esto, siempre aparecen pequeñas infiltraciones de agua. El agua que se encuentra entre la base de la presa y el macizo rocoso producen una fuerza vertical positiva.

$$S = \frac{\gamma_w * 1}{2} * H_w * B$$

Donde:

- $B$ : longitud de la base

En el cálculo de la subpresión también se considera la altura de la lámina de agua. Por ello, se deberá proceder de la misma manera que en el cálculo del empuje hidrostático, considerando los distintos niveles que pueden darse.

### Empuje de los aterramientos

En el paramento de aguas arriba aparece otro empuje, en este caso, debido al terreno. Al estar en contacto directo con el agua, el terreno termina saturándose y ejerce empujes en la horizontal y la vertical. Debido a la forma que tiene el cuerpo de la presa, solo es de interés la componente horizontal.

$$E_t = \frac{\gamma_t * 1}{2} * H_t^2$$

Donde:

- $\gamma_t$ : peso específico del terreno.
- $H_t$ : altura de los aterramientos.

El peso específico empleado en este caso corresponde al de tierra que se encuentra saturada.

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

Definidas las ecuaciones y los parámetros de los que depende se muestran en la tabla 34 los empuje a los que la presa se verá sometida.

<i>Solicitaciones</i>		<i>Valores [kN/m]</i>
<i>Peso propio</i>		231.32
<i>Empujes hidráulicos</i>	NMN	99.56
	NAP	105.44
	NAE1	105.90
	NAE2	107.29
<i>Empuje de los aterramientos</i>		13.25
<i>Subpresión</i>	NMN	90.31
	NAP	92.94
	NAE1	93.14
	NAE2	93.75

Tabla 34. Solicitaciones. Fuente: propia

## 5.2.2 ESTABILIDAD FRENTE AL DESLIZAMIENTO

A continuación, se comprueba que se cumple la condición de no deslizamiento de la presa, que la fricción del terreno sea igual o superior a los empujes horizontales a los que se ve sometido la estructura. Los empujes, verticales y horizontales, para los tres niveles de la

lámina de agua se recogen en la tabla 35. Los valores positivos de la componente vertical apuntan hacia el suelo y para la componente horizontal hacia aguas abajo.

<i>Cota</i>	<i>Componente vertical</i>	<i>Componente horizontal</i>
	[kN/m]	[kN/m]
<i>NMN</i>	141.01	112.81
<i>NAP</i>	138.38	118.69
<i>NAE 2</i>	137.57	120.54

Tabla 35. Componentes según cota lámina de agua. Fuente: propia

La fricción que realiza el suelo, y se opone al deslizamiento de la presa, depende de dos parámetros del macizo rocoso caracterizados anteriormente: la cohesión y el ángulo de rozamiento. En el cálculo, se ha decidido dejar los parámetros geotécnicos del macizo intactos, es decir no aplicar en ellos coeficiente de minoración. En este caso, se aplica un coeficiente reductor a todo el valor de la fricción. Otra forma de proceder sería introduciendo en los cálculos de las solicitaciones un coeficiente de mayoración. El valor de fricción obtenido con la siguiente fórmula se multiplica el valor de la fricción por 0.5.

$$T = c * B + N * \tan(\phi)$$

Donde:

- *c*: cohesión del macizo rocoso
- *B*: longitud de contacto en la sección estudiada
- $\phi$ : ángulo de rozamiento
- *N*: fuerza normal

En la tabla 36 se recogen los valores de fricción calculados. Además, se indica si se cumple la condición de estabilidad enunciada al comienzo del capítulo y el factor de seguridad.

<i>Cota</i>	<i>Componente vertical [kN/m]</i>	<i>Componente horizontal [kN/m]</i>	<i>Fricción [kN/m]</i>	<i>Condición estabilidad</i>	<i>Factor de seguridad</i>
NMN	141.01	112.81	10370.39	Se cumple	91.93
NAP	138.38	118.69	10369.41	Se cumple	87.36
NAE2	137.57	120.54	10369.11	Se cumple	86.02

Tabla 36. Comprobación deslizamiento. Fuente: propia

En la línea de las premisas marcadas al comienzo del capítulo, se obtienen factores de seguridad muy elevados. La estructura ha sufrido importantes cambios para tratar de reducir este factor y sobredimensionar. Al no poder reducir más el valor del talud de aguas abajo ni la cota del vértice resistente se toman estos factores de seguridad como comprobación de que la presa tendrá una gran estabilidad frente al deslizamiento.

### 5.2.3 ESTABILIDAD FRENTE AL VUELCO

El criterio que determina la condición de estabilidad frente al volteo es que no aparezcan tracciones en el pie de aguas arriba ( $\sigma_A \geq 0$ ). Esta es la condición más restrictiva que se puede imponer, ya no se centra solo en si se produce el vuelco de la estructura o no. También se debe prestar atención a las tracciones que aparecen en el pie de aguas abajo ( $\sigma_B$ ), ya que, en caso de superar la resistencia máxima del macizo rocoso, el terreno cedería causando el fallo de la presa.

Antes de comprobar la presencia de tracciones en el pie de aguas arriba, es preciso conocer los momentos aplicados en el pie de aguas abajo. De todas las fuerzas a las que se ve sometida la presa, la única que no causa momento es la fricción ya que su línea de acción pasa por el punto en el que se calcula el momento. Por ello, se consideran los siguientes momentos:

- $M_p$ : debido al peso propio de la presa
- $M_h$ : debido a los empujes hidráulicos
- $M_t$ : debido al empuje de los aterramientos

- $M_S$ : debido a la subpresión
- $M_N$ : debido a la fuerza normal

En la tabla 37, se presentan los momentos respecto el pie de aguas abajo y los brazos de cada uno de los momentos. El signo de los momentos es positivo según el sentido contrario a las agujas del reloj.

<i>Componente</i>		<i>Brazo [m]</i>	<i>Momentos [kN*m/m]</i>
<i>Peso propio</i>		2.7	624.22
<i>Empujes hidráulicos</i>	NMN	1.49	148.08
	NAP	1.53	161.4
	NAE2	1.54	165.66
<i>Empuje de los aterramientos</i>		0.37	4.85
<i>Subpresión</i>	NMN	2.7	243.71
	NAP	2.7	250.81
	NAE2	2.7	252.99

Tabla 37. Momentos. Fuente: propia

Para que no se produzca el vuelco de la estructura, el sumatorio de estos momentos respecto el pie de aguas abajo debe ser 0.

$$\sum M = M_p + M_h + M_t + M_s + M_N = 0$$

Imponiendo esta condición, se calcula el momento debido a la fuerza normal. La fuerza normal, que aparece como reacción al peso de la presa y las subpresiones de los cimientos, tiene una distribución trapezoidal a lo largo de la base de la presa.

Componente	Momentos [kN*m/m]	
Fuerza normal	NMN	227.59
	NAP	207.17
	NAE2	200.73

Tabla 38. Momentos debido a la fuerza normal. Fuente: propia

Interesa conocer el valor de las tensiones en los pies, tanto el de aguas arriba  $\sigma_A$  como el de aguas abajo  $\sigma_B$ , por ello se toma la siguiente ecuación para el cálculo del momento debido a la fuerza normal ( $M_N$ ).

$$M_N = \frac{\sigma_A * B * B}{2} + \frac{1}{2} \frac{(\sigma_B - \sigma_A) * B * B}{3}$$

Es necesario introducir una segunda ecuación con la que poder resolver las tensiones, incógnitas de la ecuación anterior. El empuje provocado por la componente normal es un valor conocido y la ecuación que lo determina la siguiente:

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

Se obtienen por tanto los valores de tensiones en los pies de la presa representados en la tabla 39, para las tres condiciones de llenado del embalse estudiadas.

