



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO DEFINICIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE ZONA COMÚN ABIERTA PARA FORMACIÓN CORTA MEDIANTE WORKSHOPS PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN ZIMBABWE

Autor: Álvaro Torán Jiménez

Director: Manuel Moreno García

Co-Director: Miren Telleria Ajuria

Madrid

Diciembre de 2021

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
*Definición y construcción de zona común abierta para formación corta mediante
workshops para colegio de formación profesional en zimbabwe*

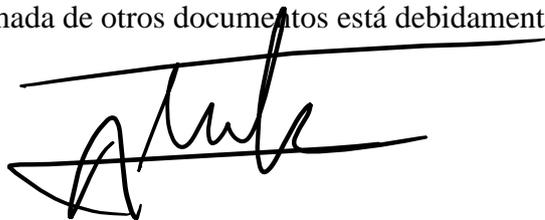
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2021/22 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

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

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Álvaro Torán Jiménez

Fecha: 05/ 12/ 2021

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Manuel Moreno García

Fecha: 17/ 11/ 2021



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DEFINICIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE ZONA COMÚN ABIERTA PARA FORMACIÓN CORTA MEDIANTE WORKSHOP PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN ZIMBABWE

Autor: Álvaro Torán Jiménez

Director: Manuel Moreno García

Co-Director: Miren Telleria Ajuria

Madrid

Diciembre de 2021

DEFINICIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE ZONA COMÚN ABIERTA PARA FORMACIÓN CORTA MEDIANTE WORKSHOPS PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN ZIMBABWE

Autor: Torán Jiménez, Álvaro.

Director: Moreno García, Manuel.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto de fin de grado se presenta, en colaboración con *Child Future Africa* y la Fundación de ingenieros de ICAI, para continuar el trabajo de desarrollo iniciado por *Child Future Africa* en Kazai, una comunidad rural al noroeste de Zimbabue, cerca de Mount Darwin.

Más específicamente, el proyecto consiste en la definición y construcción de una zona común abierta que sirva para continuar la formación profesional que los miembros inician en la escuela de formación profesional ya existente. Con este trabajo se busca solventar uno de los problemas más comunes en la zona, la educación, pero también la formación profesional y consecuentemente la falta de economía de subsistencia que existe en la comunidad. El objetivo es que la comunidad consiga una formación en agricultura y ganadería, que posteriormente no solo sirva para abastecer a los miembros de la comunidad, si no que, además, sirva para obtener excedentes que puedan vender en mercados locales creando así una fuente de ingresos. Se trata de un trabajo solidario, en cooperación con otros miembros de la escuela con fines humanitarios.

Se trata, como se ha mencionado, de un proyecto de cooperación, que debe ser implementado (si la situación social, con la pandemia, lo permite) y que por tanto debe contar con el apoyo de la comunidad. Es por eso que se deberá buscar una solución sencilla, para la cual ya exista experiencia previa en las técnicas que se deban emplear para su construcción, robusta y duradera, pero anteponiendo la sostenibilidad a lo mencionado anteriormente.

El trabajo, además, no se trata únicamente del diseño e implementación del mismo, si no que será necesario llevar a cabo otras labores importantes para su realización, como la recaudación de fondos para la financiación del mismo.

El edificio tendrá que dar cobijo a 60 alumnos, y constará de 2 aulas en las que se impartirán las clases de agricultura y ganadería, un almacén, ya sea para herramientas de las lecciones o para una posible instalación eléctrica posterior y una sala de reuniones diseñada para unas 6 personas. Finalmente se le quiso dar un carácter de “abierto, por eso entre las aulas habrá una zona común.

El diseño del edificio se hace buscando la eficiencia a la hora de aprovechar la luz del sol y la ventilación natural, pero al mismo tiempo manteniendo un diseño sencillo y robusto, fácil de implementar y con materiales que no sean de un coste alto, para tratar de mantener un presupuesto bajo, así poder financiarlo con el dinero que se recaude en colaboración con los miembros de Project Zimbabwe. Además, es importante que sea sencillo, ya que se dispondrá de un tiempo limitado para su implementación in-situ.

Para el diseño y cálculo del dimensionado de los elementos del edificio se siguió el proceso que se expone a continuación.

Para comenzar, se estudió exhaustivamente la situación de Zimbabwe en los aspectos más importantes; clima, terreno, condiciones socioeconómicas. Esto se hizo para tener una idea de las condiciones de contorno con las que nos pudiéramos encontrar a la hora de implementarlo, de esta manera, se pueden realizar hipótesis de antemano para distintos problemas que puedan surgir. Además, también se estudió el contexto de cooperación en el que se va a trabajar, ya que supone una parte importante de la motivación para hacer un proyecto de este tipo, incluso quizás la más importante. Y, por otra parte, se estudiaron soluciones parecidas a la que se quiere dar, para saber el tipo de materiales y diseños que implementen la sostenibilidad en la estructura.

Una vez investigados estos aspectos, se procedió a estimar el tipo de terreno sobre el que se construirá, a raíz de un estudio geotécnico hecho a unos 30 kilómetros de la zona.

Una vez conocido el terreno que nos podemos encontrar, se evalúan las cargas que se transmitirán al suelo a través de nuestra cimentación, como se quieren usar pilares para las cargas, se considera óptimo realizar una cimentación de zapata aislada, que es similar a la corrida y ya se ha implementado con anterioridad en la comunidad.

Como solera, se implementa una solución sencilla de hormigón para evitar agrietamientos, pero dada el área de la solera, también se considera la posibilidad de realizar una solera de arcilla compactada, ya que realmente esta solera no tiene carácter estructural.

Como ya se ha mencionado, las cargas del tejado se transmitirán al suelo por pilares de hormigón armado, y para dar cerramiento a los espacios, se emplearán muros de una hilada, que irán asegurados a los pilares y sobre la solera.

Sobre los pilares, las cerchas, las cuales se realizarán con madera, por sus propiedades estructurales y mecánicas y porque es un material que ya se ha empleado antes en la comunidad y con el que están familiarizados.

Finalmente, la cubierta se situará encima de correas de la misma madera de las cerchas, que distribuirán la carga a estas. Esta cubierta será mayor que las cerchas para dar cobijo a las zonas exteriores a las aulas y para proteger los muros de las lluvias en los meses más húmedos. Esta cubierta, será de acero de 1 milímetro.

Todos los materiales y las técnicas empleadas son escogidos para garantizar la viabilidad económica del proyecto, además de facilitar el proceso de construcción, pero además con un diseño sostenible y elegante, que lo diferencia del pragmatismo habitual en este tipo de construcciones.

El presupuesto final para el proyecto es de 34127,5€, que se obtiene con el precio de la mano de obra local, pero con materiales de España, que posiblemente sean más baratos localmente, y con hipótesis que inflan el presupuesto, por contar con excedente de material. La razón de emplear los precios de España es que no se pudo encontrar los precios de Zimbabwe.

Se estima que el impacto que la escuela pueda generar en la comunidad sea igual o más positivo que el de la implantación del colegio de formación profesional, y lo que se busca es continuar el proyecto que comenzó hace más de 4 años con el orfanato de *Child Future Africa*. Además es un proyecto que por sus características de cooperación, es plenamente satisfactorio

DEFINITION AND CONSTRUCTION OF COMMON AREA WITH OPEN DESIGN FOR SHORT FORMATION THROUGH WORKSHOPS FOR PROFESSIONAL FORMATION SCHOOL IN ZIMBABWE

Author: Torán Jiménez, Álvaro.

Supervisor: Moreno García, Manuel.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The following final degree project is presented, in collaboration with *Child Future Africa* and Fundación de ingenieros de ICAI, to continue the development work started by *CFA* in Kazai, a small rural community at the northwest of Zimbabwe, near-by Mt. Darwin.

More specifically, the Project consists in the definition and construction of a open design common area, that serves to continue the professional formation that the community members begin in the professional formation school that already exists. This document is aimed to solve one of the most common problems in the area, education, but also professional formation and the lack of subsistence economy that it implies and exists in the community. The objective is that the community obtains an agricultural and livestock formation, that later will not only serve to supply the community members, but also, serve to obtain a surplus that the community can sell on local markets therefore obtaining sources of income. It is essentially a solidary project, in cooperation with other members of the university with humanitarian purposes.

It is therefore, as mentioned, a cooperation project, that must be implemented (if the social situation, with the pandemic, may allow for it) and thus must count with the full support of the community. Therefore, the elected solution must be simple, for which there is previous experiences with the techniques that shall be used in said implementation, robust and lasting, but most importantly, it must be carried with the principles of sustainability in mind.

This is not only a work of design and implementation, there is also other important jobs to do previous to the realisation of the project, such as the fundraising for the financing of said project.

The building must give shelter to 60 pupils and will feature 2 classrooms in which agricultural and cattle raising lectures will be imparted, a small warehouse for the possible future electrical installation and for the utilities used in the lecture, and a meeting room for around 6 people. Lastly it was desired by the author, to give the design an “open” feature, that’s why there is some open space in between the classrooms.

The building is designed with the intent to make it efficient, using natural sunlight in the possible means and with natural ventilation, by elevating the roof. All of this, whilst keeping a simple and robust design, easily built, and with materials that don’t skyrocket the budget, so that it can be built with the money collected in collaboration with the members of Project Zimbabwe. Time is also limited, so simplicity is regarded as top priority.

For the design and calculations in the dimensioning of the elements of the structure a process was followed.

Firstly, the situation of Zimbabwe was deeply investigated, in aspect such as climate and social-economical situation. This is so that we can know the boundary conditions that we may encounter whilst building, thus, we are able to create different hypothesis in anticipation to some of the problems that we may encounter. The cooperation aspect was also studied, because it could be considered the most important part of the motivation found to select and develop the project. Finally, different solutions to similar problems to the one studied in this project were looked at to get a sense of the materials and designs that implement sustainability in them.

Once these aspects were studied, we proceed with the calculation of the resistance of the terrain in which the building was going to be implemented, based on the geotechnical study based 30 km away from the location.

Once the terrain was known, the author proceeded with the calculation of the loads that would be transferred into the terrain by the foundation. Based on the fact that load-bearing pillars were chosen to sustain the load, a superficial foundation with isolated footing seemed like the most optimal solution. This is similar to solutions that have already been implemented in the community, so it is a known technique.

For the life loads, a concrete deck will be built, with reinforcement in order to avoid cracks, however given the area of the deck, and the fact that it will not have structural qualities, a much simpler compact sand deck could be implemented.

As mentioned before, the loads from the ceiling will be transmitted to the foundation with reinforced concrete pillars, and in order to give closure to the spaces, single row walls will separate the different spaces, secured to the pillars and on top of the deck.

On top of the pillars, wooden trusses will be implemented, made out of wood, due to its mechanical and structural properties, and to the fact that it is a technique commonly used in the community, as well as a cheap the cheaper and simpler option.

Finally the metal cover will be on top of said trusses, with its weight distributed to them by wooden beams, of the same wood used to make the trusses. This cover will be larger than the trusses, in order to give a little cover to the students outside the classrooms, as well as to protect the walls from the rain of the humid months. This cover will be 1mm thick

All materials and techniques used chosen to guarantee the economic viability of the project, as well as simplify and ease the building process, whilst maintaining an elegant and sustainable design that differs from the pragmatism use to design buildings like this.

The final cost is estimated to be 34127,5€, with local help and workforce, how ever with the cost of materials in Spain. This is because there was no available information of the cost of said materials in Zimbabwe. Thus, cost may be overestimated, also due to the fact that hypothesis were made that generate a surplus of needed material.

The impact of the project is estimated to have a similar if not greater impact on the community to the professional school, and the ultimate objective is to give continuity to the project that originated more than 4 years ago with the *Child Future Africa* orphanage. More importantly, due to the characteristics of cooperation of the project, it is considered fully satisfactory

DOCUMENTO I

MEMORIA

Índice del documento I

Documento I	memoria.....	11
1. introducción.....		7
1.1	Contextualización: Zimbabwe.....	9
1.1.1	Contexto histórico.....	9
1.1.2	Contexto Político.....	9
1.1.3	Contexto económico.....	10
1.1.4	Contexto Climático.....	12
2. Trabajo de cooperación.....		16
2.1	Fundación de ingenieros de ICAI.....	17
2.2	Child Future Africa.....	18
2.3	Project Zimbabwe.....	19
3. Estado de la cuestión.....		21
3.1	Soluciones ya implementadas.....	22
3.1.1	Project Zimbabwe-Edificio sostenible para colegio de formación profesional (Alberto Mascareñas).....	22
3.1.2	Kéré Architecture-Gando primary school.....	24
3.1.3	Building trust International-Rural bamboo leaf school.....	25
3.2	Solución escogida.....	26
4. Objetivos de desarrollo sostenible.....		29
4.1	Alineación del proyecto con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).....	29
4.1.1	Objetivos directos.....	30
4.1.2	Objetivos indirectos.....	31
5. Motivación.....		33
6. Objetivos del proyecto.....		34
7. Recursos necesarios.....		35
8. Metodología de trabajo.....		37

9. Diseño	39
9.1 Dimensiones	39
9.2 Disposición y orientación	40
9.3 Cimientos	43
9.4 Solera.....	45
9.5 Pilares	46
9.6 Muros	49
9.7 Cerchas	50
9.8 Cubierta	52
9.9 Mobiliario.....	52
10. Posibles ampliaciones.....	53
10.1 Sistema de captación y distribución de aguas pluviales	53
10.2 Sistema eléctrico de energía solar	53
10.3 Solera de Arcilla / arena compactada	53
10.4 Falso techo de bambú.....	53
11. Conclusiones.....	54
11.1 Recaudación	54
11.2 Análisis previo.....	55
11.3 Materiales	55
11.4 Sostenibilidad y Creatividad	55
12. Introducción a los cálculos	61
13. Cubierta.....	62
13.1 Material	63
13.2 Dimensionado.....	64
13.3 Captación de agua	65
13.4 Uniones.....	65
14. Cerchas	67
14.1 Material	67
14.2 Dimensionado.....	68
14.2.1 dimensionado correas	69
14.3 Dimensionado de las cerchas.....	72

14.4	Mantenimiento.....	75
14.5	Uniones.....	76
15.	Pilares 77	
15.1	Material	77
15.2	Dimensionado.....	78
15.2.1	Axil.....	78
15.2.2	Cargas laterales	79
15.3	Uniones.....	81
16.	Muros 82	
16.1	Material	82
16.2	Aparejo.....	83
16.3	Dimensionamiento.....	83
16.3.1	Axil.....	84
16.4	Cargas laterales.....	85
16.5	Dinteles.....	86
16.5.1	Puertas.....	86
16.5.2	Ventanas	87
16.6	Mantenimiento.....	87
16.7	Uniones.....	88
17.	Solera 89	
18.	Cimientos 90	
18.1	Cargas transmitidas al suelo	90
18.2	Conclusiones del estudio geotécnico.....	91
18.3	Dimensionado.....	91
18.4	Seguridad en los cimientos.....	93
18.4.1	Vuelco.....	93
18.4.2	deslizamiento	93

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Ubicación comunidad rural. Fuente: Google Maps.....	7
Ilustración 2 Logo Fundación de Ingenieros de ICAI. Fuente: Fundación de ingenieros de ICAI.....	17
Ilustración 3 Logo CFA. Fuente: Child Future Africa	18
Ilustración 4 Plano de Escuela de formación profesional. Planta y detalle. Fuente: Alberto Mascareñas-Edificio sostenible para colegio de formación profesional	23
Ilustración 5 Gando primary school-Kéré Architecture. Fuente Kéré architecture.....	25
Ilustración 6. Rural bamboo leaf school. Fuente: Building trust international Facebook ...	26
Ilustración 7. plano de diseño. Fuente propia.....	28
Ilustración 8. Logo Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: Explorer.....	30
Ilustración 9: Disposición espacios (cualitativo). Fuente: propia.....	41
Ilustración 10: Posible localización en función de sol y vientos. Fuente: Google maps.....	42
Ilustración 11. Zapata aislada. Fuente: Fine	45
Ilustración 12. Pilar armado sin dimensionar. Fuente: estructurando	48
Ilustración 13. Cercha por emplear. Fuente: Escuadría.....	51
Ilustración 14. Ejemplo de cumbrera. Fuente generador de precios España.....	66
Ilustración 15. Propiedades mecánicas del Mopane. Fuente:Wood-database	67
Ilustración 16: diagrama de cuerpo libre. Fuente: propia.....	74
Ilustración 17. aparejamiento de sogas de una hilada.	83

Índice de Gráficos

Gráfico 1: inflación en Zimbabwe 2010-2018. Fuente: Banco mundial	11
Gráfico 2: temperaturas y precipitaciones medias por mes en Zimbabwe. Fuente: meteoblue	13
Gráfico 3: media de velocidad de los vientos en Zimbabwe. Fuente: Meteoblue.....	14
Gráfico 4: dirección de los vientos en Zimbabwe. Fuente: meteoblue	15

Índice de tablas

Tabla 1: Datos políticos Zimbabwe. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Zimbabue	10
Tabla 2: Datos económicos Zimbabwe. Fuente: Banco mundial	12
Tabla 3. Dimensiones edificio. Fuente: propia.....	40
Tabla 4. Cargas admisibles en suelos. Fuente: estructurando.net	43
Tabla 5. Pendientes en cubiertas inclinadas. Fuente: CTE.....	62
Tabla 6: Propiedades mecánicas Acacia Melanoxylon. Fuente Scielo	68
Tabla 7. Coeficientes de mayoración. Fuente: CTE.....	79
Tabla 8. Propiedades mecanicas de distintos adobes.	82
Tabla 9: Peso total sobre cimientos. Fuente: Propia.....	91
Tabla 10: desglose presupuesto cimentación.....	98
Tabla 11: desglose presupuesto cimentaciones	99
Tabla 12: desglose de presupuestos de la estructura	100
Tabla 13. desglose de presupuestos de la fachada.....	100
Tabla 14. desglose de presupuestos de carpintería	101
Tabla 15. desglose del presupuesto del tejado.....	101
Tabla 16. desglose presupuestos de la pintura.....	102

1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto de fin de grado se presenta, en colaboración con la Fundación de Ingenieros de ICAI que desde 2016 trabaja con la ONG *Child Future Africa*, para implementar un conjunto de infraestructuras cuyo fin es el de mejorar el nivel de vida de una comunidad rural en Kazai, al noroeste de Zimbabwe, cerca de Mount Darwin.

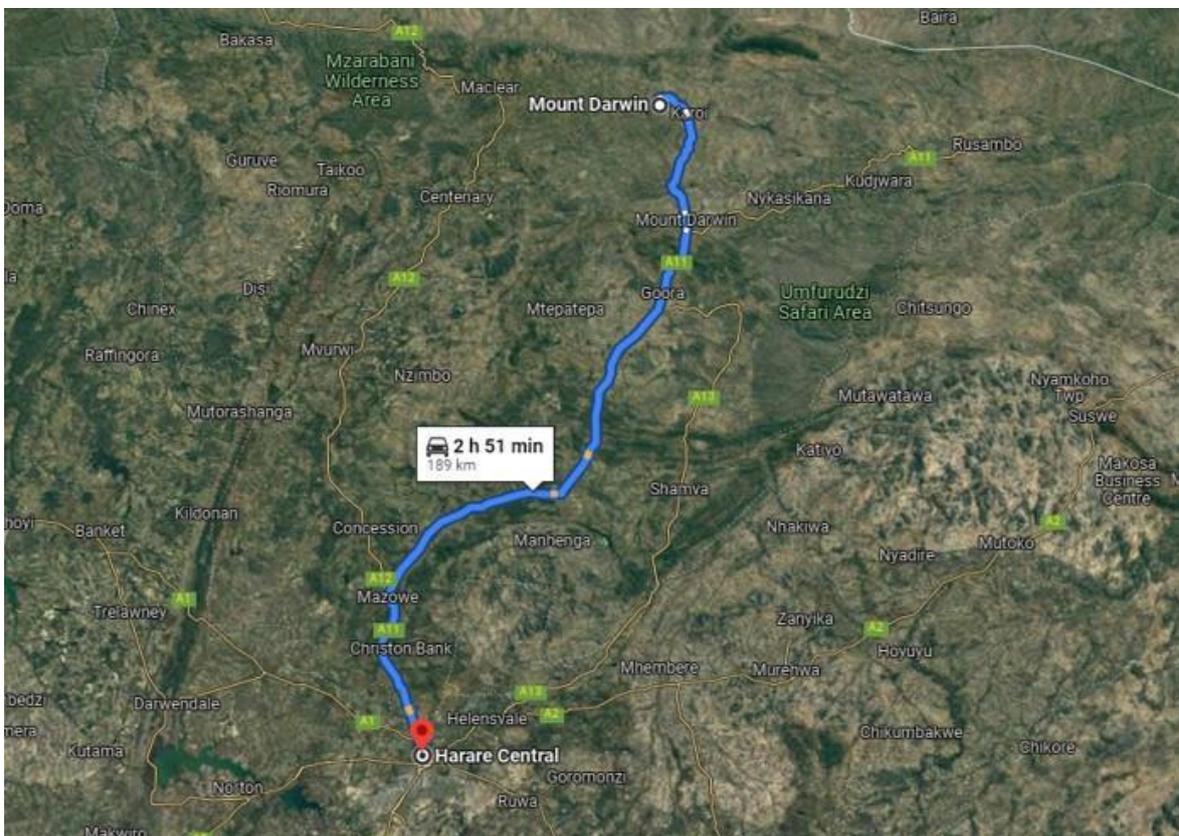


Ilustración 1: Ubicación comunidad rural. Fuente: Google Maps.

