



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO DE Balsa de Regadío para Colegio
en Comunidad Rural en Mt. Darwin,
Zimbabwe**

Autor: Diego Ortuño Ros

Director: Manuel Moreno García

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**“Diseño de balsa de regadío para colegio en comunidad rural en Mt. Darwin,
Zimbabue”**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso 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: Diego Ortuño Ros Fecha:01/10/2020

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Manuel Moreno García Fecha: 01/10/2020

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor

D. Diego Ortuño Ros DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

Diseño de balsa de regadío para colegio en comunidad rural en Mt.Darwin, Zimbabue

, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 27 de agosto de 2020

ACEPTA



Fdo:

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño de balsa de regadío para colegio en comunidad rural en Mt.Darwin, Zimbabue

Autor: Diego Ortuño Ros

Director: Manuel Moreno García

Madrid

DISEÑO DE Balsa de Regadío para Colegio en Comunidad Rural en Mt. Darwin, Zimbabue

Autor: Ortuño Ros, Diego.

Director: Moreno García, Manuel.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas)

RESUMEN DEL PROYECTO

I. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, Zimbabue, al igual que en muchas regiones del continente africano, se ha visto afectado gravemente a causa de los efectos producidos por el cambio climático. Las largas épocas de sequía, inundaciones y las elevadas temperaturas están provocando una situación donde la agricultura y la ganadería son muy difíciles de llevar a cabo, provocando una importante escasez de alimentos. Todos estos efectos, sumados a las enfermedades que azotan el continente como el VIH-SIDA, la malaria y los problemas respiratorios de vías bajas, sitúa a Zimbabue como uno de los países más afectados del África meridional. Por todo ello, el país cuenta con un gran número de ONG destinadas a mejorar las condiciones de vida de sus habitantes mediante el desarrollo de proyectos que faciliten el acceso a las necesidades básicas.

El presente proyecto es un trabajo de cooperación al desarrollo con la ONG *de Child Future Africa* y con la Fundación de ingenieros de ICAI. Esta organización se encuentra localizada en el distrito de Mt. Darwin y su meta principal es la de mejorar las oportunidades de los niños huérfanos de la zona, proporcionándoles alojamiento y educación.

Debido a la ineficiencia de la plantación con la que cuenta el orfanato de CFA, el número de niños se ha visto mermado considerablemente en los últimos años. Este Trabajo de Fin de Grado, busca mejorar la situación mediante el diseño de una balsa de regadío que sea capaz de satisfacer las necesidades hídricas de la parcela de cultivo situada en las inmediaciones del centro. El objetivo, aparte del propio abastecimiento, es la producción de excedentes para su venta y así, garantizar una fuente de ingresos que garanticen la estabilidad y prosperidad de la organización.

II. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

Teniendo en cuenta la información limitada con la que se ha contado para su desarrollo, el objetivo principal del proyecto ha sido establecer algunos criterios y valores numéricos de cuestiones asociadas al diseño, para que, en un futuro, se puedan ejecutar actuaciones de esta índole. Es un trabajo cuya finalidad fundamental sea que sirva de base para proyectos que puedan basarse en información más realista. Para el diseño de la infraestructura, todas las hipótesis y decisiones realizadas han ido enfocadas a minimizar lo máximo posible el coste de la balsa debido a la escasez de recursos tanto económicos como materiales con los que cuenta el orfanato.

A continuación, se detalla brevemente el proceso de diseño que se ha seguido para el desarrollo de la infraestructura.

En primer lugar, mediante el uso de diversos mapas geológicos, se ha llevado un análisis de la geología y geotecnia de la zona para conocer el tipo de terreno con el que se va a trabajar cuya información, es elemental para el correcto diseño de la balsa. Después de realizar todas las hipótesis pertinentes acerca de las características del suelo se lleva a cabo un cómputo de las necesidades hídricas de la zona para conocer el volumen de agua que tendrá que ser capaz de albergar la infraestructura.

Tras el cálculo de la demanda de agua, se ha procedido a calcular las dimensiones características de la infraestructura teniendo en cuenta que, el volumen almacenado, será suministrado en su mayoría por un pozo cuyo caudal es desconocido. Una vez establecidos los valores de altura máxima de lámina de agua y el área media que deberá tener la balsa se lleva a cabo uno de los puntos más importantes del proyecto, el emplazamiento de la estructura.

Teniendo en cuenta las hipótesis realizadas acerca del terreno y, debido a la falta de recursos en la zona, la ubicación de la balsa se ha escogido para ejecutar las obras con los medios más sencillos y de la forma más económica posibles. Es por este motivo, por lo que el emplazamiento seleccionado es el idóneo ya que, se ha logrado una compensación perfecta entre el desmonte y terraplén.

Por último, tras todos las suposiciones y cálculos realizados se procede a realizar las justificaciones acerca de los distintos elementos que tendrá que contar la balsa según las necesidades requeridas.

III. DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS DE LA INFRAESTRUCTURA

Con todas las hipótesis realizadas a lo largo del trabajo, más la suposición de que el caudal externo aportado por el pozo será suministrado durante el periodo de regadío, se ha conseguido hacer un diseño óptimo de la infraestructura obteniendo unas dimensiones máximas. Teniendo en cuenta las aportaciones de agua debido a las precipitaciones anuales ($5.405.68 \text{ m}^3$) y las necesidades hídricas del cultivo de maíz en las 8,55 hectáreas de parcela (25.293 m^3), el pozo tendrá que proporcionar un volumen total de 21.356 m^3 en los 8 meses previos a las épocas de cultivo. Al final de cada ciclo de cultivo habrá un pequeño exceso de agua almacenada que irá incrementando a medida que transcurren los años, de esta forma, el volumen de agua requerido por el pozo irá disminuyendo paulatinamente.

Al ser el objetivo principal facilitar la construcción de la balsa en una zona que carece de recursos tanto económicos como materiales, se ha tratado de limitar la altura de los diques a una cota inferior de 5 metros. De esta forma, se consigue un diseño y una ejecución más sencilla y económica que no requieren de estudios adicionales de estabilidad, ni materiales que sean especialmente resistentes, favoreciendo así, su implantación en el orfanato de CFA. Las dimensiones de diseño más importantes son las siguientes:

1. Altura de lámina de agua: $H_{NMN}= 3,22$ metros
2. Altura de lamina de agua + resguardo (altura máx dique de cierre): $H_0=4.3$ metros
3. Área media de la balsa: $A_{media}=6.889 \text{ m}^2$
4. Inclinación de taludes exterior/interior: 3H:2V

En cuanto a la tipología del dique de cierre, la sección tipo que deberá tener la balsa será la de un dique con impermeabilización de geomembrana (GBR-P) con una inclinación de talud interior y exterior de 3H:2V. Además, se requerirá de un dren horizontal para evitar la erosión de los taludes.

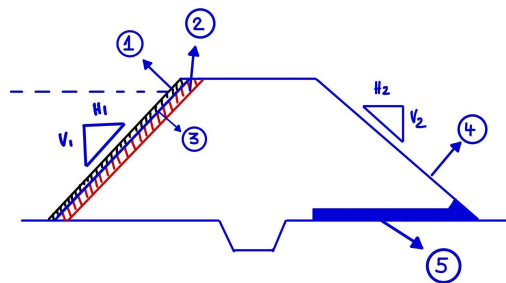


Figura 1: Dique con impermeabilización con geomembrana (GBR-P) y dren horizontal Fuente: Propia

Por último, en el diseño hidráulico realizado se ha llevado a cabo la elección y dimensionamiento de las distintas conducciones necesarias para la entrada y salidas de agua, así como, las de los elementos de seguridad (aliviadero y desagüe).

- Entrada de agua: Tubería en pico de flauta de vertido directo sobre geomembrana con diámetro de 200mm, calculado en función de las hipótesis realizadas acerca de la capacidad de bombeo del pozo.
- Aliviadero: Aliviadero en badén con ancho de 2 metros seguido de canal en superficie con desembocadura en un cuenco amortiguador situado al pie del talud exterior.
- Desagüe: Desagüe de fondo con tubería de salida de 300mm y con un tiempo máximo de vaciado de 29.31 horas.
- Toma de agua: El diseño de la salida de agua es similar al del desagüe con una tubería de 300 mm de diámetro.

IV. Conclusiones

Las hipótesis realizadas, basadas en la información disponible, ciertamente escasa, indican que la construcción de la balsa sería factible con una compensación total de las tierras, es decir, no habría que traer materiales de aporte salvo aquellos especiales como los de filtro, de manera que, la obra sería viable. En todo caso hay algunas comprobaciones que se tienen que realizar que están descritas en el presente trabajo. Por ejemplo, desde el punto de vista geológico, si efectivamente los terrenos implicados se tratan de arcillas, como así sugieren los mapas empleados y, además, no son de muy alta plasticidad podría plantearse la eliminación de la geomembrana impermeable que se ha propuesto en primera instancia.

Una vez se conozca con más detalle las necesidades de regadío, en función de las plantaciones a realizar y las aportaciones del pozo existente, se podría optimizar el tamaño de la balsa para poder utilizar de forma simultánea el pozo existente con la reserva almacenada dando lugar a una optimización adicional.

Desde el punto de vista social, este proyecto ofrece la oportunidad de erigir una estructura 100% factible y segura que proporcionará a la gente local de Mt. Darwin numerosos beneficios. Entre ellos, se encuentra un crecimiento en la actividad económica del orfanato de CFA que, no solo ayudará a su evolución y prosperidad, sino que también favorecerá a

aquellos habitantes que se vean relacionados con su desarrollo. Se podría decir, que la mejoría de la ONG y la creación de empleos tanto a corto como a largo plazo, contribuyen a un pequeño porcentaje en el desarrollo del distrito de Mt. Darwin.

DESIGN OF AN IRRIGATION RAFT FOR A SCHOOL IN RURAL COMMUNITY IN MT. DARWIN, ZIMBABUE

Author: Ortuño Ros, Diego

Supervisor: Moreno Garcia, Manuel

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas)

ABSTRACT

I. INTRODUCTION

Over the past decades, Zimbabwe, like many other regions of the African continent, has been severely affected by the effects of climate change. Long periods of drought, floods and high temperatures have derived to a situation where agriculture and livestock are very difficult to carry out, causing a significant shortage of food. All these incidents plus diseases such as HIV-AIDS, malaria, and lower respiratory problems, make Zimbabwe one of the most affected countries in southern Africa. Due to this problematic situation, many NGOs have been established in the country aiming to improve the living conditions of its inhabitants through the development of projects that facilitate access to basic needs.

This project is a cooperation work with the NGO *Child Future Africa* and with the ICAI Engineers Foundation. CFA is an organization located in Mt. Darwin district and its main goal is to improve the opportunities for orphaned children in the area, providing them with accommodation and education.

Due to the inefficiency of the plantation in the CFA orphanage, the number of children has seen a significant decline in recent years. This Final Degree Project seeks to improve the situation by designing an irrigation raft capable of meeting the water needs of the cultivation area located in the vicinity of the center. The objective, apart from the supply itself, is the production of surpluses for sale and thus, guarantee a source of income that helps the stability and prosperity of the organization.

II. DEFINITION OF THE PROJECT

Taking into account the limited information that has been available for its development, the main objective of the project has been to establish some criteria and numerical values of issues associated with the design, so that, in the future, similar projects can be carried out. The fundamental purpose of this work is to serve as basis for projects that can count on more reliable information. For the design of the infrastructure, all the hypotheses and decisions that have been made are focused on minimizing the costs as much as possible due to the scarcity of both economical and material resources.

The design process that has been followed for the development of the infrastructure is briefly detailed in the following text.

In the first place, by various geological maps, a thorough analysis has been carried out to learn about the type of terrain in which the irrigation raft is going to be build. Once all the pertinent hypotheses about the characteristics of the soil have been made, a calculation of the water needs of the cultivation area is carried in order to know the amount of water that the infrastructure will have to be able to stock.

After calculating the water demand, the dimensions of the infrastructure have been calculated considering that the stored volume will be mostly supplied by a well with unknown data. Once the values for maximum height of water layer and average area have been established the location of the structure is analyzed.

With the hypotheses made about the land and, due to the lack of resources in the area, the site for the location of the structure has been chosen in order to facilitate future works with the simplest means and in the cheapest way possible. For this reason, the site selected is the ideal one since a perfect balance between cut and fill has been achieved.

Finally, after all the assumptions and calculations made, the next step has been to select and justify the characteristics and elements needed to guarantee the correct performance of the system

III. DESCRIPTION AND RESULTS OF THE INFRASTRUCTURE

With all the hypotheses made throughout the work, plus the assumption that the external flow provided by the well will be supplied during the irrigation period, an optimal design has been achieved, obtaining maximum dimensions. Taking into account the water

contributions due to annual rainfall (5.405.68m³) and the water needs of the corn crop for the 8.55 ha (25.293 m³), the well will have to provide a total volume of 21.356 m³ of water in the 8 months prior to the growing season. At the end of each crop cycle there will be a small excess of stored water that will increase as the years go by, in this way, the volume of water required by the well will gradually decrease.

As the main objective is to facilitate the construction of the reservoir in an area that lacks both economic and material resources, an attempt has been made to limit the height of the dikes to an elevation of 5 meters. In this way, a simpler and cheaper design and execution is achieved that does not require additional stability studies or materials that are especially resistant, thus favoring its implementation in the CFA orphanage. The most important design dimensions are the following:

1. Height of water layer: $H_{NMN}=3,22$ meters
2. Height of water layer + shelter (maximum height of dike): $H_0=4.3$ meters
3. Average area: $A_{media}=6.889$ m²
4. Inclination of exterior/interior slopes: 3H:2V

Regarding the type of closure dam, the typical section that the basin should have will be that of a dike with a waterproof geomembrane (GBR-P) with an interior and exterior slope inclination of 3H: 2V. In addition, a horizontal drain will be required to prevent erosion of the slopes.

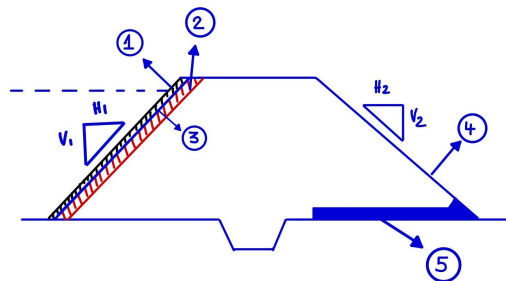


Figura 2: Dike with waterproof geomembrane (GBR-P) and horizontal drain. Source: Own

Finally, regarding the hydraulic design carried out, the selection and sizing of the different pipes necessary for water entries and exits, as well as those of the safety elements (spillway and drain) are shown next:

- Water inlet: Direct discharge flute pipe on geomembrane with a diameter of 200mm, calculated based on the assumptions made about the pumping capacity of the well.

- Spillway: Baden spillway with a width of 2 meters followed by surface channel that opens into a buffer basin located at the foot of the outer slope.
- Drainage: Bottom drain with a 300mm outlet pipe and a maximum emptying time of 29.31 hours.
- Water outlet: The design of the water outlet is like that of the drain with a 300 mm diameter pipe.

IV. CONCLUSIONS

The hypotheses made, based on the available information, which is certainly scarce, indicate that the construction of the raft would be feasible with a total compensation of the land, that is, it would not be necessary to bring external materials meaning that the project would be viable. In any case, there are some tasks that must be carried out as described in this thesis. For example, from the geological point of view, if the land involved is actually clays, as the maps suggest and, furthermore, they are not of very high plasticity, the elimination of the impermeable geomembrane that has been proposed in the first place could be eliminated.

Once the irrigation needs are known in more detail, depending on the plantations and the pumping capacity of the well, the size of the raft could be optimized by using simultaneously the stored water and the existing well.

From a social point of view, this project offers the opportunity to erect a 100% feasible and safe structure that will provide numerous benefits to the local people of Mt. Darwin. The economic growth of the CFA center due to the sale of surplus crops will not only help its evolution and prosperity but will also favor the locals related to the project. Arguably, NGO improvement and job creation in both the short and long term contribute a small percentage to the development of the Mt. Darwin district.

ESTE PROYECTO CONTIENE LOS SIGUIENTES DOCUMENTOS

DOCUMENTO N°1, MEMORIA

1.1 Memoria	pág. 8 a 95	88 páginas
1.2 Estudio Económico	pág. 96 a 103	8 páginas
1.3 Anejos	pág. 104 a 127	25 páginas

DOCUMENTO N°2, PRESUPUESTO

2.2 Cuadro de precios	pág. 130 a 133	4 páginas
2.3 Presupuesto general	pág. 134 a 135	2 páginas

DOCUMENTO N°3, PLANOS

3.2 Planos	pág. 138 a 148	10 páginas
-------------------	-----------------------	-------------------

DOCUMENTO I:
MEMORIA



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN



ÍNDICE DE LA MEMORIA

Índice de figuras

Figura 1: Dique con impermeabilización con geomembrana (GBR-P) y dren horizontal Fuente: Propia.....	10
Figura 2: Dike with waterproof geomembrane (GBR-P) and horizontal drain. Source: Own	15
Figura 3: Localización Zimbabwe	13
Figura 4: Balsa de regadío	16
Figura 5: Rooftop catchment	17
Figura 6: Atrapanieblas	18
Figura 7: Warka Water	19
Figura 8: Cartel de los 17 objetivos de desarrollo sostenible de la ONU. Foto: UNESCO Etxea	21
Figura 9: Cronología del proyecto.....	22
Figura 10 Reducción de cultivos en las últimas décadas	26
Figura 11: Child Future Africa logo	27
Figura 12: Localización de Mount Darwin, Zimbabwe. Fuente: Maphill.....	28
Figura 13: Mount Darwin-CFA orpham.....	28
Figura 14: Zona de regadío y parcela donde ha de encontrarse la estructura (Google Earth Pro)	29
Figura 15: Curvas de Nivel detalladas (Contour Map Creator)	30
Figura 16: Curvas de Nivel en la zona de interés (Google Earth Pro)	30
Figura 17: Temperatura promedio por hora en Mount Darwin, Zimbabwe	31
Figura 18: Mapa del sur de África donde se observa la localización del cratón de Zimbabwe	34
Figura 19: Gran Dique de Zimbabwe.....	35
Figura 20: The Surveyor-General, Salisbury, Provisional Geological Map of Rhodesia, 1971	36

Figura 21: Provisional Geological Map of Rhodesia ampliado (Mount Darwin).....	36
Figura 22: Nivel de peligro sísmico en Mashonaland Central (Zimbabue).....	37
Figura 23: Triángulo de textura de suelos USDA	39
Figura 24: Department of the Surveyor-General, Causeway, Provisional Soil Map of Zimbabwe Rhodesia, 1979	40
Figura 25: Provisional Soil Map ampliado (Mount Darwin)	41
Figura 26: Parámetros característicos del suelo	43
Figura 27: Propiedades típicas de suelos compactados (Navfac, 1971).....	44
Figura 28: Calicata	47
Figura 29: Ejemplo de localización de calicatas en interior de la balsa	50
Figura 30: Coeficiente de cultivo (Kc) del maíz (CROPWAT 8.0)	56
Figura 31: Emplazamiento óptimo de balsa de regadío (Google Earth Pro).....	61
Figura 32: Secciones tipo de dique de cierre	65
Figura 33: Ejemplo de red de flujo con dren horizontal	66
Figura 34: Dique con impermeabilización con geomembrana (GBR-P) y dren horizontal Fuente: Propia.....	67
Figura 35: Clasificación Geosintéticos (UNE-EN ISO 10318 según CEN-TC-189)	72
Figura 36: Cuadro de características para distintas geomembranas	73
Figura 37: Vertido directo sobre geomembrana mediante tubería en pico de flauta.	77
Figura 38: Rendimiento máximo en pozos Fuente: CIRIA.....	78
Figura 39: Vertido directo sobre lámina	81
Figura 40: Dibujo de parámetros necesarios para el cálculo de cuenco amortiguador	82
Figura 41: Ejemplo de reja de protección o “alcachofa”	84
Figura 42: Curva de gasto de una toma para balsa de hasta 10 metros de altura	85
Figura 43: Esquema desagüe Fuente: Propia.....	86
Figura 44: Cubrimiento de balsa por malla de sombrero	94
Figura 45: Cartel de fiesta benéfica organizada para financiación de TFG de, “ProjectZimbabwe”	100

Índice de tablas

Tabla 1 Atos climáticos Mount Darwin, Zimbabue (1961-1990)	32
Tabla 2: Correlación entre aceleración sísmica básica (ab) y escala de Mercalli. En verde el intervalo donde se haya la ab de Mount Darwin	38
Tabla 3: Coeficientes de seguridad mínimos para cálculos de estabilidad global del dique de cierre y su cimiento	53
Tabla 4: Cálculo ETo (CROPWAT 8.0)	56
Tabla 5: Cálculo de ETc (mm/dec) y requerimiento de riego (mm/dec).....	57
Tabla 6: Balance mensual primer año de cultivo	59
Tabla 7: Requerimientos mínimos a exigir a geomembrana homogénea y reforzada de PVC-C (ensayos según norma UNE EN 13 361 y UNE 104 307).....	74
Tabla 8: Mínimos absolutos requeridos para geotextil de protección para geomembrana impermeable de 1,5mm de espesor.	75
Tabla 9: Iteración tramo (4.22-3.22m)	88
Tabla 10: Iteración tramo (3.22-2.22m)	89
Tabla 11: Iteración tramo (2.22-1m)	89
Tabla 12: Precios con y sin elemento de impermeabilización.....	92
Tabla 13: Balance desmonte y terraplén sin retirada de capa vegetal.....	107
Tabla 14: Inspección de vaso y paramentos de exterior del dique de cierre	121
Tabla 15: Inspección de vaso y paramentos interior del dique de cierre cuando la balsa se encuentra vacía	121
Tabla 16: Inspección de la coronación del dique	122
Tabla 17: Inspección del aliviadero	122
Tabla 18: Inspección de accesos	122
Tabla 19: Precio total con y sin elemento de impermeabilización.....	135



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN



INTRODUCCIÓN

Parte I MEMORIA

Índice. Documento I: Memoria

Parte I	Memoria.....	8
Capítulo 1.	Introducción	13
1.1	Estudio de la cuestión.....	14
1.2	Alternativas para captación de agua	16
1.2.1	Captación de agua de lluvia en tejados.....	16
1.2.2	ONG “Movimiento peruano sin agua”	17
1.2.3	“Warka water” (Dorze, Etiopía).....	18
1.2.4	Solución escogida.....	19
1.3	Motivación del proyecto.....	19
1.4	Objetivos	20
1.5	Metodología.....	22
1.6	Recursos a emplear.....	23
Capítulo 2.	Contexto del proyecto	25
2.1	Situación Agrícola.....	25
2.2	“Child Future África” (CFA)	27
2.3	Localización del proyecto	27
2.4	Descripción de la zona	28
2.5	Condicionantes del medio físico	31
2.5.1	Climatología.....	31
2.5.2	Temperatura	31
2.5.3	Precipitación	32
Capítulo 3.	Geología y Geotecnia.....	33
3.1	Introducción.....	33
3.2	Caracterización geológica	33
3.2.1	Geología regional.....	33
3.2.2	Geología local	35
3.2.3	Acciones sísmicas.....	37
3.3	Caracterización geotécnica.....	38
3.3.1	Información disponible.....	38

3.4	Propiedades geotécnicas.....	42
3.4.1	Suelo natural “in situ”	42
3.4.2	Materiales compactados.....	44
3.4.3	Aprovechamiento. Coeficiente de paso	44
3.5	Campaña de investigación.....	46
3.5.1	Ensayos de campo	46
3.5.2	Ensayos de laboratorio.....	50
3.6	Estabilidad del dique de cierre	52
Capítulo 4. Necesidades Hídricas. Capacidad de la balsa a proyectar.....		55
4.1	Necesidades hídricas	55
4.2	Capacidad de la balsa	58
Capítulo 5. Justificación de la solución escogida		61
5.1	Ubicación de la balsa.....	61
5.2	Tipología de la balsa.....	63
5.3	Características geométricas	68
5.3.1	Resguardo.....	68
5.3.2	Anchura de coronación	69
Capítulo 6. Elementos Requeridos.....		71
6.1	Elemento de impermeabilización y geotextil	71
6.1.1	Geomembranas.....	72
6.1.2	Geotextiles	74
Capítulo 7. Diseño Hidráulico		76
7.1	Entrada de agua	76
7.2	Aliviadero.....	79
7.3	Dispositivos de salida de agua (desagüe de fondo y toma).....	83
7.3.1	Toma de agua	83
7.3.2	Desagüe de fondo	85
Capítulo 8. Conclusiones y Trabajos Futuros.....		91
8.1	Posibles mejoras.....	93
Parte II Estudio Económico.....		96

Capítulo 1. Viabilidad del proyecto.....	98
1.1 Rentabilidad.....	99
1.2 Fiabilidad.....	101
Parte III Anexos.....	104
Anexo A: Movimiento de tierras	106
Anexo B: Objetivos desarrollo sostenible	110
ODS 1 y 2. Fin de la pobreza y hambre cero. [34][35].....	110
ODS 3. Salud y bienestar. [36]	112
ODS 4. Educación de calidad. [37].....	113
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico. [38].....	114
ODS 9. Industria, innovación e infraestructura. [5].....	116
Anexo C: Ejecución, Seguridad y Mantenimiento de las obras	117
Ejecución de las obras.....	117
Mantenimiento	120
Anexo D: Bibliografía	123

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Zimbabue es un país que se encuentra situado en el sureste africano conocido anteriormente como la antigua Rodesia. Con su capital en Harare, esta región se encuentra delimitada con Bostwana y la República Sudafricana por el sur y con Zambia y Mozambique por el norte. [1].



Figura 3: Localización Zimbabue [2]

La geografía de Zimbabue cuenta con variaciones considerables en cuanto a la altitud ocupado mayoritariamente por una meseta que oscila entre los 1.200 y 1.900 metros de altura. El punto más bajo se encuentra en la conexión entre los ríos Runde y Save con una cota de 162 metros mientras que el punto más elevado se encuentra en el Monte Nyangani a 2.592 metros de altura.

Desde hace décadas el continente africano sufre gravemente por el cambio climático, problema que se está acentuando cada vez más a medida que pasan los años. Su vulnerabilidad ante los efectos de este fenómeno natural y antropogénico es el principal desafío al que la población africana ha de enfrentarse. Las largas épocas de sequía, inundaciones y las elevadas temperaturas están provocando una situación donde la

agricultura y la ganadería son muy difíciles de llevar a cabo provocando una importante escasez de alimentos [3].

Aparte de lo expuesto en el párrafo anterior la población cuenta con problemas tanto en el ámbito económico como en el político. Todos estos efectos, sumados a las enfermedades como el VIH/SIDA ha provocado que Zimbabue sea uno de los lugares más afectados del África meridional. A continuación, se muestran una lista de los efectos que han acarreado estos problemas en la sociedad zimbabuense [4]:

- Centenares de miles de niños se encuentran ante una situación de hambruna severa, situación que afecta al 75% del país.
- El país cuenta con más de 600.000 huérfanos.
- Aproximadamente 2.000.000 personas no tienen forma de conseguir agua potable y hacer uso de instalaciones de saneamiento.

Por todo ello, Zimbabue cuenta con varias ONG que buscan ayudar y reducir la situación en la que se encuentra sumido el país siendo una de ellas Child Future África. (CFA), organización localizada en el distrito de Mt.Darwin que busca ofrecer un futuro a los niños huérfanos de la zona. CFA proporciona a estos niños alojamiento y educación con el fin de que tengan más oportunidades en un futuro. La fundación de ingenieros de ICAI lleva 3 años trabajando con esta organización mediante el desarrollo de diversos proyectos que son llevados a cabo por los estudiantes en sus trabajos de fin de grado [5].

1.1 ESTUDIO DE LA CUESTIÓN

Para hacer frente a los efectos producidos por la sequía se han llevado a cabo muchos proyectos de captación y almacenamiento de agua durante estas últimas décadas. Son un conjunto de métodos diseñados para la obtención de recursos hídricos superficiales.

Estas técnicas suelen emplearse para proporcionar agua en zonas de regadío o para uso doméstico. Se podrían definir como recursos artificiales donde las precipitaciones son almacenadas hasta que son destinadas a realizar las actividades descritas anteriormente [6].

Los métodos más conocidos para el almacenamiento de agua son las represas y balsas de regadío. Como se ha explicado con anterioridad son infraestructuras que nacen de la necesidad de hacer frente a las épocas de sequía debido a las irregularidades en las precipitaciones y la obligación de cubrir la demanda de agua presente en el territorio.

Las represas llevan construyéndose desde hace miles de años para aprovechar el agua de distintas maneras. Principalmente, su uso está dirigido a suministrar el agua para usos domésticos, industriales y de riego, o para la generación de energía hidroeléctrica. Este tipo de obras aparte de ayudar a satisfacer la demanda hídrica y la generación de energía también ofrece importantes beneficios a largo plazo como son [7]:

1. Favorecen al desarrollo regional
2. Crecimiento económico y laboral
3. Promocionan una base industrial ayudando a que las ciudades sean más sostenibles

En contraposición, las balsas de regadío son construcciones que están exclusivamente orientadas hacia el almacenamiento de agua para su posterior uso en sistemas de irrigación. Con estas infraestructuras se consigue una menor dependencia de los embalses de agua que proporcionan las presas que normalmente, se encuentran a grandes distancias de la zona de riego.



Figura 4: Balsa de regadío [8]

Dependiendo de diversos factores económicos, topográficos y geológicos se pueden distinguir distintos tipos de balsa. Las principales características que se han de tener en cuenta a la hora de elegir la obra que se va a diseñar son las siguientes:

1. Características del terreno donde se va a localizar (geología y topografía)
2. Objetivos que se pretenden conseguir (depositar y suministrar agua para riego)
3. Coste de producción (dependerá del tamaño y los recursos disponibles).

Las balsas de regadío se han convertido en una opción económica y rápida para el correcto aprovechamiento de agua en las zonas de cultivo.

1.2 ALTERNATIVAS PARA CAPTACIÓN DE AGUA

1.2.1 CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN TEJADOS

Este sistema aprovecha la inclinación de los tejados para captar el agua de lluvia que cae sobre ellos. Es un método que suele ser empleado generalmente en climas semiáridos donde las precipitaciones son muy reducidas y donde no existe acceso a aguas subterráneas. Este sistema está principalmente destinado al uso doméstico para individuales o pequeños colectivos.

El funcionamiento es muy sencillo, cuando la lluvia cae sobre los tejados esta es conducida mediante unos canales a un depósito donde se almacena el agua. Una vez en el depósito se emplea un sistema de bombeo para distribuir el agua.

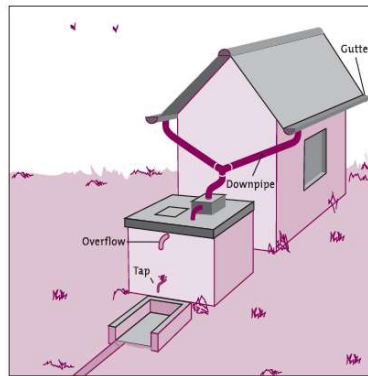


Figura 5: Rooftop catchment [9]

1.2.2 ONG “MOVIMIENTO PERUANO SIN AGUA”

Consiste en una organización cuyo objetivo es la implantación de sistemas que garanticen agua potable y saneamiento básico. Son proyectos que se llevan a cabo en poblados peruanos donde el acceso a esta necesidad básica es muy reducido. Dos de sus proyectos más conocidos son [10]:

- a) Cosecha de Lluvia: Esta técnica sigue el principio de la captación de tejados explicada en el punto anterior. Mediante unos canalones, el agua de lluvia desliza y es almacenada en una serie de depósitos. Después se lleva a cabo un estudio sobre la potabilidad de agua y se procede a mejorar su calidad para hacerla apta para el consumo.
- b) Atrapanieblas: Mediante unas mallas de plástico formadas por entrecruzamiento de filamentos muy delgados se capta el líquido mediante la condensación del vapor de agua presente en la niebla. Estas redes son situadas en lugares estratégicos donde las condiciones meteorológicas sean lo más favorables para su uso. Con un solo panel se pueden recolectar hasta 200 litros diarios de agua. La primera etapa de este proyecto era emplear el agua captada para el cultivo y limpieza. Sin embargo, esta

ONG decidió implementar un sistema de potabilización mediante un producto al que denominaron “cloro ecológico”. En 2017 “Peruanos sin agua” recibió 150.000 dólares tras quedar en segundo puesto en el desafío de Googl.Org.



Figura 6: Atrapanieblas

1.2.3 “WARKA WATER” (DORZE, ETIOPÍA)

Este proyecto diseñado por “Architecture and Vision” se basa en los principios de evaporación y condensación para la captación de agua presente en la atmósfera. Por medio de una torre vertical construida a partir de materiales naturales como el bambú el sistema se aprovecha de la humedad del ambiente y la dirige a un tanque de retención. No emplea ningún tipo de energía externa y el coste de mantenimiento es muy reducido. Además de aportar agua para los habitantes del poblado también funciona como un lugar de reunión fomentando actividades como la educación [11].

