



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO EDIFICIO SOSTENIBLE PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN ZIMBABUE

Autor: Alberto Mascareñas Brito
Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Junio de 2019

ESTE PROYECTO CONTIENE LOS SIGUIENTES DOCUMENTOS:

Documento I, Memoria:

I.I Memoria	pág 9 a 29	20 páginas
I.II Cálculos	pág 31 a 60	29 páginas
I.III. Anejos	pág 61 a 90	29 páginas

Documento II. Planos:

II.I Lista de Planos	pág 95	1 página
II.II Planos	pág 97 a 106	9 páginas

Documento III. Pliego de Condiciones

III.I Generales	pág 107 a 116	9 páginas
-----------------	---------------	-----------

Documento IV, Presupuesto

IV.I Generales	pág 117 a 126	9 páginas
----------------	---------------	-----------

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

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

El autor D. **Alberto Mascareñas Brito**

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: **“EDIFICIO SOSTENIBLE PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN 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) Reproducirla 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

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.

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:

- Madrid, a 23 de Junio de 2019

Fdo.....

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



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
"EDIFICIO SOSTENIBLE PARA COLEGIO DE FORMACIÓN
PROFESIONAL EN ZIMBABUE"

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2018/2019 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.: Alberto Mascareñas Brito Fecha: 19/ 06/ 2019

Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Miren Tellería Ajuriaguerra Fecha: 19/ 06/ 2019



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO EDIFICIO SOSTENIBLE PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN ZIMBABUE

Autor: Alberto Mascareñas Brito
Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Junio de 2019

EDIFICIO SOSTENIBLE PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN ZIMBABUE

Autor: Mascareñas Brito, Alberto

Director: Tellería Ajuriaguerra, Miren

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

En este Proyecto Final de carrera se pretende resolver el problema al acceso a la educación en Mount Darwin, área rural situada en el norte de Zimbabwe.

Este Proyecto continúa un gran proyecto de educación. Hace dos años, se llevó a cabo un edificio sostenible en el que se impartieran clases de educación secundaria. Dos años más tarde, se quiere seguir con la educación de esta comunidad con un colegio de formación profesional. Así, se pretende que tanto esta comunidad como las vecinas se beneficien de esta escuela y sean capaces de mejorar sus condiciones de vida a la vez que obtener fuentes de ingresos.

El objetivo de este Proyecto Fin de Grado es diseñar y construir un edificio sostenible en el que se impartan clases de ganadería y agricultura. En una sociedad rural como en la que se encuentra esta comunidad es vital conocer y dominar los distintos métodos y técnicas agrícolas y ganaderas para así, de la forma más eficiente lograr un mayor aprovechamiento de las tierras y obtener el máximo beneficio posible, ya sea económico o productivo.

El edificio constará de dos aulas en las que se impartirán las ya mencionadas clases de agricultura y ganadería; un cuarto más pequeño, con la idea de ser utilizado como almacén y guardar en él las distintas herramientas empleadas en estas labores así como todo lo relacionado con las placas fotovoltaicas utilizadas para dotar este edificio de electricidad; también contará con un recibidor que será utilizado para distribuir a los alumnos en las dos aulas distintas.

El punto de vista utilizado para el diseño de esta construcción está basado en buscar simplicidad en la realización del proyecto, para poder cumplir con los plazos de construcción durante los meses de julio y agosto; en hacer el proyecto lo más económico posible, ya que se cuenta con un presupuesto limitado; y en el uso de materiales locales, con el fin de impulsar la economía local, reducir gastos e implicar en un mayor grado a la comunidad local.

El proceso seguido en el desarrollo del proyecto se expresa a continuación.

En primer lugar, se estudió la situación de Zimbabue, extrapolándolo después a una zona rural del noreste del país para hacerse una idea y comprender las necesidades que tienen y así poder plantear una solución a alguna de estas necesidades.

Se analizó las características del suelo, se tuvo acceso a un estudio geotécnico realizado a unos 30 kms del área de los colegios. Sin embargo, se creyó oportuno utilizar este estudio como referencia del tipo de suelo que se podrá encontrar en esta comunidad.

Una vez analizado el suelo se estudió las distintas cimentaciones posibles, seleccionando finalmente una cimentación superficial formada por una zapata corrida de hormigón armado. Esta decisión se tomó teniendo en cuenta las características del suelo, el gasto económico y la sencillez para llevarla a cabo. Además, es una cimentación conocida por la comunidad lo cual permite ser ejecutada en un menor tiempo y con mayores garantías.

Para conferir al colegio de un suelo en el que dar clases se creyó oportuno realizar una solera armada, esta será la encargada de transmitir las cargas de las personas y mobiliario al suelo, si bien es cierto que estas cargas son despreciables el armado es fundamental para evitar que el hormigón se agriete debido a contracciones a causa de los cambios de temperaturas.

Sobre la ya mencionada cimentación se levantarán muros de adobe de doble hoja de 3 metros de altura en los laterales y de hasta 5 metros de altura en la cumbre del muro frontal y del fondo. Se decidió por el muro de doble hoja debido a un criterio de esbeltez. El aparejamiento seleccionado fue un aparejamiento de sogá. Aunque el aparejamiento inglés sería perfectamente válido. Estos muros tendrán un tratamiento que los proteja de la lluvia.

Empotradas en estos muros se encontrarían las cerchas encargadas de soportar el tejado, estas cerchas estarán fabricadas de madera de Acacia negra y tendrán una forma de cercha queenpost.

Sobre estas cerchas se soportará una cubierta metálica de acero galvanizado de 0,6 mm de espesor, esta cubierta sobrepasará los laterales de los muros para protegerlos de la lluvia.

Los motivos para la elección de estos materiales y técnicas constructivas fueron la facilidad para encontrarlos en el comercio local y por la facilidad de su construcción. Además de que es la mejor opción económicamente hablando.

Se elaboró un presupuesto que eleva el precio de la obra a 17.327,08 €. Este presupuesto tiene en cuenta el precio de mano de obra en Mount Darwin, conocido por proyectos previos, y materiales en España. Probablemente los materiales costarán menos en Zimbabue, pero como no es posible encontrar los precios de estos se elaboró con un precio español.

Se piensa que el impacto que esta escuela puede hacer en la comunidad es muy positivo, dotando de infraestructuras educativas y enseñando en ellas a utilizar de forma óptima los recursos que esta comunidad posee para autoabastecerse.

SUSTAINABLE BUILDING FOR VOCATIONAL SCHOOL IN ZIMBABWE

Author: Mascareñas Brito, Alberto

Director: Tellería Ajuriaguerra, Miren

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas.

Abstract

This Final Project aims to solve the problem of access to education in Mount Darwin, a rural area in northern Zimbabwe.

This Project continues a great education project. Two years ago, a sustainable high school building was built. Two years later, we want to continue improving the educational system of this community with a vocational school. Thus, it is intended that both this community and the neighbors benefit from this school and are able to improve their living conditions while obtaining different sources of income.

The objective of this Senior Design Project is to design and build a sustainable building in which classes in stockbreeding and agriculture are taught. In a rural society such as the one in which this community finds itself, it is vital to know and control the different agricultural and stockbreeding methods and techniques in order to make the most efficient use of the land and obtain the maximum possible benefit, whether economic or productive.

The building will consist of two classrooms in which the classes in agriculture and stockbreeding will be taught; a smaller room, with the idea of being used as a warehouse and keep in it the different tools used in these tasks as well as everything related to photovoltaic panels used to provide this building with electricity; it will also have a hall that will be used to distribute students in the two different classrooms.

The point of view used for the design of this construction is based on seeking simplicity in the implementation of the project, to meet the construction deadlines during the months of July and August, it is wanted to make the project as economical as possible, as it has a limited budget, and in the use of local materials, in order to boost the local economy, reduce costs and involve the local community to a greater degree.

The process followed in the development of the project is expressed below.

The situation in Zimbabwe was first studied and then extrapolated to a rural area in the north-east of the country in order to get an idea and understand their needs and thus be able to come up with a solution to some of these needs.

The characteristics of the soil were analyzed and a geotechnical study was carried out about 30 km from the school area. However, it was thought appropriate to use this study as a reference for the type of soil that can be found in this community.

Once the soil had been analyzed, the different possible foundations were studied, finally selecting a surface foundation formed by a continuous shoe of reinforced concrete. This decision was made taking into account the characteristics of the soil, the economic cost and the simplicity to carry it out. In addition, it is a foundation known to the community which allows it to be executed in a shorter time and with greater guarantees.

In order to give the school a floor where the classes will be given the use of a sill, it will be responsible for transmitting the loads of people and furniture to the floor, although it is true that these loads are negligible, reinforcement is essential to prevent the concrete from cracking due to contractions due to temperature changes.

On the foundation already mentioned, double-leaf adobe walls will be built, 3 meters high on the sides and up to 5 meters high at the top of the front and back walls. It was decided for the double-leaf wall due to a criterion of slenderness. The rigging selected was a rope rigging. Although the English rigging would be perfectly valid. These walls will have a treatment to protect them from the rain.

Fixed in these walls would be the trusses in charge of supporting the roof, these trusses will be made of black Acacia wood and will have a shape of queenpost trusses.

A 0.6 mm thick galvanized steel roof will be supported on these trusses. This roof will extend beyond the sides of the walls to protect them from the rain.

The reasons for the choice of these materials and construction techniques were the ease of finding them in the local trade and for the ease of their construction. Plus it is the best economical option.

A budget was drawn up that raises the price of the project to 17,327.08 €. This budget takes into account the price of labor at Mount Darwin, known from previous projects, and materials in Spain. Probably the materials will cost less in Zimbabwe, but as it is not possible to find the prices of these was made with a Spanish prices.

It is thought that the impact this school can make on the community is very positive, providing educational infrastructures and teaching them to obtain the optimal use of the resources that they have access to.

Documento I: Memoria

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Mapa de Dotito. Fuente: Propia. Recurso: Google Maps	14
Ilustración 2. Colegio secundario de Mount Darwin. Recurso: Gema Fernández	16
Ilustración 3. Gando Primary School. Recurso: Kéré Foundation	17
Ilustración 4. Alumnos de las escuelas del Chad. Recurso: Fundación ingenieros ICAI	18
Ilustración 5. Zapata corrida. Fuente: Generador de Precios	23
Ilustración 6. Cercha Diseñada. Fuente: Propia	25
Ilustración 7. Lámpara Reciclada. Fuente: Ecoinventos.....	27
Ilustración 8. Idea Ilustrativa. Fuente: Propia	28
Ilustración 9. Relación canto-vuelo de una Zapata Flexible. Fuente: Estructurando	39
Ilustración 10. Varillas de Acero en Zapata Corrida. Fuente: El Constructor Civil	40
Ilustración 11. Seguridad en una Zapata. Fuente: Juan Pérez Valcárcel.....	42
Ilustración 12. Aparejo Inglés (izq) y Aparejo de sogas (Der) . Fuente: Ciencia y Cemento	45
Ilustración 13. Diagrama de Vientos en Zimbabwe. Fuente: Meteoblue	47
Ilustración 14. Distintas Disposiciones de Cerchas Fuente: GeotechTips Twitter	52
Ilustración 15. Partes de una Cercha. Fuente: Ingecivil.....	52
Ilustración 16. Distribución de Fuerzas en la Cercha. Fuente: Propa	56
Ilustración 17. Tipos de Cumbreras. Fuente: Isotermia	60

Índice de Tablas.

Tabla 1. Estudio climatológico Mount Darwin. Fuente: Climate Data.....	15
Tabla 2. Dimensiones Colegio	21
Tabla 3. Capacidad de Cargas Admisibles de Suelos. Fuente: CivilGeeks	21
Tabla 4. Diagrama de Gantt. Fuente: Propia.....	29
Tabla 5. Coeficientes de Mayoración. Fuente: Documento Básico SE.....	36
Tabla 6. Cargas mayoradas sobre la cimentación. Fuente: Propia	36
Tabla 7. Caracterización de Carga admisible del Suelo.....	38
Tabla 8. Valores Adobe	44
Tabla 9. Propiedades Acacia Melanoxylon. Fuente: Scielo. Autor: Igartúa, Moreno, Piter, Monteoliva	51
Tabla 10. Comparativa de Cerchas. Fuente: Propia.....	53
Tabla 11. Valores de Fuerzas Máximas. Fuente: Propia	56

Capítulo I: Memoria

Índice

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 SITUACIÓN DE ZIMBABUE	13
1.2 CLIMA DE ZIMBABUE	14
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	15
2.1 SOLUCIONES YA IMPLEMENTADAS	15
A) <i>Colegio Secundario de Mount Darwin</i>	16
B) <i>Gando Primary School</i>	16
C) <i>Fundación de Ingenieros ICAI en Chad</i>	17
2.2 SOLUCIÓN ESCOGIDA.....	18
3. MOTIVACIÓN.....	19
4. OBJETIVOS DEL PROYECTO	19
5. RECURSOS EMPLEADOS.....	20
6. DISEÑO	20
6.1 DIMENSIONES	20
6.2 CIMENTACIONES.....	21
6.3 SOLERA.....	23
6.4 MUROS	23
6.5 CERCHAS.....	24
6.6 TEJADO.....	25
6.7 OTROS.....	26
7. ALTERNATIVAS	26
7.1 RECOLECCIÓN DE AGUAS	26
7.2 TEJADO RECICLADO	26
7.3 LÁMPARA SOLAR	26
7.4 VENTILACIÓN PASIVA.....	27
8. METODOLOGÍA DE TRABAJO	28

1. Introducción

Este Proyecto Fin de Grado busca mejorar el nivel de vida de una comunidad rural en el noreste de Zimbabwe. Consiste en el diseño de una escuela de formación profesional en la que se impartirán clases de agricultura y ganadería. Siguiendo así, el proyecto educativo que se empezó hace dos años con la construcción de la escuela de educación secundaria.

Se pretende con este proyecto dar los conocimientos básicos para poder desarrollar tareas agrícolas y ganaderas y de este modo dotar a la comunidad de herramientas para el autoabastecimiento y en el caso de obtener excedentes poder tener una forma de ingreso.

Este Proyecto se lleva acabo junto a la ONG Child Future África que es el encargado de llevar el orfanato en Mount Darwin, Zimbabwe, y que tuvo la idea de empezar este proyecto educativo hace unos años. Así mismo, la Fundación de Ingenieros ICAI para el desarrollo tiene un papel importante en estos proyectos ayudando proactivamente.

Este proyecto se pretende llevar a cabo de una forma sencilla, económica y sostenible. Sencilla para poder llevarlo a cabo durante los meses de verano y con unas herramientas del mercado local de Zimbabwe, y al poder ser reduciendo la necesidad de personal cualificado en la obra; económica debido al presupuesto con el que se cuenta; y sostenible, utilizando materias primas locales y duraderas, pero que, en el caso de ser necesario, en el mercado local se pudiera encontrar reemplazos. (Ventanas, puertas...)

1.1 Situación de Zimbabwe

Zimbabwe se encuentra en el sur de África, limitando con Sudáfrica al sur, Mozambique al este, Zambia al norte y Botsuana al oeste. La región a la que se pretende ayudar está situada al noreste del país, a dos horas en coche desde Harare, la capital de Zimbabwe. La ilustración 1 ayuda a ubicar la zona en la que se quiere ayudar.



ILUSTRACIÓN 1. MAPA DE DOTITO. FUENTE: PROPIA. RECURSO: GOOGLE MAPS

La situación en la que se encuentra este país no es nada buena. Por un lado, se estima que tres quintos de la población viven en la pobreza, y un quinto en extrema pobreza¹.

Por otro lado, la situación económica que atraviesa el país es sensible, vienen de una crisis sin precedentes comenzada en 2008 en la que la hiperinflación hizo que se alcanzaran tasas de desempleo de más del 80% de la que aún se están recuperando².

La situación política de este país es inestable, en 2017 hubo un golpe de estado llevado a cabo por el ejército contra el dictador Robert Mugabe. Y hay continuas protestas contra el gobierno por medidas que toma, como la subida del combustible en enero de este año.

1.2 Clima de Zimbabwe

Es importante saber las condiciones climáticas de este país a la hora de abordar el problema que se plantea en este Proyecto Final de Grado. Se centrará la búsqueda en la región de Mount Darwin ya que es la de interés. No obstante, se evaluará el clima del país.

El clima del país es subtropical, con veranos de ocho meses (de octubre a abril) que se caracteriza por una temperatura promedio de 30°C y en el que se desarrolla la temporada de lluvias (de noviembre a marzo). Por otro lado, en invierno (de mayo a septiembre) la temperatura promedio es de 20°C bajando considerablemente por la noche.³

¹ <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-42052253>

² https://es.wikipedia.org/wiki/Economía_de_Zimbabwe

³ <https://www.studycountry.com/es/guia-paises/ZW-climate.htm>

En la Tabla 1 se puede tener una visión general de las temperaturas y precipitaciones medias en la región de Mount Darwin.

TABLA 1. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO MOUNT DARWIN. FUENTE: CLIMATE DATA.

MOUNT DARWIN WEATHER BY MONTH // WEATHER AVERAGES

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Avg. Temperature (°C)	22.9	22.7	22	20.3	17.4	14.9	14.6	16.7	20.1	23.4	23.8	23.3
Min. Temperature (°C)	18.1	17.9	16.3	13.7	9.5	6.4	5.8	7.8	11.7	15.8	17.6	18
Max. Temperature (°C)	27.8	27.6	27.7	26.9	25.3	23.5	23.4	25.6	28.6	31	30	28.6
Avg. Temperature (°F)	73.2	72.9	71.6	68.5	63.3	58.8	58.3	62.1	68.2	74.1	74.8	73.9
Min. Temperature (°F)	64.6	64.2	61.3	56.7	49.1	43.5	42.4	46.0	53.1	60.4	63.7	64.4
Max. Temperature (°F)	82.0	81.7	81.9	80.4	77.5	74.3	74.1	78.1	83.5	87.8	86.0	83.5
Precipitation / Rainfall (mm)	210	178	92	25	5	2	0	0	2	11	72	184

2. Estado de la cuestión

Se quiere continuar con el sistema educativo de la región de Mount Darwin en la que hace dos años se construyó el colegio de educación secundaria. Para ello se quiere llevar a cabo la construcción de dos aulas destinadas a la agricultura y la ganadería.

La comunidad cuenta con huertos, sistemas de regadíos y pozos (hechos en antiguos proyectos) pero no cuenta con los conocimientos necesarios para explotar estos recursos a su máximo nivel. Por estos motivos, entre otros se destinan estas aulas a estas dos áreas.

2.1 Soluciones ya implementadas

Se considera importante hacer una primera toma de contacto con proyectos similares llevados a cabo. Para ello se pensó que sería conveniente utilizar proyectos que estuvieran en la misma situación que el que se pretende desarrollar.

Se buscaron proyectos de cooperación llevados a cabo en países africanos, con un presupuesto bajo, y al poder ser con un clima parecido al de este Proyecto.

Se estudiaron los siguientes casos:

A) Colegio Secundario de Mount Darwin

Como era de esperar, se analizó el colegio realizado hace dos años. Por motivos de clima, localización, recursos y personal se pensó que el análisis de este proyecto podría traer enormes ventajas al presente Proyecto Final de Grado.

Este colegio de secundaria tuvo un impacto importante en la comunidad local, cuenta con tres aulas y puede albergar a un total de 120 alumnos, pudiendo así continuar con su educación. En primer lugar, querían utilizar una cimentación superficial, con muros de hormigón, una celosía compuesta por cerchas de madera y una cubierta metálica, pudiendo tener alguna variación en estos aspectos, pero intentando siempre seguir con la metodología constructiva en la comunidad. Cabe mencionar que este proyecto se estimó en una vida útil de al menos 50 años impactando significativamente en todos los aspectos de la comunidad durante un largo periodo de tiempo.



ILUSTRACIÓN 2. COLEGIO SECUNDARIO DE MOUNT DARWIN. RECURSO: GEMA FERNÁNDEZ

B) Gando Primary School

El conocido arquitecto Francis Kéré hizo carrera en Europa, y tras consolidarse en esta industria decidió hacer proyectos cooperativos en su ciudad natal, Gando, en Burkina Faso. Por su paralelismo, estudiamos el colegio de primaria realizado en esta región. Construyó una escuela con ladrillos de barro, habitual en áreas rurales protegidos de la lluvia por una cubierta metálica usada como techo. Debido a que estas cubiertas metálicas

aumentan el calor en la escuela separa el techo del muro dejando así un sistema de ventilación⁴.



ILUSTRACIÓN 3. GANDO PRIMARY SCHOOL. RECURSO: KÉRÉ FOUNDATION

C) Fundación de Ingenieros ICAI en Chad

Se estudio el proyecto de las escuelas de educación primaria llevado a cabo en la región del Chad gracias a la ayuda de la Fundación de Ingenieros ICAI en la cual se quería mejorar las infraestructuras de 3 escuelas. La idea era involucrar a las comunidades haciendo un hangar que fuera el esqueleto de partida y fueran las familias de estas comunidades las que completaran con sus gustos estas escuelas⁵.

⁴ <http://www.kere-architecture.com/projects/primary-school-gando/>

⁵ <https://fundacioningenierosicai.org/nuestros-proyectos/proyectos-finalizados/escuelas-de-calidad-en-la-region-de-guera-chad/>



ILUSTRACIÓN 4. ALUMNOS DE LAS ESCUELAS DEL CHAD. RECURSO: FUNDACIÓN INGENIEROS ICAI

En la ilustración de arriba podemos ver a alumnos de estas escuelas de educación primaria en la región del Chad.

2.2 Solución escogida.

Se propone una edificación sencilla, económica y que involucre a las comunidades vecinas. Este edificio albergará dos aulas y un almacén en el que guardará el material empleado en la agricultura y ganadería.

El emplazamiento de este colegio de formación profesional se sitúa en la zona de los colegios. En el momento de la obra e “in situ” se determinará la orientación del colegio, atendiendo a criterios como las características del terreno, la luminosidad o la orientación vigente de las construcciones de los otros colegios.

Se apuesta por una cimentación superficial a modo de zapata corrida, esta estará formada por hormigón armado. De esta misma forma, se cree conveniente realizar una solera a modo de suelo de hormigón armado.

Por otro lado, se pretende levantar muros de carga de 3 metros de altura sobre la zapata corrida. El material de estos muros será de ladrillo local, con características muy similares a las del adobe, ya que es una variante de este.

En cuanto al techo se utilizará una chapa metálica, ya que esta técnica es común en la comunidad, soportada por cerchas de madera encargadas de transmitir la carga de este techo a los muros y de soportar las lámparas de iluminación.

La iluminación de esta escuela corre a cargo de otro Proyecto Final de Grado, llevado a cabo por otro alumno. No obstante, se dimensionará todo teniendo en cuenta los pesos de las placas fotovoltaicas,

Esta forma constructiva y los materiales utilizados se consideran los idóneos ya que son materias económicas y locales. A sí mismo, el sistema constructivo es conocido y los cooperantes y voluntarios no tendrán ningún problema a la hora de seguir las instrucciones por el personal cualificado.

Se ha intentado en la medida de lo posible tener la necesidad de utilizar maquinaria costosa y que requiera de personal cualificado, ya que esto encarecería considerablemente la obra.

Otras opciones fueron contempladas, como el tipo de cimentación escogida, la elección de otros materiales u otros procesos constructivos, pero fueron descartados por no ser lo óptimos y como se explicará en los capítulos futuros.

3. Motivación.

La necesidad de conocimientos agrícolas y ganaderos en una sociedad rural que vive del campo obliga a tener una educación acorde. Por eso, con este Proyecto, se quiere dotar a esta comunidad de las infraestructuras necesarias para albergar clases en las que se aborden estas materias y a su vez tengan un almacén para albergar las herramientas necesarias.

Por otro lado, estas comunidades gozan solo de una escuela de educación primaria y secundaria. De esta manera se da la oportunidad de que la gente que quiere seguir con su formación no se vea obligada a tener que irse a la capital y pueda adquirir estos conocimientos cerca de sus casas.

4. Objetivos del proyecto

El objetivo del proyecto es dotar de la infraestructura necesaria a la comunidad de Mount Darwin y a los niños y niñas del orfanato de Child Future Africa, para impartir cursos de formación profesional.

Para poder llevar a cabo de forma satisfactoria este proyecto se tendrá que:

1. Conseguir la recaudación necesaria para los proyectos a través de campañas proactivas y contactando con empresas que quieran participar ayudando económicamente o a través donaciones de materiales.
2. Diseñar y calcular el colegio. Con la correspondiente elección de los materiales y sistemas constructivos.