Más específicamente, consiste en el diseño, para su posterior implementación, de la edificación de una zona común abierta para la formación profesional mediante workshops, en la que se expandirán los conocimientos obtenidos previamente en la escuela de formación profesional. Además, también servirá para expandir la ya limitada capacidad de la escuela de formación profesional existente en la comunidad. Finalmente, también se quiere crear un entorno en el que se puedan recibir a invitados a la comunidad para realizar reuniones de

manera más privada y cómoda. De este modo se le da continuidad al proyecto educativo que comenzó originalmente con la construcción de una escuela de educación secundaria.

El objetivo es que la comunidad afiance los conocimientos obtenidos en ganadería y agricultura, dotando así a los miembros de las aptitudes necesarias no sólo para autoabastecerse, si no también, para generar excedente el cual puedan vender para generar una economía de subsistencia.

Se trata de un proyecto plenamente solidario, con fines de ayuda humanitaria, pero también con el objetivo de colaborar con la propia comunidad, de tal modo que si en un futuro fueran necesarios mantenimientos en la edificación o incluso una ampliación de la misma, tuvieran los conocimientos necesarios para llevar estas hazañas a cabo.

Así es que para cumplir con los requisitos necesarios para que el proyecto tenga éxito, es necesario diseñarlo de manera sencilla. Ya que así se podrá reducir la necesidad de personal de alta cualificación, pudiendo así contar con la colaboración de los miembros de la comunidad, que a su vez ya han participado en la implementación de proyectos de similar índole. Además, de implementarlo in-situ, se contará con un periodo de tiempo de no más de 2 meses a lo sumo, y por tanto cuanto más sencillo, más fácil y rápido será su implementación.

Será necesario también que sea un diseño económico y sostenible, ya que la financiación para el mismo será limitada. Concretamente será financiado por las recaudaciones que el autor consiga en cooperación con el resto de los miembros del equipo formado por los estudiantes de la universidad con la ayuda de los directores de los proyectos. Por eso será necesario en la toma de decisiones, optar la que logre los requisitos necesarios, pero abaratando en la medida de lo posible los costes.

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN: ZIMBABWE

1.1.1 CONTEXTO HISTÓRICO

La historia de Zimbabwe se puede resumir, en los últimos 50-70 años, como la de un nacionalismo racista que pasa por la lucha de por la independencia británica por parte de los blancos a la violencia xenófoba de los negros.

Hasta 1980, Zimbabwe se conocía como Rodesia del Sur, que era una colonia autónoma de Gran Bretaña. Esta la colonizó en 1890, y desde ese momento se inició un movimiento de independencia de los blancos en la zona al margen de los negros. En 1923 lograron obtener respuesta de Inglaterra, que se le concedió la autonomía y fue gobernada desde ese punto por blancos. A raíz de eso comenzó un movimiento nacionalista negro el cual en 1965 con la declaración unilateral de la independencia estalló una guerra civil entre la mayoría negra y la minoría blanca. Finalmente, en 1979 con la victoria de la mayoría negra y la declaración y reconocimiento de la independencia, se nombra jefe de Estado a Robert Mugabe.

A este le caracterizan su opacidad, sus promesas incumplidas y su manipulación electoral, y es por esto que paso de ser el gran héroe de la independencia a un dictador opresor que hundi6 la economía del país. En 2017, Emmerson Mnangagwa, junto con su ejército, derroc6 a Mugabe, terminando con su gobierno dictatorial, y acompañado por Constantino Chiwnga, que encabez6 el Golpe de Estado militar¹.

1.1.2 CONTEXTO POLÍTICO

Zimbabwe es un país de África, situado al sur de esta con una superficie de 390757 kilómetros cuadrados, y delimitado en todo su perímetro por otras regiones de África. Cuenta con una población estimada de 14,5 millones de habitantes².

¹ ELMUNDO. (2010). Zimbabwe asalto a la tierra. 2020, EL MUNDO sitio web: <https://www.elmundo.es/internacional/zimbabue/historia.html>

² WIKIPEDIA. (2021). Zimbabwe, WIKIPEDIA- La enciclopedia libre. Sitio web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Zimbabue>

Otros datos relevantes son:

Capital	Harare
Idiomas oficiales	Inglés, Shona y Ndebele
Forma de gobierno	República presidencialista
Órgano legislativo	Parlamento de Zimbabwe

Tabla 1: Datos políticos Zimbabwe. Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Zimbabue>

Desde 1980 hasta su dimisión en 2017, Robert Mugabe fue el responsable de violaciones generalizadas de derechos humanos y acusado de corrupción y mal desempeño económico. En 2010 el índice de desarrollo humano de Zimbabwe fue el más bajo del mundo, pero desde ese momento la situación ha mejorado. Su política se caracterizó por realizar reformas anti racistas como la reforma agraria que permitió poner en manos estatales las grandes propiedades de los blancos. Sin embargo, fue considerada polémica su manera de distribuirlas, acabando estas en manos de los altos funcionarios del gobierno. Esto contribuyó al hundimiento de la producción agraria del país. Tras 2017, con Emmerson Mnangagwa, se adoptó una línea más aperturista³.

1.1.3 CONTEXTO ECONÓMICO

La considerablemente negativa situación económica en la que se encuentra Zimbabwe se puede remontar a las políticas de Mugabe y la reforma agraria del 2000, que redujo la producción agrícola a la mitad al expropiar las tierras de más de 4000 granjeros blancos y ponerlas en mano de funcionarios carentes de experiencia agrícola⁴.

En 2008 la inflación del país llegó a un 100000% y una tasa de cambio de 1 USD por 30000000 dólares zimbabwenenses, obligando al FMI a desactivar la moneda nacional y

³ WIKIPEDIA. (2021). Zimbabwe, WIKIPEDIA- La enciclopedia libre. Sitio web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Zimbabue>

⁴ BBC NEWS. (2002). White farmers under siege in Zimbabwe. 2021 BBC NEWS. Sitio web: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/africa/2192947.stm>

adoptar el dólar americano o por el contrario obligando a los habitantes a comprar en Botsuana, Sudafrica y Zambia.

En contraparte, Mugabe creo grandes infraestructuras que ayudaron a formar a la población y tener un nivel sanitario decente.



Gráfico 1: inflación en Zimbabwe 2010-2018. Fuente: Banco mundial

PIB	31.001 M\$
-----	------------

PIB per cápita	1.800 M\$
Crecimiento	3.4%
Inflación	3.8%
Deuda	9.800 M\$

Tabla 2: Datos económicos Zimbabwe. Fuente: Banco mundial

Actualmente, la productividad de la mayoría de los sectores se ha ido reduciendo y el gobierno no tiene la capacidad económica para hacerse cargo de las nominas de los funcionarios. Existe una tasa de empleo de aproximadamente 80% y el estado tiene sanciones pendientes con otros países. Las relaciones internacionales son principalmente con china, que se convirtió desde el comienzo de la lucha por la independencia en su mayor aliado comercial, siendo este el país africano que recibe mayor financiación de china⁵.

1.1.4 CONTEXTO CLIMÁTICO

Por lo general en Zimbabwe se pueden distinguir 3 estaciones a lo largo del año:

- Una cálida y seca: entre los meses de septiembre a octubre
- Una cálida y húmeda: entre los meses de noviembre a marzo
- Una fría y seca: entre los meses de abril a agosto

Y a rasgos generales se puede decir que es un tipo de clima seco, con precipitaciones medias anuales entre 700-1000mm, y cálido, con temperaturas medias anuales de 27⁶. Hay que tener en cuenta que por lo general en Zimbabwe los vientos no superan los 35km/h y la media anual es de unos 15km/h.

En Zimbabwe encontramos paisajes de sabana y de montaña con árboles de hoja perenne.

⁵ Mamadou Cheikh Agne. (2015). ZIMBABWE DE AYER A HOY: DESAFIOS Y PERSPECTIVAS DE DESARROLLO POLITICO Y ECONOMICO. 2021 de ieee. Sitio web: <https://www.ieee.es/contenido/noticias/2015/08/DIEEEE084-2015.html>

⁶ Exoticca. (2021). Mejor época para viajar a Zimbabwe. 2021 exoticca. Sitio web: <https://www.exoticca.com/es/blog/cuando-viajar-zimbabwe/>

Adjuntos a continuación están los gráficos de precipitaciones y temperaturas medias por mes, así como las de las velocidades de los vientos (junto con una vela para una indicación de la dirección de estos).

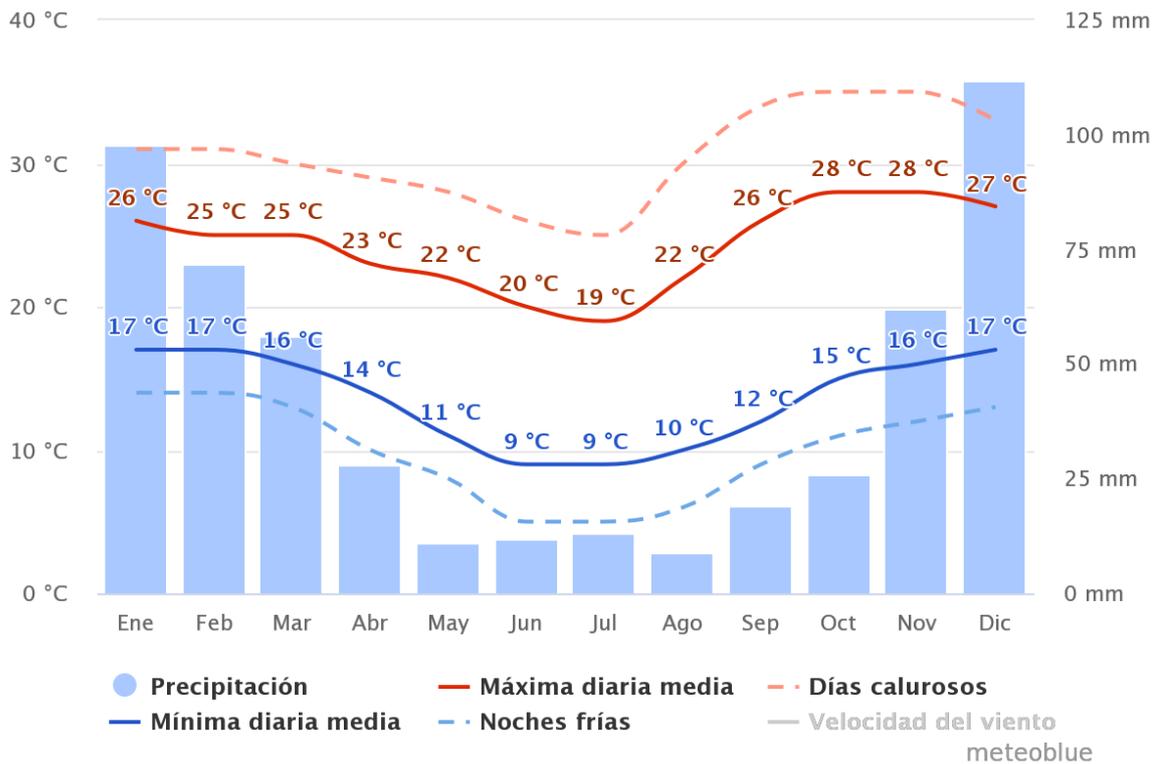


Gráfico 2: temperaturas y precipitaciones medias por mes en Zimbabwe. Fuente: meteoblue

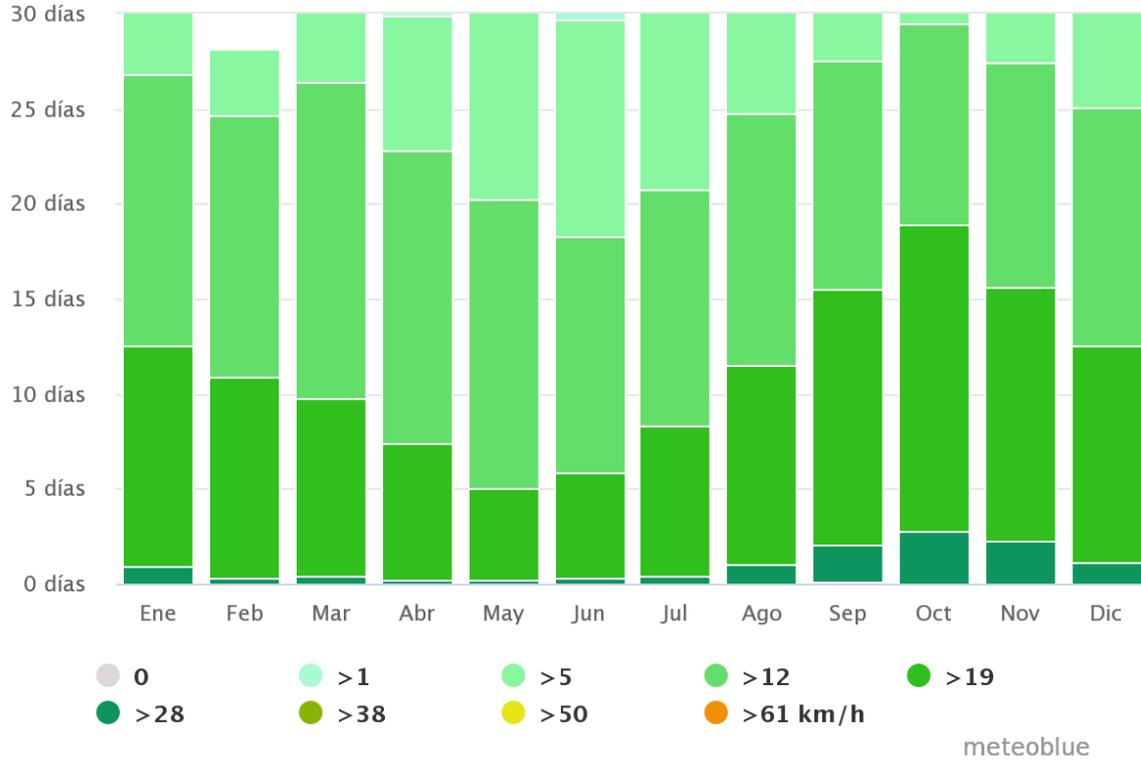


Gráfico 3: media de velocidad de los vientos en Zimbabwe. Fuente: Meteoblue

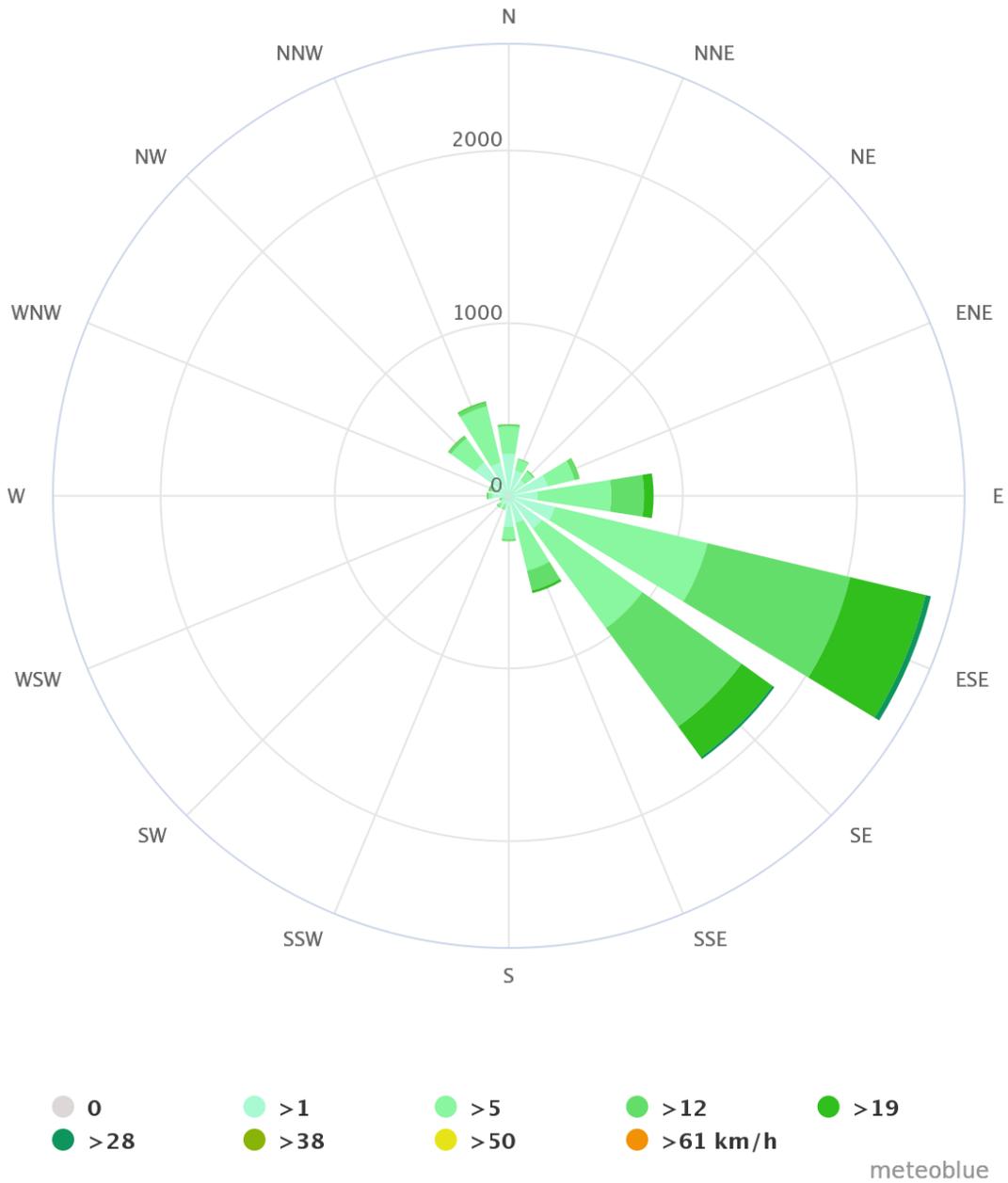


Gráfico 4: dirección de los vientos en Zimbabwe. Fuente: meteoblue

2. TRABAJO DE COOPERACIÓN

Uno de los aspectos que más diferencia a este proyecto de fin de grado de cualquier otro es que se trata de un proyecto de cooperación al desarrollo. No hay una única definición de lo que es un proyecto de cooperación al desarrollo, sin embargo, si se encuentran una serie de puntos de manera transversal en las diferentes definiciones de este:

- Fundamentalmente se trata de una serie de actividades cuyo fin es el desarrollo
- Estas actividades se ven enmarcadas en una localización geográfica y temporal concretas
- Existe una relación entre los que participan e intervienen en dichas actividades y se hace una referencia a estos
- Existe un grupo que se ve como beneficiario de estas actividades

Lo que diferencia principalmente a los distintos proyectos de cooperación al desarrollo es la definición de estos “beneficiarios”, los grupos que participaran en el desarrollo de las actividades y su localización concreta. Por otro lado, lo que diferencia a los PCD de los proyectos que se ejecutan en países industrializados es que el fin en un PCD es la consecución de una serie de objetivos que resulten en la paliación de una falta de desarrollo o para promover el mismo y no la ejecución de una serie obras/infraestructuras sin más. Hay que remarcar que entendemos desarrollo, dentro de las diferentes iteraciones y evolución de su definición, como desarrollo humano, sostenible e independiente.

En este caso, la cooperación internacional, se ve definida como un conjunto de recursos internacionales con el objetivo de promover el desarrollo económico y social. Para la correcta consecución de los objetivos es necesario adaptarse a las necesidades del país, y se debe realizar un ejercicio previo de planificación con el fin de abaratar costes, permitir la participación de los grupos “beneficiarios” y promover nuevas técnicas, procesos y tecnologías que mejoren las condiciones diarias sobre las que se trabajarán; promoviendo la

igualdad en la comunidad, mejorando la calidad de vida y los derechos, y promoviendo la dignidad de las personas.⁷

2.1 FUNDACIÓN DE INGENIEROS DE ICAI



Ilustración 2 Logo Fundación de Ingenieros de ICAI. Fuente: Fundación de ingenieros de ICAI

La Fundación de ingenieros de ICAI se origina como la inquietud de los miembros de la escuela y la Asociación Nacional de ingenieros de ICAI hacia las personas más desfavorecidas, con el objetivo de poner al servicio de estas sus conocimientos, tecnologías y la organización empresarial como instrumentos de desarrollo humano, de modo que puedan alcanzar condiciones de vida más dignas.

Desde su fundación en 2007 se han logrado realizar más de 200 proyectos centrados en abastecer agua, electricidad y comunicación a comunidades rurales, que por su localización se encuentran en situaciones más precarias. Se centran principalmente en 4 acciones:

- Acceso a la energía
- Acceso a las tecnologías de información y comunicación

⁷ Gabriel Ferrero y de Loma-Osario. (2002). Identificación y formulación de proyectos de cooperación al desarrollo. 2021, universidad politécnica de Valencia. Sitio web: <http://www.upv.es/upl/U0566379.pdf>

- Acceso al agua
- Formación técnica y de apoyo a emprendedores

Esta fundación trabaja desde hace más de 4 años con la ONG *Child Future Africa* para realizar proyectos y mejorar las infraestructuras de Kazai, comunidad rural al norte de Zimbabwe.⁸⁹

2.2 *CHILD FUTURE AFRICA*



Ilustración 3 Logo CFA. Fuente: Child Future Africa

Child Future Africa (CFA) es una ONG registrada en 2002, fundada por George Serenwe, nativo de Zimbabwe, de la zona rural del país, cuyo objetivo es el de crear un futuro mejor para huérfanos creando nuevas oportunidades de desarrollo.

