



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Análisis de la instalación de una turbina hidráulica en Camerún

Autor: Silvia Martínez de Pinillos Hijosa

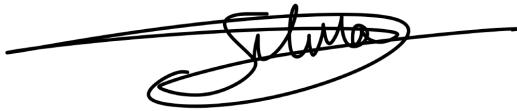
Director: Francisco Tovar Rodríguez,

Co-Director: Raquel Caro Carretero

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Análisis de la instalación de una turbina hidráulica en Camerún en la ETS de Ingeniería
- ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2020/21 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

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



Fdo.: Silvia Martínez de Pinillos Hijosa

Fecha: 29.../06.../2021

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Francisco Tovar Rodríguez

Fecha: 29...5/...1



Fdo.: Raquel Caro Carretero

Fecha: 29...06...2021



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Análisis de la instalación de una turbina hidráulica en
Camerún

Autor: Silvia Martínez de Pinillos Hijosa

Director: Francisco Tovar Rodríguez

Co-Director: Raquel Caro Carretero

Madrid

ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE UNA TURBINA HIDRÁULICA EN CAMERÚN

Autor: Martínez de Pinillos Hijosa, Silvia.

Director: Tovar Rodríguez, Francisco.

Co-Director: Caro Carretero, Raquel.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este Trabajo de Fin de Grado trata de una instalación artesanal de una turbina hidráulica en zonas rurales de Camerún. Camerún es un lugar idóneo para la instalación de este tipo de energías renovables ya que presenta numerosos saltos de agua, además, en este tipo de países menos desarrollados existe una gran brecha social entre los habitantes de las zonas urbanas y los habitantes de las zonas rurales, por lo que este proyecto supondría la reducción de dicha brecha, haciendo que la calidad de vida de aquellos que viven en zonas rurales sea mejor. Durante la realización del proyecto se fabricará un prototipo que será ensayado en laboratorio de Mecánica de Fluidos para comprobar su correcto funcionamiento y asegurar el máximo rendimiento posible.

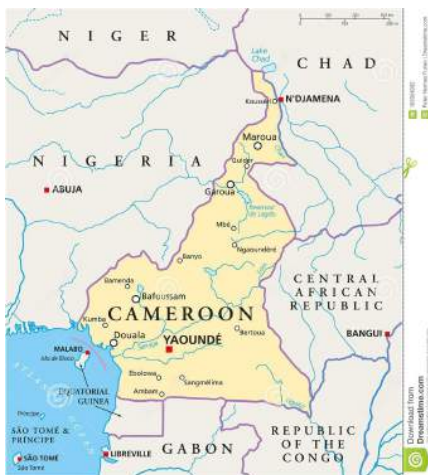


Figura 1: Mapa político de Camerún



Figura 2: Salto de agua presente. Fuente: Tovar (2011)

Palabras clave: Turbina, Artesanal, Camerún.

1. Introducción

El proyecto Kumbo nace de una colaboración entre Ingenieros del ICAI para el Desarrollo y Energías sin Fronteras. Este proyecto tenía como propósito dotar de energía eléctrica a una granja escuela que se crea gracias a la ONG Shumas en 2007, de forma que fuese posible el autoabastecimiento con el mínimo impacto en el entorno. En esta escuela se inicia a los alumnos en técnicas como el cultivo, cuidado de aves y ganado, estabulación y a la gestión de una pequeña piscifactoría. Además, la idea es que los alumnos puedan extender el conocimiento adquirido sobre estas técnicas agropecuarias a sus pueblos de origen, tras su estancia en la granja escuela, a la vez que conocen las energías renovables.

El proyecto comprende cinco tipos de energías renovables: minihidráulica, microeólica, fotovoltaica, solar térmica y biogás. Todas estas tecnologías, con la excepción de la solar térmica, ya se encuentran instaladas y para su montaje participaron voluntarios que viajaron a Kumbo para impartir cursos de operación y mantenimiento para que las personas locales pudiesen encargarse de estas tareas. Gracias a este proyecto, se cubren las necesidades energéticas de la granja escuela, así como las necesidades de una comunidad cercana a esta, la aldea de Bambzeng.

2. Definición del Proyecto

Este trabajo de fin de grado nace del interés presentado por parte de las comunidades cercanas para tener a su alcance dichas formas de energía. El principal objetivo de este proyecto es la fabricación artesanal de una turbina hidráulica en Madrid, con elementos y materiales que puedan estar disponibles en Camerún, para transferir posteriormente la tecnología allí. La instalación de turbinas hidráulicas es un medio adecuado de proporcionar energía a Kumbo, ya que en la región se encuentran varios saltos de agua de entre 10 y 30 metros de altura. La intención presente en este proyecto es enseñar a los habitantes de las regiones cercanas a Kumbo los conocimientos necesarios para poder construir dichas turbinas a partir de materiales y equipos que se puedan encontrar y adquirir de forma asequible en Camerún.

3. Descripción de la metodología seguida

Para un correcto desarrollo de cualquier proyecto es necesario una organización determinada. En el caso del desarrollo de este Trabajo Fin de Grado se ha decidido dividirlo en distintas secciones que van desde aspectos más teóricos a la pura práctica pasando por la justificación económica. Se dividen cuatro secciones:

La primera de ellas trata sobre el “Estado de la cuestión”, en ella se desarrolla como se encuentra el estado del arte en la actualidad en diversos países considerados como poco desarrollados tratando de establecer analogías entre estos países y Camerún.

La segunda sección es una sección teórica donde se tratan los fundamentos de las máquinas hidráulicas y de las turbinas hidráulicas, exponiendo la clasificación de estas últimas.

La tercera sección trata el diseño teórico de la turbina, basándose en un caudal y en una altura conocida, para obtener el número específico de revoluciones, la velocidad de salida del chorro, la velocidad periférica del rodete, el diámetro del rodete, el ángulo de salida del rodete y el par teórico entregado por el rodete.

Una vez establecido el diseño teórico, tiene lugar la cuarta sección del trabajo: ensayos. Para la realización de estos se traslada el prototipo al laboratorio de Fluidos de ICAI, donde con la ayuda del profesor del departamento de mecánica Luis Mochón, se ensaya el prototipo.

Finalmente, la última sección incluye un análisis económico que incluye la realización del presupuesto, búsqueda de financiación, sostenibilidad, análisis de sensibilidad y el impacto social del proyecto.

4. Resultados

Los resultados obtenidos parten de distintos ensayos. El prototipo se ensaya según distintos escenarios:

1. Apertura de un chorro para distintos saltos de agua.
2. Apertura de dos chorros para distintos saltos de agua.

Número de válvulas abiertas	Presión [bar]	Caudal [l/h]	Revoluciones [rpm]
1	0,5	1350	515
	1	1800	890
	1,5	2150	1126
	2	2500	1354
	2,5	2700	1458
	2,7	2850	1574
2	0,5	2500	703
	1	3600	1091
	1,5	3900	1376
	2	4500	1572
	2,2	4700	1695

Tabla 1: Ensayos para uno y dos chorros abiertos

Altura [mca]
5,1
10,2
15,3
20,4
25,5
27,5

Tabla 2: Altura para un chorro de agua

Altura [mca]
5,1
10,2
15,3
20,4
22,4

Tabla 3: Altura para dos chorros de agua

5. Conclusiones

Tras analizar las dos partes que componen este Trabajo Fin de Grado (ingeniería y financiera), se puede concluir que son necesarios una serie de mejoras, entre ellas, está mejorar la parte mecánica ya que el eje del alternador no se encuentra nivelados y los rodetes no están perfectamente concéntricos.

Adicionalmente, el alternador utilizado no proporcionó la suficiente potencia eléctrica, por lo que será necesario comprobar, a posteriori, su correcto funcionamiento o, en su caso, sustituirlo por otro.

En cuanto a la parte económica, se considera económicamente viable al haber numerosas opciones que van desde donaciones de particulares hasta el apoyo de empresas privadas.

Como conclusión, todos los proyectos deben tener como objetivo final el beneficio común y este proyecto se basa en eso, en beneficiar a una comunidad y mejorar la vida de aquellas personas que más puedan necesitarlo, además de proporcionar conocimientos de la fabricación e instalación, así como de energías renovables. Además, este proyecto tiene como finalidad ser una guía para otros que lo puedan necesitar a la hora de instalar turbinas en zonas donde sea posible su instalación.

ANALYSIS OF THE INSTALATION OF A HYDROPOWER TURBINE IN CAMEROON

Author: Martínez de Pinillos Hijosa, Silvia.

Supervisor: Tovar Rodríguez, Francisco.

Cosupervisor: Caro Carretero, Raquel.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This Final Degree Project consists of an artisanal installation of a hydraulic turbine in rural areas of Cameroon. Cameroon is an ideal place for installing this type of renewable energy as it has numerous waterfalls, in addition, in this type of less developed countries there is a large social inequality between the inhabitants of urban areas and the inhabitants of rural areas, which is why this project would mean the reduction of this inequality, making the quality of life of those living in rural areas better. During the project, a prototype will be proposed and tested in the Fluid Mechanics laboratory to check its correct operation and ensure the maximum possible performance.

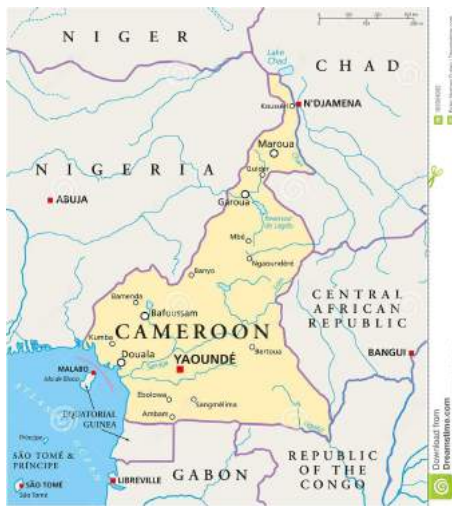


Figura 3: Map of Cameroon



Figura 4: Waterfall. Fuente: Tovar (2011).

Keywords: Turbine, Artisanal, Cameroon

1. Introduction

The Kumbo project arises from a collaboration between ICAI Engineers for Development and Energies without Borders. The purpose of this project was to provide electricity to a farm school that was created with the support of the NGO Shumas in 2007, so that it would be possible to be self-sufficient with the minimum impact on the environment. In this school, students are introduced to techniques such as cultivation, poultry and livestock care, animal husbandry as well as management of a small fish farm. In addition, the idea is that the students can extend the knowledge acquired about these farming techniques to their villages of origin, after their stay at the farm school, while at the same time learning about renewable energies.

The project includes five types of renewable energy: mini-hydro, micro-wind, photovoltaic, solar thermal and biogas. All of these technologies, apart from solar thermal, have already been installed, and volunteers travelled to Kumbo to give operation and maintenance courses to enable local people to carry out these tasks. With this project, the energy needs of the farm school are covered, as well as the needs of a nearby community, the village of Bambzeng.

2. Project Definition

This Final Degree Project arises from the interest shown by the nearby communities to access these forms of energy. The main objective of this project is to manufacture a handmade hydraulic turbine in Madrid, with elements and materials that may be available in Cameroon, in order to transfer the technology there. The installation of hydraulic turbines is a suitable way of providing energy to Kumbo, as there are several waterfalls of between 10 and 30 metres in height in the region. The intention of this project is to teach the inhabitants of the regions around Kumbo the skills needed to build such turbines from materials and equipment that can be found and purchased cheaply in Cameroon.

3. Description of the methodology followed

In order to develop any project correctly, it is necessary to have a specific organization. For this Final Degree Project, it has been decided to divide it into different sections, ranging from more theoretical aspects to purely practical aspects, including economic justification. It is divided into four sections:

The first of these deals with the "State of the question", in which the state of the art is currently being developed in various countries considered to be underdeveloped, trying to establish analogies between these countries and Cameroon.

The second section is a theoretical section which deals with the fundamentals of hydraulic machines and hydraulic turbines, explaining the classification of the turbines.

The third section deals with the theoretical design of the turbine, based on a known flow rate and head, to obtain the specific number of revolutions, the flow exit velocity, the peripheral velocity of the runner, the diameter of the runner, the exit angle of the runner and the theoretical torque delivered by the runner.

Once the theoretical design has been established, the fourth section of the work takes place: trials. To carry out these trials, the prototype is taken to the Fluids Laboratory of ICAI, where, with the help of Luis Mochón, the prototype is tested.

Finally, the last section includes an economic analysis that includes the budget, the search for financing, sustainability, sensitivity analysis and the social impact of the project.

4. Results

The results achieved are based on different trials. The prototype is tested according to different scenarios:

1. Opening of a jet for different water jumps.
2. Opening of two jets for different water jumps.

Valves open	Pressure [bar]	Flow rate [l/h]	Speed [rpm]
1	0,5	1350	515
	1	1800	890
	1,5	2150	1126
	2	2500	1354
	2,5	2700	1458
	2,7	2850	1574
2	0,5	2500	703
	1	3600	1091
	1,5	3900	1376
	2	4500	1572
	2,2	4700	1695

Tabla 4: Trials for one and two open jets

Height [mca]
5,1
10,2
15,3
20,4
25,5
27,5

Tabla 5: Height for one open jet

Height [mca]
5,1
10,2
15,3
20,4
22,4

Tabla 6: Height for two open jet

5. Conclusions

Having analyzed the two parts that compose this Final Degree Project (engineering and financial), it is possible to conclude that a series of adjustments are necessary, including improving the mechanical part, as the alternator axis is not levelled and the rotors are not perfectly concentric. As for the economic part, it is considered economically viable as there are numerous options ranging from donations from individuals to the support of private companies.

In addition, the alternator used did not provide sufficient electrical power, so it will be necessary to check its correct operation a posteriori or, if necessary, replace it with another one.

In conclusion, all projects should have the ultimate goal of common benefit and this project is based on that, to benefit a community and improve the lives of those people who may need it most, as well as providing knowledge of manufacturing and installation, as well as renewable energies. In addition, this project aims to be a guide for others who may need it when installing turbines in areas where it is possible to install them.