Cota	Fuerza normal [kN/m]	Momento normal [kN*m/m]	$\sigma_A$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_B$ [kN/m <sup>2</sup> ]
NMN	141.01	227.59	13.67	56
NAP	138.38	207.17	7.49	60.88
NAE		200.73		
2	137.57		5.53	62.44

Tabla 39. Tensiones en los pies de la presa. Fuente: propia

Se cumple la condición impuesta para los tres casos estudiados, por lo que se puede concluir que la presa es estable frente al vuelco.

#### 5.2.4 MÁXIMA TENSIÓN ADMISIBLE DEL TERRENO

Una vez calculadas las tensiones que se producen en la base, es necesario estudiar si estas tensiones superan la resistencia a compresión simple del terreno. En caso de superarlo el terreno cedería y podría dar lugar al fallo de la presa. Se toma como valor de compresión simple del terreno el estudiado en el capítulo 4.

$$\sigma_A, \sigma_B > \sigma_{adm}$$

<i>Cota</i>	$\sigma_A$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_B$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{adm}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	<i>Condición</i>
NMN	13.67	56	2990	Se cumple
NAP	7.49	60.88	2990	Se cumple
NAE 2	5.53	62.44	2990	Se cumple

Tabla 40. Comprobación tensión admisible. Fuente: propia

Se cumple la condición, por lo que el suelo será capaz de aguantar las tensiones provocadas en los pies de la presa.

### 5.3 CONCLUSIÓN DE LA PROPUESTA

Una vez realizados todos los cálculos pertinentes, tanto hidráulicos como estructurales, sobre los que se basa el diseño de la presa se hace una recopilación de los elementos característicos de la estructura.

En un primer momento se buscaba que la presa fuera capaz de abastecer los consumos de agua de la población y las necesidades de regadío de la escuela de agricultura. Las limitaciones impuestas por la orografía hacen imposible construir una presa de mayor envergadura. Al tratarse de una cuestión más urgente, se decide solo suministrar agua para el consumo humano.

Dado la llanura del terreno presente en el emplazamiento es necesario realizar un dique que tiene una gran longitud en comparación con su altura. Estas grandes dimensiones para el considerablemente reducido volumen que la presa alojará repercute en los altos coeficientes de seguridad obtenidos. La estructura es capaz de soportar empujes y momentos bastante superiores a los que se dan en los años de retorno estudiados.

Las avenidas no suponen un aumento sustancial sobre el NMN lo que influye en las reducidas dimensiones que tiene el aliviadero. El eje de simetría del aliviadero coincide con la vertical sobre la cota de cauce.

La presa que los locales construyeron falló al producirse infiltraciones por debajo del cuerpo de la presa. En el capítulo 4, se concluyó que el macizo rocoso se encontraba a poco más de 1 metro de la superficie. Para asegurar que toda la cimentación de la presa descansa sobre roca sana, se impone una profundidad de excavación de 1.2 metros en toda la base de la presa.

Para alcanzar las dimensiones finales se tuvieron que abordar al menos 5 propuestas diferentes que incluían modificaciones en los taludes y la altura del vértice resistente. Sin embargo, tras las comprobaciones de estabilidad se concluye que la presa que ofrecía los mejores resultados, mientras se mantuviera al mismo tiempo un volumen reducido para que los costes fueran los menores, corresponde a la presentada en los planos.



*Ilustración 54. Vista de planta de la presa. Fuente: propia*

## Capítulo 6. METODOLOGÍA

En este capítulo del proyecto se propone una metodología que deberá cumplirse para asegurar la correcta construcción de la presa. Antes de comenzar con la exposición de los pasos que se deberán seguir para construir la presa es preciso recalcar la naturaleza del proyecto. La construcción de la presa se hace dentro de un programa de cooperación internacional, según el cual una ONG presta ayuda a un país extranjero para mejorar varios ámbitos del día a día.

El hecho de que se realice fuera de España tiene una importante connotación en el establecimiento de la metodología ya que los tiempos de trabajo no son comparables a los que existen aquí. En Zimbabue el ritmo de trabajo es menor, los empleados suelen tardar más tiempo en realizar las tareas que se han asignado. Es esencial adecuarnos a su forma de trabajar, por ello se considera esta diferencia en la metodología de trabajo en la asignación de tiempos que se establece en este capítulo.

Otro factor que se debe tener en cuenta es la época del año en la que se construirá la presa. El clima y sobre todo la lluvia jugarán un factor importante en la elección de la fecha más adecuada para llevar a cabo la construcción. Se debe tener en cuenta que cuando se reanuden las lluvias en septiembre, será complicado construir la presa ya que el agua comenzará a fluir por el cauce del río. Además, al emplazamiento se llega a través de un camino de tierra que al caer las primeras lluvias torrenciales quedará impracticable. Es por ello por lo que se ha decidido llevar a cabo la construcción entre los meses de julio y agosto cuando las lluvias no se dan.

En la elaboración de los pasos a seguir, se ha tenido muy en cuenta las premisas de responsabilidad social en la ingeniería expuestas por Smith y Lucena. Esto conlleva una serie de implicaciones que se deben cumplir durante la puesta en marcha del proyecto.

- Comprender las estructuras de poder dentro de una comunidad. En muchas ocasiones, se aprecian pequeños grupos cuyos intereses no se alinean con los

miembros de la comunidad que toman las decisiones. Conocer con precisión estas minorías, sirve para comprender las razones por las que ellos se oponen a la construcción del proyecto y así, dentro de la medida de lo posible, tratar de solucionarlas.

- Establecer un grupo de trabajo donde queden representados fielmente todos los miembros de la comunidad. En muchas ocasiones, la negativa a la construcción de una infraestructura por parte de determinados grupos se debe a la falta de conocimiento de las implicaciones que la presa conlleva. Es por ello, que establecer un grupo de trabajo con los locales, es muy positivo ya que ellos verán todas sus dudas resueltas. Además, se les dará la posibilidad de participar en la toma de decisiones, aspecto que sin duda aumentará sentimiento de pertenencia al proyecto.
- Una vez concluido la construcción del proyecto se deberá realizar un seguimiento para asegurar que se cumplen los hitos considerados en la fase de diseño. Para ello, es imprescindible establecer una serie de indicadores claros que determinen el éxito del proyecto según varios condicionantes.

Establecido el punto de partida, se procede a exponer los pasos que se deberán llevar a cabo:

### **1. Establecer un grupo de trabajo**

Esta tarea, aunque pueda parecer que es sencilla, es esencial para la correcta construcción de la presa. Se deberán crear las cuadrillas de voluntarios y asignar tareas a cada uno de ellos. Además, se creará un grupo para realizar la toma de decisiones de manera conjunta con la comunidad. Estará constituido por locales de distintos estratos sociales para asegurar que los intereses de todos los ciudadanos están recogidos.

## **2. Comprobar que las estimaciones realizadas son correctas.**

Se deberá asegurar que las hipótesis del terreno sobre las que se fundamenta el proyecto, estimadas en base a una serie de factores, son correctas. Aquellas que mayor repercusión tienen de cara al diseño de la presa son la topografía y el estudio geológico.