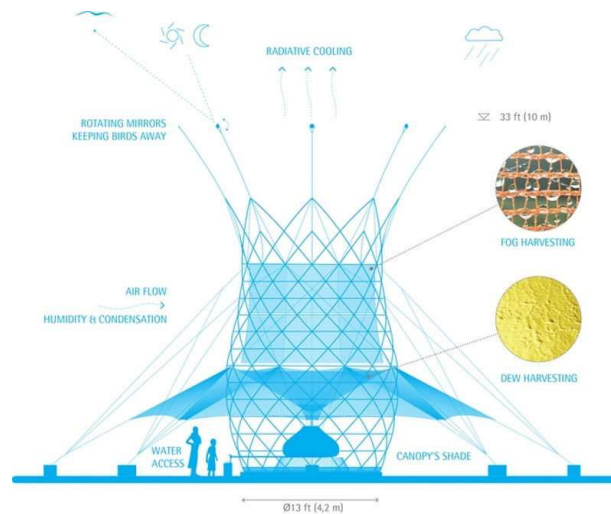


Figura 7: Warka Water

1.2.4 SOLUCIÓN ESCOGIDA

Este TFG tenía como primera idea el diseño de una represa en las inmediaciones del orfanato de CFA. Sin embargo, tras un estudio detallado de la topografía del terreno se observa la ausencia de una cerrada, punto concreto donde se construye la presa. Por ello, dadas las características del terreno y la demanda de agua, se ha optado por la construcción de una balsa de regadío (véase capítulo 5). Cabe añadir, que las otras técnicas mencionadas anteriormente para la captación y almacenamiento de agua no han sido tomadas en consideración debido al elevado volumen de agua que requiere la zona de cultivo.

1.3 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La motivación principal de este proyecto surge por ayudar a solventar la alarmante escasez de agua que está sufriendo ahora mismo el continente africano. Mediante esta infraestructura se pretende ofrecer una solución viable y económica para la captación de las aguas pluviales y su posterior uso agrícola.

El hecho de realizar un trabajo de fin de grado cuyo único objetivo no es la obtención de un título, sino que ofrece la posibilidad de ayudar a las personas más desfavorecidas es uno de los motivos principales que han llevado a escoger este proyecto.

1.4 OBJETIVOS

El objetivo del proyecto consiste en conseguir un diseño adecuado y económico de una balsa de regadío en la comunidad de Mt.Darwin, Zimbabue. Se busca garantizar el volumen de agua adecuado para la plantación con la que cuenta el orfanato de Child Future África.

Teniendo en cuenta la información limitada con la que se ha contado para este proyecto, su objetivo principal ha sido establecer algunos criterios y valores numéricos de cuestiones asociadas al diseño para que, en un futuro, se puedan ejecutar actuaciones de esta índole. Es un trabajo cuya finalidad fundamental sea que sirva de base para proyectos que puedan basarse en información más realista.

Como se ha expuesto anteriormente dentro del diseño de este tipo de obras agrícolas se pueden diferenciar numerosos modelos según las características del terreno. Para la correcta disposición de la balsa habrá que escoger adecuadamente el emplazamiento. Para ello, se llevarán a cabo varios estudios acerca de la topografía y la geología de la zona.

Se tendrán como objetivos principales los siguientes:

- Reducción de los costes de construcción.
- Se definirá el sistema teniendo en cuenta los recursos y conocimientos tecnológicos que pueda tener la comunidad rural de la zona.

Además, el diseño se llevará a cabo cumpliendo la normativa española vigente acerca de la construcción de embalses de uso agrícola.

Por último, este proyecto busca cumplir con los objetivos para el desarrollo sostenible (ODS) que se encuentran descritos en el Anexo II, sin embargo, en este apartado se hace un pequeño

resumen sobre estos. Se trata de un trabajo comprometido a proteger el planeta, garantizar prosperidad y acabar con la pobreza [12].



Figura 8: Cartel de los 17 objetivos de desarrollo sostenible de la ONU. Foto: UNESCO Etxea.

Principalmente mediante el diseño de esta balsa de regadío se busca cumplir con los siguientes objetivos [13]:

- **ODS1 (Fin de la pobreza) y ODS2 (Hambre cero):** Este proyecto busca satisfacer la demanda de agua para la zona de cultivo con la que cuenta el orfanato de CFA. Gracias a esto se conseguirá aumentar la producción de maíz de la zona y por tanto promover la agricultura sostenible y seguridad alimentaria.
- **ODS3 (Salud y bienestar):** Este objetivo está ligado con todos los objetivos expuestos ya que promueve el bienestar de todas las personas y busca garantizar una vida saludable.
- **ODS4 (Educación de calidad):** Como se ha explicado en la introducción de este anexo Child Future África emplea parte de sus cultivos para hacer frente a los costes del orfanato. Con este trabajo de fin de grado se incrementará el área de cultivo

consiguiendo mayores beneficios. Por consiguiente, se podrá mantener y mejorar la educación que ofrece la organización.

- **ODS8 (Trabajo decente y crecimiento económico):** Con el diseño de este proyecto y su correspondiente implementación se produciría un aumento en puestos de trabajo ya que la mano de obra y los recursos necesarios para su construcción serán proporcionados por los habitantes de la zona.
- **ODS9 (Industria, innovación e infraestructuras):** Se trata de un trabajo innovador puesto que el país de Zimbabue no cuenta con balsas de regadío hasta el momento. La construcción de una obra de tales características mejorará considerablemente la infraestructura del distrito de Mt. Darwin.

1.5 METODOLOGÍA

Para el correcto desarrollo del proyecto se seguirá la metodología que se muestra en la siguiente gráfica:

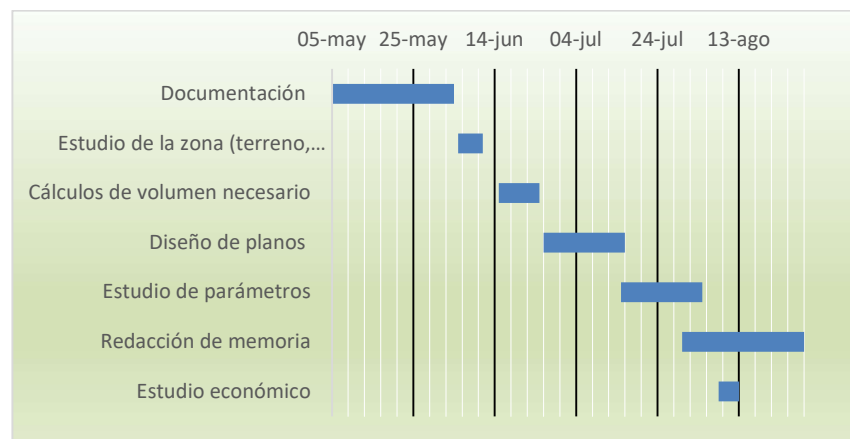


Figura 9: Cronología del proyecto

En primer lugar, se llevará a cabo durante el mes de mayo y principios de junio un estudio detallado acerca del mundo de las balsas y las distintas normativas que existen en relación con su construcción. Esta fase, busca familiarizarse con este tipo de obras llevadas a cabo en

el ámbito de la ingeniería civil y aprender información acerca del tipo de cálculos que se tendrán que realizar.

A continuación, durante la primera quincena de junio se tendrá que realizar una búsqueda exhaustiva sobre la topografía, geología y climatología de la zona. Al no disponer de ensayos e información suficiente de Mt. Darwin esta etapa es una de las más importantes en el proceso del desarrollo de la balsa.

A partir del 15 de junio se procederá a realizar los cálculos pertinentes para determinar el volumen que deberá tener la balsa. Para ello se empleará el programa de CropWAT. Esta herramienta proporciona información acerca de la demanda de agua necesaria según el tipo de cultivo, la condición climatológica y el tipo del suelo con el que se esté trabajando.

Una vez obtenidos los datos de la zona y el volumen necesario se diseñarán los planos de la balsa en AutoCAD. Al tratarse de una obra de ingeniería civil se aprenderá a utilizar complementos como Civil 3D.

En cuanto la etapa de planos se dé por finalizada sobre el 20 de julio habrá que realizar los cálculos correspondientes con la estabilización de taludes.

Por último, a finales de julio y durante todo agosto se procederá a redactar la memoria del trabajo.

1.6 RECURSOS A EMPLEAR

Como se ha expuesto anteriormente para ayudar al desarrollo del país la mano de obra será proporcionada por los habitantes de la zona. Además, se intentará comprar los materiales para la construcción de la balsa a proveedores de Zimbabue. Con esto se conseguirá favorecer el comercio local y solventar cualquier avería de forma rápida.

En cuanto a los recursos que se emplearán para el diseño de la balsa se encuentran los siguientes programas:

- Microsoft Word
- Microsoft PowerPoint
- AutoCAD (Civil 3D)
- CROPWAT 8.0
- Google Earth Pro
- Microsoft Excel
- Global Mapper 21.1

Por último, debido a la limitación de presupuesto los alumnos de ICAI han realizado distintos eventos para la recaudación de fondos

Capítulo 2. CONTEXTO DEL PROYECTO

2.1 SITUACIÓN AGRÍCOLA

En este apartado se busca dar a entender la importancia del sector agrícola en la economía del país y la situación en la que encuentra.

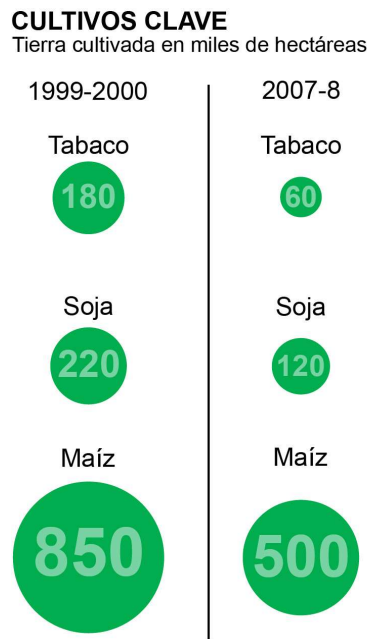
Zimbabue se puede caracterizar como un país rural donde la mayoría de sus habitantes trabajan en actividades relacionadas con esta área. De los 39 millones de hectáreas por las que está formado el país, 33,3 millones van destinadas al uso agrícola. Se estima que la agricultura proporciona el 70% del empleo del país, suministra el 60% de las materias primas empleadas en el sector industrial y contribuye a un 40% del total de los ingresos por exportación [14].

En este sector podemos diferenciar dos tipos de agricultores en función del tamaño y localización de la parcela. El primer grupo está formado por trabajadores humildes que se encargan de las tierras municipales. Formado por 7 millones de personas estos agricultores minifundistas ocupan un 64% de las tierras destinadas al cultivo (20 millones de hectáreas). Trabajan en parcelas que cuentan con poco potencial natural y económico produciendo principalmente para el consumo propio. El maíz, maní, cereales y hortalizas son alguno de los principales productos cultivados.

Por otro lado, se encuentran los agricultores que se dedican principalmente al comercio. A diferencia con el grupo anterior ocupan las tierras con mejores características en cuanto a la climatología y las características de suelo. Esto se traduce en tierras más fértiles y mejores cosechas. El tabaco, el algodón y el azúcar son 3 de los cultivos más exportados del país.

Al ser Zimbabue un país tan dependiente de la agricultura la distribución de las tierras siempre ha sido un problema de confrontación. Tras su independencia en 1980 las mejores

tierras eran propiedad de una gran minoría de agricultores blancos provenientes de Europa. Esto provocó grandes tensiones en el país hasta que en el 2000 el presidente Robert Mugabe llevo a cabo una reforma que consistía en la expulsión de esta minoría y la redistribución de las tierras. Sin embargo, estas dos últimas décadas se han visto afectadas por estas reformas debido a la falta de experiencia por parte de los nuevos propietarios. En comparación a la década de los 90 ha habido una reducción significativa en los cultivos y por tanto en la economía del país.



FUENTE: Gobierno de Zimbabue

Figura 10 Reducción de cultivos en las últimas décadas [15]

2.2 “CHILD FUTURE ÁFRICA” (CFA)

Child Future África (CFA) es una ONG fundada por George Seremwe en el año 2002. Esta organización nace con el objetivo de facilitar y proporcionar un futuro con más oportunidades a los niños huérfanos de Mt.Darwin. A través de métodos didácticos y constructivos, la fundación ha construido hogares donde a los niños se les ofrece cobijo y una educación digna.

Para hacer frente a los gastos económicos producidos por las distintas actividades realizadas, el orfanato emplea las zonas de cultivo en sus inmediaciones para la producción de alimentos como el grano. Los cultivos se utilizan tanto para el consumo propio como para la generación de ingresos.

A través de diversas fundaciones, como la fundación de ingenieros de ICAI, y cooperaciones con colegios cercanos, se desarrollan numerosos proyectos que buscan mejorar la calidad de vida en el orfanato y asegurar su crecimiento.



Figura 11: Child Future Africa logo [16]

2.3 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

Mount Darwin es uno de los 7 distritos que conforman la provincia de Mashonaland Central en Zimbabue [17]. Se encuentra a 160 km de Harare, la capital del país. Al tratarse de una

zona rural y aislada no se conocen muchos datos sobre esta ciudad. Tras el último censo llevado a cabo en 2004 se estimó una población de 6.349 habitantes.

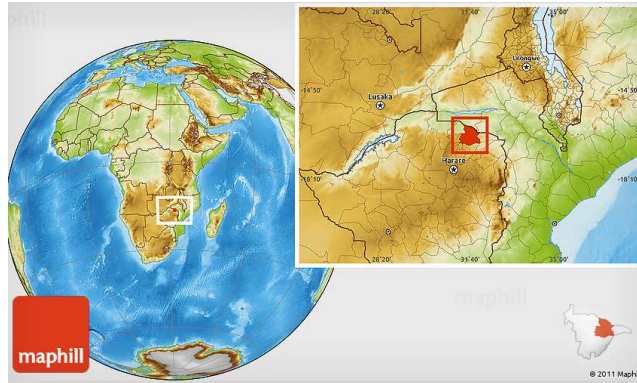


Figura 12: Localización de Mount Darwin, Zimbabwe. Fuente: Maphill

2.4 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

Tanto el orfanato de CFA como el Rukururi School se encuentran localizados aproximadamente a unos 15 km de la ciudad de Mount Darwin. En lo referente a las comunicaciones por carretera el acceso a la parcela desde el centro de la ciudad se hace por la autovía A11. Las coordenadas geográficas del orfanato son: -16.871072, 31.534596.

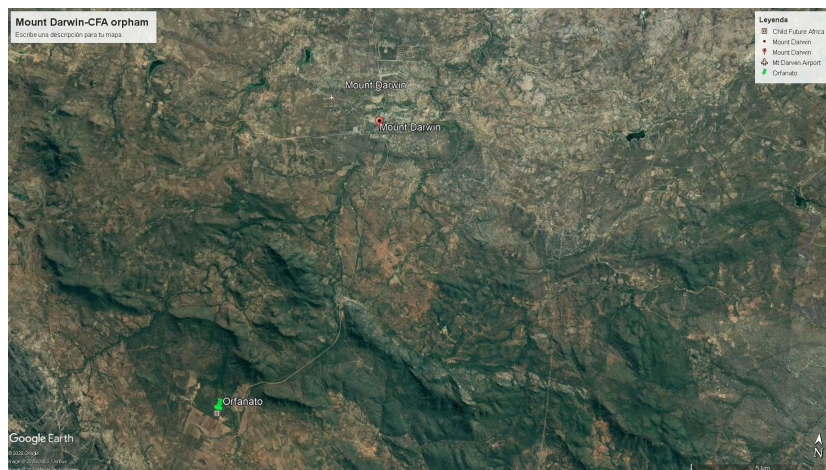


Figura 13: Mount Darwin-CFA orphan

El emplazamiento donde se debe ubicar la balsa de regadío se encuentra en las inmediaciones de la zona de cultivo del orfanato. En la siguiente imagen se muestran ambas zonas, en amarillo la zona de cultivo y en azul la superficie donde se debe situar la balsa.

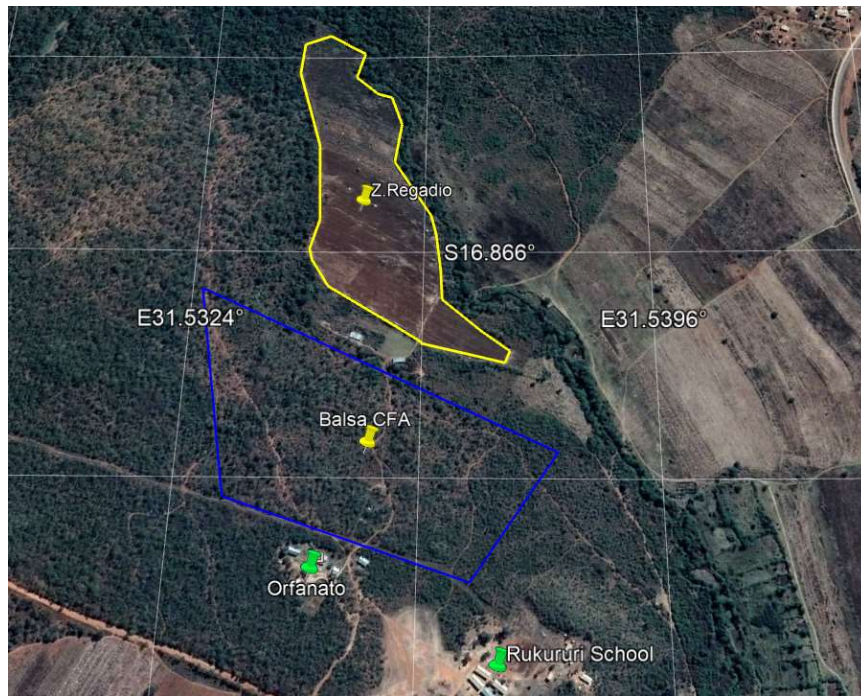


Figura 14: Zona de regadío y parcela donde ha de encontrarse la estructura (Google Earth Pro)

La zona de regadío tiene una superficie de 8,55 hectáreas mientras que la parcela donde se ha de construir la balsa cuenta con un área de 14,7 hectáreas. En los apartados siguientes se muestran los estudios realizados para el diseño y localización de la infraestructura.

En cuanto a la topografía, se han empleado programas informáticos como *Global Mapper 21.1* que permite calcular las curvas de nivel y trabajar con ellas en *Google Earth Pro*. Las curvas de nivel que se muestran a continuación están dibujadas con intervalos de 1 metro. En la Fig. 14 se muestra una imagen más en detalle donde se aprecia la altitud de las distintas curvas de nivel.

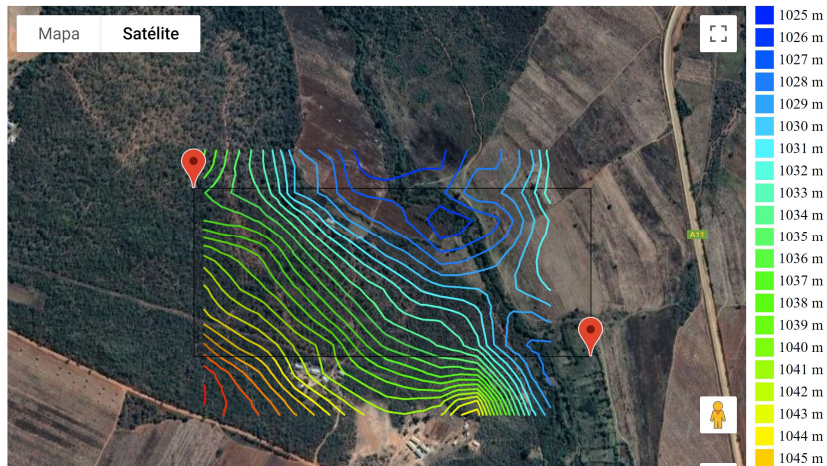


Figura 15: Curvas de Nivel detalladas (Contour Map Creator)

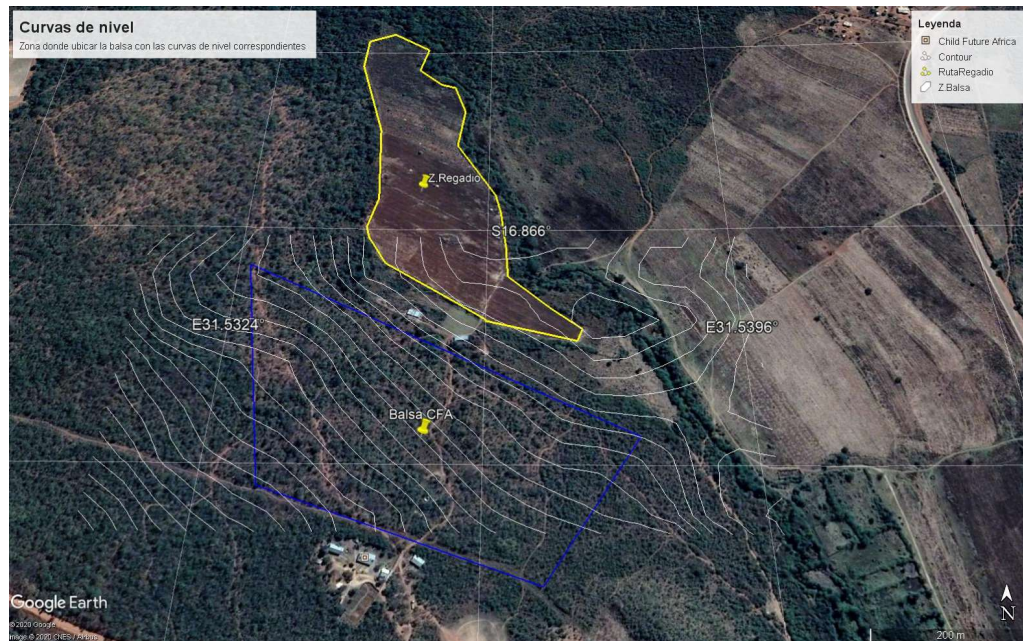


Figura 16: Curvas de Nivel en la zona de interés (Google Earth Pro)

Como puede observarse en ambas figuras la topografía es relativamente regular a lo largo de la zona de interés con cambios de pendiente suaves y descendentes hacia el noreste. Se aprecia que en la zona más próxima al lateral izquierdo de la zona donde se desea ubicar la balsa el cambio de pendiente es menos pronunciado.

2.5 *CONDICIONANTES DEL MEDIO FÍSICO*

2.5.1 CLIMATOLOGÍA

Zimbabue forma parte de la zona tropical al estar localizado por debajo de la línea del ecuador. Sin embargo, gracias a ser un territorio formado por zonas elevadas, llanuras y cordilleras montañosas, cuenta con un clima semiárido [18].

2.5.2 TEMPERATURA

En Mount Darwin la temperatura a lo largo del año suele variar entre los 12° y 31°. La temperatura de calor intenso dura aproximadamente 2 meses y va desde el 23 de septiembre hasta el 1 de diciembre. Del 30 de mayo al 4 de agosto se encuentra la temporada fresca y seca con una temperatura promedio de 18° [19].

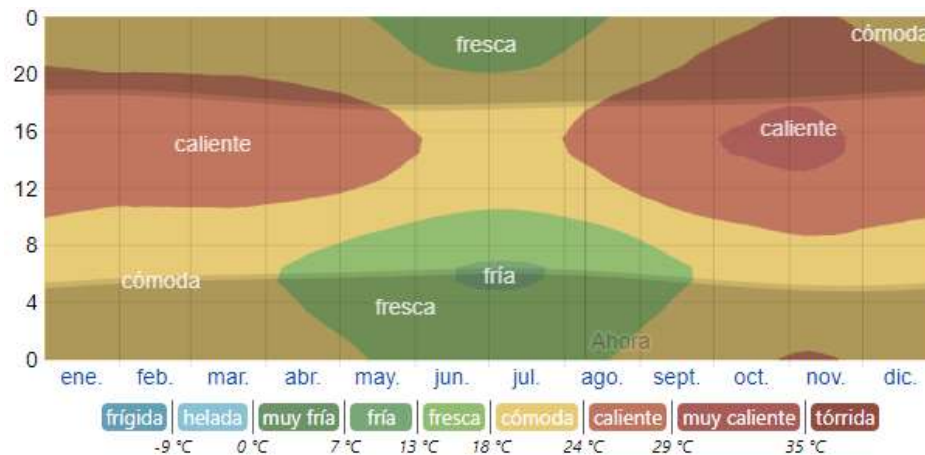


Figura 17: Temperatura promedio por hora en Mount Darwin, Zimbabwe [19]

2.5.3 PRECIPITACIÓN

Al igual que en todo el país la variación de lluvia es muy notable según la época de año [19].:

- La etapa lluviosa suele durar aproximadamente 6 meses (18 de octubre al 20 de abril) con una acumulación total media de 188 milímetros de agua.
- La etapa seca también tiene una duración aproximada de 6 meses (20 de abril al 18 de octubre) con una acumulación total media de 0 milímetros de agua.

La tabla siguiente obtenida a través de World Meteorological Organization muestra los datos climáticos de temperatura y precipitaciones en Mount Darwin entre los años de 1961-1990.

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Average high °C (°F)	28.3 (82.9)	27.9 (82.2)	28.0 (82.4)	27.6 (81.7)	26.1 (79.0)	24.0 (75.2)	23.8 (74.8)	26.2 (79.2)	29.3 (84.7)	31.5 (88.7)	30.7 (87.3)	28.8 (83.8)	27.7 (81.9)
Average low °C (°F)	18.5 (65.3)	18.4 (65.1)	17.1 (62.8)	14.3 (57.7)	9.8 (49.6)	6.6 (43.9)	6.1 (43.0)	8.1 (46.6)	12.5 (54.5)	16.7 (62.1)	18.4 (65.1)	18.5 (65.3)	13.8 (56.8)
Average rainfall mm (inches)	219.0 (8.62)	185.9 (7.32)	86.7 (3.41)	28.9 (1.14)	5.2 (0.20)	0.9 (0.04)	1.2 (0.05)	0.5 (0.02)	1.4 (0.06)	10.3 (0.41)	64.2 (2.53)	183.4 (7.22)	787.6 (31.01)
Average rainy days	16	14	7	2	1	0	0	0	0	1	7	14	62

Tabla 1 Atos climáticos Mount Darwin, Zimbabue (1961-1990) [20]

Capítulo 3. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

3.1 INTRODUCCIÓN

La finalidad de este capítulo es la realización de un estudio para la determinación de los parámetros geológicos y geotécnicos de la parcela en la que se desea llevar a cabo el proyecto. Esta información es elemental para un correcto diseño de la balsa de regadío.

3.2 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

3.2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Zimbabue se sustenta en un núcleo de Archean Basement conocido como el cratón de Zimbabue, comprendido por el famoso Gran Dique, un complejo máfico de orientación SSW-NNE.

El cratón se encuentra delimitado al noroeste por el cinturón móvil de Magondi. Dentro de este cinturón, los sedimentos y las rocas volcánicas del Supergrupo Magondi se depositaron durante la primera etapa del Proterozoico antes de ser deformados y metamorfoseados hace aproximadamente 1850 Ma. En el sur, el cinturón es de empuje típico de piel fina con rocas del grupo Magondi empujadas con orientación SE sobre el cratón Archaean. A medida que nos desplazamos al norte el carácter del cinturón cambia con el estilo estructural cambiando a un tipo de piel más gruesa. El grado metamórfico aumenta de facies de esquisto verde a granulita y con cantidades crecientes de gneises del basamento Proterozoico temprano imbricados dentro de la secuencia sedimentaria. Las rocas dentro del cinturón de Magondi no se ven afectadas por la posterior deformación y metamorfismo panafricano. La evolución del cinturón se ajusta al patrón de cratonización de la placa africana. Por último, el cratón de Zimbabwe está separado del Cratón Kaapval al sur por una zona de deformación penetrante y metamorfismo, el Cinturón de Limpopo que cuenta con una historia polifásica que abarca desde el Arqueano hasta el Mesoproterozoico. El Cratón está compuesto principalmente de

granitoides, esquistos y gneises e incorpora cinturones de piedra verde que comprenden volcánicos máficos, ultramáficos y félsicos con sedimentos epiclásticos asociados y formaciones de hierro. Está superpuesta en el norte, noroeste y este por cuencas sedimentarias Proterozoicas y Fanerozoicas [21].

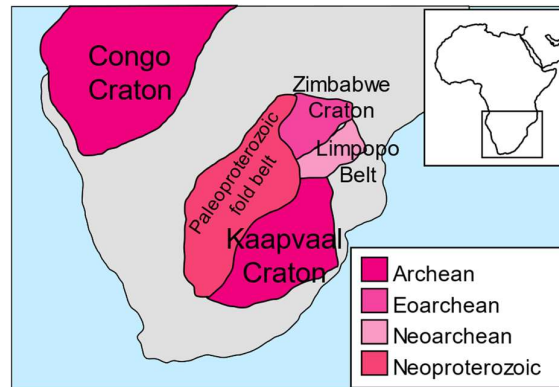


Figura 18: Mapa del sur de África donde se observa la localización del cratón de Zimbabwe

Las rocas supracrustales más antiguas pertenecen al grupo Sebakwian localizadas en el cratón central. Concretamente, se sitúan en los pueblos de Shurugwi y Mashava y en el noroeste de Gweru. Este grupo se compone por rocas metavolcánicas como: komatita y basalto, formaciones de hierro anilladas y rocas metasedimentarias clásticas. El grupo Bulawayan sucede a este grupo y se diferencia por las piedras verdes inferiores y superiores. Dentro de las piedras verdes inferiores se encuentran: félsica volcánica y rocas volcanoclásticas, komatitas y basalto con intercalaciones de formaciones de hierro. Los principales cinturones de piedra verde se constituyen principalmente por los grupos Bulawayan y Shamvaian. El último gran evento Archaen fue la intrusión del Gran Dique (2,5 Ga)

El Gran Dique es un cuerpo largo y estrecho de peridotitas que se sumergen hacia adentro, con bandas de cromita, piroxenitas y noritas que representan la actividad de varios centros intrusivos alineados a lo largo de una estructura de graben llamativa. La estructura geológica cruza a través del centro de Zimbabwe y cerca de su capital, Harare. Se extiende por más de 500 km y se considera más exactamente como un complejo ígneo estratiforme alargado en

lugar de un dique. Como se ha explicado al comienzo del capítulo el Gran Dique se encuentra en el cratón de Zimbabue y data hace 2.575 millones de años. Tanto por el este como oeste se encuentra rodeado por dos diques máficos (Este y Umvimeela).

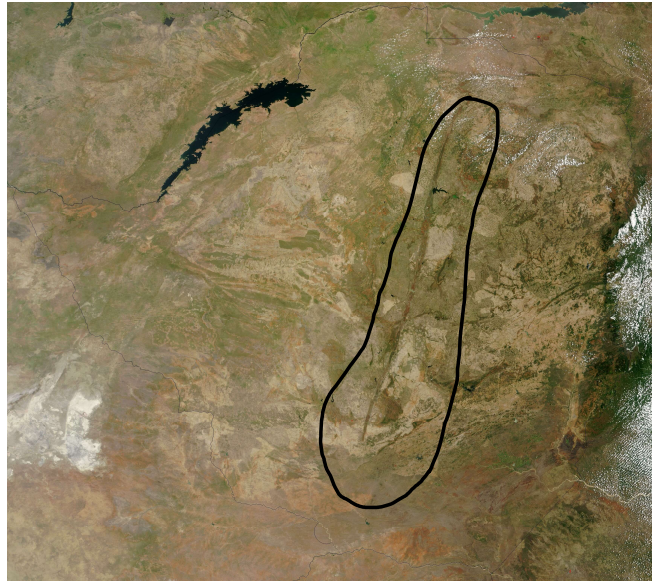


Figura 19: Gran Dique de Zimbabue

Por último, cabe añadir que Zimbabue cuenta con una gran variedad de recursos naturales donde se incluyen, entre otros, carbón, níquel, cromo, hierro, diamantes, vanadio, estaño y paladio. Siendo el paladio, oro y cromo los principales recursos de la geología económica del país. Por último, cabe añadir que el Gran Dique cuenta con la mayor reserva de cromo de Zimbabue [22].

3.2.2 GEOLOGÍA LOCAL

Para el estudio de la geología de la zona donde se va a implantar la balsa se ha hecho uso del siguiente mapa geológico:

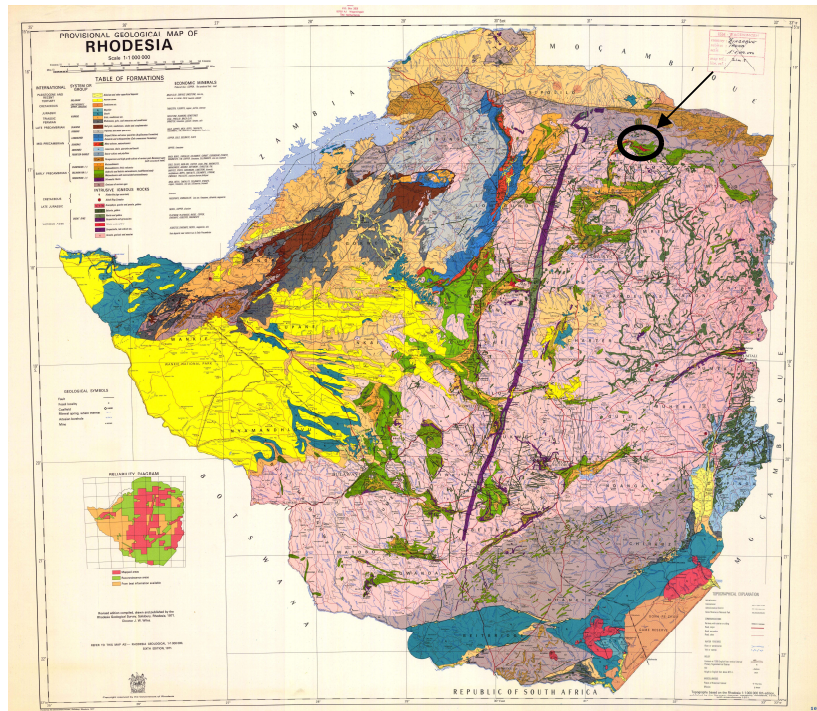


Figura 20: The Surveyor-General, Salisbury, Provisional Geological Map of Rhodesia, 1971



Figura 21: Provisional Geological Map of Rhodesia ampliado (Mount Darwin)

La figura 20 muestra en detalle la zona de interés y su correspondiente código de colores. Se encuentra en un área perteneciente a la temprana era Precámbrica. En concreto, se han rocas metavolcánicas con metasedimentos intercalados pertenecientes al grupo Bulawayan (y).