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN	23
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	25
2.1. Resumen del proyecto	25
2.2. Objetivos del Proyecto	26
2.2.1. Objetivo General	26
2.2.2. Objetivos Específicos	27
2.3. Motivación y justificación del Proyecto	27
2.3.1. Justificación técnica.....	28
2.3.2. Justificación económica.....	28
2.3.3. Justificación social	29
2.3.4. Justificación medioambiental.....	29
2.4. Metodología de trabajo	30
2.5. Estado del arte	32
3. ASPECTOS TEÓRICOS.....	41
3.1. Fundamentos de las turbomáquinas	41
3.2. Fundamentos de las turbinas hidráulicas	42
3.3. Clasificación	43
4. DISEÑO DE UNA TURBINA.....	49
4.1. Medición del salto de altura y caudal	49
4.2. Cálculo del número específico de revoluciones	51
4.3. Cálculo de la velocidad de salida del chorro	54
4.4. Cálculo de la velocidad periférica del rodete	54
4.5. Diámetro del rodete.....	55
4.6. Ángulo de salida del agua del rodete.....	55
4.7. Par teórico entregado por el rodete	56
4.8. Elección del alternador	57
5. PROTOTIPO PROPUESTO.....	58
5.1. Proceso de fabricación del prototipo.....	58
5.2. Partes principales.....	61
5.3. Lista de materiales	68

6. ENSAYOS REALIZADOS	69
6.1. Recogida de datos.....	69
7. ANÁLISIS ECONÓMICO	74
7.1. Presupuesto.....	74
7.2. Precios de equipos de Camerún	76
7.3. Financiación.....	79
7.4. Sostenibilidad	80
7.5. Análisis de sensibilidad	83
7.6. Impacto Social.....	87
8. Conclusiones.....	89
9. Bibliografía	90
ANEXO A: Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	92
ANEXO B: Planos	95

Índice de figuras

Figura 1: Mapa político de Camerún	6
Figura 2: Salto de agua presente. Fuente: Tovar (2011).....	6
Figura 3: Map of Cameroon.....	11
Figura 4: Waterfall. Fuente: Tovar (2011).....	11
Figura 5: Salto de agua presente en la zona. Fuente: Tovar (2011).....	33
Figura 6: Rotor de la turbina. Fuente: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/maldonado_qf/maldonado_qf.pdf	35
Figura 7: Instalación actual de la turbina de río. Fuente: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/maldonado_qf/maldonado_qf.pdf	36
Figura 8: Prototipo instalado. Fuente: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/11596/1/2019_Elaboración_de_un_prototipo_de_turbina.pdf	37
Figura 9: Alternativa de Diseño 1. Fuente: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/11596/1/2019_Elaboración_de_un_prototipo_de_turbina.pdf	37
Figura 10: Alternativa de Diseño 2. Fuente: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/11596/1/2019_Elaboración_de_un_prototipo_de_turbina.pdf	38
Figura 11: Funcionamiento de la microcentral. Fuente: https://www.heinsdorff.de/sites/default/files/daten/objekte/Rotor-generate_your_own_electricity.pdf	39
Figura 12: Descripción de las partes del prototipo. Fuente: https://www.heinsdorff.de/sites/default/files/daten/objekte/Rotor-generate_your_own_electricity.pdf	39
Figura 13: Prototipo en funcionamiento. Fuente: Descripción de las partes del prototipo. Fuente: https://www.heinsdorff.de/sites/default/files/daten/objekte/Rotor-generate_your_own_electricity.pdf	40
Figura 14: Elementos de la turbina Pelton. Fuente: Paz, 2019	44
Figura 15: Esquema turbina Francis. Fuente: Paz, 2019	45
Figura 16: Esquema turbina Kaplan. Fuente: Paz, 2019.....	46

Figura 17: Resumen Turbinas. Fuente: Sánchez, 1995.....	46
Figura 18: Turbina axial. Fuente: Agüera, 2002.....	47
Figura 19: Turbina radial. Fuente: Agüera, 2002	48
Figura 20: Turbina mixta . Fuente: Agüera, 2002	48
Figura 21: Diagrama de selección de turbinas en función de la altura del salto y de la velocidad específica (Agüera, 2002).....	53
Figura 22: Primer paso del proceso de fabricación del rodete. Fuente: Elaboración propia	58
Figura 23: Segundo paso del proceso de fabricación del rodete. Fuente: Elaboración propia	59
Figura 24: Tercer paso del proceso de fabricación del rodete. Fuente: Elaboración propia	59
Figura 25: Cuarto paso del proceso de fabricación del rodete. Fuente: Elaboración propia	60
Figura 26: Quinto paso del proceso de fabricación del rodete. Fuente: Elaboración propia	60
Figura 27: Rodete. Fuente: Elaboración propia	61
Figura 28: Vista 3D cazoletas. Fuente: Elaboración propia	62
Figura 29: Vista 3D base polietileno. Fuente: Elaboración propia.....	62
Figura 30: Vista 3D de un rodete. Fuente: Elaboración propia	63
Figura 31: Soporte. Fuente: Elaboración propia	64
Figura 32: Batería. Fuente: Elaboración propia.....	65
Figura 33: Inversor. Fuente: Elaboración propia	65
Figura 34: Alternador. Fuente: Elaboración propia	66
Figura 35: Conjunto alternador, inversor y batería. Fuente: Elaboración propia	66
Figura 36: Esquema eléctrico de la instalación. Fuente: Elaboración propia	67
Figura 37: Aparato en T.....	69
Figura 38: Instalación de la turbina en el laboratorio	70
Figura 39: Turbina en funcionamiento	71
Figura 40: Curva Características Alternador típico 120A. Fuente: https://conocimientosweb.net/dcmt/wp-content/uploads/2013/09/Caracteristicas-del-altreanador.jpg	73
Figura 41: Características y precios en el mercado local.....	77
Figura 42: Inversores en el mercado local.	77

Figura 43: Especificaciones de baterías compradas en el mercado local.	78
Figura 44: Santander Best Africa. Fuente: https://www.fundacionbancosantander.com/es/accion-social/santander-best-africa/proyectos	79
Figura 45: Imagen de los objetivos de desarrollo sostenible. Fuente: ONU, 2015	92
Figura 46: Características Alternador	95
Figura 47: Características Conversor.....	96
Figura 48: Características Batería.....	97
Figura 49: Plano base rodete.....	98
Figura 50: Plano cuchara rodete	99
Figura 51: Vista 3D conjunto rodete.....	100

Índice de tablas

Tabla 1: Ensayos para uno y dos chorros abiertos.....	9
Tabla 2: Altura para un chorro de agua	9
Tabla 3: Altura para dos chorros de agua	9
Tabla 4: Trials for one and two open jets	14
Tabla 5: Height for one open jet	14
Tabla 6: Height for two open jets	14
Tabla 5: Planificación del Proyecto	31
Tabla 6: Métodos de medición de altura de saltos de agua (Sánchez, T., Ramírez-Gastón, J., 1995).....	50
Tabla 7: Ensayos para uno y dos chorros abiertos.....	71
Tabla 8: Gastos para la fabricación del prototipo incluyendo precio por unidad y total	75
Tabla 9: Resumen de gastos totales	76
Tabla 10: Precios de los elementos en mercados locales.....	78
<i>Tabla 11: Tarifas de consumo mensual uso doméstico (Farré, 2019)</i>	<i>82</i>
Tabla 12: Gastos provistos al mes	84
Tabla 13: Balance mensual	85
Tabla 14: Tabla resumen análisis de sensibilidad con diferentes escenarios.....	87

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Datos de partida de salto de agua y caudal	51
Ecuación 2: Número específico de revoluciones	52
Ecuación 3: Cálculo de la potencia específica total.....	52
Ecuación 4: Velocidad real de salida del chorro.....	54
Ecuación 5: Cálculo de velocidad a la salida del chorro	54
Ecuación 6: Cálculo de la velocidad periférica del rodete.....	55
Ecuación 7: Diámetro del rodete.....	55
Ecuación 8: Rendimiento hidráulico calculado para el diseño de la turbina	56
Ecuación 9: Par teórico entregado por el rodete	56
Ecuación 10: Relación entre velocidad angular y periférica	56
Ecuación 11: Par motor teórico.....	56
Ecuación 12: Cálculo del par motor teórico total	57
Ecuación 13: Potencia aparente del alternador	57
Ecuación 14: Consumo de carga de un teléfono básico.....	81
Ecuación 15: Precio de carga al mes del teléfono.....	82
Ecuación 16: Cálculo de años para amortizar el proyecto.....	83
Ecuación 17: Ingresos al mes por carga de teléfonos	84
Ecuación 18: Margen mensual.....	85

1. INTRODUCCIÓN

En Tovar 2011, se explica cómo el proyecto Kumbo nace de una colaboración entre Ingenieros del ICAI para el Desarrollo y Energías sin Fronteras. Este proyecto tenía como propósito dotar de energía eléctrica a una granja escuela que se crea gracias a la ONG Shumas en 2007, de forma que fuese posible el autoabastecimiento con el mínimo impacto en el entorno. En esta escuela se inicia a los alumnos en técnicas como el cultivo, cuidado de aves y ganado, estabulación y a la gestión de una pequeña piscifactoría. Además, la idea es que los alumnos puedan extender el conocimiento adquirido sobre estas técnicas agropecuarias a sus pueblos de origen, tras su estancia en la granja escuela, a la vez que conocen las energías renovables.

El proyecto comprende cinco tipos de energías renovables: minihidráulica, microeólica, fotovoltaica, solar térmica y biogás. Todas estas tecnologías, con la excepción de la solar térmica, ya se encuentran instaladas y para su montaje participaron voluntarios que viajaron a Kumbo para impartir cursos de operación y mantenimiento para que las personas locales pudiesen encargarse de estas tareas. Gracias a este proyecto, se cubren las necesidades energéticas de la granja escuela, así como las necesidades de una comunidad cercana a esta, la aldea de Bambzeng.

Este trabajo de fin de grado nace del interés presentado por parte de las comunidades cercanas para tener a su alcance dichas formas de energía. El principal objetivo de este proyecto es la fabricación artesanal de una turbina hidráulica en Madrid, con elementos y materiales que puedan estar disponibles en Camerún, para transferir posteriormente la tecnología allí. La instalación de turbinas hidráulicas es un medio adecuado de proporcionar energía a Kumbo, ya que en la región se encuentran varios saltos de agua de entre 10 y 30 metros de altura. La intención presente en este proyecto es enseñar a los habitantes de las regiones cercanas a Kumbo los conocimientos necesarios para poder construir dichas turbinas a partir de materiales y equipos que se puedan encontrar y adquirir de forma asequible en Camerún.

Durante la realización del proyecto se propondrá un prototipo que será ensayado en laboratorio de Mecánica de Fluidos para comprobar su correcto funcionamiento y asegurar el máximo rendimiento posible. Además, una vez comprobado su eficacia y su correcto funcionamiento, el proyecto se llevará a Camerún para instalarlo y llevar estos conocimientos a los habitantes de las comunidades y así ayudar a mejorar su vida.

Este proyecto supone un gran reto, pero también supone una gran satisfacción, porque a la vez que se demuestran los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y se ponen en práctica, se contribuye a mejorar una la vida de otras personas.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1. RESUMEN DEL PROYECTO

El objetivo que persigue este Trabajo de Fin de Grado es llevar a cabo la instalación de una turbina hidráulica artesanal en Camerún. Para ello, se ha de analizar la fabricación y la viabilidad del proyecto. Para la fabricación de esta turbina, se utilizan materiales y herramientas que están presentes en Camerún para que los propios habitantes sean capaces de replicar la turbina y así obtener energía. En la región de Kumbo existen numerosos saltos de agua con características similares al que se va a estudiar en este proyecto por lo que hace que esta turbina sea extrapolable a otros lugares de la región. El objetivo final de este proyecto, es llevar a Camerún la turbina para así enseñar a los habitantes de las regiones cercanas a Kumbo cómo fabricar esta turbina o variaciones de esta según el caudal y el salto de agua presente configurando la turbina de una manera sencilla de replicar que permita asegurar su viabilidad económica.

Durante el desarrollo del proyecto se identifican numerosos objetivos que impulsan la consecución de resultados sobre este trabajo. Dichos objetivos parten de una necesidad de ayudar a otras personas que viven en peor situación y con menos recursos que nosotros. El primer objetivo que surge al empezar el proyecto es el de cómo mejorar los prototipos propuestos por parte de otros alumnos de años anteriores y cómo hacer que este año sea el año donde se consigue el prototipo final, para cuando la situación lo permita, que sea trasladado a Camerún. A parte de desafíos propios de la fabricación también hay presentes otros muchos, entre ellos, la búsqueda de financiación. Un proyecto necesita ser económicamente viable para que tenga lugar su desarrollo, es por esto que nos planteamos diversas formas de financiación (expuestas más adelante), entre las cuales se pueden identificar dos formas claras: financiación pública y financiación privada.

Si bien es verdad que durante este año se han tenido grandes dificultades como el COVID-19 o la gran nevada de Filomena, se ha conseguido desarrollar un prototipo final y ensayarlo. Tras un gran trabajo de los colaboradores Julio Tejedor y Luis Mochón, los ensayos en el laboratorio de fluidos de ICAI fueron posibles y cuyos resultados se encuentran expuestos en este Trabajo Fin de Grado.

Tras numerosos meses de trabajo se entrega este documento como resultado final de la investigación. En este trabajo se incluyen aspectos teóricos como los fundamentos de las turbomáquinas, de las turbinas hidráulicas y la clasificación de las mismas, además de una serie de ejemplos que muestran el estado del arte para pasar al diseño teórico de la turbina y el prototipo de la misma, el cual es ensayado y se extraen conclusiones relevantes de los ensayos. Para conseguir un trabajo más completo, se añade un estudio económico basado en un presupuesto, vías de financiación y análisis de viabilidad. Estando ambas partes (la ingenieril y la financiera) estrictamente apoyadas en la obtención de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

2.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.2.1. OBJETIVO GENERAL

Debido a la presencia de numerosos saltos de agua cerca de la región de Kumbo, se apuesta por desarrollar una turbina hidráulica artesanal que sirva para obtener energía y abastecer a los habitantes de dicha región. Esta turbina no solo supone aportar facilidades a los habitantes de la región, sino que también pretende proporcionar conocimientos a los mismos para fabricarla e instalarla. Se apuesta de esta forma por fomentar el uso de las energías renovables, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, garantizando el acceso a la electricidad de una forma asequible y no contaminante, es decir, que la obtención de la electricidad sea sostenible para que el impacto en el medio ambiente sea lo más reducido posible. El propósito del trabajo de fin de grado es mejorar la vida de los habitantes de la región de Kumbo, a la vez que se enseñan conceptos sobre las energías renovables.