En el emplazamiento, será muy complicado establecer la idoneidad del terreno, por ello se plantean dos metodologías sencillas que se pueden realizar sin la necesidad de equipamiento geológico específico.

- Uno de los aspectos característicos de la presa es su capacidad para almacenar agua en el terreno de manera que se pueda usar en verano cuando el agua superficial se haya evaporado. Para determinar si el terreno es capaz de retener agua y por ello es bueno para esta función, se deberá humedecer el terreno e intentar hacer cilindros con él. El material será adecuado si es complicado realizar estas tiras. También se busca que una vez se seque, se formen terrones blandos que se rompan con facilidad.
- En caso de querer obtener los porcentajes aproximados de arena, limo y arcilla del terreno de la zona se puede hacer uso de una técnica, que, aunque sencilla es muy efectiva. Se introducen 500 ml de terreno y 30 ml de detergente en una botella de 2 litros. Después, se llena de agua dejando un poco de aire en su interior que permita que se mezclen los elementos al agitarla. Tras agitar la botella durante 3 minutos se deja reposar y se toman medidas de la altura de los sedimentos depositados cuando transcurran 20 segundos (deposición de la arena), 5 minutos (deposición del limo) y cuando el agua quede clara (deposición de la arcilla). Con las medidas tomadas se puede calcular el porcentaje de cada elemento que compone en el terreno.

## **3. Realizar cambios en el diseño (si es necesario)**

En caso de haber encontrado en la fase anterior cualquier característica del emplazamiento, que pueda suponer el fallo de la presa, será preciso introducir cambios en el diseño. Se ha diseñado la presa con factores de seguridad elevados, de

manera que en caso de que existan pequeñas desviaciones de cualquier valor respecto a lo estimado no sea necesario volver a rediseñar la presa.

En todo caso, se puede encontrar un elemento que los factores de seguridad no puedan asumir. En este caso, se ha realizado una plantilla de cálculo en la que se podrá introducir los cambios pertinentes y encontrar instantáneamente los nuevos parámetros.

#### **4. Contactar con los proveedores**

En caso de que haya que hacer algún cambio de diseño y las cantidades de productos necesarios para la construcción cambien, se esperará hasta realizar las comprobaciones pertinentes. También incluye el periodo de envío de los materiales y la recepción de estos.

#### **5. Comienzo de la construcción**

Este paso engloba varias actividades que se deberán realizar para que el proyecto se materialice.

- **Retirar elementos del vaso de la presa.**

Se realizará un desbroce del vaso de la cuenca, retirando además todo material extraño que se pueda encontrar.

- **Realización de la zanja.**

Se trata de un trabajo tedioso que consumirá buena parte de la intervención en la zona dado a los altos volúmenes de tierra que se deberán de retirar. Se establece una profundidad de excavación de 1.2 metros de profundidad respecto a la superficie para todo el cimiento de la presa. De esta forma la presa descansará sobre el macizo rocoso y se asegura que no se produzcan infiltraciones. Al realizar la zanja se le dará gran importancia a los taludes que se dejen a ambos lados de la excavación ya que de lo contrario se podrá producir derrumbes.

- **Construcción del dique.**

Es el trabajo central del proyecto. Se debe de elaborar un mortero de cemento y arena con la consistencia adecuada. Este mortero se ira depositando junto con la roca en capas de no más de 0.5 metros de altura. Una vez que esa capa haya secado, se procederá con la siguiente. Este método se prolongará hasta alcanzada la cota de coronación. La mampostería de la que está compuesta el cuerpo de la presa, se deberá realizar de acuerdo con lo expuesto en el artículo 86 de la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas. A continuación, se exponen las características que deben de cumplir las rocas y el mortero.

- Rocas: deben de ser rocas sanas con una elevada resistencia y que no hayan sufrido meteorización.
- Mortero: se emplea un mortero de cemento y arena (1:4) por cada parte de agua. Se prefiere añadir 1 parte de cemento por cada 4 de arena ya que así el mortero es menos susceptible a sufrir contracciones en el secado que dan lugar a la aparición de grietas.

Al colocar las rocas se debe prestar atención a que exista una separación entre ellas y queden totalmente envueltas en el mortero.

Para asegurar que el curado del mortero es el correcto durante los 3 días próximos a la creación de la capa se regará la estructura. También se le da gran importancia al secado, en caso de que este sea muy rápido pueden darse grietas. Para ralentizar el secado del mortero se puede cubrir la estructura.

## **6. Comprobaciones**

Se realizan las inspecciones pertinentes para asegurar que la presa esta lista para ponerse en carga. Una vez superado esta etapa, la construcción de la presa habrá

concluido. Se contempla recurrir a un técnico especializado que pueda corroborar que la presa cumple con los requisitos de seguridad.

### **7. Cursos de mantenimiento**

Se establecerá un grupo formado por miembros de la comunidad para asegurar el cumplimiento del manual de mantenimiento elaborado. Una vez conformado el grupo, se llevarán a cabo una especie de seminario sencillo en el que explicar las acciones rutinarias que se deben de desarrollar para asegurar que la presa perdure.

### **8. Elaboración de la memoria del proyecto**

Se escribirá una memoria del proyecto, en la que se detallen todos los elementos constructivos de este. Se diferencia de este documento en que esa memoria versará únicamente de las acciones que se realicen en la zona. Se trata por tanto de un documento complementario a este, con el que informar a los benefactores de la ejecución de la presa.

Todos estos pasos no se realizarán de manera escalonada, cabe la posibilidad de que varias tareas se superponen en el tiempo. De esta manera se podrá ser más eficaz y se reducirá el tiempo de intervención en la zona.

## **Capítulo 7. PLAN DE MANTENIMIENTO**

A lo largo del diseño de la presa, se ha tenido muy presente crear una estructura lo más simple posible, satisfaciendo al mismo tiempo las necesidades de la comunidad, para que los requerimientos de mantenimiento fueran mínimos. Es por ello por lo que el conjunto de medidas que se presentan a continuación será reducido y no presentarán una extremada dificultad. Un ejemplo constructivo donde se aprecia este afán por conseguir una estructura sencilla es en la construcción del aliviadero. Se optó por un aliviadero de labio fijo en coronación para que no existieran partes móviles que puedan verse comprometidas en un periodo más corto de tiempo.

Según lo estudiando con anterioridad sobre el volumen del embalse, se puede afirmar que existen unos meses en el año cuando el embalse queda totalmente vacío. Esta es la época perfecta para llevar a cabo una inspección a fondo del estado de la presa. Por esto, con una periodicidad anual, se deberán realizar las siguientes tareas, todo con el objetivo final de prolongar la vida útil de la presa.

- **Comprobación del estado del vaso.**

En caso de que el desbroce no se haya efectuado de manera correcta, aún pueden quedar restos de materia orgánica en el vaso de la presa. Estos elementos no pueden permanecer en esa zona, por lo que, en caso de darse de nuevo, se deberán retirar otra vez. Además, las fuertes lluvias que se dan en la zona pueden arrastrar ramas y otros elementos que se irán depositando en el terreno. Todos estos elementos se deberán de retirar antes de proceder de nuevo al llenado del embalse.

- **Comprobación del estado del aliviadero.**

El aliviadero es el único elemento que presenta la presa como protección a fuertes avenidas que se puedan dar. Es frecuente que los cauces que llegan hasta el embalse transporten materiales flotando, que puedan taponar el aliviadero. Si el aliviadero se encuentra taponado en el momento de producirse una crecida en el nivel del embalse,

el agua no será desalojada correctamente y se producirá una sobreelevación que puede comprometer la estabilidad de la presa. Por ello la periodicidad de esta acción es elevada, se comprobará el estado del aliviadero diariamente.