3.2.3 ACCIONES SÍSMICAS

Zimbabue se clasifica con un nivel de peligro ante la actividad sísmica de nivel medio. Esto implica, que en las próximas 5 décadas existe un 10% de probabilidades de que se produzca algún terremoto. Sin embargo, existen algunas zonas en el país donde el nivel de peligro es menor. Por ejemplo, el distrito de Mount Darwin se encuentra en una zona donde el peligro de actividades sísmicas es de nivel bajo.



Figura 22: Nivel de peligro sísmico en Mashonaland Central (Zimbabwe)

Por todo ello, y basándose en varios estudios acerca de la actividad sísmica en Zimbabwe se considera que el distrito de Mount Darwin cuenta con una aceleración sísmica básica (a_b) inferior a $0,04g$. Este valor, es una medida de intensidad que indica la aceleración a la que está sometida la superficie del suelo durante la aparición de un sismo. A la hora de establecer normativas y métodos de actuación en caso de riesgo sísmico la aceleración sísmica básica es el parámetro más utilizado en el ámbito ingenieril.

En el caso de la construcción y diseño de balsas de regadío esta medida es muy importante para determinar varios valores como por ejemplo la estabilidad dinámica del dique de cierre. En aquellas zonas donde la aceleración básica sea $\geq 0,04g$ habrá que tener en cuenta los efectos de sismicidad en la infraestructura.

Para poder cuantificar el nivel de peligrosidad se muestra a continuación una correlación de esta medida con la escala de Mercalli. Esta escala se encuentra dividida en 12 grupos según la intensidad del daño producido por un sismo.

Escala Mercalli	Aceleración sísmica (g)	Potencial del daño
I	<0,007	Ninguno
II-III	0,0017-0,014	Ninguno
IV	0,014-0,039	Ninguno
V	0,039-0,092	Muy leve
VI	0,092-0,18	Leve
VII	0,18-0,34	Moderado
VIII	0,34-0,65	Moderado a fuerte
IX	0,65-1,24	Fuerte
X+	>1,24	Muy fuerte

Tabla 2: Correlación entre aceleración sísmica básica (a_b) y escala de Mercalli. En verde el intervalo donde se haya la a_b de Mount Darwin

3.3 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

3.3.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE

El suelo es una composición de materia orgánica, minerales, microorganismos, agua y aire. Los suelos están formados por fracciones de estas partículas minerales de distinto tamaño. La composición de estas determina las características (estructura, textura, porosidad, color etc..) del suelo con el que se está trabajando. En la siguiente figura se muestra la clasificación de las partículas según su tamaño y la normativa del país

Dimensión de la partícula elemental (mm)	Atterberg - (Sistema Internacional)	U.S. Dep. De Agricultura	Ex - U.R.S.S.
<0,001	Arcilla	Arcilla	Arcilla
<0,002			Limo fino
0,005	Limo	Limo	Limo medio
0,01			Limo grueso
0,02	Arena fina	Arena muy fina	Arena fina
0,05			
0,1		Arena gruesa	Arena gruesa
0,25			
0,2	Grava fina	Grava fina	Grava
0,5			
1,0	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras
2,0			
3,0	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras
5,0			
10,0	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras
20,0			
>20,0	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras

Ilustración 1: Clasificación de suelos según el país [23]

Como puede observarse las partículas de menor tamaño son las denominadas arcillas (<0.002mm) seguidas por el limo (0.002-0.05mm), arena (0.05-2mm) y grava (3-20mm). La composición de suelo según el porcentaje de arena, limo y arcilla es lo que se denomina textura. A la hora de trabajar con texturas se prescinde de las gravas ya que únicamente se refiere a la porción del suelo objeto de estudio en el laboratorio denominada “tierra fina”. La pirámide de texturas se rige por el método del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y ayuda a determinar las clases texturales básicas que componen un suelo según su granulometría.

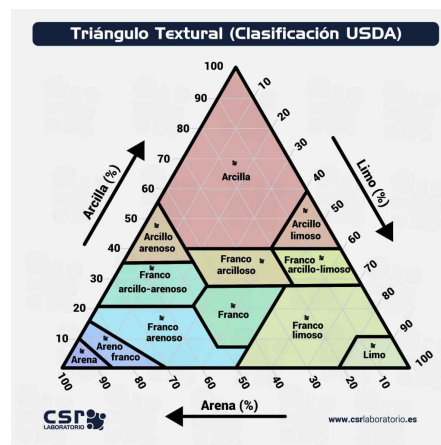


Figura 23: Triángulo de textura de suelos USDA [24]

En este apartado se ha hecho uso del *Provisional Soil Map of Zimbabwe Rhodesia, 1979* donde se muestra la distribución del suelo en el país de Zimbabue. En el mapa las unidades cartográficas son unidades de clasificación (grupos o familias de suelos), o asociaciones de ellas. Las asociaciones están indicadas por los símbolos de sus componentes en orden de incidencia. Las unidades de mapeo se refieren a suelos que se encuentran en condiciones normales, de relieve de tierras altas y no se muestran asociaciones de catenaria.

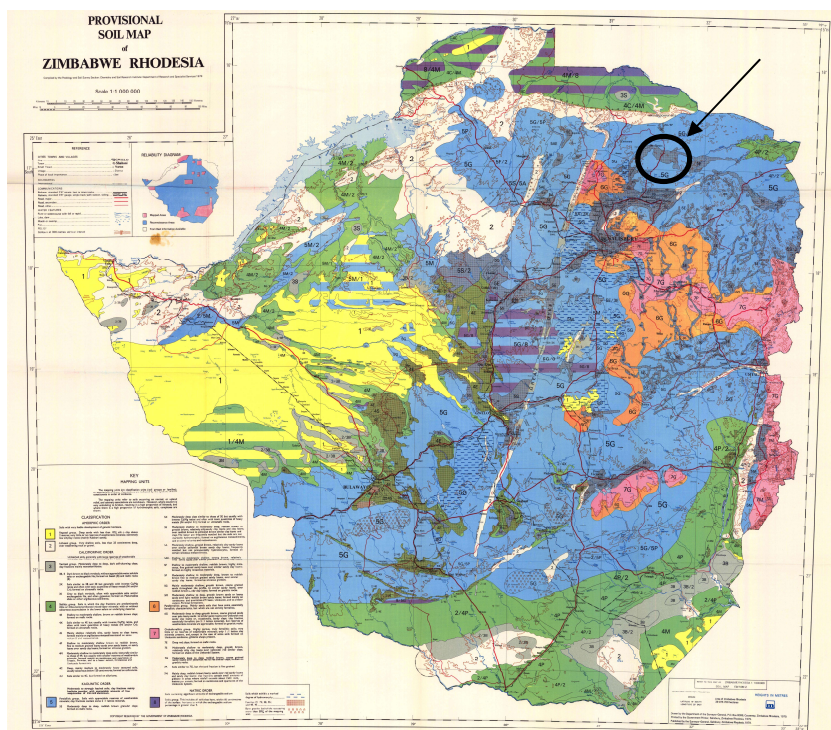


Figura 24: Department of the Surveyor-General, Causeway, Provisional Soil Map of Zimbabwe Rhodesia, 1979

La siguiente imagen muestra en detalle el distrito de Mount Darwin. Mediante una flecha queda señalado el emplazamiento exacto donde se desea construir la balsa de regadío.



Figura 25: Provisional Soil Map ampliado (Mount Darwin)

La Fig 20 refleja que el área de la parcela pertenece al orden caolinítico y esto se traduce en suelos moderadamente a fuertemente lixiviados; fracciones de arcilla principalmente caolinita con cantidades apreciables de sesquióxidos libres de hierro y aluminio. En concreto el terreno de interés pertenece al grupo 5E:

- El número 5 indica la pertenencia al grupo fersialítico.
- La letra E indica que se trata de un suelo con arcillas granulares de color marrón rojizo moderadamente profundas; formado sobre rocas máficas.

Por todo ello y según la pirámide textural de suelos nos encontramos ante un suelo franco arcilloso. Como se observa en la Fig 20 estos suelos son aquellos que contienen un porcentaje de arcilla mayor al 30%, un porcentaje de arena superior al 40% y un porcentaje de limos superior al 15%.

A los efectos de este proyecto, se considerará conservadoramente, que el espesor medio del suelo es de 3 metros y que a una profundidad mayor puede haber indicios de roca imposibilitando la excavación. Obviamente, habrá que realizar una comprobación de esta hipótesis en su momento (véase capítulo de Campaña de investigación recomendada).

Además, con el fin de realizar un diseño lo más conservador posible se supondrá que los primeros 40cm son de suelo vegetal y, por lo tanto, no excavable. En el anexo de movimiento de tierras se verá como esto repercute ligeramente en los préstamos que habrá que utilizar.

Por último, basándose en esta información también se supondrá que no se alcanza el nivel freático, de existir, con los movimientos de tierras previstos. Al igual que con el espesor media habrá que llevar a cabo una corroboración de este supuesto en función de lo que se dice en el capítulo de campaña geotécnica a realizar.

3.4 PROPIEDADES GEOTÉCNICAS

A los efectos de este proyecto y dada la carencia de información se supondrá que se trata de una arcilla limosa de media a baja plasticidad (CL). No existen descripciones disponibles que indiquen lo contrario y dado que las arcillas de alta plasticidad son unos materiales especialmente problemáticos y no se dispone de esa información, a efectos de este informe se hará esta suposición.

3.4.1 SUELO NATURAL “IN SITU”

Para la estimación de los parámetros del terreno natural se recurre, teniendo en cuenta la ausencia de ensayos, a la información proveniente de distintas fuentes técnicas sobre las propiedades geotécnicas de los suelos. De acuerdo con Rodríguez Ortiz en su libro Curso Aplicado de Cimentaciones los parámetros típicos que suele tener el suelo “in situ” se muestran en la siguiente tabla:

CUADRO 1.12. PARAMETROS CARACTERÍSTICOS DEL SUELO (1)

TIPO DE SUELO	GRANULOMETRÍA		LÍMITES DE ATTERBERG			PESO ESPECÍFICO	HDAD. NATURAL	PROCTOR NORMAL	DEFORMABILIDAD (2)	RESISTENCIA AL CORTE			PERM.			
	<0,06	<2,0	w _L	w _P	I _P					γ	γ _{sum}	w		D. seca	w _{P,N}	E _s = E ₀ (σ _{at}) ⁿ
	mm	mm	%	%	%	t/m ³	t/m ³	%	t/m ³	%	kp/cm ²	(°)	t/m ²	°	m/s	
Grava	<5	<60	—	—	—	1,60	0,95	5	1,70	8	400	0,60	34	—	32	2.10 ⁻¹
						1,90	1,05	2	1,90	5	900	0,40	42	—	35	1.10 ⁻²
Grava arenosa con pocos finos	<5	<60	—	—	—	2,10	1,15	7	2,00	7	400	0,70	35	—	32	1.10 ⁻¹
						2,30	1,35	3	2,25	4	1100	0,50	45	—	35	1.10 ⁻⁴
Grava arenosa con finos limosos o arcillosos que no alteran la estructura granular	8	<60	20	16	4	2,10	1,15	9	2,10	7	400	0,70	35	1	32	1.10 ⁻⁵
	15		45	25	25	2,40	1,45	3	2,35	3	1200	0,50	43	0	35	1.10 ⁻⁴
Mezcla de gravas y arenas envueltas por finos	20	<60	20	16	4	2,00	1,05	13	1,90	10	150	0,90	28	3	22	1.10 ⁻⁴
	40		50	25	30	2,25	1,30	5	2,20	5	400	0,70	35	0,5	30	1.10 ⁻¹¹
Arena uniforme	a) Fina	<5	100	—	—	1,60	0,95	22	1,60	15	150	0,75	32	—	30	2.10 ⁻⁴
	b) Gruesa	<5	100	—	—	1,90	1,10	8	1,75	10	300	0,60	40	—	32	1.10 ⁻⁵
Arena bien graduada y arena con grava	<5	60	—	—	—	1,60	0,95	16	1,60	13	250	0,70	34	—	30	5.10 ⁻³
						1,90	1,10	6	1,75	8	700	0,55	42	—	34	2.10 ⁻⁴
Arena con finos que no alteran la estructura granular	8	>60	20	16	4	1,90	1,05	15	2,00	13	150	0,80	32	1	30	1.10 ⁻⁵
	15		45	25	25	2,25	1,30	4	2,20	7	500	0,65	40	0	32	1.10 ⁻⁷
Arena con finos que alteran la estructura granular	20	>60	20	16	4	1,80	0,90	20	1,70	18	50	0,90	25	5	22	1.10 ⁻⁷
	40		50	30	30	2,15	1,10	8	2,00	12	250	0,75	32	1	30	1.10 ⁻¹⁰
Limo poco plástico	>50	>80	25	20	4	1,75	0,95	28	1,60	22	40	0,80	28	2	25	1.10 ⁻⁵
			35	28	11	2,10	1,10	15	1,80	15	110	0,60	35	0,5	30	1.10 ⁻⁸
Limo de plasticidad media a alta	>80	>100	35	22	7	1,70	0,85	35	1,55	23	30	0,90	25	3	22	2.10 ⁻⁶
			50	25	20	2,00	1,05	20	1,75	16	70	0,70	33	1	29	1.10 ⁻⁹
Arcilla de baja plasticidad	>80	100	25	15	7	1,90	0,95	28	1,65	20	20	1,00	24	6	20	1.10 ⁻⁷
			35	22	16	2,20	1,20	14	1,85	14	50	0,90	32	1,5	28	2.10 ⁻⁹
Arcilla de plasticidad media	>90	100	40	18	16	1,80	0,85	38	1,55	23	10	1,00	20	8	10	5.10 ⁻⁸
			50	25	28	2,10	1,10	18	1,75	17	30	0,95	30	2	20	1.10 ⁻¹⁰
Arcilla de alta plasticidad	100	100	60	20	33	1,65	0,70	55	1,45	27	6	1,00	17	10	6	1.10 ⁻⁹
			85	35	55	2,00	1,00	20	1,65	20	20	1,00	27	3	15	1.10 ⁻¹¹
Limo o arcilla orgánicos	>80	100	45	30	10	1,55	0,55	60	1,45	27	5	1,00	20	7	15	1.10 ⁻⁹
			70	45	30	1,90	0,90	30	1,70	18	20	0,85	26	2	22	1.10 ⁻¹¹
Turba	—	—	—	—	—	1,04	0,04	800	—	—	3	1,00	25	1,5	—	1.10 ⁻⁵
						1,30	0,30	100	—	—	8	1,00	30	0,5	—	1.10 ⁻⁴
Fango	—	—	100	30	50	1,25	0,25	200	—	—	4	1,00	22	2	—	1.10 ⁻⁷
			250	80	170	1,60	0,60	50	—	—	15	0,90	28	0,5	—	1.10 ⁻⁹

(1) Según el Grundbau-Taschenbuch, 3.^a ed. 1.^a Parte, 1980.
(2) σ_v = 0,1 kp/cm²

Figura 26: Parámetros característicos del suelo [25]

Teniendo en cuenta esta información y, la suposición de que los suelos con los que estamos trabajando son arcillas limosas de baja plasticidad (CL), para el siguiente proyecto se adoptarán los siguientes parámetros:

- Densidad
- Cohesión
- Angulo rozamiento interno
- Módulo de deformación

3.4.2 MATERIALES COMPACTADOS

Del mismo modo, para la estimación de los materiales que se van a emplear como relleno, se emplean los valores que aparecen en la siguiente tabla (Navfac,1971) donde se muestran los valores típicos que suelen adoptar los suelos sometidos a compactación.

SÍMBOLO DEL GRUPO	TIPO DE SUELO	COHESIÓN - MATERIAL COMPACTADO (KPA)	COHESIÓN - MATERIAL SATURADO (KPA)	ÁNGULO DE ROZAMIENTO EFECTIVO (°)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (CMS)
GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y de arena	0	0	> 38	> 1
GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y de arena	0	0	> 37	> 1
GM	Gravas limosas, mezclas de grava-arena-limo mal graduadas	0	0	> 34	10 ⁵
GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava-arena-limo mal graduadas	0	0	>31	10 ⁶
SW	Arenas bien graduadas, arenas con gravas	0	0	38	1x10 ²
SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava	0	0	37	1x10 ²
SM	Arenas limosas, mezclas de arena-limo mal graduadas	50	20	34	10 ⁵
SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena-arcilla	75	10	31	10 ⁶
ML	Limos inorgánicos y limos arcillosos	70	10	32	10 ⁶
ML-CL	Mezcla de limo inorgánico y arcilla	65	20	32	5 x 10 ⁷
CL	Arcillas inorgánicas poco plásticas o de plasticidad mediana	85	15	28	10 ⁷
MH	Limos arcillosos inorgánicos, suelos limosos	75	20	25	10 ⁷
CH	Arcillas inorgánicas muy plásticas	100	10	20	10 ⁸

Figura 27: Propiedades típicas de suelos compactados (Navfac,1971)

3.4.3 APROVECHAMIENTO. COEFICIENTE DE PASO

Como se ha explicado en la tipología de la balsa (apartado 5.2), el proyecto se ha optimizado en el movimiento de tierras para maximizar la reutilización de las arcillas naturales existentes. En este sentido hay que tener en cuenta el coeficiente de paso.

Cuando se lleva a cabo la reutilización de un material previamente excavado hay que tener muy presente el efecto que esto conlleva en sus características. Al extraer el terreno natural, este sufre un incremento en su volumen (coeficiente de esponjamiento), que será posteriormente reducido mediante compactación para su uso como relleno. El coeficiente de paso se entiende como la relación entre el volumen de un material en su estado natural con el volumen obtenido tras aplicarle una determinada energía para su compactación. Esta energía de compactación suele estar estandarizada empleándose el ensayo de compactabilidad de Proctor Normal.

El coeficiente de paso de los materiales que se van a reutilizar como relleno se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$Cvu = \frac{V_{Final}}{V_{Inicial}} = \frac{\frac{\text{Peso seco}}{D_{seca\ final}}}{\frac{\text{Peso seco}}{D_{seca\ inicial}}} = \frac{D_{seca\ inicial}}{D_{seca\ final}}$$
$$Cvu = \frac{\gamma_{dnat}}{\gamma_{dmaxPN} \times Gc}$$

γ_{dnat} : Densidad seca en estado natural

γ_{dmaxPN} : Densidad máxima obtenida tras la realización del ensayo de Proctor Normal

Gc : Se entiende como grado de compactación. Es el grado de compactación que se consigue al reutilizar el material como relleno en la obra. Porcentaje respecto a la compactación conseguida con el ensayo de Proctor Normal. Se suelen escoger valores comprendidos entre 95-98%.

Utilizando los valores escogidos en el apartado 3.4.1 y suponiendo que se especifica que se compactaran los materiales al 97% de la energía del ensayo Proctor Normal (Gc), especificación habitual en rellenos, el coeficiente de paso obtenido es:

$$Cvu = 1.03$$

Este valor del coeficiente de paso implica que el material empleado como relleno tendrá un aumento del 3% en su volumen final una vez compactado, favoreciendo así, como se estudia en el anexo de movimiento de tierras, la cantidad de material requerido como relleno.

3.5 CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se pretende dar información acerca de los distintos ensayos y procedimientos que hay que llevar a cabo antes de realizar un proyecto de estas características. Es necesario recopilar toda la información posible acerca de la zona donde se vaya a llevar a cabo la obra con el fin de conocer tanto las características que tendrá el cimientado del dique de cierre como el vaso de la balsa. La información topográfica, geológica y geotécnica son de vital importancia para tener un buen reconocimiento del terreno.

Además, es muy importante efectuar un reconocimiento visual de las zonas donde se va a erigir la balsa con el objetivo de detectar problemas que puedan amenazar la seguridad de esta. La existencia de vegetación, edificaciones o cualquier tipo de anomalías tanto topográficas como geológicas han de ser correctamente identificadas para evitar que interfieran con la actividad de la estructura.

A continuación, se hace un pequeño hincapié en los distintos ensayos y consideraciones que habría que llevar a cabo para la implementación de una balsa.

Para los siguientes apartados se ha hecho uso del Manual para el Diseño, Construcción, Explotación y Mantenimiento de Balsas publicado por el Comité Nacional Español de Grandes Presas (CNEGP) [26].

3.5.1 ENSAYOS DE CAMPO

Las campañas de investigación que se suelen llevar a cabo en el terreno suelen estar divididas en 3 zonas:

- Zona de implantación del dique de cierre
- Zona del vaso de la balsa

- Zona de préstamos

3.5.1.1 Zona de implantación del dique de cierre

Con estos ensayos se pretende reconocer el terreno donde se erigirá el dique y las características de este. Para ello, según el manual de CNEGP se recomienda realizar los siguientes ensayos:

- Calicatas: Esta técnica consiste en la realización de excavaciones de baja a media profundidad para realizar la inspección del terreno. Es uno de los métodos más empleados para el reconocimiento geotécnico y estudios edafológicos de un terreno. Permite una inspección visual del terreno “in situ”, toma de muestras y la realización de ensayos de campo como ensayos de permeabilidad (descenso de agua). Estas excavaciones se suelen realizar mediante el uso de retroexcavadoras.

Para el diseño y construcción de balsas de regadío se recomienda realizar calicatas de unos 3-4 metros de profundidad en aquellas zonas donde se aprecie un cambio en el terreno y cada 50 metros de desarrollo longitudinal del eje de la zona de implantación del dique de cierre. Por lo menos habrá que realizar 2 calicatas en la zona de implantación del dique de cierre.

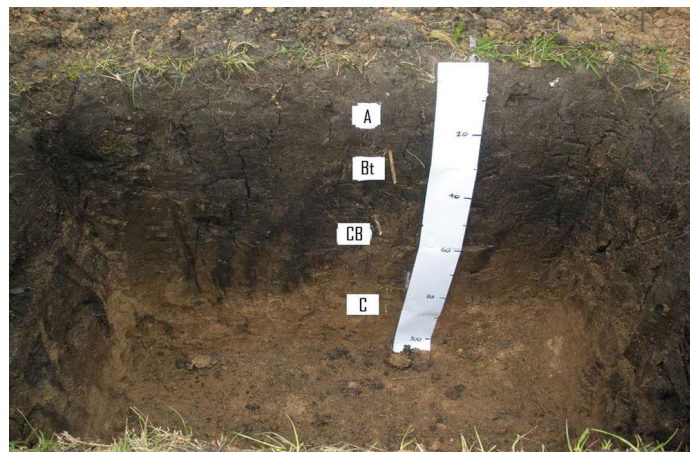


Figura 28: Calicata [27]

- Sondeos mecánicos a rotación con extracción continua de testigo: Es la técnica más empleada para realizar un reconocimiento del terreno y saber las características de este a profundidades altas. Se realiza una perforación del terreno de unos 65-130mm de diámetro. Al igual que con las calicatas descritas anteriormente se realizará una toma de muestras para su posterior investigación en el laboratorio y se podrán llevar a cabo diversos ensayos de campo como de permeabilidad y de penetración tipo SPT. Según el manual [26] es recomendable realizar un sondeo cada 200 metros de desarrollo longitudinal de la zona de implantación del dique de cierre:
 1. Altura de dique $> 10\text{m}$
 2. Volumen embalse $> 250.000\text{m}^3$
 3. Si longitud de coronación del dique de cierre > 100 metros al menos, se realizará 1 sondeo mecánico
 4. Cuando la información disponible acerca del terreno de apoyo del dique sea escasa.

3.5.1.2 Zona del vaso

Al igual que con la zona de implantación del dique de cierre se llevarán a cabo varias calicatas para la correcta inspección del terreno. En esta zona de la balsa se prestará especial interés en la determinación de las características de permeabilidad del suelo y las condiciones de este para la aplicación de un material impermeable si fuese necesario.

3.5.1.3 Zona de préstamos

Se entiende por zona de préstamos como toda zona destinada a la extracción de material para la construcción del dique de cierre. Al ser uno de los procesos de mayor coste económico, se recomienda que, a la hora de realizar este tipo de obras se trate de compensar, en la medida de lo posible, los volúmenes de terreno desmontado y terraplenado. De esta forma, la zona de préstamos coincidirá con la zona del vaso de la balsa o la zona de implantación del dique de cierre.

Según el manual, tendrá que haber un mínimo de 2 calicatas en cada zona que vaya a ser utilizada como zona de préstamos, independientemente de que se encuentre en el área donde se va a construir la balsa o en sus alrededores.

3.5.1.4 Ensayos seleccionados

A efectos de este proyecto y debido a la escasez de medios con los que cuenta el orfanato de CFA se ha considerado realizar un número adecuado de calicatas que proporcionen, tanto un buen reconocimiento del terreno como un abaratamiento de los costes de la obra. Además, para seguir reduciendo los costes y debido a la falta de recursos, las excavaciones se harán manualmente mediante pico y pala. Se ha considerado que las calicatas son suficientes para la determinación de las características del suelo y que no es necesario el uso de sondeos mecánicos.

Las calicatas que se van a realizar serán de 4 metros de profundidad con el propósito de comprobar las hipótesis hechas previamente sobre la caracterización geotécnica (apartado 3.3). Estas tendrán unas dimensiones de 0,8m × 1m para facilitar el estudio de las paredes.

Como se ha explicado y justificado previamente en el apartado 3.3 de la memoria y, tal y como se observa en el plano **XXX**, realizado con el programa informático *AutoCAD Civil 3D*, se ha diseñado la balsa de tal forma que se compense al máximo la diferencia entre desmonte y terraplén. Se observa que no se ha logrado obtener una compensación perfecta y por lo tanto no se tendrá que adquirir material de relleno adicional. Además, debido también, a la suposición de que los primeros 40cm de terreno se consideran suelo vegetal y, por tanto, no utilizable, existe otra pequeña diferencia entre el terreno desmontado y terraplenado. Por todo ello, la totalidad del material utilizado para la construcción del dique de cierre será aportado por las propias excavaciones realizadas en el vaso de la balsa y la zona de implantación del dique.

Teniendo en consideración todo lo expuesto anteriormente se ha considerado suficiente realizar al menos 5 calicatas; 3 de ellas en el vaso de la balsa y las otras 2 situadas en la zona de préstamos que se encuentra en las inmediaciones de la estructura. Debido a que, las

características del material empleado para el relleno de las calicatas difieren con las del suelo, estas se realizarán en las zonas del interior de la balsa que formen parte del terreno de desmonte. De esta forma, se obtendrá un terreno mucho más homogéneo con las mismas propiedades.



Figura 29: Ejemplo de localización de calicatas en interior de la balsa

3.5.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Tras llevar a cabo los ensayos de campo necesarios se analizarán y estudiarán las muestras obtenidas para comprobar que las hipótesis realizadas previamente en el apartado de caracterización geotécnica son válidas. Para ello, se realizarán una serie de ensayos en el laboratorio según la normativa UNE correspondiente a cada uno de ellos.

3.5.2.1 Terreno de cimentación del dique

A la hora de realizar ensayos del terreno, el manual [26] recomienda realizar una gran variedad de ensayos para tener un estudio detallado acerca de las características del material:

- Ensayos de identificación: granulometría y límites de plasticidad
- Ensayos de estado: densidad seca y húmeda
- Ensayos químicos

- Ensayos de resistencia a compresión simple
- Ensayos de resistencia al corte
- Ensayos de deformabilidad

Para este proyecto y debido a la escasez de recursos económicos se ha supuesto suficiente realizar los siguientes ensayos:

- Ensayos de identificación:
 - Análisis granulométrico de suelos por tamizado y por sedimentación. Normativa: UNE 103-101:1995 y UNE 103/102:1995
 - Determinación del límite líquido y plástico. Normativa: UNE 103-103:1994 y UNE 103-104:1993
- Ensayos de estado:
 - Determinación de densidad relativa de las partículas. Normativa: UNE 103-302:1994

3.5.2.2 Material para ejecución del dique de cierre

Según el manual de CNEGP las muestras del terreno que vaya a ser empleado como material para la construcción del dique de cierre tendrán que ser sometidas a ensayos de caracterización y ensayos para la determinación de las propiedades mecánicas y físicas:

Para los ensayos de caracterización se ha optado por realizar los ensayos escogidos previamente para las muestras del terreno de cimentación del dique y añadir un ensayo de compactación Proctor Normal (UNE 103-500:1994).

Por último, para la determinación de las propiedades mecánicas y físicas se recomienda realizar los siguientes ensayos:

- Ensayo de colapso en célula endométrica. Normativa. NLT-254
- Ensayo de hinchamiento libre en célula endométrica. Normativa: UNE 103-601:1996
- Ensayo de dispersabilidad: Ensayo de Crumb. Normativa: USBR 5400-89

3.6 ESTABILIDAD DEL DIQUE DE CIERRE

Los diques se encuentran continuamente expuestos a varios esfuerzos debido principalmente, a la carga del agua, las acciones sísmicas y las presiones intersticiales. La estabilidad se entiende como la resistencia o capacidad que tienen los cuerpos estructurales para soportar el efecto de las fuerzas que actúan sobre ellos sin provocar movimientos apreciables. Por tanto, para garantizar la estabilidad del dique, los taludes deben tener una geometría tal, que aseguren la estabilidad en todos los escenarios posibles que puedan acontecer durante la vida útil de la obra.

Los escenarios objeto de estudio para la estabilidad estática son los siguientes:

- Final de la construcción: Análisis para aquellos diques formados principalmente por materiales arcillosos donde se supone que no se produce disipación de presiones intersticiales durante la construcción.
- Embalse lleno: Situación en la que la carga de agua se encuentra a la altura de máximo embalse.
- Rotura del elemento de impermeabilización: Misma hipótesis que en la situación de embalse lleno sumando la aparición de línea de saturación en el cuerpo del dique.
- Desembalse rápido: Situación que conlleva a la aparición de sobrepresiones intersticiales en el dique debido a una velocidad de vaciado elevada.

En cuanto a la estabilidad dinámica, esta debe ser tomada en consideración en áreas donde la aceleración básica sísmica sea $\geq 0.04g$. Debido a la baja probabilidad de la aparición de terremotos en la mayoría de las situaciones descritas, se supone suficiente con llevar a cabo un análisis de estabilidad dinámico en la situación de embalse lleno.

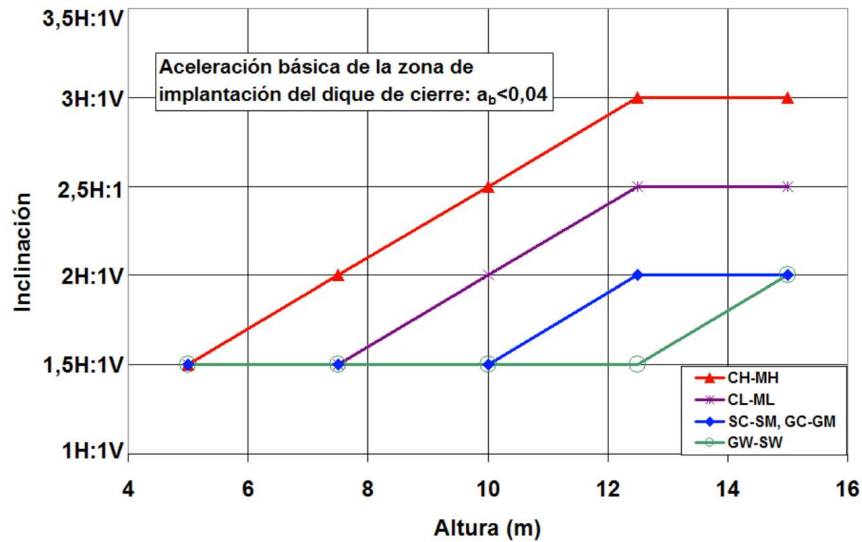
El cálculo de la estabilidad requiere de un análisis detallado mediante un cómputo de cálculos, tomando una serie de coeficientes de seguridad según la situación de diseño que se esté estudiando. No obstante, debido a la complejidad de los cálculos, existen una serie de ábacos que, según las características del terreno, la altura del dique de cierre y la sismicidad de la zona permiten un correcto dimensionamiento de los taludes.