2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Fabricar un prototipo de turbina artesanal que se adapte a los distintos caudales y saltos de agua que se puedan dar en la zona donde pueden instalarse turbinas de este tipo.
2. Realizar ensayos en el laboratorio de Máquinas Hidráulicas del ICAI y comprobar que funciona correctamente para la obtención de energía.
3. Analizar los materiales y elementos necesarios, asegurando su disponibilidad y su coste asequible en Camerún.
4. Estudiar la viabilidad económica, realizando un estudio que incluya la forma de financiación del proyecto para la construcción del prototipo.
5. Viajar a la región a instalarlo y a transmitir los conocimientos sobre la turbina y el procedimiento de fabricación, montaje e instalación.

2.3. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En el año 2017 se empieza a realizar este proyecto por parte de una alumna de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid (ETS-ICAI), Gema Cañeque Simón. En el trabajo de fin de grado de dicha alumna se expusieron los procedimientos de cálculo, así como el diseño del prototipo de una turbina. Estos aspectos supusieron un gran avance en el proyecto y continuó siendo desarrollado por otro alumno de la Universidad Pontificia Comillas, Pablo Sánchez Villamor, formulando en el trabajo de fin de grado aspectos eléctricos a tener en cuenta.

Durante el curso pasado, se continuó con el proyecto por parte otra alumna, Paula Núñez Salamanca. Durante la realización del trabajo de fin de grado de Paula, se pretendía ir a Camerún y poder poner en funcionamiento la turbina, así como enseñar a las personas locales su montaje, pero las condiciones presentadas por la pandemia del COVID-19 no se pudo realizar.

Este curso se ha vuelto a ofertar el trabajo con el objetivo de poder poner fin a los trabajos iniciados y finalmente poner en marcha la turbina. Para mí, la realización de este trabajo de fin de grado significa mucho más que un trabajo, significa poder aportar algo a la sociedad y a la vez poder demostrar los conocimientos que durante el grado se han ido adquiriendo poniéndolos en práctica, es una oportunidad única donde se pueden combinar la parte humana con la parte técnica.

2.3.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

La implementación de turbinas hidráulicas en la zona donde se quiere instalar, es ideal ya que en esta región cuentan con numerosos saltos de agua al ser una región montañosa. Estos saltos de agua se pueden aprovechar para obtener energía eléctrica y así abastecer a los habitantes de la región o de zonas cercanas a ella.

El objetivo del proyecto es además de obtener energía para facilitar el suministro eléctrico en una zona aislada como Kumbo de difícil acceso, y hacerlo de una forma sostenible sin dañar el medio ambiente.

Además, la instalación de esta micro-central eléctrica se impulsa para poder sustituir en un futuro cercano el uso de pequeños generadores accionados por motores diésel por otras de energía no contaminante.

2.3.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

La instalación de la turbina hidráulica artesanal supone una inversión económica mucho menor que cualquier otra instalación convencional. En el caso de que se planteasen otras tecnologías por ejemplo tendidos eléctricos desde la red general, se vería reflejado cómo la instalación de estos supone un coste mucho mayor debido a las grandes distancias existentes y a las complicaciones del terreno. Otras tecnologías como aquellas que utilizan generadores diésel también son más caras respecto a la que se quiere instalar ya que el precio del combustible es elevado y por ello, de difícil adquisición para los habitantes de la zona.

Al ser una turbina artesanal, se pretende que los materiales sean de fácil localización y acceso en Camerún, por lo que no se tendrían costes elevados. Además, se evitaría el consumo de electricidad de la red gracias al autoconsumo, lo que supone que los únicos gastos sean los de construcción y de mantenimiento.

Un planteamiento interesante que se podría tener en cuenta para que los costes anteriormente mencionados fuesen menores, es que, en caso de exceso de energía, se puede recurrir a la venta de electricidad, por ejemplo, fijando una pequeña cuota por la carga de los teléfonos móviles, presentes en la mayor parte de las zonas rurales de Camerún. Se recuperaría así la inversión y en un futuro supondría obtener beneficios.

2.3.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

El proyecto no solo supone la obtención de energía de forma limpia y sostenible, además, supone enseñar a los habitantes conceptos sobre las energías renovables. El impacto social que tiene esta instalación de la turbina hidráulica en la región de Kumbo, recae en que los habitantes de dicha zona puedan realizar las tareas de la vida cotidiana con más facilidades de las presentes en la actualidad, además, si esta turbina se instalase en otros lugares, los beneficios sociales que se podrían dar serían muy variados en función de su localización. Algunas actividades pueden no suponer una gran diferencia para personas acostumbradas al uso de la electricidad en todo momento, pero para personas de esta región supone mayores libertades y poder realizar cosas que sin electricidad no podrían.

2.3.4. JUSTIFICACIÓN MEDIOAMBIENTAL

El impacto medioambiental que supondría la instalación de esta central micro-hidroeléctrica es muy bajo y hay numerosos lugares que se pueden considerar aptos para su instalación (zonas montañosas, zonas de difícil acceso o zonas aisladas). En estos lugares se perdería este potencial energético existente si no se instalasen dichas centrales.

Al ser una energía limpia que aprovecha el agua, es decir, no contamina el medio, esta agua puede ser utilizada para otras actividades ya que no hay cambios en su constitución.

Otro aspecto positivo de esta instalación es que se produce energía cerca de los usuarios, por lo que las pérdidas serían más reducidas que con otras tecnologías. Además, al ser centrales de pequeño tamaño, la instalación y el transporte son fáciles de realizar incluso en zonas de complicadas condiciones de acceso, en caso de averías, al situarse cerca de los usuarios, el tiempo de respuesta ante una avería es inferior que en otras grandes tecnologías.

El único aspecto que se tendría que tener en cuenta que podría ser complicado es que se necesita un caudal mínimo para su funcionamiento. Se debe dejar como mínimo un 10% del caudal del río, denominado caudal ecológico, sin pasar por la turbina, para no perturbar a la fauna acuática. En la región de Kumbo se dan dos estaciones denominadas: estación húmeda y estación seca. Para el diseño de la turbina se tiene que tener en cuenta la situación más desfavorable, es decir, la estación seca, respetando siempre que el caudal la circulación tiene que ser más del 10% del caudal del río para obtener energía.

2.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Antes de empezar el proyecto, se realizó un cronograma con los objetivos de cada mes, para así organizar las tareas tanto de la fabricación y de los ensayos como de plasmar en este proyecto los pasos que se iban realizando. El plan de trabajo previsto se representa en la Tabla 7, el cual también está incluido en el Anexo B:

MES	PLAN DE TRABAJO
Enero	Fabricar el prototipo y realizar ensayos preliminares para hacer cambios antes de tener el modelo definitivo.
Febrero – Marzo	Realizar ensayos en el laboratorio de ICAI para comprobar su correcto funcionamiento.

Abril	Realizar el informe con lista de materiales necesarios para la fabricación de la turbina y el informe económico.
Mayo/Junio	Finalizar el trabajo completando el informe, incluyendo mejoras y conclusiones.

Tabla 7: Planificación del Proyecto

Durante el mes de enero, se modificó el prototipo con respecto al inicial que se había fabricado. Estos cambios consistían en un rodete doble en paralelo para interferir menos que si los rodetes estuviesen en serie y se realizaron algunos ensayos preliminares que probaron la justificación de estas modificaciones, no se realizaron todos los ensayos por la borrasca Filomena. Durante este mes, se enviaron datos a Camerún de algunos equipos (alternador, batería e inversor) para comprobar que se podían conseguir en mercados locales. Y, a finales de este mes, el representante de SHUMAS (Stephen), nos hizo llegar una serie de fotos donde se podían observar los precios y algunas características de los materiales que se necesitan para realizar el proyecto y los precios y las características del alternador, batería e inversor. El precio del alternador ronda de media los 80€, el de la batería 125€ y el del inversor los 60€.

En el mes de febrero, se tenía planeado empezar los ensayos en ICAI, pero tras la nevada de Filomena en enero, se retrasan los plazos ya que nuestro colaborador Julio no puede acceder a su laboratorio para terminar los ensayos preliminares. Una vez terminados los ensayos preliminares se pretendía empezar con los ensayos definitivos en el laboratorio de Mecánica de Fluidos con la colaboración del profesor Luis Mochón, pero a principios de marzo tuvo lugar una fuga de aceite en este laboratorio que impidió la realización de estos.

A principios de abril tras acabar la Semana Santa se traslada al laboratorio un aparato en T (Figura 37) con diferentes salidas de agua y un manómetro para comprobar si las bombas del laboratorio de ICAI pueden mantener la presión de 20 o 30 mca con suficiente

caudal. Una vez se realiza esta comprobación, se traslada a Julio que continúe con la finalización del prototipo para a finales de mayo trasladarlo desde el laboratorio de Julio al laboratorio de fluidos para empezar con los ensayos.

La primera semana de junio se traslada al laboratorio de fluidos de ICAI el prototipo diseñado y se comienzan los ensayos. Para la realización de los ensayos lo que se va a simular son distintos saltos de agua con una o dos boquillas abiertas para ver la potencia que se puede generar, una vez realizados estos ensayos se harán otros con el mismo procedimiento cambiando el diámetro de los tubos distribuidores de agua. Durante los primeros ensayos que se realizaros se tuvieron algunos problemas para medir las variables necesarias, el primer problema encontrado fue que el amperímetro no marcaba ninguna intensidad, por lo que se necesitó contar con la ayuda de los ingenieros del departamento eléctrico para utilizar alguno de sus aparatos. Posteriormente, una vez se contaba con el amperímetro de pinza necesario, fuimos conscientes de que el problema podía estar ahí, ya que al estar la batería muy cargada no dejaba que el alternador proporcionase la intensidad suficiente por lo que se decidió hacer otro circuito en paralelo donde hubiese una resistencia. La parte de la batería es esencial para el arranque de nuestra turbina por lo que se instaló un interruptor que se acciona una vez la turbina está funcionando para poder medir la intensidad y calcular la potencia dada por la máquina al haber una carga.

2.5. ESTADO DEL ARTE

Durante el paso de los años, la ciudadanía cada vez está más concienciada con el uso de energías renovables, ya que, por el uso excesivo de energías contaminantes y los combustibles fósiles, según Castro (2006) se ha demostrado que la temperatura del planeta durante el ultimo ha aumentado $0,6 \pm 0,2$ °C. Por esto, y por el deshielo que se está produciendo en el Ártico, se han firmado numerosos acuerdos para favorecer el uso de las energías renovables. Dentro de las energías renovables, en este trabajo se habla especialmente de la energía hidroeléctrica siendo esta una de las más desarrolladas. La energía proveniente de las centrales hidráulicas tiene muchas ventajas implícitas como el hecho de ser una energía limpia, respetuosa con el medio ambiente o inagotable, entre otras.

El proyecto Kumbo consta actualmente con una microcentral hidroeléctrica de 7 kW, un microgenerador eólico de 0,7 kW, paneles fotovoltaicos por 0,5 kW y dos digestores de biogás. El siguiente paso es el diseño y la instalación de una turbina hidráulica artesanal para los saltos de agua existentes como el mostrado en la Figura 5.



Figura 5: Salto de agua presente en la zona. Fuente: Tovar (2011)

La microhidráulica es una forma sencilla, eficiente y barata de conseguir electricidad. Se elige este tipo de energía ya que en la región de Kumbo existen numerosos saltos de agua, lo que proporciona electricidad todos los días del año sin tener que ser almacenada en baterías.

El objetivo de este proyecto es analizar la fabricación, la viabilidad del proyecto y la futura instalación de una turbina hidráulica artesanal en Camerún. Para ello, es necesario estudiar que turbinas artesanales existen para el tercer mundo, así como su instalación. La turbina se adapta a los saltos de agua y al caudal que circula, siendo necesario instalar una turbina u otra según estas dos características.

Existen varios tipos de microturbinas: turbinas Banki, turbinas Pelton y turbinas Turbo. Las turbinas Banki están diseñadas para caudales y saltos medios de agua. Como el rodete es de tamaño pequeño, estas turbinas se instalan para saltos no mayores de 30 m de altura. El rendimiento de las turbinas Banki oscila entre un 65% y un 80%. Por otra parte, las turbinas Pelton y Turbo son utilizadas para saltos de agua medios y grandes. Son turbinas que se caracterizan por proporcionar mucha potencia en relación con su tamaño. Estas dos turbinas se diferencian en la forma en la que el chorro impacta sobre el álabe. El rendimiento de estas turbinas está alrededor de 80% incluso para caudales que sean variables.

Este trabajo de fin de grado persigue la fabricación de una turbina de 1 kW con elementos comunes que puedan encontrarse en Camerún, probar dicha turbina y una vez realizados los ensayos pertinentes, trasladar la turbina y los conocimientos a Camerún.

Actualmente hay diversos trabajos que se pueden relacionar con la existencia de este proyecto, con estos trabajos se pretende establecer una similitud con lo que se plantea en este Trabajo Fin de Grado para poder concluir que es factible y que va a dar buenos resultados. El punto en común que tienen dichos trabajos es que se instalan en zonas donde la distancia a los centros de generación es larga y por ello, la distribución de la electricidad a estas zonas no resulta factible económicamente a los gobiernos. Debido a esta situación, los habitantes de dichas zonas al igual que ocurre en la región de Kumbo no se benefician de las ventajas ni de la mejora de nivel de vida que el abastecimiento de energía les proporcionaría.