3. Investigar el mercado local para conseguir la mejor opción en cuanto a materiales.
4. Realizar un diseño sencillo para poderlo llevar a cabo durante los meses de verano.

5. Recursos empleados

Para poder llevar a cabo el Proyecto se utilizarán materiales comprados en el propio país. Concretamente en la capital, Harare. Esta decisión está tomada teniendo en cuenta varios factores claves:

1. Tener un impacto económico en el país utilizando productos locales.
2. Reducir costes económicos ya que el transporte de mercancías eleva el costo del Proyecto.
3. En el caso de necesitar reemplazos en el futuro (ventanas, puertas...) se podrán encontrar fácilmente los mismo que se empleó al ejecutar la obra.

Se comprará los siguientes materiales:

- Cemento
- Varillas de acero
- Ladrillos
- Madera (Para las cerchas)
- Placas metálicas
- Puertas y ventanas.

La cantidad de estos materiales se especifica en apartados futuros. El tipo de material utilizado dependerá de la capacidad para encontrarlo en el mercado local.

6. Diseño

En este apartado se expondrá el diseño realizado y las consideraciones que se tuvieron a la hora de realizarlo. Los cálculos realizados para los dimensionamientos se explicarán en la sección “Cálculos”.

6.1 Dimensiones

Se estudio el tipo de colegio que se necesitaba, y para que iba a ser destinado. Llegando a la opción de realizar el Proyecto con las Dimensiones que se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2. DIMENSIONES COLEGIO

	Área (m ²)
Colegio	160
Aula 1	64
Aula 2	64
Almacén y Cuarto de contadores	12
Recibidor	20

6.2 Cimentaciones

En primer lugar, se carece de un estudio geotécnico realizado en los terrenos en los que se va a construir este colegio de formación profesional. No obstante, se tiene un estudio geotécnico del lugar donde se encuentra el orfanato de Child Future África, que se encuentra a unos 30 kilómetros de distancia. Este estudio, sin ser concluyente, aporta información de gran valor sobre las características geológicas de la zona que se tendrán en cuenta a la hora del diseño y dimensionamiento de esta obra. Este estudio geotécnico está disponible en el Anexo A de este documento.

Por otro lado, se tiene documentación a cerca de distintas obras realizadas en los terrenos en los que este Proyecto se quiere construir.

También, buscando valores típicos de las capacidades de carga admisibles del suelo, recogidos en la tabla 3, se podrá hacer una estimación más precisa a cerca de la capacidad admisible del suelo.

TABLA 3. CAPACIDAD DE CARGAS ADMISIBLES DE SUELOS. FUENTE: CIVILGEEKS

Tipo de Material	p (kg/cm ²)
Roca, dura y sana (granito, basalto)	40
Roca, medio dura y sana (pizarras y esquistos)	20
Roca, blanda o fisurada	7
Conglomerado compacto bien graduado	4
Gravas. Mezcla de arena y grava	2*
Arena gruesa. Mezcla de grava y arena	2*
Arena fina a media. Arena media a gruesa, mezclada con limo o arcilla.	1.5*
Arena fina. Arena media a fina mezclada con limo o arcilla.	1.0*
Arcilla inorgánica, firme.	1.5
Arcilla inorgánica, blanda.	0.5
Limo inorgánico, con o sin arena.	0.25

* Reducir en 50% en el caso de estar bajo el nivel freático.

En la sección de cálculos se explica cómo se diseñó la cimentación y que criterios e hipótesis fueron asumidas para ese cálculo.

Una vez analizado el terreno, de la mejor manera posible y al carecer de más bibliografía, se opta por una cimentación superficial ya que las cargas a soportar son muy livianas. Los cimientos estarán solicitados por el peso de la propia estructura (una planta) y el peso de las personas. Todo ello suma una carga baja, por lo que una cimentación profunda encarecería mucho la obra y no aportaría nada.

Dentro de las cimentaciones superficiales se estudiaron las zapatas, zapata corrida y losas de cimentación. Llegando a la conclusión de que la zapata corrida es la mejor opción debido a los siguientes aspectos:

1. Permite distribuir de una forma más uniforme las cargas al terreno que una zapata aislada. Evitando así concentrar las cargas en lugares puntuales que pueden sobrepasar la carga admisible del suelo.
2. Reduce los asentamientos diferenciales.
3. Es económicamente más cara que las zapatas aislada, pero la ventaja que te aporta justifica el encarecimiento.
4. Una losa de cimentación aporta lo mismo y encarece la obra ya que es más cara que la zapata corrida. Por lo que queda descartada.
5. Forma constructiva conocida por la comunidad de Mount Darwin, permitiendo así que la obra se ejecute con mayores garantías y en un menor tiempo.

Debido a que se carece de información exacta a cerca de las características geológicas del terreno y a que el concreto trabaja bien a compresión, pero muy mal a tracción se estima oportuno, en favor a la seguridad emplear hormigón armado en la obra. Ya que al no saber exactamente como se comportará el terreno, no podemos calcular exactamente cómo será la flexión de la cimentación, y por ende no se sabe cómo será la tracción de las fibras de la base de la zapata. Por esto se decide emplear hormigón armado con varillas corrugadas de acero, para que estas soporten la tracción a la que se verá sometida la parte inferior de la cimentación.

El material utilizado en la cimentación será hormigón con varillas corrugadas de acero, como se explica en la sección de cálculos la cuantía de acero no es estudio de este Proyecto.



ILUSTRACIÓN 5. ZAPATA CORRIDA. FUENTE: GENERADOR DE PRECIOS

La zapata planteada tendrá una imagen similar a la de la Ilustración 5, con una profundidad de 0,5 metros, un vuelo de 25 cm y una altura de 12 cm. Con estas dimensiones la zapata se comportará como una zapata flexible y por lo tanto las ecuaciones de Navier-Bernoulli serán válidas para el diseño.

6.3 Solera

La solera tendrá función estética, y será el suelo en el que se impartan las clases, aunque soportará las cargas de personas y mobiliario y las repartirá al suelo no tiene carácter estructural debido a que estas cargas son despreciables.

La solera estará hecha de hormigón y se armará con un mallado de varillas de acero, para evitar así que el cemento se fracture por cargas a tensión producidas por la dilatación o contracción del material.

6.4 Muros

En cuanto a los muros, se quieren construir con ladrillo de adobe. Por construcciones previas se sabe que las propiedades mecánicas de estos ladrillos no son como las de un ladrillo encontrado en la construcción española. Al tratarse de ladrillos artesanos y con sistemas de producción rústicos encontramos ladrillos con propiedades mecánicas entre el adobe y ladrillos tradicionales de España, es por eso por lo que se dimensionará con factores de seguridad mayorados. Todos los muros tendrán función estructural y se dimensionarán de igual manera.

Teniendo en cuenta que las dimensiones exteriores son 20 metros de largo, y 8 metros de ancho y queriendo que la altura de la obra sea de tres metros en las paredes laterales, y de hasta 5 metros en la pared frontal y trasera (haciendo la forma triangular del tejado) será necesario tener en cuenta la esbeltez y el momento de inercia de este. El caso más desfavorable es cuando el muro tenga 5 metros de alto, caso para el que el espesor será evaluado.

Como se puede apreciar en la sección “Cálculos” se obtuvo un espesor mínimo de 185 mm. La excentricidad de las cargas en los muros no se evaluó, ya que no hay de esta. Sin embargo, si se tuvieron en cuenta las fuerzas horizontales debido a las fuerzas del viento, que actúan como cortante en los muros.

Para lograr soportar las cargas estructurales de techo, cerchas y el peso propio es de vital importancia elegir la correcta disposición de los ladrillos. Se barajaron distintas opciones como el muro de una hoja (estudiándose los distintos aparejamientos posibles) y el muro de dos hojas. Otros tipos de muros como el capuchino, careado o de tendeles se descartaron por la dificultad que conllevaban o por la necesidad de tener ladrillos huecos.

Se eligió el aparejamiento de sogas con doble hoja. Esta decisión se tomó debido a la necesidad de tener un espesor mínimo de 185 mm, lo que supondría el tener que utilizar dos hojas en lugar de una. En cuanto al aparejamiento hay dos que nos valen perfectamente, que son el de sogas y el inglés, en este Proyecto se decidió el de sogas, pero el inglés es perfectamente válido.

La unión entre el muro y la cimentación se hará con cemento y con castillos de varillas de acero salientes de la zapata cada 3 metros, el muro quedará así confinado en la zapata.

En un lugar como Mount Darwin en el que existe un periodo del año en el que las lluvias son recurrentes e intensas es de vital importancia que los muros tengan un acabado que les proteja de la penetración del agua y de la humedad. Para este acabado serviría cualquier capa repelente al agua como un acabado tarrajeo. Que consiste en dar una capa de una mezcla formada por arena, cemento y agua; es una forma económica de dotar al muro de una capa externa que impida la penetración del agua y sobre la que se puede pintar. También será de gran ayuda agrandar los aleros del tejado para que el agua de las lluvias caiga lo más lejos del muro.

6.5 Cerchas

Las cerchas serán las encargadas de transmitir las cargas provenientes del tejado a los muros. Se utilizará cerchas del estilo Queenpost y tendrán unas dimensiones de 10x5 cm. Se utilizarán un total de 7 cerchas separadas por 2,5 metros y estas estarán unidas entre sí a través de correas con sección transversal cuadradas de 8 cm de lado. En la sección de cálculos se puede ver cómo fueron tomadas estas decisiones.

El material empleado en estas cerchas podría ser cualquiera que cumpliera con las características estructurales que impusiese las cargas del techo. Pero por motivos económicos y debido a que se tiene experiencia en proyectos anteriores la madera será el material utilizado en estas cerchas.

Se utilizará la madera de acacia negra, que es fácilmente encontrada en Zimbabue, esta madera tiene buenas propiedades mecánicas y una densidad relativamente baja, en la sección de cálculos se pueden ver estos valores. Habrá que tener especial cuidado con la orientación de las fibras de la madera en nuestras cerchas ya que la madera es un material anisotrópico y sus propiedades cambian en función de la dirección de las fibras.

Las cerchas fueron diseñadas para soportar el tejado y placas fotovoltaicas para el abastecimiento energético del colegio.

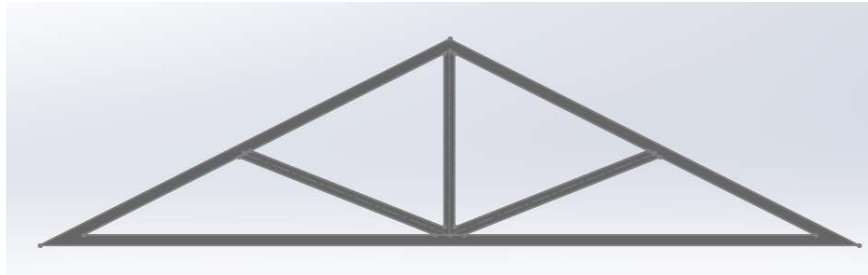


ILUSTRACIÓN 6. CERCHA DISEÑADA. FUENTE: PROPIA

6.6 Tejado

En cuanto al tejado se quiere utilizar planchas metálicas por diversos motivos:

1. Se trata de un material ligero, lo cual permite reducir el peso de la estructura.
2. Es de fácil instalación, además de ser frecuentemente usadas en la comunidad rural de Mount Darwin.
3. No necesita mantenimiento.

Se quiere que estas planchas metálicas sobresalgan por los laterales para proteger los muros de la lluvia.

Estas planchas podrán ser de distintos materiales como acero, aluminio, cobre o zinc. Atendiendo a un criterio puramente económico en este proyecto se utilizará placas de acero inoxidable.

Este tipo de planchas se encuentran fácilmente en el mercado local, son duraderas y resistentes. Por otro lado, son ruidosas cuando llueve, por lo que habrá que encontrar una solución para minimizar este ruido.

La solución encontrada para minimizar el ruido fue el crear una especie de panel sándwich con dos placas metálicas separadas por una tela asfáltica que reduzca este ruido proveniente de la lluvia.

Se intentará reducir el espesor de estas placas para reducir el peso, pero siempre teniendo en cuenta que deben ser capaces de resistir las placas fotovoltaicas para dotar de electricidad al colegio.

6.7 Otros

Se dispone de libertad plena para la elección de las dimensiones de puertas y ventanas, no obstante, se utilizarán medidas normalizadas que se puedan encontrar en el mercado local. La razón de esto es minimizar el costo de la obra y en caso de ser necesario, el reemplazo de estos sería sencillo.

Las puertas tendrán unas dimensiones de 2,1x0,8 m y las ventanas unas dimensiones de 1,2x1,5 m. Tanto las puertas como las ventanas tendrán un dintel por encima para distribuir las cargas del muro que se encuentra encima de ellos a los laterales.

7. Alternativas

Se estudiaron distintas ideas para la mejora del colegio de formación profesional. Que se podrán llevar a cabo en caso de ser aprobadas por la comunidad y tener los recursos económicos suficientes.

7.1 Recolección de aguas

Se plantea implantar canaletas en los extremos del tejado para conducir el agua proveniente de la lluvia a tuberías situadas en los extremos en los que se colocarían tanques para su llenado. Posteriormente, esta agua podría ser destinada al cultivo o en su defecto, procesarla y ser apta para el consumo.

7.2 Tejado reciclado

Se plantea la idea de reciclar basura tecnológica, fenómeno que se da en el sur de África, y reemplazar la plancha metálica exterior por otra formada por CDs que reflejen la luz, reduciendo así el calentamiento de la superficie del tejado.

7.3 Lámpara solar

Se estudia la idea de hacer agujeros en el techo e introducir en ellos botellas de plástico que, llenadas de agua actúan como bombillas al reflejar la luz solar dentro de las aulas⁶.

⁶ <https://ecoinventos.com/convertir-botellas-de-plastico-en-lamparas/>

Para aumentar la luminosidad de estas botellas sería conveniente incluir cloro en ellas, y para evitar el crecimiento de cualquier organismo un poco de lejía sería también recomendable. Es necesario sellar bien la botella al tejado.

Esta idea ya ha sido implantada en algunos hogares con bajos recursos energéticos obteniendo buenos resultados como podemos ver en la Ilustración 7.



ILUSTRACIÓN 7. LÁMPARA RECICLADA. FUENTE: ECOINVENTOS

7.4 Ventilación pasiva

Una buena ventilación es necesaria en una escuela, por motivos de salud y bienestar. Para ello, la escuela se ventilará a través de las ventanas, pero basándonos en el colegio de primaria desarrollado por Francis Kéré en Gando. Se puede incrementar esta ventilación dejando una separación entre el muro y el tejado.

Además, teniendo en cuenta que se quiere empotrar las cerchas al muro se plantea en este apartado la idea de escalonar el muro permitiendo así la ventilación por los huecos y el empotramiento en las crestas. En la Ilustración 8 se puede apreciar la idea.

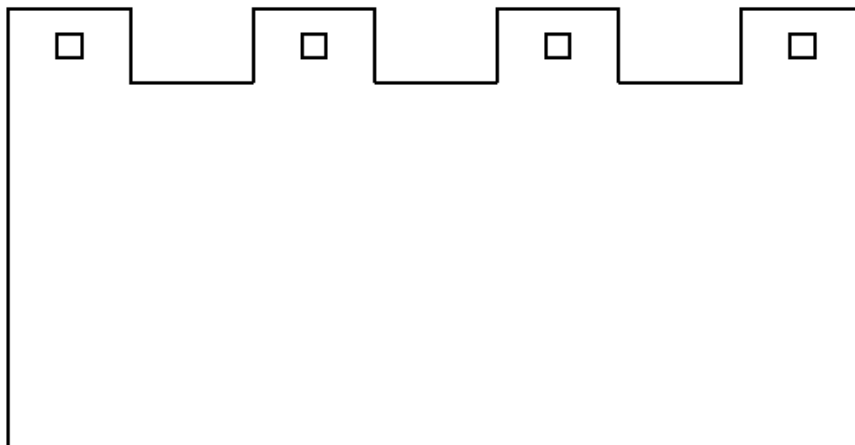


ILUSTRACIÓN 8. IDEA ILUSTRATIVA. FUENTE: PROPIA

Como se puede ver en la Ilustración 8, las crestas empotrarían las cerchas y los huecos permitirían la ventilación. Cabe destacar que esto reduciría la temperatura dentro del colegio ya que el aire caliente ascendería y escaparía por estos huecos. La ilustración anterior tiene únicamente carácter cualitativo.

8. Metodología de trabajo

Este apartado trata de exponer como se ha llevado a cabo la elaboración de este Proyecto. Si bien es cierto que se quiso seguir la metodología de trabajo expuesta en el Anexo B. Esta sufrió varias modificaciones sin impedir el correcto desarrollo de este Proyecto.

Durante los primeros meses se estuvo investigando a cerca de la región en la que se implantaría el Proyecto, así como de sus costumbres y formas constructivas. Se investigó a cerca de los materiales más utilizados en esta región y donde se podrán encontrar.

Una vez sabido esto se pasó a la fase del diseño y análisis. En el que teniendo en cuenta las distintas especificaciones del proyecto se fue diseñando, analizando y optimizando el Proyecto.

Cabe destacar que este proceso no fue lineal sino cíclico y en muchos casos se tuvo que volver a pasos anteriores para verificar que el Proyecto se realizara de forma correcta.

Finalmente se elaboró un presupuesto lo más preciso posible (mencionar que encontrar los negocios de Zimbabwe por internet es complicado ya que muchos no están).

En la siguiente tabla, Tabla 4, se especifica en un diagrama de Gantt la metodología llevada a cabo durante el proyecto.

TABLA 4. DIAGRAMA DE GANTT. FUENTE: PROPIA

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Cultura Zimbawe											
Ideas Proyecto											
Selección de Materiales											
Localización de Materiales en Zimbabue											
Cimentaciones											
Diseño											
Análisis											
Elaboración del Presupuesto											
Memoria											
Implantación del Proyecto											

Capítulo 2. Cálculos

Índice

9. CIMENTACIÓN	35
9.1 CONDICIONES DE PARTIDA	35
9.2 ESTUDIO GEOTÉCNICO	37
9.3 DIMENSIONADO	38
9.3 SEGURIDAD	42
10. SOLERA.....	43
11. MUROS.....	43
11.1 MATERIALES.....	43
11.2 APAREJAMIENTO	44
11.3 DIMENSIONADO	45
11.4 UNIONES	49
12. CERCHAS.....	50
12.1 MATERIALES.....	50
12.2 DIMENSIONADO	51
12.3 UNIONES.....	57
13. TEJADO.....	57
13.1 MATERIALES.....	57
13.2 DIMENSIONADO	58
13.2 DESAGÜES.....	59
13.4 UNIONES.....	59

En este capítulo se expresará de una manera más exhaustiva los cálculos realizados para dimensionar la obra, así como la hipótesis en las que el Proyecto ha sido basado.

9. Cimentación

Como se mencionó en la memoria, se carece de información precisa a cerca de las características geológicas del terreno en el que el colegio de formación profesional se va a construir. Las hipótesis seguidas a la hora de caracterizar las propiedades del suelo se basan en el estudio geotécnico (Anexo A de este Proyecto) que se tiene del terreno del orfanato de Child Future África (ubicado a unos 30 kilómetros del terreno en el que se va a construir) y en proyectos previos llevados a cabo en este terreno.

9.1 Condiciones de partida

La cimentación es la responsable de transmitir las cargas del edificio al suelo, esto quiere decir que debe de ser capaz de soportar las cargas muertas que se puedan dar, las cargas vivas serán soportadas por la solera, y está directamente por el suelo.

Para ello, en la Tabla 6 se recogen los valores estimados de las cargas que deberá de soportar los cimientos.

Para la elaboración de la siguiente tabla se utilizarán las siguientes hipótesis siempre a favor de la seguridad.

1. Se dimensionarán los muros sin huecos, es decir, a efectos de establecer el peso de los muros no existirán las aberturas para ventanas y puertas. Haciendo que la carga sea mayor que la que realmente es.
2. La densidad del muro tendrá en cuenta el peso del cemento entre ladrillos. Suponiendo que los ladrillos tienen unas dimensiones de 24 cm de largo, 12 cm de ancho y 7 cm de alto (Ladrillo normalizado) asumiremos 1 cm de cemento entre ladrillos. Por lo tanto, nuestra densidad de muro vendrá dada por la fórmula:

$$\rho_{Tot} = \frac{\rho_{Adobe} * V_{Adobe} + \rho_{Cemento} * V_{Cemento}}{V_{Tot}}$$

$$\rho_{Tot} = \frac{1500 * (0,2 * 0,1 * 0,05) + 2500 * 0,005(2 * 0,2 * 0,1 + 2 * 0,2 * 0,05 + 2 * 0,1 * 0,05)}{0,21 * 0,11 * 0,06}$$

$$= 1714 \text{ kg/m}^3$$

3. El mobiliario y las personas no se contemplan ya que estas estarán siendo soportado por la solera, que no tiene relación con los cimientos. En el apartado

“Solera” se menciona, pero claramente estas cargas son soportadas por esta, sin ningún problema.

4. Se dimensionará con una chapa pesada como tejado (Acero, pudiendo ser modificada por otra más ligera)
5. Se dimensionará con la acacia melanoxylon como madera, pudiendo ser sustituida por otra más ligera.
- 6.

TABLA 5. COEFICIENTES DE MAYORACIÓN. FUENTE: DOCUMENTO BÁSICO SE

Documento Básico SE Seguridad Estructural

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Como podemos ver en la Tabla 5 para valorar la resistencia ante un tipo de acción permanente en una situación desfavorable utilizaremos un coeficiente de mayoración de 1,35.

TABLA 6. CARGAS MAYORADAS SOBRE LA CIMENTACIÓN. FUENTE: PROPIA

	Densidad (Kg/m ³)	Volumen (m ³)	Peso (Kg)	Coef. Mayoración carga muerta	Peso Mayorado (Kg)
Muros	1714	64	109696	1.35	148090
Cerchas	560	0.2 ⁷	112*7	1.35	151.2*7
Tejado	7800	0.2	3810 ⁸	1.35	5143.5
Total			114290		154292

La densidad y dimensiones de los muros, cerchas y tejados se pueden ver en sus respectivos capítulos.

⁷ Volumen mayor por facilidad de cálculo

⁸ Peso resultante del peso del acero más el de la tela asfáltica. Mirar sección Tejados para más información.

El peso que deberá de soportar la cimentación es de 154292 kilogramos.

9.2 Estudio Geotécnico

Se carece de un estudio geotécnico en el terreno en el que se pretende construir el colegio de formación profesional. Es por ello por lo que se tendrá en cuenta un estudio realizado en los terrenos de Child Future África extrapolando conclusiones a estos.

Al tratarse de una construcción pequeña, de una sola planta y 160 m² se cree que esta hipótesis está justificada ya que las cargas serán livianas.

En el anexo A se puede observar cómo se realizó este estudio geotécnico y las conclusiones que se sacaron. Se recogieron muestras en dos periodos del año distintos (uno en la época seca y otro en la de lluvias) pudiendo observar el cambio del nivel freático y así poder tener el caso más desfavorable.

Como se puede leer en el anexo A, el nivel freático paso de los 10 metros de profundidad en la época seca a 2 metros. Como conclusiones sacadas de este anexo, se puede caracterizar el terreno de arriba a abajo como suelo alterado (de 1 a 2 metros); relleno antrópico (con espesor de 2 metros); limos arcillosos (con espesores de 1 a 2 metros y encontrados a una profundidad de 4,65 a 6,5 metros bajo tierra); gravitas con arenas (con espesores de 0,5 a 2 metros y encontrados a 5,9 a 7,5 metros de profundidad); a más profundidad se encuentran arcillas orgánicas; arenas finas y limosas; y finalmente el sustrato.

Debido a que se va a hacer una cimentación superficial, y esta estará a entre 1 y 3 metros bajo tierra, lo más probable es que nos encontremos con un suelo alterado (el tipo de suelo es arena fina, limo y mezcla de área, limos y arcillas), relleno antrópico (el tipo de suelo es arena limpia, mezcla de grava y arena limpia) o limos arcillosos (el tipo de suelo es arcilla).