SITUACIÓN DE DISEÑO	F.S.
Final de construcción	1,30
Embalse lleno	1,50
Rotura elemento impermeabilización	1,30
Sismo a embalse lleno	1,30
Desembalse rápido	1,10

Tabla 3: Coeficientes de seguridad mínimos para cálculos de estabilidad global del dique de cierre y su cimienta [26]

A efectos de este proyecto, se ha hecho uso de los ábacos de dimensionamiento para establecer la inclinación de los taludes de la balsa ya que, como se ha comentado previamente, permiten obtener un diseño óptimo de los taludes sin necesidad de realizar cálculos adicionales. Cabe añadir, que este proceso de dimensionamiento cumple con todos los coeficientes de seguridad previamente expuestos en la Tabla 3.

Como se ha explicado y justificado en el apartado 3.2.3 (acciones sísmicas), el emplazamiento de la balsa se encuentra en una zona donde la aceleración básica (a_b) es inferior a $0,04g$. Por este motivo, no se tiene en consideración el efecto de la sismicidad en la estabilidad del dique siguiendo así, el siguiente ábaco de dimensionamiento:



Gráfica 1: Inclinación de taludes interior y exterior para zonas con coeficiente sísmico $\leq 0.04g$. [26]

Según las diversas hipótesis realizadas en este capítulo acerca de la geología y geotecnia de la zona, se concluye que nos encontramos ante un suelo de arcillas limosas de baja plasticidad (CL). Además, como se ha calculado en el apartado 5.3.1, la altura total del dique de cierre es de 4,3 metros. Por todo ello, según el ábaco de dimensionamiento, tanto los taludes interiores como exteriores tendrán una relación de pendiente de 1.5H:1V, garantizando así, la estabilidad del dique de cierre y su cimiento.

Capítulo 4. NECESIDADES HÍDRICAS. CAPACIDAD DE LA

Balsa A PROYECTAR

4.1 NECESIDADES HÍDRICAS

Para el correcto dimensionamiento del sistema que se quiere implantar es necesario calcular el requerimiento de agua por parte del cultivo. En este caso, únicamente se van a realizar los cálculos para el cultivo de maíz en toda la parcela. Como se ha comentado en la introducción de este proyecto, el maíz es uno de los cereales más demandados en el país y forma parte de la alimentación básica de sus habitantes.

Para el cálculo de las necesidades hídricas se debe estudiar en primer lugar la evapotranspiración del cultivo mediante una serie de ecuaciones. Este fenómeno es el agotamiento del agua presente en el suelo debido a la suma de la evaporación superficial y la transpiración de las plantas.

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

- ET_c = Evapotranspiración del cultivo
- ET_o = Evapotranspiración de cultivo de referencia
- K_c = Coeficiente del cultivo

Se ha empleado el programa gratuito de FAO CROPWAT 8.0 para el cálculo de estos parámetros. Para ello, se han ido introduciendo los datos necesarios en el siguiente orden:

1. Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o), el programa emplea el método de FAO Penman-Monteith calculado a partir de los datos climáticos de Mount Darwin.

País		Estación					
Zimbabwe		MDarwin					
Altitud 1035 m.		Latitud 16.00 °S					
		Longitud 31.00 °E					
Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	18.5	28.3	77	264	13.0	31.0	6.04
Febrero	18.4	27.9	77	255	12.7	30.2	5.83
Marzo	17.1	28.0	76	285	12.3	28.1	5.50
Abril	14.3	27.6	63	311	11.7	24.6	5.45
Mayo	9.8	26.1	59	294	11.3	21.4	4.76
Junio	6.6	24.0	57	315	11.1	19.7	4.33
Julio	6.1	23.8	50	341	11.2	20.4	4.73
Agosto	8.1	26.2	44	374	11.5	23.1	5.90
Septiembre	12.5	29.3	41	428	12.0	26.5	7.52
Octubre	16.7	31.5	42	449	12.5	29.2	8.65
Noviembre	18.4	30.7	58	397	12.7	30.3	7.57
Diciembre	18.5	28.8	68	311	13.0	30.9	6.59
Promedio	13.8	27.7	59	335	12.1	26.3	6.07

Tabla 4: Cálculo ETo (CROPWAT 8.0)

2. En cuanto al coeficiente de cultivo (Kc) se emplean los datos específicos para el maíz. Tras un estudio acerca de la influencia de la fecha de siembra del maíz, se opta por empezar el ciclo el 16 de octubre obteniéndose la cosecha el 17 de febrero.

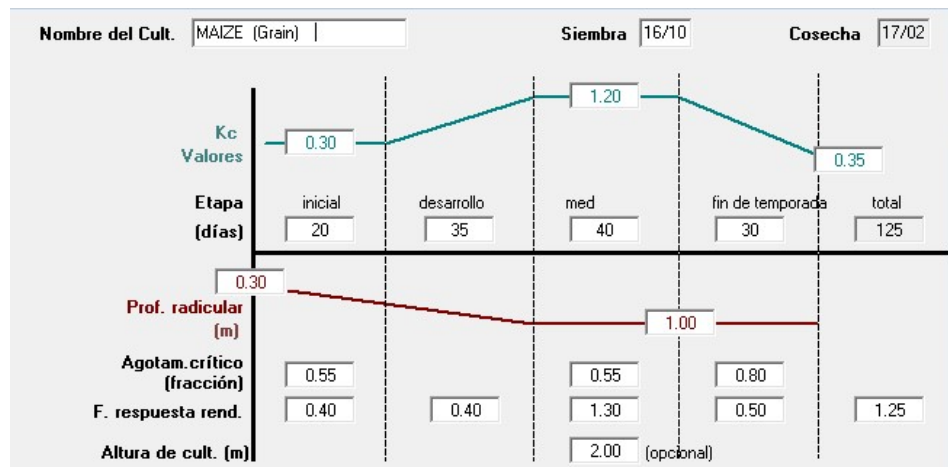


Figura 30: Coeficiente de cultivo (Kc) del maíz (CROPWAT 8.0)

3. Para el cálculo de la precipitación efectiva se emplean los datos de precipitación mostrados en la Tabla 1. Este parámetro se define como “Lluvia que se infiltra en el suelo, sin llegar a perderse por escorrentía o por filtración profunda, y permanece a disposición de las raíces de las plantas sin ahogarlas” [28].

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Oct	2	Inic	0,30	2,65	13,3	0,8	12,5
Oct	3	Inic	0,30	2,53	27,8	7,5	20,3
Nov	1	Des	0,35	2,81	28,1	13,2	15,0
Nov	2	Des	0,60	4,55	45,5	18,1	27,4
Nov	3	Des	0,86	6,24	62,4	26,4	36,0
Dic	1	Med	1,12	7,75	77,5	37,1	40,4
Dic	2	Med	1,21	8,00	80,0	46,0	34,0
Dic	3	Med	1,21	7,78	85,6	46,5	39,1
Ene	1	Med	1,21	7,56	75,6	46,7	28,8
Ene	2	Fin	1,21	7,29	72,9	48,5	24,3
Ene	3	Fin	0,98	5,88	64,6	46,9	17,8
Feb	1	Fin	0,68	4,02	40,2	46,2	0,0
Feb	2	Fin	0,44	2,54	17,8	31,9	0,0
					691,2	415,6	295,7

Tabla 5: Cálculo de ETc (mm/dec) y requerimiento de riego (mm/dec)

En la figura anterior se muestran los resultados calculados por el software. Para la obtención de las necesidades hídricas totales del maíz se emplea la siguiente fórmula:

$$Nec. Netas = ET_o \times K_c - Pre. efec$$

A la vista de los resultados, las necesidades totales del maíz son de 295,7 mm/año, o lo que es igual 2.957 m³/ha.año. Por tanto, la demanda de agua total para las 8.55 hectáreas con las que cuenta la zona de irrigación suma un total de 25.293 m³/año.

4.2 CAPACIDAD DE LA Balsa

Tras los resultados mostrados en la sección de necesidades hídricas se obtiene un requerimiento total de agua de 25.293 m³/año. Para poder satisfacer este volumen se procede a calcular tanto la altura máxima de agua (H_{maxreal}) como el área media que deberá tener la infraestructura (A). Como ya se expuso previamente en la sección 1.3 (objetivos) debido a las grandes dimensiones de la zona de cultivo no es posible cubrir la demanda únicamente mediante las precipitaciones anuales. Para hacer frente a este problema se requiere de una reserva de agua que tendrá que ser aportada mediante una fuente externa.

Al parecer, por la información recopilada, parece ser que existe un pozo en el orfanato de CFA que puede ser el punto de obtención de agua para el almacenamiento en la balsa. De todas formas, se desconocen los caudales que puede aportar dicho pozo. Es evidente, que el volumen a almacenar en la balsa depende del caudal que sea capaz de proporcionar. En principio, si el pozo tuviera una capacidad de suministro mayor que los requerimientos de caudal necesario para riego, no haría falta ningún punto de almacenamiento como la balsa. En el caso de que no sea capaz de proveer durante la época de riego el necesario caudal, la diferencia entre la capacidad de suministro del pozo y las necesidades del riego sería el agua para almacenar en la balsa. Dado que no se dispone de información, en este proyecto se ha asumido la hipótesis más desfavorable, y es que el agua, debe estar almacenada previamente para poderla utilizar de forma neta en regadío. Lo que quiere decir es que durante la época de regadío el pozo no está aportando agua para el cultivo sino, para otros fines. Por este motivo, las dimensiones de la infraestructura son un máximo, en el momento que se sepa que caudales puede aportar el pozo en las épocas necesarias y, que parte de ese caudal se puede utilizar para regadío, se podrán adaptar las dimensiones de la balsa, que estaría localizada en el mismo emplazamiento de tamaño reducido, pero con los mismos beneficios.

En conclusión, a los efectos de este proyecto y de forma muy simplificada, se supone que durante la época en que no hay regadío es cuando se llena la balsa y, por lo tanto, este es el caudal necesario. Para los cálculos hidráulicos que se harán posteriormente, se va a suponer que el volumen de reserva será suministrado durante 6 horas, 5 días al mes.

La siguiente tabla muestra el balance mensual de agua para el primer año de cultivo:

Mes	Vol.Nece (m3)	Lluvia (mm)	Vol.Lluvia (m3)	Balance Mensual (m3)	Nece.Acumulada (m3)	Vol.Acumulado (m3)	Balance Total (m3)
Marzo	0,00	86,70	597,28	597,28	0,00	21.953,18	21.953,18
Abril	0,00	28,90	199,09	199,09	0,00	22.152,27	22.152,27
Mayo	0,00	5,20	35,82	35,82	0,00	22.188,09	22.188,09
Junio	0,00	0,90	6,20	6,20	0,00	22.194,29	22.194,29
Julio	0,00	1,20	8,27	8,27	0,00	22.202,56	22.202,56
Agosto	0,00	0,50	3,44	3,44	0,00	22.206,00	22.206,00
Septiembre	0,00	1,40	9,64	9,64	0,00	22.215,65	22.215,65
Octubre	2804,4	10,30	70,96	-2.733,44	2.804,40	22.286,60	19.482,20
Noviembre	6703,2	64,20	442,27	-6.260,93	9.507,60	22.728,88	13.221,28
Diciembre	9704,25	183,40	1.263,44	-8.440,81	19.211,85	23.992,32	4.780,47
Enero	6061,95	219,00	1.508,69	-4.553,26	25.273,80	25.501,01	227,21
Febrero	0,00	185,90	1.280,67	1.280,67	25.273,80	26.781,68	1.507,88

Tabla 6: Balance mensual primer año de cultivo

Una vez establecidas las necesidades de los volúmenes de agua necesarios y el emplazamiento aproximado, se ha intentado optimizar suponiendo una cierta área y, por consiguiente, una altura de lámina de agua. Se ha tratado de aquilatar de tal forma en que la balsa combine una serie de requisitos que se ajusten a los recursos de la zona y simplifiquen su construcción lo máximo posible:

- Optimizar la compensación de tierras
- Optimizar la ocupación y la altura ya que, las balsas con diques más altos requieren más materiales y, además, son más complejas desde el punto de vista de estabilidad y sus deformaciones.

Por todo ello, como el principal objetivo de este proyecto es facilitar la construcción de la balsa en una zona que carece de recursos tanto económicos como materiales, se ha tratado de limitar la altura de los diques a una cota inferior de 5 metros. De esta forma, se consigue un diseño y una ejecución más sencilla y económica que no requieren de estudios adicionales de estabilidad, ni materiales que sean especialmente resistentes, favoreciendo así, su implantación en el orfanato de CFA.

El procedimiento que se ha llevado a cabo para la optimización de las dimensiones de la balsa es el siguiente:

En primer lugar, se introduce un área y una altura máxima inicial. Mediante estos dos parámetros se calcula la reserva de agua que deberá tener la balsa al comienzo del ciclo. Una vez se obtiene esta reserva se lleva a cabo el balance mensual hasta la finalización de la cosecha comprobándose que se satisfacen las necesidades hídricas de cada mes. Como se explica al comienzo de este apartado, la reserva necesaria de agua (21.356m³) será aportada por el pozo durante los 8 meses en los que no es necesario el regadío.

Tras realizar este procedimiento los parámetros que minimizan las dimensiones de la infraestructura son los siguientes:

$$A = 83 \times 83 = 6.889 \text{ m}^2$$

$$H_{\text{maxinicial}} = 3,1 \text{ m}$$

$$H_{\text{maxreal}} = \text{NMN}(\text{Nivel Máximo Normal}) = 3,22 \text{ m}$$

$$\text{Vol. Max} = 22.216 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Reserva} = 21.356 \text{ m}^3$$

Los 1.507 m³ sobrantes de agua obtenidos en el mes de febrero permiten ir reduciendo considerablemente el aporte inicial de agua a medida que avanzan los años de uso de la infraestructura.

Capítulo 5. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ESCOGIDA

5.1 UBICACIÓN DE LA Balsa

Como se indicaba en la introducción de esta memoria, la topografía de la zona descarta la posibilidad de construir un embalse/presa debido a la falta de una cerrada (Fig.14). Se ha intentado optimizar el emplazamiento de la balsa en función de la topografía reinante y de las características del terreno. Dado que la información de la zona es limitada en estos momentos y, tal y como se ha comentado en el apartado 3.3, se supone que habrá al menos unos 3 metros de recubrimiento de suelos, por lo tanto, excavables, en una topografía que es suavemente descendente hacia el noreste. Debido a esta suave topografía se ha intentado compensar los volúmenes de tierra a excavar y a utilizar como relleno para los diques de la balsa. El encaje de la balsa (rojo) ha sido el siguiente:

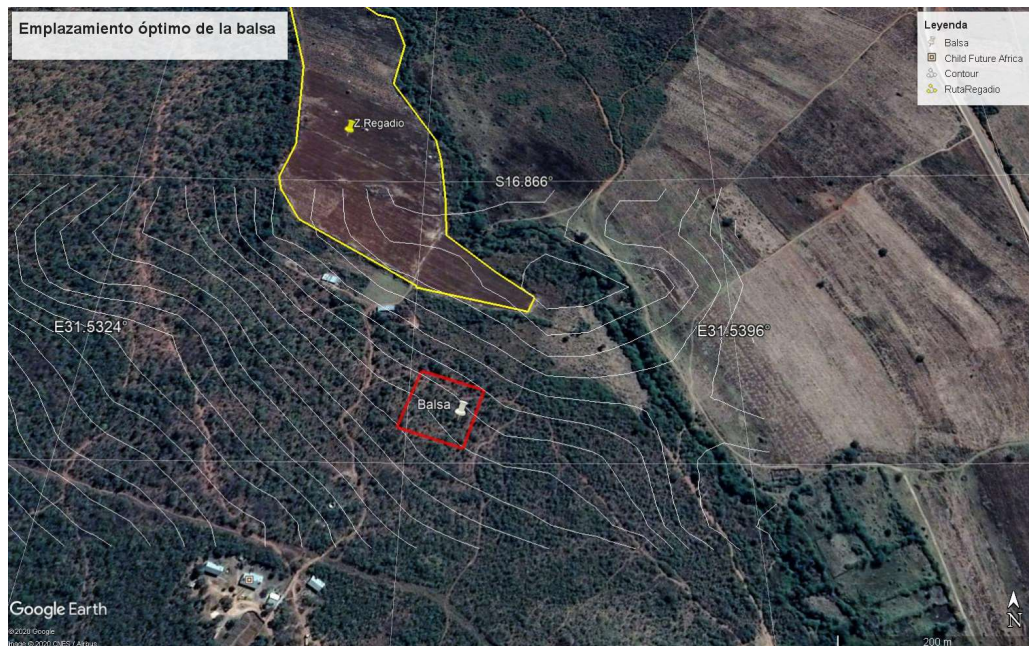


Figura 31: Emplazamiento óptimo de balsa de regadío (Google Earth Pro)

Se ha tratado de optimizar el balance de tierras de manera que se pueda utilizar todo lo posible de la excavación en rellenos y al mismo tiempo cumpliendo con la ocupación del área en la topografía más confiable y el volumen necesario. Como se ve en los planos 3 y 3.1 del documento de planos, se ha intentado compensar el movimiento de tierras, aunque probablemente, será necesario extraer un préstamo que, si se cumple con las hipótesis realizadas en cuanto a la estratigrafía de la zona, podrá proceder de cualquier sitio cercano y no se estima que haya ningún problema al respecto. No obstante, aun estando muy optimizada geoméricamente, podría quizá, conseguirse una mayor economía si se comprueba en el futuro que el espesor de suelos de materiales realmente excavables es mayor al supuesto ya que, los medios de la zona muy probablemente no permitan realizar excavaciones en roca de forma productiva.

Debido a la falta de recursos en la zona, la ubicación de la balsa se ha escogido para ejecutar las obras con los medios más sencillos y de la forma más económica posibles. Para ello, se exponen a continuación los puntos que se han tenido en consideración para el correcto emplazamiento de la balsa:

1. Aproximación de la balsa a la zona de regadío. De esta forma, al encontrarse la infraestructura aguas arriba, se aprovecha la gravedad para el bombeo de agua reduciéndose así las pérdidas de carga. Además, al estar tan próxima a esta zona se consigue una reducción en la longitud de las conducciones necesarias. Tanto las pérdidas de carga como la disminución de las tuberías permiten abaratar los costes considerablemente.
2. La balsa se ha situado cercana a un límite de la parcela para que no se dificulte la ejecución de posibles actuaciones futuras de otro tipo.
3. Se ha escogido una zona que se encuentra próxima al cauce de un río facilitando así cualquier labor de desagüe que sea necesaria.

4. Como se ha explicado anteriormente, se ha escogido una zona donde la topografía tenga una pendiente suave y más o menos constante sin grandes irregularidades. Esto permite evitar variaciones bruscas en la altura del dique de un lado a otro y por lo tanto permite obtener una mejor compensación de desmonte y terraplén, así como un perfil más homogéneo, sin cambios bruscos en su altura.

5.2 TIPOLOGÍA DE LA Balsa

A la hora de clasificar el tipo de balsa que se desea construir se suelen seguir dos criterios fundamentales: la existencia o no de un material de impermeabilización artificial y la estructura de los diques de cierre.

Para aquellos casos, en los que el elemento de impermeabilización artificial no es necesario, son los propios materiales empleados en la construcción de la obra los que, debido a sus propiedades de impermeabilidad, aportan la estanqueidad al dique de cierre. En función de la tipología se pueden distinguir dos tipos de dique:

- Dique homogéneo: Aquellos donde el material que se emplea para la construcción es uniforme, aportando, tanto las propiedades de resistencia como de impermeabilización requeridas.
- Dique heterogéneo: A diferencia con el dique anterior, el cuerpo estructural se encuentra formado por materiales distintos agrupados de diversas formas según la zona y las características requeridas. En este tipo de diques, los materiales más permeables ejercen la función de estabilizadores mientras que, los más finos se emplean como núcleo impermeable.

En cuanto a los diques con elemento de impermeabilización artificial se pueden distinguir los siguientes tipos:

- Geomembrana (GBR-P)
- Pantalla asfáltica, de hormigón o de gunita

De acuerdo con la información geológica y geotécnica disponible (véase capítulo 3), los suelos de la zona parecen estar formados, hasta una profundidad supuesta de unos 3 metros, por unas arcillas limosas de baja plasticidad (CL). Estos materiales, como se ha justificado anteriormente en el capítulo de geología y geotecnia, son suficientemente impermeables como para suponer que se va a construir una balsa de materiales homogéneos y que probablemente, no requiera de ninguna impermeabilización adicional. Esto, sumado a la existencia de volúmenes suficientes de material impermeable en las inmediaciones de la zona (<1km), hace que este tipo de dique sea la solución más acertada puesto que ofrece una construcción más simple y económica.

No obstante, a los efectos de este proyecto y dada la escasez de información al respecto, se considera prudente utilizar una geomembrana como elemento impermeable, algo muy habitual en este tipo de construcciones. Si en el momento de ejecutar las obras, una vez realizados los ensayos pertinentes, se comprueba que el terreno efectivamente es suficientemente impermeable, la membrana podría ser eliminada consiguiendo un abaratamiento de costes.

Las figuras que se muestran a continuación han sido obtenidas del manual de CNEGP, en donde se representan las distintas secciones tipo de dique de cierre según su altura y la utilización de elemento de impermeabilización artificial.

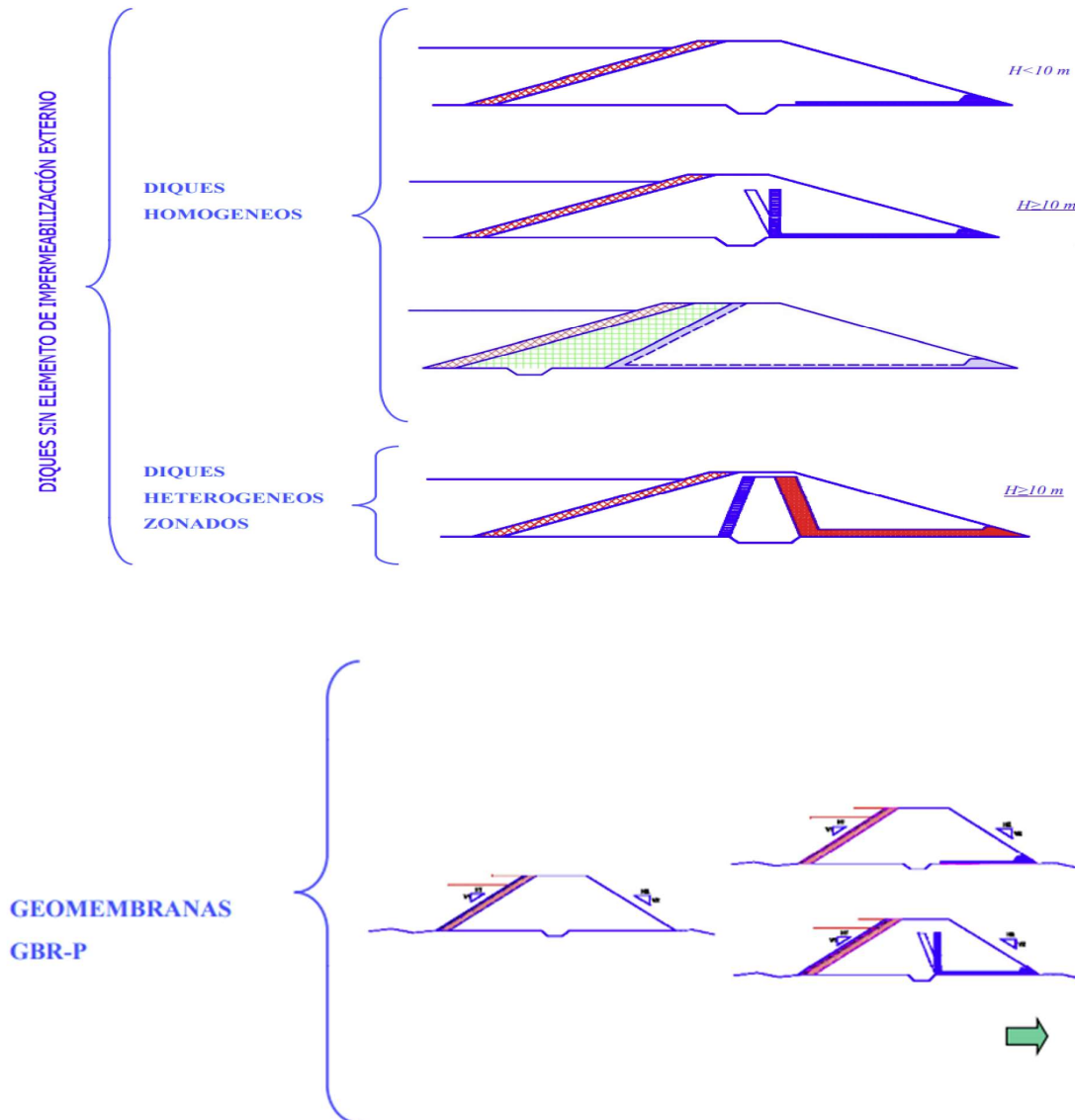


Figura 32: Secciones tipo de dique de cierre [26]

Como se ha explicado y justificado previamente en el capítulo de necesidades hídricas, se ha tratado de, según la demanda de agua requerida por el cultivo, optimizar las dimensiones de la balsa. Mediante un balance entre estas dos variables, se concluye que la altura máxima de lámina de agua debe ser a una altura de dique de 3,22 metros resultando el área de la balsa en 6.889m². De esta forma, y teniendo en cuenta que el resguardo será de 1,1 metros (apartado 5.3.1), se observa en la Fig.27 que, al ser la altura de dique inferior a 10 metros,

se consigue una sección tipo mucho más simple y económica sin necesidad de incluir elementos complejos y costosos como un dren chimenea o un dique zonado.

Cuando se lleva a cabo una presa o embalse, debido a la capacidad de filtrado que tiene el agua, en el dique se produce lo que se conoce como una red de filtración. Debido a esto y a que el agua fluye de alturas piezométricas elevadas a otras más pequeñas, la utilización de un dren hace que el agua optimice su camino formando una red de flujo que desemboca en el dren. De esta forma, se imposibilita la salida del agua por el medio del talud previniendo así la aparición de la erosión interna. Para aquellas presas con una altura de dique inferior a 10 metros es más probable que con la construcción de un dren horizontal sea suficiente. Sin embargo, a partir de una cierta altura de presa (≥ 10 metros) es necesario instalar un dren chimenea para garantizar que se forma esta red de flujo.

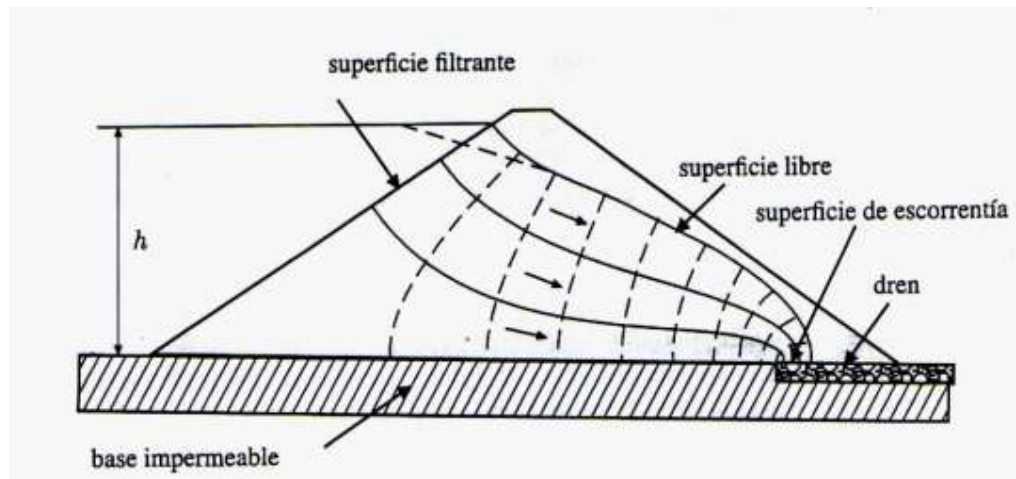


Figura 33: Ejemplo de red de flujo con dren horizontal [29]

Por lo tanto, por todo lo mencionado en este capítulo, la sección tipo que deberá tener la balsa será la de un dique con impermeabilización de geomembrana (GBR-P) con una inclinación de talud interior y exterior de 1.5H:1V. Al tratarse de un dique de altura inferior a 10 metros se considera necesario incorporar un dren horizontal similar al mostrado en la primera sección de la Fig.27. La siguiente figura muestra más en detalle la sección tipo escogida:

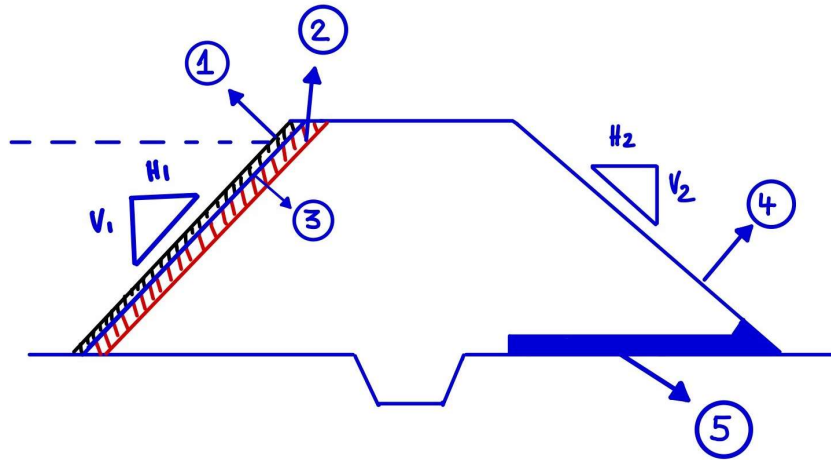


Figura 34: Dique con impermeabilización con geomembrana (GBR-P) y dren horizontal Fuente: Propia

1. Geomembrana
2. Geotextil en aguas arriba (elemento de protección contra la erosión debido al oleaje)
3. Soporte base de impermeabilización
4. Elemento de protección aguas abajo. Al igual que en el talud de aguas arriba se podría hacer uso de un geotextil para proteger al dique contra la erosión provocada por la lluvia. Sin embargo, para economizar la obra se considera suficiente con plantar especies vegetales que sirvan como “barrera” protectora.
5. Dren horizontal

Según el manual, es recomendable que el dren horizontal tenga un espesor mínimo de 0,5 metros y que se utilicen materiales que cumplan con las condiciones requeridas.

- Los materiales empleados para la construcción de este elemento deben de ser mucho más permeables (arenas con gravas) que los que conforman el dique.
- Para que no haya problemas de infiltraciones de estos materiales en el dique han de cumplir una serie de condiciones granulométricas:
 - $D_{max} < 20\text{mm}$
 - % pasa tamiz UNE 0.08 $< 5\%$
 - Coeficiente de uniformidad, C_u entre 4 y 20

En el caso de que el material a utilizar no cumpla con las características descritas se podrá hacer uso de un geotextil como elemento de filtrado.

5.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

5.3.1 RESGUARDO

Cuando se lleva a cabo el diseño y construcción de infraestructuras con estas características, es importante mantener la seguridad durante todos sus años de vida útil. Para ello, en el diseño de la balsa se debe prever y solucionar todos los escenarios que puedan poner en riesgo tanto la integridad de la balsa como sus alrededores. El desbordamiento del agua embalsada es una de las situaciones que más peligro acarrea puesto que, puede suponer la aparición del fenómeno de erosión interna en los taludes de aguas abajo, afectar gravemente la estabilidad del dique de cierre.

Para evitar esta situación, se emplea el resguardo como medida de seguridad. Suele estar definido como la diferencia de alturas entre el nivel máximo de lámina de agua y la altura de coronación del dique de cierre. Tanto en el artículo 55.6 de La Instrucción de Grandes Presas como en el manual de CNEGP esta distancia ha de tener en consideración dos puntos clave:

- Cota en la que se sitúa el aliviadero
- Altura máxima afectada por el oleaje

Para el cálculo del resguardo se consideran dos escenarios posibles para saber tanto el valor mínimo como el normal (≥ 1 metro) que ha de tener este elemento de seguridad.

$$R_{Normal}(m) = Z_{cor} - NMN \geq r_1 + 1,5r_2$$

$$R_{Mínimo}(m) = Z_{cor} - NME \geq 1,5r_2$$

Siendo:

$$r_1 = (\text{Nivel Máximo Extraordinario}) - (\text{Nivel Máximo Normal}) = NME - NMN = 3,53 - 3,22$$

r_2 : Altura de ola (m).

$$r_2 = 0,9 \times \sqrt[4]{F}$$

F: Fetch (km) =Cuerda más larga de la balsa= 0.083Km

Nota*: En el manual queda indicado que el coeficiente que acompaña a la ecuación previa es 1.2, sin embargo, algunos otros proyectos reales consultados de balsas sugieren que el valor puede ser entre 0.6 y 0.9. Para este trabajo se va a utilizar la fórmula de altura máxima de ola del reconocido ingeniero español Ramón Iribarren con un coeficiente de 0,9.

Obteniéndose un $R_{\text{Mínimo}}=0.78\text{m}$ y un $R_{\text{Normal}}=1,1$ metros. Dentro de este intervalo se decide establecer un resguardo de 1,1 metros con el fin de dotar a la estructura de una mayor seguridad frente a desbordamientos.

En el plano nº 2.5 se muestra la sección del tipo con todas las acotaciones de los parámetros necesarios para llevar a cabo estos cálculos.