Durante años, se han venido realizando números proyectos, también de Fin de Grado relacionados con la instalación de turbinas hidráulicas en países donde habitantes de zonas más despobladas tienen difícil acceso a la obtención de electricidad. Como ejemplo son resaltables varios Trabajos Fin de Grado, entre ellos el realizado por la Universidad Mayor de San Marcos por Maldonado (2015), además, la existencia de estos proyectos ya existentes confirma que las comunidades y los habitantes de las zonas cercanas a la instalación ven incrementado su nivel de vida, por lo que se anima a que se realicen más proyectos corroborando como otros anteriores han sido factibles. Este proyecto centra su ejecución en la comunidad de El Paraíso en Perú ya que se encuentra en una zona alejada

de centros de generación, lo que impide que el transporte de electricidad sea factible. Esto genera una situación muy parecida a la presentada en este Trabajo Fin de Grado ya que al igual que los habitantes de la región de Kumbo presentan dificultades para el acceso a la electricidad los habitantes de la comunidad de El Paraíso también. Para la realización de este trabajo, se arte de una turbina de Rio o turbina de Garman con la cual se pretende utilizar la energía propia del Rio Napo para así poder solventar los problemas de electricidad presentes y así proporcionar grandes beneficios a las comunidades cercanas. A continuación, se muestra como es la turbina instalada para esta región y algunas conclusiones derivadas de esta instalación.

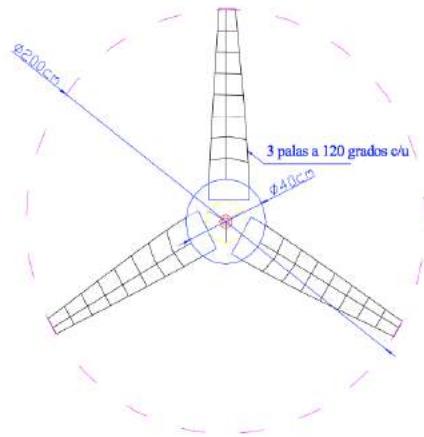


Figura 6: Rotor de la turbina. Fuente:

https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/maldonado_qf/maldonado_qf.pdf

Durante los meses siguientes a la instalación de este prototipo, los habitantes de dicha región han podido aprovecharse de los beneficios que les presenta como la carga de teléfonos móviles, además, otra de las conclusiones relevantes de este proyecto es como se pueden instalar más turbinas como la expuesta en diversos puntos del rio por presentar características similares, lo que hace que el proyecto sea extrapolable y beneficioso para otras comunidades cercanas.



Figura 7: Instalación actual de la turbina de río. Fuente:

https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/maldonado_qf/maldonado_qf.pdf

Otro proyecto del cual cabe hablar, es el realizado por la Universidad Cooperativa de Colombia por Forero (2019). Durante el desarrollo de dicho proyecto, se expone como se va a diseñar una Turbina Pelton para la instalación en el prototipo en el laboratorio de la propia universidad. El planteamiento de este proyecto es el de proponer un prototipo, ensayarlo y luego proponer su instalación en lugares donde el acceso a la electricidad sea complicado. Aun siendo un proyecto que no se va a instalar en una zona determinada, lo que se consigue con su fabricación es establecer un modelo que sea duradero para cualquier circunstancia, ya que Colombia es un país con grandes zonas de agua. De este proyecto, se extraen conclusiones teóricas (en contra posición al mencionado anteriormente, del cual se extraen conclusiones prácticas). Dichas conclusiones, incluyen aspectos como el mantenimiento o aspectos de obra como los rodamientos.



Figura 8: Prototipo instalado. Fuente:

https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/11596/1/2019_Elaboración_de_un_prototipo_de_turbina.pdf

Además, este proyecto incluye alternativas al diseño propuesto, en los cuales se plantean la variación de la longitud o el número de chorros que se encargan de alimentar la turbina.

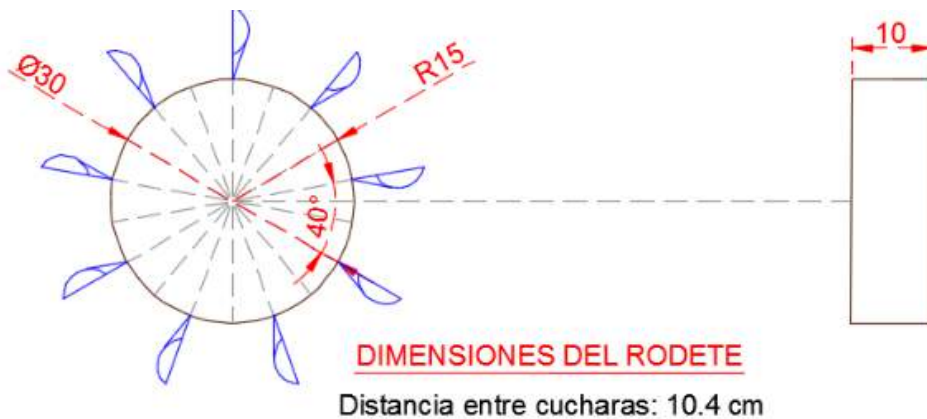


Figura 9: Alternativa de Diseño 1. Fuente:

https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/11596/1/2019_Elaboración_de_un_prototipo_de_turbina.pdf

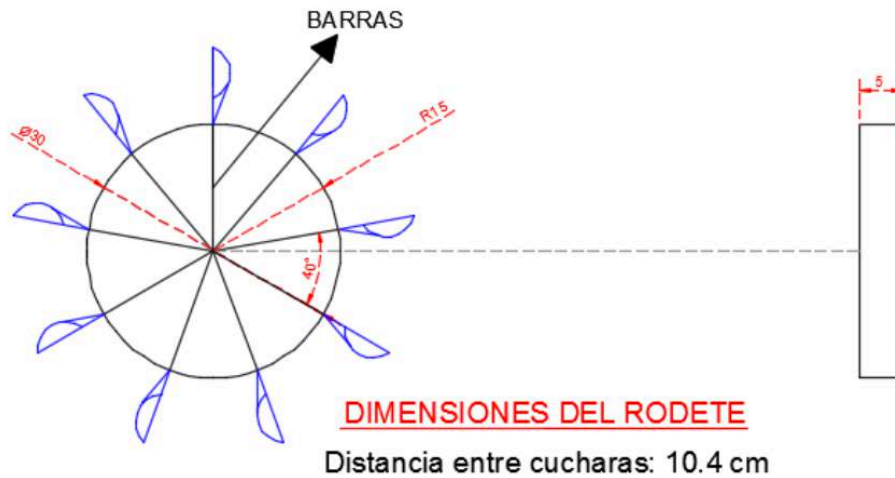


Figura 10: Alternativa de Diseño 2. Fuente:

https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/11596/1/2019_Elaboraci3n_de_un_prototipo_de_turbina.pdf

Como conclusiones extrapolables de dichos proyectos fin de grado, cabe resaltar el aprovechamiento no solo de habitantes de la regi3n sino tambi3n de regiones cercanas para recargar baterías suponiendo un ahorro para los habitantes importante. Al demostrarse la viabilidad y la mejora de vida de los habitantes de las regiones donde se han instalado los proyectos, se llega a la conclusi3n de que el proyecto que se plantea en este Trabajo Fin de Grado puede suponer los mismos efectos que los anteriormente realizados.

Adem3s de estos dos trabajos mencionados, otro proyecto muy interesante a comentar dentro del estado del arte es una turbina instalada en un neum3tico para generar electricidad por Hensdorff (2017). Al igual que el primer proyecto, el objetivo que persigue este, es el abastecimiento de personas pertenecientes a zonas rurales. La idea de este diseño es la instalaci3n de una turbina en el centro de un neum3tico, girando ambas por la acci3n del rio. Al estar instalada dentro del rio, no hay p3rdidas de agua y no supone ning3n impacto en el rio. A continuaci3n, se muestra el principio de funcionamiento y una descripci3n del prototipo, as3 como una imagen de su instalaci3n real.

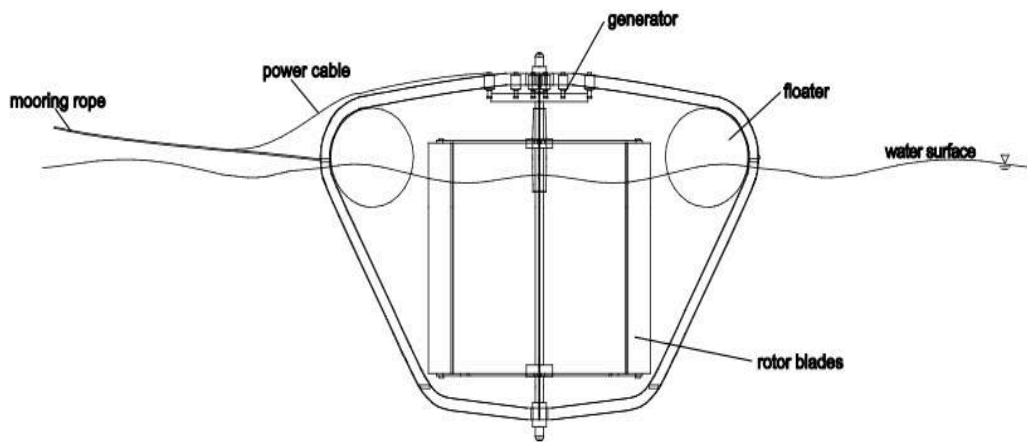


Figura 11: Funcionamiento de la microcentral. Fuente:
https://www.heinsdorff.de/sites/default/files/daten/objekte/Rotor-generate_your_own_electricity.pdf

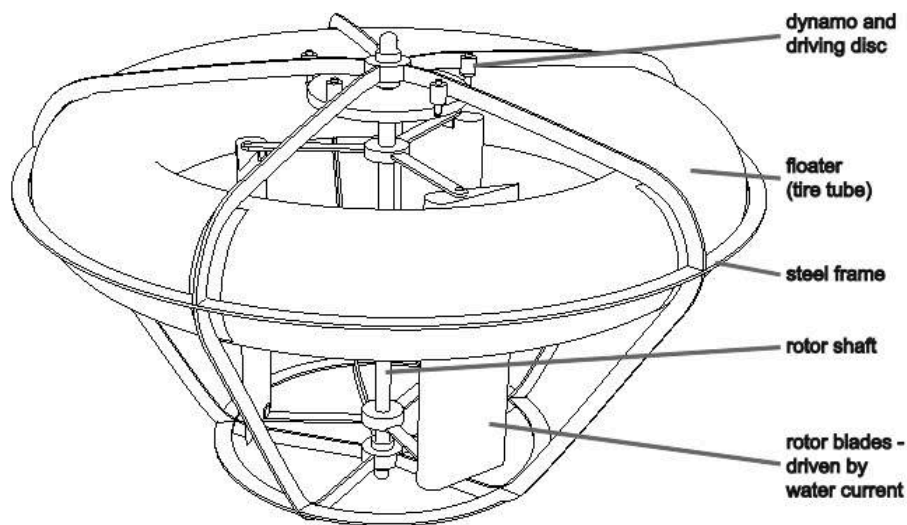


Figura 12: Descripción de las partes del prototipo. Fuente:
https://www.heinsdorff.de/sites/default/files/daten/objekte/Rotor-generate_your_own_electricity.pdf



Figura 13: Prototipo en funcionamiento. Fuente: Descripción de las partes del prototipo.

Fuente: https://www.heinsdorff.de/sites/default/files/daten/objekte/Rotor-generate_your_own_electricity.pdf

3. ASPECTOS TEÓRICOS

En los siguientes puntos se incluyen los fundamentos de las turbinas hidráulicas, siendo necesaria su exposición para justificar la elección del diseño y así dar una explicación del funcionamiento del prototipo.

3.1. FUNDAMENTOS DE LAS TURBOMÁQUINAS

De acuerdo con Paz (2019), una máquina es un dispositivo transformador de energía. Recibe una energía de cierta clase y entrega en la salida otro tipo de energía. Se dice que una máquina es una máquina de fluido si recibe o entrega energía de o a un fluido respectivamente. Al pasar el fluido por el rodete se produce la variación del momento cinético recibiendo o entregando energía al fluido. Una de las formas de clasificar las máquinas de fluido es según el sentido del flujo de la energía. Las máquinas de fluido según esta clasificación pueden ser generadoras o motoras (también existen las transmisoras y las reversibles, pero en este apartado se comentará las dos nombradas anteriormente).

A estas máquinas se las denomina también máquinas de presión dinámica ya que al transferir energía entre un fluido y el rodete con álabes tiene lugar un gradiente de presión. La transferencia de energía puede darse de la máquina al fluido, conocido como bomba o del fluido a la máquina, conocido como turbina.

Las máquinas generadoras entregan energía al fluido (bombas o compresores) mientras que las máquinas motoras son aquellas máquinas que se encargan de extraer la energía que tiene el fluido (turbinas). En la primera categoría no solo entran las bombas, sino que también existen los compresores o los sopladores y en la segunda categoría también se pueden encontrar las turbinas hidráulicas, de aire o de gas. La turbina hidráulica que se desarrolla en este Proyecto Fin de Grado pertenece a la segunda categoría.

El funcionamiento de las turbomáquinas se basa en el paso de un fluido por el interior de la misma. Es el fluido quien ejerce una fuerza sobre los álabes del rodete, provocando

que estos se desplacen realizando un trabajo denominado trabajo interior en el eje. Es en el rodete donde se transforma la energía.

3.2. FUNDAMENTOS DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS

De acuerdo con Paz (2019), las turbomáquinas hidráulicas son aquellas máquinas de fluido cuyo principio de funcionamiento responde a la variación de momento cinético del fluido a su paso por los conductos de un órgano denominado rotor, dotado de álabes o paletas. En las turbinas hidráulicas casi toda la energía que posee el flujo a la entrada de estas es prácticamente potencial, siendo su energía cinética insignificante. Esta energía potencial tiene que ser transformada en energía cinética.

En Mataix (1982) se describen los elementos que constituyen las turbinas, siendo estos los mismos que los presentes en las bombas, pero en orden contrario. Los elementos que se pueden encontrar son: canal de llegada, caja espiral, distribuidor, rodete, tubo de aspiración.

En Zamora (2016) se explican las distintas formas de clasificar las turbinas hidráulicas, entre ellas se encuentran: según el grado de reacción o según el número específico de revoluciones. Si se estudia según el grado de reacción o también denominado según donde se produzca esta transformación de la energía se pueden encontrar las siguientes:

- Turbinas de acción, también denominadas como turbinas de impulso. En estas turbinas no hay variación de presión, se realiza el cambio de energía potencial a cinética a presión atmosférica, es decir, la turbina solo aprovecha la energía cinética presente en el agua. En este tipo de turbinas el ejemplo más característico se denomina turbina Pelton.
- Turbinas de reacción, la transformación de energía potencial a cinética tiene lugar en el rodete, es decir, hay variación de presión siendo la presión a la salida inferior a la entrada al tener el fluido que llenar todo el canal. Este tipo de turbinas se caracterizan por poder aprovechar también la energía estática presente en el agua.