Nota: Los tipos de suelo pertenecientes a estas categorías están especificados en el anexo A

Como se puede ver en la Tabla 7, y teniendo en cuenta el tipo de terreno que se podría encontrar, así como contando el caso de estar bajo el nivel freático el caso más restrictivo nos da que el suelo es capaz de soportar 0,5 Kg/cm².

TABLA 7. CARACTERIZACIÓN DE CARGA ADMISIBLE DEL SUELO

Tipo de Material	ρ (kg/cm ²)
Roca, dura y sana (granito, basalto)	40
Roca, medio dura y sana (pizarras y esquistos)	20
Roca, blanda o fisurada	7
Conglomerado compacto bien graduado	4
Gravas. Mezcla de arena y grava	2*
Arena gruesa. Mezcla de grava y arena	2*
Arena fina a media. Arena media a gruesa, mezclada con limo o arcilla.	1.5*
Arena fina. Arena media a fina mezclada con limo o arcilla.	1.0*
Arcilla inorgánica, firme.	1.5
Arcilla inorgánica, blanda.	0.5
Limo inorgánico, con o sin arena.	0.25

* Reducir en 50% en el caso de estar bajo el nivel freático.

Utilizando la carga mayorada se comprobará que no se excedan los $0,5 \text{ Kg/cm}^2 = 5000 \text{ Kg/m}^2$ en el terreno, así, con estos requisitos se dimensionará la zapata.

9.3 Dimensionado

Una vez que se ha determinado el peso de la estructura y la carga admisible del terreno y teniendo en cuenta las dimensiones de la obra se procede a dimensionar la zapata. Para ello se utilizarán las siguientes hipótesis:

1. Se dimensionará como si la zapata únicamente estuviera en los muros exteriores.
2. No se tomará ninguna medida en la zapata en la parte que hacen esquina.

El perímetro de la obra es de 56 m. Por lo tanto, a cada metro del perímetro le corresponderá 2760 Kg

Con estos datos, y teniendo en cuenta que la carga está centrada en el muro, por lo tanto, no existe excentricidad alguna y la zapata transmite las cargas al suelo de manera uniforme se tiene que se necesita un ancho de la zapata de:

$$\sigma = \frac{\text{Carga}}{\text{Área}}$$

$$5000 \geq \frac{2760}{1 * b} \rightarrow b \geq 0.56m$$

Ahora sabemos que la anchura mínima de la zapata debe de ser de 0,55 m, por esta razón se dimensionará con 0,7 m teniendo en cuenta que a este peso hay que sumar el peso de

la cimentación y el peso del suelo que se encuentre por encima de la profundidad a la que se haga la cimentación.

Se quiere dimensionar la zapata como una zapata flexible, en la cual las hipótesis de Nevier-Bernuilli son válidas.⁹ Para ello la altura de la zapata debe de ser menor de la mitad del vuelo. La Ilustración 10 sirve para aclarar este concepto.

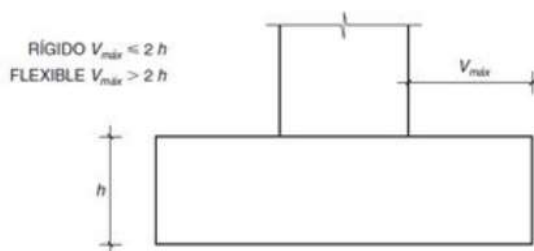


ILUSTRACIÓN 9. RELACIÓN CANTO-VUELO DE UNA ZAPATA FLEXIBLE. FUENTE: ESTRUCTURANDO

Para cumplir con este requisito, pero también con la idea de tener espacio para la armadura se decide utilizar una altura h de 12 cm.

Debido a la poca resistencia a tracción del hormigón se considera oportuno utilizar un hormigón armado para dar resistencia a tracción provocada por la flexión de la zapata. Este caso se dará por asentamientos diferenciales de forma permanente, ya que, si no, la estructura se asentaría de igual forma en todos los puntos y no habría problema a tracción ya que todo estaría comprimido. Y de forma puntual por el viento, que al coger altas velocidades y chocar con la pared tracciona las fibras exteriores.

Para ello se utilizarán varillas corrugadas de acero que serán las responsables de soportar la tracción en estos casos. Estas varillas están normalizadas y deberán de ser de un diámetro menor a 10mm. El emparrillado en la parte inferior de la zapata deberá de estar elevado, con el fin de evitar que toque el suelo y que no se oxide. Irán varillas de acero por toda la zapata en dirección horizontal, como se muestra en la Ilustración 11.

⁹ <http://estructurando.net/2016/02/08/armado-de-una-zapata-como-rigida-y-flexible/>

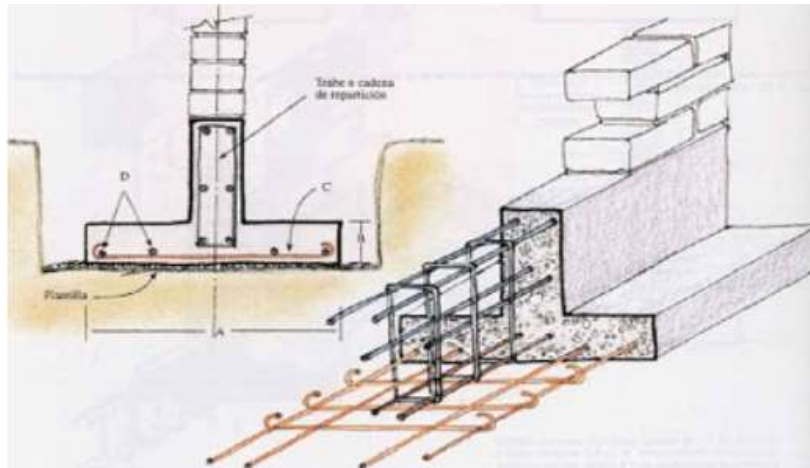


ILUSTRACIÓN 10. VARILLAS DE ACERO EN ZAPATA CORRIDA. FUENTE: EL CONSTRUCTOR CIVIL¹⁰

Por otro lado, para dar confinamiento a los muros se levantarán castillos cada 3 metros y en todas las esquinas. En estos casos se recomienda utilizar ladrillos que estén perforados para poder introducir las varillas por estos huecos y ser recubiertos por cemento.

Las varillas tanto de los castillos como de las zapatas están unidas por estribos, varillas de diámetro inferior que se doblan formando un rectángulo e impiden el desvío de las varillas. La distancia entre varillas y estribos puede variar, pero esta siempre deberá de ser de al menos 2 cm y estar separada del exterior por 2,5 cm como mínimo.

Ahora que se tiene todos los parámetros se calculará el peso total que le llega al suelo. Se hará una cimentación de medio metro de profundidad y como hasta ahora, se dimensionará con 1 metro de longitud.

La carga que llegará al suelo será la de la estructura, mas el peso propio de la cimentación, mas el peso de la tierra sobre la cimentación.

$$Peso_{Total} \left(\frac{Kg}{m} \right) = Peso_{estruct} + \rho_{horm.armado}^{11} * A_{horm.armado} + \rho_{tierra}^{12} * A_{tierra}$$

$$Peso_{Total} \left(\frac{Kg}{m} \right) = 2760 + 2500 * (0,12 * 0,7 + 0,2 * 0,38) + 1600 * (2 * 0,25 * 0,38) \\ = 3464 Kg$$

Este peso repartido por un área de 0,7x1 m sería de:

$$\frac{3464}{0,7 * 1} = 4948 kg/m^2$$

Siendo este un resultado válido para nuestra cimentación al ser inferior a 5000 kg/m², cabe destacar que, aunque sea un valor muy cercano al valor límite esto se debe a que se mayoraron las cargas y se supuso que toda la carga de la estructura se repartiese en los

¹⁰ <https://www.elconstructorcivil.com/2012/05/>

¹¹ <https://ingemecanica.com/tutoriales/pesos.html#concreto>

¹² <http://www.aridsgarcia.com/es/la-oficina-virtual/tabla-de-densidad-de-los-materiales>

muros exteriores, siendo esto falso en la práctica ya que hay muros interiores con función estructural.

Una vez comprobado que con estas dimensiones el suelo es capaz de aguantar las cargas habrá que comprobar que el cemento es válido para la distribución de cargas dada. Para ello se van a tomar valores típicos del hormigón armado (sin entrar en la cantidad de acero de este ni su disposición).

El valor crítico para el cemento estará en la unión en forma de "T" de la zapata, ya que es donde hay una menor área y mayor esfuerzo normal. Se dimensionará por metro de longitud, como hasta ahora.

La carga normal que llega a compresión es:

$$Peso = Peso_{estruct} + \rho_{horm.armado} * A_{horm.armado}$$

$$Peso = 2760 + 2500 * (0,2 * 0,38) = 2950 \text{ kg/m}$$

Esto da una tensión de compresión de: $\frac{2950 \text{ kg/m}}{0,2 \text{ m}} = 14750 \text{ kg/m}^2$ lo que serían aproximadamente 0,15 MPa.

La carga admisible del hormigón en masa es de 20MPa¹³ siendo superior para el hormigón armado.

Se aprecia que es una tensión de compresión baja, y al compararlo con la carga admisible del hormigón vemos como no hay problema alguno de resistencia a compresión de este.

El armado no aporta nada al cemento como refuerzo a compresión, pero para evitar que el hormigón se agriete debido a cargas de tracción, asentamientos diferentes en la estructura, o contracción debido al cambio de temperaturas es importante armar el cemento.

Ahora se comprobará dos aspectos importantes en la estructura de una obra.

¹³ <http://www.carreteros.org/normativa/ehe/apartados/39.htm>

9.3 Seguridad

Se estudiará la seguridad al vuelco y la seguridad al deslizamiento. Como se puede ver en la Ilustración 12.

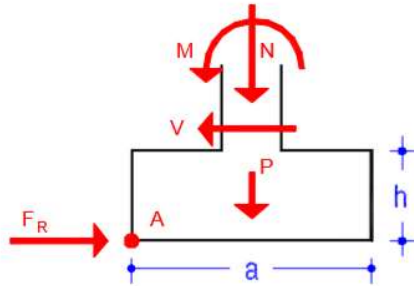


ILUSTRACIÓN 11. SEGURIDAD EN UNA ZAPATA. FUENTE: JUAN PÉREZ VALCÁRCEL¹⁴

Seguridad al vuelco:

La seguridad al vuelco se calcula como el cociente de los momentos estabilizadores entre los momentos desestabilizadores, y este resultado debe de ser mayor que 1,5

$$\frac{(N + P) * \frac{a}{2}}{V * h} \geq 1,5$$

$$\frac{(2760 + 400) * \frac{0,7}{2} * 9.81}{1200 * 0,12} = 75 \geq 1,5$$

Como cortante se ha utilizado el calculado en el aparatado "Muros" para el caso de 5 metros, el más restrictivo.

Seguridad al deslizamiento:

Se calcula como el cociente entre la fuerza de rozamiento y la fuerza horizontal, esta debe de ser mayor a 1,5

$$\frac{(N + P) * 9,81 * \tan(\frac{2 * \gamma}{3})}{V} \geq 1,5$$

Siendo γ el ángulo de fricción. De acuerdo con la información encontrada, para arcillas blandas se tiene un ángulo de 17° ¹⁵

¹⁴ <https://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Publicaciones/pub-val/Suelos/Zapatas%20EHE.pdf>

¹⁵ <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/tablas-de-referencia.pdf>

$$\frac{(2760 + 400) * 9,81 * \tan(\frac{2 * 17}{3})}{1200} = 7,89 \geq 1,5$$

Podemos afirmar que nuestra estructura es segura frente a deslizamientos o vuelcos.

10. Solera

La función de la solera será dotar a la escuela de un suelo en el que se pueda elaborar las tareas lectivas. Su función no es estructural, aunque será la encargada de soportar las cargas de personas y mobiliario y transmitirlas al suelo. Para ello se hará una losa de cemento armada con un mallado. Este armazón no tiene otra finalidad más que soportar la contracción del cemento vertido en el suelo y así evitar que este se agriete. Con el fin de evitar esto, también es conveniente realizar juntas de dilatación y contracción para que el hormigón pueda expandirse en cualquier dirección. Estas juntas se dispondrán cada 5 metros aproximadamente.

El espesor de esta solera no es muy relevante, por lo tanto, se propone unos 10 cm de espesor.

Como se mencionó en la sección anterior es necesario que este mallado no toque el suelo para no oxidarse, por lo que deberá estar elevado sobre tacos de madera o similar.

11. Muros

Los muros son los encargados de transmitir las cargas provenientes del tejado y de las cerchas a los cimientos, y de dar confinamiento a la estructura.

11.1 Materiales

En cuanto a la elección del material se estudió el tipo de construcciones que se habían hecho en la comunidad, para saber a que materiales se tenían acceso y cuales eran difícil de conseguir. Desde el primer momento se eligió el ladrillo, material utilizado en todo el mundo con fin estructural. Los ladrillos que se fabrican en la comunidad están a caballo entre los ladrillos comerciales en España y los ladrillos de adobe hechos artesanalmente. Es por este motivo que se decidió estimar la construcción con propiedades mecánicas del adobe, por ser el caso más restrictivo. Por otro lado, debido a esta incertidumbre se pensó que el factor de seguridad debería de ser un poco más alto de lo normal, aunque tuviera una repercusión económica negativa.

Entre los distintos tipos de ladrillos se decidió utilizar el ladrillo macizo, ya que al tratarse de muros portantes con cargas a compresión el ladrillo macizo es el que mejor actúa bajo estas cargas.

Puesto que las características del adobe pueden variar, se utilizó una media de 3 páginas web distintas para determinar los valores con los que se trabajaría. La tabla XXX recoge estos valores.

TABLA 8. VALORES ADOBE

	Densidad (kg/m ³)	Lim Compresión (MPa)
Adobe 1 ¹⁶	No hay dato	1.18
Adobe 2 ¹⁷	1500-1700	0.8-2
Adobe 3 ¹⁸	1200-1700	0.5-2
Resultado	1500	1

Se dimensionará con los datos de la Tabla 8, sabiendo que una vez se vaya a realizar la obra habrá que comprobar que estos valores son correctos y que el ladrillo que se utilizará cumple con estos requisitos.

Los ladrillos se unirán entre sí con una capa de cemento, esta tendrá un espesor de unos 10 mm¹⁹ y la densidad de este es de 2500 kg/m³ ²⁰ este peso será tenido en cuenta para el dimensionado.

11.2 Aparejamiento

En cuanto a la disposición de los ladrillos se estudió dos formas, el aparejo inglés, que consiste en la colocación de los ladrillos de forma intercalada en hiladas de sogas y tizones, y el aparejo de sogas, consistente en disponer los ladrillos en su dirección longitudinal. En la ilustración 13 se puede ver un ejemplo de cada una de estas técnicas.

¹⁶http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/2011/huancayo_2/5.%20NORMA%20DE%20ADOBE.pdf

¹⁷ <https://eudomus.com/ladrillos-adobe/>

¹⁸ <https://www.slideshare.net/katherinekellyestrellamarcelo/adobe-y-adobn>

¹⁹ <http://www.construyendoseguro.com/proceso-constructivo-cual-debe-ser-el-espesor-de-las-juntas/>

²⁰ <https://ingemecanica.com/tutoriales/pesos.html#concreto>

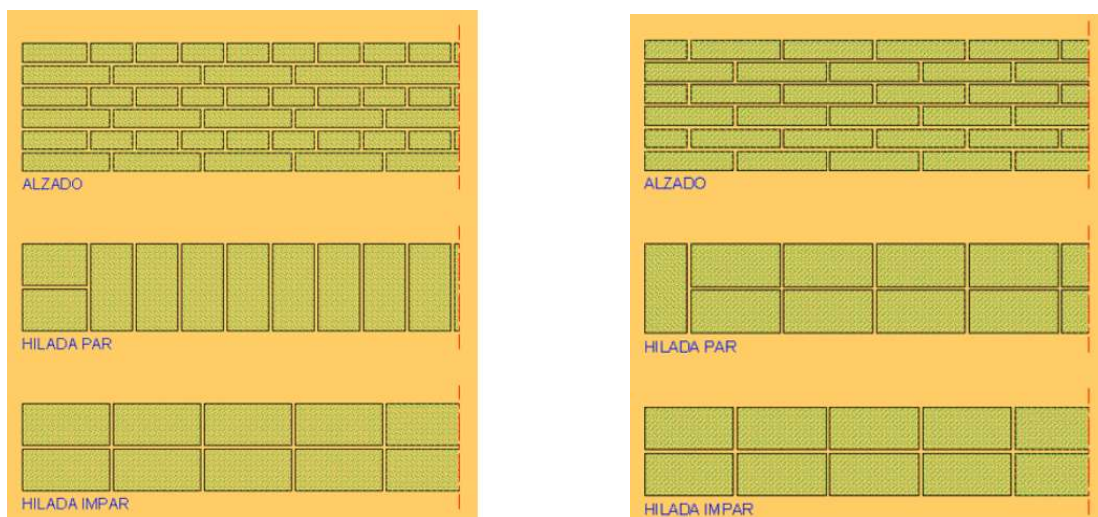


ILUSTRACIÓN 12. APAREJO INGLÉS (IZQ) Y APAREJO DE SOGAS (DER) . FUENTE: CIENCIA Y CEMENTO²¹

Como se puede ver, en el caso de hacer hiladas dobles el material utilizado sería el mismo y por lo tanto daría igual escoger una u otra opción. Sin embargo, de hacer hiladas simples el aparejo de sogas sería una mejor opción debido a utilizar menor material. Se estudiará si una sola hilada resiste bien los esfuerzos a compresión y su esbeltez es válida y sino, se utilizarán dos hiladas.

11.3 Dimensionado

Las dimensiones normalizadas en España para un ladrillo macizo pueden variar, pero siempre tiene una saga el doble de larga que el tizón, por otro lado, la dimensión métrica es de 24 cm de saga, 11,5 cm de tizón y 5,25 cm de alto. Se sabe que los ladrillos utilizados en Zimbabwe tienen unas medidas un poco inferiores, de aproximadamente 20x10x5 cm.

De acuerdo con el Código Técnico de Edificación español (CTE) el espesor mínimo de un muro debe de ser de al menos 115 mm y la relación altura del muro con el espesor, menor a 27 (debido a la esbeltez)²²

La altura más restrictiva del muro es de 5 metros, encontrándose esta altura en el muro que soporta el tejado también. Aplicando el criterio del CTE obtenemos:

$$\frac{h}{t} \leq 27 \rightarrow t \geq 185 \text{ mm}$$

Por lo tanto, debido al espesor mínimo se necesitará una doble hilada en la construcción del muro, también llamado muro de doble hoja.

²¹ <http://wp.cienciaycimento.com/los-aparejos-de-ladrillo/>

²² <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-F.pdf>

Se dimensionará y se utilizará un aparejo de sogá, pero el aparejo inglés sería perfectamente válido.

Se utilizará un espesor de muro de 20 cm y una altura de 5 metros para los muros (ya que en el caso más restrictivo tiene esta altura). El elemento más solicitado a compresión se encontrará en la parte inferior del muro, se dimensionará con la carga máxima en este punto, aunque en la práctica este no sea el caso. Se asumirá que los asentamientos de la cimentación son uniformes, también se dimensionará sin tener en cuenta ningún hueco en los muros. La densidad utilizada para el material se calculará teniendo en cuenta la densidad del ladrillo y la densidad del cemento.

Por lo tanto, un ladrillo estará recubierto de 5 mm de cemento por todas sus caras (ya que las juntas de cemento deben de ser de 10 mm como se ha mencionado anteriormente). El tamaño del ladrillo será el mencionado anteriormente que se utiliza en Zimbabwe. (El de unas dimensiones de 20x10x5 cm)

$$\rho_{Tot} = \frac{\rho_{Adobe} * V_{Adobe} + \rho_{Cemento} * V_{Cemento}}{V_{Tot}}$$

$$\rho_{Tot} = \frac{1500 * (0,2 * 0,1 * 0,05) + 2500 * 0,005(2 * 0,2 * 0,1 + 2 * 0,2 * 0,05 + 2 * 0,1 * 0,05)}{0,21 * 0,11 * 0,06}$$

$$= 1714 \text{ kg/m}^3$$

Por cada metro de largo de muro se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{h * t * \rho * 1 * 9,81 + \text{carga máxima de cercha}}{t * 1} = \frac{5 * 0,2 * 1714 * 1 * 9,81 + 2800}{0,2 * 1}$$

$$= 98072 \text{ Pa} \approx 0,1 \text{ MPa}$$

Como se puede ver, la sollicitación a compresión en la parte baja del muro es de algo menos que 0,1 MPa, valor muy inferior al límite del adobe a compresión (de 1 MPa). Por lo tanto, esta distribución de cargas es válida.

Comprobación cargas laterales:

La fuerza lateral que se puede producir en la estructura es mayoritariamente fuerzas relacionadas con el viento. Fuerzas provocadas por sismos no se contemplan en este Proyecto. Estas fuerzas ejercidas por el viento pueden ser de presión o de succión. Bastará con analizar la estructura por presión ya que para una misma velocidad del viento la fuerza de presión es superior.

De acuerdo con la Ilustración 14 de abajo, se puede ver como en Zimbabwe no se sobrepasan los vientos de 25 Km/h, sin embargo, se decidió analizar la estructura con un viento de 50 Km/h ya que estos datos son de Zimbabwe en general y no de la región en la que se pretende construir el centro de formación profesional.

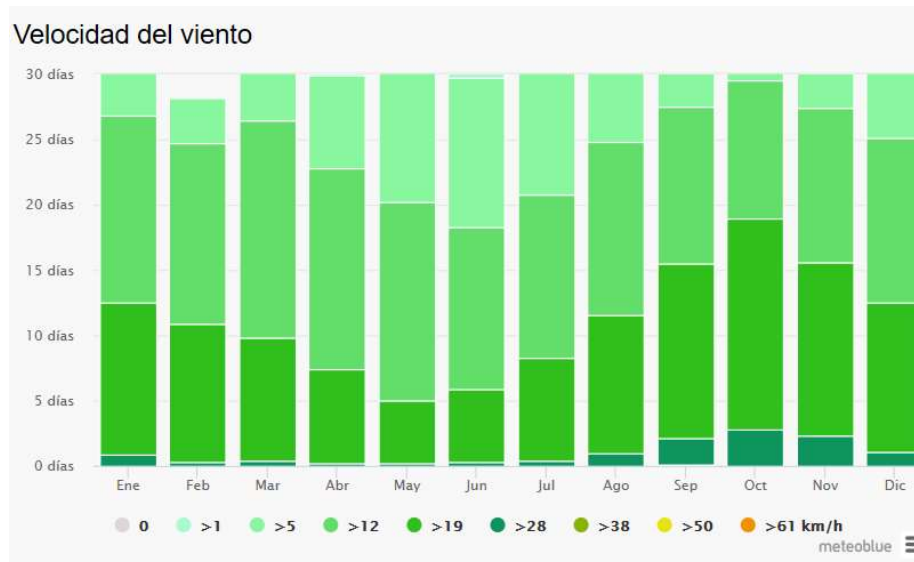


ILUSTRACIÓN 13. DIAGRAMA DE VIENTOS EN ZIMBABUE. FUENTE: METEOBLUE²³

Sabiendo la velocidad a la que actúa el viento se puede calcular la presión que ejerce este con la fórmula:

$$P = 1,22 * V^{24}$$

Este factor de 1,22 ya tiene en cuenta el coeficiente de arrastre de una placa plana, el muro. La velocidad debe estar en m/s y la presión será en N/m^2

50 Km/h son aproximadamente 14 m/s

$$P = 1,22 * 14^2 = 240 N/m^2$$

Para una longitud del muro de 1 metro, se tiene una carga de 240 N/m. En este apartado, se estudiarán dos casos, uno con el muro teniendo una altura de 5 m y otro con una altura de 3 m. Esto se hace debido a las dos alturas diferentes que se tienen en la estructura.

$$M_{max} = \frac{240 * x^2}{2}$$

Siendo x la altura del muro.