5.3.2 ANCHURA DE CORONACIÓN

La anchura de coronación en una presa o balsa se define como la longitud entre los taludes interiores y exteriores. Esta distancia (A_c), es función de la altura de los diques ($H_o=NMN+R(N_{\text{Norm}})$), incluyendo el resguardo, pudiendo ser calculada a través de la siguiente ecuación:

$$C(m) = 3 + \frac{H(m)}{5}$$

La distancia de coronación entre taludes tiene que ser tal, que proporcione la estabilidad de los diques de cierre y sirva como camino a lo largo de todo el perímetro de la balsa. El camino perimetral sirve para llevar a cabo labores de mantenimiento y seguridad una vez puesta en marcha la actividad de la estructura. Además, se busca que la anchura sea lo más pequeña posible para obtener unos diques de menores dimensiones y, en consecuencia, economizar la obra. En el plano nº2 se visualiza la planta.

$$C(m) = 3 + \frac{H_o(m)}{5} = 3 + \frac{(3.22 + R_{NORM})}{5} = 3 + \frac{4.3}{5} = 3.86 \approx 4m$$

Capítulo 6. ELEMENTOS REQUERIDOS

6.1 ELEMENTO DE IMPERMEABILIZACIÓN Y GEOTEXTIL

Como se ha explicado en el capítulo anterior, se ha llegado a la conclusión de que la sección tipo más adecuada para la infraestructura será la de un dique con impermeabilización con geomembrana. Mientras que, mediante los ensayos descritos previamente, no se demuestre que el terreno de la zona cuenta con las características requeridas de impermeabilidad, se ha preferido adoptar una postura más conservadora. Si, una vez realizados los ensayos pertinentes, se corroboran las hipótesis efectuadas, el material de impermeabilización podrá ser eliminado del diseño de la obra abaratando los costes considerablemente.

Para dotar a la estructura de una buena impermeabilidad se ha escogido como elemento artificial la geomembrana, uno de los métodos más habituales en este tipo de obras. Sin embargo, otros métodos para lograr la impermeabilización, y ya mencionados previamente en el apartado de “tipología de balsa”, son las pantallas asfálticas y de hormigón o gunita. Estos tres elementos conceden a la estructura una buena impermeabilidad, pero al ser pantallas formadas principalmente por hormigón, cuentan con propiedades de rigidez muy elevadas ocasionando el agrietamiento de estas cuando se producen fallos en la estabilidad del dique o la aparición de asientos. Por este motivo, el uso de estas soluciones es poco frecuente en la construcción de balsas y es recomendable utilizar sistemas de impermeabilización con geomembranas debido al gran número de propiedades que poseen.

En este capítulo, se hace hincapié en los sistemas de impermeabilización disponibles en el mercado y, mediante una serie de justificaciones, se lleva a cabo una elección del elemento más apropiados según las características requeridas. Como se observa en la Fig.29 en todas las secciones tipo de dique de cierre, independientemente del uso o no de un elemento de impermeabilización, es necesario incluir un geotextil protector. La siguiente imagen muestra las diferencias y clasificación de estos dos geosintéticos.

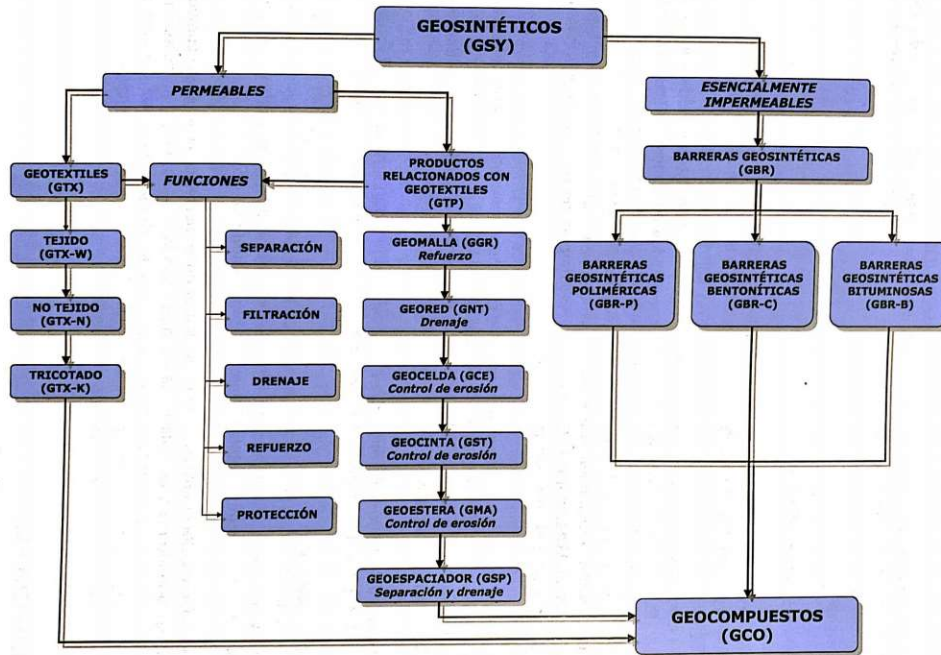


Figura 35: Clasificación Geosintéticos (UNE-EN ISO 10318 según CEN-TC-189) [26]

6.1.1 GEOMEMBRANAS

Dentro de las barreras geosintéticas disponibles que aportan impermeabilidad a la balsa, las más recomendables son las poliméricas. Las láminas que forman estas geomembranas suelen estar formadas principalmente por un tipo de polímero (elastómero, cauchos termoplásticos y termoplásticos) acompañados de los aditivos correspondientes para optimizar las propiedades de este. Los materiales sintéticos empleados para la confección de las láminas se dividen en tres grupos dependiendo del número de materiales empleados o la inserción de refuerzos como tejidos o fibras.

PROPIEDAD	MATERIAL													
	EVA/C	PEAD	PELBD	PEMBD	PEC	PIB	PVC-P	TPO	PP	CSM	CR	IIR	EPDM	POE
Refuerzo				SI		SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI
Características de tracción	B	E	E	E	A	B	A	A	B	B	A	A	A	B
Resistencia al desgarro	E	E	E	E	A	B	A	B	E	E	R	R	R	E
Punzonamiento														
Dinámico	A	E	B	B	B	B	B	B	B	B	R	R	R	B
Estático	E	R	A	E	B	B	B	E	B	R	E	E	E	E
Resistencia radiaciones UV	B	E	B	A	B	B	A	B	B	B	E	E	E	E
Resistencia al ozono	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	R	R	B	E
Resistencia de la soldadura														
Soldabilidad	B	B	B	E	E	B	E	E	A	A	R	R	R	E
Pelado	B	E	E	E	B	B	B	B	B	B	R	R	R	B
Facilidad de instalación	B	E	E	E	E	B	E	E	B	B	B	B	B	E
Reparabilidad	A	E	E	E	E	A	E	E	A	R	R	R	R	E

Donde: R, Regular. A, Aceptable. B, Bueno. E, Excelente.

Figura 36: Cuadro de características para distintas geomembranas [26]

Según las condiciones climatológicas de la zona y el uso que se le vaya a dar a la balsa, las geomembranas deberán tener una serie de propiedades para garantizar su durabilidad y rendimiento. Para la membrana a utilizar en la balsa, si se comprueba que efectivamente es necesaria, se ha optado por emplear el policloruro de vinilo plastificado (PVC-P). Este material, como se observa en la tabla anterior, tiene unas características aceptables y suficientes en todas sus propiedades. Además, al ser uno de los materiales más baratos y, debido a la escasez de recursos económicos con los que se cuentan en este proyecto, se considera la decisión más beneficiosa. Será necesario emplear ciertos aditivos que aumenten la durabilidad de la geomembrana, puesto que, al instalar la balsa en una zona como Zimbabue donde las temperaturas son muy elevadas y, teniendo en consideración que la estabilidad de este material frente al calor es limitada, la lámina podría sufrir roturas que pusiesen en peligro la integridad de la estructura.

Aunque la aplicación y especificaciones técnicas de las geomembranas de impermeabilización no estén sujetas a ninguna norma europea, la tabla 7 muestra los

requerimientos mínimos que han de cumplir las geomembranas de PVC-P utilizadas en balsas.

Características	PVC-P
Resistencia a la tracción, N/50mm, min	1100
Alargamiento en el punto de carga máxima, %, mín	15
Doblado a bajas temperaturas (-20°C)	Sin grietas
Resistencia al desgarro, N	130
Resistencia al impacto dinámico:	
Altura del percutor, mm, min	500
Resistencia al punzonamiento:	
Recorrido del percutor, mm, min	12
Espesor mínimo	>1,5mm

Tabla 7: Requerimientos mínimos a exigir a geomembrana homogénea y reforzada de PVC-C (ensayos según norma UNE EN 13 361 y UNE 104 307)

6.1.2 GEOTEXTILES

Los geotextiles a diferencia que con las barreras geosintéticas son permeables (Fig.32) y su función es la de otorgar a la balsa protección y filtrado. Para la tipología que hemos escogido el geotextil irá apoyado en el talud interior para proporcionar únicamente protección. Estará constituido por fibras u otro tipo de filamentos para conceder a la lámina permeable una elevada resistencia y, por tanto, ofrecer otras ventajas como:

- Menor desgaste de la barrera geosintética impermeable
- Protección frente al oleaje del agua evitando así la erosión (Función principal)
- Absorber los esfuerzos producidos por la aparición de grietas
- Funcionalidad de drenaje bajo la geomembrana

Al igual que con los geosintéticos impermeables, existen valores mínimos requeridos que han de cumplir estos elementos para garantizar su correcto funcionamiento. Las especificaciones dependen de varios factores, entre ellos, el espesor que vaya a tener la geomembrana impermeable, las características del terreno y la pendiente del talud de aguas abajo. Teniendo en cuenta que la geomembrana impermeable tendrá un espesor de 1,5mm

para conseguir reducir el precio de la obra las especificaciones mínimas, según la norma UNE-EN 13254, que deberá tener el geotextil son las siguientes:

Características	Unidad	Método de ensayo	Valor mínimo absoluto
<i>Resistencia a la tracción</i>	kN/m	UNE EN ISO 10319	≥ 19
<i>Alargamiento a carga máxima</i>	%	UNE EN ISO 10320	$50 \leq E \leq 100$
<i>Eficacia de protección (300kPa)</i>	%	UNE EN ISO 13719	≤ 2
<i>Resistencia a la perforación dinámica</i>	mm	UNE EN ISO 13433	≤ 24
<i>Durabilidad</i>		UNE EN 13254	25 años

Tabla 8: Mínimos absolutos requeridos para geotextil de protección para geomembrana impermeable de 1,5mm de espesor. [26]

Capítulo 7. DISEÑO HIDRÁULICO

En esta sección del proyecto se realiza un análisis acerca de los distintos sistemas hidráulicos disponibles y, mediante una serie de justificaciones, se seleccionan los dispositivos que más encajan con el diseño de balsa propuesto con el objetivo de economizar y simplificar las obras futuras.

Los tres sistemas que se van a estudiar son:

- Entrada de agua
- Aliviadero
- Dispositivo salida de agua
 - Tomas
 - Desagües de fondo

7.1 ENTRADA DE AGUA

Las entradas de agua han de estar correctamente diseñadas para evitar que, con cualquier valor de caudal que vaya a ser utilizado, se produzcan desperfectos en la estructura. Al haber considerado el uso de una geomembrana para la impermeabilización de la balsa, las entradas de agua pueden dividirse en tres grupos según el lugar por donde se realice el vertido. Según el manual de CNEGP la clasificación para los distintos tipos de sistema es la siguiente:

1. Entrada por coronación
 - a. Vertido sobre un canal, liso o escalonado
 - b. Vertido directo sobre geomembrana
 - i. Tubería en pico de flauta
 - ii. Mediante arqueta
2. Entrada por talud
3. Entrada por el fondo

- a. Mediante codo de 90° por el fondo de la balsa
- b. Mediante arqueta
- c. Mediante tubería en pico de flauta
- d. Mediante galería visitable

Ha debida cuenta del carácter de este proyecto, que simplemente establece las bases de la factibilidad, y de la limitada información disponible, se estima que la solución idónea para la entrada de agua será la de un vertido mediante tubería en pico de flauta. Este sistema además de ser uno de los más económicos, ya que no precisa de obras adicionales que modifiquen la estructura de los diques, requiere de una ejecución sencilla. Esto se debe a que, gracias al diseño óptimo que se ha llevado a cabo para conseguir una buena compensación en el movimiento de tierras, la tubería vendrá prácticamente enrasada con el terreno, facilitando así las obras (plano nº5.1).

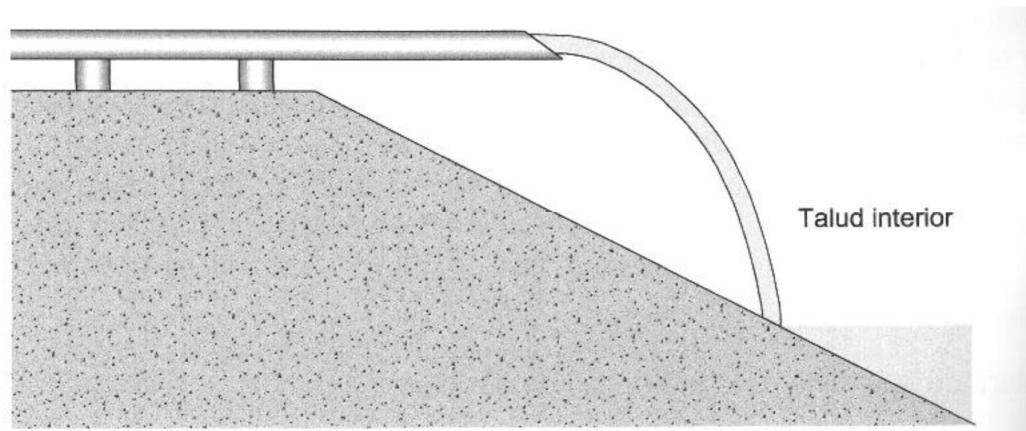


Figura 37: Vertido directo sobre geomembrana mediante tubería en pico de flauta. [26]

Como se ha comentado brevemente en el apartado 4.2 (Capacidad de la balsa) las necesidades hídricas demandadas por el área de cultivo son muy elevadas. Por este motivo, las precipitaciones de Mt. Darwin no se consideran suficientes y se requiere de una aportación externa de 21.356m³ de agua para cubrir la demanda. Para el diseño de esta balsa, que es un ejercicio para dejar todo abierto a que se pueda ejecutar de forma optimizada en un futuro, se ha adoptado, desde el punto de vista hidráulico, una postura francamente

conservadora, que consiste en suponer que la fuente externa de agua (pozo) que se tiene, es desconocida. Además, tal y como se ha mencionado previamente, se ha realizado la hipótesis de que, al no saber el caudal que es capaz de aportar el pozo, el agua será almacenada durante los ocho meses previos al riego del cultivo. De esta forma, al haber supuesto el caso más desfavorable, el caudal es irrisorio, lo que justifica que todos esos meses de llenado se puedan llevar a cabo con una tubería de pequeño diámetro.

Por tanto, para los 8 meses en los que se llena la balsa y, teniendo en cuenta la periodicidad con la que se bombea, el caudal de entrada es:

$$Q_e = \frac{21356\text{m}^3}{8 \text{ meses}} \times \frac{1\text{mes}}{5\text{días}} \times \frac{1\text{día}}{6\text{horas}} \times \frac{1\text{hora}}{60\text{mins}} \times \frac{1\text{min}}{60\text{s}} = \frac{0.02471\text{m}^3}{\text{s}} = 24.71\text{l/s}$$

La figura 36 proporciona el caudal máximo que se puede obtener en pozos en función de la permeabilidad del terreno, el diámetro del pozo y de la longitud de rejilla (longitud de la captación dentro de la tubería del pozo). Suponiendo que el pozo que se va a emplear como suministro de agua tiene un diámetro de entre 300 y 450mm, cosa que es bastante habitual, y una permeabilidad razonablemente media entre 10^{-3} y 10^{-4} , tendríamos un caudal de unos 3l/s por metro de rejilla, lo que equivaldría a un pozo muy convencional con 8 metros de rejilla. Con lo cual, al carecer de información, se estima que el caudal calculado está acorde con los valores tipo que pueden extraerse de los pozos tradicionales.

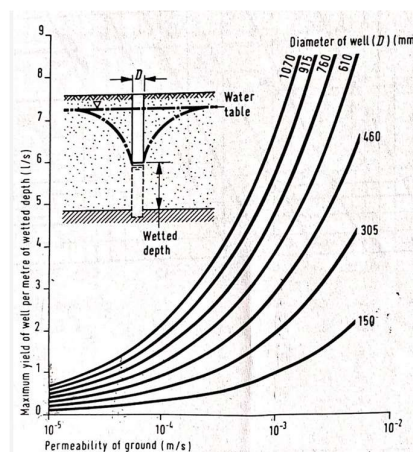


Figura 38: Rendimiento máximo en pozos Fuente: CIRIA

Para el dimensionamiento del diámetro de la tubería de vertido se ha estimado que la velocidad de salida debe ser igual a 1m/s. El motivo de esta suposición es que, en las entradas de agua de vertido directo sobre geomembrana, la velocidad de salida ha de ser lo más cercana a 1m/s para prevenir daños cuando el fluido impacte sobre la lámina. Para aumentar la seguridad y alargar la vida útil de la geomembrana se ha supuesto una velocidad de vertido de 0.8m/s. Por todo ello, el diámetro de la tubería se calcula como:

$$Q_e = v \times A = v \times \frac{\pi \times D_{ent}^2}{4}; D_{ent} = 0.20m = 200mm$$

A efectos de este proyecto al carecer de datos acerca de la capacidad de bombeo y localización del pozo, se ha llevado a cabo únicamente el diseño de la tubería de vertido sobre la balsa. En la siguiente fase de este trabajo, cuando se tenga información sobre el caudal que es capaz de proporcionar el pozo y su ubicación exacta, se podrá optimizar el dimensionamiento de la balsa. Por último, cabe mencionar que, a medida que aumente este caudal, se irá reduciendo el volumen de la infraestructura ya que, se podrá simultanear el funcionamiento del pozo con la salida de agua de la balsa.

7.2 ALIVIADERO

Los aliviaderos son elementos esenciales que aportan seguridad en la construcción de presas y balsas. Su objetivo principal es que el agua embalsada no alcance la altura de coronación produciéndose su desbordamiento. Con el fin de lograr este objetivo es necesario que el dimensionamiento sea el correcto teniendo en cuenta las características de la infraestructura y el caudal de estudio.

Los tipos de aliviadero más utilizados son:

1. Aliviaderos en tubos
2. Aliviaderos en marco o canal
3. Aliviaderos en badén
4. Aliviaderos en torre

Para la infraestructura a construir se ha optado por instalar un aliviadero en badén ya que, es el método más económico debido a la sencillez de su instalación. Se trata básicamente en realizar un canal mediante la reducción de la cota de coronación por donde el agua fluye hasta alcanzar el pie del talud exterior. Cuando el fluido llega a esta zona se dispone de un cuenco amortiguador cuya finalidad es reducir la energía con la que cae el fluido, evitando así la erosión del talud. Además, para una mayor seguridad se estima necesario emplear un geotextil de protección como el indicado en el apartado 6.1.2 a lo largo del canal superficial. En el plano nº 6 se observan todos los detalles del aliviadero.

Para el diseño de este tipo de aliviadero esta estandarizado que el sistema debe de ser capaz de evacuar el caudal máximo proveniente de la entrada de agua (Q_e) más el volumen de agua producido por el aguacero más desfavorable para un retorno de 500 años ($P_{500(24h)}$)

$$Q = Q_e + Q_p$$

Q_e : Este caudal se refiere al caudal máximo previsto en la entrada de agua, siendo este el volumen de reserva aportado por el pozo durante los 8 meses en los que no hay regadío. Por tanto, para estos meses el caudal es $Q_e=529.8 \text{ l/min}=0.00883\text{m}^3/\text{s}$

Q_p : Debido a la falta de datos sobre Zimbabue se ha realizado una recopilación de información sobre algunos países cercanos para dar una estimación coherente de este parámetro. Según un análisis llevado a cabo en el norte de Mozambique [30], se va a suponer que la precipitación máxima diaria para un retorno de 500 años es de $P_{500(24h)}=300\text{mm}$. Por lo tanto, y utilizando la sección media de la balsa (6.889m^2) se obtiene $Q_p=0.57\text{m}^3/\text{s}$

Debido a que Q_e es un valor despreciable se dimensiona el aliviadero teniendo en cuenta únicamente el caudal debido a la máxima lluvia, por lo que:

$$Q = 0.57\text{m}^3/\text{s}$$

Mediante la siguiente expresión se calculan las dimensiones que deberá tener el aliviadero:

$$Q = 1,7 \times b \times h^{\frac{3}{2}}$$

Siendo:

b =Ancho del aliviadero

h = Carga sobre el vertedero, siendo esta igual a $P_{500(24h)}=0,3\text{m}$

Una vez introducidos estos valores se obtiene un ancho del aliviadero de $b=2\text{m}$

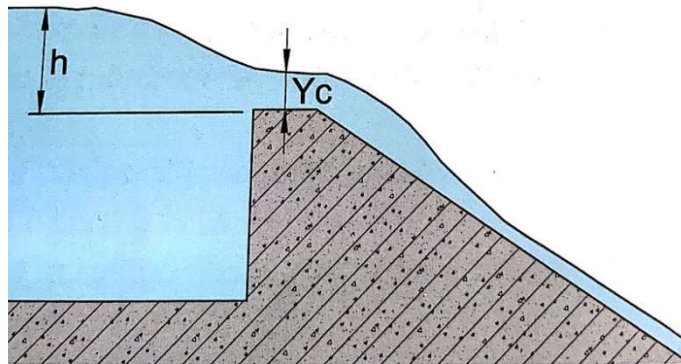


Figura 39: Vertido directo sobre lámina [26]

Tras el dimensionamiento del rebaje del aliviadero se procede a diseñar el cuenco amortiguador. Para ello, se van a seguir los pasos descritos en el manual de balsas. La siguiente figura muestra un esquema donde se señalan los parámetros necesarios para el correcto dimensionamiento del cuenco amortiguador.

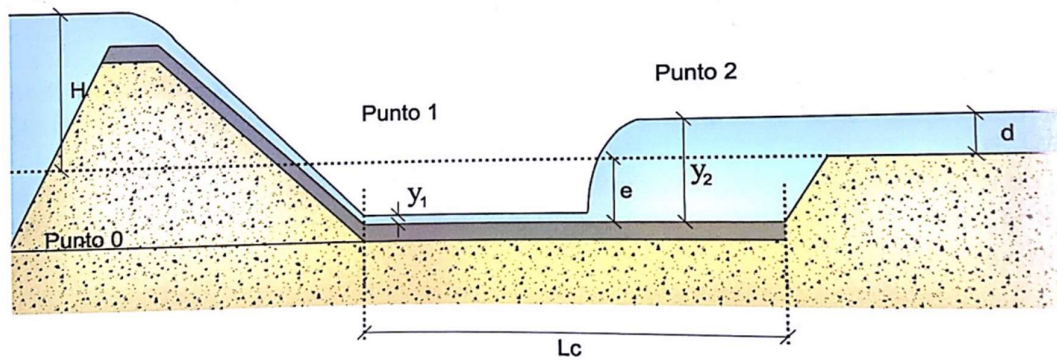


Figura 40: Dibujo de parámetros necesarios para el cálculo de cuenco amortiguador [26]

Siendo.

v_1 = Velocidad de entrada al cuenco amortiguador

La siguiente ecuación calcula la velocidad de entrada en el cuenco amortiguador, donde k es el factor por el cual queda reducida la velocidad del fluido ($k=30\%$) y H hace referencia a la altura máxima de lámina de agua más la altura correspondiente al caudal máximo del aliviadero ($H=NME=3.52m$).

$$v_1 = (1 - k) \times \sqrt{2 \times g \times (H + e - y_1)} \approx 5.8m/s$$

$$y_1 = \frac{q}{v_1} = \frac{0.57}{5.8} \approx 0.1m$$

F_1 = Número de Froude en punto 1.

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g \times y_1}} = 5.86$$

$$y_2 = \frac{y_1}{2} \times \left(\sqrt{1 + 8 \times F_1^2} - 1 \right) \approx 0.35m$$

L_c = Longitud del cuenco amortiguador

$$L_c = 6 \times y_2 = 2.1m \sim 2.5m$$

Por último, cabe añadir que el cuenco amortiguador se realizará mediante hormigón con un espesor aproximado de 25cm.

Ver plano nº6.

7.3 DISPOSITIVOS DE SALIDA DE AGUA (DESAGÜE DE FONDO Y TOMA)

7.3.1 TOMA DE AGUA

Las tomas son las conducciones por donde el agua fluye para satisfacer las necesidades hídricas demandadas. Suelen estar instaladas en cotas superiores a los desagües de fondo dependiendo de las dimensiones de la balsa con la que se esté trabajando. Se suelen clasificar en:

- Tomas flotantes
- Tomas inferiores

Dada su simplicidad de instalación, para este proyecto, se ha optado por emplear tomas inferiores como método de salida de agua. Asimismo, la entrada a la toma inferior se realizará mediante arqueta, que tendrá que estar previamente protegida por algún tipo de malla o reja para impedir el paso de escombros u materiales sueltos que puedan dañar el sistema de salida de agua.



Figura 41: Ejemplo de reja de protección o “alcachofa” [31]

Para el dimensionamiento de la toma se debe realizar la hipótesis de que, con la altura mínima de explotación (H_a), el sistema, ha de ser capaz de suministrar el caudal máximo de agua para riego. Como no se cuenta con ese balance, se ha supuesto que la altura mínima es de 0,5 metros. Por otra parte, al carecer de información acerca del sistema de regadío que se desea implantar y, por consiguiente, la programación de riego, se ha supuesto que, en los meses de demanda, el riego se efectuará una vez por semana durante un periodo de cuatro horas. De esta forma, el caudal requerido para el diseño de la toma de agua se da en el mes de diciembre ($9.704m^3$). El caudal necesario para los 4 días de riego en este mes se calcula a continuación:

$$Q_{\text{máxDiario}} = \frac{9.704m^3}{4 \times 4 \times 60 \times 60} = 0.168 m^3/s \approx 0.17 m^3/s$$

Una vez obtenidos los valores de caudal y altura mínima efectiva se procede a dimensionar la tubería de salida de agua. De acuerdo con el manual de balsas, al tratarse de un dique inferior a 10 metros de altura se puede hacer uso de una gráfica (Fig.39) en donde, según los valores de caudal y altura mínima efectiva, se obtiene el diámetro de la conducción. Con las hipótesis realizadas se obtiene un diámetro de tubería de $D_{\text{toma}}=0.3m=300mm$.

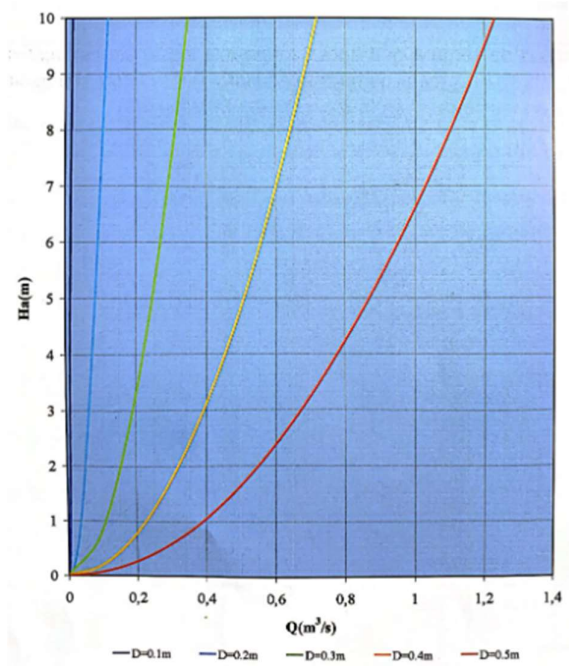


Figura 42: Curvas de gasto de una toma para balsa de hasta 10 metros de altura [26]

$$\text{Velocidad de salida máxima de agua: } V_{salM\acute{a}x} = \frac{Q_{m\acute{a}xdiario}}{\frac{\pi \times D_{toma}^2}{4}} = 1.35\text{m/s}$$

Al estar recomendado que las velocidades de salida de agua oscilen entre 0,6-2m/s se concluye en que las hipótesis realizadas son coherentes.

7.3.2 DESAGÜE DE FONDO

El desagüe, junto al aliviadero, es uno de los elementos de seguridad imprescindibles en el diseño de presas y balsas. Su función principal, es la de garantizar el vaciado total de la balsa en caso de emergencia. El tiempo de descarga, dependiendo de la capacidad de almacenamiento de la infraestructura, debe estar comprendido entre 24 o 48 horas. Cuanto mayor sea la rapidez al desaguar, mayor será la seguridad de la balsa.

Para este proyecto se ha decidido emplear una tubería de PVC de 300mm de diámetro. La longitud de la conducción utilizada será de 40 metros desde el vaso de la balsa hasta un cuenco amortiguador situado más allá del talud exterior. Esta tubería constará de un codo de

90°, más una válvula de compuerta para accionar el desagüe y permitir el paso del fluido. A continuación, se muestra un esquema del desagüe empleado y las cotas pertinentes.

A continuación, se realiza la justificación del diámetro escogido para la conducción del desagüe. Como ya se ha mencionado, esta instalación debe de ser capaz de evacuar todo el volumen de la balsa en un tiempo no superior a 48 horas.

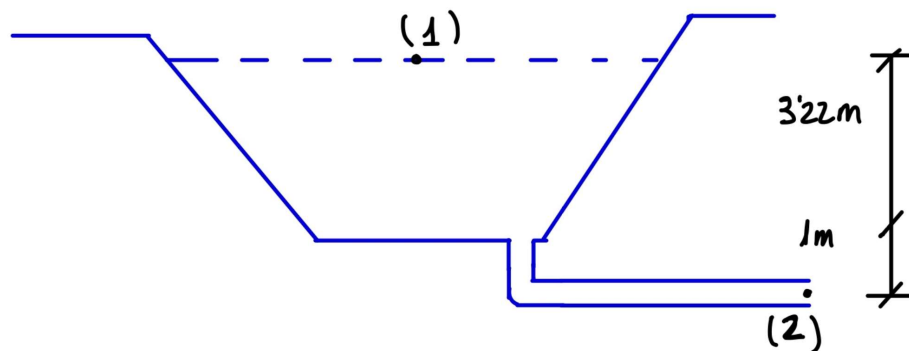


Figura 43: Esquema desagüe Fuente: Propia

En primer lugar, se aplica Bernoulli entre los puntos 1 y 2:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho \times g} + \frac{v_1^2}{2 \times g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \times g} + \frac{v_2^2}{2 \times g} + h_t$$

Siendo:

- P_i = Presión a lo largo de la línea de corriente en el punto i.
- z_i = Cota geométrica tomando como referencia la salida de la tubería de desagüe
- v_i =Velocidad media del fluido en el punto de la conducción i.
- h_t : pérdidas de carga totales

$$h_t = h_l + h_r$$

- h_l =Pérdidas de carga secundarias/localizadas. Debidas a elementos intercalados (codos, ensanchamientos, estrechamientos, válvulas, etc...).

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

En esta fórmula, K es el coeficiente adimensional asociado a cada elemento intercalado que haya en la tubería. Las pérdidas de carga localizadas son: debido a la válvula de compuerta $K_{\text{compuerta}}=0.2$, más el codo en la entrada de la tubería $K_{90^\circ}=1.15$. $K_{\text{total}}=1.35$

- h_r =Pérdidas de carga primarias debidas a la rugosidad del conducto

$$h_r = \frac{v^2}{2 \times g} \frac{f \times L}{D}$$

En esta ecuación, f es el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach. Depende del número de Reynolds (Re), es decir, de la velocidad. Dependiendo del régimen del fluido, laminar o turbulento, la ecuación que relaciona el coeficiente de fricción es distinto. Para números de Reynolds superiores a 2300 (turbulento), como es el caso, se emplea la ecuación de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.5}{Re \times \sqrt{f}} \right)$$

- ε = Rugosidad PVC=0.0015mm
- ε/D = Rugosidad relativa = 5e-6

$$\text{Número de Reynolds: } Re = \frac{v \times D_h \times \rho}{\mu} = \frac{v \times D_h}{\nu}$$

$$\text{Diámetro hidráulico: } D_h = \frac{4 \times A_{\text{mojada}}}{P_{\text{mojada}}} = D$$

Con todo esto y teniendo en cuenta que:

$$P_1=P_2 \quad v_1=0 \quad z_2=0$$

La ecuación de Bernoulli queda simplificada a:

$$z_1 = \frac{v_2^2}{2 \times g} \left(1 + 1.35 + f \frac{L}{D}\right)$$

Despejando v, se obtiene la velocidad con la que el agua es expulsada durante el desagüe de la balsa:

$$v = \sqrt{\frac{z_1 \times 2 \times g}{2.35 + f \frac{L}{D}}}$$

A continuación, se van a realizar varias operaciones con la fórmula anterior para conocer el tiempo que se tarda en vaciar la balsa. El procedimiento a seguir es el siguiente, se empezará por la altura máxima de lámina de agua ($z_1=4.22$ metros) y se irán cogiendo intervalos de metro en metro hasta llegar a la cota en la que se encuentra el vaso de la balsa ($z_{vaso}=1$ metro). Los cálculos por cada tramo se realizarán con la cota inferior, es decir, si mi primer tramo es 4.22 a 3.22 se supondrá que nos encontramos a 3.22 metros.