Los ejemplos más característicos de este tipo de turbinas también se denominan Francis (turbina radial) y Kaplan (turbina axial).

A los tres ejemplos de turbinas mencionadas en este apartado (Pelton, Francis, Kaplan) se le conoce como los tres grandes, por ser las turbinas más empleadas en la actualidad.

3.3. CLASIFICACIÓN

Como se ha mencionado en el apartado anterior según Zamora (2016), existen turbinas de acción y de reacción. Dentro de ellas se distinguen las turbinas Pelton, Francis y Kaplan.

- Turbinas Pelton: pertenecen al grupo de las turbinas de acción, son las más representativas de este grupo. En este grupo solo se aprovecha la energía cinética del fluido, por lo que no tienen en cuenta el gradiente de presiones presentes en las turbinas de reacción. Turbinas características para saltos mayores de 400m y caudales reducidos. Estas turbinas se pueden instalar con su eje tanto en vertical como en horizontal. La turbina Pelton es la turbina que se diseña en este Trabajo Fin de Grado. Los elementos característicos de esta turbina son el inyector y el rodete. A través de la válvula de aguja que tiene el inyector se regula el caudal. El agua que sale del inyector impacta a presión atmosférica en el rodete provocando el par, además, el agua no inunda toda la cazoleta donde está el rodete, sino que solo impacta a un número de álabes (cucharas) determinados. Una vez el agua abandona el álabe, se recoge en el canal de descarga.

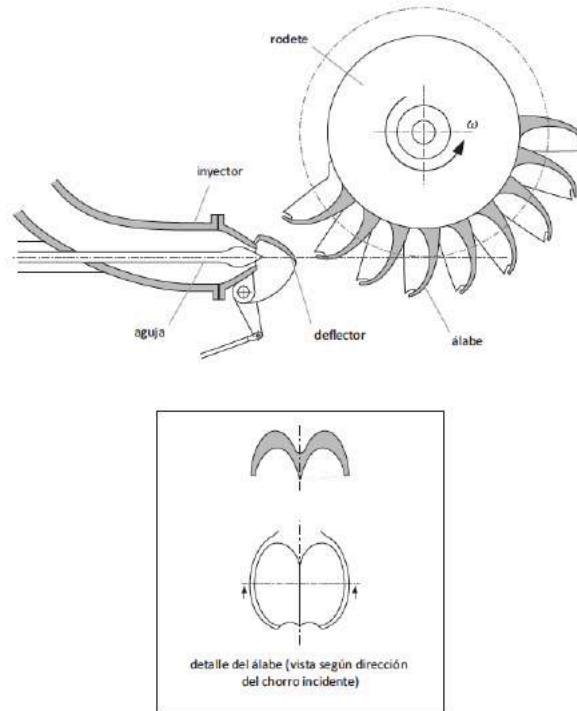


Figura 14: Elementos de la turbina Pelton. Fuente: Paz, 2019

- Turbinas Francis: como se ha explicado en el apartado anterior, la turbina Francis pertenece a las turbinas hidráulicas de reacción. Se utilizan para cargas variadas y un rango de caudales muy amplios. Actualmente, se pueden encontrar en saltos de agua de 30 m o 1000m y para caudales de 1 metro cubico por segundo o 20 metros cúbicos por segundo. Sus numerosas aplicaciones han hecho que las turbinas Francis sean las más utilizadas actualmente. Los elementos característicos de las turbinas Francis son:
 - El caracol: conducto alimentador que da el flujo necesario para que la turbina pueda operar.
 - El distribuidor: tiene lugar la transformación parcial de la presión en velocidad.
 - El rodete: se encuentran los álabes. En el momento de impacto del agua con los álabes tiene lugar el giro del rodete.
 - El tubo de desfogue: sirve para dar salida al agua.

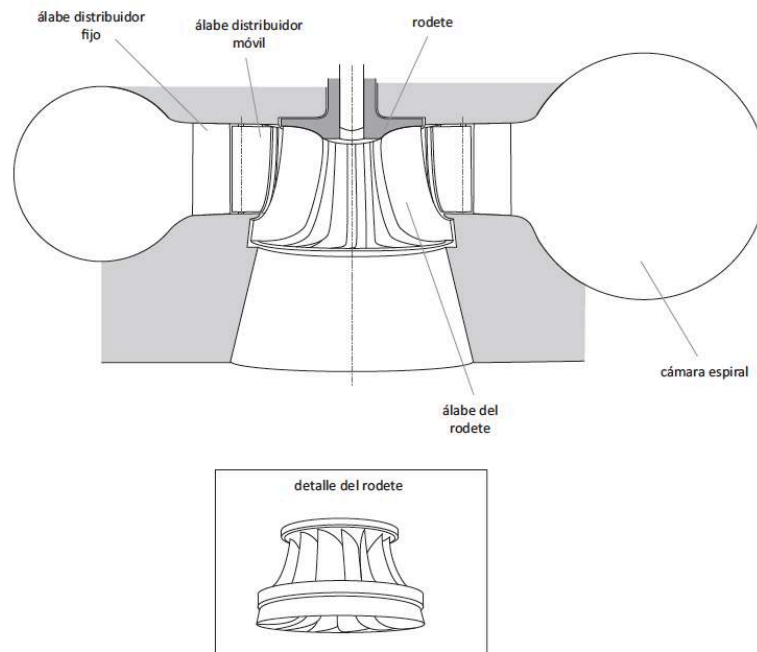


Figura 15: Esquema turbina Francis. Fuente: Paz, 2019

- Turbinas Kaplan: este tipo de turbinas se encuentra presente para cargas poca altura y grandes caudales. Este tipo de turbinas se fue imponiendo hasta tal punto que llego a invadir rangos en los que la turbina Francis parecía ser irremplazable. La turbina Kaplan y la turbina Francis tienen una serie de elementos comunes. Cuando el fluido sale de la tubería pasa por la cámara espiral en forma de caracol. Esta cámara espiral tiene una sección convergente lo que provoca la diferencia de presiones a la entrada y a la salida de la cámara. Una vez el fluido sale de la cámara, está el distribuidor, parte imprescindible de estas turbinas. Se encarga de distribuir el fluido y así crear el campo de velocidades más indicado para la entrada al rodete. El rodete es la principal diferencia entre estas dos turbinas. En las turbinas En las turbinas Kaplan, el rodete tiene forma de hélice y sus álabes son orientables, mientras que en las turbinas Francis, el rodete está formado por álabes fijos.

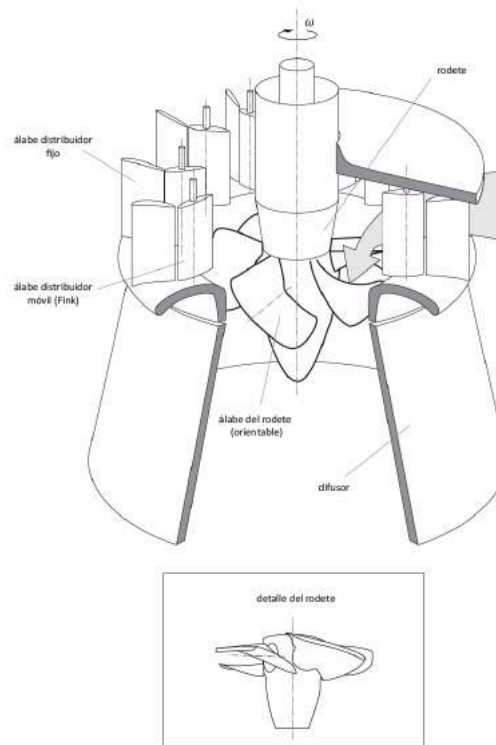


Figura 16: Esquema turbina Kaplan. Fuente: Paz, 2019

En la siguiente figura se muestra a modo de resumen del uso de las turbinas presentadas anteriormente:

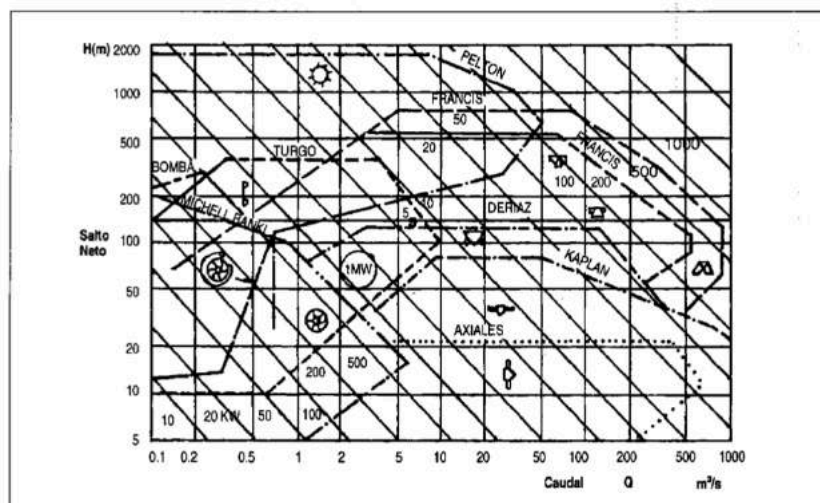


Figura 17: Resumen Turbinas. Fuente: Sánchez, 1995

Según la Figura 17, se puede seleccionar el tipo de la turbina según la altura y el caudal. Como resumen a esta Figura, la turbina Pelton resulta ideal para aquellas circunstancias en las que el caudal es bajo y hay grandes alturas, la turbina Francis es ideal para caudales y alturas intermedias y la turbina Kaplan resulta ideal para aprovechar la energía cinética presente en grandes caudales y poca altura.

Además de clasificarse según el grado de reacción se pueden clasificar según la dirección del flujo del rodete y según la dirección del eje.

Dentro de la clasificación según la dirección del eje se encuentran dos tipos:

- Vertical.
- Horizontal.

Por otra parte, según Agüera (2002), analizando la clasificación de las turbinas según la dirección del flujo de rodete se pueden distinguir tres tipos a los que se puede añadir un cuarto: turbinas tangenciales.

- Turbinas axiales: en este tipo de turbinas, la proyección del fluido sobre los álabes es paralela al eje de la turbina. Solo tiene componente tangencial y axial, no radial. Dentro de este tipo de turbinas entrarían las turbinas Kaplan.

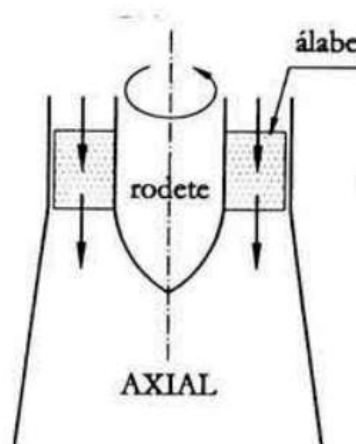


Figura 18: Turbina axial. Fuente: Agüera, 2002

- Turbinas radiales: se clasificarían como turbinas radiales las turbinas Francis. En estas turbinas, la proyección del fluido sobre los álabes es centrífuga.

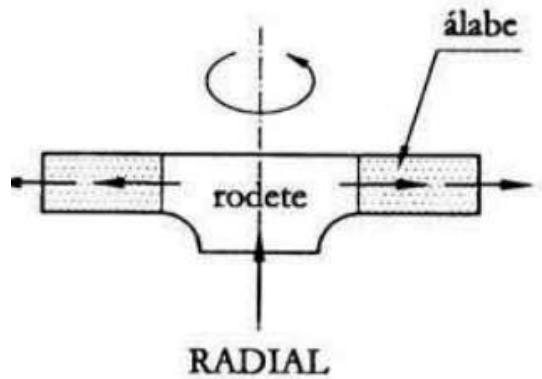


Figura 19: Turbina radial. Fuente: Agüera, 2002

- Turbinas mixtas: en este tipo de turbinas se dan los tres componentes (radial, tangencial y axial).

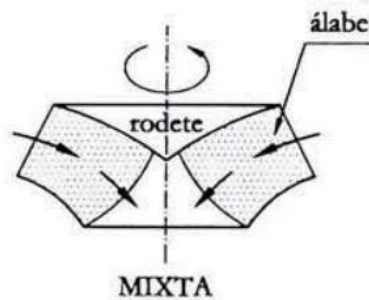


Figura 20: Turbina mixta . Fuente: Agüera, 2002

4. DISEÑO DE UNA TURBINA

En este apartado se discuten los criterios teóricos necesarios a tener en cuenta para seleccionar una turbina hidráulica. Para la selección de una turbina hidráulica se parte del caudal y del salto de altura presente en la localización donde se quiere instalar dicha turbina. A partir de estos dos datos (caudal y altura), se tiene que calcular el número específico de revoluciones, para con dicho número elegir qué tipo de turbina se diseñará. Una vez calculado el número específico de revoluciones, se tiene que calcular la velocidad de salida del agua al impactar con el rodete. A partir de este dato, se calcula la velocidad periférica del rodete y el diámetro. Una vez se tienen todos estos datos, se calcula el ángulo de salida del agua y el par teórico entregado por la turbina.

4.1. MEDICIÓN DEL SALTO DE ALTURA Y CAUDAL

Para determinar que turbina hidráulica se debe construir para posteriormente ser instalada, es preciso tener una serie de datos para caracterizar la turbina. Los datos que conviene saber son la altura del salto de agua, así como el caudal. Es necesario saber dichos datos ya que cada turbina se diseña para unas especificaciones de caudal y saltos de altura como se mostró en el capítulo anterior y se resumió en la Figura 17.

Para la medición de ambos datos se utilizan distintos métodos que preferiblemente independientemente del método que se utiliza, se recomienda realizar tres mediciones para conseguir más precisión a la hora de diseñar la turbina.

A continuación, se muestra una tabla que indica distintos métodos de medir la altura de saltos de agua, sus ventajas e inconvenientes y la precisión de los mismos.