Para 5 metros:

$$\text{Se tiene un Momento máximo de: } M_{max} = \frac{240 * x^2}{2} = \frac{240 * 5^2}{2} = 3000 Nm$$

Por lo tanto, sabiendo el momento máximo podemos calcular la tensión máxima con la fórmula:

²³ https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/zimbabwe_zimbabwe_878676

²⁴ <http://www.fullmecanica.com/definiciones/f/1214-fuerza-del-viento-presion-del-viento>

$$\sigma = \frac{M_z * y}{I_z}$$

$$\sigma = \frac{3000 * 0,1}{\frac{1}{12} * 1 * 0,2^3} = 0,45 \text{ MPa}$$

Para 3 metros:

Repitiendo los cálculos anteriores se tiene un Momento máximo de 1080 Nm y una tensión máxima de 0,16 MPa

Descartando el cortante por ser del orden de 0,009 MPa en el caso más restrictivo se obtiene una tensión a compresión máxima de:

$$\sigma_{comp} = 0,1 + 0,45 = 0,55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{tracción} = 0,45 - 0,1 = 0,35 \text{ MPa}$$

Estos dos cálculos están hechos para la altura de 5 metros por tratarse del caso más restrictivo.

El adobe es un material frágil, por lo tanto, se dimensiona con el criterio de Rankine, observando que la tensión máxima no sobrepase la permitida. Se observa como para la tensión a compresión la estructura es capaz de soportar los esfuerzos, sin embargo, las cargas horizontales del viento producen tensiones a tracción en la parte inferior del muro, es por eso que es necesario reforzar los muros con castillos de barras corrugadas de acero, para dotar al muro de resistencia a tracción.

Dinteles:

Las cargas de encima de los huecos abiertos en los muros para permitir el acceso de personas o luz a la escuela a través de ventanas o puertas deberán de ser distribuidas a los laterales para ser sujetadas por los muros, para ello se utilizarán dinteles que cumplan esta función.

Puertas:

En primer lugar, las puertas tendrán unas dimensiones de 2,1 m de alto por 0,8 m de ancho, por lo tanto, la distancia a salvar por el dintel es de 0,8 metros.

Como la puerta tiene una altura de 2,1 metros, la distancia por encima de esta es de 0,9 metros.

Por lo tanto, la carga distribuida que tiene que soportar es de

$$q = t * h * \rho * 9,81 + \frac{\text{Carga cerc}}{0,8} = 0,2 * 0,9 * 1714 * 9,81 + \frac{2800}{0,8} = 6527 \text{ N/m}$$

Para ello, utilizando un dintel de madera (la misma madera que la cercha) con limite a tracción de 8 MPa y ancho 0,2 metros (espesor del muro) obtenemos:

$$M_{max} = \frac{q * L^2}{8} = \frac{6527 * 0,8^2}{8} = 523 \text{ Nm}$$

$$8 * 10^6 \geq \frac{523 * \frac{a}{2}}{\frac{1}{12} a^3 * 0,2} \rightarrow a \geq 4,4 \text{ cm}$$

Por lo tanto, utilizaremos 5 cm que da una carga máxima a tracción de 6,26 MPa

$$y_{max.y} = \frac{5 * q * L^4}{384 * E * I} = \frac{5 * 6527 * 0,8^4}{384 * 10926 * 10^6 * \frac{1}{12} * 0,05^3 * 0,2} = 0,076 \text{ mm}$$

L/200 es 4 mm, por lo que la flecha anterior es perfectamente válida.

Ventanas:

Las dimensiones de las ventanas serán de 1,2 metros de ancho por 1,5 metros de alto, situando la parte más baja de estas a 0,5 metros, por este motivo, el dintel tendrá que soportar 1 metro de muro y deberá de salvar una luz de 1,2 metros de longitud.

La carga distribuida que tendrá que soportar es:

$$q = t * h * \rho * 9,81 + \frac{\text{Carga cercha}}{1,2} = 0,2 * 1 * 1714 * 9,81 + \frac{2800}{1,2} = 5696 \text{ N/m}$$

Para ello, utilizando un dintel de madera (la misma madera que la cercha) con limite a tracción de 8 MPa y ancho 0,2 metros (espesor del muro) obtenemos:

$$M_{max} = \frac{q * L^2}{8} = \frac{5696 * 1,2^2}{8} = 1025,3 \text{ Nm}$$

$$8 * 10^6 \geq \frac{1025,3 * \frac{a}{2}}{\frac{1}{12} a^3 * 0,2} \rightarrow a \geq 6,2 \text{ cm}$$

Por lo tanto, utilizaremos 8 cm que da una carga máxima a tracción de 4,8 MPa

$$y_{max.y} = \frac{5 * q * L^4}{384 * E * I} = \frac{5 * 5696 * 1,2^4}{384 * 10926 * 10^6 * \frac{1}{12} * 0,08^3 * 0,2} = 0,13 \text{ mm}$$

L/200 es 6 mm, por lo que la flecha anterior es perfectamente válida.

Debido a que la separación entre ventanas es de X es aconsejable hacer un dintel que cubra dos huecos de ventanas, así se salvarían dos huecos y habría un momento flector máximo menor al tratarse de una viga con 3 apoyos.

11.4 Uniones

Las uniones de las cerchas y los muros serán a través de empotramientos de las vigas de madera en el muro, así estas quedan fijadas a la estructura. El muro y la cimentación se

unirán a través de castillos formados por varillas de acero que se colocarán entre los ladrillos espaciados una distancia de 3 metros.

Por otro lado, se aconseja dotar al muro de una capa protectora que lo impermeabilice y lo proteja de las lluvias. Se propone un tarrajeo, que consiste en una mezcla de arena, cemento y agua que mezclada se aplica una capa fina a la pared. Esta capa protege los muros de la lluvia y permite que se puedan pintar con fines decorativos.

12. Cerchas

12.1 Materiales

Se ha decidido por un criterio de sencillez y económico que el material a emplear en las cerchas sea la madera. Este material cumple las condiciones básicas para aguantar las cargas provenientes del tejado. Se podía haber utilizado una estructura metálica, pero esta solo encarecería la obra.

En cuanto a la madera empleada, habrá que seleccionar una con unas ciertas propiedades y características. Serán características de vital importancia la anisotropía y el contenido de humedad, además de las propiedades mecánicas que deba de cumplir.

El contenido de humedad para madera que se encuentra cubierta es menor del 12%. Por otro lado, debido a que la resistencia a tracción y compresión es mayor cuando la carga es paralela a las fibras se necesitará colocar la madera con sus fibras longitudinales paralelas con las cargas²⁵.

Entre las maderas utilizadas en España con carácter estructural se encuentran diversos pinos, el eucalipto, el castaño o el roble entre muchos otros. Sin embargo, en la región de Zimbabue son más comunes el mopane y la acacia. Por esta razón, las cerchas serán diseñadas con madera de acacia, que aun existiendo varios tipos de acacias las características, por lo general, son similares. Aun así, habrá que comprobar si las propiedades mecánicas de la acacia con la que se construirá son similares a las propiedades de la acacia con la que se dimensionó.

Para el proyecto se utilizará la especie *Acacia melanoxylon* (también conocida como acacia negra), especie que también se encuentra en Zimbabue y de la que se pudo obtener sus propiedades mecánicas gracias a un estudio.

Las características utilizadas para la acacia *melanoxylon* se recogen en la Tabla 9:

²⁵ <https://www.maderea.es/propiedades-y-especies-para-madera-estructural-ii-propiedades-mecanicas-de-la-madera/>

TABLA 9. PROPIEDADES ACACIA MELANOXYLON. FUENTE: SCIELO. AUTOR: IGARTÚA, MORENO, PITER, MONTEOLIVA²⁶

Densidad	560 kg/m ³
Flexión	89,9 MPa
Compresión (carga paralela a fibras)	49,5 MPa
Compresión (carga perpendicular a fibras)	11,7 MPa
Módulo de Elasticidad	10926 MPa

Nota: cabe destacar la diferencia en la forma de disponer la carga de compresión. Por eso, se insiste en colocar la carga en paralelo con la orientación de las fibras, y buscar siempre que las fibras de la madera estén lo más recta posible.

No se encontró valor alguno con referencia a la resistencia a la tracción de la acacia melanoxyton, por eso se buscó un caso más general y se encontró que la resistencia a la tracción (con la carga paralela a las fibras) de una madera estructural cualquiera oscilaba de los 8 a los 18 MPa²⁷. En nuestro caso utilizaremos los 8 MPa pero habrá que comprobar in situ que esta hipótesis se cumple.

12.2 Dimensionado

En cuanto a la disposición de las cerchas se hizo un estudio previo a cerca del tipo de cercha que más nos convendría. Para ello se estudiaron las cerchas del tipo queenpost, fink y howe. El resto de las disposiciones se descartaron por su complejidad. En la ilustración 15 se aprecia la diferencia en la disposición de las cerchas estudiadas. El estudio se hizo con la misma disposición de cargas con el objetivo de ver qué elementos estarían más solicitados.

²⁶ https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2015000400010

²⁷ https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_40_mecanicaEstructural.pdf

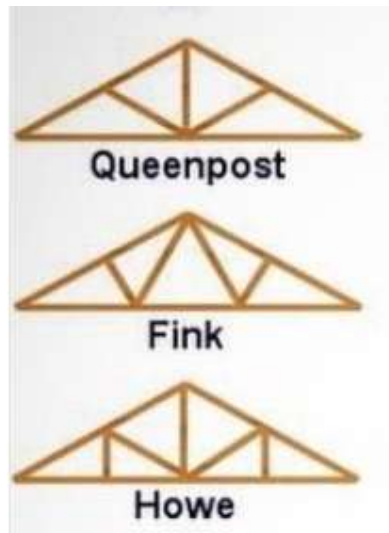


ILUSTRACIÓN 14. DISTINTAS DISPOSICIONES DE CERCHAS FUENTE: GEOTECHTIPS TWITTER

Después de analizar los tres casos a través de ANSYS se obtuvo los resultados recogidos en esta tabla. Las cargas fueron iguales en todos los casos y los valores recogidos en la tabla 10 solo tienen carácter comparativo entre ellos ya que no se hicieron con las cargas correctas, sin embargo, sí que se tuvo en cuenta los nodos que soportaban cargas dobles o no. El motivo del estudio de solo estas tres cerchas fue el querer únicamente utilizar una tornapunta a cada lado (viga diagonal que une los pares con el tirante inferior) En la Ilustración 15 se aclara los distintos elementos de una viga.

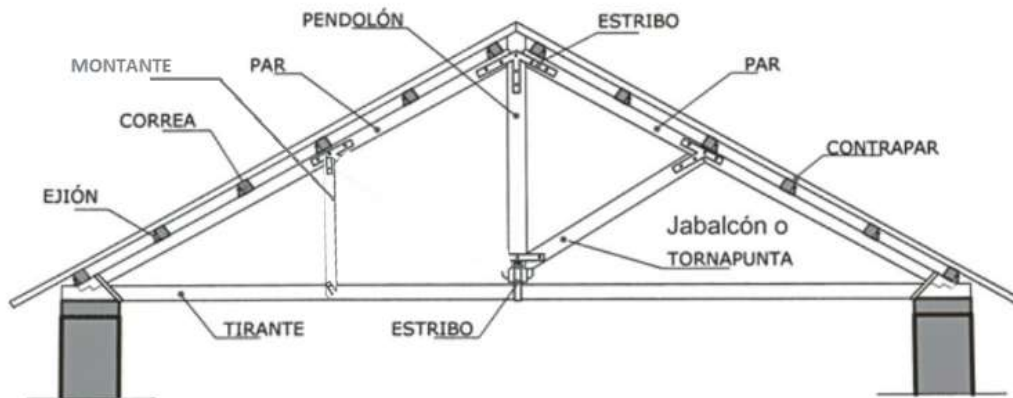


ILUSTRACIÓN 15. PARTES DE UNA CERCHA. FUENTE: INGECIVIL²⁸

²⁸ <https://www.ingecivil.net/2018/01/25/partes-que-forman-una-cercha/>

TABLA 10. COMPARATIVA DE CERCHAS. FUENTE: PROPIA

	Máx desplazamiento	Max compresión	Máx. tracción
Queenpost	1,2 mm	0.13 MPa	35000 Pa
Fink	1,4 mm	0.138 MPa	30920 Pa
Howe	1,2 mm	0.13 MPa	35000 Pa

Como se puede apreciar, y se debería haber descartado de antemano, la cercha Howe no aporta nada. Ya que al no tener ninguna carga en la viga inferior los elementos verticales de los lados no soportan ninguna carga, por lo tanto, la cercha se comporta como la Queenpost pero con un malgasto de material.

Por otro lado, las cerchas Queenpost y Fink tienen características muy similares, la cercha Fink tiene una flecha un poco mayor, pero con una carga a tracción menor. Si bien es cierto que estas cargas a tracción son bajas hay que tener en cuenta que la capacidad a tracción de la madera es menor que la de compresión, y que al ser un material antrópico minimizar esta carga es importante.

Teniendo en cuenta que las cerchas Fink y Queenpost son similares se tomará una decisión conforme al material utilizado en cada una, teniendo en cuenta solo las vigas interiores ya que las exteriores tienen la misma dimensión para las dos se tiene que la cercha Queenpost tiene una longitud de 6,47 metros, mientras que la cercha Fink tiene una longitud de 6,47 metros.

Por lo tanto, el tipo de cercha que se empleará en la obra será una cercha Queenpost.

Debido a que las cerchas trabajarán a tracción o compresión (de forma mayoritaria) no se tendrá en cuenta el momento de inercia de las vigas y se tendrá solo consideración con el área, ya que las tensiones de tracción y compresión solo dependen de esta. Por un criterio de optimización se obtiene que la mayor área con el menor perímetro es el cuadrado. Por lo tanto, se utilizarán vigas de sección cuadrada.

Como se ha mencionado anteriormente, se quiere repartir las cargas provenientes del tejado con 5 correas. 2 de ellas apoyadas en los muros, 1 en la cumbre de la cercha y las otras 2 (las realmente mencionadas) a una distancia media entre el muro y la cumbre a ambos lados. La correa más restrictiva es la que se sitúa entre la cumbre y el muro, ya que soporta más carga. Esta se dimensionará como una viga biapoyada en los pares de las cerchas. Se dimensionará con cerchas separadas por 2,5 metros, lo que supone la utilización de 7 cerchas.

Dimensionado de las correas:

Sabiendo que la correa más restrictiva es la situada entre muro y cumbre, y que esta es la encargada de soportar la mitad de la carga de un lado y teniendo en cuenta que el tejado, contando las placas solares tendrá un peso de 3810 kg y una superficie de 188 m², lo que implica un peso de 20,27 kg/m²

Se aplica el principio de Navier-Stokes para el criterio más desfavorable (máxima tracción):

$$\sigma = \frac{M_z * y}{I_z} + \frac{M_y * z}{I_y}$$

Para el cálculo de los momentos se realizó con la fórmula de una carga distribuida en una viga biapoyada, para la que se tiene $M_{max} = \frac{q * L^2}{8}$.

Donde $q_y = 20,27 * \cos 26.57^\circ * 9,81 * 2,35 = 418 \text{ N/m}$ y

$q_z = 20,27 * \sin 26.57^\circ * 9,81 * 2,35 = 209 \text{ N/m}$

Siendo 2,35m el ancho del techo soportado por la correa y L=2,5m el largo de la correa

$$M_{z,max} = \frac{q_y * L^2}{8} = \frac{418 * 2,5^2}{8} = 326,5 \text{ Nm}$$

$$M_{y,max} = \frac{q_z * L^2}{8} = \frac{209 * 2,5^2}{8} = 163,3 \text{ Nm}$$

Ahora que se tienen todos estos datos se dimensionará una viga rectangular en las que se definirá la sección de esta, siendo a el alto y b el ancho.

$$8 * 10^6 \geq \frac{326,5 * \frac{a}{2}}{\frac{1}{12} a^3 * b} + \frac{163,3 * \frac{b}{2}}{\frac{1}{12} b^3 * a}$$

Tras realizar este cálculo comprobamos que para una altura de 8 cm y una anchura de 8 cm se obtendría una tensión máxima de 5,74 MPa, válida para nuestra cercha.

Analizando para estas dimensiones la flecha máxima sería:

$$y_{max,y} = \frac{5 * q * L^4}{384 * E * I} = \frac{5 * 418 * 2,5^4}{384 * 10926 * 10^6 * \frac{1}{12} * 0,08^3 * 0,08} = 5,7 \text{ mm}$$

$$y_{max,z} = \frac{5 * q * L^4}{384 * E * I} = \frac{5 * 209 * 2,5^4}{384 * 10926 * 10^6 * \frac{1}{12} * 0,08^3 * 0,08} = 2,85 \text{ mm}$$

$$y_{max} = \sqrt{y_{max,z}^2 + y_{max,y}^2} = \sqrt{5,7^2 + 2,85^2} = 6,37 \text{ mm}$$

Siendo esta flecha menor a L/200 (que sería 12,5 mm), ahora que se sabe de una sección factible de ser válida se tiene en cuenta el peso propio de la viga, y realizando los cálculos anteriores se obtiene una tensión a tracción máxima de 6,179MPa y una flecha máxima de 6,86 mm por lo tanto es una solución válida para nuestro problema.

Se utilizó esta distribución de cargas contando con el peso propio de las vigas.

$q_y = (20,27 * 2,35 + 0,08^2 * 560) * \cos 26.57^\circ * 9,81 = 450 \text{ N/m}$

$q_z = (20,27 * 2,35 + 0,08^2 * 560) * \sin 26.57^\circ * 9,81 = 225 \text{ N/m}$

Comprobación por cortante:

En este apartado se calculará el cortante máximo producido por la carga del tejado y el peso propio y se aplicará la ecuación de Von Mises (ya que se trata de un material dúctil) para calcular la tensión máxima.

Se partirá de que la tensión cortante máxima para una sección rectangular se puede calcular como:

$$\tau_{max} = \frac{3 * V_{max}}{2 * A}$$

Siendo V el cortante y A el área de la sección.

$$\tau_{xy} = \frac{3 * V_{max.y}}{2 * A} = \frac{3 * q_y * L/2}{2 * b * h} = \frac{3 * 450 * 2,5/2}{2 * 0,08 * 0,08} = 131835 \text{ Pa} = 0,132 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xz} = \frac{3 * V_{max.z}}{2 * A} = \frac{3 * q_z * L/2}{2 * b * h} = \frac{3 * 225 * 2,5/2}{2 * 0,08 * 0,08} = 65917 \text{ Pa} = 0,066 \text{ MPa}$$

Aplicando ahora el teorema de Von Mises se hallará la tensión máxima. Von Mises no distingue de tracción y compresión y da solo el módulo, por lo que este deberá de ser menor que el módulo de la tensión máxima a tracción.

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + 3 * (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2)}$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{6,179^2 + 3 * (0,132^2 + 0,066^2)} = 6,185 \text{ MPa}$$

El resultado del cálculo por Von Mises es inferior al valor máximo que la viga puede soportar, por lo tanto, se pueden utilizar las dimensiones sugeridas.

Ahora que se sabe la carga que le vendrá a cada cercha proveniente de la correa se puede dimensionar la sección de la cercha.

Dimensionado de la cercha:

La cercha tendrá la siguiente distribución de cargas:

Los nodos en los que apoyan las correas tendrán una carga de 1400 N, provenientes de dos reacciones de las correas (una que une la cercha con la cercha de la derecha y otra con la cercha de la izquierda) como reacciones de la viga que soporta una carga de 560 N/m (contando con el peso propio), tiene una longitud de 2,5 m (la correa). Por lo tanto, el cálculo quedaría así:

$$R = \frac{q * L}{2} = \frac{560 * 2,5}{2} = 700 \text{ N}$$

Por otro lado, el nodo de la cumbre soportará la carga proveniente de las dos cubiertas, por lo tanto, soportará 1400 N. Se muestra el cálculo para una reacción de una correa y una cubierta. (Habrá que multiplicar el resultado por 4)

$$R = \frac{q * L}{2} = \frac{280 * 2,5}{2} = 350 \text{ N}$$

Nota: La carga distribuida para este caso es la mitad que para el caso anterior, esto se debe a que el área que soporta esta correa es también la mitad.

Los nodos inferiores soportarán dos veces la carga calculada arriba, provenientes de las dos correas que une la cercha con las de sus lados. Soportarán 700 N.

De forma aclaratoria se añade la ilustración 16.

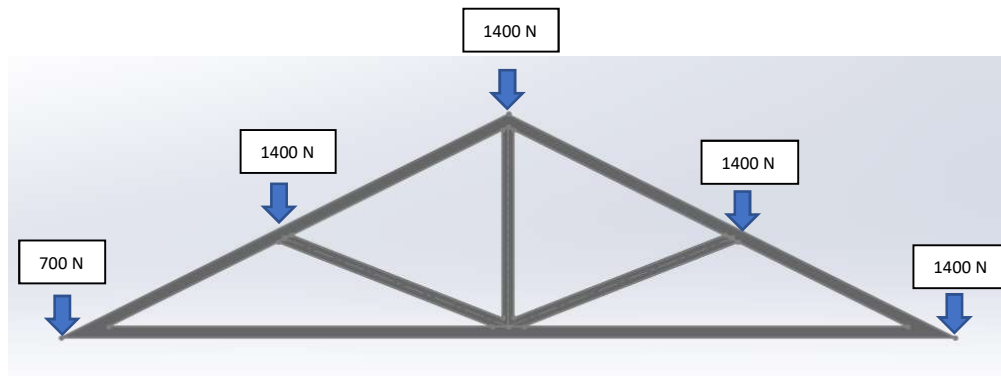


ILUSTRACIÓN 16. DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS EN LA CERCHA. FUENTE: PROPA

Mediante un estudio de nodos en equilibrio se obtuvo gracias a un programa de elementos finitos los siguientes valores de fuerzas máximas a tracción y compresión.

TABLA 11. VALORES DE FUERZAS MÁXIMAS. FUENTE: PROPIA

Fuerza	Valor (N)
Tensión	1400
Compresión	4695,7

Con los valores de la Tabla 17 se necesitaría un área mínima de:

$$\sigma_{min} \leq \frac{F_{min}}{A}$$

$$49 \leq \frac{4695,7}{A} \rightarrow A = 95,83 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{max} \leq \frac{F_{max}}{A}$$

$$8 \leq \frac{1400}{A} \rightarrow A = 175 \text{ mm}^2$$

Como se puede ver, para el caso más restrictivo se necesita un área de 175 mm^2 , esta área se consigue con prácticamente cualquier viga, así que analizaremos el área que tiene que tener para que la flecha máxima sea menor que un valor determinado, y luego se comprobará que el área cumpla con las especificaciones. Por un criterio de sencillez se utilizarán elementos de $10 \times 5 \text{ cm}$, estos elementos tienen una flecha máxima de $0,76 \text{ mm}$ y un área de 5000 mm^2 esto hace que este sobredimensionado, pudiendo así añadir cargas en las cerchas, como lámparas. Por lo tanto, no se contempla el peso propio ni el pandeo producido en los elementos de compresión. En el caso de utilizar otras dimensiones más restrictivas, estos cálculos habría que hacerse in situ.

Se recomienda tratar a la madera utilizada en las cerchas y en las correas para evitar cualquier plaga o que con el paso del tiempo se degrade. Para ello se recomienda tratarlas con sales de cobre o similar.²⁹

12.3 Uniones

Las uniones de las cerchas serán las encargadas de unir los diferentes elementos, para así, darles carácter de cercha y actúen con carácter axil, la unión entre los distintos elementos de madera se hará a través de estribos que irán atornillados a la madera.

13. Tejado

Respecto al tejado, se dimensionó como un techo a dos aguas, ya que es el más utilizado y por qué otra opción solo dificultaría la obra. Por razones obvias estas dos aguas son en la dirección longitudinal de la planta.

Debido a que Zimbabwe tiene un periodo de lluvias abundantes se necesita una cierta inclinación para poder evacuar el agua. Esta inclinación viene dada por las cerchas y es de un ángulo de 26.56° . Pendiente adecuada para solventar el problema de la lluvia.

Ya que el clima de Zimbabwe es cálido, la opción de nieve no se contempla y por eso no se tiene en cuenta ni en el dimensionado de las cerchas ni en el del tejado.

13.1 Materiales

En cuanto a la elección de los materiales se estudiaron placas metálicas y tejas cerámicas.

Las tejas cerámicas fueron rápidamente descartadas ya que tienen un peso de alrededor de 400 kg/m^2 . No soportan tan bien las cargas como los techos metálicos y tienen

²⁹ <http://www.noticiashabitat.com/2014/proteccion-madera-construccion-tratamientos-preventivos/>

una instalación más lenta que los techos metálicos³⁰. Además, el mantenimiento de las chapas metálicas es más sencillo y es una forma de cerramiento utilizada en Mount Darwin.