- **Inspección en busca de grietas.**

En caso de que aparezcan grietas por las acciones del agua o el asentamiento de la estructura en el terreno, deberán ser subsanadas con la mayor celeridad posible. Se trata de una situación excepcional dado los factores de seguridad que se han tenido en cuenta en el diseño de la presa. No obstante, ninguna estructura está exenta de que se den pequeñas grietas.

Para sanear las grietas, primero se deberá determinar la causa de la grieta. En todo caso, se deberá limpiar la zona en cuestión, removiendo todo material suelto que se encuentre. Una vez retirado el material afectado, se procederá al llenado de la grieta. En función de la gravedad, se podrá arreglar con inyecciones de cemento o en el peor caso, se deberá reconstruir la mampostería.

- **Eliminación de la acumulación de deposiciones en el pie de aguas arriba.**

La capacidad de almacenamiento de la presa se puede ver comprometida al producirse el llenado del embalse. Los cauces irán arrastrando consigo material que se decantará detrás de la pared de aguas arriba de la presa. Para tratar de reducir el material depositado, se plantea eliminarlo anualmente durante el periodo que la presa permanece vacía.

## Capítulo 8. ESTUDIO ECONÓMICO

El presente estudio económico se divide en tres partes: financiación, presupuesto y viabilidad.

### 8.1 FINANCIACIÓN

La financiación del proyecto proviene casi en su totalidad de aportaciones realizadas por empresas o particulares. Por cada una de las aportaciones se realiza una carta de donación que se aporta a los mecenas del proyecto. A su vez, se les entregará una memoria, elaborada a lo largo de la construcción de la presa. En ella se detallan factores claves de la construcción, así como la obtención de los objetivos marcados.

La otra vía de financiación que sirve para costear los gastos del proyecto son eventos realizados por los alumnos que realizan su TFG de manera conjunta con CFA. Entre los eventos realizados destacan los siguientes:

- **Venta de camisetas y pulseras**

Al igual que en los últimos años, se ha realizado un nuevo diseño de camiseta y pulsera expreso para este año. Las camisetas se comercializaron entre los conocidos y familiares de las personas involucradas en el proyecto, con una gran incidencia dentro de la escuela. De esta manera aquellas personas interesadas en el proyecto pueden realizar una pequeña aportación. Al mismo tiempo, se trata de un elemento altamente visual que sirve para promocionar el proyecto.

- **Concierto y posterior fiesta**

Se decidió celebrar una fiesta al final del primer semestre, coincidiendo con la finalización de los exámenes del primer semestre. Al fijar esa fecha se garantizaba la asistencia de un gran grupo de personas. Durante la fiesta, fueron varios los grupos que amenizaron la noche con sus actuaciones.

Debido a la situación de excepcionalidad causada por la pandemia SARS-CoV-2, los eventos programados para el segundo semestre del año 2020 no se pudieron realizar. Todo el dinero recaudado hasta la fecha se encuentra en espera a que se puedan realizar las construcciones en un futuro. A pesar de que esta situación acarree problemas de cara al proyecto, amplía el periodo disponible para la obtención de recursos. De esta manera, se podrá obtener el patrocinio de un número más elevado de empresas.

## **8.2 PRESUPUESTO**

Los materiales que se emplean en la construcción de la presa los aporta la comunidad. A pesar de esto, se decide realizar un estudio en el que se detalle los precios de materiales y maquinaria necesaria en Zimbabue. Para obtener una estimación de los precios en el país donde se realizará la presa, se contactó con cinco empresas. De todas ellas una se encuentra en Mount Darwin y el resto en la capital del país, Harare. Solo se recibió respuesta por parte de dos empresas, con las que se acordó la elaboración de una preforma detallando precios unitarios.

A la fecha de cierre del proyecto, no se ha recibido la información demandada por parte de las empresas. Debido a esta situación, se decide emplear en las estimaciones tarifas 2020 que la empresa Tragsa tiene tabulados para España.

A continuación, se exponen los precios unitarios y los precios totales para las tres tareas que componen los trabajos constructivos.

- **Desbroce**

Teniendo en cuenta la superficie de del vaso de la presa es de 8305.67 m<sup>2</sup>, se obtienen los siguientes precios.

<i>Actividad</i>	<i>Unidades [m<sup>2</sup>]</i>	<i>Precio unitario [€/m<sup>2</sup>]</i>	<i>Precio total [€]</i>
<i>Desbroce del terreno</i>	8305.67	0.09	747.51

Tabla 41. Precios asociados con el desbroce. Fuente: Tragsa

- **Zanja**

Se estima que la cantidad de tierra que se deberá extraer son 90 m<sup>3</sup>. Para este volumen los precios son los siguientes:

<i>Actividad</i>	<i>Unidades [m<sup>3</sup>]</i>	<i>Precio unitario [€/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Precio total [€]</i>
<i>Realizar zanja</i>	90	11.36	1022.4

Tabla 42. Precios asociados con la realización de la zanja. Fuente: Tragsa

- **Construcción del dique**

La presa tiene un volumen total de 351.53 de los que aproximadamente el 75% es roca. El resto es constituido por el mortero. El coste del mortero de la tabla inferior incluye el coste de la hormigonera y la mano de obra por parte del peón encargado en su elaboración.

<i>Material</i>	<i>Unidades [m<sup>3</sup>]</i>	<i>Precio unitario [€/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Precio total [€]</i>
<i>Rocas</i>	263.65	10.36	2731.39
<i>Mortero</i>	87.88	117.87	10358.71

Tabla 43. Precios asociados con la construcción del dique. Fuente: Tragsa

Si se consideran todos estos costes, se consigue obtener el precio total de la construcción

<i>Actividad</i>	<i>Unidades [m<sup>2</sup>]</i>	<i>Precio unitario [€/m<sup>2</sup>]</i>	<i>Precio total [€]</i>
<i>Desbroce del terreno</i>	8305.67	0.09	747.51
<i>Realizar zanja</i>	90	11.36	1022.4
<i>Rocas</i>	263.65	10.36	2731.39
<i>Mortero</i>	87.88	117.87	10358.71
<i>Total</i>			<i>14860.01</i>

*Tabla 44. Precios totales. Fuente: Propia*

Hay que tener en cuenta que los precios obtenidos corresponden a España por lo que serán superiores a los de Zimbabue

La comunidad local aporta el material necesario para la construcción por lo que no es necesario hacer frente al coste de estos materiales. Además, la mano de obra se llevará a cabo por voluntarios por lo que no es necesaria una compensación económica.

### **8.3 VIABILIDAD**

La construcción de la presa no supone una reducción en los gastos que la comunidad tiene que afrontar. Se trata, por tanto, de una mejora en la calidad de vida de los locales. Esta peculiaridad hace que no se puede analizar la viabilidad del proyecto según las directrices generales. En este caso la viabilidad se estudiará de acuerdo con cuatro indicadores:

- **Emergencia**

A lo largo del documento se ha incidido en la necesidad de aportar un acceso seguro de agua a la comunidad para mejorar sus condiciones de salud y calidad de vida. El agua juega un papel importante en el día a día de los seres humanos, de ahí que sea

imprescindible asegurar su acceso. En la actualidad la comunidad depende casi en su totalidad de un pozo que se construyó hace un par de años. En caso de que la población de la zona crezca, según lo estudiado en el capítulo 4, pronto este pozo no será capaz de abastecer a toda la población. Es preciso ser proactivos y anteponerse a esa situación.