CFA considera que la mejor manera de llegar a este objetivo es cooperando con los colegios de las comunidades locales con los llamados proyectos satélites, cuidando así de los huérfanos de estas comunidades. Para aquellos huérfanos que no pueden tener la adecuada atención de la comunidad local, CFA proporciona educación y cobijo con su propio

⁸ Fundación de ingenieros de ICAI. (2019). Fundación de ingenieros de ICAI-Proyectos de Infraestructuras 2021. Sitio web: <https://fundacioningenierosicai.org/nuestro-trabajo/trabajos-finalizados/proyectos-de-infraestructura-en-zimababwe/>

⁹ Fundación de ingenieros de ICAI. (2017) Fundación de ingenieros de ICAI-Memoria anual 2017. 2021. Sitio web: <https://fundacioningenierosicai.org/wp-content/uploads/2019/02/informe-anual-2017.pdf>

Orfanato, el cual es una combinación de hogar familiar y actividad en agricultura para financiar los costes de los hogares.

El proyecto en torno al cual se realizan la mayoría de los esfuerzos de la ONG es el del mantenimiento y mejora del orfanato de Mt Darwin, Mashonaland. Este está situado en una zona rural cerca de una granja que produce suficiente grano para abastecer a los miembros del orfanato y tener excedente que usan para generar ingresos. Además, cerca del orfanato se realizó el *Kazai secondary school*, con el que se proporciona educación de las mentes jóvenes, mejorando académicamente a la juventud. El fin último es el de transformar el proyecto a un de completa autosuficiencia, fundándose en la educación y agricultura.¹⁰

2.3 PROJECT ZIMBABWE

Project Zimbabwe es la conjunción de la Fundación de Ingenieros de ICAI con CFA. Se centra en construir una serie de proyectos, que son los trabajos de fin de grado de los estudiantes de la universidad. Opera ininterrumpidamente desde 2016-17 en la comunidad de Mt Darwin, realizando una serie de infraestructuras para mejorar las condiciones de vida, educación y autosuficiencia de los miembros del orfanato. De esto modo se permite aumentar la cantidad de huérfanos a los que se les puede dar cobijo y educación, miembros de comunidades locales cercanas, que de otro modo no tendrían acceso a estas. Después de acondicionar y desarrollar el orfanato, se centraron en proyectos como:

- Sistema de regadío de maíz
- Sistema de placas solares
- Piscifactoría
- Nuevo edificio para albergar más huérfanos

Y mas adelante, en una segunda etapa, se centraron en acciones como:

¹⁰ Child Future Africa. (2002). Child Future Africa – Give children a future 2021. Sitio web: <http://childfutureafrica.org/>

1. Construcción de 3 edificios para la escuela secundaria de Kazai
2. captación de agua, bombeo a 2 tanques de 5000 litros para los colegios de primaria y secundaria
3. captación de agua para una población

Consiguiendo así aplicar los conocimientos y técnicas de la ingeniería, poniéndolos al servicio de los mas necesitados, ayudando a la consecución del fin de CFA, de educación y autosuficiencia.

3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El objetivo, por un lado, es ampliar el número de alumnos que la escuela profesional puede acoger, continuando así con el proyecto educativo que se inicio en Mt Darwin hace ya mas de 4 años. Por esto se quiere construir 2 aulas adicionales a las que ya existen en la escuela profesional, pudiendo así hasta duplicar el número de alumnos que albergaria la escuela. No solo esto, si no que se le quiere dar un carácter distintivo a la obra, creando espacios abiertos en los que poder dar las lecciones a modo de workshops. Adicionalmente, la comunidad requiere de un espacio mas especifico para realizar reuniones importantes, por tanto, será importante crear una sala de reuniones para estas ocasiones.

A la hora de buscar proyectos que guarden semejanza con el proyecto objeto de este trabajo, se atenderá a una serie de características que el autor considera esenciales a la hora de su diseño.

1. El entorno y localización en el que se localiza la infraestructura es aislado, cálido y no cuenta con una red eléctrica para implementación de un sistema de climatización o de iluminación. Implica que debe ser sostenible, con luz natural y sistemas para ventilación natural
2. Los materiales empleados y las técnicas de construcción han de ser similares a las que se puedan implementar en la comunidad, teniendo en cuenta las técnicas y materiales con las que esta ya esta familiarizada por proyectos anteriores ya implementados
3. Se busca que sean soluciones no únicamente pragmáticas, si no que tengan un diseño particular e innovador, manteniendo una simpleza y sencillez que dote a la construcción de facilidad a la hora de implementarla.

3.1 SOLUCIONES YA IMPLEMENTADAS

A continuación, se presentan soluciones a problemas muy similares implementadas en regiones con características climatológicas y socioeconómicas similares a las del problema en cuestión.

3.1.1 PROJECT ZIMBABWE-EDIFICIO SOSTENIBLE PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL (ALBERTO MASCAREÑAS)

Ya se ha mencionado este proyecto en el presente documento. Se trata de un proyecto con el que se busca continuar con el proyecto de educación en la comunidad de Mt Darwin, proyecto que comenzó con la creación de las escuelas de primaria y secundaria tras el desarrollo del orfanato de Mt Darwin. El objetivo es aprovechar y explotar al máximo los recursos de regadíos y huertos con los que cuenta la comunidad, de manera que logren una economía de subsistencia.

Este proyecto se realiza en la misma comunidad en la que se quiere realizar el proyecto de la zona común abierta para formación profesional mediante workshops, por tanto, las características socioeconómicas y climatológicas serán las mismas.

No solo eso si no que los materiales y técnicas que se emplearan serán muy similares si no las mismas.

Aunque el edificio tenga como objetivo la sostenibilidad, la consecución de este se logra de una manera muy directa y lineal, y por tanto se buscara una solución mas creativa si es posible a la hora de realizar el proyecto.

Este proyecto cuenta con:

- 2 aulas de 60 metros cuadrados aproximadamente, para albergar a unos 60 alumnos en total.

- Un almacén con espacio para las posibles herramientas que se empleen en la impartición de cursos de agricultura y ganadería, además de espacio para los equipos de una posible instalación eléctrica con paneles solares.

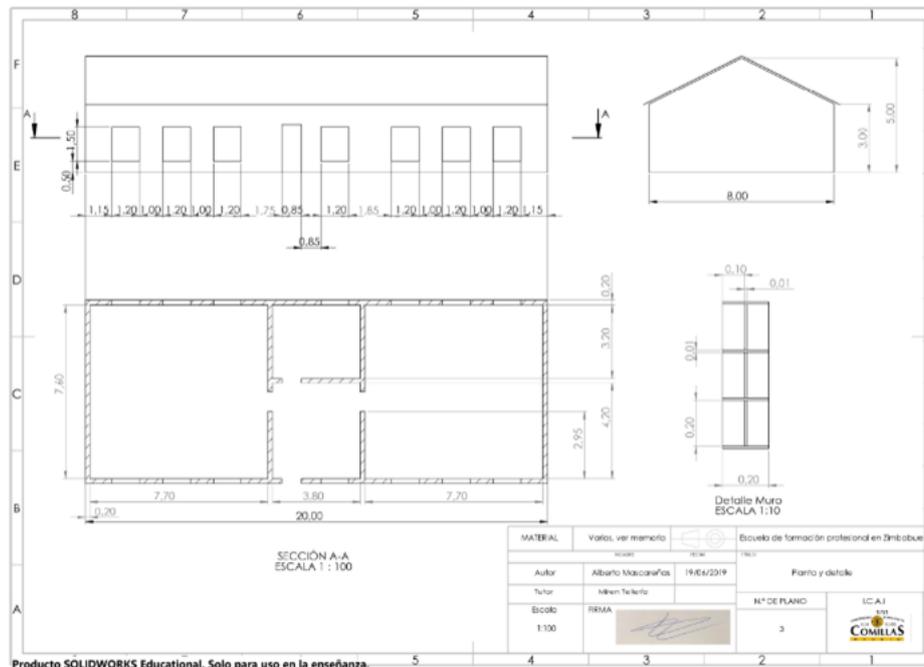


Ilustración 4 Plano de Escuela de formación profesional. Planta y detalle. Fuente: Alberto Mascareñas-Edificio sostenible para colegio de formación profesional

Se trata de una solución sencilla y económica, empleando materiales locales, y con técnicas que la comunidad ya ha empleado anteriormente lo que permite su plena involucración a la hora de implantar el proyecto.

Se empleo una cimentación de zapata corrida, con muros de carga y una cubierta de paneles metálicos cuya carga es distribuida a los muros a través de cerchas de madera.¹¹

¹¹ Alberto Mascareñas Brito. (2019). Edificio sostenible para colegio de formación profesional en Zimbabwe 2021. Sitio web: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/32139>

3.1.2 KÉRÉ ARCHITECTURE-GANDO PRIMARY SCHOOL

Este es un ejemplo de una solución a un problema similar en otra zona de África. Con este proyecto se busca satisfacer de manera directa las necesidades de expandir la red de instituciones y escuelas en el este de Boulgou, Burkina Faso. En este proyecto se emplean el diseño tradicional local en conjunto con la ingeniería moderna, respetando así la cultura y empleando materiales locales, para solucionar los dos problemas principales que se encuentran en edificaciones de este: luminosidad y ventilación.

Este proyecto cuenta con 3 aulas situadas encima de una misma solera, cubiertas por una cubierta metálica de metal corrugado, elevada por una cercha metálica, con un alero que cubre y protege las paredes de las lluvias de la zona en los meses húmedos. Por su diseño, alberga entre las aulas zonas comunes protegidas de la radiación del sol, situadas en el exterior, por tanto, bien ventiladas. Además, la elevación de la cubierta permite una mayor ventilación en el interior de las aulas, además de una mejor iluminación en su interior.

Los parámetros que rigen la toma de decisiones para este proyecto son el reducido coste, la viabilidad de la construcción por la localización, el clima y la disponibilidad de las materias primas. Es por eso que emplea materiales como el adobe en los muros y metal corrugado para la cubierta, al mismo tiempo que soluciona problemas como el mantenimiento con soluciones creativas como la expansión del alero con el objetivo de cubrir la pared y protegerla de las lluvias.¹²

¹² Kéré Architecture. (2001). Gando Primary School – kéré|work 2021. Sitio web: <https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-3>



Ilustración 5 Gando primary school-Kéré Architecture. Fuente Kéré architecture

3.1.3 BUILDING TRUST INTERNATIONAL-RURAL BAMBOO LEAF SCHOOL

En este caso se plantea la solución a un problema en Camboya, la falta de educación en comunidades rurales. Se trata de un país con características socioeconómicas similares a las estudiadas en este proyecto, y con un clima que, aunque más húmedo, también es cálido y por tanto se asemeja al que encontramos en la zona de Mt Darwin.

Cuenta con 3 aulas situadas en la misma solera, con una cubierta metálica y cerchas de bambú para transmitir las cargas. Consigue solucionar el problema de la ventilación elevando la cubierta y así consiguiendo también una mayor iluminación en el interior. Además, se plantea el uso del terreno alrededor de los muros para mantener temperaturas mas bajas en el interior de las aulas.

De nuevo se logra satisfacer las necesidades de una comunidad de manera directa, empleando técnicas tradicionales en la zona y aplicando la ingeniería para conseguir

soluciones

creativas.¹³



Ilustración 6. Rural bamboo leaf school. Fuente: Building trust international Facebook

3.2 SOLUCIÓN ESCOGIDA

Teniendo en cuenta todas las especificaciones mencionadas hasta ahora en el documento, se propone una solución sencilla, que se acoja a los parámetros de costes, localización y respeto a la cultura de la comunidad. Se propone un edificio con 2 aulas enfrentadas que duplicaran la cantidad de estuantes que se albergaban hasta ahora en la escuela de formación profesional. Se incluirá también un almacén, en el que se podrán guardar las herramientas que se empleen en la formación mediante workshops o en las lecciones que se impartan, pero también con espacio suficiente para una instalación eléctrica solar, y los equipos que

¹³ Building trust international. (2021). Building trust international-Rural bamboo leaf school 2021. Sitio web: <https://www.facebook.com/BuildingTrustInternational/photos/pcb.4334295273286985/4334290493287463/>

supone. Finalmente se incluirá también una sala de reuniones con espacio suficiente para al menos 6 personas.

Para la locación del edificio, se selecciona un terreno colindante con la actual escuela de formación profesional, no solo porque facilita el proceso de educación y por su conveniencia, si no también porque ya se conoce las características del terreno sobre el que se va a edificar y por tanto agilizará el proceso de construcción.

En cuanto a la orientación y posición, se hace un análisis de la posición del sol a lo largo del día durante el año, y de los vientos y su dirección, y por tanto la dirección de la lluvia en los meses más húmedos. Finalmente se prioriza la protección de los muros contra la lluvia, sobre la irradiación solar para su orientación, pero la localización y orientación finales tendrá que decidirse in-situ tras estudiar las condiciones del terreno y el espacio disponible.

Para darle una solución al problema de la ventilación e iluminación, tomando inspiración de las soluciones antes mencionadas, se opta por una cubierta elevada, de dos aguas, ya que es el tipo de cubierta más conocida por la comunidad y simplifica su construcción. Además, la cubierta tendrá aleros que cubran y protejan las paredes además de proporcionar cobijo de la irradiación solar a los alumnos.

Dada la disposición escogida, por su eficiencia en cuanto a materiales empleados, ventilación e iluminación, se opta por pilares de carga para transmitir al suelo las cargas de la cubierta. Esto permitirá elevar por encima de los muros las cerchas que transmitirán las cargas de la cubierta al suelo.

Las cerchas, por ahorro en costes y por disponibilidad de los materiales, además de familiaridad de la comunidad a la hora de trabajar con este material, serán de madera y se situarán sobre los pilares de carga.

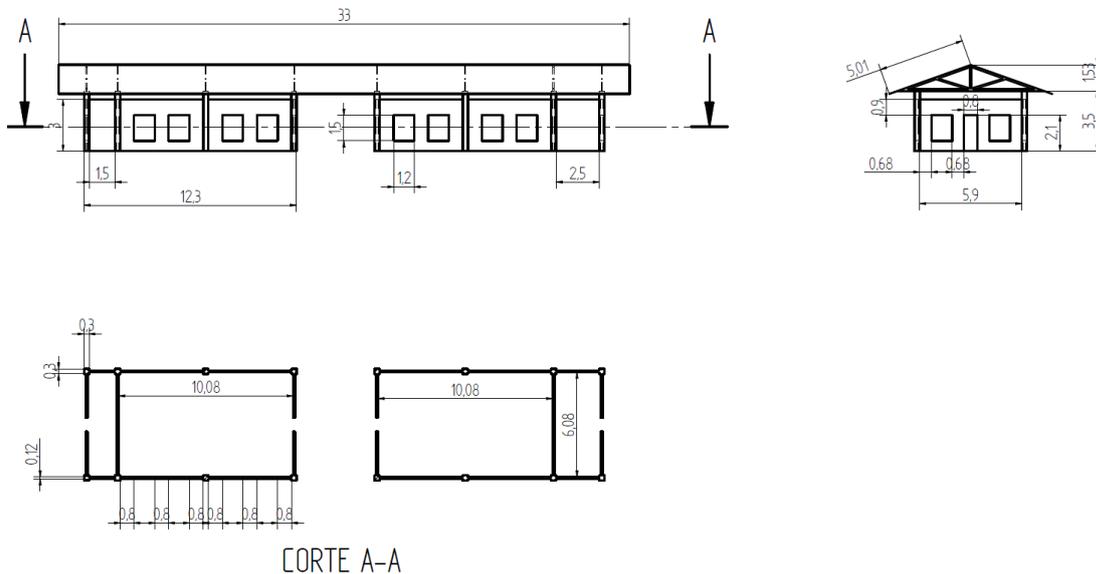


Ilustración 7. plano de diseño. Fuente propia

Cabe mencionar, que, aunque aún no existe un proyecto energético como ampliación a este, se dimensionara todo el edificio con la posibilidad de incluir un sistema eléctrico de paneles solares para abastecer al edificio de iluminación y energía tanto para ordenadores si fuera necesario, como para una pequeña bomba en caso de añadir también un sistema de captación de agua a la cubierta de dos aguas.

En cuanto a la cimentación, dado que se opta por pilares de carga y los muros serán de seguridad para dividir los diferentes espacios, no tiene sentido realizar una cimentación profunda o superficial de zapata corrida o losas de cimentación, por tanto, se opta por zapata aislada.

Finalmente, se estudiará la posibilidad de realizar una solera sencilla de arena compactada o arcilla con el objetivo de abaratar costes, pero se dimensionará con una de hormigón.

4. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

En 2015 se aprobó la Agenda para el desarrollo sostenible por la Asamblea General de las Naciones Unidas. En esta se traza el rumbo de las iniciativas de desarrollo para los siguientes 15 años y posteriores, con el fin de erradicar la pobreza y promover el desarrollo sostenible en sus dimensiones social, económica y ambiental. Sería una agenda destinada mejorar la vida de las personas y defender su derecho a ejercer sus derechos humanos, además de garantizar la paz y prosperidad. Se detallan 17 objetivos de desarrollo sostenible como pilares sobre los que asentarse para llegar a estos objetivos.¹⁴

4.1 ALINEACIÓN DEL PROYECTO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Podemos decir por los objetivos de este proyecto, que hay ODS que se satisfacen de manera directa, sin embargo, también hay otros que se satisfacen de manera indirecta.

¹⁴ Naciones Unidas. (2015). Memoria del secretario general sobre la labor de la organización 2021. Sitio web: <https://undocs.org/es/A/70/1>



Ilustración 8. Logo Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: Explorer

4.1.1 OBJETIVOS DIRECTOS

4.1.1.1 Educación de calidad [4]

Se sabe que la educación es un factor que permite aumentar la capacidad económica e la sociedad y por tanto es clave para llegar al fin de la pobreza. A pesar de que en las últimas décadas se hayan conseguido grandes avances en la ampliación del acceso a educación y las tasas de matriculación, en 2018, cerca de 260 millones de niños aún no estaban escolarizados. Y tras los últimos años, con la pandemia, se anunciaron cierres temporales de escuelas, afectando al 91% de los estudiantes del mundo.

El fin principal del proyecto es crear un espacio en el cual la población local y de comunidades cercanas pueda formarse de manera mas especializada en agricultura y ganadería de manera que se pueda explotar con mayor eficiencia las infraestructuras

existentes en la comunidad. De esta manera se podrá no sólo abastecer a la comunidad sino además generar excedentes que se puedan vender generando así una economía en la comunidad.

4.1.2 OBJETIVOS INDIRECTOS

4.1.2.1 Fin de la pobreza [1]

A pesar de la disminución de la pobreza hasta 2015, la crisis que surgió con el COVID19 aumento hasta en 8% los niveles de pobreza de la población mundial. Estos niveles de extrema pobreza pueden dificultar el satisfacer necesidades básicas.

Dado que, con la consecución del proyecto, se aumentará la eficiencia y el aprovechamiento de los recursos e infraestructuras disponibles para los miembros de la comunidad, estos podrán generar excedentes que a su vez generarán una economía autosuficiente e ingresos para la comunidad. Así se logrará disminuir el nivel de pobreza de la comunidad.

4.1.2.2 Poner fin al hambre [2]

Uno de los objetivos de las ODS es llevar a cabo un cambio en el sistema agroalimentario mundial de manera que se pueda disminuir de manera directa el número de personas que padecen hambre.

Esto es en definitiva lo que se logrará a medio plazo con el proyecto, ya que lo que se conseguirá será continuar y ampliar los conocimientos en agricultura y ganadería que se imparten ya en la escuela de formación profesional. De nuevo lo que se pretende en primer lugar, es que la comunidad logre autoabastecerse con las infraestructuras de regadío, huertos y otros que ya están a su disposición en la comunidad.

4.1.2.3 Trabajo decente y crecimiento económico [8]

El crecimiento económico puede llevar a impulsar el progreso, crear empleos decentes y mejorar la calidad de vida.

Con la implementación del proyecto, se logrará que los miembros de la comunidad asuman roles de trabajo explotando las infraestructuras existentes, y con los excedentes que generen, podrán obtener un beneficio económico.

4.1.2.4 Alianzas para lograr los objetivos [17]

Las ODS solo se pueden conseguir con asociaciones mundiales sólidas y cooperación.

Como se ha mencionado con anterioridad este es un proyecto de cooperación con CFA desde la Fundación de Ingenieros de ICAI. Se puede decir que este no es sólo un trabajo del autor, ya que está en manos de todos los que participan en la creación de las diferentes infraestructuras de la comunidad el recaudar el suficiente dinero para financiar los proyectos y solamente la consecución de todos estos como conjunto ayudaran a lograr el objetivo con el que se fundó la ONG.¹⁵

¹⁵ Naciones unidas. (2015). Objetivos y metas del desarrollo sostenible 2021. Sitio web: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

5. MOTIVACIÓN

Se puede afirmar que la ingeniería surge para poder solucionar problemas reales de la sociedad, empleando el conocimiento en distintas áreas tecnológicas para mejorar y facilitar la vida de los demás. El principal objetivo de este proyecto es emplear los conocimientos obtenidos al lo largo del grado de modo que beneficie de manera directa a una comunidad rural. Se pretende dar respuesta a la falta de educación de la zona y contar con el proyecto de educación que comenzó hace 4 años. Así, se podrá avanzar hacia el objetivo de autosuficiencia de la comunidad.