Método	Ventajas y limitaciones	Precisión	Observación
Manguera de nivelación	Agotador para caídas altas. Rápido para pequeñas caídas.	Aprox. 5%	Es recomendable hacerlo entre dos personas.
Manguera y manómetro	Rápido, seguro. Da la posibilidad de medir la longitud de la tubería de presión a la vez. Peso: ligero. Costo: bajo.	(< 5%)	Calibrar instrumentos.
Nivel de carpintero y tablas	Inapropiado para pendientes suaves y largas. Lento.	Aprox. 5% en pendientes pronunciadas. Poca precisión en pendientes suaves. (1:10) (10-20%)	Usar sólo para caídas muy pequeñas cuando no se dispone de otro método.
Altimetro	Usado en caídas altas y medianas (> 40 m) rápido.	Probabilidad de grandes errores (30%)	Necesita calibración de instrumentos y destreza. Tomar 3 o más medidas.
Eclímetro	Rápido. Peso: liviano. Costo: moderado	Buena 5%	Recomendable en terrenos despejados. Usado en todos los lugares especialmente donde los otros métodos son muy lentos.
Nivel de ingeniero	Rápido. Costo: alto.	Muy buena.	No es bueno en lugares con demasiados árboles.
Mapa	Sólo para caídas altas. No necesita viajar al lugar. Peso: liviano. Costo: bajo.	Aceptable para prefactibilidad.	Se necesita destreza para leer planos.

Tabla 8: Métodos de medición de altura de saltos de agua (Sánchez, T., Ramírez-Gastón, J., 1995)

A la hora de medir el caudal existen distintos métodos en función de cómo se realicen, es decir, si se realizan de manera directa (aforo directo, se mide el caudal con un aparato) o de manera indirecta (aforo indirecto o continuo, se mide el nivel del agua en el caudal). La medición del caudal deberá hacerse en épocas de sequía ya que esta es la época es la más crítica para diseñar la turbina.

Según el Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático (ICC, 2017), los métodos más utilizados para medir el caudal son:

- Método volumétrico
- Medidor Parshall
- Método de vertederos y orificios
- Método de sección-velocidad

Además de ellos existen otros métodos señalados en Sánchez San Román (2017) donde se encuentran la estimación con flotadores o con molinete dentro de los aforos directos o con escalas limnimétricas y curvas de gasto dentro de los aforos indirectos. Una vez estimado el salto de altura y el caudal, se puede decidir que turbinas descartar por la imposibilidad de usar otras de la Figura 17. Con el objetivo de instalar esta turbina hidráulica en Camerún, se realizaron numerosas mediciones en las posibles localizaciones para instalar la turbina y finalmente, los datos con los que se parte en este proyecto se presentan a continuación:

$$H = 20 \text{ m} \quad ; \quad Q = 2 * 6,2 \text{ l/s} = 2 * 0,0062 \text{ m}^3/\text{s} = 0,0124 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ecuación 1: Datos de partida de salto de agua y caudal

Con estas mediciones, la turbina que se quiere diseñar se encuentra entre varios tipos. Para poder decir cuál es el tipo más adecuado, se necesita hacer una serie de cálculos que determinen más datos característicos. El caudal se multiplica por dos ya que hay dos inyectores.

4.2. CÁLCULO DEL NÚMERO ESPECÍFICO DE REVOLUCIONES

Como se indicó al principio de este capítulo, el número específico de revoluciones de una turbina es un dato característico para fijar el tipo de turbina, así como los parámetros de tamaño y forma de la misma, que muestra una semejanza entre una turbina y la turbina que queremos diseñar. Este número, se corresponde con el número de revoluciones dadas

en un minuto a la altura de 1 metro. Para hallar la velocidad específica se utiliza la Ecuación 2:

$$n_s = n * \frac{\sqrt{P_e/j}}{H^{5/4}}$$

Ecuación 2: Número específico de revoluciones

Donde:

- n: velocidad de rotación (rpm)
- P_e : potencia específica de la turbina (CV)
- H: altura del salto de agua (m)
- j: número de chorros en la turbina
- n_s : número específico de revoluciones (rpm)

Para el diseño de esta turbina, se parte de un alternador que funciona a 50 Hz y que cuenta con 6 pares de polos, por lo que la velocidad de rotación es de 500rpm. Para el cálculo de la potencia efectiva, se supone un rendimiento de la turbina del 80% se tiene como valor de potencia el mostrado por la Ecuación 3.

$$P_e = Q * g * H * \rho * \eta = 2 * 0,0062 * 9,81 * 20 * 998 * 0,8 = 1942,4W = 2,62CV$$

Ecuación 3: Cálculo de la potencia específica total

En el caso en el que solo funcionase un chorro el valor de la potencia sería $971,2W = 1,31CV$.

Con estos valores, el número específico de revoluciones dado sería el siguiente para un chorro:

$$n_s = 500 * \frac{\sqrt{1,31/1}}{20^{5/4}} = 13,53 \text{ rpm}$$

Y el número específico de revoluciones dado para dos chorros sería el siguiente:

$$n_s = 500 * \frac{\sqrt{2,62/2}}{20^{5/4}} = 13,53 \text{ rpm}$$

En la Figura 21, se muestra según el número de revoluciones, la turbina que más se adapta a los cálculos teóricos es la Pelton. Además, las turbinas Pelton son las turbinas más adecuadas para saltos de altura de agua grandes y caudales pequeños. Esta turbina se elige también pensando en las posibilidades que tienen los habitantes de la región para obtener los materiales necesarios, siendo más fácil fabricar una turbina Pelton que una Francis. Otra de las ventajas de esta turbina es la frecuencia de reparación, siendo inferior a otras turbinas.

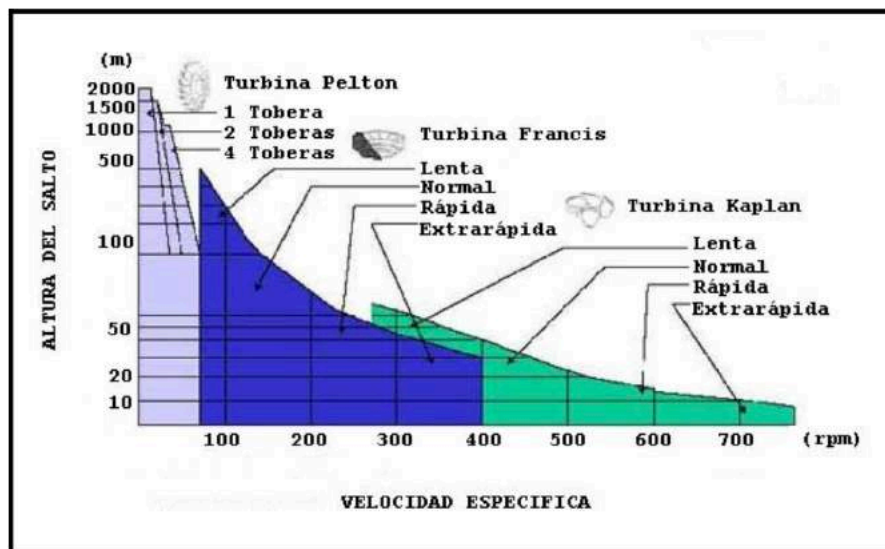


Figura 21: Diagrama de selección de turbinas en función de la altura del salto y de la velocidad específica (Agüera, 2002).

En esta figura, se muestra como la turbina Kaplan alcanza un número elevado de velocidad específica con poca altura, mientras que las turbinas Pelton y Francis necesitan de mayores alturas para que las velocidades específicas sean mayores. Además, se debe comentar que cuanto mayor es el número de velocidad específica, mayor es la posibilidad

de presentar cavitación, por lo que las turbinas Kaplan son más dadas a este fenómeno que las turbinas Pelton y Francis.

4.3. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SALIDA DEL CHORRO

Al tratarse de una turbina Pelton, es decir, turbina de acción, se tiene que considerar que toda la energía potencial se convierte en energía cinética. Esta velocidad es la misma que la que impacta en las cucharas y viene determinada por la Ecuación 4.

$$v = K * \sqrt{2 * g * H}$$

Ecuación 4: Velocidad real de salida del chorro

Donde:

- K: constante de velocidad que oscila entre 0,97 y 0,99

Para el cálculo teórico de la velocidad se supone un valor intermedio como 0,98.

$$v = 0,98 * \sqrt{2 * 9,81 * 20} = 19,41 \text{ m/s}$$

Ecuación 5: Cálculo de velocidad a la salida del chorro

4.4. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD PERIFÉRICA DEL RODETE

Para el cálculo de la velocidad periférica del rodete, se tiene en cuenta que la turbina Pelton alcanza su rendimiento óptimo cuando la velocidad periférica es entre 0,44 y 0,48 de la velocidad de salida del chorro. Esta aproximación se tiene siendo una turbina ideal, donde no hay rozamiento ni pérdidas de ningún tipo. Para el cálculo de nuestra turbina se utiliza un valor de 0,45.

$$u_1 = 0,45 * v = 8,7 \frac{m}{s}$$

Ecuación 6: Cálculo de la velocidad periférica del rodete

4.5. DIÁMETRO DEL RODETE

Para continuar con el diseño de la turbina es necesario caracterizar uno de los elementos más importantes, el rodete. Para calcular el diámetro del rodete se parte de la velocidad periférica del mismo y de la velocidad de sincronismo.

$$D = \frac{u \cdot 60}{\pi \cdot n} = \frac{8,7 \cdot 60}{\pi \cdot 500} = 0,332 \text{ m} = 33,23 \text{ cm}$$

Ecuación 7: Diámetro del rodete

Este valor de diámetro es coherente con lo que queremos obtener, en el caso de este proyecto, se observa como en la práctica se obtiene un mayor rendimiento si se ponen dos rodetes en paralelo, lo que lleva a que el diámetro calculado en la Ecuación 7 sea la mitad.

$$D = \frac{0,332}{2} \text{ m} = 0,166 \text{ m} = 16,6 \text{ cm}$$

4.6. ÁNGULO DE SALIDA DEL AGUA DEL RODETE

El ángulo de salida del agua del rodete una vez impacta con los álabes es el ángulo teórico es β_2 . El valor del ángulo es de gran importancia a la hora de diseñar la turbina Pelton ya que influye en el rendimiento de la turbina. Por ello, este ángulo debe ser mínimo sin llegar a la eliminación del mismo. El valor que se establece normalmente, varía entre 4° y 20° . En el prototipo que se quiere diseñar, se propone un ángulo $\beta_2 = 10^\circ$. Para este valor, el rendimiento de la turbina que se obtiene según la siguiente fórmula es:

$$\eta_h = \frac{1 + \cos \beta_2}{2} = \frac{1 + \cos 10}{2} = 0,9924 = 99,24\%$$

Ecuación 8: Rendimiento hidráulico calculado para el diseño de la turbina

4.7. PAR TEÓRICO ENTREGADO POR EL RODETE

El par motor teórico se calcula al combinar dos formas de obtener la potencia hidráulica de la turbina. La primera de ellas, tiene en cuenta el par motor y la velocidad angular. La segunda, tiene en cuenta que par motor se puede descomponer en el rendimiento de la turbina, el caudal y la velocidad de salida del agua. Ambas formas de obtener la potencia hidráulica se recogen a continuación:

$$P_i = \omega \cdot M = \eta_h \cdot \rho \cdot Q \cdot \frac{c_1^2}{2}$$

Ecuación 9: Par teórico entregado por el rodete

Además, existe una manera de relacionar la velocidad angular con la velocidad tangencial a través diámetro como muestra la siguiente ecuación:

$$u = \omega \cdot \frac{D}{2}$$

Ecuación 10: Relación entre velocidad angular y periférica

Al combinar estas dos ecuaciones, se obtiene otra ecuación que sirve para calcular el par teórico, mostrada a continuación:

$$M = \eta_h \cdot \frac{D \cdot \rho \cdot Q \cdot c_1^2}{4 \cdot u}$$

Ecuación 11: Par motor teórico

$$M = 0,9924 \cdot \frac{0,1661 \cdot 998 \cdot 0,0062 \cdot 2 \cdot 19,4^2}{4 \cdot 8,7} = 22,05 \text{ Nm}$$

Ecuación 12: Cálculo del par motor teórico total

4.8. ELECCIÓN DEL ALTERNADOR

Una vez obtenidos los datos de par teórico y de velocidad angular se ha de elegir el alternador para la turbina que se ha diseñado. Para el diseño teórico estudiado, el par de cada rodete es de 11,03Nm. El alternador elegido para este proyecto es un alternador de coche, el cual no necesita una velocidad determinada como el que partía de un estudio previo realizado por un trabajo anterior perteneciente al Proyecto Kumbo. El alternador diseñado en este trabajo previo tiene 1kVA de potencia por lo que es apto para el prototipo diseñado, pero para este modelo de turbina es necesario un alternador de 1,5kVA.

Para la elección del alternador, se parte de los datos previamente obtenidos, el par y la velocidad para sacar la potencia, como lo que interesa es la potencia aparente, se supone un factor de potencia razonable de 0.8 y se obtiene la potencia aparente como se muestra en la Ecuación 13.

$$P = M[Nm] * w \left[\frac{rad}{s} \right] = 22,05 * 500 * 2 * \frac{\pi}{60} = 1154,53 \text{ W}$$

$$S = \frac{P}{f dp} = \frac{1154,53}{0,8} = 1443,17,01 \text{ VA}$$

Ecuación 13: Potencia aparente del alternador

5. PROTOTIPO PROPUESTO

El prototipo final propuesto se trata de una turbina Pelton como se ha explicado a lo largo del proyecto. La turbina está apoyada en un soporte a modo de mesa para que su transporte y su instalación sean los más sencillas posibles. La entrada de caudal a la turbina es a través de cuatro inyectores y la salida del agua sobrante es un agujero. Este prototipo inicial se ensaya en el laboratorio para poder realizar las modificaciones necesarias para que adaptarla a las condiciones de Camerún

5.1. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO

En este apartado, se muestra el procedimiento artesanal de fabricación del prototipo, entre ellos, el del rodete y el de la mesa, ya que el resto de componentes del prototipo son comprados. Se intenta mostrar el proceso de fabricación de la manera más fácil, para que así, cuando se expliquen los conocimientos a los habitantes de la región sea sencillo entenderlo y visual.