- **Número de afectados**

Se estima que la presa será capaz de abastecer agua sobradamente a las 2000 personas que viven en la zona ya que se ha diseñado teniendo en cuenta un año horizonte de 25 años. Al emplear la metodología de Smith y Lucena, se asegura el proyecto no perjudica a grupos minoritarios dentro de la comunidad. De esta manera, toda la población de la zona se verá favorecida por la construcción de la presa, incluso aquellas personas que inicialmente pudieran verse afectadas negativamente por el proyecto.

- **Solución**

La solución planteada para aportar agua a la comunidad se trata de construir una presa económica y de la manera más sencilla y posible. Al mismo tiempo la presa se adapta de la mejor manera posible al ecosistema en el que se construye, de forma que la vida cotidiana de los locales a penas se ve alterada.

- **Sostenibilidad**

La presa se ha diseñado para que los mantenimientos necesarios sean los menos posibles y en caso de que se tenga que realizar acciones no supongan costes ni la necesidad de contratar a un técnico especializado. De esta manera, aseguramos que la presa pueda prolongarse en el futuro y no caiga en desuso por no tener los recursos necesarios para su mantenimiento.



## Capítulo 9. POSIBLES MEJORAS

El proyecto estudiado tiene un presupuesto limitado, por lo que para su realización es necesario establecer prioridades sobre qué elementos son realmente necesarios. Aquellos que no puedan construirse en esta intervención, se podrán realizar en futuros proyectos. A continuación, se ha recogido una serie de mejoras que se pueden llevar a cabo. Estas inversiones futuras pueden suponer un aumento en la calidad de vida de la comunidad, por lo que, aunque no hayan quedado definidas en este proyecto se recomienda realizarlas en el futuro.

### 9.1 CERRAMIENTO PERIMETRAL EMBALSE



*Ilustración 55. Ejemplo vallado perimetral. Fuente: Cerralba*

Es frecuente realizar un vallado a lo largo del perímetro de los embalses con la intención de proteger tanto a los seres vivos del entorno como la calidad del agua embalsada. En este caso, dado a la reducida pendiente que tiene el terreno, no se ha considerado necesario el cerramiento perimetral del embalse. Si la pendiente fuera algo más acentuada, podría suponer la muerte por ahogamiento de algún niño o animal que al acercarse al embalse cayese dentro de él, no siendo capaz de salir después.

Para evitar tragedias, si la financiación lo permite se instalará una valla en todo el perímetro del embalse.

## **9.2 CAMINO DE ACCESO**

El acceso que en la actualidad lleva hasta el embalse es un camino de tierra. Los locales deberán usar este camino diariamente con independencia de las condiciones climatológicas para abastecerse de agua. Se apuntaba con anterioridad que, al estar compuesto únicamente de tierra, al producirse las primeras lluvias, será complicado acceder a la presa al quedar el camino impracticable.



*Ilustración 56. Ejemplo camino afectado por lluvias. Fuente: Elonce*

Se propone mejorar esta vía de acceso, que además comunica las principales construcciones de la zona, mediante la construcción de un camino estabilizado, formado por una capa de elementos finos encima de una capa de un material más grueso.

### ***9.3 CANALIZACIONES DE AGUA***

Una vez la presa se haya construido y el embalse encuentre lleno, para abastecerse la comunidad deberá desplazarse hasta el propio emplazamiento. Para mejorar la calidad del acceso al agua, se plantea realizar canalizaciones hasta pequeñas concentraciones de viviendas. De esta manera, los ciudadanos solo tendrán que andar unos escasos metros hasta la fuente más cercana. En muchos casos, no será necesario la instalación de equipamiento de bombeo, sino que el agua se transportará haciendo uso de la diferencia de cotas entre la presa y el lugar de instalación de la fuente.

### ***9.4 POTABILIZACIÓN DEL AGUA***

Es una mejora que va de la mano directamente con la anterior. Al canalizar el agua hasta los núcleos de concentración de viviendas, será preciso la instalación de una fuente con la que poder obtener el agua. La mejora que se plantea, es la instalación de fuentes especializadas que puedan filtrar el agua al mismo tiempo que se realiza su extracción. Este tipo de fuentes contará con un sistema similar al que presentan soluciones para la eliminación de patógenos en el agua como Purifaaya o Lifestaw. Sin necesidad de hervir el agua, al pasar por la serie de membranas y filtros que presenta, el agua es apta para el consumo.



## Capítulo 10. CONCLUSIONES

Desde la aparente comodidad del día a día en occidente se suele olvidar o dejar en un segundo lugar lo importante que es el agua para vivir. El agua como recurso esencial de la vida se debe asegurar que sea accesible por todos sin importar en el lugar del mundo en el que se habite. En este aspecto es donde el proyecto recogido en este documento toma su importancia. Con la creación de la presa se estará proporcionando un acceso seguro a agua al menos a 2000 personas.

Zimbabue transcurre por una situación convulsa, detrás de toda acción hay siempre un interés político. Las peticiones de las zonas rurales rara vez llegan hasta los organismos necesarios para satisfacer estas necesidades. Es preciso que el proyecto lo realice una entidad internacional que no tenga mayor interés que el deseo de ayudar. Además, podrá actuar de mediador entre las distintas voces que surjan respecto al proyecto.

Entender a la comunidad, sus hábitos, sus costumbres, sus necesidades... supone un factor diferencial que sin duda ayuda a que la integración de la comunidad dentro del proyecto sea mejor. Al conseguir que los locales se involucren y sientan el proyecto como algo suyo, el éxito de la infraestructura está prácticamente garantizado.

Se decide que dado las condiciones de la zona la mejor solución es construir una presa a caballo entre una presa subterránea y una presa superficial. La idea fundamental detrás del diseño es el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles. Por esta razón, han sido varios los diseños que se han considerado hasta encontrar el que reunía todos los requisitos. Dado a la topografía del terreno, muy plano, la presa presenta una gran longitud para su poca altura.

Al construir la presa se es consciente de que se está realizando una acción que puede mejorar exponencialmente la vida de muchas personas.



## Capítulo 11. BIBLIOGRAFÍA

[ONU02] Cuestiones Sustantivas Que Se Plantean En La Aplicación Del Pacto internacional De Derechos Económicos, Sociales Y Culturales Observación General N. ° 15 ONU.

[ONU19] Informe Mundial De Las Naciones Unidas Sobre El Desarrollo De Los Recursos Hídricos 2019. ONU.

[AHMA19] Ahmadalipoura A., Moradkhani H., Castelletti A. and Magliocca N. (2019) Future drought risk in Africa: Integrating vulnerability, climate change, and population growth. *Science of the Total Environment*, 622, 672-686.

[MINE17] (2017) República De Zimbabue *Oficina de Información Diplomática del Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación*

[MUGA03] Mugabe F., Hodnett M. and Senzanje A. (2003). Opportunities for increasing productive water use from dam water: A case study from semi-arid Zimbabwe. *Agricultural Water Management*. 62. 149-163. 10.1016/S0378-3774(03)00077-5.