Debido a que se el fluido se encuentra en régimen turbulento se va a trabajar con la ecuación de Colebrook y, por tanto, es necesario realizar varias iteraciones hasta conseguir que la velocidad se mantenga fija. Para comenzar las iteraciones se va a suponer un coeficiente de fricción de 0.015.

Tramo 4.22m y 3.22m

4,22-3,22m	f	v(m/s)	Re
1	0,015	3,81095	1143285
2	0,011499	4,0335	1210050
3	0,011395	4,04073	1212219
4	0,011392	4,04093	1212279

Tabla 9: Iteración tramo (4.22-3.22m)

$$Q_{des} = v \times A = v \times \frac{\pi D^2}{4} = 0.286m^3/s$$

$$\text{Vol entre cotsa 4.22 y 3.22} = 7444.99\text{m}^3$$

$$\text{tiempo} = \frac{7444.99}{0.286} = 26064.5822\text{s} = 7.24\text{h}$$

Tramo 3.22m y 2.22m

3,22-2,22m	f	v(m/s)	Re
1	0,015	3,16433	949299
2	0,011852	3,32901	998703
3	0,011754	3,33456	1000368
4	0,011751	3,33473	1000419

Tabla 10: Iteración tramo (3.22-2.22m)

$$Q_{des} = v \times A = v \times \frac{\pi D^2}{4} = 0.2357\text{m}^3/\text{s}$$

$$\text{Vol entre cotsa 3.22 y 2.22} = 6936.31\text{m}^3$$

$$\text{tiempo} = \frac{6936.31}{0.2357} = 29426.3092\text{s} = 8.17\text{h}$$

Tramo 2.22m y 1m

2,22-1m	f	v(m/s)	Re
1	0,015	2,12376	637128
2	0,012675	2,20373	661119
3	0,012594	2,20668	662004
4	0,012591	2,20679	662037

Tabla 11: Iteración tramo (2.22-1m)

$$Q_{des} = v \times A = v \times \frac{\pi D^2}{4} = 0.156\text{m}^3/\text{s}$$

$$\text{Vol entre cotsa 2.22 y 1m} = 7799.6\text{m}^3$$

$$tiempo = \frac{7799.6}{0.156} = 50001.1s = 13.9h$$

El tiempo total de vaciado es menor de 48 horas por lo que la conducción escogida para el diseño del desagüe cumple con los requerimientos necesarios.

$$Tiempo de Desagüe = 7.24h + 8.17h + 13.9h = 29.31h$$

Capítulo 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En el presente trabajo se ha analizado la viabilidad de construcción de una balsa para el regadío del área de cultivo en las inmediaciones del orfanato de CFA, localizado en Mt. Darwin, Zimbabue. Las hipótesis realizadas, basadas en la información disponible, ciertamente escasa, indican que la construcción de la balsa sería factible con una compensación total de las tierras, es decir, no habría que traer materiales de aporte salvo aquellos especiales como los de filtro, de manera que, la obra sería viable. En todo caso hay algunas comprobaciones que se tienen que realizar que están descritas en el presente trabajo. Se han hecho hipótesis sobre la geología y la geotecnia, las necesidades de regadío y aportes de caudales, hipótesis que en principio hay que comprobar pero que sugieren que el proyecto es factible y que podría incluso simplificarse. Por ejemplo, desde el punto de vista geológico, si efectivamente los terrenos implicados se tratan de arcillas, como así sugieren los mapas empleados y, además, no son de muy alta plasticidad podría plantearse la eliminación de la geomembrana impermeable que se ha propuesto en primera instancia.

Con todas estas hipótesis realizadas, más la suposición de que el caudal externo aportado por el pozo será suministrado durante el periodo de regadío, se ha conseguido hacer un diseño óptimo de la infraestructura obteniendo unas dimensiones máximas. Teniendo en cuenta las aportaciones de agua debido a las precipitaciones anuales ($5.405.68 \text{ m}^3$) y las necesidades hídricas del cultivo de maíz en las 8,55 hectáreas de parcela (25.293 m^3), el pozo tendrá que proporcionar un volumen total de 21.356 m^3 en los 8 meses previos a las épocas de cultivo. Al final de cada ciclo de cultivo habrá un pequeño exceso de agua almacenada que irá incrementando a medida que transcurren los años, de esta forma, el volumen de agua requerido por el pozo irá disminuyendo paulatinamente. Con estos volúmenes y con las limitaciones de altura y área exigidas (diques inferiores a 5 metros) para facilitar la construcción de la balsa en una zona que carece de recursos, consiguiendo una ejecución más sencilla que no requiere de estudios adicionales de estabilidad, ni materiales

especialmente resistentes, se ha realizado una balsa cuyos parámetros fundamentales son los siguientes:

- Altura de lámina de agua: $H_{NMN}= 3,22$ metros
- Altura de lamina de agua + resguardo (altura máx dique de cierre): $H_0=4.3$ metros
- Área media de la balsa: $A_{media}=6.889$ m²
- Inclinación de taludes exterior/interior: 3H:2V

Con todo esto, el coste total necesario para la ejecución de las obras, teniendo en cuenta que, las dimensiones diseñadas son un máximo, es el siguiente:

Fase	Precio
Instalación Hidráulica	5485,836
impermeabilización	84516,902
Movimiento de tierras	208083,90
Total	298086,64
Total, sin Impermeabilización	213569,74

Tabla 12: Precios con y sin elemento de impermeabilización

Una vez se conozca con más detalle las necesidades de regadío, en función de las plantaciones a realizar y las aportaciones del pozo existente, se podría optimizar el tamaño de la balsa para poder utilizar de forma simultánea el pozo existente con la reserva almacenada dando lugar a una optimización adicional. Esto, sumado a la eliminación del elemento impermeabilizante una vez se comprueben las hipótesis realizadas, daría lugar a una reducción muy significativa del coste haciendo posible la ejecución de este.

Según el trabajo diseñado, los trabajos futuros a realizar serían los siguientes:

1. Comprobar las características del terreno mediante los ensayos indicados en el apartado 3.5 (Campaña de investigación).
2. Comprobar los tipos de cultivo y las necesidades hídricas requeridas.
3. Comprobar los caudales que puede aportar el pozo.

Con todos estos factores se podría optimizar el presente trabajo, reduciendo el coste de este significativamente.

Desde el punto de vista social, este proyecto ofrece la oportunidad de erigir una estructura 100% factible y segura que proporcionará a la gente local de Mt. Darwin numerosos beneficios. Entre ellos, se encuentra un crecimiento en la actividad económica del orfanato de CFA que, no solo ayudará a su evolución y prosperidad, sino que también favorecerá a aquellos habitantes que se vean relacionados con su desarrollo. Se podría decir, que la mejoría de la ONG y la creación de empleos tanto a corto como a largo plazo, contribuyen a un pequeño porcentaje en el desarrollo del distrito de Mt. Darwin.

8.1 POSIBLES MEJORAS

La mejora principal que se podría incluir en el diseño realizado es la incorporación de un elemento de cubierta para evitar la evaporación del agua. En este tipo de infraestructuras al igual que en las presas y embalses, el fenómeno de la evaporación es un factor muy importante a tener en cuenta ya que, se pueden llegar a perder grandes cantidades de agua de forma directa. Además, debido a las elevadas temperaturas que se pueden llegar a alcanzar en Zimbabue se recomienda el uso de elementos de cubierta cuya función principal es la de minimizar la acción del viento y la radiación solar incidente en la capa superficial de la balsa.

Dentro de las técnicas más utilizadas para reducir la evaporación destacan las siguientes:

- Mallas de sombreado: Se trata de anclar una serie de cordones de nylon o cables de acero a lo largo de toda la superficie de la balsa y seguidamente, colocar sobre esta retícula una malla ligera, resistente a la irradiación solar y al viento. Este método no solo previene la evaporación del agua embalsada, sino que otorga otras ventajas como: una mayor calidad del agua y la prolongación de la vida útil de la geomembrana. Mediante diversos estudios realizados en la ciudad de Cartagena se ha comprobado que este tipo de cubiertas pueden llegar a reducir las pérdidas por evaporación en más de un 75 por 100.



Figura 44: Cubrimiento de balsa por malla de sombrero [32]

- Cubiertas flotantes: Estos sistemas son especialmente recomendables en sitios con altas temperatura y donde el volumen de agua perdido por evaporación es elevado. Estos elementos flotan sobre el agua por lo que se han de ajustar continuamente al volumen de la balsa en cada instante. Debido a su perdurabilidad se trata de un elemento de gran resistencia que ofrece un ahorro económico significativo. Al igual que con las mallas de sombreado, alargan la vida útil de los geosintéticos y previenen las floraciones de alga debido al incremento de nutrientes en la balsa.

Parte II ESTUDIO

ECONÓMICO

Capítulo 1. VIABILIDAD DEL PROYECTO

En esta parte del trabajo se realiza un análisis sobre la viabilidad del proyecto en la comunidad de Mt. Darwin. Este tipo de proyectos de carácter social van dirigidos a aumentar la calidad de vida de un sector específico de la población. Como ya se ha explicado al comienzo de esta memoria la implantación de la balsa de regadío tiene como objetivo principal aumentar la capacidad de cultivo del orfanato de CFA. La capacidad de almacenamiento de agua de la infraestructura permitirá cubrir un gran área de cultivo incrementando considerablemente la producción de maíz y, por consiguiente, los ingresos del orfanato. Estos beneficios irán destinados a mejorar los recursos con los que cuenta la fundación mejorando así el bienestar de sus integrantes.

Para conocer la viabilidad de un proyecto de esta índole se requiere de un análisis previo y su correspondiente valoración. Los factores que se han de tener en cuenta para llevar a cabo este estudio de viabilidad son los siguientes:

1. Número de beneficiarios directos: Esta componente tiene en cuenta la cantidad de personas que se ven beneficiadas por el proyecto que se quiere realizar. La viabilidad de un proyecto de carácter social no solo ha de estar dirigido hacia una minoría, ya que, este pasaría a ser exclusivo. Además, los beneficios aportados por la ejecución de una idea como esta han de ser cuantificados a corto y a largo plazo. En el caso que nos ocupa, la implantación de la balsa traerá trabajo para aquellos voluntarios y trabajadores que se ocupen de la construcción de la infraestructura. Asimismo, una vez se hayan finalizado las obras y se ponga en funcionamiento la balsa, el orfanato se verá beneficiado con un aumento en sus ingresos debido a la venta del exceso de maíz.
2. Soluciones: Se considera que un proyecto es exitoso si las soluciones que ofrece son efectivas y acertadas. El proyecto que se ha realizado no solo es efectivo, sino que, desde un punto de vista ingenieril, cuenta con un diseño óptimo proporcionando unas

características de estabilidad y seguridad idóneas para el objetivo que se desea satisfacer.

3. **Sostenibilidad:** La sostenibilidad consiste en garantizar que los objetivos que persigue abordar un proyecto perduren durante varios años tras la ejecución de este. Para un proyecto de cooperación al desarrollo, se considera que son sostenibles aquellos que *“introduzcan cambios equitativos y aborden de forma duradera las causas de la vulnerabilidad estructural contribuirán a generar sistemas de sustento sostenibles y un desarrollo humano también sostenible.”*[33]. Para cumplir con esta definición se precisa de la implicación de las personas de la zona en la ejecución y gestión de la obra.

A continuación, mediante el estudio de la rentabilidad y fiabilidad, se lleva un análisis acerca de la viabilidad económica de la balsa de regadío.

1.1 RENTABILIDAD

Para la realización de cualquier tipo de proyecto siempre se requiere de una inversión inicial para ponerlo en marcha. Un proyecto se considera rentable cuando los beneficios obtenidos exceden la inversión inicial del proyecto, sin embargo, un proyecto de cooperación al desarrollo no puede analizarse únicamente en función de los costes sino, que debe examinar el impacto social que este produce en la zona de implantación.

Como es lógico al tratarse de un proyecto benéfico, la inversión inicial realizada por los usuarios de la infraestructura es nula, siendo la fundación de ingenieros de ICAI uno de los grupos que se encarga de recaudar fondos para la ejecución del trabajo. Desde el comienzo de este trabajo se ha tenido en consideración todos aquellos factores que más beneficios aportan al orfanato de CFA, siendo el impacto social el fin último que se desea conseguir con este proyecto. Mediante el incremento de la productividad y el consiguiente exceso de cultivo, el orfanato de CFA tendrá una mayor actividad económica, mejorando la educación y alojamiento de los niños de la orpham e impulsando una comunidad pobre como lo es la del distrito de Mt. Darwin.

La financiación inicial procederá de los estudiantes de ICAI que desarrollen los distintos proyectos de infraestructuras en Zimbabwe. Se ha seguido con la iniciativa realizada por antiguos alumnos, “ProjectZimbabwe, mediante la cual, se ha buscado organizar eventos y campañas a principios de enero para la recaudación de fondos y, posteriormente, hacer un voluntariado tras la entrega del trabajo con el fin de implantar el proyecto en el verano de 2020. Sin embargo, debido a la situación atípica que estamos viviendo en estos momentos por culpa del COVID-19, se ha imposibilitado el desplazamiento a Zimbabwe para el año 2020. Además, en cuanto a la recaudación de fondos, debido a las restricciones ocasionadas por la pandemia solo se pudo organizar un evento en el mes de enero.



Figura 45: Cartel de fiesta benéfica organizada para financiación de TFG de, “ProjectZimbabwe”

Por último, teniendo en cuenta la información limitada con la que se ha contado para este proyecto, su objetivo principal ha sido establecer algunos criterios y valores numéricos de cuestiones asociadas al diseño para que, en un futuro, se puedan ejecutar actuaciones de esta índole. Es un trabajo cuya finalidad fundamental sea que sirva de base para proyectos que puedan basarse en información más realista. Por este motivo y, dado que se ha realizado un diseño con unas dimensiones máximas debido a la falta de información acerca del caudal que es capaz de aportar el pozo, se ha llevado únicamente un desglose de los costes de mano de obra y elementos necesarios para la ejecución de la obra (Documento II). Por otra parte, cabe añadir que la balsa de regadío que se ha diseñado es factible y que, a pesar de las hipótesis tomadas y la carencia de datos con los que se cuenta, se ha conseguido optimizar al máximo los costes de ejecución. Además, como se ha comentado a lo largo de todo el proyecto, una vez se realicen los ensayos pertinentes y se corroboren las hipótesis realizadas acerca de las características del terreno, se podrán reducir los gastos de la obra considerablemente eliminando los elementos de impermeabilización y los dispositivos asociados a ellos.

1.2 FIABILIDAD

La vida útil de una estructura de estas características es un factor muy importante a la hora de diseñar un proyecto. Para ello, el sistema ha de cumplir con sus funciones especificadas durante el mayor tiempo posible. Para garantizar la fiabilidad se han de cumplir los siguientes puntos:

- Se tendrán que llevar inspecciones y labores de mantenimiento periódicas para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. De esta forma, se podrán evitar fallos o incidencias en algún elemento de la instalación, logrando prevenir daños irreparables.
- El tiempo de implantación de la infraestructura ha de ser eficaz y económico, es decir, se tendrá que realizar una ejecución óptima de la obra con el presupuesto más reducido posible.

En el anexo III se han detallado las distintas labores de mantenimiento que hay que realizar cada cierto periodo de tiempo. Depende del usuario y encargados de la balsa que se sigan estas inspecciones rigurosamente para mejorar la vida útil de la balsa.

Parte III ANEXOS

ANEXO A: MOVIMIENTO DE TIERRAS

El objetivo de este anexo es el cálculo de la compensación de tierras de desmote y terraplén. Para este análisis, se ha utilizado el programa informático de AutoCAD Civil 3D. Una vez se determinan las medidas y el emplazamiento óptimo de la balsa se procede a dibujar la infraestructura sobre el alineamiento del plano topográfico en el software de dibujo. A continuación, para el cálculo del volumen de desmote y terraplén se realizan una serie de perfiles transversales con una separación de 10 metros entre sí, obteniendo, un cómputo individual del volumen de cada sección realizada (Véase planos Nº 3 y Nº3.1)

El despliegue de datos mostrados a continuación son las mediciones realizadas por el método de diferencia de superficies en donde, se observan los volúmenes de desmote y terraplén calculados. En estos cálculos, no se tiene en consideración la retirada del terreno vegetal, ni el aumento del volumen del material debido al esponjamiento.

Áreas

Área del contorno cubicado	9635.641m ²
Perímetro del contorno cubicado	369.180m
Área 3D de la superficie (1)	9643.552m ²
Área 3D de la superficie (2)	10355.381m ²
Área en Desmote	5815.157m ²
Área en Terraplén	3820.485m ²

Desnivel promedio

Desnivel promedio	1.871
Desnivel promedio en desmote	1.867
Desnivel promedio en terraplén	1.876

Volúmenes totales resultantes

Volumen Desmonte	10858.413m ³
Volumen Terraplén	7165.950m ³
Volumen Desmonte-Terraplén	3692.463m ³

Cotas

Cota Inferior superficie (1)	1030.741m
Cota superior superficie (1)	1035.075m
Cota Inferior superficie (2)	1030.752m
Cota superior superficie (2)	1035.300m

Vol. Medido	
Vol. DESMONTE (m ³)	10858,413
Vol. TERRAPLÉN (m ³)	7165,95
Vol. DESMONTE-TERRAPLÉN (m ³)	3692,463

Tabla 13: Balance desmonte y terraplén sin retirada de capa vegetal

Seguidamente, se procede a calcular el volumen total de desmonte sustrayendo a las mediciones mostradas previamente el volumen de terreno vegetal de la zona y teniendo en cuenta la diferencia de densidades entre el material excavado y de relleno (coeficiente de paso, $C_{vu}=1.03$). Como se ha explicado en el apartado de caracterización geotécnica de este proyecto, se ha supuesto que la capa vegetal alcanza una profundidad de 40cm.

Volumen de capa vegetal:

$$V_v = \text{espesor} \times (\text{Área desmonte} + \text{Área terraplen})$$

$$V_{vegetal} = 0.4 \times (5815.157 + 3820.485) = 3854.2568\text{m}^3$$

Volúmenes reales:

- Volumen de desmonte

$$V_{D.Real} = V_{D.medid} + (\text{Área terraplen} \times \text{espesor})$$

$$V_{D.Real} = 10858.413 + (3820.485 \times 0.4) = 12386.607m^3$$

$$V_{D.Utilizable} = (V_{D.medido} - (\text{Área desmonte} \times \text{espesor})) \times C_{vu}$$

$$V_{D.Utilizable} = (10858.413 - (5815.157 \times 0.4)) \times 1.03 = 8788.32m^3$$

$$V_{D.NoUtilizable} = (\text{Área desmonte} + \text{Área de terraplen}) \times (\text{espesor})$$

$$V_{D.NoUtilizable} = (5815.157 + 3820.485) \times (0.4) = 3854.26m^3$$

- Volumen de terraplén

$$V_{T.Real} = (V_{T.Medido} + (\text{Área de terraplen} \times \text{espesor}))$$

$$V_{T.Real} = (7165.95 + (3820.485 \times 0.4)) = 8694.914m^3$$

- Balance de masas

$$\text{Volumen Desmonte Utilizable} - \text{Volumen Terraplen Real: } V_{DT}$$

$$= V_{D.Utilizable} - V_{T.Real}$$

$$V_{DT} = 8788.32 - 8694.914 = 93.406m^3$$

Como se observa en los cálculos realizados, el balance de masas está prácticamente compensado, existiendo más material del necesario para llevar a cabo el relleno. El hecho de haber conseguido, mediante un estudio detallado de la topografía de la zona, un encaje de la obra tan preciso se traduce en un abaratamiento de costes significativo, ya que, dentro del plan de ejecución de obra, el movimiento de tierras es una de las fases más caras. Al no tener que traer relleno de zonas de préstamo y poder emplear todo lo que se ha excavado como relleno se produce un ahorro muy importante en el precio final de la obra.

ANEXO B: OBJETIVOS DESARROLLO SOSTENIBLE

El 25 de septiembre de 2015 los líderes mundiales adoptaron un conjunto de diecisiete objetivos globales para mejorar el planeta y volverlo un lugar con una calidad de vida digna para todos. Entre sus propuestas como parte de los nuevos proyectos de desarrollo se encuentran: erradicar la pobreza y el hambre, proteger el planeta y garantizar la prosperidad para todos. Estos objetivos se han designado como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (*ODS*) y cada uno de ellos cuenta con una serie de hitos específicos que deben conseguirse durante los próximos 15 años (2030). Sin embargo, cabe destacar que las ODS fueron establecidas antes de la situación en la que el mundo se encuentra sumido desde principios de 2020 debido al COVID-19.

En este proyecto se ha considerado que se persiguen 6 de los 17 objetivos principales. A continuación, se profundiza individualmente en cada uno de ellos, dando un pequeño resumen sobre sus metas y como el presente trabajo ayuda a alcanzarlas.

ODS 1 y 2. Fin de la pobreza y hambre cero. [34][35]

La *ODS* 1 tiene como objetivo principal poner fin a la pobreza extrema en todo el mundo para 2030. Desde 1990 el nivel de pobreza extrema se ha visto reducido a más de la mitad, sin embargo, este ritmo ha ido menguando desde 2015. Además, la aparición de esta pandemia ha ocasionado un estado de alerta en varios organismos y países puesto que, se estima que habrá un incremento del 8% en la pobreza mundial, suponiendo la subida más acentuada desde 1990.

A pesar de la reducción en las personas que viven en la pobreza extrema antes de la pandemia, un porcentaje significativo de la población (10%) sigue sin poder acceder a las

necesidades básicas. Alrededor de una de cada diez personas vive con menos de la cifra objetivo de 1,25 dólares al día. Sin embargo, la pobreza es más que falta de ingresos o recursos, se concluye que las personas viven en pobreza si carecen de servicios básicos como atención médica, seguridad y educación; también si sufren hambre, discriminación social y exclusión de los procesos de toma de decisiones. Los niños constituyen más de la mitad de quienes viven en la pobreza extrema. En 2013, se estima que 385 millones de niños vivían con menos de 1,90 dólares al día.

La *ODS 2* establece que en 15 años se debería lograr la seguridad alimentaria poniendo fin al hambre y todas las formas de malnutrición. Esto se lograría duplicando la producción agrícola y los ingresos provenientes de los cultivos a pequeña escala, asegurando sistemas sostenibles de producción de alimentos y mejorando la calidad de la tierra y el suelo. A nivel mundial, una de cada nueve personas está desnutrida, la gran mayoría de las cuales vive en países subdesarrollados. La desnutrición causa emaciación en 52 millones de niños en todo el mundo y contribuye a casi la mitad (45 %) de las muertes de niños menores de cinco años.

Este proyecto busca mejorar las condiciones de vida de los niños del orfanato de Child Future Africa (*CFA*), organización voluntaria que comenzó en el año 2002. El orfanato está situado en Mt. Darwin, provincia de Mashonaland Central en el norte de Zimbabue, se encuentra cerca de una granja que cuenta con cultivos para su consumo diario y el excedente de granos se vende para generar ingresos y poder hacer frente a los gastos que supone el mantenimiento y desarrollo del proyecto. Además, tanto la mano de obra como la mayoría de los elementos necesarios para la correcta construcción de la infraestructura serán proporcionados por los habitantes de la zona contribuyendo así a la economía de Mt. Darwin y a la creación de puestos de trabajo

La balsa de agua de este proyecto se empleará como un elemento de almacenamiento agua para su posterior uso en el regadío de la zona de cultivo con la que cuenta el orfanato en sus inmediaciones. De esta forma, se consigue aumentar la producción de maíz durante el año, disminuyendo considerablemente el hambre de los niños del orfanato (*ODS 2*). Asimismo,

no se deja de producir granos en ninguna estación, por muy seca que sea, ya que Zimbabue sufre épocas de sequía. De esta manera los ingresos del orfanato se verán aumentados gracias a los excedentes de cultivo, generando así, una mejora en la calidad de vida de los niños y sirviendo como un pequeño paso para reducir la pobreza (*ODS 1*). Mayores ingresos en el orfanato se traducen en un aumento en los recursos disponibles y en consiguiente una mejoría en la educación de los niños, ofreciendo un futuro con más oportunidades. También, debido a esta venta de excedentes de grano a los ciudadanos de Mt. Darwin, se puede mitigar en mayor medida el hambre que se sufre en esta ciudad.

ODS 3. SALUD Y BIENESTAR. [36]

Este objetivo persigue el aumento de la esperanza de vida y la reducción de la mortalidad, sobre todo infantil y materna. El número de niños que mueren antes de los cinco años es extremadamente alto: más de 5 millones en la actualidad. Los hijos de familias muy pobres cuentan con el doble de probabilidades de fallecer antes de los cinco años que los niños nacidos familias más ricas. El Objetivo 3 de los *ODS* tiene como objetivo reducir la mortalidad de niños menores de cinco años al menos a 25 por cada 1000 nacidos vivos.

Mediante este proyecto concretamente se van a perseguir dos hitos de este objetivo:

1. *“Para 2030, poner fin a las muertes evitables de recién nacidos y de niños menores de 5 años, logrando que todos los países intenten reducir la mortalidad neonatal al menos hasta 12 por cada 1.000 nacidos vivos, y la mortalidad de niños menores de 5 años al menos hasta 25 por cada 1.000 nacidos vivos”*
2. *“Para 2030, poner fin a las epidemias del SIDA, la tuberculosis, la malaria y las enfermedades tropicales desatendidas y combatir la hepatitis, las enfermedades transmitidas por el agua y otras enfermedades transmisibles.”*

3. *“Para 2030, reducir en un tercio la mortalidad prematura por enfermedades no transmisibles mediante la prevención y el tratamiento y promover la salud mental y el bienestar.”*

La infraestructura servirá como suministro de comida para una gran cantidad de personas. Gracias al proyecto, tanto los niños del orfanato como aquellos que consuman el excedente de grano producido por la balsa aumentarán su calidad de vida. Más comida supone directamente una mejoría en la salud de las personas y por consiguiente una reducción en la mortalidad. Aunque el proyecto no sea una construcción cuya actividad vaya a proporcionar ayuda a miles de personas, será suficiente para aliviar la situación de varios residentes del distrito de Mount Darwin. El hecho de poder proporcionar más alimentos y trabajo a la comunidad supone dar a los habitantes más medios para seguir adelante y poder combatir las enfermedades que azotan el país reduciéndose así el nivel de mortalidad.

ODS 4. EDUCACIÓN DE CALIDAD. [37]

Se han logrado importantes avances en el acceso a la educación, específicamente a nivel de educación primaria, tanto para niños como para niñas. El número de niños no escolarizados se ha reducido casi a la mitad, de 112 millones en 1997 a 60 millones en 2014. El acceso a educación no siempre significa calidad o finalización de la escuela primaria, es decir, 103 millones de jóvenes en todo el mundo todavía carecen de las habilidades básicas de alfabetización, y más del 60 por ciento de ellos son mujeres. Asimismo, 750 millones de adultos son analfabetos, lo que contribuye a la pobreza y a la marginalización de la región. El Objetivo 4 es garantizar que, para 2030, todos los niños y niñas completen una educación primaria y secundaria gratuita, equitativa y de calidad.

La construcción de la balsa de regadío busca ayudar a cumplir las siguientes metas del objetivo 4:

1. *“De aquí a 2030, asegurar que todas las niñas y todos los niños tengan acceso a servicios de atención y desarrollo en la primera infancia y educación preescolar de calidad, a fin de que estén preparados para la enseñanza primaria.”*
2. *“De aquí a 2030, asegurar que todos los jóvenes y una proporción considerable de los adultos, tanto hombres como mujeres, estén alfabetizados y tengan nociones elementales de aritmética.”*
3. *“Construir y adecuar instalaciones educativas que tengan en cuenta las necesidades de los niños y las diferencias de género, y que ofrezcan entornos de aprendizaje seguros, no violentos, inclusivos y eficaces para todos”*

Como se ha explicado en la introducción de este proyecto, Child Future África emplea parte de sus cultivos para hacer frente a los costes del orfanato, entre ellos, la educación de los niños. La organización cuenta con una escuela en las cercanías para brindar a los jóvenes la oportunidad de volverse adultos autosuficientes. Con este proyecto aumentará el área de cultivo, obteniendo un incremento en los ingresos económicos y, por consiguiente, se podrá mantener y mejorar la educación que actualmente ofrece la organización.

ODS 8. TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO. [38]

Un crecimiento económico promueve y conlleva el progreso de los países. Se busca, mediante la generación de empleos dignos, alcanzar una mejoría en la calidad de vida de la población mundial. Antes de la pandemia, el nivel de desempleo ha ido aumentando esta última media década, en estos momentos nos encontramos ante una tasa del 5,4% de desempleo, un 0,3% más que en el 2015. Además, según varios sondeos realizados se estima que más del 60% de la población llevan a cabo trabajos no regulados. Otro de los datos a destacar sobre el trabajo a nivel mundial es la diferencia salarial y de empleo que existe entre hombres y mujeres. Tras la realización de mediciones acerca de los sueldos de los trabajadores, se ha dado a conocer que, en la inmensa mayoría de los países, los hombres

cobran más del 10% que las mujeres. Esta brecha salarial es una de las metas principales que sigue este objetivo y que busca erradicar para 2030.

En este proyecto, se ha considerado que los hitos que se intentan cumplir del objetivo 8 son los siguientes:

1. *“Mantener el crecimiento económico per cápita de conformidad con las circunstancias nacionales y, en particular, un crecimiento del producto interno bruto de al menos el 7% anual en los países menos adelantados”*
2. *“Lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrándose en los sectores con gran valor añadido y un uso intensivo de la mano de obra”*
3. *“De aquí a 2030, lograr el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todas las mujeres y los hombres, incluidos los jóvenes y las personas con discapacidad, así como la igualdad de remuneración por trabajo de igual valor”*
4. *“De aquí a 2020, reducir considerablemente la proporción de jóvenes que no están empleados y no cursan estudios ni reciben capacitación”*

La infraestructura que se desea realizar creará varios puestos de trabajo para su construcción. Como se ha comentado anteriormente tanto los recursos necesarios como la mano de obra serán proporcionados por la gente local favoreciendo así la economía del lugar. Aparte de los obreros que serán necesarios como mano de obra será necesario contratar a operarios que lleven las labores de mantenimiento y seguridad durante la vida útil de la balsa. A pesar de que la estructura no supondrá un gran cambio en el crecimiento económico permitirá crear varios empleos sirviendo como un impulso hacia el futuro.

ODS 9. INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA. [5]

Este objetivo incluye luchar por el progreso tecnológico y la innovación debido a que son soluciones duraderas para la generación de empleo e ingresos en los países menos desarrollados.

La primera meta del objetivo 9, y en la que se centra este proyecto, es la creación de infraestructuras fiables, resilientes y, ante todo, de calidad. Una de las cifras más llamativas y por las que la ONU está luchando por reducir, es la realidad que sufre 2.300 millones de personas que carecen de acceso a saneamiento e higiene básico, además de los 800 millones de ellas que no tiene acceso a agua potable.

Principalmente este proyecto persigue ayudar a cumplir la siguiente meta:

- 1. “Facilitar el desarrollo de infraestructuras sostenibles y resilientes en los países en desarrollo mediante un mayor apoyo financiero, tecnológico y técnico a los países africanos, los países menos adelantados, los países en desarrollo sin litoral y los pequeños Estados insulares en desarrollo”*

Las balsas de regadío son infraestructuras cuya popularidad ha ascendido en el sur de España durante las últimas décadas. Estos sistemas nunca han sido llevados a cabo en África por lo que supone que este proyecto ayuda a la innovación de las estructuras del país. Mediante la fundación de ingenieros de ICAI y los recursos económicos disponibles es posible financiar este tipo de proyectos para mejorar la infraestructura de países en vías de desarrollo como Zimbabue.

ANEXO C: EJECUCIÓN, SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS

Tras el transporte desde España de los elementos necesarios para la obra se procederá a su ejecución. Se aconseja encarecidamente el uso del “Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas” como guía para la construcción de la infraestructura.

Antes de empezar con la construcción de la balsa se formará a los locales y habitantes de la comunidad para que su contribución en la infraestructura sea lo más eficaz posible.

EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

La ejecución de este tipo de obras consiste en varias fases que no van ligadas unas con otras, es decir, para la construcción de la infraestructura hay que seguir un orden determinado. A continuación, se hace un pequeño resumen de las fases básicas que hay que llevar a cabo para la correcta ejecución de las obras de la balsa.

1. Inicio de la obra: Esta fase previa al inicio de las obras consiste en realizar un replanteamiento del diseño que se va a ejecutar y la instalación de accesos para facilitar el paso a la maquinaria y al personal durante las obras. Además, por motivos de seguridad se vallará toda la zona de interés para prevenir accidentes durante la puesta en marcha de la obra.
2. Movimiento de tierras: Esta es la etapa principal en la construcción de la balsa. Consiste en realizar el encaje de la estructura según los datos topográficos estudiados para su ubicación en un emplazamiento donde se compense al máximo el terreno de desmonte y terraplén. El movimiento de tierras se divide en distintas fases:
 - a. Desbroce del terreno: Se basa en realizar una “limpieza” del terreno vegetal donde se va a erigir la balsa. Como se ha supuesto en este trabajo se tendrá

que realizar un desbroce de hasta unos 40cm de profundidad. Para conseguir una protección natural del talud exterior es recomendable emplear el terreno desbrozado.