Con el objetivo de conseguir la aceptación de la comunidad y su apoyo directo en la realización del edificio, se plantea el proyecto de manera que la misma comunidad pueda colaborar y así puedan obtener una sensación de propiedad de este. Es por eso que si fuera necesario se participara en la tarea de formación de los miembros de la comunidad en conocimientos relacionados con la albañilería o el mantenimiento del edificio.

Además, la arquitectura encauzada de manera creativa es uno de los temas que mas interesantes me parecen, y poder formar parte de un proyecto de estas características desde partida, es una experiencia única.

Al igual que también es única la experiencia de cooperación al desarrollo, y sentir de manera tangible que tu esfuerzo ayuda al desarrollo y mejora de las condiciones humanas de otras personas. Se trata de una experiencia de gran valor personal y una gran motivación.

6. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es la construcción de un de un centro de formación profesional mediante workshops, con la peculiaridad de que cuente con espacios abiertos en los que se pueda diversificar la manera en la que impartir las lecciones. De esta manera se le podrá dar continuidad al proyecto original de educación de la comunidad, proporcionando los conocimientos necesarios para que esta logre autoabastecerse y vivir de manera independiente con una mejor calidad de vida.

Se considera necesario para lograr el objetivo de forma exitosa:

- Recaudar la cantidad necesaria de dinero para poder financiar no solo este, si no todos los proyectos impulsados por Project Zimbabwe. Por ello se deberá realizar diferentes acciones como eventos benéficos, contactar con empresas para apelar a que donen y del mismo modo obtener donaciones de particulares.
- Estudiar de manera minuciosa las condiciones de contorno que regulan la forma en la que se deberán hacer los cálculos, los cuales serán necesarios para el diseño y dimensionamiento de la infraestructura.
- Obtener las materias primas, herramientas y mano de obra necesarias para la correcta realización del edificio, de la manera mas eficiente para lograr ceñirse a los tiempos y presupuestos.
- Diseñar el edificio de manera sostenible y creativa, pero procurando la sencillez y la robustez por encima de todo, para permitir la participación de la comunidad, agilizar los procesos de construcción y garantizar la longevidad del proyecto.

7. RECURSOS NECESARIOS

Para las primeras etapas del proyecto, en las que será necesario realizar cálculos mecánicos y definir el diseño estructural, además de contar con la ayuda y apoyo del director del proyecto, y colaborar con los profesores especializados en dichas materias, se dispone de amplios conocimientos técnicos obtenidos en el transcurso de los últimos años académicos. No solo eso, si no que el autor cuenta con numerosos recursos y material tras haber cursado las asignaturas de estructuras, vibraciones y mecánica.

De cara a la obtención de los materiales, será necesario investigar a los proveedores, ya que, para la realización del proyecto sin contratiempos, es necesario que los materiales se obtengan a precios y cantidades constantes aun cuando el mercado sea volátil. Por eso no todos serán aptos y habrá que hacer una selección, ya que se cuenta con un tiempo y presupuesto limitados para la realización del proyecto.

En cuanto a los materiales mencionados, el objetivo es poder obtener estos en Harare, capital de Zimbabwe por las siguientes razones:

- Se dispone de un tiempo muy limitado para la realización e implementación del proyecto, por eso es necesario que los materiales que se empleen en la construcción sean locales, de tal modo que el transporte de estos no suponga una demora en la realización de este.
- Impulsar la economía local, ya que se trata de un país en desarrollo, y la compra de los materiales en el mercado local favorecerá mínimamente la economía.
- Abaratar costes, ya que la importación desde España u otros países encarecería sustancialmente los materiales, y se dispone de un presupuesto limitado
- Facilitar el mantenimiento de lo implementado a futuro, ya que, si surgiera algún problema, se podría solucionar sin demora y de manera más sencilla

Finalmente se contará con mano de obra local, de nuevo porque así se logrará impulsar la economía local y al mismo tiempo abaratar Costes. Si embargo, contar con voluntarios locales supondrá contar con mano de obra careciente de conocimientos técnicos, y aunque suponga una mayor implicación personal en el proyecto al ayudar y favorecer a su comunidad, será necesario contar con su máxima involucración y compromiso para su correcta realización.

8. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La propuesta de metodología propone realizar el trabajo y finalizarlo antes del viaje a Zimbabwe para su implementación. Dadas las fechas propuestas para las presentaciones y el calendario académico con el que se cuenta, se propone finalizar el trabajo en junio, para viajar en julio y así contar con al menos un mes y medio para su implementación en la comunidad de Mt. Darwin.

Sin embargo, por Cuestiones personales y académicas, la realización de este proyecto se ha demorado sustancialmente, de modo que el trabajo que originalmente comenzó en el curso 20-21 se desarrollará en el primer cuatrimestre del curso 21-22.

En primer lugar, y para tener unos objetivos bien marcados a la hora de la consecución del proyecto, se realizará el anexo B. La realización de este supondrá un gran trabajo de investigación de los proyectos de similar índole al tratado en cuestión, en las partes del mundo con características ambientales y socioeconómicas parecidas. De este modo se podrá familiarizar con los materiales y técnicas empleados en la construcción de un centro de formación. También, se investigará en profundidad las condiciones ambientales, geológicas, socioeconómicas y demográficas del país y la comunidad en cuestión, para la toma de decisiones futuras.

Tras la realización del anexo B, se realizarán los cálculos y el diseño del proyecto, ateniéndose a las condiciones ya investigadas anteriormente, pero además proporcionando alternativas al diseño en caso de que la solución propuesta no encaje con la situación real a la hora de su implementación. Esto se debe a que la información no es del todo conocida y las condiciones de contorno no están definidas al 100%. Estas solo se conocerán en el momento de su implementación.

Se trata de un proyecto de cooperación, cuya financiación queda en manos de los miembros del equipo que participan en la realización de los distintos proyectos de la comunidad. Dicha

financiación comienza desde la asignación al proyecto. Es por esto también, que, el presupuesto con el que se cuenta para la realización del proyecto es limitado, así es que se tratará en la medida de lo posible, hacer estimaciones de los precios de los materiales y mano de obra con proveedores locales.

A continuación, se adjunta el cronograma donde se refleja la planificación del proyecto original (ROJO), con los ajustes y demoras incluidos (VERDE).

fases	2020-21								2021-22			
	Ene ro	Febr ero	Mar zo	Ab ril	Ma yo	Jun io	Jul io	Ago sto	Septie mbre	Octu bre	Novie mbre	Diciem bre
Estudio/investigación previa	ROJO	ROJO	ROJO									
	VERDE	VERDE							VERDE			
Estudio técnicas de construcción		ROJO	ROJO									
									VERDE	VERDE		
Cálculos			ROJO	ROJO								
									VERDE	VERDE		
Estimación del presupuesto y selección de materiales				ROJO								
										VERDE		
Contacto con proveedores				ROJO								
										VERDE		
Adaptaciones finales					ROJO							
											VERDE	
Viabilidad					ROJO							
											VERDE	
Presentación						ROJO						
												VERDE
Realización							ROJO	ROJO				

9. DISEÑO

En este apartado se explica el diseño y la toma de decisiones realizada para la consecución del edificio. Los cálculos realizados vendrán expuestos de manera mas detallada en el capitulo de “cálculos” más adelante.

9.1 *DIMENSIONES*

La condición principal en la que se basó para la selección de las dimensiones fue la de la necesidad para duplicar el número de estudiantes que pudieran formarse en el centro. Teniendo en cuenta que actualmente el centro tiene capacidad para 60 alumnos, se proponen dimensiones para acoger a otros 60.

Atendiendo a las necesidades y requisitos que se exponen en el BOE de 2010¹⁶, el mínimo espacio requerido en estos casos es de 2 metros cuadrados por alumno, por eso se deberá contar con un espacio mínimo de 120 metros cuadrados para impartir lecciones.

Además, se plantea un espacio para emplear como sala de reuniones, sin número específico de cantidad de personas que deba acoger, se coge un número estándar para una sala con este propósito de 6 personas. Por tanto, esta sala deberá tener unos 18-20 metros cuadrados.

Finalmente, se considera necesario crear un espacio para el almacenamiento de herramientas que se puedan emplear en las lecciones, así como para los equipos que se necesiten para un sistema eléctrico en caso de realizarse en un futuro. Para un espacio de estas características serian suficientes unos 10-15 metros cuadrados.

¹⁶ Boletín oficial del estado. (2010). Disposición 4132 del BOE num. 62. 2021. Sitio web: <https://www.boe.es/boe/dias/2010/03/12/pdfs/BOE-A-2010-4132.pdf>

A todo esto, se le quiere añadir un espacio común que sea abierto y que sea considerable, por tanto, se realizará con este en mente.

En la siguiente tabla se recogen las medidas de los diferentes espacios mencionados antes:

Elemento	Área (metros cuadrados)
Aulas	120
Sala de reuniones	18
Almacén	12
Espacio común	30

Tabla 3. Dimensiones edificio. Fuente: propia

9.2 DISPOSICIÓN Y ORIENTACIÓN

Una vez tomada la decisión de las dimensiones que tendrá el edificio, lo siguiente es decidir la disposición de los elementos como conjunto, y su posición geográfica y orientación.

Por cuestiones de eficiencia, ya sea por mejorar la ventilación, aislar del ruido o proporcionar mas luz natural a las aulas, se opta por una disposición en la que se encuentran las 2 aulas de 60 metros cuadrados enfrentadas, y separadas por una zona común abierta. Adjuntas a estas aulas por detrás estarán el almacén y la sala de reuniones respectivamente.

Se adjunta la siguiente imagen para ilustrar la disposición:

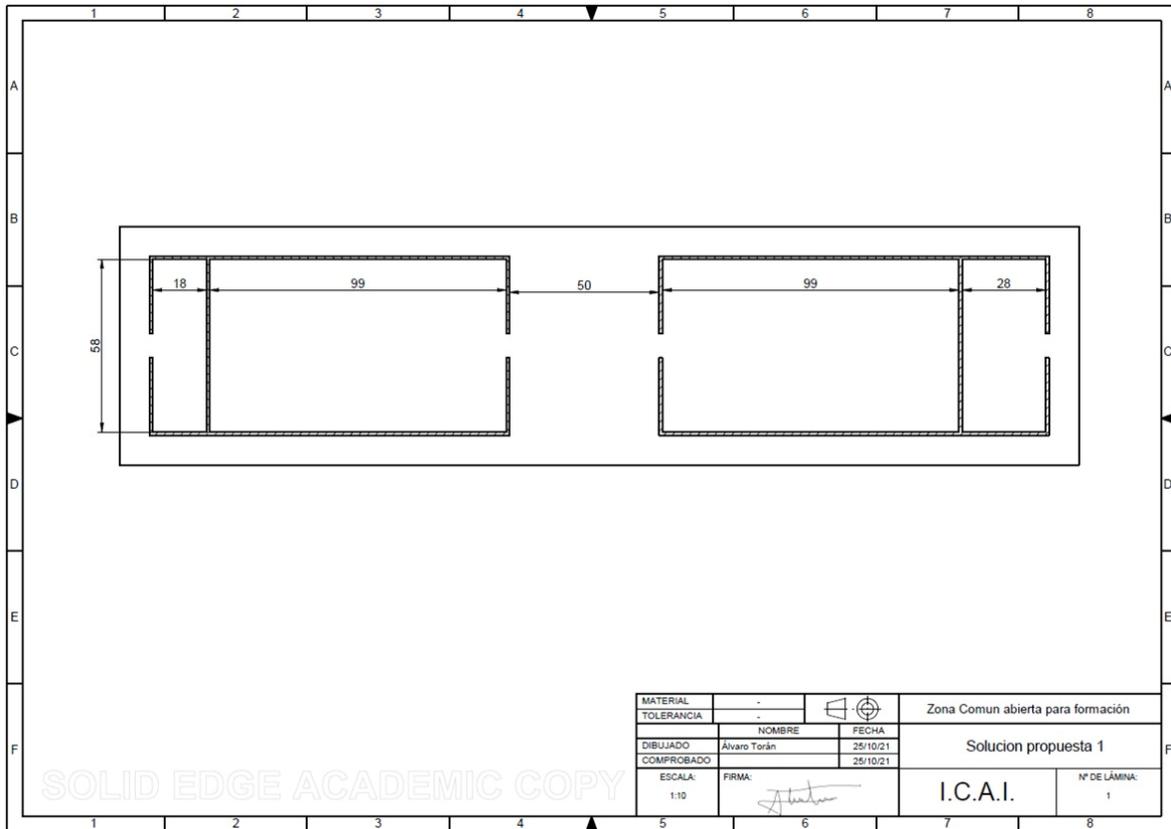


Ilustración 9: Disposición espacios (cualitativo). Fuente: propia

Una vez conocida la disposición que se quiere para el edificio, se estudia la localización de este además de su orientación, para aprovechar al máximo la luz natural, dotando así a la edificación de un carácter sostenible.

El edificio se quiere construir cerca del colegio de formación profesional, y para esa zona se estudia la curva solar a lo largo del año además de los vientos en los diferentes meses del año, como se menciona anteriormente. Tras estudiar estos se concluye que una zona optima

es

la

siguiente:



Ilustración 10: Posible localización en función de sol y vientos¹⁷. Fuente: Google maps

Como se puede apreciar en la ilustración, dado el espacio y las curvas del sol y direcciones del viento, a priori hay 2 posibles orientaciones con la mayor eficiencia. Para el aprovechamiento de la luz natural al máximo, o para proteger el edificio de las lluvias. Finalmente se opta por proteger al edificio, ya que el mantenimiento del mismo es una parte importante del diseño, y se le quiere dar longevidad al proyecto, es por esto que se orientará en perpendicular a la dirección del viento, para proteger con la cubierta en la medida de lo posible los muros.

A pesar de todo este estudio, la localización y orientación del edificio se decidirá in-situ, ya que no se conocen el 100% de las condiciones del terreno, el espacio disponible y la calidad del terreno.

¹⁷ Cálculo de la posición del sol en el cielo. SunEarthTools.com. 2021. Sitio web: https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es

9.3 CIMIENTOS

Como ya se ha mencionado, no se conocen las condiciones exactas del terreno, sin embargo, existe un estudio geotécnico realizado donde se construyó el Orfanato de CFA, y por tanto se podrían extrapolar las conclusiones de este estudio al terreno en cuestión a la hora de conocer la capacidad admisible del terreno.

Valores de K30 en Kg/cm ³ por Jimenez Salas		
Tipo Suelo	K30 min	K30 max
Suelo Fangoso	0,5	1,5
Arena seca o húmeda, suelta (Nspt 3 a 9)	1,2	3,6
Arena seca o húmeda, media (Nspt 9 a 30)	3,6	12
Arena seca o húmeda, densa (Nspt 30 a 50)	12	24
Grava fina con arena fina	8	10
Grava media con arena fina	10	12
Grava media con arena gruesa	12	15
Grava gruesa con arena gruesa	15	20
Grava gruesa firmemente estratificada	20	40
Arcilla blanda q_u 0,25 a 0,5 kg/cm ²	0,65	1,3
Arcilla media q_u 0,5 a 2,0 kg/cm ²	1,3	4
Arcilla compacta q_u 2,0 a 4,0 kg/cm ²	4	8
Arcilla margosa dura $q_u = 4$ a 10 kg/cm ²	8	21
Marga arenosa rígida	21	44
Arena de miga y tosco	22	110
Marga	22	2200
Caliza margosa alterada	150	220
Caliza sana	885	36000
Granito meteorizado	30	9000
Granito sano	1700	3600

Los terrenos granulares bajo en NF tendrán una $K=0,6 \cdot k$ de la tabla

Tabla 4. Cargas admisibles en suelos. Fuente: estructurando.net

A raíz del estudio, se puede llegar a la conclusión de que el tipo de suelo que nos encontraremos es el arcilloso blando, y su capacidad portante es de unos 5000kg/m^2 .¹⁸

Una vez conocemos el tipo de suelo que nos encontraremos, debemos seleccionar el tipo de cimentación. Estas decisiones e hipótesis se explican con mas detalle en la sección de cálculos.

Para un edificio con una sola planta y cargas tan bajas como puede ser la cubierta de este, no es necesario realizar una cimentación profunda. Por tanto, se optará por una cimentación superficial. Entre las cimentaciones superficiales nos encontramos con:

- Zapata aislada: será la más óptima para este caso, ya que las cargas se transmitirán al suelo a través de pilares de hormigón. Se considera que los asentamientos que surjan serán despreciables para la toma de esta decisión, pero se dimensionaran los pilares teniéndolos en cuenta. Además, es la opción mas económica, por el uso de material
- Zapata corrida: aunque distribuye mejor las cargas al terreno, los muros en este edificio no serán de carga, por tanto, no es la mejor opción
- Losas de cimentación: se descartan porque es una opción costosa que no aporta mas beneficios que las otras opciones.

Como es posible que surjan asentamientos, y por cambios de temperatura pueden surgir tracciones en el hormigón, y este trabaja mal bajo este tipo de tensiones, se considera necesario el armado de las zapatas con varillas corrugadas de acero, y cercos para los cortantes.

Cabe destacar que las zapatas se dimensionan a partir del pilar mas solicitado, y por tanto en el caso de otros pilares es posible que quede sobredimensionada, pero por anteponer la sencillez a la hora de la construcción sobre el ahorro de material, se empleará la misma

¹⁸ Alberto Mascareñas Brito. (2019). Edificio sostenible para colegio de formación profesional en Zimbabwe 2021. Sitio web: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/32139>

zapata en todos los pilares. En caso de que no se cuente con el presupuesto suficiente para los costes en los que incurrirá la obra, se estudiará cada caso de manera aislada.

Finalmente nos queda la zapata dimensionada como con una altura de 30 cm, un vuelo de 60 cm y un área de la sección de $1.5 \times 1.5 \text{ m}^2$. Se estudiará con estas dimensiones como zapata flexible. Se necesitaran 16 zapatas, una por pilar.



Ilustración 11. Zapata aislada. Fuente: Fine

9.4 SOLERA

La solera será la encargada de soportar las cargas vivas y el mobiliario, pero estas se pueden considerar prácticamente despreciables, por tanto, no tendrá un carácter estructural.

A pesar de esto, sí que es necesario tener en cuenta los cambios que se puedan producir de temperatura y las cargas a la hora de seleccionar el material para esta. Por ello se propone una solera de hormigón, con armado para evitar grietas por cortantes o tracciones que se

puedan producir por lo antes mencionado. El espesor de esta será suficiente para que se pueda armar (en torno a 10 cm) y el área que debe cubrir es de $33 \times 9,4 \text{ m}^2$.

9.5 PILARES

Para la transmisión de las cargas al suelo se opta por emplear pilares, esto es porque de este modo logramos elevar la cubierta por encima de los muros, permitiendo una mayor iluminación y mejor ventilación.

Se estudian diferentes posibilidades a la hora de seleccionar el material para su construcción, como el metal o la madera. Se concluye que la mejor opción, es la de hormigón, ya que tiene mejores propiedades mecánicas que la madera a la hora de soportar cargas de compresión y es mucho menos costoso que el metal.

Se dimensionarán los pilares a partir de los más solicitados, los que soportan un mayor peso de servicio y soportan una carga mas alta proveniente de las cerchas. Dado que el lado mínimo de un pilar según EHE es de 25 cm^{19} para zonas no sísmicas como lo es esta, se predimensiona como un pilar de $30 \times 30 \text{ cm}^2$ y se comprueba si soportara las diferentes cargas.

Como se aprecia en la sección cálculos, se revisa ante el esfuerzo axil y las posibles cargas del viento ya que no se considera excentricidad de las cargas.

Finalmente se concluye que, bajo los esfuerzos de compresión, el pilar es mas que capaz de aguantar dada la resistencia del hormigón, sin embargo, hay que tener en cuenta el cortante, y el posible pandeo debido a la disposición de los pilares. Es por esto que se dimensiona un armado a raíz de la geometría de los pilares, con barras de acero de diámetro 12, y se concluye que lo mas optimo es armar los pilares con 4 barras de acero, con un cerco cuadrado de diámetro 6 cada 15-20 cm para soportar las cargas del cortante (viento) y axil.

¹⁹ Instrucción de hormigón estructural (EHE-08). (2010). Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08). (2021). Sitio web: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/1820100.pdf

Dado que esta dimensionado para el pilar mas solicitado, se emplearán estas medidas para el resto de los pilares, pudiendo estar estos sobredimensionados. En este caso, sin embargo, aunque se decida posteriormente realizar los cálculos para reducir sus dimensiones, no se podrían reducir mucho y por tanto la diferencia en material y por tanto precio final sería prácticamente despreciable.

Los pilares irán directamente unidos a las zapatas, realizando el armado pertinente, el cual no se estudia en profundidad al no ser objeto de este trabajo.

Por tanto, nuestros pilares serán de 3,5 m de altura (0,5 m por encima de los muros) y con una sección de 30*30 cm. Habrá 16 pilares que transmitirán las cargas de las 8 cerchas a las zapatas y por tanto al suelo.