Como ya se mencionó al inicio del Proyecto, se intentaría buscar una construcción sencilla, rápida y lo más económica posible. Por estos motivos y con las razones explicadas anteriormente las tejas cerámicas fueron descartadas.

Nota: Es difícil encontrar precios comparativos en España, en Zimbabue fue imposible.

En cuanto a las chapas metálicas para el cerramiento de la cubierta nos encontramos con dos opciones claramente diferenciadas. La del acero y la del aluminio. Con densidades de 7800 kg/m^3 ³¹ y de 2700 kg/m^3 ³² respectivamente. La primera opción en contemplar sería la más ligera, sin embargo, teniendo en cuenta que el acero es más barato, y que podría darse el caso de que solo se dispusiese de acero en Zimbabue se dimensionará con este material quedando sobredimensionado en caso de utilizar el aluminio. Cabe destacar que este acero habría que galvanizarlo para evitar la oxidación y la corrosión.

Sin embargo, el aluminio es más fácil de trabajar a la hora de realizar las uniones. Y en el caso de ser posible se utilizará este material, teniendo en cuenta su facilidad para corroerse al estar en contacto con otros materiales.

Por otro lado, con el fin de aislar la estructura se estudió los casos del panel sándwich y la tela asfáltica. Cabe destacar que el aislamiento se centra en reducir el ruido proveniente de la lluvia y de posibles filtraciones de agua, pasando a un segundo plano el aislamiento térmico, ya que por las características climáticas de la región este no es un problema.

Los paneles sándwich son la mejor opción, aíslan el interior muy bien, sin embargo, es bastante caro, por lo que quedó descartado.

Utilizando esta idea del panel sándwich se pensó hacer algo parecido con dos chapas metálicas y tela asfáltica, para ello se colocaría esta tela entre las dos chapas, reduciendo así el ruido y las filtraciones por agua. Y en caso de considerarse prescindible este aislamiento se podría seguir ejecutando la obra ya que los parámetros quedarían sobredimensionados.

13.2 Dimensionado

Debido a que las dimensiones exteriores de la obra son de 20 metros por 8 metros y que se quiere un ángulo de caída de $26,56^\circ$ (lo que implica que en el medio de la construcción haya una altura del tejado de 2 metros). Se necesitarán dos cubiertas con las siguientes dimensiones:

Dimensión de una cubierta:

³⁰ <http://panel-sandwich.net/ventajas-de-los-tejados-metalicos-frente-a-los-ceramicos/>

³¹ <https://ingemecanica.com/tutoriales/pesos.html#metales>

³² <https://ingemecanica.com/tutoriales/pesos.html#metales>

$$\text{Área} = 20 * \sqrt{4^2 + 2^2} = 90 \text{ m}^2$$

Pero como se quiere que esta sobresalga un poco se dimensiona el ancho como 4,7 metros en lugar de 4,5 (Valor real). Dando un área de:

$$\text{Área} = 20 * 4,7 = 94 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, se necesitarán dos chapas metálicas de estas dimensiones o en su defecto, chapas más pequeñas y unir las entre sí.

El espesor de la chapa es una variable libre. Se dimensionará con 1 mm de espesor cada chapa, pero si es posible, se utilizará un espesor menor. A esto habrá que sumarle el peso de la tela asfáltica que es de 4 kg/m², cabe destacar que el grosor lo da el fabricante³³.

Así pues, teniendo en cuenta la densidad del material utilizado para dimensionar el tejado, acero galvanizado, el peso total del tejado sería de:

$$\text{Peso (kg)} = 2 * 94 \text{ m}^2 * (2 * 0,001 \text{ m} * 7800 \text{ kg/m}^3 + 4 \text{ kg/m}^2) = 3685 \text{ kg}$$

También se tiene en cuenta el peso de las placas fotovoltaicas. Para ello se realizó una estimación de lo que pesa por m² y basándonos en la información encontrada esto es alrededor de 20 kg/m²³⁴. Debido a que la demanda energética de las aulas se resume en iluminación de clases se estima que no se necesitará un gran número de paneles. Sin embargo, la potencia de estas placas se verá afectada por la capacidad de esta y agentes externos. Es por eso por lo que haciendo una aproximación visual valdría con 6 m². Lo que implicaría aumentar la carga 120 kg. Quedando una carga total un poco inferior a 3810 kg. Utilizaremos esta carga para dimensionar la estructura.

13.2 Desagües

En cuanto a la bajada de aguas se plantea, si es posible económicamente, conducir el agua proveniente de la lluvia, bajo canalones a un extremo de la edificación y poder recoger esta agua para su futuro uso.

13.4 Uniones

En este apartado se describirá la manera más sencilla que se plantea para la unión entre las planchas de metal, así como su unión con las cerchas.

³³ http://www.tienda.grupoincera.com/product.php?id_product=1393

³⁴ <https://panelessolaresfotovoltaicos.org/paneles-solares-fotovoltaicos/tamano-y-peso-de-los-paneles-solares/>

Unión entre cubiertas metálicas:

En la unión entre las cubiertas con distinta pendiente se opta por una cumbrera que impida la penetración del agua en la unión de las cubiertas. Como podemos ver en la Ilustración 17, hay diversas formas que se proponen en este proyecto. Llevándose a cabo la opción más económica.

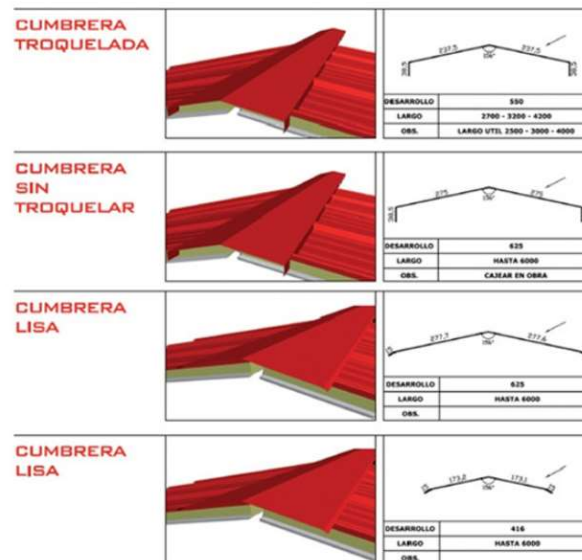


ILUSTRACIÓN 17. TIPOS DE CUMBRERAS. FUENTE: ISOTERMIA³⁵

Por otro lado, la unión entre planchas con la misma pendiente (si se opta por que la cubierta esté formada por varias chapas metálicas) se haría a través de tornillos de acero galvanizado. O en el caso de usar aluminio como chapa metálica se utilizarían tornillos de aluminio. En resumen, se utilizaría tornillos del mismo material que la chapa metálica para evitar así la corrosión galvánica.

Unión cubierta-estructura

La unión de la cubierta con la estructura que la soporta, las cerchas, sería con estos mismos tornillos mencionados anteriormente. Se atornillaría la cubierta a las correas situadas sobre las cerchas.

³⁵ <http://www.panel-sandwich.es/remates/cubierta-fachada.php>

Capítulo 3. Anejos

INDICE Anejo A:

C. ESTUDIO GEOTÉCNICO	65
C.1. INTRODUCCIÓN	65
C.2. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA Y EMPLAZAMIENTO GEOLÓGICO	65
C.2.1 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA Y CLIMATOLÓGICA	65
C.2.2. EMPLAZAMIENTO GEOLÓGICO	66
C.3. ANTECEDENTES	67
C.4. EXPLICACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO	68
Trabajo “in situ”:	68
Laboratorio:.....	68
Caracterización de los materiales y elaboración de un informe:	68
C.5. TRABAJO “IN SITU”	69
C.5.1. RECONOCIMIENTO Y OBSERVACIÓN GEOLÓGICA EN SUPERFICIE	69
C.5.2. RECONOCIMIENTO Y OBSERVACIÓN GEOLÓGICA EN PROFUNDIDAD:	71
Sondeos a Rotación:.....	72
Catas:.....	73
Extracciones de muestras:	74
C.6. ENSAYO DE LABORATORIO	76
C.7. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO	77
C.8. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	78
C.8.1. UNIDADES LITOLÓGICAS DIFERENCIADAS.....	78
C.9. CONCLUSIONES	90

El presente anejo fue elaborado por Gema Fernández, mujer que realizó el colegio de secundaria de Mount Darwin, proyecto al que se quiere dar continuidad con la escuela de formación profesional.

C. ESTUDIO GEOTÉCNICO

C.1. INTRODUCCIÓN

Se ha realizado un estudio para conocer el estado de las diferentes capas que componen en suelo donde están construidos actualmente las instalaciones de CFA y donde se van a ubicar tanto el sistema de abastecimiento energético como de agua.

Además, se deberá adecuar el proceso constructivo a los resultados obtenidos en este estudio y en el caso de obtener datos muy desfavorables, valorar la intervención específica para reforzar o actuar sobre el terreno.

Objetivos del informe:

- Determinar las diferentes unidades litológicas que forman el subsuelo, es decir, litología y potencia en diferentes profundidades.
- Características mecánicas de las unidades, es decir, resistencia y compacidad del subsuelo a diferentes profundidades.
- Determinar la profundidad del nivel freático.

C.2. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA Y EMPLAZAMIENTO GEOLÓGICO

D) C.2.1 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA Y CLIMATOLÓGICA

El proyecto presente a desarrollar, consta de la construcción de un colegio de Secundaria, llamado Kazai, ubicado a 1km de Kazai primaria, y a 35km de CFA. Dado que la distancia de nuestro solar, está lo bastante cerca de CFA, vamos a utilizar los datos obtenidos hasta la fecha en cuanto al terreno, debido a la imposibilidad de obtener nuevos datos de la zona exacta.

Según el contacto de la ONG, asegura que el tipo de terreno es el mismo, siguiendo una misma tipología, pudiéndonos aprovechar de los datos ya recogidos por otros voluntarios como Miren Tellería, en anteriores proyectos.

El orfanato de CFA está emplazado al oeste de carretera que une la ciudad de Bindura con la ciudad de Mt Darwin, que da nombre al distrito en el que se encuentra dicho orfanato. El distrito

de Mt Darwin a su vez pertenece a la provincia de Mashonaland Central, ubicada en el norte de Zimbabwe. El orfanato, cuenta con 350 hectáreas de terreno y éste se cruza por un río.

El orfanato queda al Sur del terreno, los terrenos de cultivo en el Norte y la escuela de primaria al Este.

El orfanato que se encuentra al Sur de la cordillera de colinas suaves domina por el Mt Darwin cercana a la confluencia de un pequeño río anteriormente mencionado y que concretamente hace de divisoria de terrenos entre el orfanato donde se alberga a los huérfanos y los terrenos donde se trabaja. Al pie de la colina, en dirección este hacia la carretera que une Bindura y el pueblo de Mt. Darwin, se halla una pequeña aldea asentada sobre el aluvión del río.

Nuestro terreno cuenta con una fuente de agua ubicada a 2km del futuro colegio, y está a 14km al Oeste de Dotito growth point.

Los terrenos en su totalidad se hallan entre 950 y 970 metros de altura.

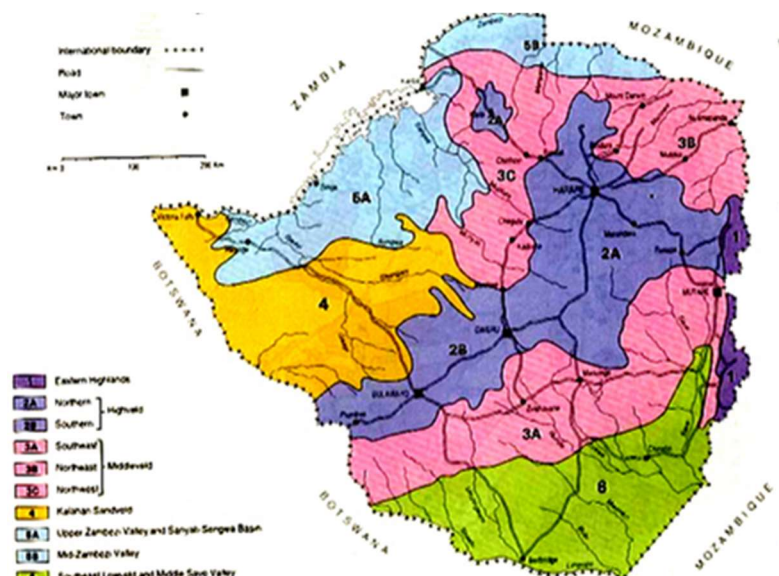
El clima de la zona es desértico, con una temperatura media anual de 18,5 °C y una marcada oscilación térmica a lo largo del año, con diferencias entre los meses cálidos y fríos de más de 20 °C. Los meses de las épocas de sequía (inverno) a pesar de que la temperatura media no baja de los 13 °C, por las noches se pueden alcanzar temperaturas cercanas a 0 °C y durante el día se mantienen temperaturas cálidas cercanas a 20 °C.

La pluviometría anual se sitúa en 805 mm concentrada prácticamente en su totalidad en los meses de la época de lluvias (entre noviembre y marzo).



Fuente: IntermonOxfam. Época de lluvias que afecta a todo el Sur de África.

E) C.2.2. EMPLAZAMIENTO GEOLÓGICO



Fuente: Fao. Mapa geológico de Zimbabwe.

Los terrenos del orfanato de CFA se ubican en la cuenca formada por la depresión morfológica del río que pasa por mitad de las instalaciones. Geológicamente, la cuenca está formada por sedimentos paleógenos (margas) y en la zona central y márgenes. En muchos puntos de la cuenca sobre los materiales terciarios, hallamos sedimentos aluviales y coluviales. Se trata de gravas, arenas, limos y arcillas aportados por los ríos. Estos materiales a menudo se hallan a media altura en las colinas debido a la incisión continuada de los mismos. Geomorfológicamente forman zonas llanas o con poca pendiente que podemos hallar a diferentes alturas sobre los cursos actuales.

C.3. ANTECEDENTES

Tenemos la posibilidad de acceder a estudios realizados en 2014, desde finales de agosto hasta mediados de octubre, donde se hicieron varias visitas a las parcelas que se estudian para poder realizar un estudio lo más exhaustivo posible del terreno.

Como ya se ha explicado, Kazai se encuentra cerca de la montaña Mt. Darwin; esta montaña es considerada una zona sagrada y de culto por lo que todos los que quieran entrar en los terrenos deberán acceder con los representantes/jefes de las tribus cercanas. Una vez obtenida la bendición del jefe de la tribu, se pudo acceder a los terrenos más cercanos a la ladera, reservados únicamente para los trabajadores de CFA pertenecientes a la tribu y por tanto los que no necesitan permiso.

En estas visitas se observó que los terrenos que están más al norte se encontraban muy agrietados ya que se trataba el fin de la época de sequía y el nivel freático había alcanzado su mínimo.

De lo observado y de la información facilitada por los locales de la zona, así como los usuarios y trabajadores de CFA, se puede resumir lo siguiente:

- Durante las épocas de lluvias (de noviembre a marzo) se producen las grandes lluvias desbordando el río que pasa por el terreno y dejando gran parte de la parcela inundada durante al menos tres meses. Debido al gran porcentaje de suelo arcilloso, el suelo tiende a expandir y su capacidad de transpiración es muy pequeña.
- Durante la época seca (de abril a septiembre), todo se seca y el nivel freático desciende bruscamente. A comienzos de esta época, las aguas vuelven a su cauce lo que hace que la cueca aluvial sea una zona fértil para la agricultura. No obstante, conforme avanza la sequía, el río que abastece de agua la zona se seca y el nivel freático baja hasta 30 metros en las zonas más desfavorables.

C.4. EXPLICACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

Trabajo “in situ”:

Se ha realizado un estudio geológico de campo únicamente visual en el terreno de las instalaciones de CFA y sus alrededores para poder caracterizar la parcela dentro de un marco geológico regional y así poder identificar con la mayor precisión la mejor ubicación para las construcciones a realizar en Dotito. Si bien es cierto que lo ideal es realizar una campaña de sondeos “in situ”, la organización no cuenta con medios para poder realizarlos por lo que se tuvo que descartar la actuación convencional con medios locales y realizar la recogida de datos con las técnicas disponibles. A su vez, al tratarse de una construcción de una sola planta, y de dimensión pequeña, se cree proceder de esa manera y realizar estimaciones lo más exactas en aquellos puntos en los que no se cuente con suficiente información.

Laboratorio:

Las muestras obtenidas durante la campaña de recogida de datos fueron analizadas posteriormente en laboratorio.

Caracterización de los materiales y elaboración de un informe:

De las observaciones y ensayos de campo y la bibliografía consultada se determinan las características geológicas y geomecánicas del suelo.

Una vez se han caracterizado geotécnicamente los materiales existentes en el subsuelo se realiza la evolución del estudio.

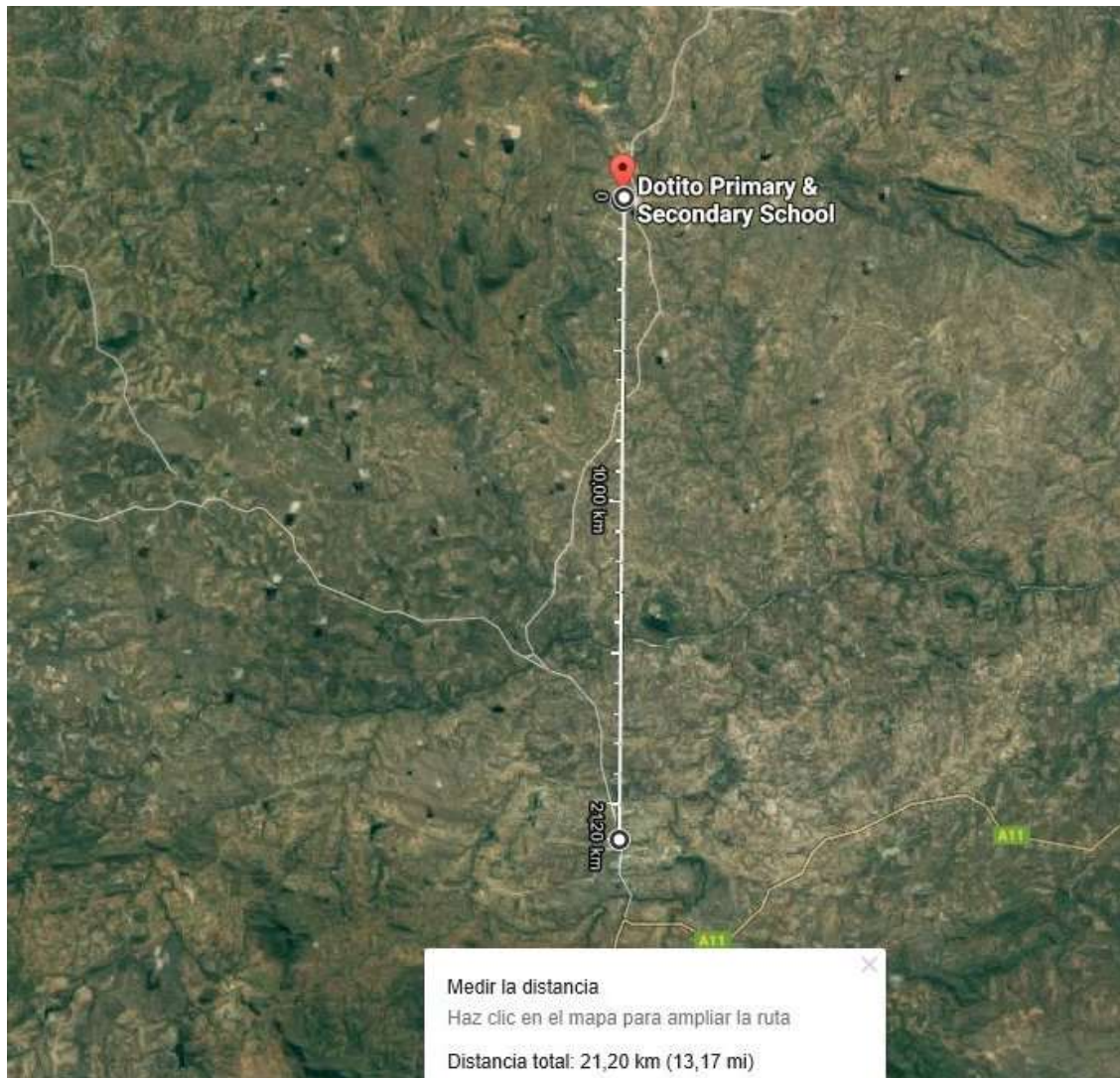
C.5. TRABAJO “IN SITU”

F) C.5.1. RECONOCIMIENTO Y OBSERVACIÓN GEOLÓGICA EN SUPERFICIE

El terreno estudiado se halla en suelo de explotación agrícola. Actualmente, en Zimbabwe no se han clasificado los terrenos si son urbanizables o no urbanizables, únicamente urbanos o rurales. Por tanto, se trata de un terreno rural, susceptible a urbanizable ya que actualmente ya se dispone de un edificio utilizado para la enseñanza de educación primaria, y otro para educación secundaria (en el cual no hay suficiente espacio para todos los niños existentes) que albergan a los estudiantes y otras pequeñas construcciones para la explotación agrícola.

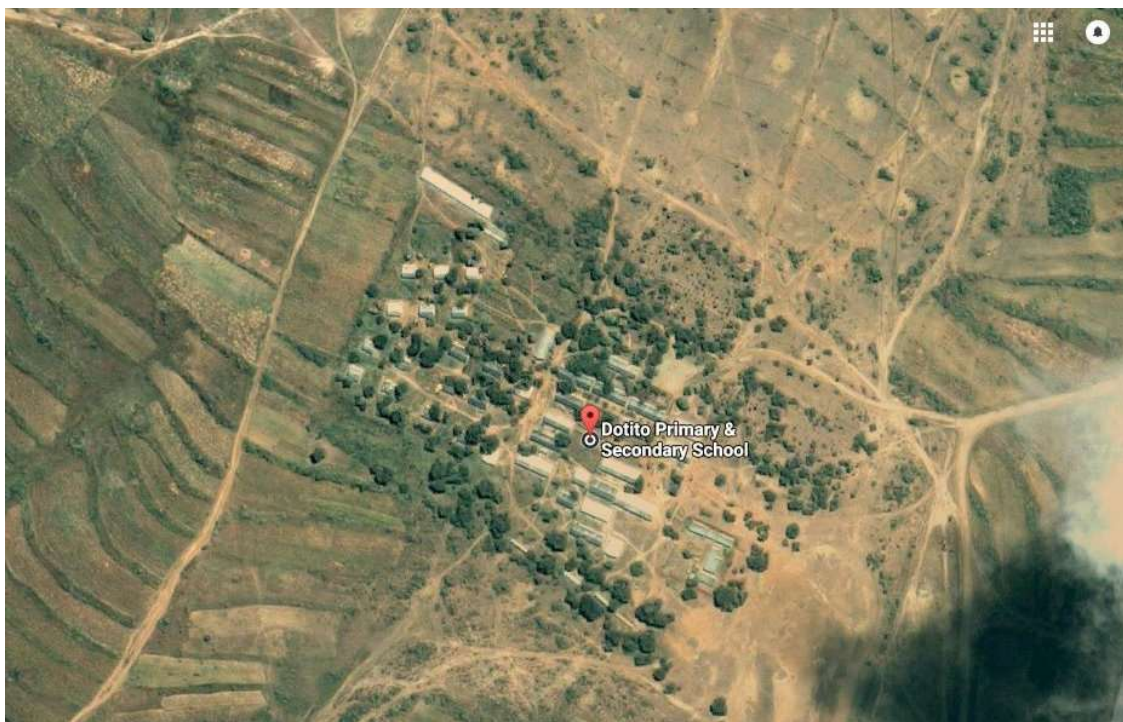
Geomorfológicamente nos hallamos en una colina formada por materiales terciarios (intercalaciones de areniscas, lutitas y limolitas). Al pie de la colina hallamos materiales fluviales cuaternarios que reposan discordantemente sobre el terciario y que forman la llanura, justo al norte de las instalaciones de CFA.

Las instalaciones tienen una forma rectangular con una superficie conjunta aproximada 350 hectáreas, entre los terrenos dedicados a la agricultura y los terrenos propios del orfanato.



Fuente: google mapas. Medida de distancia desde la ubicación de nuestro colegio hasta el orfanato de CFA, centro de la ONG.