- b. Excavaciones y desmontes: En esta fase se procede a excavar el terreno de desmonte para dar al terreno la rasante de explanación prevista, con empleo de medios mecánicos, al tratarse de un suelo blando y de fácil excavación es suficiente el empleo de una retroexcavadora. Esta actividad también incluye el transporte del material excavado para su posterior uso en el terraplén.
- c. Formación de terraplenes para los diques de cierre: Se define como relleno una estructura de tierra ejecutada con materiales naturales utilizando las técnicas de control y compactación necesarias [26]. A efectos de este proyecto, no será necesario emplear material de relleno de otras zonas, sino que, se usará el material de excavado para el desmonte. Este proceso consiste en la construcción de los diques de cierre y su relleno. Es importante que, por motivos de resistencia y estabilidad, el dique se construye mediante tongadas horizontales y, seguidamente, se realice la compactación necesaria para conseguir las características requeridas. Es importante que el fondo este nivelado y que los taludes estén bien compactados para que, en el caso de que sean necesarios, la colocación de los geosintéticos sea correcta sin ningún tipo de irregularidades en el terreno que dificulten su instalación.
- d. Coronación: Una vez se han realizado los terraplenes para los diques de cierre y se llega a la cota de coronación esta ha de nivelarse. Además, se recomienda la instalación de un camino perimetral para permitir el tránsito de operarios que realicen inspecciones y labores de mantenimiento.
- e. impermeabilización de taludes interiores: Si se necesita utilizar un geosintético para dotar a la balsa impermeabilidad, la instalación debe realizarse de arriba hacia abajo del talud. Para la unión de las distintas secciones de lámina se pueden emplear varios métodos siendo el más recomendable por su sencillez y precio, el sellado por calentamiento. Una vez

se haya colocado correctamente el geotextil se procederá a la instalación de la geomembrana mediante la soldadura de la lámina impermeable con el geotextil. En caso de que se conozcan los datos y se corroboren las hipótesis hechas acerca de la impermeabilidad del terreno (arcilla de baja plasticidad) la impermeabilización de la balsa se realizará colocando la arcilla y refinándola al mismo tiempo que el terraplén.

- f. Protección del talud exterior: Esta fase se debe realizar al final de la obra. Como se ha comentado a lo largo del proyecto, para prevenir la erosión del talud exterior debido a las precipitaciones se realizará una plantación de vegetales típicos de la zona en el talud. Es recomendable que la forma de crecimiento de esta plantación sea horizontal para proporcionar una mayor área de protección.

3. Construcción de los dispositivos de entrada y salida de agua

- a. Conducciones de agua: Para este proyecto, tal y como puede observarse en el plano nº5.3, se han diseñado tanto la toma de agua como el desagüe de la misma forma. Estas dos conducciones estarán instaladas a una profundidad aproximada de 0,75 metros por debajo del terraplén e irán hormigonadas. Debido a que estos sistemas atraviesan el dique de cierre su construcción ha de ser anterior a los terraplenes. En el plano previamente indicado se muestran los elementos que se deben instalar a la salida de estas conducciones. Cabe añadir, que, en el caso de la toma de agua, el sistema mostrado, una vez se conozca el sistema de riego que se desea implementar, deberá incorporar otros elementos (ej. Bombas, conducciones, etc...).
- b. Dispositivos de entrada de agua: Una vez se hayan finalizado las obras del dique de cierre se procederá a la instalación del sistema de entrada. Para este proyecto se ha elegido instalar una tubería en pico de flauta de vertido directo. Si la impermeabilidad de la balsa viene dada por una geomembrana es recomendable realizar un refuerzo de doble lámina para evitar el desgaste del polímero, sin embargo, a efectos de este proyecto esta medida no se considera necesaria. En el caso en el que se confirme que el terreno es arcilloso

(impermeable), habrá que barajar la posibilidad de instalar un canal de entrada con su correspondiente cuenco amortiguador.

- c. Aliviaderos: Al igual que las entradas de agua la construcción del aliviadero debe realizarse una vez se haya terminado el dique de cierre. En este proyecto se ha optado por la instalación de un aliviadero en badén dado su sencillez de construcción y precio. En el plano nº5.2 se muestra la disposición de este elemento de seguridad. Tras el rebaje situado a una cota de 3.22 metros en el talud interior, el canal del aliviadero continua por el talud exterior hasta llegar a un cuenco amortiguador de hormigón situado al pie del este. Para proteger el talud de aguas abajo se dispondrá del mismo geotextil empleado la protección de geomembrana.

MANTENIMIENTO

A lo largo de la vida útil de la balsa habrá que llevar una serie de comprobaciones e inspecciones para asegurarse que el funcionamiento de la infraestructura es el adecuado. Dentro de las labores de mantenimiento pueden distinguirse 3 tipos:

- Mantenimiento preventivo: Es el que se lleva a cabo de manera anticipada con el objetivo de evitar la avería de los componentes de la instalación. Se lleva a cabo una inspección de todos los elementos para comprobar que siguen funcionando como es debido.
- Mantenimiento correctivo: Es aquel que se realiza para corregir o reparar averías que hayan ocurrido en los componentes de la instalación.
- Mantenimiento evolutivo: Acción que busca mejorar el funcionamiento o seguridad de algún elemento de la instalación debido a la aparición de estudios o avances tecnológicos.

A continuación, se muestran una serie de tablas en donde, según el elemento de la balsa que se esté inspeccionando, se detallan las labores de mantenimiento a realizar

periódicamente. En el caso de que se detecten averías se tendrán que tomar las medidas oportunas en función de la gravedad del daño.

Inspección de vaso y paramentos de exterior del dique de cierre	
Periodicidad:	Una vez al mes
Personal:	Encargado de la balsa + operario
Medios materiales:	Ropa de trabajo, recipiente y estadillo de control
Procedimiento:	Se observan los siguientes puntos:
	Existencia de remolinos en la lámina de agua
	Presencia de grietas o movimientos de los taludes
	Existencia de zonas húmedas, de filtraciones y/o acumulación de vegetación en zonas localizadas de los taludes
	En el caso de existir filtraciones, se anotará el nivel de agua en el vaso y se medirá su caudal, recogiendo el agua en el recipiente y cronometrando el tiempo que tarda en llenarse
	Zonas erosionadas en los taludes
	Estado del hormigón, comprobando si existen humedades, especialmente en juntas
	Posible existencia de materiales flotantes
Otras deficiencias	

Tabla 14: Inspección de vaso y paramentos de exterior del dique de cierre [26]

Inspección de vaso y paramentos del dique de cierre para balsa vacía	
Periodicidad:	Cuando la balsa se encuentra vacía
Personal:	Encargado de la balsa + operario
Medios materiales:	Ropa de trabajo, cámara de fotos
Procedimiento:	Se observan los siguientes puntos:
	Examinar el estado de las juntas del sistema de impermeabilización
	Examinar la limpieza de las juntas
	Examinar si existen zonas hundidas o con fisuras
	Existencia de zonas donde la lámina este tensionada o desgarrada
	Estado de la toma y de la embocadura del desagüe de fondo
	Existencia de movimientos del pie del talud interior
	Estado del hormigón, comprobando si existen humedades, especialmente en juntas
Otras deficiencias	

Tabla 15: Inspección de vaso y paramentos interior del dique de cierre cuando la balsa se encuentra vacía

[26]

Inspección de la coronación del dique	
Periodicidad:	Una vez al mes
Personal:	Encargado de la balsa + operario
Medios materiales:	Ropa de trabajo, cámara de fotos y estadillo de control
Procedimiento:	Recorrer la coronación observando lo siguiente:
	Pérdida de alineación
	Examen de la existencia de movimientos o agrietamientos en el firme con cuantificación numérica de la existencia de estos últimos

Tabla 16: Inspección de la coronación del dique [26]

Periodicidad:	Una vez al mes y después de cada vertido
Personal:	Encargado de la balsa + operario
Medios materiales:	Ropa de trabajo, cámara de fotos
Procedimiento:	Observar el aliviadero, comprobando:
	Estado de la embocadura y de la zona próxima a ella
	Existencia o no de vegetación en la salida
	Estado de la zona del canal o cuenco vertiente

Tabla 17: Inspección del aliviadero [26]

Accesos	
Periodicidad:	Una vez cada seis meses
Personal:	Encargado de la balsa + operario
Medios materiales:	Estadillo de control, ropa de trabajo
Procedimiento:	Recorrer los accesos de la balsa y sus instalaciones comprobando:
	Estado del cerramiento
	Las posibles invasiones de vegetación en los caminos
	El estado de las obras de drenaje y posibles obstrucciones
	La no existencia de deslizamientos o desprendimientos en taludes

Tabla 18: Inspección de accesos [26]

ANEXO D: BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Zimbabwe - EcuRed.” <https://www.ecured.cu/Zimbabwe#Ubicaci.C3.B3n> (accessed Jul. 31, 2020).
- [2] “1024px-Zimbabwe_(orthographic_projection) @ upload.wikimedia.org.” [Online]. Available:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/50/Zimbabwe_%28orthographic_projection%29.svg/1024px-Zimbabwe_%28orthographic_projection%29.svg.png.
- [3] “África, un continente muy vulnerable al cambio climático | Ciencia | EL MUNDO.” <https://www.elmundo.es/ciencia/2015/08/10/5587c8fdca4741681a8b4575.html> (accessed Jul. 31, 2020).
- [4] “Zimbabwe | África meridional - Países en crisis | UNICEF.” https://www.unicef.org/spanish/emergencias/southernafrica/index_zimbabwe.html (accessed Jul. 31, 2020).
- [5] “Diseño de proyectos de infraestructuras - Fundación Ingenieros ICAI.” <https://fundacioningenierosicai.org/nuestro-trabajo/en-que-estamos-trabajando/diseño-de-proyectos-de-infraestructuras/> (accessed Jul. 31, 2020).
- [6] “Ch20.” <http://www.fao.org/3/T0115E01.htm> (accessed Aug. 01, 2020).
- [7] U. Nuevo, M. Para La, and T. De Decisiones, “Represas y Desarrollo: Un Nuevo Marco para la Toma de Decisiones-Una Síntesis la Comisión Mundial de Represas Noviembre del 2000 Represas y Desarrollo.” Accessed: Aug. 01, 2020. [Online]. Available: www.dams.org.
- [8] “Tratamiento del agua - OdinS.” <https://www.odins.es/soluciones/tratamiento-del-agua/> (accessed Aug. 01, 2020).
- [9] “Rooftop_catchment.jpg (413×413).” https://akvopedia.org/s_wiki/images/a/ad/Rooftop_catchment.jpg (accessed Aug. 07, 2020).
- [10] “ONG PERUANOS SIN AGUA.” <https://www.lossinagua.org/proyectos.html>

- (accessed Aug. 08, 2020).
- [11] “Warka Water. La torre de bambú que produce hasta 100 litros de agua al día.” <https://ecoinventos.com/warkawater/> (accessed Aug. 08, 2020).
- [12] “Objetivos y metas de desarrollo sostenible – Desarrollo Sostenible.” <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> (accessed Aug. 01, 2020).
- [13] “Objetivos de Desarrollo Sostenible.” <http://www.exteriores.gob.es/Portal/es/PoliticaExteriorCooperacion/NacionesUnidas/Paginas/ObjetivosDeDesarrolloDelMilenio.aspx> (accessed Aug. 01, 2020).
- [14] “Zimbabwe[114].” <http://www.fao.org/3/y4632e/y4632e0y.htm> (accessed Aug. 05, 2020).
- [15] “ProduccionAgricola.jpg (765×1371).” <https://solidaridad.net/wp-content/uploads/2016/05/ProduccionAgricola.jpg> (accessed Aug. 06, 2020).
- [16] “Child Future Africa | Give Children a future.” <http://childfutureafrica.org/> (accessed Aug. 09, 2020).
- [17] “Mount Darwin, Zimbabwe - Wikipedia.” https://en.wikipedia.org/wiki/Mount_Darwin,_Zimbabwe (accessed Aug. 09, 2020).
- [18] “El clima en Zimbabue.” <https://www.studycountry.com/es/guia-paises/ZW-climate.htm> (accessed Jul. 31, 2020).
- [19] “Clima promedio en Mount Darwin, Zimbabue, durante todo el año - Weather Spark.” <https://es.weatherspark.com/y/96834/Clima-promedio-en-Mount-Darwin-Zimbabue-durante-todo-el-año> (accessed Aug. 09, 2020).
- [20] *World Weather Information Service – Mount Darwin*. World Meteorological Organization.
- [21] P. J. Treloar, “The geological evolution of the Magondi Mobile Belt, Zimbabwe,” *Precambrian Res.*, vol. 38, no. 1, pp. 55–73, Jan. 1988, doi: 10.1016/0301-9268(88)90093-9.
- [22] “Geology of Zimbabwe - Wikipedia.” https://en.wikipedia.org/wiki/Geology_of_Zimbabwe (accessed Sep. 04, 2020).
- [23] “Textura del suelo - Wikipedia, la enciclopedia libre.”

- https://es.wikipedia.org/wiki/Textura_del_suelo (accessed Sep. 01, 2020).
- [24] “TrianguloTexturas-1024x1024.jpg (1024×1024).”
<https://www.universidadderiego.com/wp-content/uploads/2019/05/TrianguloTexturas-1024x1024.jpg> (accessed Sep. 01, 2020).
- [25] J. M. Rodríguez Ortiz, J. Serra Gesta, and C. Oteo Mazo, *Curso aplicado de cimentaciones*. Madrid: Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1996.
- [26] *Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas*, 1st ed. Madrid: Comité Nacional Español de Grandes Presas, 2010.
- [27] “¿Cómo hacer una calicata? – Agriculturers.com | Red de Especialistas en Agricultura.” <http://agriculturers.com/como-hacer-una-calicata/> (accessed Sep. 08, 2020).
- [28] “Precipitación efectiva o útil – Glosario.”
<https://www.riego.org/glosario/precipitacion-efectiva-o-util/> (accessed Aug. 10, 2020).
- [29] “Física y Mecánica de las Construcciones ETSAM TEMA 4 (Parte II) Ley de Darcy. Flujos hidráulicos a través de terrenos.”
- [30] M. Álvarez, J. A1, and E. A2, “Análisis regional de frecuencia de precipitaciones extremas en el Norte de Mozambique Regional frequency analysis of extremes precipitations in Northern of Mozambique,” doi: 10.4995/ia.2016.4176.
- [31] “reja de proteccion en toma de agua balsa - Google Search.”
https://www.google.com/search?q=reja+de+proteccion+en+toma+de+agua+balsa&rlz=1C1CHBF_esES898ES898&sxsrf=ALeKk00jIVFcwstE_W3q_j55FxlRVjUrmg:1600680627634&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiM0tWB-PnrAhUKV8AKHRIbDA0Q_AUoAXoECAsQAw&biw=1745&bih=886#imgrc=Yz4FX88U511OKM (accessed Sep. 21, 2020).
- [32] “Cubrimiento de Balsas de Riego - IEP.” <http://www.inverelpilar.com/es/otros-servicios/balsas-riego> (accessed Sep. 29, 2020).
- [33] “Diccionario de Acción Humanitaria.”

- <http://www.dicc.hegoa.ehu.es/listar/mostrar/213> (accessed Sep. 28, 2020).
- [34] “Pobreza – Desarrollo Sostenible.”
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/poverty/> (accessed Sep. 18, 2020).
- [35] “Hambre y seguridad alimentaria – Desarrollo Sostenible.”
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/> (accessed Sep. 18, 2020).
- [36] “Salud – Desarrollo Sostenible.”
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/health/> (accessed Sep. 18, 2020).
- [37] “Educación – Desarrollo Sostenible.”
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/education/> (accessed Sep. 18, 2020).
- [38] “Crecimiento económico – Desarrollo Sostenible.”
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/economic-growth/> (accessed Sep. 18, 2020).
- [39] “Generador de precios de la construcción de CYPE Ingenieros.”
<http://generadorprecios.cype.es/> (accessed Sep. 29, 2020).

DOCUMENTO II: PRESUPUESTO

Cuadro de precios

En este documento se muestra una lista con los precios unitarios de las acciones más importantes a realizar en la ejecución de las obras. Para su simplificación, se ha hecho una división por las siguientes categorías:

- Instalación hidráulica
- Instalación de resguardo, geomembrana y geotextil
- Movimiento de tierras

El presente subapartado expone, como se ha comentado previamente, los diversos precios unitarios según el software ofrecido por CYPE ingenieros, “Generador de precios de la construcción” [39]. Los costes mostrados, incluyen tanto la mano de obra como los elementos necesarios para su correcta ejecución. Además, se incluye un breve resumen acerca de las características de los elementos o servicios que se van a emplear. Como se observa en la siguiente tabla, la última columna hace referencia al precio unitario en Zimbabue cuyo valor, se ha estimado descontando un 80% de la mano de obra correspondiente en España. El motivo principal de esta reducción se debe a que, para la construcción de la balsa, aparte de que la mano de obra es más barata, se contará con la ayuda de voluntarios del distrito y del orfanato para su ejecución.

CÓDIGO UD DESCRIPCIÓN			PRECIO ESP (€)	PRECIO ZIM (€)
Capítulo 1 "Instalación Hidráulica"				
1.1	m	Tubería de 200mm de diámetro		
		Tubería de PVC-U de 200mm de diámetro, PN=6atm con junta pegada (Incluye 10% más por accesorios y piezas especiales)	23,68	21,376
1.2	m	Tubería de 315mm de diámetro		
		Tubería de abastecimiento y distribución de agua de riego, PVC-U de 315mm de diámetro, PN=6atm con junta pegada (Incluye 10% más por accesorios y piezas especiales)	65,75	58,294
1.3	Ud.	Válvula de compuerta		
		Válvula de compuerta de husillo ascendente y cierre elástico, PN=10atm	260,33	254,34
1.4	Ud.	Rejilla de protección		
		Rejilla circular para proteger las tuberías de desagüe y toma frente a escombros	8,05	6,1

Capítulo 2 "Instalación de resguardo, geomembrana y geotextil"

2.1	m2	Geotextil Geotextil no tejido compuesto por fibras de polipropileno, Resistencia a tracción longitudinal=21,1kN/m, Resistencia a tracción transversal=24,8kN/m, apertura de cono al ensayo de perforación dinámica según UNE-EN ISO 13433 inferior a 9,8 mm, resistencia CBR a punzonamiento 3,9 kN y una masa superficial de 300 g/m ² . Según UNE-EN 13252	3,93	2,13
2.2	m2	Geomembrana homogénea de PVC-P De PVC-P, con resistencia a la intemperie, de 1,2 mm de espesor, color gris, con una densidad de 1240 kg/m ³ según UNE-EN ISO 1183, resistencia CBR a punzonamiento de 1,8 kN según UNE-EN ISO 12236 y una resistencia al desgarrar superior a 40 kN/m, suministrada en rollos de 2,05 m de anchura y 150 m de longitud.	11,22	7,61

Capítulo 3 "Movimiento de tierras"

3.1	m2	Desbroce y limpieza del terreno con arbustos Desbroce y limpieza del terreno con arbustos mediante medios mecánicos. Incluye las acciones de limpieza y acondicionamiento de la zona de implantación retirando: arbustos, plantas, capa de tierra vegetal, etc.. hasta una profundidad mínima de 30cm, y carga a camión.	2,35	1,22
3.2	m3	Desmante Desmante en tierra blanda, para dar al terreno la rasante de explanación prevista, con medios mecánicos, y carga a camión	2,11	1,96

3.3 m3 Terraplenado

Terraplenado con procedencia del material del propio desmonte realizado previamente. Grado de compactación respecto ensayo de Proctor Modificado (UNE 103501) de un 95% en el cimientado del terraplén. Extendido de tongadas no superiores a 30cm cumpliendo con los requisitos del artículo 330.3.1 del PG-3 y posterior compactación por medios mecánicos.

16,25 15,15

3.5 m3 Relleno de hormigón en zanjas para instalaciones

Relleno envolvente de las instalaciones en zanjas, con hormigón no estructural HNE-15/B/20, fabricado en central y vertido desde camión.

71,4 68,2

Presupuesto general

La tabla siguiente, muestra un presupuesto general en donde se calcula el coste total para cada fase de la construcción. Los cálculos se han llevado a cabo con el precio unitario estimado para Zimbabwe, tal y como se indica en el apartado anterior.

Elemento	ud.	nºunidades	P.Unitario (€)	P.Total (€)
Capítulo 1 "Instalación Hidráulica"				
Tubería de 200mm de diámetro	m	26	21,376	555,776
Tubería de 315mm de diámetro	m	80	58,294	4663,52
Desagüe		40		
Toma salida		40		
Válvula de compuerta	ud	1	254,34	254,34
Rejilla de protección	ud	2	6,1	12,2
Total.Instalación Hidráulica				5485,836
Capítulo 2 "Instalación de resguardo, geomembrana y geotextil"				
Geotextil	m2	8677,3	2,13	18482,649
Vaso+taludes interiores		7177,3		
Canal aliviadero		1500		
Geoembrana homogénea de PVC-P	m2	8677,3	7,61	66034,253
Vaso+Taludes interiores		7177,3		
Canal aliviadero + Extra de anclaje		1500		
Total. Impermeabilización				84516,902
Capítulo 3 "Movimiento de tierras"				
Desbroce y limpieza del terreno con arbustos	m2	37600	1,22	45872
Desmante	m3	12386,61	1,96	24277,76
Terraplenado	m3	8694,914	15,15	131727,95

Relleno de hormigón en zanjas para instalaciones	m3	91	68,2	6206,2
Total. Movimiento de tierras				208083,90
SUMA TOTAL				298086,64
SUMA TOTAL SIN IMPERMEABILIZACIÓN				213569,74

Como era de esperar, el coste total que se ha obtenido para el diseño realizado es muy elevado. Este valor, se debe a todas las hipótesis realizadas acerca de la capacidad del pozo y las características del terreno. Sin embargo, como puede observarse en la última fila de la tabla, una vez se compruebe, mediante los ensayos indicados en el proyecto, las suposiciones realizadas sobre las propiedades del terreno (arcillas de baja-media plasticidad), se podrá eliminar el uso de los geosintéticos, obteniendo una reducción de más del 30%. Además, cuando se tenga toda la información referente al pozo y a la plantación que se desea cultivar, las dimensiones podrán verse reducidas considerablemente y, en consecuencia, el coste de la obra.

Fase	Precio
Instalación Hidráulica	5485,836
impermeabilización	84516,902
Movimiento de tierras	208083,90
Total	298086,64
Total, sin Impermeabilización	213569,74

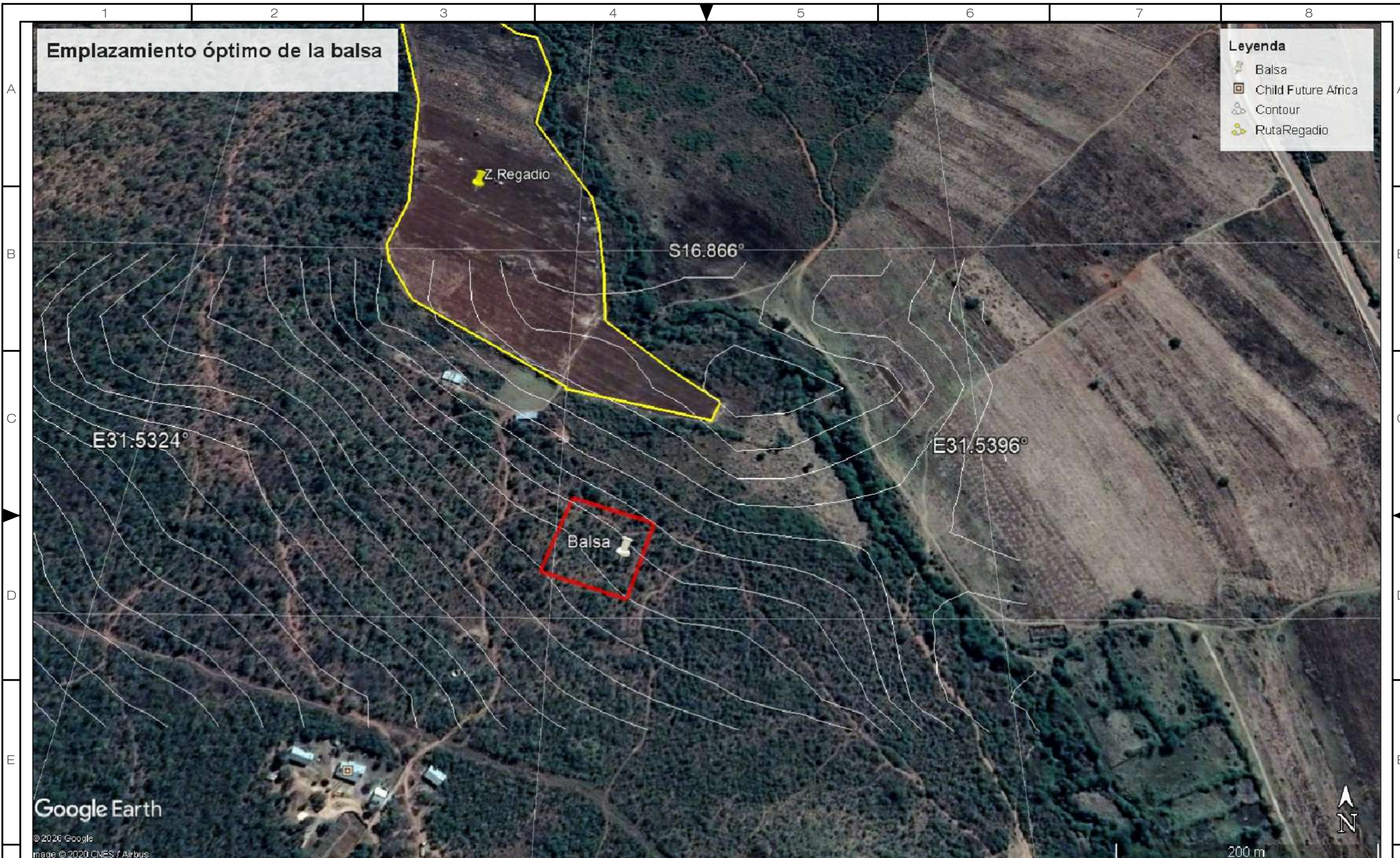
Tabla 19: Precio total con y sin elemento de impermeabilización

DOCUMENTO III: PLANOS

Emplazamiento óptimo de la balsa

Leyenda

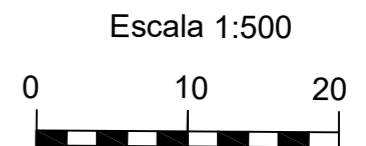
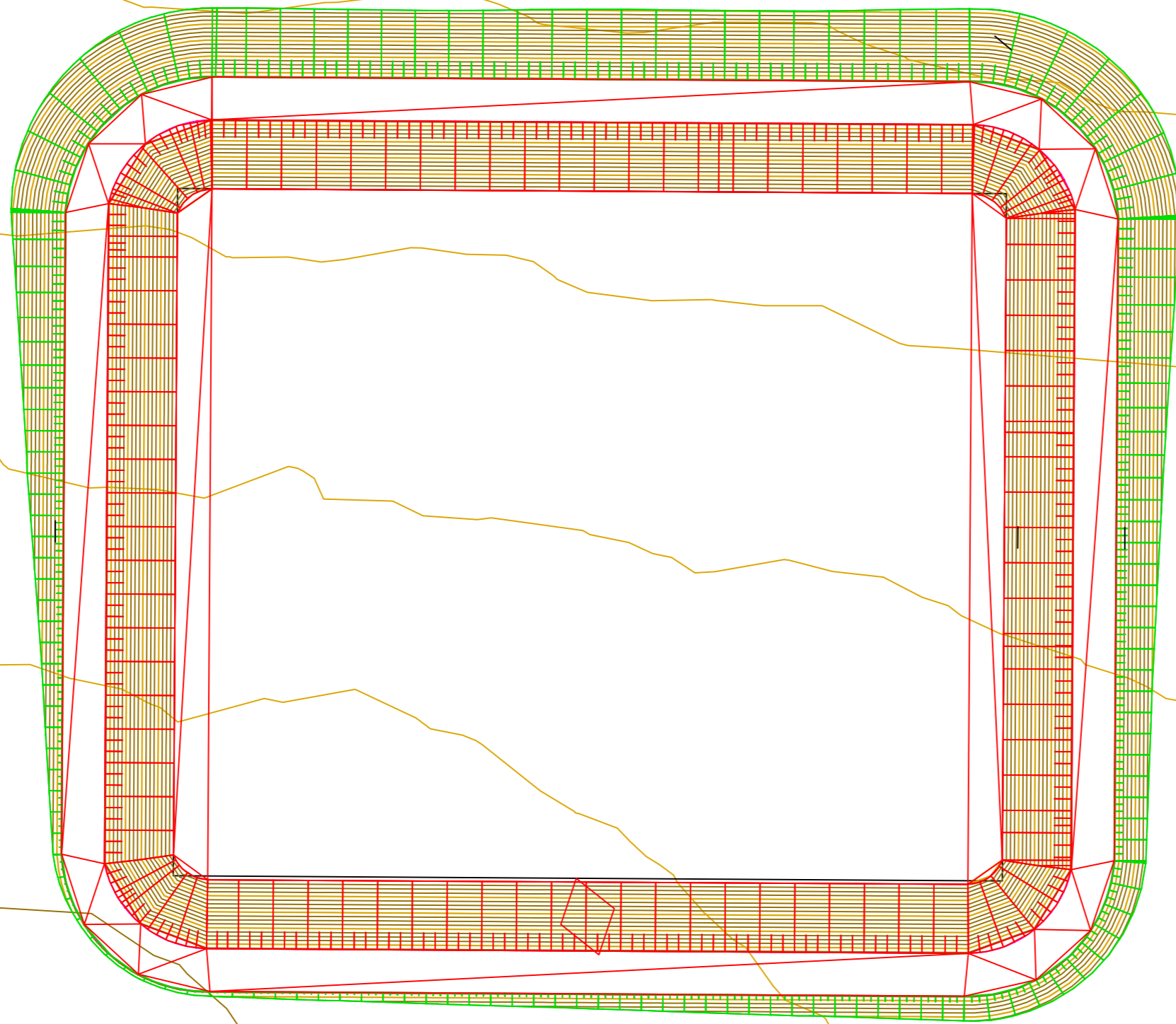
- Balsa
- Child Future Africa
- Contour
- RutaRegadio