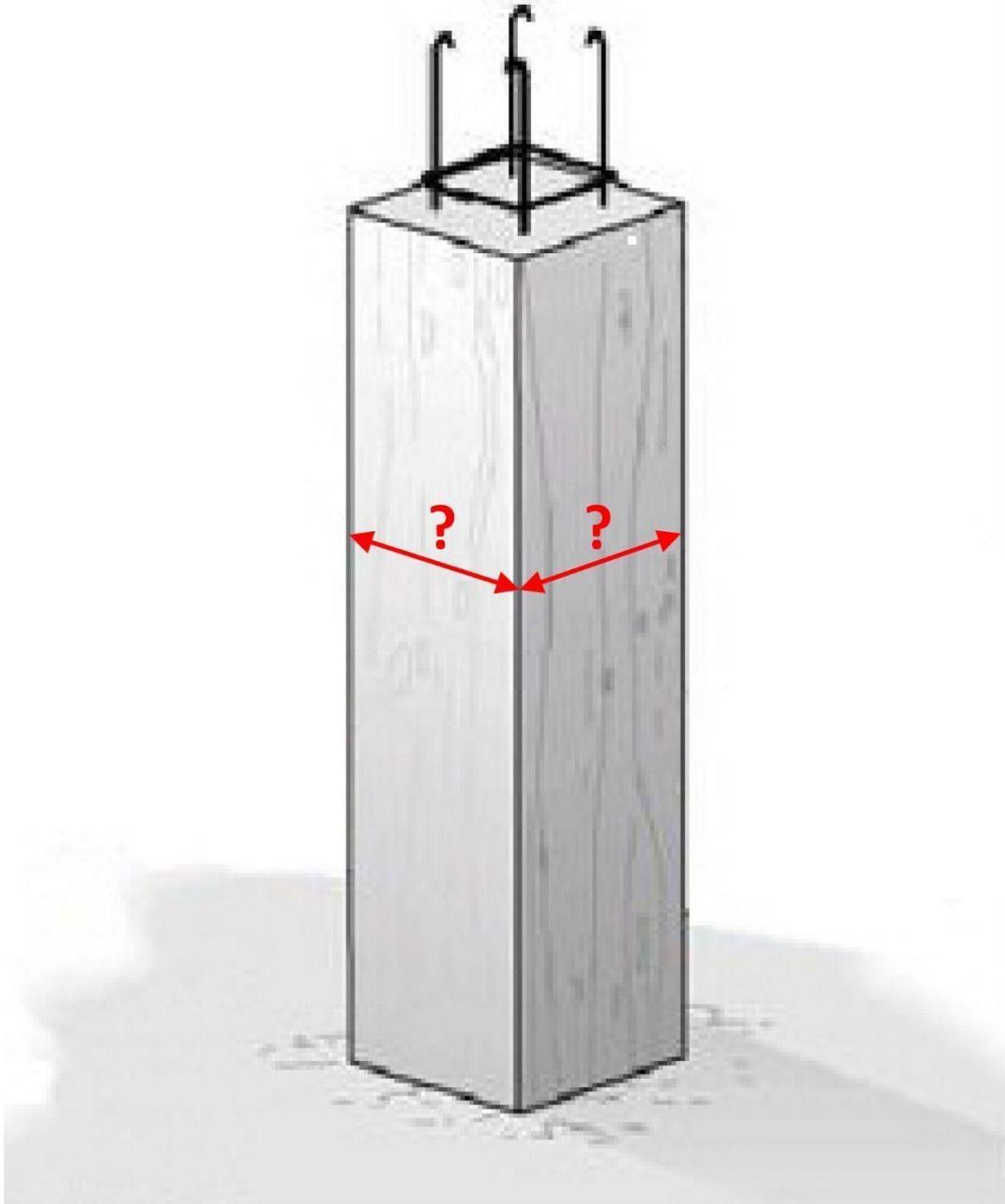


Ilustración 12. Pilar armado sin dimensionar. Fuente: estructurando

9.6 MUROS

En esta construcción, los muros no tienen carácter estructural, no son muros de carga, y se dimensionarán como tal. Para esta construcción se quiere usar muros de ladrillos de adobe, pero dado que no se conoce la medida exacta de estos se dimensionará con ladrillos de medida estándar (24*11,5*5,25), pero con las propiedades mecánicas del adobe. Este es el material empleado en otras construcciones en la zona como lo es el colegio de formación profesional, por tanto, es un material conocido por la comunidad y con el que les será fácil trabajar.

Se estudia la esbeltez de los muros para una altura de 3m, con las medidas estándar, para una única fila de ladrillos, y se concluye que es suficiente, de nuevo porque no son de carga, son simplemente para dividir los espacios, por tanto, el espesor será de 0,115 m.

Una vez conocemos el espesor, se estudian las cargas que produce el propio muro en la base para asegurarse que no existirán fallos críticos, y se concluye que las cargas que el viento pueda ejercer pueden crear tensiones de tracción.

Es por esto por lo que se considera necesario arriostrar el muro a los pilares con zunchos longitudinales cada 50 cm, para asegurarlos.

Se empleará un aparejo de sogas, con un recubrimiento de cemento de 1cm, y se considera necesario, para proteger los muros de las lluvias en las épocas húmedas, a pesar de la cobertura de la cubierta, con una lechada de cal (con tinte si fuera necesario) que será necesario reaplicar periódicamente, para impermeabilizar el muro.²⁰

²⁰ Rikki Nitzkin. Arcilla en Construcción. Proteger la arcilla del agua y pinturas decorativas. 2021. Sitio web: <https://ecohabitar.org/proteger-la-arcilla-del-agua-y-pinturas-decorativas/>

9.7 CERCHAS

Para las cerchas se estudiaron los diferentes materiales, y se optó por madera, ya que es un material que es comúnmente empleado en otras edificaciones de la zona y además es más barato, a la vez que es capaz de soportar y transmitir las cargas que vienen desde la cubierta.

En cuanto a la madera empleada, en primer lugar, se estudió el Mopane, muy común en Zimbabawe, y con propiedades mecánicas muy buenas para la construcción, y resistente ante termitas y difícil de pudrir,²¹ sin embargo, se descartó debido a que es una madera muy dura y difícil de trabajar. Finalmente se optó por la acacia negra, que también se encuentra en Zimbabawe, y tiene unas propiedades mecánicas óptimas para la construcción y densidad relativamente baja. Como con cualquier madera, habrá que tener cuidado con la orientación de las fibras ya que la madera es un material anisotrópico, y tiene diferentes propiedades mecánicas dependiendo de la orientación (estas con mejores en paralelo a la dirección de las fibras).

Para el tipo de cercha, basándose en un estudio básico de cargas, se puede concluir que la más apropiada para esta construcción es la Queensland²², ya que los montantes verticales son redundantes en esta construcción debido a que las cerchas no soportaran cargas verticales en la base más que su peso propio. Teniendo esto en cuenta además se produce un ahorro de material. Finalmente nos quedan dimensionadas como cerchas de 10*5 cm situadas encima de los pilares, por tanto 8 cerchas. Además, para transmitir la carga de la cubierta a la cercha de manera óptima, se emplearán 5 correas, separadas 2,25m entre sí. La altura de la cercha será de 1,5 m y por tanto la altura del edificio será de 5m, ya se sitúan sobre los pilares de 3,5m. el ancho de la cercha será de 8,4m.

²¹ The Wood Database. Mopane | The wood Database. 2021. Sitio web: <https://www.wood-database.com/mopane/>

²² Alberto Mascareñas Brito. (2019). Edificio sostenible para colegio de formación profesional en Zimbabawe 2021. Sitio web: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/32139>

Para el dimensionado de las cerchas, se realizó un estudio de carácter cualitativo de consumo de energía del edificio para iluminación, aparatos electrónicos y una bomba de agua. Para una instalación eléctrica de paneles solares, se concluyó que con 10 paneles solares sería más que suficiente, y teniendo en cuenta el peso medio de los paneles solares como 20kg, se tiene en cuenta un peso adicional de la cubierta de 200kg²³.

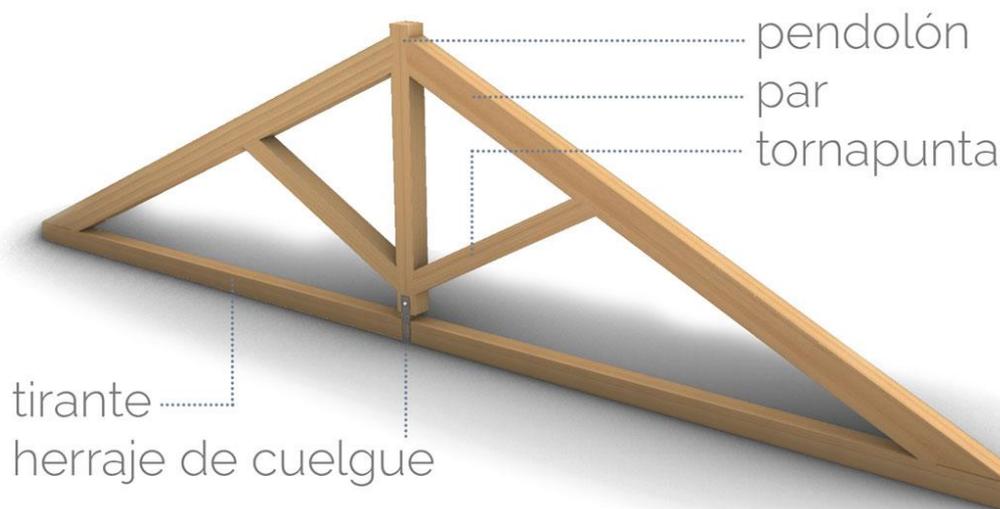


Ilustración 13. Cercha por emplear. Fuente: Escuadría

Para el dimensionamiento de las cerchas, se eligió la cercha más solicitada, siendo esta la situada entre los luces más amplios (4,9m), por tanto podría estar sobredimensionada, sin embargo, se considera que por mantener la sencillez y facilitar la construcción, es más conveniente mantener las dimensiones para el resto de cerchas. En caso de ser necesario se dimensionarían todas las cerchas in situ (falta de presupuesto).

²³ El portal de las Energías. Tamaño y peso de los paneles solares. 2021. Sitio web: <https://tipos-de-energia.com/paneles-solares/tamano-y-peso-de-los-paneles-solares/>

Las cerchas irán unidas a los pilares arriostradas a castillos que se levantarán de la armadura de los pilares.

Se recomienda tratar la madera para evitar infecciones, repeler insectos y permeabilizar frente a la humedad con un tratamiento universal.

9.8 CUBIERTA

Para la cubierta se estudiaron diferentes materiales, como cerámica, acero, aluminio o panel sándwich. La opción más recomendable es la de aluminio, ya que no requiere mantenimiento y es el más ligero. La cerámica se descarta, por su alto coste y difícil instalación, además de por ser frágil, ya que no permite instalación de panel solar. Sin embargo, para el dimensionado, se escoge el panel sándwich, ya que servirá para insonorizar el panel de acero frente al ruido de la lluvia. Este requiere poco mantenimiento y si a la hora de realizar la construcción no se encuentra proveedor de este, la construcción quedaría sobredimensionada en caso de elegir planchas de acero o aluminio.

La cubierta tendrá un alero de 0,5m para proteger los muros y proporcionar cobijo a los estudiantes.

9.9 MOBILIARIO

Para el resto de los elementos, aunque se cuenta con plena libertad de selección, se opta por puertas y ventanas estándar que se encuentran en los mercados locales. De esta manera simplificamos la construcción del edificio y en caso de rotura tiene un remplazo más sencillo.

Por esto las puertas tendrán unas medidas de 2,1*0,8m y las ventanas 1,2*1,5m. Estas tendrán dinteles encima para transmitir la carga del peso de los muros a los laterales.

10. POSIBLES AMPLIACIONES

En este apartado se estudiarán alternativas a soluciones propuestas y ampliaciones al proyecto de cara al futuro.

10.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUAS PLUVIALES

Se propone emplear la cubierta a 2 aguas para realizar un pequeño sistema de captación de aguas pluviales a través de canalones en la cubierta. El agua se almacenaría en un tanque y si fuera necesario se emplearía una pequeña bomba para su distribución.

10.2 SISTEMA ELÉCTRICO DE ENERGÍA SOLAR

Se propone abastecer al edificio de electricidad para consumo de un sistema de iluminación, aparatos eléctricos como ordenadores o impresoras y la bomba de agua mencionada antes. Para un consumo de estas características se plantea emplear 10 placas solares, una batería y un generador en caso de que fuera necesario en los meses con menos luz.

10.3 SOLERA DE ARCILLA / ARENA COMPACTADA

Se propone realizar una solera simple de arcilla o arena compactada, ya que esta no tiene carácter estructural y de esta manera se abaratarían los costes de la obra. Se estudiará la posibilidad de realizar in-situ.

10.4 FALSO TECHO DE BAMBÚ

Dado que no hay techo sobre las aulas, habrá poca insonorización entre las mismas y entre la sala de reuniones, es por esto por lo que se propone emplear bambú para realizar un falso techo, que permita la ventilación, aislando las aulas. Este es un material muy ligero por lo que no supondrá una variación significativa en las cargas.

11. CONCLUSIONES

En este apartado se evaluarán los objetivos del proyecto, de forma individual, para extraer conclusiones.

Los objetivos para la correcta realización del proyecto son:

- Recaudar la cantidad necesaria de dinero para poder financiar no solo este, si no todos los proyectos impulsados por Project Zimbabwe. Por ello se deberá realizar diferentes acciones como eventos benéficos, contactar con empresas para apelar a que donen y del mismo modo obtener donaciones de particulares.
- Estudiar de manera minuciosa las condiciones de contorno que regulan la forma en la que se deberán hacer los cálculos, los cuales serán necesarios para el diseño y dimensionamiento de la infraestructura.
- Obtener las materias primas, herramientas y mano de obra necesarias para la correcta realización del edificio, de la manera mas eficiente para lograr ceñirse a los tiempos y presupuestos.
- Diseñar el edificio de manera sostenible y creativa, pero procurando la sencillez y la robustez por encima de todo, para permitir la participación de la comunidad, agilizar los procesos de construcción y garantizar la longevidad del proyecto.

11.1 RECAUDACIÓN

Es importante que durante el transcurso de los meses antes de la implementación del proyecto, se lleve a cabo una labor conjunta de los miembros de *Project Zimbabwe* para la recaudación de fondos. Ya sea mediante eventos, contactando con particulares y empresas para solicitar donaciones, u otros medios. Es esencial tener los fondos necesarios para proceder con el proyecto común de CFA.

11.2 ANÁLISIS PREVIO

Este se realiza en los apartados previos del documento, y se evalúan soluciones semejantes a la planteada por el autor, con materiales comunes en las localidades, empleando técnicas sencillas e involucrando a la comunidad local. Adicionalmente, se realizan cálculos que vendrán detallados más adelante, con los que se dimensiona la estructura empleando conocimientos adquiridos por el autor en sus estudios, y buscando técnicas e información online. Además, es importante trabajar distintas hipótesis ya que no se conocen el 100% de las condiciones de contorno. Hipótesis que se detallan en el siguiente documento.

11.3 MATERIALES

La obtención de materiales se hará in-situ, con la ayuda de los miembros de CFA, por tanto para los cálculos, el dimensionado y los presupuestos se tomaran datos de materiales y proveedores en España. En caso de que no se tengan proveedores de alguna materia prima, se plantean materiales alternativos que se pueden emplear en la construcción.

11.4 SOSTENIBILIDAD Y CREATIVIDAD

Con el objetivo de realizar un edificio sostenible se propone un diseño en el que se prioriza la ventilación y la iluminación, con la elevación de la cubierta sobre los muros. Además, se propone un diseño que no es puramente pragmático, sino visualmente estético y eficiente. Por encima de todo, los cálculos se realizan con coeficientes de seguridad y sobredimensionamiento de manera que sea robusto, y planteando soluciones para el correcto mantenimiento de la infraestructura.

CAPITULO II

CÁLCULOS

Contenido Capitulo II

<i>Capítulo II: Calculos</i>	57
12. Introducción a los cálculos	61
13. Cubierta	62
13.1 Material	63
13.2 Dimensionado.....	64
13.3 Captación de agua	65
13.4 Uniones.....	65
14. Cerchas 67	
14.1 Material	67
14.2 Dimensionado.....	68
14.2.1 dimensionado correas	69
14.3 Dimensionado de las cerchas.....	72
14.4 Mantenimiento.....	75
14.5 Uniones.....	76
15. Pilares 77	
15.1 Material	77
15.2 Dimensionado.....	78
15.2.1 Axil.....	78
15.2.2 Cargas laterales	79
15.3 Uniones.....	81
16. Muros 82	
16.1 Material	82
16.2 Aparejo	83
16.3 Dimensionamiento.....	83
16.3.1 Axil.....	84
16.4 Cargas laterales.....	85

16.5 Dinteles.....	86
16.5.1 Puertas.....	86
16.5.2 Ventanas	87
16.6 Mantenimiento.....	87
16.7 Uniones.....	88
17. Solera	89
18. Cimientos	90
18.1 Cargas transmitidas al suelo	90
18.2 Conclusiones del estudio geotécnico.....	91
18.3 Dimensionado.....	91
18.4 Seguridad en los cimientos.....	93
18.4.1 Vuelco.....	93
18.4.2 deslizamiento	93

12. INTRODUCCIÓN A LOS CÁLCULOS

En este capítulo se representarán de manera más detallada los cálculos realizados por el autor a la hora de dimensionar los elementos de la estructura además de las diferentes hipótesis realizadas a la hora de hacer los cálculos.

Para hacer referencia al proceso mental para el cálculo y dimensionamiento, a pesar de que un edificio se construye por los cimientos, se comenzara por la cubierta, que es la carga principal que se transmite al suelo.

13. CUBIERTA

En cuanto a la cubierta, se tomó la decisión de realizarla a 2 aguas, principalmente por dos razones. La primera, es que es una forma sencilla de dimensionar y calcular su distribución de cargas, y además fácil de implementar. La segunda, es un tipo de cubierta que ya existe en otros edificios de la zona, como el colegio de formación profesional, y por tanto, las técnicas para su implementación ya son conocidas, facilitando así su construcción.

Para la correcta evacuación de las aguas pluviales es necesaria una pendiente mayor a 15% según el CTE, este valor está recogido en la siguiente tabla:

Tabla 2.10 Pendientes de cubiertas inclinadas

		Pendiente mínima en %		
Teja ⁽³⁾	Teja curva	32		
	Teja mixta y plana monocanal	30		
	Teja plana marsellesa o alicantina	40		
	Teja plana con encaje	50		
Pizarra		60		
Tejado ⁽¹⁾ ⁽²⁾	Cinc	10		
	Fibrocemento	Placas simétricas de onda grande	10	
		Placas asimétricas de nervadura grande	10	
		Placas asimétricas de nervadura media	25	
	Sintéticos	Perfiles de ondulado grande	10	
		Perfiles de ondulado pequeño	15	
		Perfiles de grecado grande	5	
	Placas y perfiles	Perfiles de grecado medio	8	
		Perfiles nervados	10	
		Galvanizados	Perfiles de ondulado pequeño	15
			Perfiles de grecado o nervado grande	5
			Perfiles de grecado o nervado medio	8
	Perfiles de nervado pequeño		10	
	Aleaciones ligeras	Paneles	5	
		Perfiles de ondulado pequeño	15	
Perfiles de nervado medio		5		

Tabla 5. Pendientes en cubiertas inclinadas. Fuente: CTE

La pendiente de nuestra estructura vendrá dada por las cerchas que transmiten las cargas de la cubierta a los pilares. Dada la geometría de las cerchas (1.5m alto 8.5m de ancho). Calculando la pendiente como:

$$\text{pendiente}(\%) = \tan(\alpha) \cdot 100$$

Siendo nuestro ángulo $\alpha = 19,65^\circ$ obtenemos una pendiente de 35.7% por tanto superior al 15% necesario y valido para nuestra estructura.

Dado que el clima en Zimbabwe es cálido, no se contempla la carga de nieve.

13.1 MATERIAL

En cuanto a la selección del material, se estudiaron varias posibilidades, entre ellas las tejas cerámicas, las cuales fueron descartadas debido a su peso y propiedades mecánicas, ya que se pretende realizar un sistema eléctrico de placas solares. El peso de estas, ronda entorno a los 300kg/m^2 .²⁴ Además, como ya se ha mencionado con anterioridad, la comunidad ya ha trabajado con cubiertas de chapa metálica, lo que facilitaría y aceleraría la instalación de estas. No solo eso, si no que es el cerramiento más común para los edificios de la zona.

Otra opción es la chapa metálica, y encontramos 2 opciones muy diferentes, el acero y el aluminio. A Pesar de que el aluminio tiene una densidad menor, siendo esta de 2700kg/m^3 ²⁵ frente a la del acero de 7850kg/m^3 ²⁶, se trata de un material mas caro, y de cara al proyecto es posible que no se disponga de este material.