[ANYA19] Anyadike O. (2019) Drought in Africa leaves 45 million in need across 14 countries. *The New Humanitarian* (Diario digital)

[UNO20] *Objetivos de Desarrollo Sostenible (Página web)*

[FRA15] Santo Padre Francisco (2015) Carta encíclica Laudato Si

[RAIN] Rainwater Harvesting Implementation Network. A practical guide to sand dam implementation

[AGU15] 2015. «Agua». Recuperado 25 de agosto de 2020 (<https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>).

- [CLZ] «Clima promedio en Mount Darwin, Zimbabue, durante todo el año - Weather Spark». Recuperado 25 de agosto de 2020a (<https://es.weatherspark.com/y/96834/Clima-promedio-en-Mount-Darwin-Zimbabue-durante-todo-el-a%C3%B1o>).
- [WIW7] «E7 - La construcción de pequeñas presas superficiales». *Wikiwater*. Recuperado 25 de agosto de 2020b (<https://wikiwater.fr/e7-la-construccion-de-pequenas>).
- [WIW8] «E8 - La construcción de pequeñas presas subterráneas». *Wikiwater*. Recuperado 25 de agosto de 2020c (<https://wikiwater.fr/e8-la-construccion-de-pequenas>).
- [AGU15] «OneGeology Portal». Recuperado 25 de agosto de 2020d (<http://portal.onegeology.org/OnegeologyGlobal/>).
- [AGU15] «SamSamWater - Climate data for». Recuperado 25 de agosto de 2020e (<https://www.samsamwater.com/climate/climatedata.php?lat=-16.5499722&lng=31.524749999999997&loc=>).
- [WBC] «World Bank Climate Change Knowledge Portal». Recuperado 25 de agosto de 2020f (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>).
- [OLI13] Oliveras, Jordi. 2013. «5 aplicaciones software de hidráulica para PC». *HidrojING*. Recuperado 25 de agosto de 2020 (<http://www.hidrojing.com/software-de-hidraulica/>).
- [SSWM] «Sand Dams and Subsurface Dams | SSWM - Find Tools for Sustainable Sanitation and Water Management! » Recuperado 25 de agosto de 2020c (<https://sswm.info/sswm-solutions-bop-markets/improving-water-and-sanitation-services-provided-public-institutions-0/sand-dams-and-subsurface-dams>).
- [MUN] Munyao, Julius Nzomo, Joseph Muinde Munywoki, Mathew Ikuthu Kitema, David Ngui Kithuku, Joseph Mutinda Munguti, y Sammy Mutiso. s. f. «CONSTRUCTION AND OPERATION.» 66.

- [EMA] Emalaikat, Fundación. s. f. «Fundación Emalaikat | Nyangatom, Etiopía. Informe sobre la mejora del acceso al Agua para la población de la zona.2019». Recuperado 25 de agosto de 2020 (<https://fundacionemalaikat.es/index.php/proyecto/nyangatom-etiofia-informe-sobre-la-mejora-del-acceso-al-agua-para-la-poblacion-de-la-zona-2019/>).
- [WAP] «The Water Project: Kenya - Itatini Self-Help Group Sand Dam». Recuperado 25 de agosto de 2020 (<https://thewaterproject.org/community/projects/kenya/new-sand-dam-in-kenya-4445>).
- [WEA] Yu Media Group. s. f. «Harare, Zimbabwe - Detailed Climate Information and Monthly Weather Forecast». *Weather Atlas*. Recuperado 25 de agosto de 2020 (<https://www.weather-atlas.com/en/zimbabwe/harare-climate>).
- [ASE] Asensio, Ibáñez, Moreno Ramón, Gisbert Blanquer, y Juan Manuel. s. f. «Métodos para la determinación del coeficiente de esorrentía». 7.
- [LAW05] Lawrence, Mark G. 2005. «The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air: A Simple Conversion and Applications». *Bulletin of the American Meteorological Society* 86(2):225-34.
- [SAN] Sánchez, José Carlos Robredo. s. f. «CÁLCULO DE CAUDALES DE AVENIDA». 55.
- [FOR10] 2010. «Forces Acting on a Dam Structure and Calculations». *The Constructor*. Recuperado 25 de agosto de 2020 (<https://theconstructordotorg.wpcomstaging.com/water-resources/forces-acting-dam-structure/5251/>).

- [EST] Estaire, José. s. f. «Factores de seguridad en la estabilidad de taludes de acuerdo con el euro código ec-7 y el anejo nacional español». 12.
- [PER] Pérez, Ramiro Marbello. s. f. «vertederos y calibración de vertederos de medida». 43.
- [LOJ] Loja Pizha, José Luis; Bermeo Bacuilima, Wilmer Jacinto. s. f. «estudio y caracterización de los métodos que definen la cota de corona en presas de tierra. Aplicación en el diseño definitivo del proyecto». 78.
- [TRAG] «Tarifas. Importe de obras, trabajos y proyectos | Tragsa». Recuperado 25 de agosto de 2020 (<https://www.tragsa.es/es/grupo-tragsa/regimen-juridico/tarifas/Paginas/default.aspx>).
- [FAO10] 2010. «Manual on Small Earth Dams ». *FAO*
- [GON18] Gonzalez-Montagut Siljestrom, Reyes. 2018. «SISTEMA DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA PARA UNA ESCUELA AUTOSUFICIENTE EN MOUNT DARWIN, ZIMBABUE».
- [TER11] Terra, Rafael; Torres Roberto; Chreties, Christian. 2011. «Manual de diseño y construcción de pequeñas presas.pdf».
- [BEN11] Benjamín Pérez Morales, Guillermo; Molina Aguilar, Juan Pablo. 2011. «Obras Hidráulicas».
- [EXD18] 2018. «Sand Dam Manual Version 3 ». *Excellent Development*
- [SMI] Smith, Jessica M.; Lucena, Juan C. s. f. « Social responsibility in US engineering education and practice ».
- [GAM09] Gámez, William. 2009. «Texto Básico De Hidrología (Universidad Nacional Agraria)».

- [GIL] Gil Merino, Ana. s.f. «Proyecto constructivo presa de tierra en el río Kibish (Sur de Etiopia)».
- [ERR] Errazuriz Moreno, Inés. s.f. «Presa mampostería en Kokuselei, región de Turkana (Kenia)».
- [BRAN] Braden, Polly. s. f. «Sand Dams: A Practical & Technical Manual. » 168.
- [STE10] Stephens, Tim. 2010. *Manual on Small Earth Dams: A Guide to Siting, Design and Construction*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [STE10] Stephens, Tim. 2010. *Manual on Small Earth Dams: A Guide to Siting, Design and Construction*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [JAR15] 2015. Jaramillo Ramos, Susana Claribel; Apolo Iñiguez, Wilmer Alberto. «Afectaciones Por La Explotación Petrea En El Cauce Del Río Pita, Sector Playas De Ojiva, Cantón Babahoyo, Provincia De Los Ríos. Propuesta De Soluciones»
- [VAN18]. 2018. «Datos básicos y evolución política de Zimbabwe». *La Vanguardia*. Recuperado 25 de agosto de 2020 (<https://www.lavanguardia.com/politica/20180727/451124562335/datos-basicos-y-evolucion-politica-de-zimbabwe.html>).
- [ENC18] 2018. «Groundwater in Granitic and Metamorphic Rocks? » *Encyclopédie de l'environnement*. Recuperado 25 de agosto de 2020 (<https://www.encyclopedie-environnement.org/en/water/groundwater-in-granitic-and-metamorphic-rocks/>).
- [CIA] «Africa: Zimbabwe — The World Factbook - Central Intelligence Agency». Recuperado 25 de agosto de 2020b (<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/zi.html>).
- [AQU] «Enrique Castellanos Rodrigo archivos». *Fundación Aquae*. Recuperado 25 de agosto de 2020c (<https://www.fundacionaquae.org/autor/enrique-castellanos-rodrigo/>).