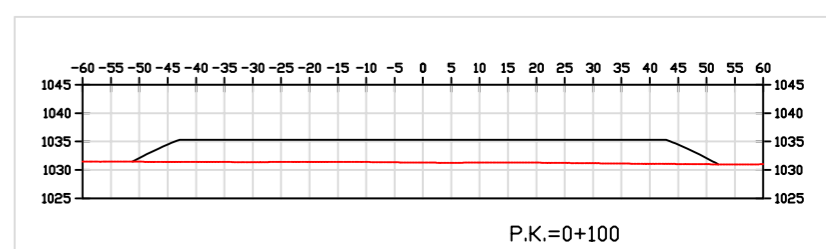
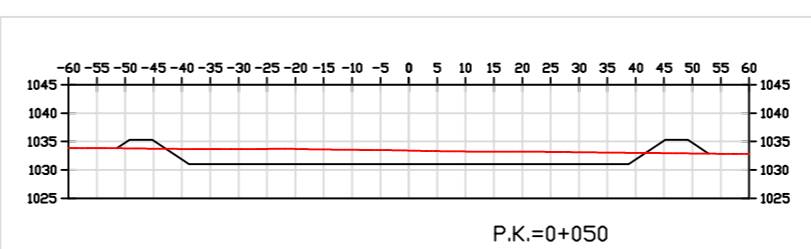
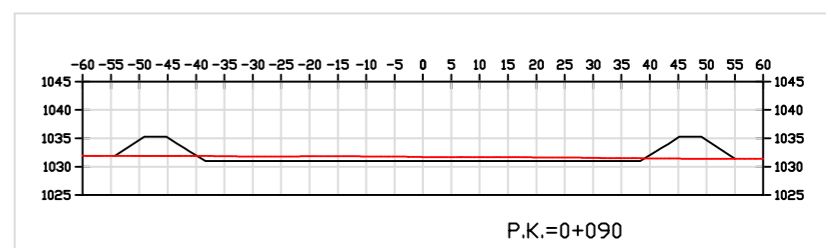
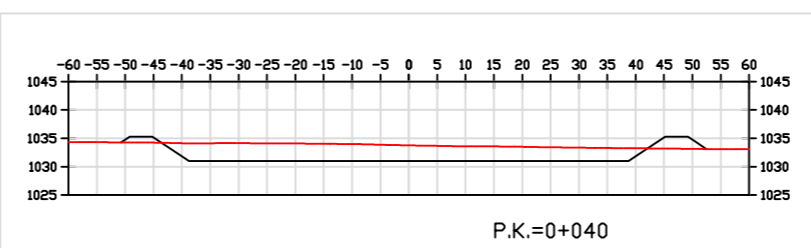
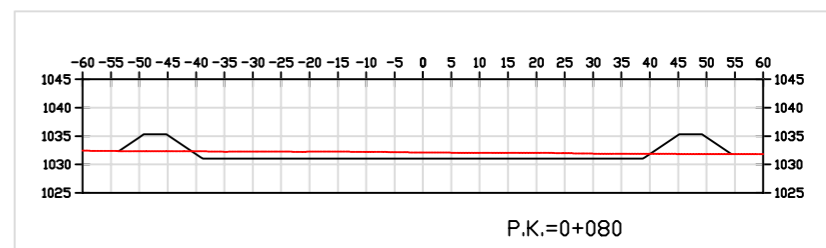
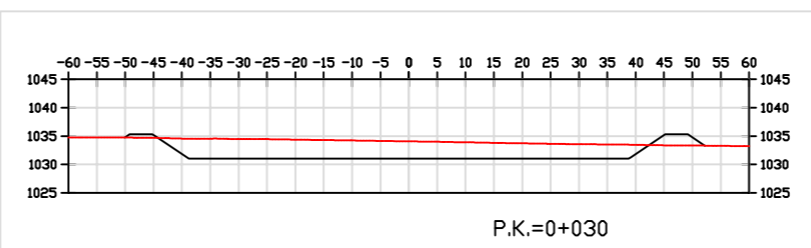
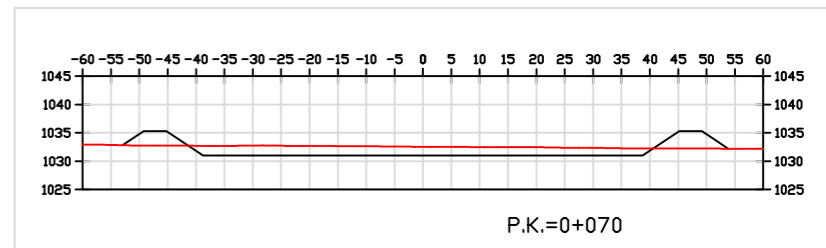
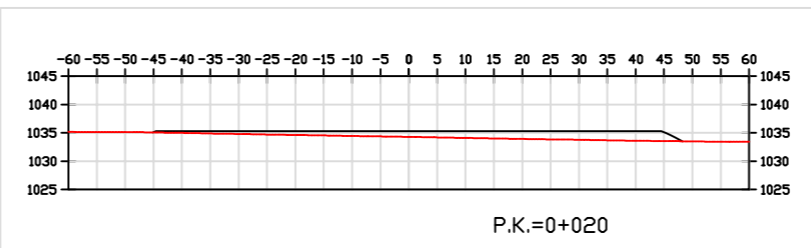
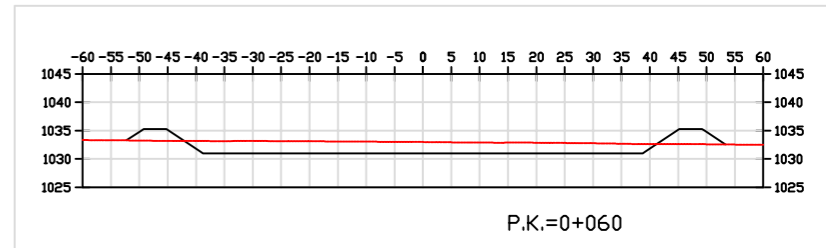
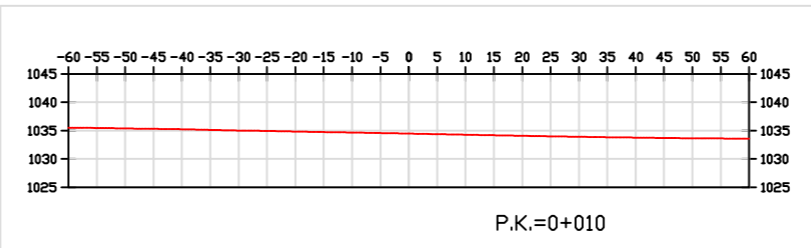
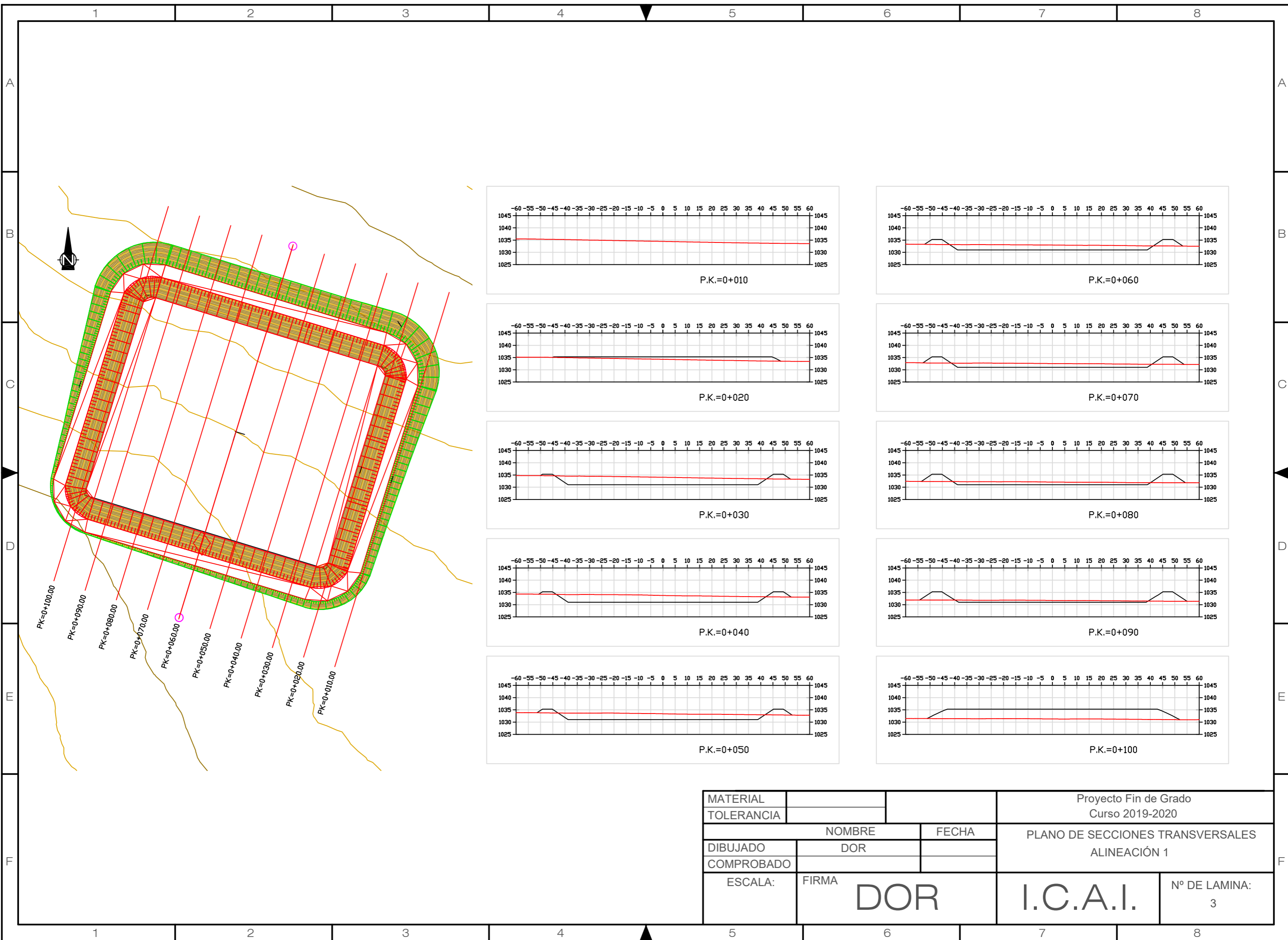
Google Earth
 © 2020 Google
 image © 2020 CNES / Airbus

MATERIAL				Proyecto Fin de Grado	
TOLERANCIA				Curso 2019-2020	
		NOMBRE	FECHA	PLANO DE EMPLAZAMIENTO	
DIBUJADO	DOR				
COMPROBADO					
ESCALA:	FIRMA	DOR		I.C.A.I.	Nº DE LAMINA:
1:500					1

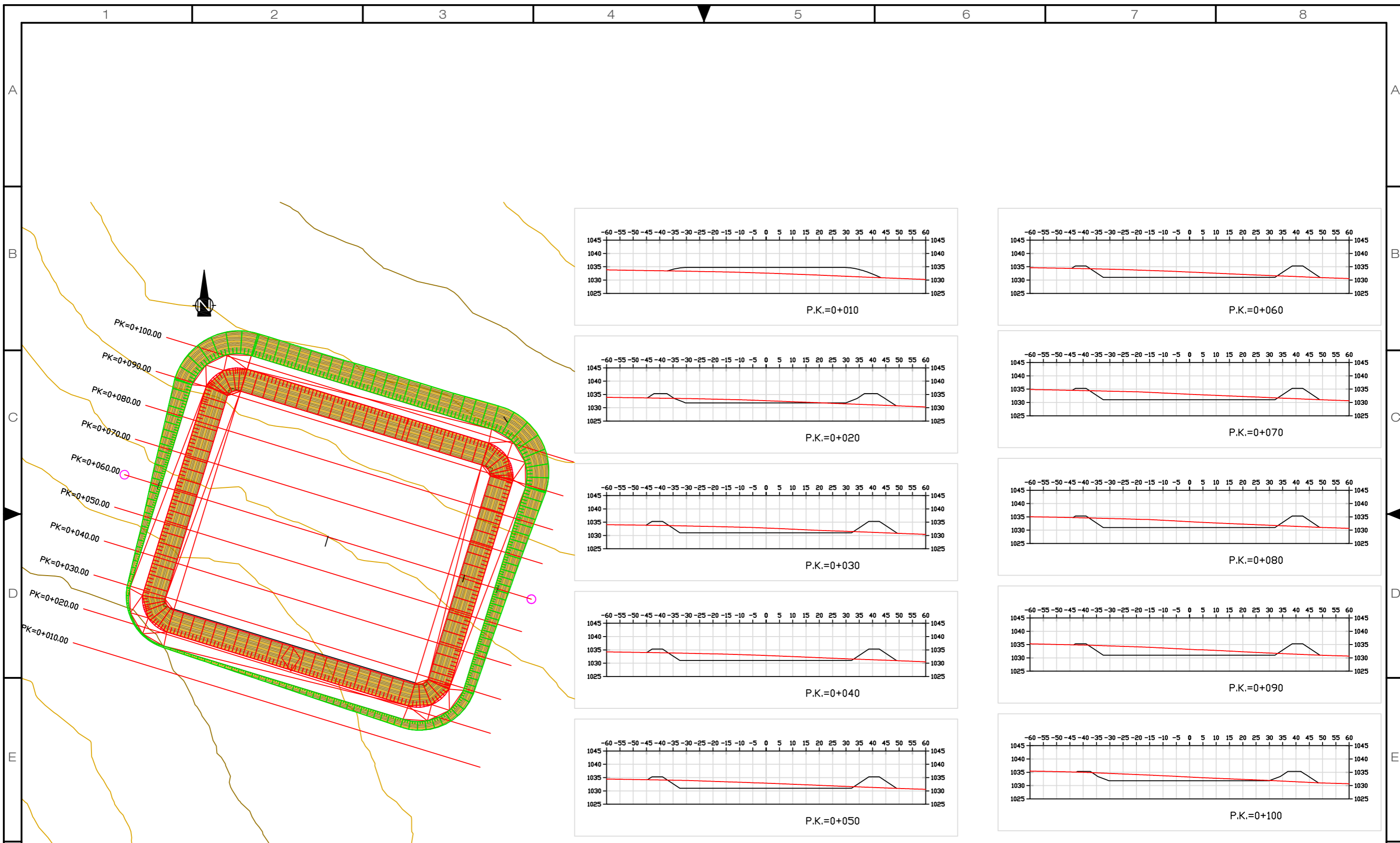
PLANTA



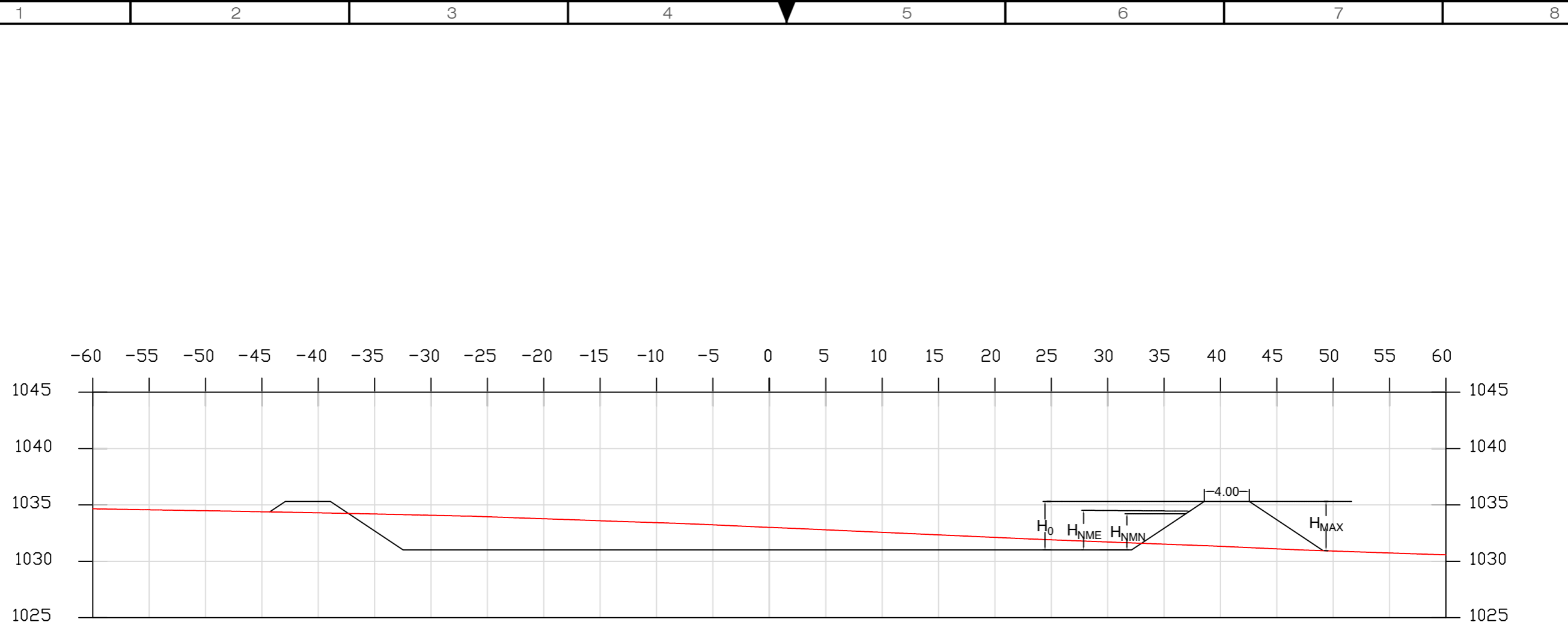
MATERIAL			Proyecto Fin de Grado	
TOLERANCIA			Curso 2019-2020	
	NOMBRE	FECHA	PLANO DE PLANTA	
DIBUJADO	DOR			
COMPROBADO				
ESCALA: 1:500	FIRMA	DOR	I.C.A.I.	Nº DE LAMINA: 2



MATERIAL			Proyecto Fin de Grado	
TOLERANCIA			Curso 2019-2020	
DIBUJADO		NOMBRE	FECHA	PLANO DE SECCIONES TRANSVERSALES
COMPROBADO		DOR		
ESCALA:	FIRMA	DOR		I.C.A.I.
				Nº DE LAMINA: 3

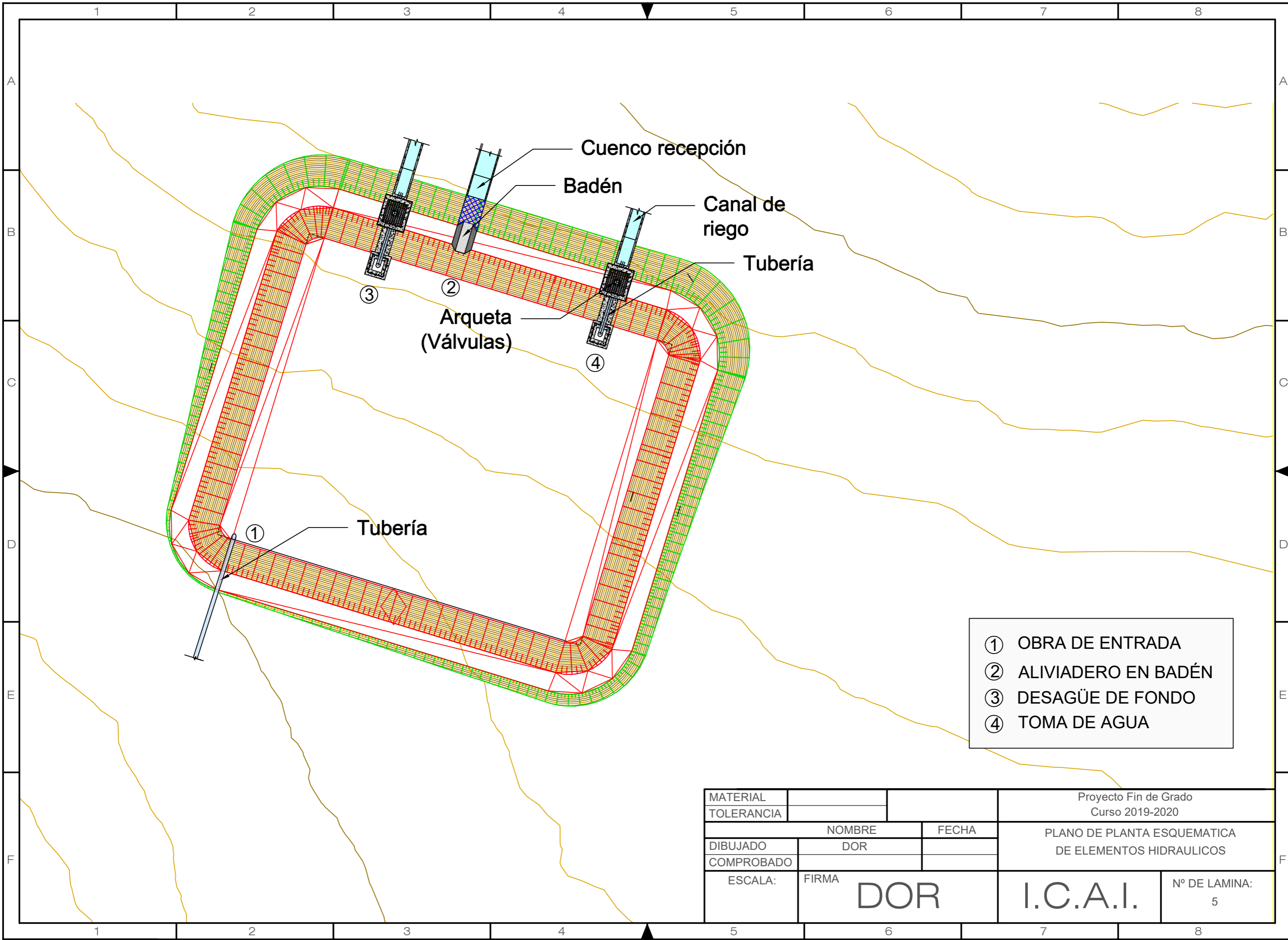


MATERIAL			Proyecto Fin de Grado	
TOLERANCIA			Curso 2019-2020	
DIBUJADO		NOMBRE	FECHA	PLANO DE SECCIONES TRANSVERSALES ALINEACIÓN 2
COMPROBADO		DOR		
ESCALA:	FIRMA	DOR		I.C.A.I.
				Nº DE LAMINA: 3.1



$H_0 = 4.30 \text{ m}$
 $H_{NME} = 3.52 \text{ m}$
 $H_{NMN} = 3.22 \text{ m}$
 $H_{MAX} = 4.36 \text{ m}$

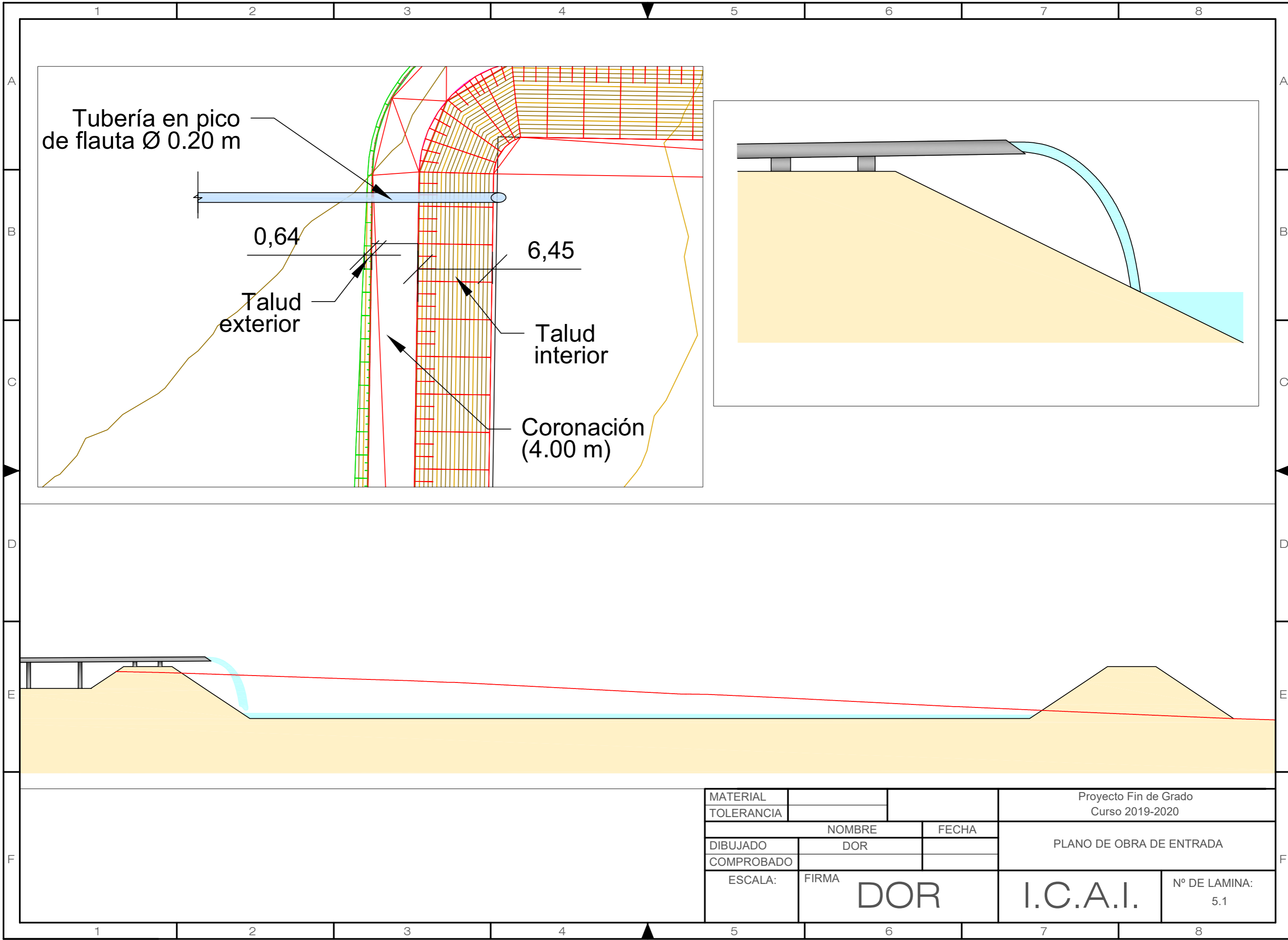
MATERIAL			Proyecto Fin de Grado	
TOLERANCIA			Curso 2019-2020	
NOMBRE		FECHA		PLANO DE SECCIONES TIPO POR H MÁXIMA
DIBUJADO	DOR			
COMPROBADO				
ESCALA:	FIRMA	DOR		I.C.A.I.
				Nº DE LAMINA: 4



Cuenco recepción
 Badén
 Canal de riego
 Tubería
 Arqueta (Válvulas)

- ① OBRA DE ENTRADA
- ② ALIVIADERO EN BADÉN
- ③ DESAGÜE DE FONDO
- ④ TOMA DE AGUA

MATERIAL			Proyecto Fin de Grado	
TOLERANCIA			Curso 2019-2020	
	NOMBRE	FECHA	PLANO DE PLANTA ESQUEMATICA DE ELEMENTOS HIDRAULICOS	
DIBUJADO	DOR			
COMPROBADO				
ESCALA:	FIRMA	DOR	I.C.A.I.	Nº DE LAMINA: 5



Tubería en pico de flauta Ø 0.20 m

0,64

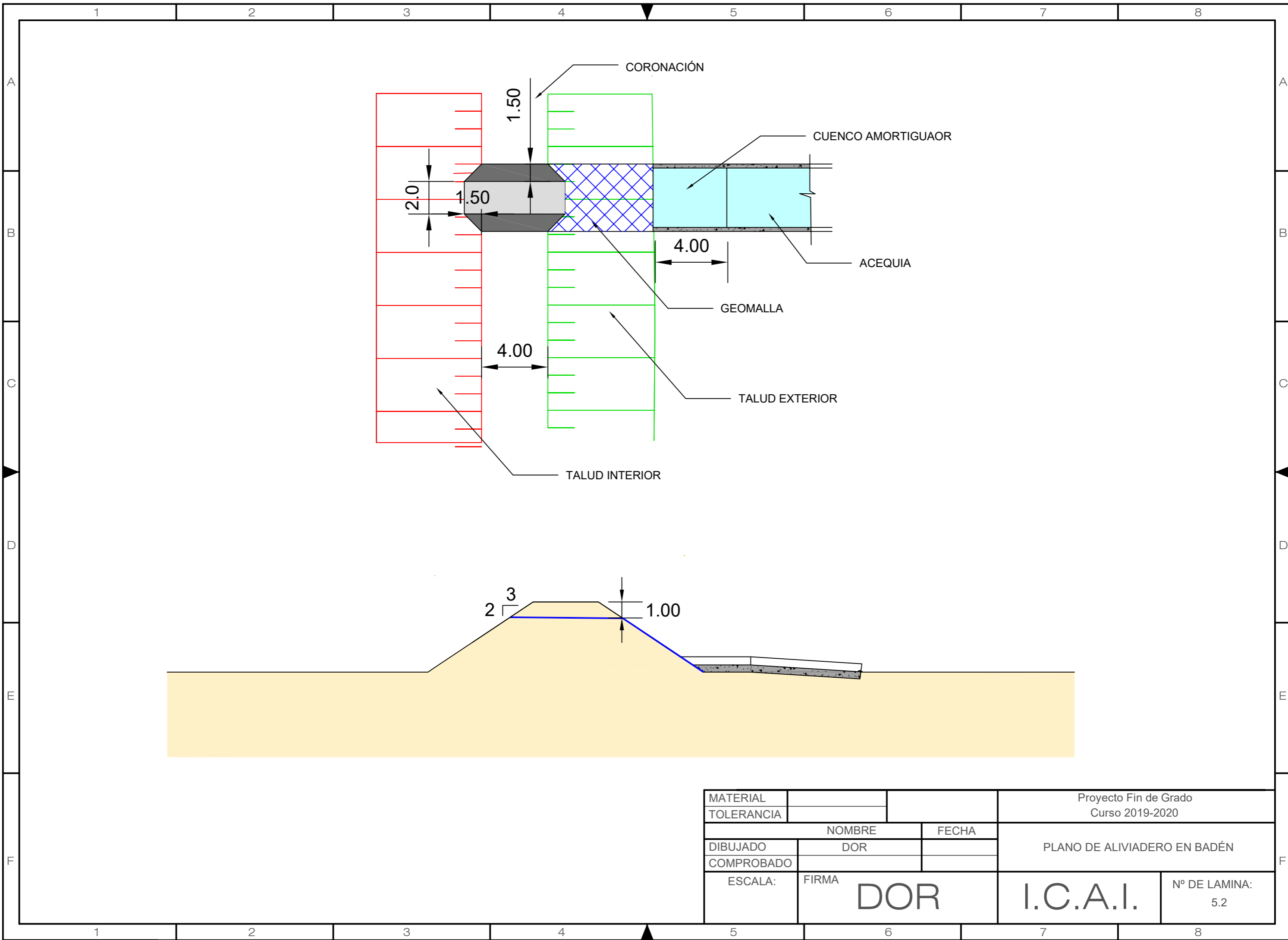
6,45

Talud exterior

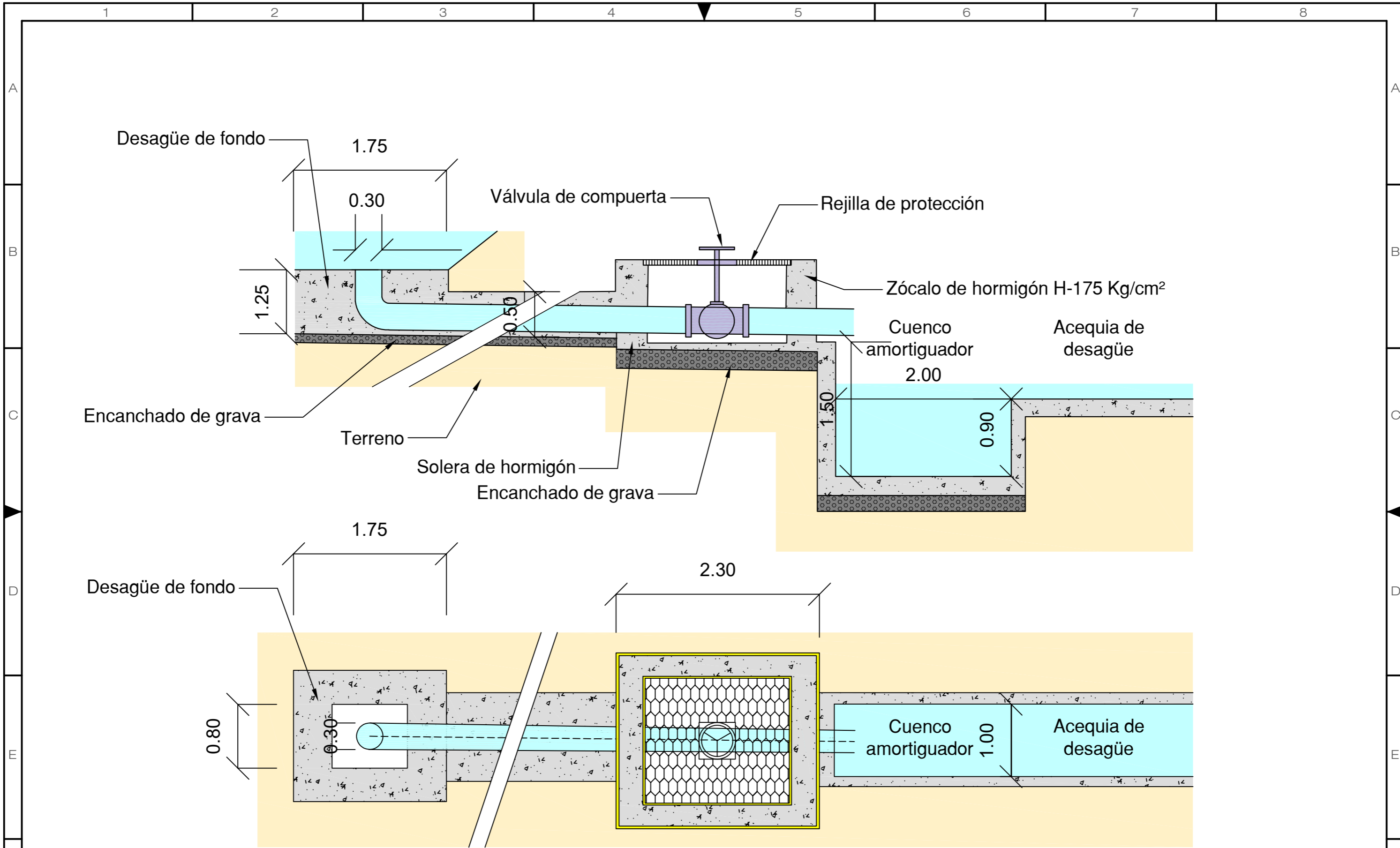
Talud interior

Coronación (4.00 m)

MATERIAL			Proyecto Fin de Grado	
TOLERANCIA			Curso 2019-2020	
	NOMBRE	FECHA	PLANO DE OBRA DE ENTRADA	
DIBUJADO	DOR			
COMPROBADO				
ESCALA:	FIRMA	DOR	I.C.A.I.	Nº DE LAMINA: 5.1



MATERIAL			Proyecto Fin de Grado	
TOLERANCIA			Curso 2019-2020	
DIBUJADO		NOMBRE	FECHA	PLANO DE ALIVIADERO EN BADÉN
COMPROBADO		DOR		
ESCALA:	FIRMA	DOR		I.C.A.I.
				Nº DE LAMINA: 5.2



Nota: La longitud máxima de la tubería no deberá rebasar los 40 m.

MATERIAL			Proyecto Fin de Grado	
TOLERANCIA			Curso 2019-2020	
	NOMBRE		FECHA	
DIBUJADO	DOR			
COMPROBADO				
ESCALA:	FIRMA		I.C.A.I.	Nº DE LAMINA: 5.3
	DOR			

PLANO DE TOMA DE AGUA Y DESAGÜE DE FONDO