Además, otro aspecto que se debe tener en cuenta es el aislamiento del ruido de la lluvia, y para este se propone emplear el panel sándwich, que significaría emplear 2 capas metálicas y entre medias un tipo de espuma para aislar. La densidad de esta espuma suele ser de 40kg/m^3 ²⁷. Con esta solución no se pretende aislar térmicamente, no solo por el diseño de

²⁴ Prontuarios de ingeniería civil. Peso Elementos Constructivos. 2021. Sitio web: <http://prontuarios.info/acciones/elementos>

²⁵ UPV. Unidad 1: Materiales para la ingeniería. 2021. Sitio web: <https://www.google.com/search?q=densidad+aluminio&oq=densidad+aluminio&aqs=chrome..69i57.4259j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

²⁶ ARQHYS. Densidad del acero. 2021. Sitio web: <https://www.arqhys.com/decoracion/densidad-del-acero.html>

²⁷ Grupo Panel Sándwich. Composición de los paneles sándwich. 2021. Sitio web: <https://www.panelsandwich.com/informacion-tecnica/materias-primas/>

la estructura, con cubierta elevada, si no por el clima de Zimbabwe, que es cálido, se propone para aislar del ruido únicamente.

A pesar de que el empleo del panel sándwich encare los costes finales de la obra, se considera la solución más óptima y por tanto se dimensionará con estos paneles. Si se da el caso de no emplear este tipo de cubierta, y se opta finalmente con una cubierta metálica simple de acero o de aluminio, la estructura estaría sobredimensionada y por tanto no habría problema en su ejecución.

13.2 DIMENSIONADO

Dadas las dimensiones de la cercha, y que se quiere que la cubierta sobresalga 0,5m para proteger tanto los muros como a los alumnos de la escuela de la lluvia, el área de la cubierta será:

$$A = 33 \times 5 \times 2$$

Siendo 5 el resultado de:

$$L = \frac{4,7}{\cos(19,65)}$$

Y 2 el hecho de necesitar 2 chapas metálicas, una para cada lado del tejado. El espesor típico empleado para realizar el panel sándwich es de 0,5mm, y sabemos que habrá 2, uno encima y otro debajo de la espuma aislante. Conociendo las densidades de la espuma, el acero y las dimensiones de la cubierta podemos calcular el peso como:

$$Peso = A * (2 * 0.0005 * 7850 + 40 * 0.03) = 2986.5Kg$$

A este peso sin embargo hay que añadirle el peso de las placas solares de la instalación eléctrica, 200Kg. Por tanto, el peso total queda en:

Peso = 3186,5Kg

13.3 CAPTACIÓN DE AGUA

Se plantea la necesidad de instalar desagües para poder instalar en un futuro un sistema de captación de agua, sin embargo, no se dimensiona considerando su peso, ya que sería marginal.

13.4 UNIONES

Las uniones entre las placas se deben hacer con tornillos del mismo material que finalmente se elija para la construcción, con propósito de ilustrar este caso, tornillos de acero galvanizado para evitar corrosiones. Estos tornillos se usarán para unir la cubierta a las correas que transmiten las cargas del tejado a la cercha. En el caso de que se usen mas de 2 placas metálicas (una por lado), porque no se encuentran placas del tamaño de la cubierta en específico, se unirán con esos mismos tornillos.

Además es necesario realizar una cumbrera para evitar la penetración de agua en la unión de las cubiertas, se optara por una cumbrera sencilla y económica.



Ilustración 14. Ejemplo de cumbrera. Fuente generador de precios España

14. CERCHAS

14.1 MATERIAL

Basándonos principalmente en un criterio económico, la manera más sencilla de realizar las cerchas es con la madera, ya que a pesar de que las propiedades mecánicas del metal son mejores, para un edificio de estas características y estas cargas, la madera es un material apropiado. Además, Es un material con el que ya se han realizado otros edificios en la comunidad y por tanto están familiarizados con su implementación, agilizando así el proceso de construcción.

En cuanto a la selección de la madera, se evalúa una madera común en Zimbabwe, con propiedades mecánicas adecuadas para la construcción, el Mopane. En la siguiente tabla se exponen sus propiedades mecánicas:

Densidad	1075Kg/m ³
Módulo de Young	13.22 GPa
Resistencia a Flexión	114 MPa
Resistencia a Compresion	70.3 MPa

Ilustración 15. Propiedades mecánicas del Mopane. Fuente:Wood-database

Sin embargo, es un tipo de madera muy duro y por tanto difícil de trabajar, no solo eso, si no que tiene una densidad relativamente alta para tratarse de madera²⁸ y por tanto se descartó.

Otra opción es la Acacia negra o Acacia Melanoxylon, que es una madera con menor densidad y que a pesar de que no es nativa, también se encuentra en Zimbabwe. Sus propiedades mecánicas se exponen en la siguiente tabla:

²⁸ The Wood database. Mopane | The wood database. 2021. Sitio web: <https://www.wood-database.com/mopane/>

Densidad	564Kg/m ³
Módulo de Young	10.926 GPa
Resistencia a Flexión	89.9 MPa
Resistencia a Compresion	49,5 MPa

Tabla 6: Propiedades mecánicas Acacia Melanoxylon. Fuente Scielo

En ninguno de los 2 casos se encontró la resistencia a tracción de la madera en particular, sin embargo, podemos tomar valores de entre 8 y 18 Mpa²⁹.

Es importante mencionar, que la madera es un material anisotrópico, es decir que tiene diferentes propiedades mecánicas en función de la orientación de sus fibras. Los valores recogidos en las tablas son los valores con las fibras en paralelo, y de cara a la construcción del edificio será necesario tener esto presente.

14.2 DIMENSIONADO

En cuanto a las cerchas, atendiendo a un estudio realizado por Alberto mascareñas de varios tipos de cercha, de carácter comparativo, llegamos a la misma conclusión que el autor, la cercha optima para una cubierta de estas características es la Queenpost, esto es debido a que las reacciones ante un sistema de cargas similar al que tenemos en cuestión son mejores en esta cercha y emplea menos material para su construcción³⁰.

Para repartir las cargas de la cubierta a la cercha, como ya se ha mencionado, se emplearán correas del mismo material. Se emplearán 5 cerchas, separadas entre si por 2,25m, 2 en la base de la cercha, una en la cumbre y 2 en el punto medio entre estas. Sabemos que la correa mas restrictiva es la situada en el medio, y para este edificio en particular será la cercha con

²⁹ Infomadera.net. Propiedades mecánicas de la madera estructural. 2021. Sitio web: https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_40_mecanicaEstructural.pdf

³⁰ Alberto Mascareñas Brito. (2019). Edificio sostenible para colegio de formación profesional en Zimbabwe 2021. Sitio web: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/32139>

una luz de 4.9m. Se dimensionará como una viga biapoyada entre cerchas, teniendo un total de 8 cerchas.

14.2.1 DIMENSIONADO CORREAS

Sabiendo que la correa mas solicitada es la que se encuentra en el medio de los pares de las cerchas, y que es la cercha con una luz de 4.9m, sabemos que esta encargada de soportar la mitad de la carga de uno de los lados de la cubierta, que si lo calculamos por m². Sabiendo que tenemos un peso de 3186kg y un área de 330m² nos queda un peso por metro cuadrado de 9.66kg/m². A pesar de que dimensionamos para la correa más solicitada, mantendremos la sección de dicha correa para el resto de luces. Esto será para procurar sencillez a la hora de construir el edificio. En caso de considerarse necesario, por cuestiones económicas, calcular las secciones particulares de cada una de las correas, se realizaría in-situ.

Para dimensionarlas se aplicará el principio de Navier-Stokes para máxima tracción.

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

Sabiendo que las cargas a las que estará sometida esta correa:

$$q_y = 9,66 \cdot \cos(19,65) \cdot 9,81 \cdot 2,25 = 200,8N/m$$

$$q_z = 9,66 \cdot \sin(19,65) \cdot 9,81 \cdot 2,25 = 71.7 N/m$$

Siendo 2,25 el ancho que soporta de la cubierta.

Podemos calcular el momento como la carga distribuida en una viga biapoyada como:

$$M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8}$$

Con una luz de 4,9m obtenemos

$$M_z = \frac{200.8 \cdot 4.9^2}{8} = 602.65Nm$$

$$M_y = \frac{71.7 \cdot 4.9^2}{8} = 215.19 Nm$$

Una vez conocidos los momentos podemos calcular la tensión como

$$\sigma \geq \frac{602.65 \times 0.5a}{\frac{1}{12} * a^4} + \frac{215.19 \times 0.5a}{\frac{1}{12} * a^4}$$

Siendo a el canto de la sección de una correa de sección cuadrada, por simplificar. Y la tensión máxima 8MPa siendo esta la resistencia a tracción de una madera con las fibras paralelas (Peor de los casos)

Con estos valores obtenemos:

$$a \geq 8,5cm$$

Escogeremos por tanto un valor de 10 centímetros y comprobaremos los límites de deflexión.

Antes de esto añadiremos el peso propio de la correa y comprobaremos si sigue cumpliendo límites de tracción.

Si añadimos el peso propio de la correa las cargas nos quedan de este modo:

$$q_y = (9,66 \cdot 2,25 + 0,1 * 0,1 * 564) \cos(19,65) \cdot 9,81 = 252,1N/m$$

$$q_y = (9,66 \cdot 2,25 + 0,1 * 0,1 * 564) \sin(19,65) \cdot 9,81 = 90,31N/m$$

Con estas nuevas cargas obtenemos unos momentos de:

$$M_z = \frac{252,1 \cdot 4.9^2}{8} = 756.62 Nm$$

$$M_y = \frac{90.31 \cdot 4.9^2}{8} = 271.04 Nm$$

Y si calculamos la tracción:

$$\sigma = \frac{756.62 \times 0.5 \cdot 0.1}{\frac{1}{12} \cdot 0.14} + \frac{271.04 \times 0.5 \cdot 0.1}{\frac{1}{12} \cdot 0.14} = 6.166 \text{MPa}$$

Por tanto menor que 8MPa y valida según este criterio.

Si tomamos deflexión máxima como L/200 nos da una deflexión máxima de 24.5mm

Esta la calculamos como:

$$y_{max y} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 252.1 \cdot 4.9^4}{384 \cdot 10,926 \cdot 10^9 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0.1^4} = 20.78 \text{mm}$$

$$y_{max z} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 90.31 \cdot 4.9^4}{384 \cdot 10,926 \cdot 10^9 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0.1^4} = 7.45 \text{mm}$$

$$y_{max} = \sqrt{y_{max z}^2 + y_{max y}^2} = 22.08 \text{mm} < 24.5$$

Si calculamos el cortante máximo producido por la carga del tejado sobre la correa mas solicitada por el teorema de Von Misses (dúctil) debemos calcular los cortantes máximos como:

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

Siendo:

$$v_{max} = \frac{q \cdot L}{2}$$

Obtenemos

$$\tau_{xy} = \frac{3 \cdot 252,1 \cdot 4,9}{4 \cdot 0,1^2} = 0,0926 \text{MPa}$$

$$\tau_{xz} = \frac{3 \cdot 90,31 \cdot 4,9}{4 \cdot 0,1^2} = 0,0332 \text{MPa}$$

Aplicando el criterio de Von Misses:

$$\tau_{vm} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2)}$$

$$\tau_{vm} = \sqrt{6,166^2 + 3 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2)} = 6,1684 \text{MPa}$$

Este resultado es inferior a la carga máxima aceptable de la viga por tanto se pueden usar estas dimensiones.

Una vez conocidas estas cargas, sabemos las reacciones que producen en la cercha y por tanto la podemos dimensionar.

14.3 DIMENSIONADO DE LAS CERCHAS

Para dimensionar las cerchas, lo primero que se hace es escoger la cercha más solicitada, en este caso la cercha más solicitada es la que se encuentra entre dos correas con luz de 4.9 m.

Para dimensionarlas será necesario conocer las tensiones de compresión y tracción a las que están sometidas los elementos de la cercha. Para ello es necesario conocer las reacciones y cargas que hay en los nudos, además de las reacciones en los apoyos.

En primer lugar, se calcularán las reacciones que le llegan a la cercha a través de las correa. Estas serán:

$$R = \frac{q_a \cdot L}{2}$$

Suponiendo las correas como vigas biapoyadas.

Para el cálculo de las cargas, en la correa central será:

$$q_1 = (9,66 \cdot 2,25 + 0,1 \cdot 0,1 \cdot 564 \cdot 4,9) \cdot 9,81 = 485N$$

Esto es considerando el peso propio de la correa

En el caso de la cumbre, el área que soporta la correa es la mitad que en el caso anterior, sin embargo soporta el área de dos cubiertas por tanto será la misma.

$$q_2 = (9,66 \cdot 2,25 + 0,1 \cdot 0,1 \cdot 564 \cdot 4,9) \cdot 9,81 = 485N$$

Finalmente, en la base de la cercha, la carga que se transmite es:

$$q_3 = (9,66 \cdot (1.125 + 0,5) + 0,1 \cdot 0,1 \cdot .564 \cdot 4,9) \cdot 9,81 = 426N$$

Por tanto las reacciones serán:

$$R_1 = R_2 = 2376,5N$$

$$R_3 = 2087,4$$

R1 y R2 son las reacciones de 2 correas sobre la cercha, y lo mismo con R3, ya que la correa por la derecha y por la izquierda generan reacciones.

Con estas reacciones nuestro diagrama de cuerpo libre quedara de la siguiente manera

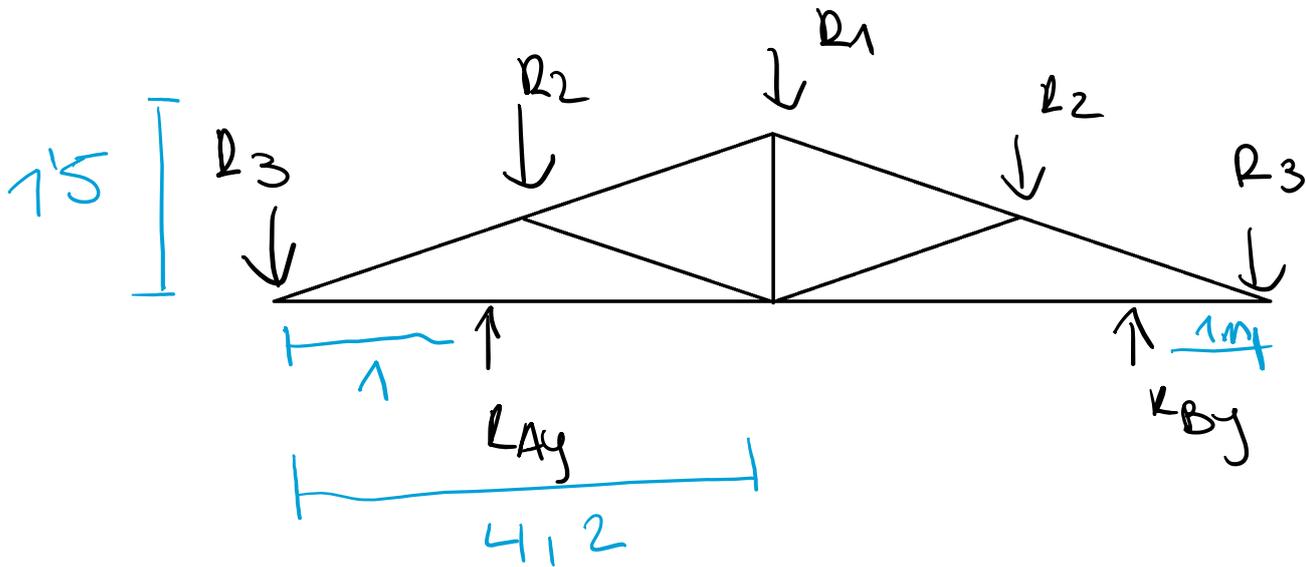


Ilustración 16: diagrama de cuerpo libre. Fuente: propia

Una vez conocidas las cargas, si aplicamos equilibrio de fuerzas y momentos en la cercha, obtenemos valores para las reacciones sobre los pilares.

$$\sum M_A = 0: R_{by} = 5652,15N$$

$$\sum F_y = 0: R_{Ay} = 5652,15N$$

Mediante un estudio de nodos en equilibrio, una vez conocidas la reacciones, realizando análisis individual de cada uno de los nodos y sus fuerzas, creando así un sistema de ecuaciones, al resolverlo obtenemos unos valores de compresión y de tracción máximos.

Resolviendo el sistema:

$$N_{AB} \cdot \cos(19,65) + N_{Af} = 0$$

$$N_{AB} \cdot \sin(19,65) - 2087,4 - 4306,4 = 0$$

$$N_{AB} \cdot \cos(19,65) + N_{BC} \cdot \cos(19,65) + N_{BF} \cdot \sin(70,35) = 0$$

$$N_{AB} \cdot \sin(19,65) + N_{BC} \cdot \sin(19,65) - N_{BF} \cdot \cos(70,35) - 2376,5 = 0$$

$$N_{BC} \cdot \cos(19,65) + N_{CD} \cdot \cos(19,65) = 0$$

$$N_{BC} \cdot \sin(19,65) + N_{CD} \cdot \sin(19,65) - 2376,5 - N_{CF} = 0$$

Al resolver este sistema de ecuaciones, sabiendo que la cercha es simétrica tanto en geometría como en cargas. Obtenemos unos valores de compresión máxima de 6598,8N y de tracción de 7006,85N

Sabiendo que:

$$\sigma \leq \frac{F}{A}$$

Siendo la tensión, el límite de compresión 49,5MPa y de tracción 8MPa, y la fuerza, la de tracción máxima y la de compresión máxima respectivamente obtenemos un área mínima de 875,86mm². Esta área se consigue con prácticamente cualquier sección, pero una sección razonable sería 10*5cm lo que equivaldría a 5000mm². Esta sección es común, y es una sección que ya se ha empleado con anterioridad en otras construcciones.

Teniendo en cuenta el sobredimensionamiento de nuestra cercha, siendo esta la más solicitada, no será necesario calcular los límites por pandeo y se desprecia la acción del peso propio.

14.4 MANTENIMIENTO

Para mantener correctamente esta madera se recomienda tratarla periódicamente. El tipo de tratamiento para madera, teniendo en cuenta el nivel de humedad al que se verá expuesta (siendo este alto) para evitar infecciones o que la madera se pudra será preventivo como sales de cobre, y de profundidad.

14.5 UNIONES

Las uniones internas serán a través de estribos, de modo que se transmitan las cargas como axil únicamente entre los elementos de la misma.

Estas irán unidas a la cubierta a través de las correas, y a los pilares mediante arriostramientos que se harán a los puntos mas altos de los pilares, en los que se dejaran castillos de armado para estos.

15. PILARES

15.1 MATERIAL

Para la selección del material que se desea emplear en los pilares, se realiza una comparación entre 3 opciones, pilares metálicos, de madera o de hormigón.

Basándonos en un criterio estructural, sabemos que las acciones van a ser principalmente de axil, y principalmente de compresión, por tanto, sabemos que el metal tendrá propiedades mecánicas excelentes. Sin embargo, si nos basamos en un criterio económico, podemos concluir que el metal a pesar de sus propiedades mecánicas solo encarecería la obra. Si seguimos este criterio económico, deberíamos emplear la madera, al ser posiblemente el material que resulte mas barato a la hora de realizar la construcción, sin embargo, teniendo en cuenta que para la cimentación también se empleará hormigón, y que además es una técnica que se puede ver en construcciones similares (Gando Primary School), no solo eso si no que el hormigón trabaja de manera excelente ante cargas de compresión, concluimos que la opción mas razonable es la de emplear el hormigón para realizar los pilares.

En cuanto a las propiedades del hormigón de cara al dimensionado, se empleará una densidad de 2500kg/m^3 ³¹, siendo esta una densidad típica en los hormigones en este caso armados. También se empleará como limite de tensión 20MPa, aunque para el hormigón armado este sería mayor³².

³¹Ingemecánica. Tablas de pesos específicos y densidades de los materiales. 2021. sitio web: <https://www.ingemecanica.com/tutoriales/pesos.html#concreto>

³² Construmatica. Designación de los hormigones en función de su resistencia. 2021. Sitio web: https://www.construmatica.com/construpedia/Gu%C3%ADa_EHE_-_El_Hormig%C3%B3n

15.2 DIMENSIONADO

Para el dimensionado de los pilares se partirá de un predimensionado de la sección de estos de 30*30cm. Para llegar a esa cifra se parte de la necesidad del canto de esta sección de ser superior a 25cm según EHE como ya se ha mencionado antes. Una vez tenemos el área de la sección, comprobamos si las cargas superaran los límites del material en función de las propiedades de este.

De cara a este dimensionamiento se parte de la hipótesis de que no hay cargas excéntricas, y que la carga transmitida desde la cercha será en el centro del pilar (cargas centradas).

Además, se dimensionará el pilar más solicitado, de acuerdo con las hipótesis mencionadas anteriormente, por tanto el resto de los pilares que no tengan las mismas solicitaciones quedaran sobredimensionados. A pesar de esto, por cuestiones de sencillez a la hora de realizar la edificación, se considera innecesario dimensionar cada uno de los pilares por separado. En caso de que sea necesario por cuestiones económicas, se dimensionará in-situ.

15.2.1 AXIL

Para dimensionar nuestro pilar frente al axil, en este caso de compresión, hay que tener en cuenta las reacciones transmitidas al pilar desde la cercha. Estas son las reacciones calculadas anteriormente $R=5652,15N$, además del peso propio del pilar. Para realizar este cálculo se mayorará la carga de la reacción de acuerdo con los coeficientes establecidos por

el CTE expuestos en la siguiente tabla:

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

Tabla 7. Coeficientes de mayoración. Fuente: CTE

De esta manera tendremos un axil de:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{5652,15 \cdot 1,35 + (0,3)^2 \cdot 3,5 \cdot 9,81 \cdot 2500}{0,3^2} = \frac{15356,25N}{0,3^2} = 0,171MP_a$$

Teniendo en cuenta que el límite para el hormigón es superior a los 20MPa Podemos concluir que no hay problema

15.2.2 CARGAS LATERALES

En la estructura no hay esfuerzos laterales además de las acciones del viento, ya que no es una zona sísmica, y los asentamientos serán muy pequeños además de desconocidos.