Para la fabricación del rodete se siguen los siguientes pasos a realizar:

1. Se parte de un tubo PVC de diametro 13cm y se corta hasta alcanzar 10mm de espesor.

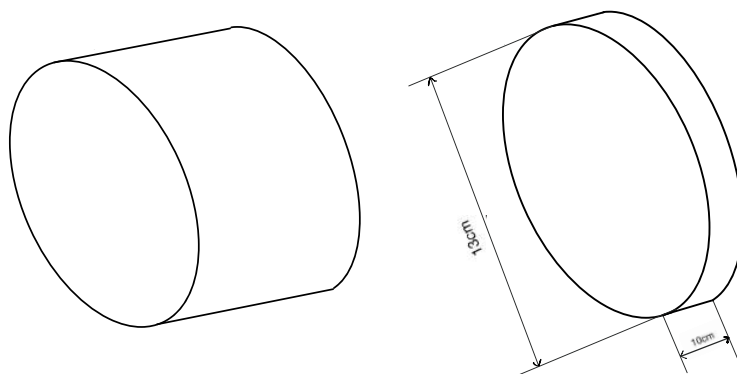


Figura 22: Primer paso del proceso de fabricación del rodete. Fuente: Elaboración propia

2. Una vez se tiene el tubo cortado, se taladran los agujeros. Primero, se taladra el agujero central de 1cm de diámetro. A continuación, se taladran 12 orificios roscados avellanados de diámetro de entrada 8mm, M4 y de profundidad 15mm.

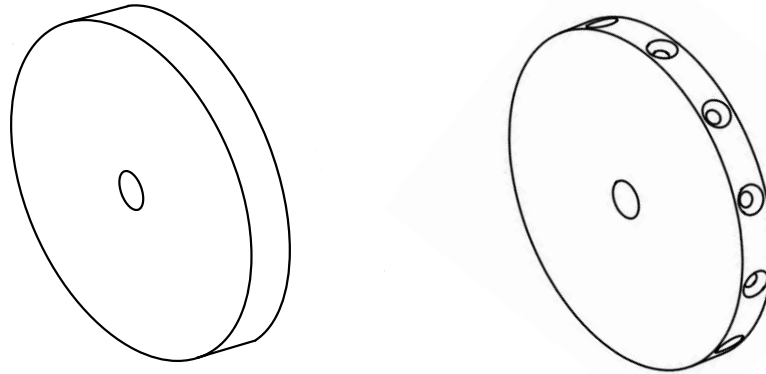


Figura 23: Segundo paso del proceso de fabricación del rodete. Fuente: Elaboración propia

3. Para continuar haciendo el rodete, se tienen que hacer los álabes de la turbina. Se parte de una esfera hueca de diámetro 4cm y se corta por la mitad.

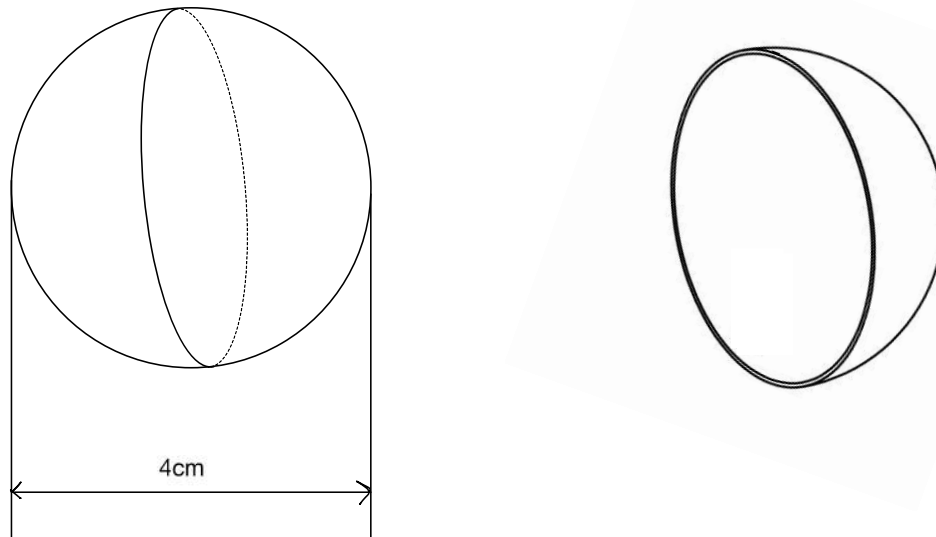


Figura 24: Tercer paso del proceso de fabricación del rodete. Fuente: Elaboración propia

4. Una vez cortada la esfera por la mitad, se taladra un agujero para posteriormente juntar los álabes con el soporte.



Figura 25: Cuarto paso del proceso de fabricación del rodete. Fuente: Elaboración propia

5. A continuación, una vez hecho los 12 taladros en los álabes, se atornillan al soporte.

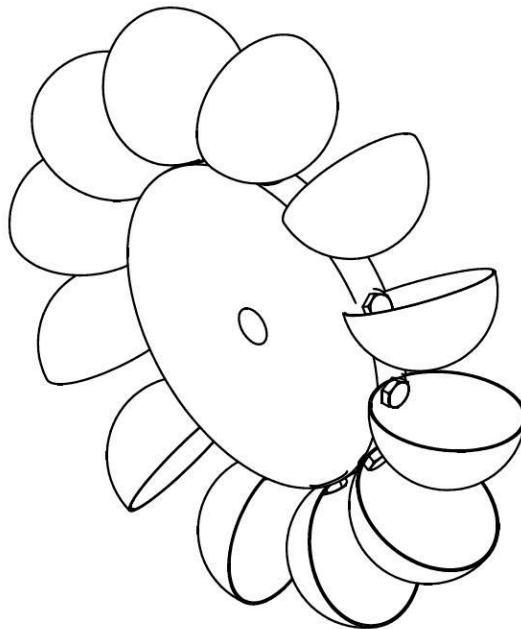


Figura 26: Quinto paso del proceso de fabricación del rodete. Fuente: Elaboración propia

Si bien es cierto que el primer prototipo que se construyó fue el descrito en este apartado, durante los ensayos, se comprobó que el rodete más eficiente que proporcionaba mayor rendimiento es un doble rodete de menor tamaño (11 cm) y con un corte en la parte superior de las cazoletas como se muestra en la Figura 27.

5.2. PARTES PRINCIPALES

En la realización del prototipo se pueden diferenciar varias partes principales: rodete, soporte, batería, inversor y alternador.

- El rodete está formado por cazoletas y una base cilíndrica de polietileno. Estos dos elementos se encuentran unidos a través de unos tornillos. Además, se utilizan dos inyectores en la instalación para tratar de conseguir se alcance la velocidad deseada.



Figura 27: Rodete. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran unas vistas en 3D del rodete. El rodete como se ha mencionado se compone de una rueda central de PVC de 10mm de espesor y 110mm a los que hay que añadir 40mm de las cazoletas.

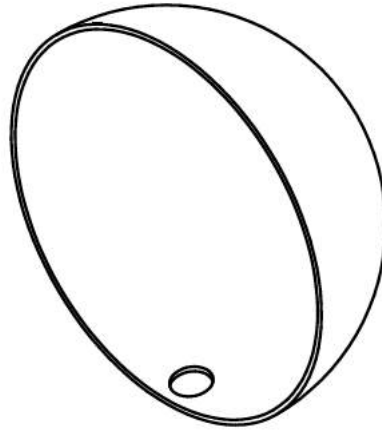


Figura 28: Vista 3D cazoletas. Fuente: Elaboración propia

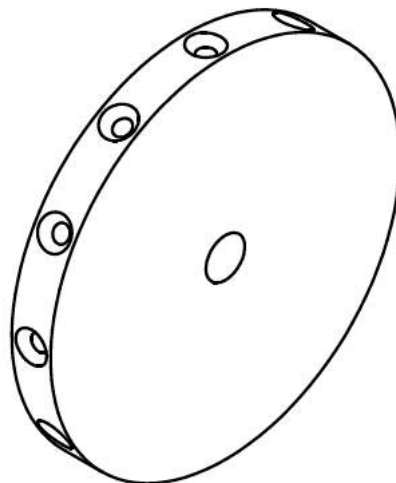


Figura 29: Vista 3D base polietileno. Fuente: Elaboración propia

En el centro del rodete se encuentra un agujero por el cual pasa el eje conectado con la polea. El rodete cuenta con 12 orificios separados equidistantemente. Además, los agujeros se encuentran roscados a M4 y avellanados a la entrada con diámetro 8mm. Los taladros tienen una profundidad de 15mm

A continuación, se muestra una vista en 3D de uno de los rodetes. El segundo rodete va instalado en paralelo, constituyendo así un rodete doble. En los planos se encuentran adjuntadas las medidas.

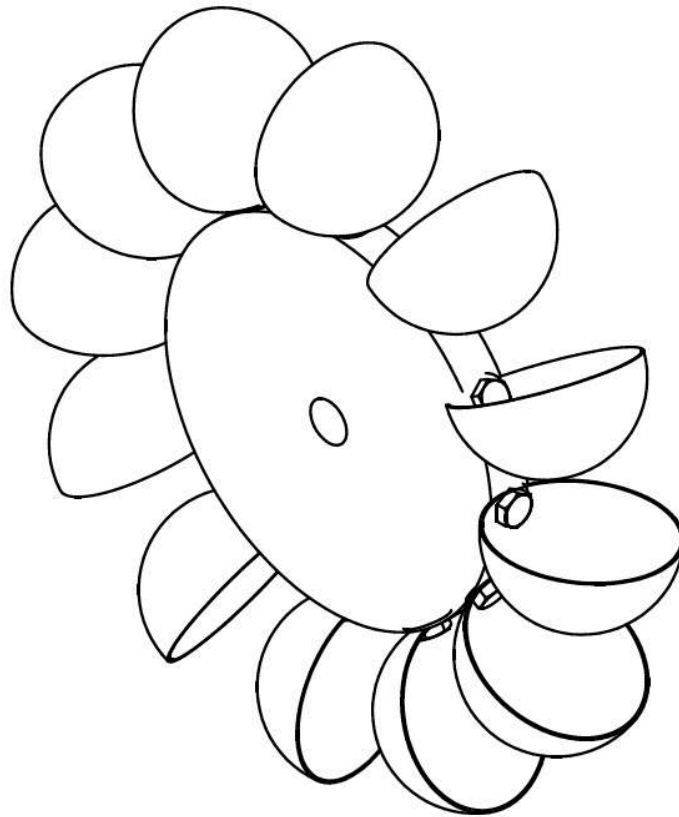


Figura 30: Vista 3D de un rodete. Fuente: Elaboración propia

- El soporte se diseña para que sea más sencillo el transporte y el acoplamiento con los elementos del laboratorio de ICAI. Incluye una parte que se asemeja a una mesa donde se apoya el alternador y el eje y también tiene una superficie vertical donde se apoya el rodete.



Figura 31: Soporte. Fuente: Elaboración propia

- La batería, cuyos planos se encuentran adjuntos en el anexo, se utiliza para almacenar los excedentes de energía o para almacenar energía en los puntos de baja demanda.



Figura 32: Batería. Fuente: Elaboración propia

- El inversor, cuyos planos se encuentran adjuntos en el anexo, se utiliza para transformar el voltaje de una batería al voltaje de las viviendas.



Figura 33: Inversor. Fuente: Elaboración propia

- El alternador que se ha utilizado en el prototipo es de 120 A y una tensión de carga de 14 V. Se encarga de transformar la energía mecánica en energía eléctrica.



Figura 34: Alternador. Fuente: Elaboración propia

El conjunto alternador, inversor y batería se muestra en la siguiente figura:



Figura 35: Conjunto alternador, inversor y batería. Fuente: Elaboración propia

Además de las figuras adjuntadas, también se considera interesante mostrar un esquema eléctrico de la instalación, dicho esquema se representa en la Figura 36.

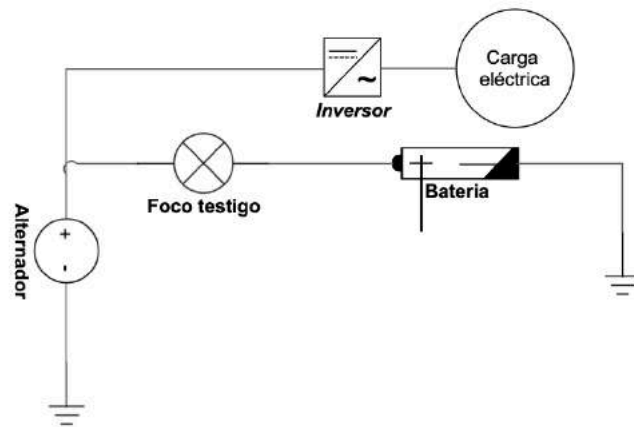


Figura 36: Esquema eléctrico de la instalación. Fuente: Elaboración propia

5.3. LISTA DE MATERIALES

Debido a las numerosas complicaciones y los cambios en el prototipo que se han dado a lo largo de la realización del proyecto, no ha sido posible el despiece completo del último modelo la turbina para analizar el número de elementos necesarios para montarlo, aunque se pueden enumerar aquellos materiales utilizados para realizar el último prototipo de la turbina hidráulica diseñada en este proyecto son los siguientes:

- Bastidor
- Plancha de PVC de 320x320x5mm
- Olla exprés
- Alternador de coche de 120^a 14V
- Inversor de onda senoidal pura de 1000W
- Batería de automóvil 14V
- Terminales batería
- Rodetes de cazoletas
- Disco separador de rodetes
- Retén para eje 10mm
- Llaves de paso 10mm
- Tubo de cobre 15mm para inyectores
- Codos de cobre de 15mm para inyectores
- Manguera de conexión
- Abrazaderas
- Tuercas
- Arandelas
- Bobilla testigo
- Tornillos
- Manómetro
- Bombilla simuladora de carga
- Eje torneado

6. ENSAYOS REALIZADOS

Una vez finalizado el diseño y la construcción del prototipo se inician los ensayos para comprobar el correcto funcionamiento del mismo. Estos ensayos se realizan en el laboratorio de Mecánica de Fluidos en ICAI con la ayuda y colaboración de Luis Manuel Mochón Castro.

Se realizan ensayos para comprobar el rendimiento y el funcionamiento de la turbina y se observan problemas que vayan surgiendo a lo largo de los mismos, para así plantear soluciones y cambios que hagan mejor el prototipo.