En línea recta según vemos en la imagen hay aproximadamente unos 21km de distancia, aunque se estima que utilizando las carreteras/caminos existentes se recorre una distancia de unos 35 km.



Fuente: Google mapas. Imagen ampliada de la localización del terreno donde se va a construir.

En la imagen anterior podemos observar a máxima escala posible la ubicación donde se va a encontrar nuestra construcción del colegio. Vemos que, como se ha dicho anteriormente, está ubicado alrededor de zona agrícola, dedicado a cultivo.

Presentan un desnivel de más 15 metros entre la cota del terreno y la cuenca del propio río, pero no más de 10 metros en todo el recinto, hacia el este progresivo con una inclinación muy pequeña.

En la fase de reconocimiento superficial se observa el hundimiento de varias carreteras de acceso en la zona de rodadura debido a que no se dispone de carreteras adecuadas y la explotación agrícola hace necesario el tránsito habitual de vehículos pesados. Este problema ya está sustentado, poco a poco puesto que la carretera está reparada desde noviembre del 2011., pero no cuenta ni con aceras ni pavimento alguno.

G) C.5.2. RECONOCIMIENTO Y OBSERVACIÓN GEOLÓGICA EN PROFUNDIDAD:

Mediante los medios disponibles en el distrito y con el apoyo de otras ONG internacionales con sede en la capital, se pudieron realizar una serie de ensayos mecánicos para la caracterización de todos los niveles de subsuelos y sus parámetros geotécnicos. Con el fin de captar en estado del terreno en las dos etapas climatológicas que padece la zona, los ensayos se dividieron en dos fases, una en agosto a mitad del periodo de sequía y otro en enero, ya inmerso en las lluvias.

En la época de sequía se realizaron sondeos con recuperación de testigo continuo para poder así analizar el alcance del descenso del Nivel Freático y una segunda fase mediante 6 catas, realizadas semi-manualmente.

Sondeos a Rotación:

Las campañas de sondeos realizada en el mes de agosto consistieron en 4 puntos de investigación: 4 sondeos de recuperación de testigo continuo (S) en los cuales se realizaron 12 pruebas estándar de penetración (SPT), 2 muestras inalteradas (MI) y tres muestras representativas.

Como ya se ha mencionado, para la realización de estos estudios se contó con el apoyo y supervisión de otras ONG.

Metodología	Nº de puntos de Investigación
Sonde Rec. Testigo Continuo	4
Extracción de Muestras	Extracción
Ensayo SPT	12
Muestra Inalterada	2
Muestra Representativa	3

Fuente: CFA. Sondeos a Rotación.

Se ha tomado como origen de coordenadas, el punto (0,0/0,0/0,0), es decir, la esquina de la cocina tradicional del recinto de CFA. Está será nuestra zona de estudio, la zona vallada que abarca las dos casas, las letrinas y la cocina tradicional.

Ensayo	Coordenadas (m) (X/Y/Z)
S1	(30,5/4,0/-0,5)
S2	(24,5/3,5/-0,5)

S3	(16,0/20,0/-2,0)
S4	(18,5/28,5/-2,0)

Fuente: CFA. Coordenadas de los 4 puntos analizados.

Ensayo	Cota de inicio (Z)	Cota alcanzada (m)	Nivel Freático	Nº de ensayos SPT	Nº muestras inalteradas	Nº muestras representativas
S1	-0,5	-6,5	No	2	1	0
S2	-0,5	-12,5	Sí	4	0	2
S3	-2	-10,0	Sí	4	0	1
S4	-2	-8,5	No	2	1	0

Fuente: CFA. Miren Tellería. Resultados de los ensayos realizados.

Catas:

Posteriormente durante el mes de enero se realizó otra campaña con 5 puntos de investigación dentro de la parcela ya mencionada.

En estas 5 catas se han extraído un total de 10 muestras representativas.

Además, también se realizó una cata en las proximidades del recinto, dentro del complejo total de CFA.

Metodología	Nº de puntos de Investigación
Catas	5
Extracción de Muestras	Extracción
Muestra Representativa	10

Fuente: Miren Tellería. Catas en el mes de enero.

Se ha tomado como origen de coordenada, el punto (0,0/0,0/0,0), el mismo que en la ocasión anterior, con el fin de contrastar los datos obtenidos, y poder hacer una comparación.

Ensayo	Coordenadas (m) (X/Y/Z)
C1	(20,0/10,0/-0,5)
C2	(15,5/5,5/-0,5)
C3	(5,0/20,0/-0,8)
C4	(10,5/28,5/-0,5)
C5	(25,5/10,5/-4)

Fuente: CFA. Coordenadas de los 4 puntos analizados.

Ensayo	Cota de inicio (Z)	Cota alcanzada (m)	Nivel Freático	Nº de ensayos SPT	Nº muestras inalteradas	Nº muestras representativas
C1	-0,5	-1,5	No	0	0	2
C2	-0,5	-2,5	Sí	0	0	2
C3	-1	-4,0	Sí	0	0	3
C4	0,5	-2,5	Sí	0	0	0
C5	-1,5	3	Sí	0	0	3

Fuente: CFA. Resultados de las catas.

Extracciones de muestras:

Durante la realización de las diferentes metodologías para el estudio del suelo mediante procesos estudiados en geotecnia, se extrajo una serie de muestras a analizar y ensayar:

Código	Método de extracción	Profundidad (m)	Cota de extracción (m)
Muestra 1	MI en S1	3,0 a 3,6	-3,5 a -4,1
Muestra 2	SPT en S1	3,6 a 4,2	-4,1 a -4,7

Muestra 3	SPT en S1	4,8 a 5,4	-5,3 a -5,9
Muestra 4	SPT en S2	1,8 a 2,4	-2,3 a -2,9
Muestra 5	MR en S2	3,0 a 3,3	-3,5 a 3,8
Muestra 6	SPT en S2	3,3 a 3,9	-3,8 a -4,3
Muestra 7	SPT en S2	6,5 a 7,1	-7,0 a -7,6
Muestra 8	SPT en S2	7,8 a 8,4	-8,3 a -8,9
Muestra 9	SPT en S2	9,8 a 10,4	-10,3 a -10,9
Muestra 10	SPT en S3	3,0 a 3,6	-5,0 a -5,6
Muestra 11	SPT en S3	4,0 a 4,6	-6,0 a -6,6
Muestra 12	SPT en S3	5,5 a 6,1	-7,5 a -8,1
Muestra 13	MR en S3	6,6 a 6,8	
Muestra 14	SPT en S3	7,2 a 7,8	-9,2 a -9,8
Muestra 15	SPT en S4	1,0 a 1,6	-3,0 a -3,6
Muestra 16	MI en S4	2,0 a 2,6	-4,0 a -4,6
Muestra 17	SPT en S3	2,6 a 3,2	-4,6 a -5,2
Muestra 18	MR en C1	2,9	-3,4
Muestra 19	MR en C1	3,2	-3,7
Muestra 20	MR en C2	2	-2,5
Muestra 21	MR en C2	3,5	-4
Muestra 22	MR en C3	3	-3,8
Muestra 23	MR en C3	4	-4,8
Muestra 24	MR en C3	5	-5,8
Muestra 25	MR en C5	1,5	-5,5
Muestra 26	MR en C5	2,4	-6,4

Muestra 27	MR en C5	3,3	-7,7
-------------------	----------	-----	------

Fuente: Muestras de extracciones.

Ensayo SPT

El ensayo SPT según norma UNE 103-800-92 consiste en realizar una perforación hasta la cota deseada y en el fondo se introduce un tubo de muestreo bipartido de dimensiones normalizadas que permite recuperar una muestra alterada del terreno para su análisis visual en el campo y los ensayos de laboratorio. A continuación, se clava el tubo de muestreo en el terreno 60 cm, contando el número de golpes necesarios para clavar tramos de 15 cm. La clava se realiza mediante una maza de 63,5 Kg desde una altura de 76 cm. De esta manera se contabilizan 4 tramos de 15 cm. Los valores de golpeo de los tramos centrales de 15 cm sumados dan el parámetro N30spt o Nspt, denominado resistencia a la penetración estándar. Cuando el terreno es muy resistente se para la prueba para un determinado número de golpes (rechazo, R), anotando la penetración realizada. Los valores de rechazo que normalmente se aplican son cuando se dan 50 golpes para un tramo de 15 cm, o bien cuando se aplican 100 golpes en total.

Muestra Inalterada

La extracción de la muestra inalterada permite obtener una muestra de terreno normalmente cohesivo, que conserva sus propiedades para la realización de ensayos de resistencia y deformabilidad en el laboratorio.

Muestra Representativa

Muestras obtenidas mediante la impermeabilización de tramos de testigo continuo obtenido en los sondeos.

C.6. ENSAYO DE LABORATORIO

Durante la realización de los ensayos de campo se han obtenido una serie de muestras, utilizando diferentes metodologías, para la realización de ensayos de laboratorio que permitan deducir que procesos han influenciado en los asentamientos producidos. La relación de muestras y los ensayos realizados en cada una de ellas se recoge en el estudio geotécnico que complementa a este. Los resultados obtenidos se recogen en el siguiente resumen:

N° DE INFORME:		B0803-80-11									
N° INFORME DEL LABORATORIO		G11-1469	G11-1401	G11-1402	G11-1490	G11-1607	G11-1403	G11-1404	G11-1491	G11-1406	G11-1406
REFERENCIA DEL CLIENTE											
SITUACIÓN		S-1	S-1	S-1	S-2	S-2	S-3	S-3	S-3	S-4	S-4
TIPO DE MUESTRA		MI	SPT	SPT	SPT	SPT	SPT	SPT	MP	SPT	SPT
PROFUNDIDAD, m		3.3.5	3.6.4.2	4.8.5.4	6.5.7	9.9.10.4	3.3.5	4.4.5	6.6	1.1.6	2.6.3.2
GRANULOMETRÍA TAM	% para # 5 UNIE		54.3	86.9	56.1	88.7	71.0	80.2		84.8	87.3
	% para # 2 UNIE		89.5	48.9	42.8	80.8	57.1	46.3		77.5	81.3
	% para # 0.075 UNIE		82.4	29.4	23.9	72.4	38.2	22.5		59.6	71.8
	% para # 0.06 UNIE		69.4	18.0	12.1	58.5	21.8	13.9		56.2	61.2
LÍMITES DE ATT.	L. Líquido		24.4			19.8				24.8	23.9
	L. Plástico		17.5			15.0				13.3	15.6
LÍMITES DE ATT.			6.0	NO PLASTICO	NO PLASTICO	3.0	NO PLASTICO	NO PLASTICO		5.5	6.7
CLASIFICACIÓN U.S.G.S.			ML CL	GM	GM	ML	GM	GM		ML CL	ML CL
HUMEDAD NATURAL, %			13.0	2.0	4.6	7.7	7.0	3.3		11.4	14.6
DENSIDAD	Aparente, g/cm ³		2.09								2.10
	Seco, g/cm ³		1.84								1.88
COLAPSO	Ind. de colapso, I (%)	0.07							0.07		
	Por. poro. colapso, Ie (%)	0.07							0.07		
SULFATOS	% SO ₃					0.0399				EXENTO	
	% SO ₄					0.0366				EXENTO	
	mg/kg o mg/L SO ₃					398.97				EXENTO	
	mg/kg o mg/L SO ₄					395.16				EXENTO	

N° INFORME DEL LABORATORIO		G11-1811	G11-1812	G11-1813	G11-1814	G11-1815	G11-1816	G11-1817	G11-1818	G11-1819	G11-1820
REFERENCIA DEL CLIENTE		MR 1	MR 2	MR 1	MR 2	C-3	C-3	C-3	C-3	C-3	C-3
SITUACIÓN		C-1	C-1	C-2	C-2	C-3	C-3	C-3	C-3	C-3	C-3
TIPO DE MUESTRA		FN BOLSA	FN BOLSA	FN BOLSA	FN BOLSA	FN BOLSA	FN BOLSA	FN BOLSA	FN BOLSA	FN BOLSA	FN BOLSA
PROFUNDIDAD, m		2.5-	3.2-	2-	3.5-	3-	4-	5-	1.5-	2.4-	3.3-
GRANULOMETRÍA TAM	% para # 5 UNIE		27.3							54.3	
	% para # 2 UNIE		19.5							47.9	
	% para # 0.075 UNIE		11.7							39.6	
	% para # 0.06 UNIE		8.0							34.1	
LÍMITES DE ATT.	L. Líquido										
	L. Plástico										
LÍMITES DE ATT.											
CLASIFICACIÓN U.S.G.S.											
HUMEDAD NATURAL, %		16.3	6.2	19.5	17.4	16.4	18.0	18.8	9.6	6.6	8.7
DENSIDAD	Aparente, g/cm ³										
	Seco, g/cm ³										
COLAPSO	Ind. de colapso, I (%)	0.14									0.67
	Por. poro. colapso, Ie (%)	0.14									0.67
SULFATOS	% SO ₃										
	% SO ₄										
	mg/kg o mg/L SO ₃										
	mg/kg o mg/L SO ₄										

Fuente: CFA. Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio.

C.7. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO

Durante la ejecución de la campaña de campo, con fecha agosto únicamente se detectó la presencia de nivel freático a una profundidad superior a 10 metros respecto a la cota de referencia, pero en la campaña realizada en enero, en nivel freático alcanzó los 2 metros de profundidad.

El CTE proporciona valores orientativos del coeficiente de permeabilidad para las diferentes unidades:

Unidad	Tipo de suelo	Permeabilidad (m/s)
Suelo alterado (SA)	Arena fina, limo y mezcla de arena, limos y arcillas	$10^{-5} - 10^{-9}$
Relleno (R)	Arena limpia, mezcla de grava y arena limpia	$10^{-2} - 10^{-5}$
Limos arcillosos (LLA)	Arcilla	$< 10^{-9}$
Gravitas con arenas (GS)	Arena limpia, mezcla de grava y arena limpia	$10^{-2} - 10^{-5}$
Arcillas orgánicas (AO)	Arena	$< 10^{-9}$
Arenas finas limosas (SFLL)	Arena limpia, mezcla de grava y arena limpia	$10^{-2} - 10^{-5}$
Sustrato (S3)	Gres (matriz rocosa sana)	$10^{-5} - 10^{-10}$
Sutrato (S3)	Lutita (matriz rocosa sana)	$10^{-9} - 10^{-13}$

Fuente: CTE. Valores de referencia del CTE del coeficiente de permeabilidad.

C.8. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

De acuerdo con la información obtenida mediante el trabajo de campo y la biografía consultada se han establecido 6 unidades de diferente comportamiento geotécnico:

H) C.8.1. UNIDADES LITOLÓGICAS DIFERENCIADAS

Unidad 1	Suelo alterado (SA1)
Unidad 2	Relleno (R1)
Unidad 3	Limos arcillosos (LLA2)
Unidad 4	Gravitas con arenas (GS2)

Unidad 5	Arcillas orgánicas (AO2)
Unidad 6	Arenas finas y limosas (SLL2)
Unidad 7	Sustrato (S-)

Fuente: Unidades Litológicas diferenciadas.

Unidad 1: Suelo alterado (SA1)

Suelo alterado marronoso con presencia de raíces y materia orgánica. Esta unidad se detectó a nivel de superficie del solar con un espesor de 1,0 a 2,0 metros.

Tabla C.11. Resultados suelo alterado

Ensayo	Cota (Z) de inicio	Techo/ Base unidad
S2	-0,5	.0,5/2,0
S3	-2	-2,0/-4,0
S4	-2	-2,0-3,0
C3	-0,8	-0,8/-2,5
C5	-4	-4,0/ -4,5

Unidad 2: Relleno (R1)

Relleno antrópico formado por runa y el suelo alterado marronoso con presencia de raíces y materia orgánica. Esta unidad se detecta a nivel de superficie del solar con un espesor de 2,0 metros.

Tabla C.12. Resultados relleno

Ensayo	Cota (Z) de inicio	Techo/ Base unidad
S1	-0,5	.0,5/-2,5
C1	-0,5	-0,5/-2,2 -2,5
C2	-0,5	-0,5/-2,2 -2.5
C4	-0,5	-0,5/-1,0

Unidad 3: Limos arcillosos (LLA2)

Limos y arcillas de color marrón rojizo. Se interpretan como tramos de finos de depósitos aluviales cuaternarios. Son materiales clasificados según el sistema SUCS como CL-ML (arcillas limos de baja plasticidad). Presentan una plasticidad baja. Esta unidad se detecta por debajo de las unidades 1 y 2 y hasta una profundidad variable de - 4,65 a -6,5 metros respecto cota de referencia. El espesor detectado varía entre 2,0 y 4,0 metros.

Tabla C.13. Resultados limos arcillosos

Ensayo	Cota (Z) de inicio	Techo/ Base unidad
S1	-0,5	.2,5/-4,6
S2	-0,5	-2,5/-6,5
S3	-2	-4,0/-5,0
S4	-2	-4,0/-5,0
C1	-0,5	-2,2 -2,5/ -3,7
C1	-0,5	-2,2 -2,5/ -5,2
C3	-0,8	-2,5/-5,8
C4	-0,5	-1,0/-2,5
C5	-4	-4,6/-6,1

Tabla C.14. Materiales con una capacidad de resistencia media alta.

Ensayo	Cota (Z) de inicio	Profundidad
SPT en S1	-0,5	-4,1 a -4,7
SPT en S2	-0,5	-2,3 a -2,9
SPT en S2	-0,5	-3,8 a -4,3
SPT en S4	-2	-3,0 -3,6

SPT en S4	-2	-4,6 a -5,2
-----------	----	-------------

Los resultados de laboratorio obtenidos para esta unidad son los siguiente:

Muestra 1 SPT en S1 de -3,5 a -4,1

Tabla C.15. Resultados de la prueba de colapso en la muestra 1

COLAPSO	
Índice de Colapso I (%)	0,07
Pot. Porc. Colapso (%)	0,07

Muestra 2 SPT en S1 de -4,1 A -4,7

Tabla C.16. Resultados de las pruebas en la muestra 2.

IDENTIFICACION			
% de grava	10,5	Humedad natural	13,8
% de arena	20,1	Límite líquido	24,4
% de finos	69,4	Límite plástico	17,6
Densidad aparente g/cm3	2,09	Índice de plasticidad	6,8
Densidad seca g/cm3	1,84	Clasificación SUCS	ML-CL

Muestra 15 SPT en S4 de -3,0 a -3,6

Tabla C.17. Resultados de las pruebas en la muestra 15.

IDENTIFICACIÓN			
% de grava	22,4	Humedad natural	11,4
% de arena	21,4	Límite líquido	
% de finos	56,2	Límite plástico	No plástico
Densidad aparente g/cm3		Índice de plasticidad	

Densidad seca g/cm ³		Clasificación SUCS	ML-CL
---------------------------------	--	--------------------	-------

Tabla C.18. Resultados de las pruebas de agresividad en la muestra 15.

AGRESIVIDAD		
	Mg/kg	%
SO ₃	Ausente	
SO ₄	Ausente	
Resultado	El suelo analizado no es agresivo para el hormigón	

Muestra 18 MR en C1 -3,4

Tabla C.19. Resultados de las pruebas en la muestra 28.

IDENTIFICACIÓN	
Humedad natural (%)	16,3

Tabla C.20. Resultados de la prueba de colapso en la muestra 18

COLAPSO	
Índice de Colapso I (%)	0,14
Pot. Porc. Colapso (%)	0,14

Muestra 20 MR en C2 -2,5

Tabla C.21. Resultados de las pruebas en la muestra 20

IDENTIFICACIÓN	
Humedad natural (%)	16,3

Muestra 20 MR en C2 -2,5

Tabla C.21. Resultados de las pruebas en la muestra 20

IDENTIFICACIÓN	
Humedad natural (%)	19,5

Muestra 21 MR en C2 -4,0

Tabla C.22. Resultados de las pruebas en la muestra 21

IDENTIFICACIÓN	
Humedad natural (%)	19,5

Muestra 22 MR en C2 -3,8

Tabla C.23. Resultados de las pruebas en la muestra 22

IDENTIFICACIÓN	
Humedad natural (%)	16,4

Muestra 23 MR en C2 -2,5

Tabla C.24. Resultados de las pruebas en la muestra 23

IDENTIFICACIÓN	
Humedad natural (%)	18

Muestra 24 MR en C2 -2,5

Tabla C.25. Resultados de las pruebas en la muestra 24

IDENTIFICACIÓN	
Humedad natural (%)	18,8

Muestra 25 MR en C2 -2,5

Tabla C.26. Resultados de las pruebas en la muestra 25

IDENTIFICACIÓN	
----------------	--

Humedad natural (%)	9,5
----------------------------	-----

Para esta unidad se han estimado los siguientes parámetros geotécnicos.

Densidad (g/cm3)	Ángulo de rozamiento interno (º)	Cohesión (kg/cm2)
1,8	25	0,5-0,8

Unidad 4: Gravitas con arenas (GS2)

Gravitas con arenas. Se interpretan como tramos de materiales con granulometría más gruesa de depósitos aluviales cuaternarios. Son materiales clasificados según el sistema SUCS como SM (arenas finas gravosas). Son materiales no plásticos.

Esta unidad se detecta por debajo de la unidad 3 y hasta una profundidad variable de -5,9 a -7,5 metros respecto cota de referencia. El espesor detectado varía entre 0,5 y 2,0 metros.

Tabla C.27. Resultados limos arcillosos

Ensayo	Cota (Z) de inicio	Techo/ Base unidad
S1	-0,5	-4,6/ -5,9
S2	-0,5	-6,5/ -7,5
S3	-2	-5,0/ -7,0
S4	-2	-5,0/ -5,2
C1	-0,5	-3,7/ -3,9
C5	-4	-6,1/-6,6

Tabla C.28. Materiales con una capacidad de resistencia media alta.

Ensayo	Cota (Z) de inicio	Profundidad
SPT en S1	-0,5	-5,3 a -5,9
SPT en S2	-0,5	-7,0 a -7,6
SPT en S3	-2	-5,0 a -5,6

SPT en S4	-2	-6,0 -6,6
-----------	----	-----------

Los resultados de laboratorio obtenidos para esta unidad son los siguientes:

Muestra 3 SPT en S1 de -5,3 a -5,9

Tabla C.29. Resultados de las pruebas en la muestra 3

IDENTIFICACION			
% de grava	51,1	Humedad natural	2,8
% de arena	30,9	Límite líquido	
% de finos	18	Límite plástico	No plástico
Densidad aparente g/cm3		Índice de plasticidad	
Densidad seca g/cm3		Clasificación SUCS	SM

Muestra 7 SPT en S1 de -7,0 a -7,6

Tabla C.30. Resultados de las pruebas en la muestra 7.

IDENTIFICACIÓN			
% de grava	57,2	Humedad natural	4,6
% de arena	30,4	Límite líquido	
% de finos	12,3	Límite plástico	No plástico
Densidad aparente g/cm3		Índice de plasticidad	
Densidad seca g/cm3		Clasificación SUCS	GM

Muestra 10 SPT en S3 de -5,0 a -5,6

Tabla C.31. Resultados de las pruebas en la muestra 10

IDENTIFICACION			
% de grava	42,9	Humedad natural	7,8

% de arena	35,3	Límite líquido	
% de finos	21,8	Límite plástico	No plástico
Densidad aparente g/cm3		Índice de plasticidad	
Densidad seca g/cm3		Clasificación SUCS	SM

Muestra 11 SPT en S1 de -6,0 a -6,6

Tabla C.32. Resultados de las pruebas en la muestra 11.

IDENTIFICACIÓN			
% de grava	59,7	Humedad natural	3,3
% de arena	45,8	Límite líquido	
% de finos	13,9	Límite plástico	No plástico
Densidad aparente g/cm3		Índice de plasticidad	
Densidad seca g/cm3		Clasificación SUCS	SM

Muestra 19 MR en C1 a -3,7

Tabla C.33. Resultados de las pruebas en la muestra 19

IDENTIFICACIÓN	
Humedad natural (%)	5,2
% de grava	80,5
% de arena	11,5
% de finos	8

Muestra 26 MR en C5 a -6,4

Tabla C.34. Resultados de las pruebas en la muestra 26

IDENTIFICACIÓN	
Humedad natural (%)	6,5
% de grava	52,1
% de arena	13,8
% de finos	34

Para esta unidad se han estimado los siguientes parámetros geotécnicos.