En Zimbabwe, como ya se ha mencionado antes conocemos las velocidades de los vientos a lo largo de un año, y estas no superan los 35Km/h sin embargo, como estas velocidades son generales para toda la región, y no conocemos las particularidades de la zona en cuestión se dimensionara con unos vientos de unos 40Km/h o 11,5 m/s.

Sabemos que para esas velocidades de vientos las cargas en una placa plana son:

$$P = 1,22 \cdot v^2 = 1,22 \cdot 11,5^2 = 161,35N/m^2$$

Siendo el área de presión de $0,3 \cdot 3,5 \text{m}^2$ tendremos una carga de 169,41N. Evaluando nuestro pilar como una viga empotrada tenemos que nuestro momento será de:

$$M_{max} = \frac{q \cdot a \cdot h^2}{2} = \frac{161,35 \cdot 0,3 \cdot 3,5^2}{2} = 296,47 \text{Nm}$$

Por tanto estará sometido a una tensión:

$$\frac{M \cdot y}{I_z} = \frac{296,47 \cdot 0,15}{\frac{1}{12} \cdot 0,3^4} = 0,066 \text{Mpa}$$

Si calculamos los esfuerzos conjuntos comprobamos que no está sometida a tracción, sin embargo, se considera necesario armarlo debido al cortante, que, aunque despreciable puede afectar a la estructura. Además, es necesario armarlo para evitar el pandeo. Aunque los cálculos del armado no son pertinentes en este proyecto se evalúa como el armado mínimo necesario por geometría.

Si asumimos un hormigón HA-30 y varillas de acero corrugado de b 500 s:

$$A_g \geq \frac{4}{1000} \cdot 300^2 = 360 \text{m}^2$$

Que con varillas de diámetro 12 supone un mínimo de 3 varillas. Para este caso se propone emplear 4 varillas dispuestas de tal manera que estén separadas por al menos 10cm entre ellas para la unión con las cerchas. Y además se propone un armado adicional de un cerco de varillas de diámetro 6 cada 15-20 cm, para darle seguridad al pilar frente al pandeo y al cortante.

Para estos cálculos no se tiene en cuenta las cargas laterales que el muro pueda transmitir al pilar, ya que se consideran despreciables.

15.3 UNIONES

Estos pilares Irán debidamente unidos a las zapatas mediante la armadura, y se unirán a las cerchas en la parte más alta de los pilares, a los castillos de armadura. Además se propone arriostrar los muros a los pilares con pequeños elementos longitudinales para darle cerramiento a los muros.

16. MUROS

16.1 MATERIAL

Para la elección del material de los muros se estudio el tipo de material que emplean estas construcciones en la zona. Desde un comienzo se elige el ladrillo, con medidas estándar (24*11.5*5.25cm), pero el material empleado para realizar los ladrillos en estas zonas es el adobe y se fabrican de manera artesanal. Ya han empleado ladrillos de este tipo en otras construcciones y sería el material óptimo para este proyecto.

Dado que se va a dimensionar con este material es necesario averiguar las propiedades mecánicas de este. Sin embargo, estas propiedades son variables, por tanto se hará una media de los distintos valores que encontramos online.

	Densidad (kg/m ³)	Resistencia (MPa)
	1600 ³³	1.9 ³⁴
	1200-1700 ³⁵	0,5 ³⁶
Media	1500	1

Tabla 8. Propiedades mecánicas de distintos adobes.

Por tanto se dimensionará con estos valores, y se deberá comprobar que estos valores son validos para el adobe que empleemos in-situ. Además para el aparejo, se empleará una capa de cemento de 10mm y con una densidad de 2500kg/m².

³³ Ingemecánica. Tablas de pesos específicos y densidades de los materiales. 2021. sitio web: <https://www.ingemecanica.com/tutoriales/pesos.html>

³⁴ Catalán-quiros. P. obtención de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe mediante ensayos de laboratorio. 2021. Sitio web: <http://www.scielo.org.mx/pdf/au/v29/2007-9621-au-29-e1861.pdf>

³⁵ Ingenieriareal. ¿Cómo hacer ladrillos de adobe?. 2021. Sitio web: <https://ingenieriareal.com/ladrillos-adobe/>

³⁶ Catalán-Quiros. P. caracterización experimental de la mampostería de adobe al sur de Mexico. 2021. Sitio web: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46730914001.pdf>

16.2 APAREJO

Para el aparejamiento de los muros, dado que estos no son de carga, y son para dividir los distintos espacios, se empleará un aparejamiento sencillo de sogas, dado que se emplea menos materia que con otro tipo de aparejamientos.

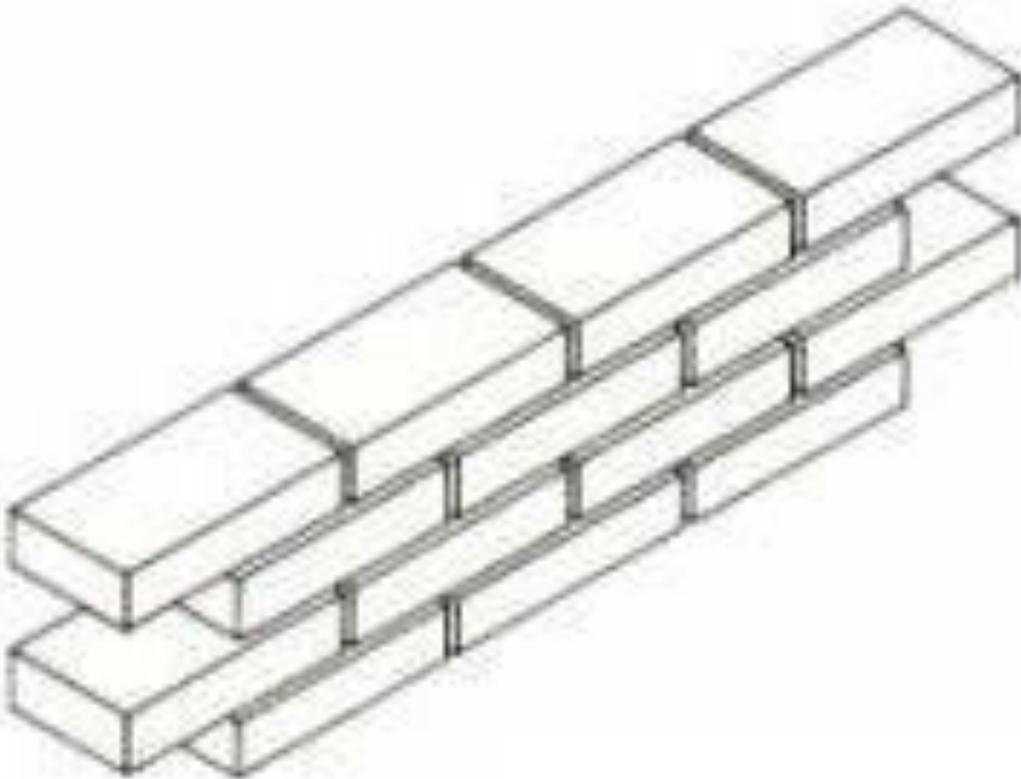


Ilustración 17. aparejamiento de sogas de una hilada.

16.3 DIMENSIONAMIENTO

Como ya se ha mencionado antes, se dimensionará con el tamaño de ladrillo estándar en España. Además, se dimensionará partiendo de la hipótesis de que no hay huecos en los muros, y que de haber asentamientos, estos serán uniformes.

De acuerdo con el CTE es necesario que el espesor mínimo sea 115mm y que la relación de la altura del muro con el espesor sea menor a 27 por la esbeltez.³⁷ De este modo comprobamos con nuestros datos e hipótesis, teniendo muros de 3m de altura:

$$\frac{h}{t} \leq 27; \frac{3}{0,115} = 26,1 < 27$$

Por tanto, será válido realizar una sola hilada. De nuevo, hay que tener en cuenta que estos muros no son de carga.

16.3.1 AXIL

Para dimensionar el axil, dado que la única carga que hay en los muros es la propia, se debe calcular la carga que el muro ejerce en la base. Para ello se debe calcular el peso total del adobe más el cemento, esto se hará con una densidad total:

$$\rho_t = \frac{\rho_a \cdot v_a + \rho_c \cdot v_c}{v_t}$$

Siendo estas las densidades y volumen que hay en un ladrillo de adobe con el cemento del aparejo. Por tanto:

$$\begin{aligned} \rho_t &= \frac{1500 \cdot (0,24 \cdot 0,115 \cdot 0,0525) + 2500 \cdot 0,005 \cdot (2 \cdot 0,24 \cdot 0,115 + 2 \cdot 0,24 \cdot 0,0525 + 2 \cdot 0,115 \cdot 0,0525)}{0,25 \cdot 0,125 \cdot 0,0625} \\ &= \frac{1704,67kg}{m^3} \end{aligned}$$

Con esta densidad el peso de los muros y la carga que ejerce será

$$\frac{1704,67 \cdot 3 \cdot 0,115 \cdot 1 \cdot 9,81}{0,115 \cdot 1} = 52459,51Pa$$

³⁷ Código Técnico de edificación. Seguridad estructural: Fabrica. 2021. Sitio web: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-F.pdf>

Para 1m de muro. Como el límite del adobe es 1MPa concluimos que el muro soportara su propio peso.

16.4 CARGAS LATERALES

De nuevo las cargas laterales para las que dimensionaremos el muro serán las de las acciones del viento. Dimensionaremos para un tramo de muro de 1 m. Ya conocemos el valor de la presión del viento como 161,35N/m², y valoraremos el muro como viga empotrada en voladizo.

$$M_{max} = \frac{161,35 \cdot 3^2}{2} = 726,05Nm$$

Para este momento flector tendremos una tensión de

$$\sigma = \frac{726,05 \cdot 0,0575}{\frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 0,115^3} = 0,3294Mpa$$

Si evaluamos las acciones conjuntas

$$\sigma_c = 0,052 + 0,3294 = 0,3794Mpa$$

$$\sigma_t = 0,3294 - 0,052 = 0,2774Mpa$$

Observamos que existen esfuerzos de tracción, por tanto se considera necesario realizar un refuerzo el muro, la solución más óptima es la de asegurar los muros a los pilares mediante un pequeño armado longitudinal cada 0,5 m de altura de muro para asegurarlo. En caso de que esta solución no sea viable se estudiara la posibilidad de añadir vigas de hormigón encima de los muros.

16.5 DINTELES

En este apartado se dimensionarán los dinteles que se deberán situar encima de las puertas y ventanas para transmitir las cargas del peso del muro a los laterales de estos elementos.

16.5.1 PUERTAS

Para dimensionar el dintel es necesario conocer la carga de muro que hay encima del elemento. Sabemos que la puerta mide 2.1*0.8 m, por tanto habrá 0.9m de muro encima de la puerta. La carga que este ejerce es de

$$q = 0,9 \cdot 0,115 \cdot 1704,67 \cdot 9,81 = 1730,81N$$

Si empleamos dinteles de profundidad igual al ancho del muro (0,115m), y calculamos el dintel como una viga biapoyada

$$M = \frac{1730,81 \cdot 0,8^2}{8} = 138,46Nm$$

Para ese momento, considerando la misma madera que la empleada en las cerchas

$$8 \cdot 10^6 \geq \frac{138,46 \cdot \frac{a}{2}}{\frac{1}{12} \cdot 0,115 \cdot a^3} : a \geq 3,005cm$$

Por tanto tomaremos dinteles de 3,5cm. Para estos dinteles la máxima flecha será de 4mm (L/200)

Si calculamos la flecha

$$y_{max} = \frac{3}{584} \cdot \frac{q \cdot 0,8^4}{10926 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,035^3 \cdot 0,115} = 2,06mm$$

Por tanto estas medidas para el dintel son válidas

16.5.2 VENTANAS

El cálculo de las dimensiones de las ventanas es muy similar. Por decisión del autor, las ventanas se situarán a la altura de la puerta, dejando por tanto una altura de muro de 0,9m encima de estas. Las ventanas tienen unas dimensiones de 1.5*1.2m.

La carga será la misma, pero el flector será de

$$M = \frac{1730,81 \cdot 1,2^2}{8} = 311,55N_m$$

Para este flector, considerando el dintel como viga biapoyada tenemos

$$8 \cdot 10^6 \geq \frac{311,55 \cdot \frac{a}{2}}{\frac{1}{12} \cdot 0,115 \cdot a^3} : a \geq 4,51cm$$

Por tanto, emplearemos dinteles de sección 5*11,5cm

Si calculamos la flecha máxima como L/200, obtenemos un resultado de 6mm. Y para esta madera, con esta sección con estas cargas, la flecha máxima viene dada por:

$$y_{max} = \frac{3}{584} \cdot \frac{q \cdot 1,2^4}{10926 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,05^3 \cdot 0,115} = 3,6mm$$

Por tanto esta sección será válida.

16.6 MANTENIMIENTO

Como ya se mencionó en el documento, se sugiere realizar periódicamente el mantenimiento de los muros con una lechada de cal. Y el tratamiento de los dinteles será el mismo que el de las cerchas.

16.7 UNIONES

Como ya se ha mencionado antes, los muros irán unidos a los pilares con pequeños armamientos longitudinales que aseguren estos.

17. SOLERA

La solera se encarga de transmitir las cargas vivas, pero no es un elemento estructural, por tanto, no se dimensionará.

Para las soleras se proponen 2 alternativas: hormigón que deberá estar armado para evitar agrietarse con las cargas y las dilataciones y contracciones debidas a la temperatura. O con arcilla o arenas compactadas, que abaratarían significativamente el coste.

Se dimensionará los cimientos con solera de hormigón armado con un mallado, de un espesor de en torno a 10-15 cm, lo suficiente para realizar el armado. Tendrá unas medidas de 33*9,4m e irá encima del suelo, por lo que el armado deberá estar a una altura para que no se oxide.

18. CIMENTOS

Como ya se ha mencionado, no se conocen el 100% de las condiciones de contorno y las características del terreno en el que se quiere realizar la edificación, y las hipótesis que se realizaran a la hora de caracterizar el suelo se realizaran en base a las conclusiones extraídas por Alberto Mascareñas, autor de edificio sostenible para colegio de formación profesional en Zimbabwe, del estudio geotécnico realizado a 30km de la zona en cuestión.

18.1 CARGAS TRANSMITIDAS AL SUELO

Antes de proceder con el dimensionado es necesario conocer las cargas que la cimentación transmitirá al suelo, siendo estas las muertas. (cubierta, cerchas, correas, pilares y muros)

Para el cálculo de estas cargas se realizarán las siguientes hipótesis:

1. Los muros se dimensionarán sin huecos, es decir sin puertas y ventanas, lo cual será una carga mayor de la que hay en realidad, proporcionando de esta manera un factor de seguridad
2. Se tendrá en cuenta el peso del cemento entre ladrillos, tal y como se calculo para el apartado muros
3. Las cargas vivas son soportadas por la solera, que las transmite directamente al suelo, al considerarse estas despreciables.
4. La cubierta se dimensionará como cubierta de panel sándwich con chapa de acero, siendo esta la opción más pesada
5. Las cerchas se dimensionarán con Acacia negra y todas como la más solicitada, pudiendo variar esto a la hora de implementarlas
6. Las correas se dimensionarán con acacia negra y como las más solicitadas, pudiendo variar estas a la hora de implementarlas
7. Los pilares se dimensionarán todos como el más solicitado, y de hormigón armado
8. Se aplicarán coeficientes de mayoración en situación desfavorable (1,35)

Siguiendo estas hipótesis se elabora la siguiente tabla:

Elemento	Volumen	Densidad	Peso (*nº elem)	Peso mayorado
Tejado			3186.5	4301,78
Correas	0,33	564	528	712.8
Cerchas	0,117	564	930.6	1256.31
Muros	30,77	1704,67	52459.51	70820.34
Pilares	0,315	2500	12600	17010
resultado				94101.22Kg

Tabla 9: Peso total sobre cimientos. Fuente: Propia

18.2 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO

Como ya se ha mencionado, para la caracterización del suelo se extrapolarán las conclusiones sacadas por A. Mascareñas del estudio geotécnico existente. Este dice **“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.”**

Por lo que, si queremos realizar una cimentación superficial, de 1 a 3 metros de profundidad, nos encontraremos con suelos como el alterado, limos arcillosos o el relleno antrópico. Tomando el caso más desfavorable y atendiendo a los valores de la tabla 4, podemos concluir que nuestro terreno tendrá una resistencia de 5000Kg/m²

18.3 DIMENSIONADO

Para el dimensionado de la zapata se tomará el pilar más desfavorable, y solo para los pilares.

Se evaluará el área de la zapata como:

$$A = \frac{P_{serv}}{F'_C}$$

Siendo P la carga de servicio del pilar más solicitado, calculada con el área de servicio del pilar, siendo esta de 4.9*4.7m.

$$P_{serv} = \frac{4,9 \cdot 4,7 \cdot 94101,22}{310,2} = 6986,3kg$$

Y para esta carga de servicio el área mínima de la zapata, teniendo en cuenta que la resistencia del suelo es de 5000, escogiendo zapata cuadrada, será de 1,18m², por tanto el lado de la zapata escogido será de 1,5m.

Para dimensionar el canto se toma la zapata como flexible, y con el pilar de 30*30cm

$$h = \frac{v}{2} : V = \frac{A - a}{2} : h = 0,3 : V = 0,6Cm$$

siendo A el lado de la zapata, a la distancia del pilar al extremo de la zapata, y V el vuelo. Concluimos que el canto necesario para la zapata es de 30cm

Sabemos que existirán cargas de cortante y posiblemente de tracción que se transmitan a la zapata, por esto y por las posibles dilataciones y contracciones del material por la temperatura, se considera necesario armar las zapatas con varillas de acero de 12 como los pilares y como continuación, incluyendo el mallado cuadrado para el cortante y pandeo. Finalmente deberá tener un emparrillado en el inferior, que deberá estar elevado con el objetivo de que no se oxide.

Se quiere realizar una cimentación de 0,5m, por ello será necesario calcular el límite de presión teniendo en cuenta las cargas del peso propio y del suelo.

$$P_t = 6986.3 + 2500 \cdot (1,5^2 \cdot 0,3 + 0,3^2 \cdot 0,2) + 1600^{38} \cdot ((1,5^2 - 0,3^2) \cdot 0,2)$$

$$= 9410kg$$

³⁸ Ingemecánica. Tablas de pesos específicos y densidades de los materiales. 2021. sitio web: <https://www.ingemecanica.com/tutoriales/pesos.html>

Si dividimos este peso por el área de la zapata, tendremos la presión que esta ejerce sobre el terreno, siendo esta de 4182Kg y por tanto válida para esta cimentación.

En cuanto a la carga de compresión que soportara la zapata, vendrá dada por la carga transmitida al pilar mayorada más el peso propio de este:

$$\sigma = \frac{5652,15 \cdot 1,35 + 2500 \cdot (0,3^2 \cdot 3,5)}{0,3^2} = 0,171 \text{Mpa}$$

Aunque este calculo no incluye el peso de los muros, se considera que este, para el limite de resistencia a compresión de más de 20MPa es irrelevante

18.4 SEGURIDAD EN LOS CIMENTOS

Hay que asegurar que los cimientos son seguros al vuelco y al deslizamiento

18.4.1 VUELCO

Esta se calcula como el cociente de los momentos estabilizadores entre los desestabilizadores, y el resultado debe ser mayor a 1,5.

$$\frac{(N + p) \cdot \frac{a}{2}}{V \cdot n} = \frac{(7630,4 + 2475 \cdot 9,81)}{169,41 \cdot 0,3} = 470,9$$

Este es el cociente de las cargas mayoradas mas el peso propio entre el cortante del pilar por el canto. Y es superior a 1,5.

18.4.2 DESLIZAMIENTO

Esta se calcula como el cociente de la fuerza de rozamiento y la fuerza horizontal, y debe ser superior a 1,5

$$\frac{(N + p) \cdot 9,81 \cdot \tan\left(\frac{2\varphi}{3}\right)}{v} = \frac{(7630,4 + 24279,8) \cdot \tan\left(\frac{34}{3}\right)}{169,41} = 370,35$$

Siendo ϕ el ángulo de fricción, que para el caso de las arcillas es 17° . Con estos valores podemos afirmar que la estructura es segura ante deslizamientos y vuelcos.

DOCUMENTO II

PRESUPUESTOS

En el siguiente documento se desea hacer una estimación lo más precisa posible del presupuesto necesario para financiar el proyecto. Dado que los precios de los materiales son difíciles de extraer del mercado de Zimbabwe, estos presupuestos se harán con los precios de los materiales en España. Para la elaboración de los presupuestos se emplea una herramienta de CYPE Ingenieros, S.A.³⁹ De acuerdo con la elaboración, diseño y cálculos del proyecto se clasificará el presupuesto de la siguiente manera.