- [MSD] «Practice Manual for Small Dams, Pans and Other Water Conservation Structures in Kenya». Recuperado 25 de agosto de 2020d (<http://smalldamsguidelines.water.go.ke/structures/>).
- [PAS06]. 2006. «Sub surface dams a simple safe and affordable technology for pastoralists».
- [DAT20]. 2020. «Zimbabwe: Economía y demografía 2020». *datosmacro.com*. Recuperado 25 de agosto de 2020f (<https://datosmacro.expansion.com/paises/zimbabwe>).
- [BRI20]. «Zimbabwe | History, Map, Flag, Population, Capital, & Facts». *Encyclopedia Britannica*. Recuperado 25 de agosto de 2020g (<https://www.britannica.com/place/Zimbabwe>).
- [BPA07]. 2007. Department of State. The Office of Electronic Information, Bureau of Public Affairs. «Zimbabwe». Recuperado 25 de agosto de 2020 (<https://2001-2009.state.gov/g/drl/rls/irf/2007/90128.htm>).
- [KIR17]. Kirk, Karin. 2017. «That's a Gneiss Stone!» *Use Natural Stone*. Recuperado 25 de agosto de 2020 (<https://usenaturalstone.org/thats-gneiss-stone-2/>).
- [RES]. Resistencia al corte de los suelos. Recuperado 25 de agosto de 2020 (<http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/resistencia-al-corte-de-los-suelos-1-el-criterio-de-rotura-de-mohr-coulomb/>).
- [LIN77] Linacre, Edward. 1977. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone.
- [INT16] Instrucción 5.2 IC BOE 10 de marzo 2016
- [ORD67] Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de grandes presas. Orden de 31 de marzo de 1967
- [ROC15] Rocha Felices, Arturo. 2015. Fórmulas de vertederos.

[LOJ14] Loja Pizha, Jose Luis; Bermeo Bacuilima, Wilmer Jacinto. 2014. Estudio y caracterización de los medios que definen la cota de corona en presas de tierra.



# ANEXO I



## RocData Analysis of Rock/Soil Strength

### Project Summary

File Name DATOS SUELO  
File Version 5.009

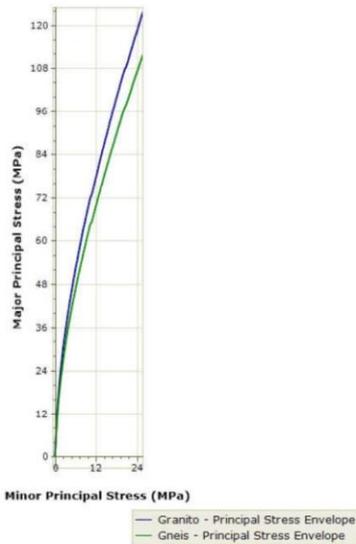
Project Title Analysis of Rock/Soil Strength  
Date Created 8/22/2020, 4:54:29 AM

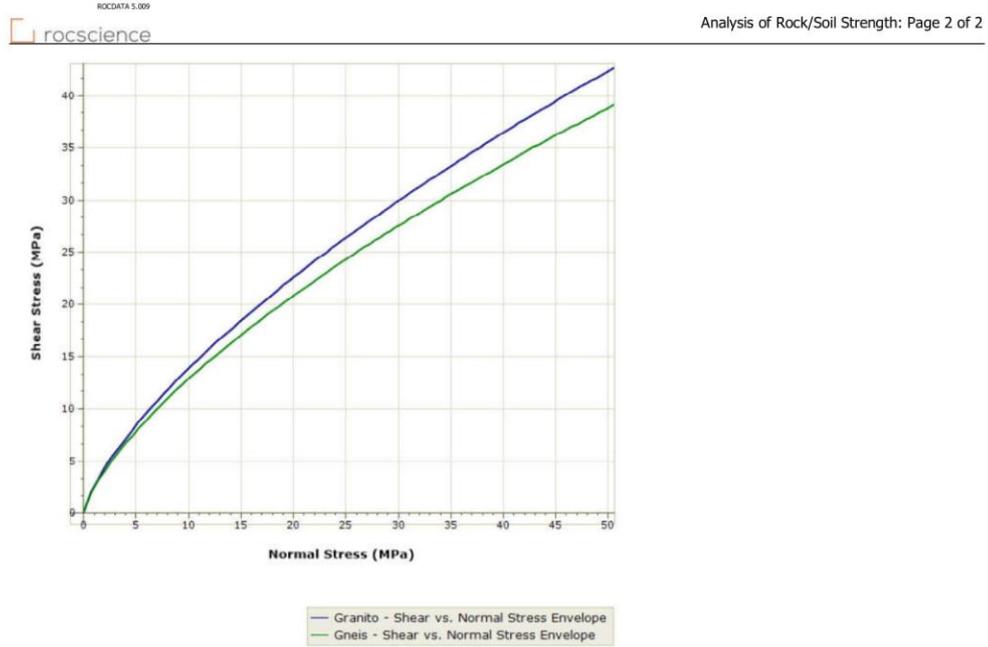
### General Settings

Stress Units MPa  
Strength Criterion Generalized Hoek-Brown  
Modulus Estimation Method Generalized Hoek-Diederichs (2006)