Densidad (g/cm3)	Ángulo de rozamiento interno (º)	Cohesión (kg/cm2)
2	30-34	0,05-0,1

Unidad 4: Arcillas orgánicas (AO2)

Limos y arcillas de color marrón oscuro a negro. Se interpretan como tramos de finos de depósitos aluviales cuaternarios y concretamente como un paleosuelo. Esta unidad solo se detecta en el ensayo S3 por debajo de las gravas de la unidad 4 y hasta a una profundidad de - 8,0 metros respecto cota de referencia. El espesor detectado es de 1,0 metro.

Tabla C.35. Resultados arcillas orgánicas

Ensayo	Cota (Z) de inicio	Techo/ Base unidad
S3	-2	-7,0/ -8,0
C5	-4	-6,6/-7,2

Tabla C.36. Materiales con una capacidad de resistencia alta

Ensayo	Cota (Z) de inicio	Profundidad
SPT en S2	-2	-7,5 a-8,1

Para esta unidad se han estimado los siguientes parámetros geotécnicos.

Densidad (g/cm3)	Ángulo de rozamiento interno (º)	Cohesión (kg/cm2)
1,8	25	0,5-0,8

Unidad 6: Arenas finas y limosas (SLL2)

Limos con arenas finas marrón claro. Se interpretan como tramos finos de depósitos aluviales cuaternarios. Son materiales clasificados según el sistema SUCS como ML-SM (arcillas y limos de baja plasticidad). Presentan una plasticidad nula o muy baja. Esta unidad solo se detecta en el ensayo S3 por debajo de la unidad 5 y hasta una profundidad de -9,0 metros respecto cota de referencia. El espesor detectado es de 0,9 y 1,6 metros

Tabla C.38. Resultados arenas limosas

Ensayo	Cota (Z) de inicio	Techo/ Base unidad
S3	-2	-8,0/ -9,35
C5	-4	-7,2/-8,8

Los resultados de laboratorio obtenidos para esta unidad son los siguientes:

Muestra 13 MR en S3 de -8,6 a -8,8

Tabla C.38. Resultados de la prueba de colapso en la muestra 13

COLAPSO	
Índice de Colapso I (%)	0,07
Pot. Porc. Colapso (%)	0,07

Muestra 17 MR en C5 -7,3

Tabla C.39. Resultados de la prueba de colapso en la muestra 17

COLAPSO	
Índice de Colapso I (%)	0,67
Pot. Porc. Colapso (%)	0,67

Para esta unidad se han estimado los siguientes parámetros geotécnicos.

Densidad (g/cm ³)	Ángulo de rozamiento interno (°)	Cohesión (kg/cm ²)
1,8	25-28	0,05-0,1

Unidad 7: Sustrato (S3)

Sustrato terciario constituido por lutitas marrón y amarillentas con intercalaciones de areniscas. Esta unidad se detecta por debajo del resto de unidades y hasta una profundidad no determinada pero estimada en decenas de metros.

Tabla C.40. Resultados sustratos

Ensayo	Cota (Z) de inicio	Techo/ Base unidad
S1	-0,5	-5,9/ -6,5
S2	-0,5	-7,5/ -11,3
S3	-2	-9,3/-9,8

Tabla C.41. Materiales con una capacidad de resistencia alta

Ensayo	Cota (Z) de inicio	Profundidad
SPT en S2	-0,5	-8,3 a -8,9
SPT en S2	-0,5	-10,3 a -10,9
SPT en S3	-2	-9,2 a -9,8

Los resultados de laboratorio obtenidos para esta unidad son los siguientes:

Muestra 9 SPT en S2 de -10,3 a -10,9

Tabla C.41. Resultados de las pruebas en la muestra 9

IDENTIFICACION			
% de grava	29,3	Humedad natural	7,7
% de arena	22,3	Límite líquido	19,8
% de finos	58,5	Límite plástico	16,8
Densidad aparente g/cm3		Índice de plasticidad	3
Densidad seca g/cm3		Clasificación SUCS	ML

Tabla C.42. Resultados de las pruebas de agresividad en la muestra 15.

AGRESIVIDAD		
	Mg/kg	%
SO₃	Ausente	
SO₄	Ausente	
Resultado	El suelo analizado no es agresivo para el hormigón	

Para esta unidad se han estimado los siguientes parámetros geotécnicos.

Densidad (g/cm3)	Ángulo de rozamiento interno (°)	Cohesión (kg/cm2)
2,0 -2,2	30	2,0- 3,0

C.9. CONCLUSIONES

Los subsuelos de las instalaciones de CFA se estructuran mediante un sustrato (S3) que tiene una pequeña pendiente hacia el sudeste y sobre el cual reposan de manera discordante y subhorizontalmente diversos niveles de sedimentos aluviales cuaternarios. De abajo a arriba encontramos Arenas finas limosas (SFL2), Arcillas orgánicas (AO2), Gravitas con arenas (GS2) y Limos arcillosos (LLA2), todos ellos con espesores variables en función del paleorelieve terciario y el relieve actual. Por encima del resto de unidades hallamos el suelo alterado (SA1) y en la parcela 16 un pequeño relleno (R1). La alta variabilidad de materiales y su disposición espacial permite diversas interpretaciones en función de los ensayos de campo realizados.

Como ya se ha explicado antes de atacar el Anejo Geotécnico, no disponemos de datos geotécnicos propios del suelo donde justo se va construir, por lo tanto, hemos estudiado y utilizado los datos más próximos a nuestra zona, siendo conscientes de los posibles cambios que pueden aparecer entre un terrero y otro.

BIBLIOGRAFÍA

[BOE09] Documento Básico SE. Seguridad Estructural. Abril 2009. Web: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE.pdf>

[BOE09] Documento Básico SE. Seguridad Estructural Cimientos. Abril 2009. Web: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-C.pdf>

[BOE09] Documento Básico SE. Seguridad Estructural Fábrica. Abril 2009. Web: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-F.pdf>

[BOE09] Documento Básico SE. Seguridad Estructural Madera. Abril 2009. Web: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-M.pdf>

[FERN17] Gema Fernández. “Anejo C. Estudio Geotécnico” Junio 2017.

[FERN17] Gema Fernández. “Documento N°4-Presupuesto” Junio 2017.

[KERE09] Francis Kere. “Gando Primary School” Web: <http://www.kere-architecture.com/projects/primary-school-gando/>

Fundación Ingenieros del ICAI para el desarrollo. “Escuelas de calidad en la región de Guéra (Chad). Web: <https://fundacioningenierosicai.org/nuestros-proyectos/proyectos-finalizados/escuelas-de-calidad-en-la-region-de-guera-chad/>

[BOIX16] David Boixaidier. “Armado de una zapata como rígida o flexible” Web: <http://estructurando.net/2016/02/08/armado-de-una-zapata-como-rigida-y-flexible/>

[VALC] Juan Pérez Valcárcel. “Métodos de cálculo de cimentaciones superficiales”. Web: <https://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Publicaciones/public/Suelos/Zapatas%20EHE.pdf>

[IGUA15] Igartúa D.V, Moreno K, Piter J.C, Monteoliva S. “Densidad y propiedades mecánicas de la madera de Acacia melanoxylon implantada en Argentina” Web: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2015000400010

[LEFE] Rosa Lefevre. “Estructuración de cubiertas de Madera y accesorios. Construcciones de Madera y de Hierro” Web:
<https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/5932/20501-16%20CONSTRUCCIONES%20DE%20MADERA%20Y%20DE%20HIERRO%20Estructuración%20de%20Cubiertas%20de%20Madera%20y%20accesorios.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Morera y Vallejo, “Ley de Ordenación de la Edificación”. Web:
<https://www.morerayvallejo.es/ley-ordenacion-edificacion/#Promotor>

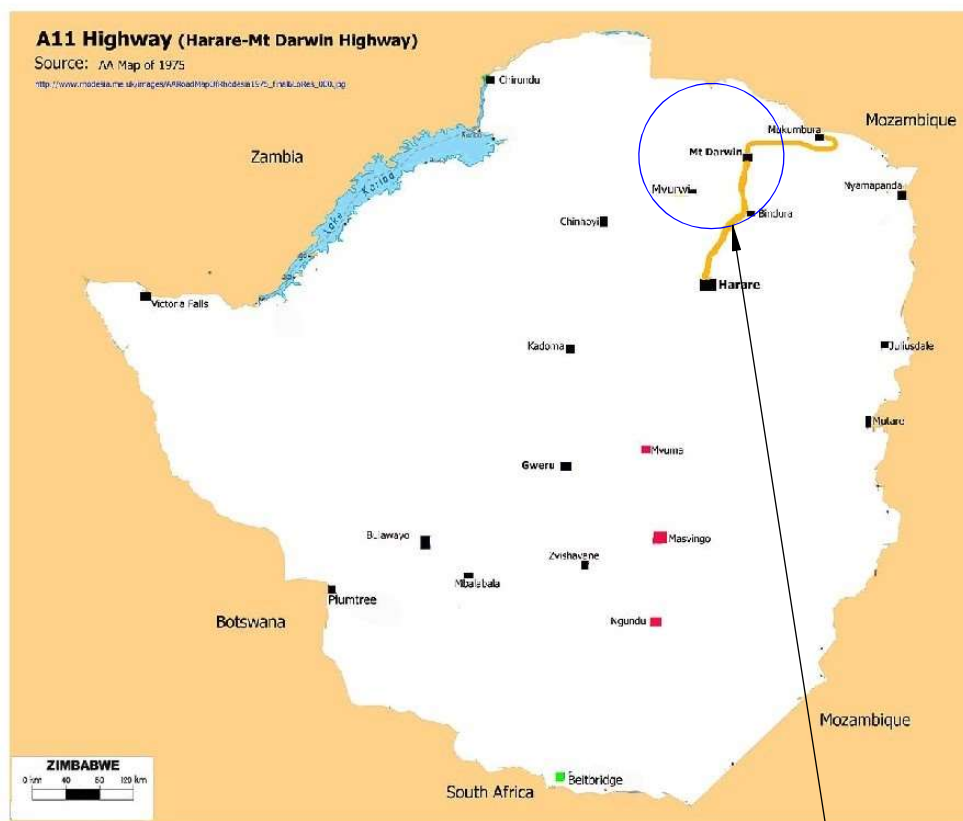
CYPE Ingenieros SA. “Generador de precios” Web:
<http://www.generadordeprecios.info/>

BBC. “7 Cifras que ayudan a entender la crisis de Zimbabue” Web:
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-42052253>

Documento II: Planos

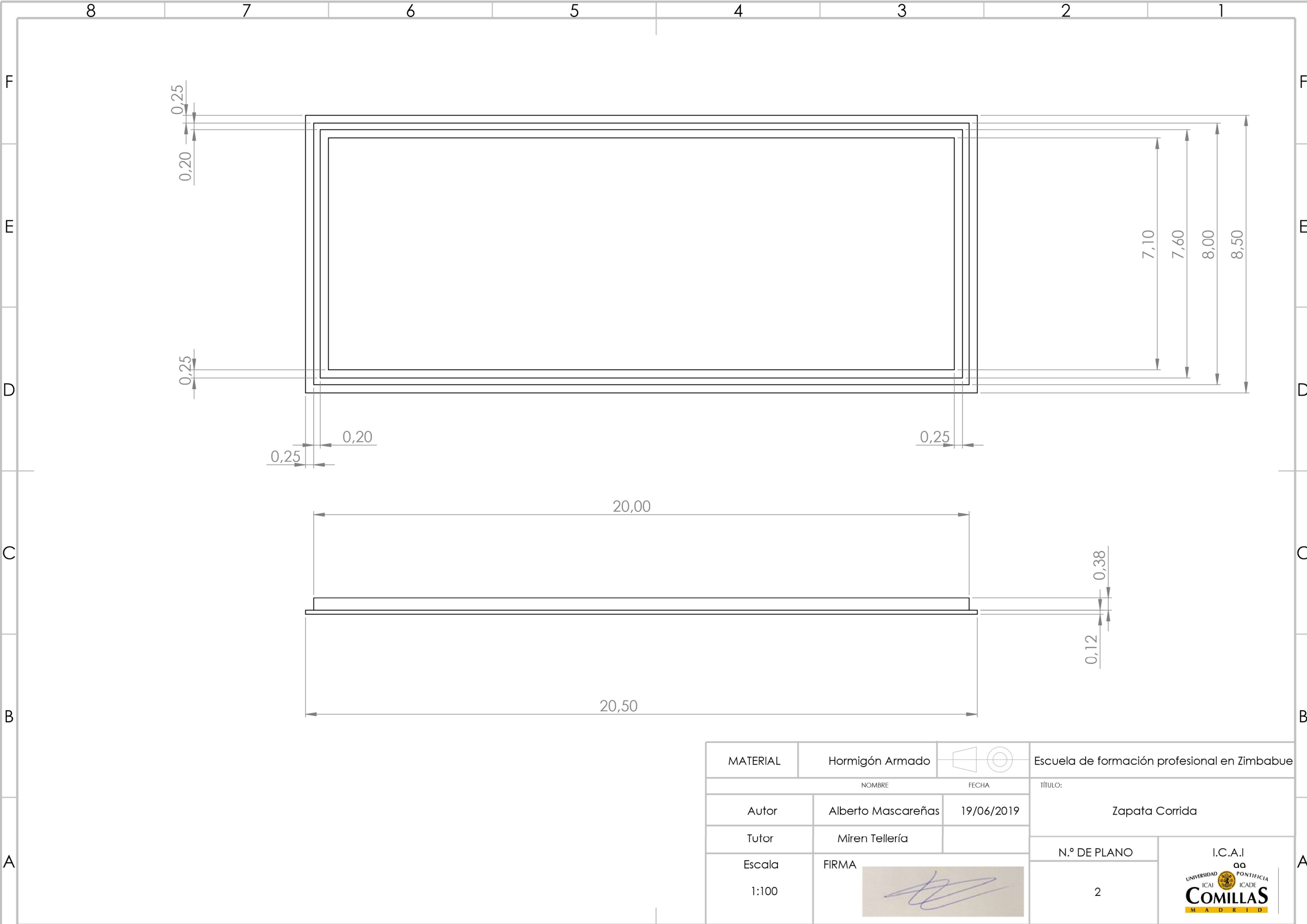
Índice de Planos

1.	PLANO DE SITUACIÓN.....	97
2.	PLANO DE CIMENTACIÓN	99
3.	PLANO COLEGIO	101
4.	PLANO CERCHA	103
5.	PLANO SOLERA.....	105

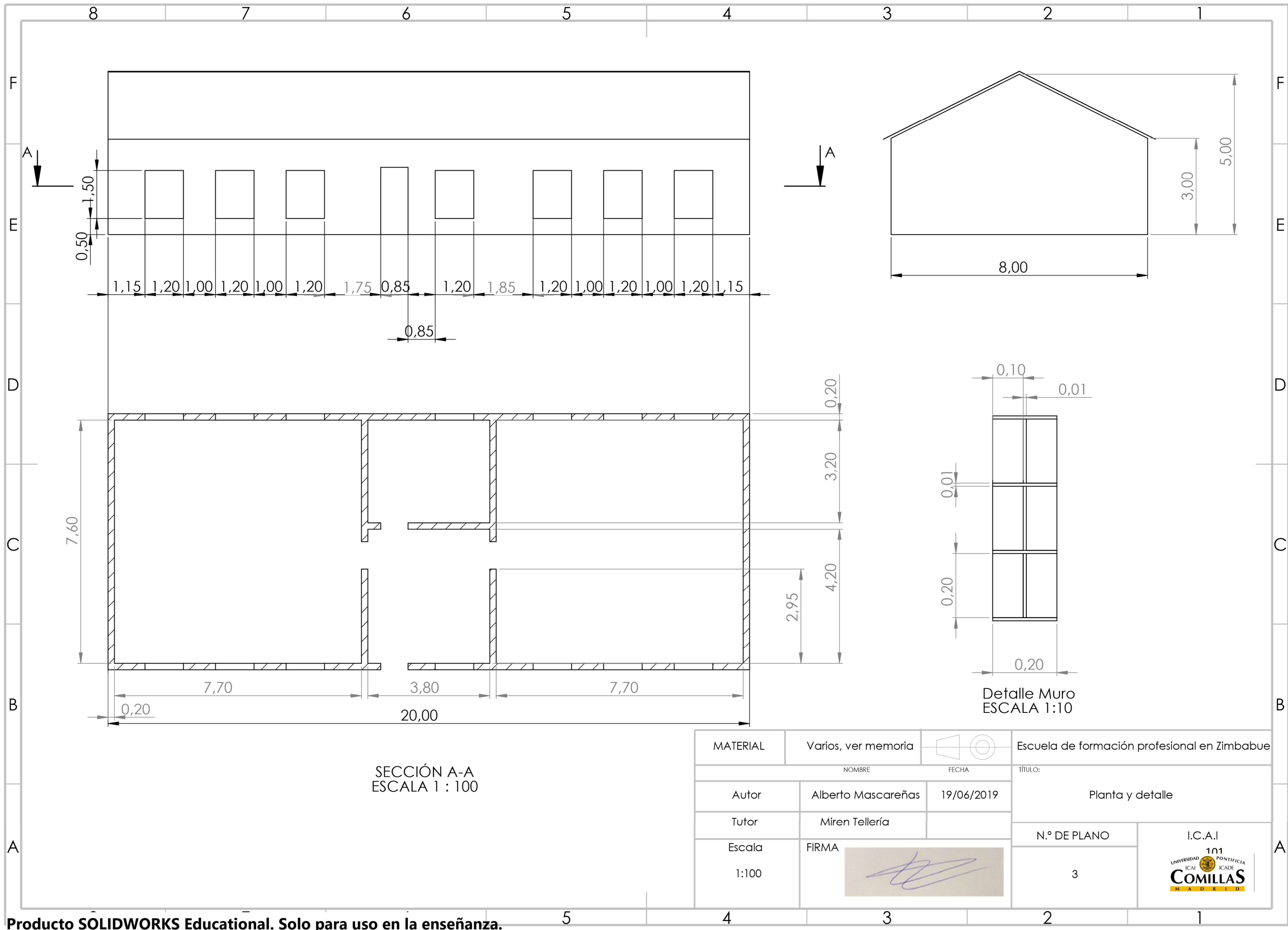


Situación Mount Darwing

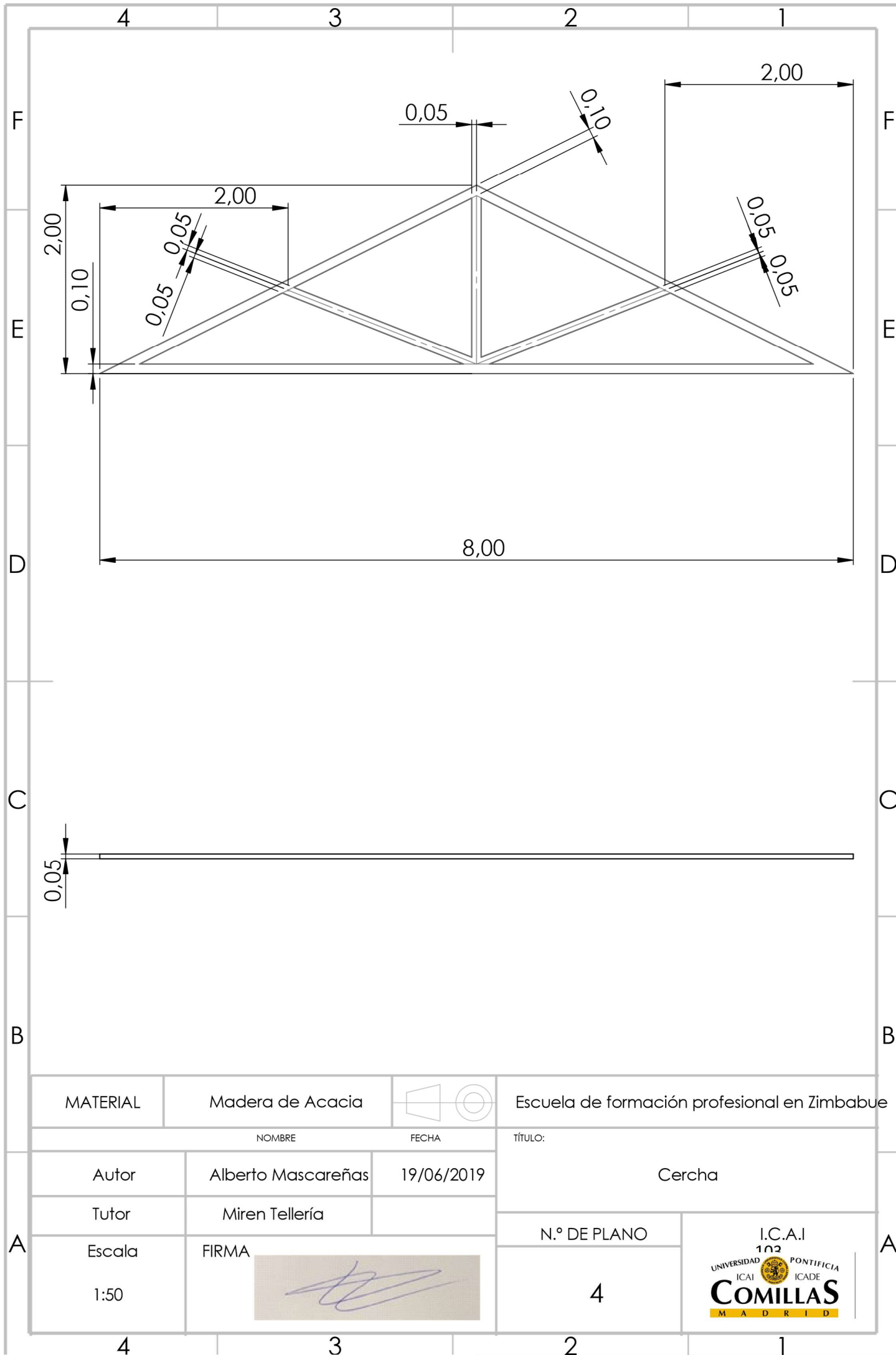
MATERIAL	-		Escuela de formación profesional en Zimbabwe	
NOMBRE		FECHA	TÍTULO: Situación	
Autor	Alberto Mascareñas	19/06/2019		
Tutor	Miren Tellería			
Escala	FIRMA 		N.º DE PLANO	
INDICADA			1	



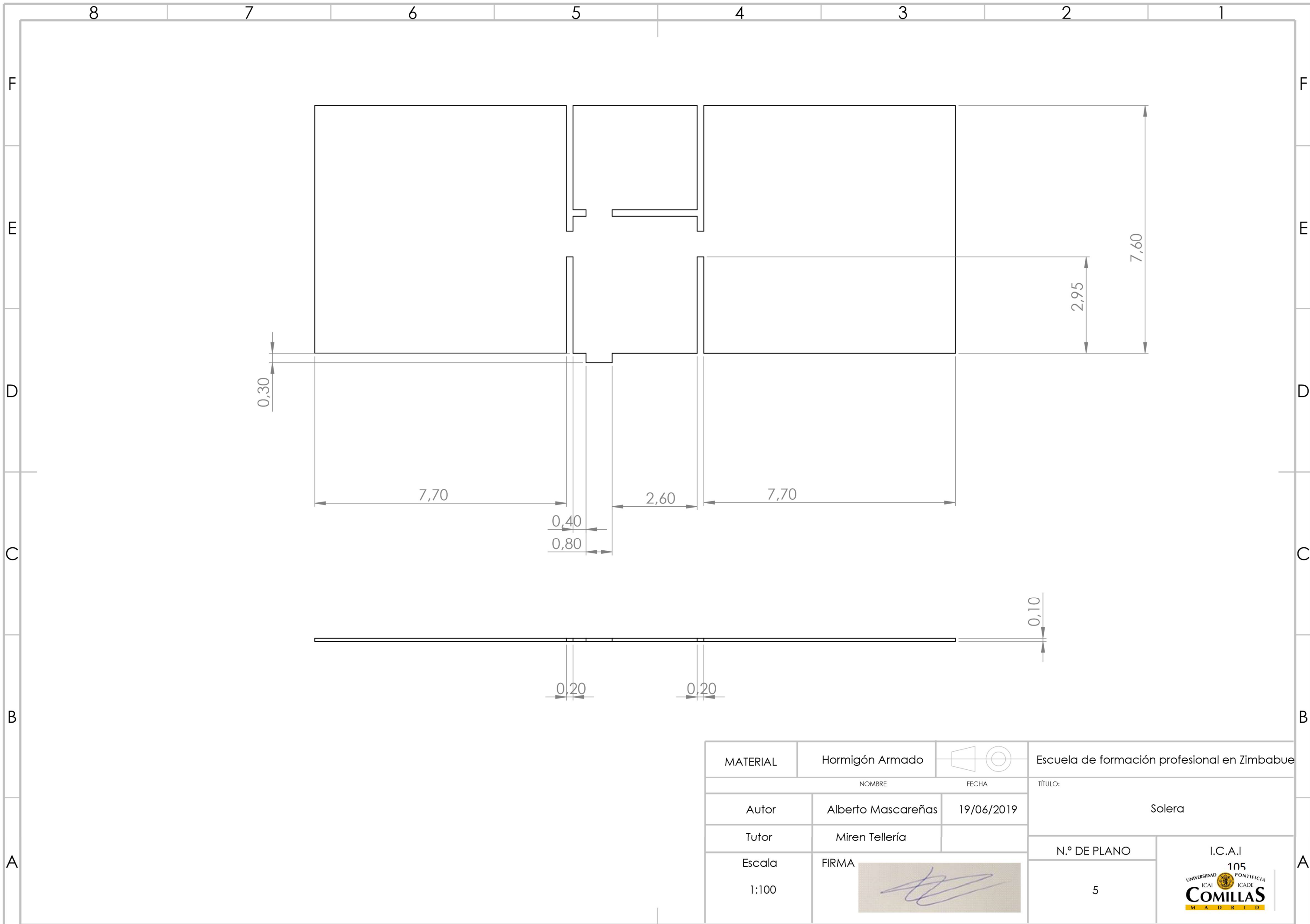
MATERIAL	Hormigón Armado	 	Escuela de formación profesional en Zimbabue	
NOMBRE		FECHA	TÍTULO:	
Autor	Alberto Mascareñas	19/06/2019	Zapata Corrida	
Tutor	Miren Tellería		N.º DE PLANO	
Escala	FIRMA		2	
1:100				



MATERIAL	Varios, ver memoria			Escuela de formación profesional en Zimbabue	
NOMBRE			FECHA	TÍTULO:	
Autor	Alberto Mascareñas	19/06/2019		Planta y detalle	
Tutor	Miren Tellería			N.º DE PLANO	
Escala	FIRMA			3	I.C.A.I. 101 UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI ICADÉ COMILLAS MADRID
1:100					



MATERIAL		Madera de Acacia				Escuela de formación profesional en Zimbabwe	
NOMBRE				FECHA		TÍTULO: Cercha	
Autor		Alberto Mascareñas		19/06/2019			
Tutor		Miren Tellería					
Escala		FIRMA				N.º DE PLANO	
1:50						4	



MATERIAL	Hormigón Armado	 	Escuela de formación profesional en Zimbabue	
NOMBRE		FECHA	TÍTULO: Solera	
Autor	Alberto Mascareñas	19/06/2019		
Tutor	Miren Tellería		N.º DE PLANO	
Escala 1:100	FIRMA 		5	

Documento III: Pliego de Condiciones

Índice

1.	DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PLIEGO	111
2.	PERSONAL DE LA OBRA	111
3.	REALIZACIÓN DE LA OBRA	113
4.	MATERIALES	114

El presente Pliego de condiciones explica como deberá realizarse la obra, sin embargo, no es el principal apartado del Proyecto por lo que se hará de forma resumida.