1. Acondicionamiento para cimentación
 - Desbroce y limpieza de la superficie
 - Excavación
 - nivelación

2. Cimentación superficial y pilares de carga
 - Zapatas aisladas
 - Solera
 - Pilares

3. Estructuras
 - Correas
 - Cerchas

4. Fachada
 - Muros de fábrica
 - Dinteles

5. Carpintería
 - Puertas
 - ventanas

6. Tejado
 - Cubierta

³⁹ CYPE ingenieros S.A. generador de precios, España. 2021. Sitio web: <http://www.generadordeprecios.info/#gsc.tab=0>

7. Revestimientos y pinturas

- Pintura exterior
- Pintura interior

Para los precios de materiales obtenidos con la herramienta, los presupuestos o Resultantes son:

Acondicionamiento para cimentación

acondicionamiento para cimentación						
ADL005	m2	Desbroce y limpieza superficie manual				
Código	unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1 mq09bro010	h	Equipo y maquinaria	0,02		4	0,08
2 mo113	h	Mano de obra	0,192		17,82	3,42
3	%	Costes Directos Complementarios	2		6,92	0,14
total (€)						7,06
ADE001	m3	Excavacion manual				
Codigo	unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1 mo113	h	Mano de obra	1,688		17,82	30,08
2	%	Costes Directos Complementarios	2		30,08	0,6
total (€)						30,68
ANE010	m2	Nivelación				
Código	unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1 mt01are020a	h	Gravilla de cantera	0,22		18,25	4,02
2 mq01pan010a	h	Pala cargadora	0,011		40,23	0,44
mq02rod010d	h	Bandeja vibrante	0,011		6,39	0,07
mq02cia020j	h	Camion Cisterna	0,011		40,08	0,44
3 mo113	h	Mano de obra	0,21		17,82	3,74
4	%	Costes Directos Complementarios	2		8,71	0,17
total (€)						8,88

Tabla 10: desglose presupuesto cimentación

De acuerdo con la tabla, sabiendo que tenemos que cubrir una área total de 311m² y un volumen de solera de 155,1m³, obtenemos unos presupuestos de 9703,06€ en acondicionar el terreno

Para este acondicionamiento, el coste por la mano de obra es de 6886,44€

Cimentación y pilares

Cimentacion superficial y pilares de carga						
CSZ010	m3	zapata aislada				
Código	unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt07aco020a	ud	separador para cimentaciones	8	0,15	1,2
	mt07aco010c	kg	ferralla de acero corrugado	50	1,6	80
	mt08var050	kg	alambre galvanizado	0,2	1,1	0,22
	mt10haf010ctLc	m3	hormigon HA-25/F/20/XC2	1,1	80,88	88,97
2	mo043	h	mano de obra	0,08	19,81	1,58
	mo090	h		0,12	18,78	2,25
	mo045	h		0,05	19,81	0,99
	mo092	h		0,3	18,78	5,63
3	%		costes directos complementarios	2	180,84	3,72
total (€)						184,46
CSL010	m3	losa de cimentacion				
Código	unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt07aco020a	ud	separador cimentaciones	5	0,15	0,75
	mt07aco010g	kg	acero en barras corrugadas	86,7	1,22	105,77
	mt08var050	kg	alambre galvanizado	0,425	1,1	0,47
	mt10haf010ctLc	m3	hormigon HA-25/F/20/XC2	1,05	80,88	84,92
2	m06vib020	h	regla vibrante	0,33	4,67	1,56
	m06bhe010	h	camion bomba	0,042	170	7,14
3	mo043	h	mano de obra	0,544	19,81	10,78
	mo090	h		0,816	18,78	15,32
	mo045	h		0,009	19,81	0,18
	mo092	h		0,12	18,78	2,25
4	%			2	229,14	4,58
total (€)						233,72
EHS010	m3	Pilares de carga				
Código	unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt07sep010ac	ud	separador	12	0,07	0,84
	mt07aco010c	kg	ferralla de acero corrugado	120	1,6	192
	mt08var050	kg	alambre galvanizado	0,6	1,1	0,66
	mt08eup010b	m2	chapa metaliza encofrado	0,32	48	15,36
	mt50spa081a	ud	puntal metalico	0,09	16,04	1,59
	mt08var040a	ud	berenjeno	17,8	0,35	6,23
	mt08dba010d	l	agente desmoldeante	0,4	2,19	0,88
	mt10haf010ctLc	m3	hormigon HA-25/F/20/XC2	1,05	80,88	84,82
2	m06bhe010	h	mano de obra	0,158	170	26,86
3	mo044	h		4,76	19,81	4,3
	mo091	h		5,44	18,78	102,16
	mo043	h		0,672	19,81	13,31
	mo090	h		0,672	18,78	12,62
	mo045	h		0,1	19,81	1,98
	mo092	h		0,4	18,78	7,51
4	%		costes directos complementarios	2	561,22	11,22
total (€)						572,44

Tabla 11: desglose presupuesto cimentaciones

Si prestamos atención a las tablas, sabiendo que tenemos un volumen de zapatas de 10,8, un volumen de solera de 31.02 y un volumen de pilares de 5,04, obtenemos un presupuesto total de 12127,26€ hay que tener en cuenta que los pilares están sobredimensionados, y dado que los muros no son de carga y son de una hilada, la solera se puede hacer con arcilla compactada. Los costes de mano de obra en este caso son de 1692,26€.

Estructuras

estructuras						
EMC030	m	correas				
Código	unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt07mee020bd	m	Correa de pino (acacia negra)	1	3,96	3,96
2	mo048	h	mano de obra	0,069	18,42	1,27
	mo095	h		0,034	17,25	0,59
3	%		costes directos complementarios	2	5,82	0,12
			total (€)			5,94
EMC015	m3	cerchas				
Código	unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt07mee100dai1baa	m3	madera de pino (acacia)	1	558,54	558,54
	mt07emr403a	kg	elementos de union	2,5	11,4	28,5
2	mq07gte010b	h	grua	5,7	57	324,9
3	mo048	h	mano de obra	10,35	19,81	205,03
	mo095	h		5,3	18,78	99,53
4	%		costes directos complementarios	2	1216,5	24,33
			total (€)			1240,83

Tabla 12: desglose de presupuestos de la estructura

Con los datos de la tabla, sabiendo que los metros de correa totales son 165 y el volumen de cerchas total es de 0,117m³ tenemos un presupuesto de 1125,18€ y unos gastos por mano de obra de 342,53€. De nuevo, se sabe que las cerchas están sobredimensionadas, y se puede ahorrar material si fuera necesario.

Fachada

Fachada						
FFP010	m2	muros				
Código	unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt05mmq010a	ud	ladrillo ceramico macizo	58	0,34	19,72
	mt08aaa010a	m3	agua	0,013	1,5	0,02
	mt09mif010cb	t	mortero	0,073	30,98	2,26
2	mq06mms010	h	mezclador	0,278	1,73	0,48
3	mo021	h	mano de obra	1,03	10,03	19,6
	mo114	h		1,088	17,82	19,39
4	%		costes directos complementarios	2	61,47	1,23
			total (€)			62,7
FCM010	m	dinteles				
Código	unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt07mee050aad	m3	madera de pino (acacia)	0,01	428,37	4,28
2	mo017	h	mano de obra	0,065	19,31	1,26
	mo058	h		0,033	18,16	0,6
3	%		costes directos complementarios	2	6,14	0,12
			total (€)			6,26

Tabla 13. desglose de presupuestos de la fachada

Sabiendo que tenemos un área de fachada de 267,6 (sin huecos), y una longitud total de dinteles de 22.4, obtenemos un presupuesto de 16918,74€, y un coste de mano de obra de 10457,39€.hay que tener presente que para el calculo del área, no se resta el área de puertas y ventanas.

carpintería

carpintería						
LEA010	ud	puertas				
Código	unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt26pec010baaa	ud	Puerta de entrada de acero	1	330,31	330,31
	mt26pec015a	ud	premarco de acero	1	50	50
	mt15sja100	ud	masilla de silicona	0,2	3,13	0,63
2	mo020	h	mano de obra	0,5	19,03	9,52
	mo113	h		0,5	17,82	8,91
	mo018	h		0,55	19,28	10,6
	mo059	h		0,55	18,09	9,95
3	%		costes directos complementarios	2	419,92	8,4
total (€)						428,32
LVP010	m2	ventanas				
Código	unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt21vpi010a	m2	luna incolora	1	13,21	13,21
	mt21vva010	m	sellado de juntas	3,5	0,85	2,96
	mt21vva021	ud	material auxiliar	1	1,26	1,26
2	mo055	h	mano de obra	0,2	20,27	4,05
	mo110	h		0,2	19,21	3,84
3	%		costes directos complementarios	2	25,4	0,51
total (€)						25,93

Tabla 14. desglose de presupuestos de carpintería

Sabiendo que hay 4 puertas y 22 ventanas, con un área de 39,6m² obtenemos un presupuesto de 2740,11€ de los cuales 430,28€ son por la mano de obra.

Tejado

tejado						
QTA010	m2	Cubierta de acero				
Código	unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt13ccg010b	m2	chapa de acero	1,1	8,12	8,93
	mt13ccg030d	ud	tornillo de acero	3	0,5	1,5
2	mo051	h	mano de obra	0,15	17,82	2,69
	mo098	h		0,15	16,13	2,44
3	%		costes directos complementarios	2	15,56	0,31
total (€)						16,35

Tabla 15. desglose del presupuesto del tejado

Si observamos la tabla, sabiendo que tendremos 330m² de cubierta, obtenemos un presupuesto de 5395.5€ del cual 1693€ son por mano de obra

Revestimientos y pintura

Revestimiento y pintura						
RFC020	m2	exterior				
Código	unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt27pci010a	l	imprimacion granulosa	0,175	0,653	1,14
	mt27pir200e	l	pintura de cal	0,58	16,5	9,59
2	mo038	h	mano de obra	0,12	19	2,28
	mo076	h		0,12	18	2,17
3	%		costes directos complementarios	2	15,18	0,3
			total €)			15,48
RIC020	m2	interior				
Código	unidad	Descripción	Rendimiento (€)	Precio Unitario (€)	Importe (€)	
1	mt27pci010a	l	imprimacion granulosa	0,175	0,653	1,14
	mt27pir200g	l	pintura de cal	0,58	16,5	9,59
2	mo038	h	mano de obra	0,12	19	2,1
	mo076	h		0,12	18	2
3	%		costes directos complementarios	2	15,18	0,3
			total €)			15,18

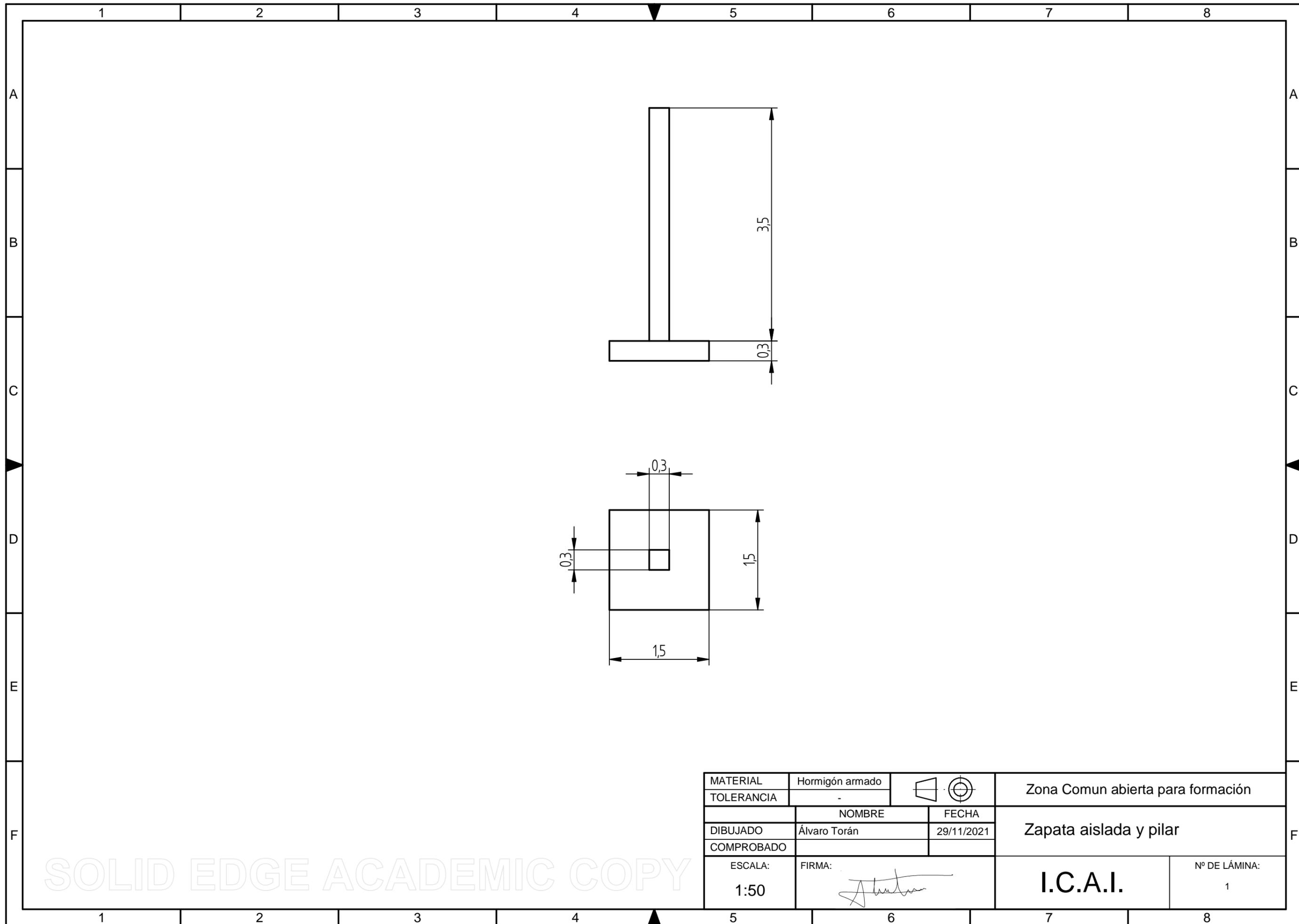
Tabla 16. desglose presupuestos de la pintura

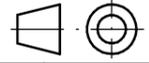
Sabiendo que el área de muro es de 267,6 sin huecos, obtenemos un presupuesto de 8204,62€ del cual 2287,98€ son por la mano de obra

Es importante saber los costes de mano de obra calculados, ya que se sabe por obras anteriores que el presupuesto total de mano de obra es de 1500-2000€, por tanto nuestro presupuesto, con los costes por mano de obra actualizados, es de 33908,09 €

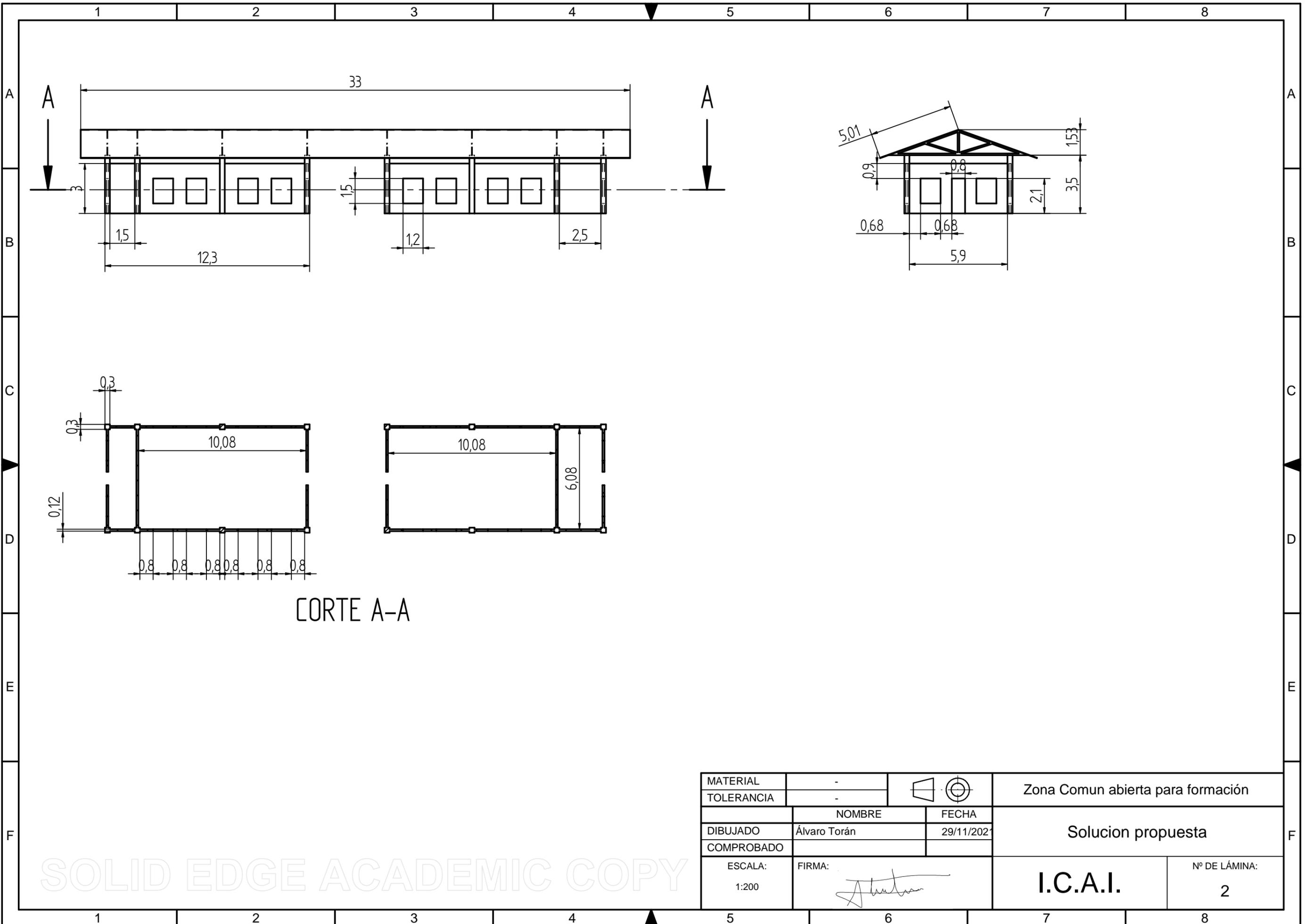
DOCUMENTO III

PLANOS

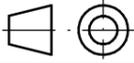


MATERIAL	Hormigón armado		Zona Comun abierta para formación
TOLERANCIA	-		
	NOMBRE	FECHA	Zapata aislada y pilar
DIBUJADO	Álvaro Torán	29/11/2021	
COMPROBADO			
ESCALA:	FIRMA:		I.C.A.I.
1:50			Nº DE LÁMINA: 1

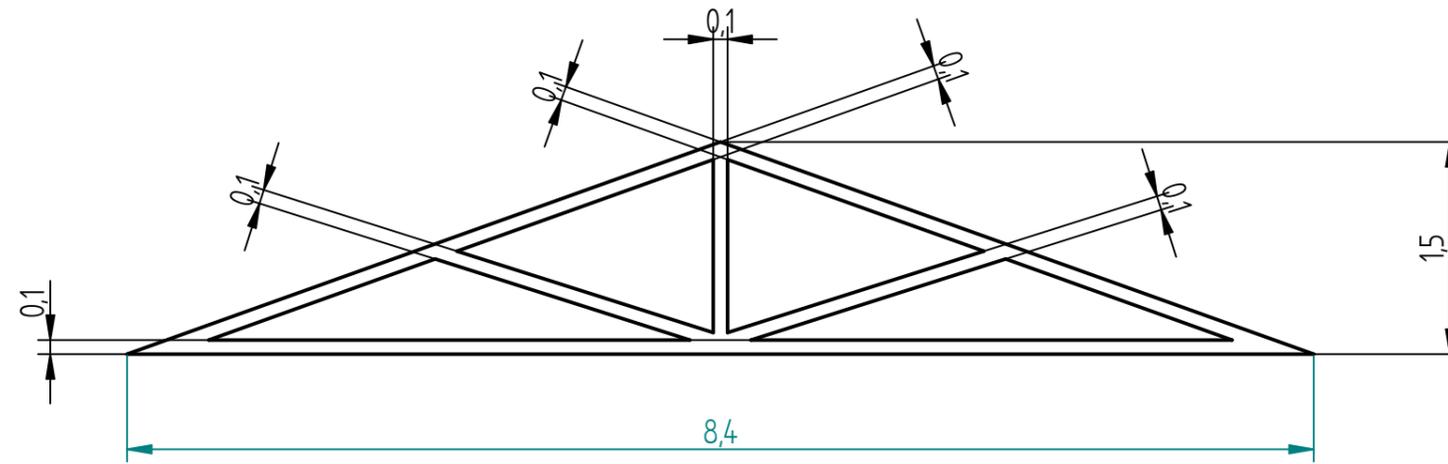
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



CORTE A-A

MATERIAL	-		Zona Comun abierta para formación
TOLERANCIA	-		
DIBUJADO	Álvaro Torán	FECHA	Solucion propuesta
COMPROBADO		29/11/2021	
ESCALA:	FIRMA:		I.C.A.I.
1:200			
			2

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



MATERIAL	-		Zona Comun abierta para formación
TOLERANCIA	-		
	NOMBRE	FECHA	Cercha
DIBUJADO	Álvaro Torán	29/11/2021	
COMPROBADO			
ESCALA:	FIRMA:		Nº DE LÁMINA:
1:50			3
			I.C.A.I.

SOLID EDGE ACADEMIC COPY