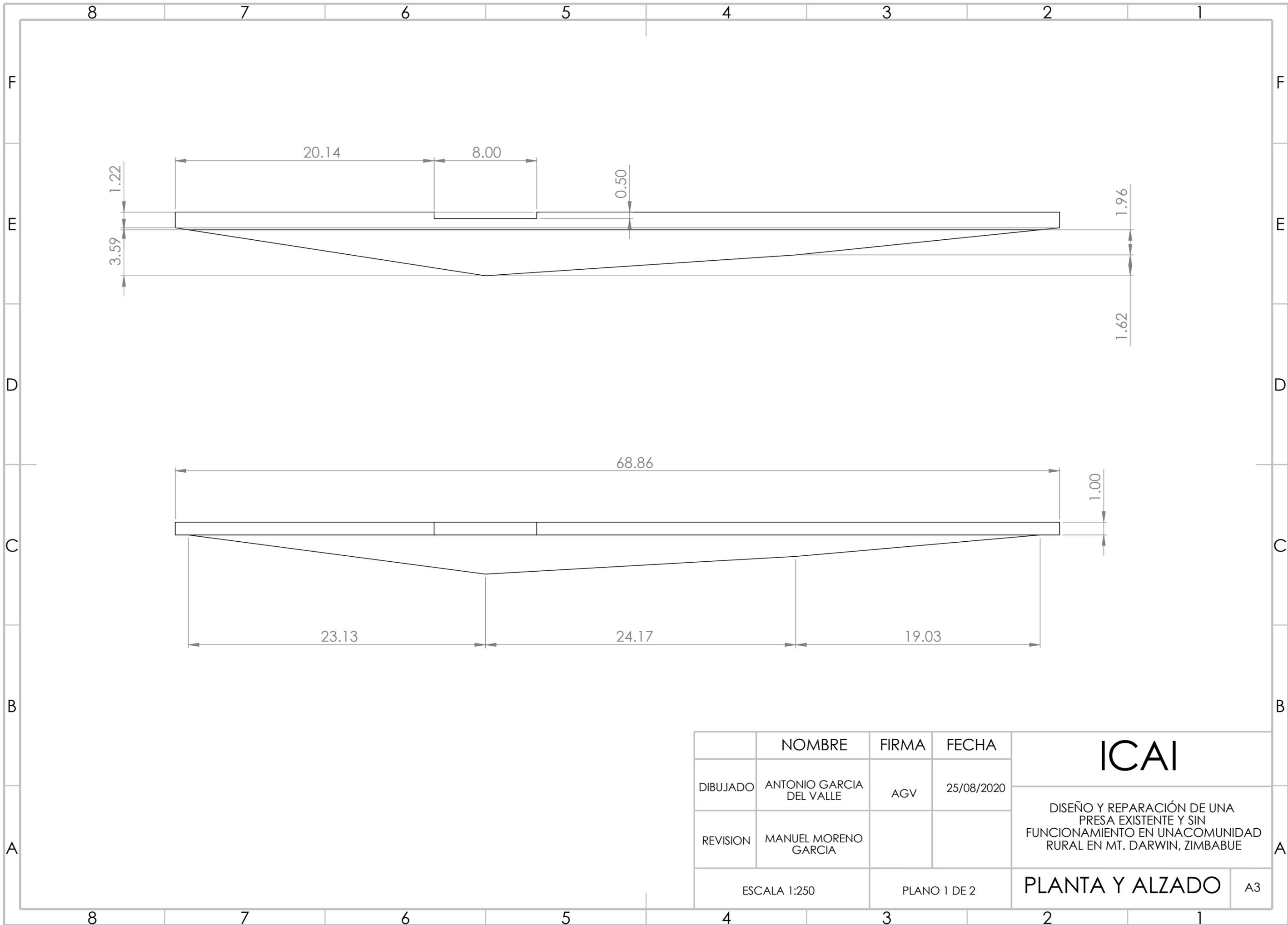
### Failure Criterion

	$\sigma_d$ (MPa)	GSI	mi	D	Ei (MPa)	modulus ratio	mb	a	s	application	$\sigma_{3max}$ (MPa)	unit weight (MN/m <sup>3</sup> )	tunnel depth (m)	slope height (m)	$\phi$ (°)	cohesion (MPa)	$\sigma_i$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_{sm}$ (MPa)	$E_m$ (MPa)
Granito	100	40	32	0	42500	425	3.75	0.51	1.27e-003	general	25	N/A	N/A	N/A	37.59	6.16	-0.03	3.31	25.05	6785.22
Gneis	85	41	28	0	44625	525	3.4	0.51	1.42e-003	general	21.25	N/A	N/A	N/A	36.72	5.1	-0.04	2.99	20.33	7628.05

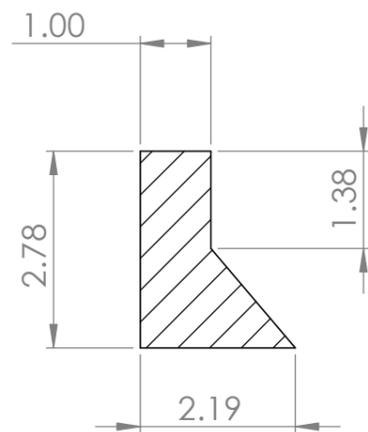
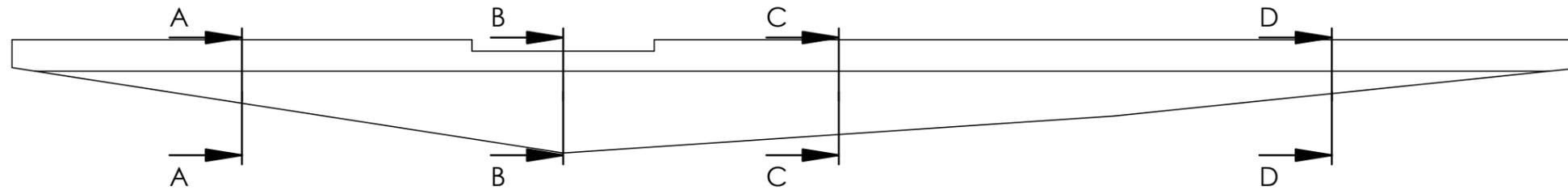




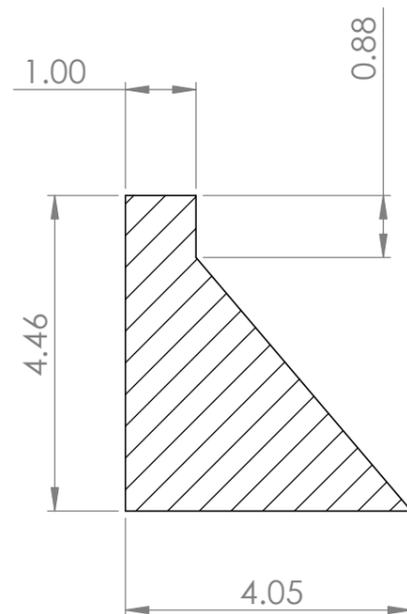
# PLANOS



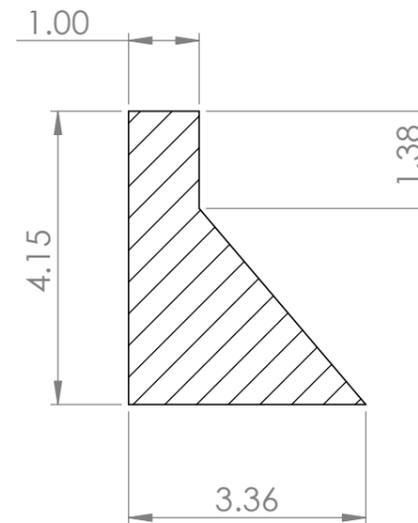
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ICAI	
DIBUJADO	ANTONIO GARCIA DEL VALLE	AGV	25/08/2020		
REVISION	MANUEL MORENO GARCIA				
ESCALA 1:250		PLANO 1 DE 2		PLANTA Y ALZADO	
				A3	



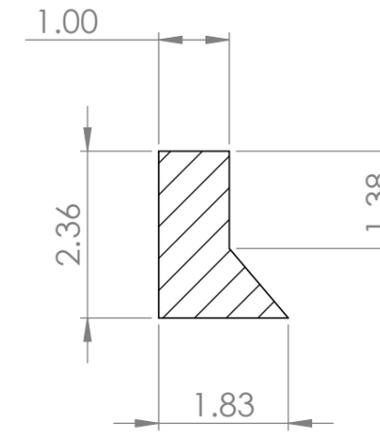
CORTE A-A  
ESCALA 1 : 100



CORTE B-B  
ESCALA 1 : 100



CORTE C-C  
ESCALA 1 : 100



CORTE D-D  
ESCALA 1 : 100

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ICAI	
DIBUJADO	ANTONIO GARCIA DEL VALLE	AGV	25/08/2020		DISEÑO Y REPARACIÓN DE UNA PRESA EXISTENTE Y SIN FUNCIONAMIENTO EN UNACOMUNIDAD RURAL EN MT. DARWIN, ZIMBABUE
REVISION	MANUEL MORENO GARCIA				
ESCALA 1:250		PLANO 2 DE 2		CORTE TRANSVERSAL	A3