1. Definición y alcance del pliego

El presente Pliego de Condiciones tiene como objetivo definir las condiciones técnicas de la obra, así como su ejecución y el cumplimiento de los estándares de calidad oportunos. Este pliego, junto a los planos, forman el documento que permite la construcción de la obra.

En caso de existir contradicción entre los planos y lo dicho en el Pliego de Condiciones regirá lo escrito en el Pliego. Sin embargo, es conveniente llevar este caso al director de la obra y que este tome la decisión.

2. Personal de la obra

Además de necesitar al personal cualificado para la ejecución de la obra (obreros, peones, guardias de seguridad, etc..) hay ciertas actividades que deben de ser desarrolladas por personas con una cierta titulación. Entre estas encontramos el proyectista y al director de obra. Por otro lado, personas de gran importancia dentro de la obra son el contratista y el promotor.

Director de obra:

Es la persona encargada de dirigir, vigilar y controlar el transcurso de la obra. En este caso estará designado por la organización de Child Future África. Este debe estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante. Entre sus competencias se encuentran³⁶:

- Controlar la documentación de los suministros
- Verificar mediante ensayos que los materiales son válidos para la obra, y que cumple las exigencias mínimas del CTE.
- Control de ejecución de la obra.
- Aclarar ambigüedades existentes en los planos y/o Pliego de Condiciones
- Trabajar junto a los demás miembros de la dirección facultativa para la elaboración de la obra y la elaboración de la documentación.

Promotor:

³⁶ <http://sabemosconstruir.com/2015/10/17/las-funciones-del-director-de-la-ejecucion-de-la-obra/>

Acorde con la LOE, el promotor es la persona/empresa que decide, impulsa, programa y financia las obras de edificación, en nuestro caso sería la organización Child Future África y esta debe³⁷:

- Ser titular del terreno en el que se quiere construir.
- Facilitar la información necesaria al Proyectista.
- Autorizar al director de obra las posibles modificaciones del proyecto
- Gestionar las licencias administrativas.
- Realizar el acta de recepción de la obra.
- Realizar los seguros
- Entregar la documentación de la obra ejecutada al comprador.

Proyectista:

El proyectista es el agente que redacta el proyecto de obra, en este caso yo. Este debe³⁸:

- Tener la titulación académica y profesional competente.
- Cumplir con las condiciones necesarias para el ejercicio de la profesión
- Redactar el proyecto acorde con la normativa vigente y lo establecido en el contrato.
- Acordar con el promotor la contratación de colaboradores.

Como a la hora de elaborar este Proyecto yo no tengo ninguna titulación que me competa a la realización de este Proyecto será necesario que el rol de proyectista sea asignado a una persona competente, quedando este proyecto solo como una propuesta detallada y analizada de como podría ser la obra. Será el ingeniero proyectista el encargado de verificar refutar si las hipótesis asumidas en este diseño son válidas. El ingeniero podrá aceptar, modificar o denegar la propuesta de este Proyecto para la edificación del colegio de formación profesional. Siendo este el responsable último de esta decisión.

Contratista:

Agente que ejecuta la obra o parte de esta, utilizando medios humanos y materiales para este fin, este tiene la obligación de³⁹:

- Ejecutar la obra, siguiendo la legislación vigente y las instrucciones del director de obra.
- Estar en posesión de la titulación necesaria para tal actividad.
- Designar al jefe de obra.
- Contratar al personal necesario, así como comprar los materiales que se usarán en la obra.
- Firmar el acta de replanteo y el acta de recepción

³⁷ <https://www.morerayvallejo.es/ley-ordenacion-edificacion/#Promotor>

³⁸ <https://www.morerayvallejo.es/ley-ordenacion-edificacion/#Proyectista>

³⁹ <https://www-.morerayvallejo.es/ley-ordenacion-edificacion/#Constructor>

Director de la ejecución de la obra:

Esta persona dirige la ejecución material de la obra, controla la construcción y la calidad de esta. Entre sus obligaciones se encuentra:

- Estar en posesión de la titulación competente.
- Verificar la recepción de los materiales en la obra.
- Dirigir la ejecución.
- Designar las instrucciones precisas en el Libro de Órdenes y Asistencias.
- Realizar el acta de comienzo y final de obra.

3. Realización de la obra

La obra se realizará acorde con los planos que se pueden observar en el apartado Planos, una vez sea aprobada por el ingeniero proyectista y por el director de obra. La escuela contará con dos aulas y un almacén para guardar material ganadero y de agricultura.

Transcurso de la obra:

El personal competente registrará en el Libro de Órdenes el inicio de la obra con el replanteo, este será realizado con elementos de carácter permanente y definirá el lugar exacto de la edificación. Se deberá realizar con precaución para que todas las dimensiones concuerden con las dimensiones de los planos o las modificaciones del director de obra, este deberá aprobar el replanteo.

Una vez aprobado el replanteo por el director de la obra y tan pronto como este de el visto bueno al contratista se empezará la obra.

La obra se irá realizando a la velocidad que dicte el contratista, siempre con la supervisión del director de obras y registrando debidamente la información necesaria.

Plan de obra:

La obra se plantea realizar en un periodo de 5 semanas, para ello se necesitará de personal cualificado con experiencia y se realizarán las siguientes tareas⁴⁰.

- Se acondicionará el terreno, quitando toda la superficie vegetal que se pueda encontrar en la zona.
- Se nivelará el terreno.
- Se hará el replanteo, indicando donde estarán los muros, así como puertas y ventanas.
- Se excavará hasta medio metro de profundidad para realizar las zapatas previamente diseñadas.

⁴⁰ El siguiente plan de obra es similar al ya utilizado hace dos años en la construcción del colegio de secundaria

- Se colocará el encofrado y las armaduras para el posterior vertido de cemento y creación de las zapatas
- Se colocará el encofrado y el armado de la solera, colocando las esperas para los muros. Posteriormente se verterá el hormigón para la creación de la solera.
- Se levantarán los muros.
- Se colocarán las cerchas de madera.
- Se colocará el tejado.
- Se colocarán puertas y ventanas en sus correspondientes lugares.
- Se recubrirán los muros con material protector contra lluvias.
- Se decorará la escuela.

4. Materiales

Los materiales serán suministrados por el contratista y deberán cumplir unas exigencias mínimas para la aceptación de la utilización de estas materias.

Es el director de la obra el encargado de analizar y determinar si el material en cuestión cumple los requisitos mínimos y puede ser utilizado o si debe de ser descartado.

Cementos:

Deberán de tener las proporciones establecidas por el fabricante para la obtención de las mejores cualidades posibles, la cuantía de acero que se debe incorporar en el cemento escapa de este Proyecto, pero deberá dotar a la cimentación y a la solera capacidad para soportar esfuerzos a tensión. Este acero estará formado por varillas corrugadas unidas entre sí mediante estribos de acero de menor diámetro. Estas varillas de acero no deben de estar en contacto con el suelo para evitar su oxidación.

El vertido del hormigón se debe hacer llenando todo el hueco, sin dejar bolsas de aire que lo único que harían sería debilitar la estructura.

Ladrillos:

Los ladrillos serán los encargados de crear el muro y soportar las cargas del tejado y cerchas, así como de transmitir las cargas a la cimentación. Estos trabajan a compresión, aunque debido a cargas horizontales como las provenientes de vientos pueden llegar a trabajar a tracción, es por eso por lo que debe de estar unido a la cimentación a través de castillos de acero.

Al tratarse de ladrillos de adobe se recomienda inspeccionar una gran cantidad de ellos ya que no están realizados todos con las mismas características.

Maderas:

Estas se emplearán en la construcción de cerchas por lo que deben de tener una resistencia a tracción y compresión mínimas. Las cerchas deben de realizarse con las fibras de la madera en sección longitudinal, ya que es la forma con la que más capacidad a tracción y compresión tendrá la madera.

Tejado:

El tejado debe de estar tratado para no tener problema alguno al estar expuesto a las condiciones climáticas, es por eso por lo que se tendrá que preparar para fuertes lluvias y condiciones adversas.

Documento IV: Presupuestos

Tabla 1. Desglose Acondicionamiento del Terreno.	122
Tabla 2. Desglose Cimentación Superficial	123
Tabla 3. Desglose Estructuras	123
Tabla 4. Desglose Fachadas y particiones	124
Tabla 5. Desglose Carpintería, cerrajería y vidrios.....	124
Tabla 6. Desglose Cubierta.....	125
Tabla 7. Desglose Revestimientos.....	125

En el presente documento se quiere obtener el presupuesto de la escuela de formación profesional en Dotito. Por la dificultad para encontrar los precios reales en Zimbabue, se creyó oportuno elaborar este presupuesto en España.

Para ello se utilizó un generador de precios de la compañía CYPE Ingenieros S.A. con la cual se estimará el precio resultante de la obra⁴¹.

Atendiendo a la ayuda que nos aporta esta herramienta dividiremos nuestro presupuesto en:

- Acondicionamiento del terreno
 - Desbroce y limpieza del terreno
 - Excavaciones
 - Nivelación

- Cimentaciones superficiales
 - Zapata corrida
 - Losa de cimentación
 - Encofrado de losa de cimentación

- Estructuras
 - Cerchas para cubierta
 - Correas
 - Elementos de unión

- Fachadas y particiones
 - Muros de fábrica armada.
 - Dinteles

- Carpintería, cerrajería, vidrios y protecciones solares
 - Puertas y ventanas

- Cubiertas
 - Cubierta
 - Remates de Cubierta

- Instalaciones
 - Iluminación

- Revestimientos

⁴¹ <http://www.generadordeprecios.info/>

- Pinturas interiores y exteriores

Atendiendo a los datos ofrecidos por este generador de precios obtuvimos el siguiente presupuesto:

Acondicionamiento del terreno:

Este apartado tiene un presupuesto de 6379,78 € repartiéndose de la siguiente forma entre el desbroce y limpieza del terreno, la excavación manual y la nivelación del terreno. En la Tabla 1 se puede observar el desglose de precios. Con un coste de mano de obra total a 5781,99 €.

TABLA 12. DESGLOSE ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO.

Acondicionamiento del terreno						
ADL005		m2	Desbroce y limpieza del terreno			
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mq09bro010	h	Equipo y Maquinaria	0,02	3,99	0,08
2	mo113	h	Mano de Obra	0,193	17,28	3,34
3		%	Costes directos Complementarios	2	3,42	0,07
			Total (€)			3,49
ADE001		m3	Excavación manual			
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mo113	h	Mano de Obra	1,706	17,28	29,48
2		%	Costes directos Complementarios	2	29,48	0,5896
			Total (€)			30,07
ANE010		m2	Nivelación			
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt01are020a	m3	Gravilla de cantera	0,11	18,25	2,01
	mq01pan010a	h	Pala cargadora	0,01	40,13	0,40
2	mq02rod010d	h	Bandeja vibrante	0,01	6,38	0,06
	mq02cia020j	h	Camión cisterna	0,01	40,02	0,40
3	mo113	h	Mano de Obra	0,192	17,28	3,32
4		%	Costes directos Complementarios	2	6,19	0,1238
			Total (€)			6,31
						Sup.Total 160 Total (€) 558,4
						Sup.Total 160 Total (€) 4811,08
						Sup.Total 160 Total (€) 1010,30

Cimentación superficial:

Este apartado tiene un presupuesto de 5833,09 € repartiéndose de la siguiente forma entre la zapata corrida, la losa de cimentación y su encofrado. En la Tabla 2 se puede observar el desglose de precios. Con un coste de mano de obra total a 1487,60 €.

TABLA 13. DESGLOSE CIMENTACIÓN SUPERFICIAL

Cimentación superficial						
CSV010	m3	Zapata corrida				
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt07aco020a	ud	Separador para cimentaciones	7	0,13	0,91
	mt07aco010c	kg	Varillas corrugadas de acero UNE-EN 10080 B 500 S	80	0,81	64,80
	mt08var050	kg	Alambre de 1,3 mm de diametro para atar	0,32	1,1	0,35
	mt10haf010nga	kg	Hormigón HA-25/B/20/lia	1,1	76,88	84,57
2	mo43,45,90,95	h	Mano de Obra	0,372	35,59139785	13,24
3		%	Costes directos Complementarios	2	163,87	3,28
			Total (€)			Sup.Total 12,16 Total (€) 2032,51
CSL010	m3	Losa de cimentación				
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt07aco020a	Ud	Separador para cimentaciones	5	0,13	0,65
	mt07aco010g	kg	Varillas corrugadas de acero UNE-EN 10080 B 500 S	51	0,62	31,62
	mt08var050	kg	Alambre de 1,3 mm de diametro para atar	0,25	1,1	0,275
	mt10haf010nga	m3	Hormigón HA-25/B/20/lia	1,05	76,88	80,724
2	mq06vib020	h	Equipo y maquinaria	0,335	4,66	1,5611
3	mo113	h	Mano de Obra	0,506984668	58,7	29,76
4		%	Costes directos Complementarios	2	144,5901	2,891802
			Total (€)			Sup.Total 16 Total (€) 2359,71
CSL020	m2	Sistema de encofrado para losa de cimentación				
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt02bhg010b	Ud	Bloque hueco de hormigón UNE-EN 771-3	12,6	0,54	6,80
2	mt08aaa010a	m3	Agua	0,006	1,5	0,01
	mt09mf010ca	t	Mortero industrial	0,017	33,86	0,58
	mq06hor010	h	Hormigonera	0,005	1,68	0,01
3	mo113	h	Mano de Obra	0,333035714	33,6	11,19
4		%	Costes directos Complementarios	2	18,59	0,37
			Total (€)			Sup.Total 76 Total (€) 1440,87

Estructuras:

Este apartado tiene un presupuesto de 3843,72 € repartiéndose de la siguiente forma entre las cerchas, sus correas y diferentes elementos de unión. En la Tabla 3 se puede observar el desglose de precios. Con un coste de mano de obra total a 883,25 €.

TABLA 14. DESGLOSE ESTRUCTURAS

Estructuras						
EMC020	Ud	Cerchas para cubiertas				
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt07mee100damcaa	Ud	Madera aserrada de pino silvestre (material diferente)	0,396	481,5	190,674
	mt07emr402a	kg	Elementos de unión de acero	3,6	10,78	38,81
	mq07gte010b	h	Grúa	1,875	56,86	106,61
2	mo48,95	h	Mano de Obra	2,665551839	38,87	103,61
3		%	Costes directos Complementarios	2	439,7045	8,79
			Total (€)			N. Cerchas 7 Total (€) 3139,49
EMC035	m3	Correas				
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt07mee100gahbaa	m3	Madera aserrada de pino silvestre (material diferente)	1	481,5	481,5
	mt07emr111l	Ud	Clavo de acero galvanizado	593,09	0,21	124,5489
2	mo48,95	h	Mano de Obra	10,50539253	39,87	418,85
3		%	Costes directos Complementarios	2	1024,8989	20,497978
			Total (€)			Sup.Total 0,256 Total (€) 267,62
EMM010	Ud	Elementos de unión				
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt07emr402a	kg	Elementos de unión de acero	1	10,78	10,78
2			Mano de Obra	0,036368197	39,87	1,45
3			Costes directos Complementarios	2	12,23	0,24
			Total (€)			Sup.Total 35 Total (€) 436,61

Fachada y particiones:

Este apartado tiene un presupuesto de 6804,38 € repartiéndose de la siguiente forma entre los distintos muros de carga y los dinteles. En la Tabla 4 se puede observar el desglose de precios. Con un coste de mano de obra total a 4409,08 €.

TABLA 15. DESGLOSE FACHADAS Y PARTICIONES

Fachadas y particiones						
FEF010	m2	Muros de fábrica				
	Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)
1	mt04lpv010b	ud	Ladrillo cerámico	43,05	0,17	7,3185
	mt08aaa010a	m3	Agua	0,006	1,5	0,01
	mt09mif010cb	t	Mortero industrial	0,034	30,98	1,05
	mq06mms010	h	Equipo	0,128	1,73	0,22
2	mo021, 114	h	Mano de Obra	0,501129944	35,4	17,74
3		%	Costes directos Complementarios	2	26,34226	0,53
			Total (€)			26,8691052
Área muro						
						244
						6556,06
FCM010	m	Dinteles				
	Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)
1	mt07mee050uud	m3	Madera aserrada de pino silvestre (material diferente)	0,02	369,28	7,3856
2	mo017, 58	h	Mano de Obra	0,091547529	39,87	3,65
3		%	Costes directos Complementarios	2	11,0356	0,220712
			Total (€)			11,26
m						
						22,06
						248,31

Carpintería, cerrajería y vidrios:

Este apartado tiene un presupuesto de 1811,68 € repartiéndose de la siguiente forma entre las distintas puertas y ventanas de la obra. En la Tabla 5 se puede observar el desglose de precios. Con un coste de mano de obra total a 316,00 €.

TABLA 16. DESGLOSE CARPINTERÍA, CERRAJERÍA Y VIDRIOS

Carpintería, cerrajería y vidrios						
LEA010	Ud	Puertas				
	Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)
1	mt26pec010qaaa	Ud	Puerta de entrada de acero galvanizado	1	288,89	288,89
	mt26pec015a	Ud	Premarco de acero galvanizado	1	50	50,00
	mt15sja100	Ud	Masilla de silicona	0,2	3,13	0,63
	mo020,113,18,59	h	Mano de Obra	0,546258503	73,5	40,15
2		%	Costes directos Complementarios	2	379,666	7,59
			Total (€)			387,26
Ud						
						3
						1161,78
LVP010	m2	Ventanas				
	Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)
1	mt21vp010a	m2	Luna incolora. UNE-EN 410 y UNE-EN 673	1,006	13,21	13,29
	mt21vva010	m	Sellado de juntas	3,5	0,85	2,98
	mt21vva021	Ud	Material auxiliar	1	1,26	1,26
	mo055,110	h	Mano de Obra	0,201	38,60696517	7,76
2		%	Costes directos Complementarios	2	25,28	0,5056852
			Total (€)			25,79
Ud						
						25,2
						649,91

Cubierta:

Este apartado tiene un presupuesto de 2888,36 € repartiéndose de la siguiente forma entre las cubiertas de acero galvanizado y los remates que estas necesitan. En la Tabla 6 se puede observar el desglose de precios. Con un coste de mano de obra total a 1114,16 €.

TABLA 17. DESGLOSE CUBIERTA

Cubiertas						
QTA010	m2	Cubierta Inclínada de Acero				
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt13ccg010a	m2	Chapa perfilada de acero galvanizado	1,1	6,25	6,88
	mt13ccg030d	Ud	Tornillo autorroscante acero inoxidable	3	0,5	1,50
2	mo051, 98	h	Mano de Obra	0,147457627	35,4	5,22
3		%	Costes directos Complementarios	2	13,595	0,27
		Total (€)			13,87	
						Área Cubierta 188 Total (€) 2606,98
QTE010	m	Remates de chapa				
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt12w w 030cbn	m	Chapa plegada de acero con acabado galvanizado	1,07	4,05	4,33
	mt13ccg030b	Ud	Tornillo autorroscante acero inoxidable	6	0,32	1,92
	mt13ccg040	m	Junta de estanqueidad	1	0,9	0,90
2	mo051, 98	h	Mano de Obra	0,196043696	33,87	6,64
3		%	Costes directos Complementarios	2	13,79	0,27587
		Total (€)			14,07	
						m 20 Total (€) 281,39

Revestimientos:

Este apartado tiene un presupuesto de 3802,55 € repartiéndose de la siguiente forma entre las pinturas del interior y exterior de la obra. En la Tabla 7 se puede observar el desglose de precios. Con un coste de mano de obra total a 2044,40 €.

TABLA 18. DESGLOSE REVESTIMIENTOS

Revestimientos						
RFA020	m2	Pinturas exterior				
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt27pci010a	l	Imprimación granulosa	0,175	6,53	1,14
	mt27pci020a	l	Pintura a la cal	0,32	7,21	2,31
2	mo039, 76	h	Mano de Obra	0,123446328	35,4	4,37
3		%	Costes directos Complementarios	2	7,81995	0,16
		Total (€)			7,98	
						Área Pintura 184 Total (€) 1467,65
RIA020	m2	Pinturas Interior				
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt27pci010a	l	Chapa plegada de acero con acabado galvanizado	0,175	6,53	1,14
	mt27pci020c	l	Tornillo autorroscante acero inoxidable	0,32	7,21	2,31
2	mo039, 76	h	Mano de Obra	0,120460585	33,87	4,08
3		%	Costes directos Complementarios	2	7,53	0,150599
		Total (€)			7,68	
						Área Interior 304 Total (€) 2334,89

Sumando todos los presupuestos parciales obtenemos un coste de la obra de 31363,55€ de los cuales 16036,48€ serían en mano de obra. Se sabe, por obras de años anteriores que el coste de mano de obra en Zimbabue es de 1500/2000 € para una obra de estas características. Es por eso que el costo total de la obra se reduce más de 14.000 € solo por la mano de obra. Por lo tanto, esta obra tendrá un costo de 17327,08€

Necesitándose un volumen de algo menos de 43000 ladrillos, y algo menos de 8500 kg de cemento, suponiendo 300kg/m³.