6.1. RECOGIDA DE DATOS

Previamente a iniciar los ensayos con la turbina final, se manda al laboratorio una pieza en T (Figura 37) para medir como varia el caudal para un diámetro dado de la boquilla manteniendo una presión constante.



Figura 37: Aparato en T

Como se ha visto a lo largo de este proyecto, el prototipo realizado consta de dos inyectores que pueden estar abiertos o cerrados en función del caudal que se desee o de las prestaciones que se necesiten de la turbina, por ello, en los ensayos realizados se controla tanto el número de inyectores abiertos como el caudal, y se mide la presión en bares, a través del manómetro instalado en el prototipo, el caudal medido en litros hora según la medida que da la instalación, las revoluciones de giro en revoluciones por minuto tomando la medida con un tacómetro digital, la tensión en voltios y la intensidad en amperios, estas dos últimas a la salida del alternador para obtener la potencia que sale de la turbina. Se muestra a continuación la Figura 38 que muestra la turbina en el Laboratorio de Fluidos y la Figura 39 que muestra la turbina en funcionamiento.

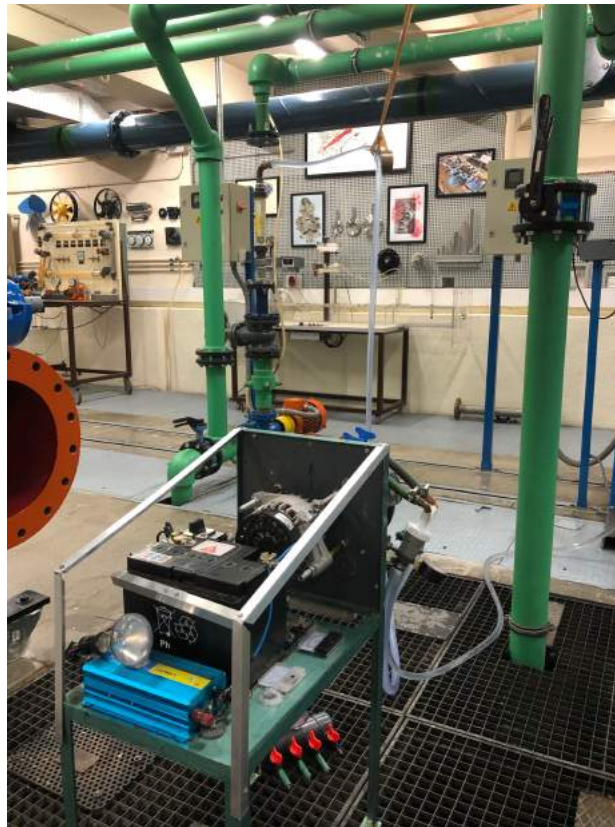


Figura 38: Instalación de la turbina en el laboratorio

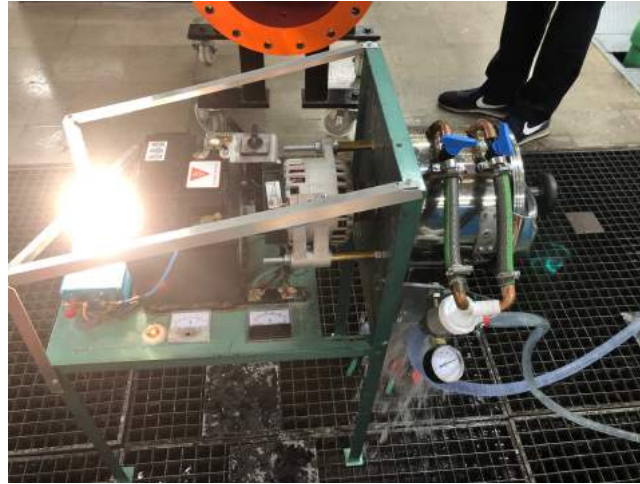


Figura 39: Turbina en funcionamiento

Los ensayos que se muestran a continuación son para un diámetro de 8mm de boquilla de los inyectores donde se va variando la presión para uno y dos chorros abiertos.

Número de válvulas abiertas	Presión [bar]	Caudal [l/h]	Revoluciones [rpm]
1	0,5	1350	515
	1	1800	890
	1,5	2150	1126
	2	2500	1354
	2,5	2700	1458
	2,7	2850	1574
2	0,5	2500	703
	1	3600	1091
	1,5	3900	1376
	2	4500	1572
	2,2	4700	1695

Tabla 9: Ensayos para uno y dos chorros abiertos

Altura [mca]
5,1
10,2
15,3
20,4
25,5
27,5

Tabla 10: Altura para un chorro de agua

Altura [mca]
5,1
10,2
15,3
20,4
22,4

Tabla 11: Altura para dos chorros de agua

Dado que el alternador debería empezar a cargar a partir de las 800rpm con obtener 1bar de presión se cumpliría para ambos casos. Si bien estos ensayos son importantes, también convendría realizar otros aumentando el diámetro de las válvulas para así poder aumentar el caudal y ver el efecto que tiene en las revoluciones y en la presión.

Para otros futuros ensayos, convendría saber también la potencia que se puede sacar de la turbina, para ello, se propone que se instale un interruptor que pueda abrir el circuito con la batería y que toda la tensión y la intensidad se puedan medir en una resistencia de carga para obtener la potencia que consume y por lo tanto la generada por la turbina. Se necesita una resistencia ya que al estar muy cargada la batería, la intensidad y la tensión que se proporcionan al circuito son las propias de la batería y por ello se obtendría una potencia muy pequeña que puede que no se corresponda con la realidad.

Otra opción es que el alternador utilizado no proporcionara la suficiente potencia eléctrica, por lo que será necesario comprobar, a posteriori, su correcto funcionamiento o, en su caso, sustituirlo por otro. Según la Figura 40 se observa como que empieza a dar una corriente apreciable el alternador ha de girar a 2000 rpm.

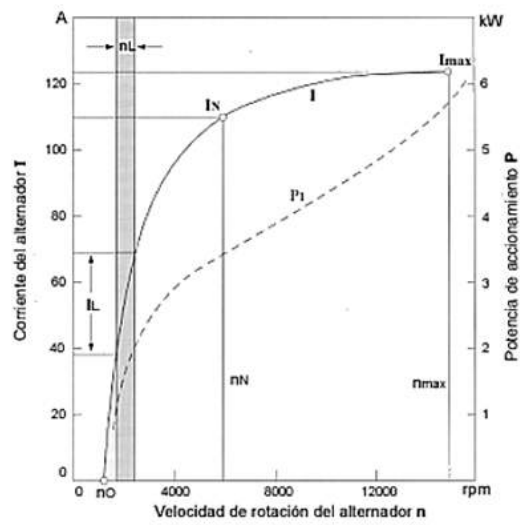


Figura 40: Curva Características Alternador típico 120A. Fuente:

<https://conocimientosweb.net/dcmt/wp-content/uploads/2013/09/Caracteristicas-del-altrernador.jpg>

7. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico y financiero tienen como objetivo determinar si un proyecto es adecuado para ejecutarlo o no, es decir, se mide su viabilidad. No cabe en la discusión que la generación de energía eléctrica es indispensable para el desarrollo de la sociedad de Kumbo, así como para aumentar su nivel de vida. Según Sobrera (2009), un análisis de viabilidad debe medir la relación entre un proyecto y el medio que se interviene, entendiendo como medio, el lugar donde se verifican los resultados del proyecto. Este análisis, además de necesitar un estudio económico y financiero, necesita incorporar otras categorías: análisis ambiental, social jurídico-legales, entre otras. Además de estas categorías, hay proyectos que podrían incluir otras que se considerasen necesarias y significativas para corroborar la viabilidad del proyecto.

7.1. PRESUPUESTO

Al ser este Trabajo Fin de Grado un proyecto solidario y de cooperación, no tiene como objetivo la búsqueda de beneficios económicos en su realización, sino que busca beneficios sociales, como la mejora del nivel de vida de los habitantes de la región. Estos beneficios sociales se miden como impacto a la sociedad.

En la siguiente tabla, se recogen los gastos de fabricación del prototipo como los materiales obtenidos en Madrid, también se incluyen las horas de mano de obra destinadas al mismo.

Descripción	Cantidad	Precio/ud	Total
Bastidor	1	60	60
Plancha de PVC de 320x320x5mm	1	8	8
Olla exprés	1	53,58	53,58
Alternador de coche de 120 ^a 14V	1	127,81	127,81
Inversor de onda senoidal pura de 1000W	1	109,99	109,99

Batería de automóvil 14V	1	58,95	58,95
Terminales batería	2	3,9	7,8
Rodetes de cazoletas	2	32	64
Disco separador de rodets	1	1	1
Retén para eje 10mm	1	3	3
Llaves de paso 10mm	2	12	24
Tubo de cobre 15mm para inyectores	2	5,9	11,8
Codos de cobre de 15mm para inyectores	2	4,51	9,02
Manguera de conexión	4	2	8
Abrazaderas	12	0,45	5,4
Tuercas	4	0,5	2
Arandelas	28	0,12	3,36
Tornillos	28	0,2	5,6
Bobilla testigo	1	4,33	4,33
Manómetro	1	5,4	5,4
Bombilla simuladora de carga	1	9,99	9,99
Eje torneado	1	20	20
Mano de obra (horas)	10	230	2300
		TOTAL	2903,03

Tabla 12: Gastos para la fabricación del prototipo incluyendo precio por unidad y total

A modo resumen del presupuesto, se presenta en la Tabla 13 las dos categorías de gastos: gastos de material y gastos por mano de obra.

GASTOS TOTALES	Valor
<i>Gastos de material</i>	603,03
<i>Gastos de mano de obra</i>	2300
TOTAL	2903,03

Tabla 13: Resumen de gastos totales

7.2. PRECIOS DE EQUIPOS DE CAMERÚN

A finales del mes de enero de 2021, se facilitó a Stephen (representante de SHUMAS) una lista de características de algunos de los aparatos necesarios para la fabricación de la turbina. Durante las conversaciones mantenidas, SHUMAS informó que los materiales necesitados estaban disponibles en mercados locales y, además, Stephen proporcionó una serie de fotos donde se indicaban los precios y algunas características de los aparatos encontrados en los mercados. Este material, no es todo lo que se necesita para la construcción de la turbina, sino que lo que se busca es comprobar su existencia en regiones cercanas a Kumbo y valorar los precios que tienen desde Madrid.

1. Los generadores de segunda mano están en buenas condiciones de trabajo. Algunos pueden estar más limpios de lo que se presenta en la foto adjunta. Los precios podrían variar según la etapa del generador desde 55€ a 110€.

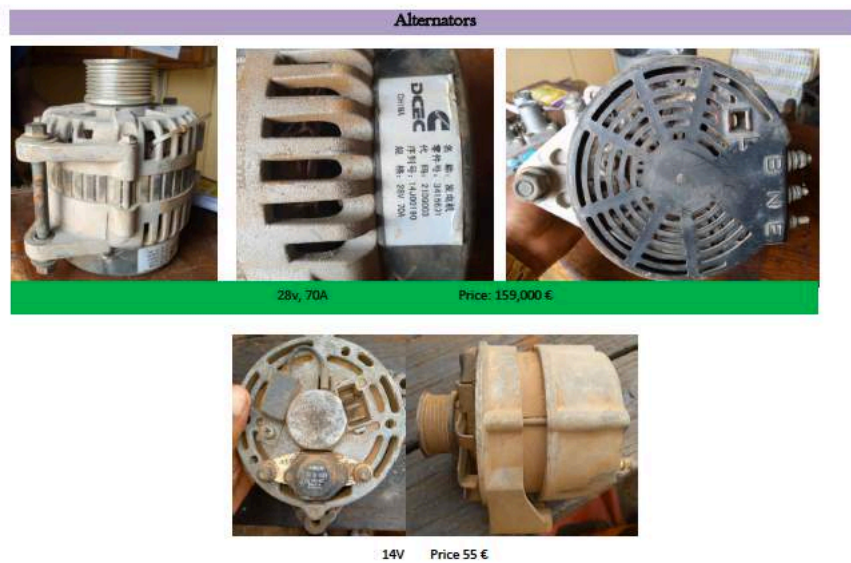


Figura 41: Características y precios en el mercado local.

2. Para el inversor hay también otros modelos con la misma potencia también como se ve en el archivo adjunto. El precio oscila entre 46€ y 74€.



Figura 42: Inversores en el mercado local.

3. En cuanto a la batería se tienen algunas con las mismas especificaciones a las que proporcionamos desde Madrid en las tiendas de repuestos de automóviles a 70€ a 149€.

BATTERIES SPECIFICATIONS		
12V	120A	149€
12V	100A	99€
12V	75A	70€

Figura 43: Especificaciones de baterías compradas en el mercado local.

Como resumen, se muestra a continuación en la Tabla 14 los elementos anteriormente descritos, así como sus intervalos de precios totales, no se muestra la mano de obra ya que son elementos que se compran y no se fabrican, la mano de obra habría que tenerla en cuenta en caso de fabricación de los elementos.

Elemento	Precio (€)
Generador	55-110
Inversor	46-74
Batería	70-149

Tabla 14: Precios de los elementos en mercados locales

7.3. FINANCIACIÓN

Para el desarrollo del proyecto se podrían utilizar diversas vías de financiación descritas a continuación a parte de la ya existente dirigida a personas que quieran colaborar haciendo aportaciones al siguiente número de cuenta: ES3300810085640002008305 indicando en el asunto “Proyecto Kumbo”.

La vía pública: existen distintas ayudas que son proporcionadas por parte de los ayuntamientos y del Estado. Para acceder a estas ayudas, la Fundación de Ingenieros del ICAI para el Desarrollo debe pertenecer a la AECID (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo). Una vez se pertenece a la AECID se podrá obtener el sello de la Fundación Lealtad. Este sello es un sello de calidad, en el que se garantiza que la Fundación es responsable con lo que gasta y que esos gastos están justificados. Al pertenecer a esta agencia (AECID) se te permite el acceso a concursos y subvenciones públicas.

La vía privada: en la actualidad cada vez es más común que grandes empresas ofrezcan concursos solidarios (empresas como KPMG, Deloitte, Grupo Santander...). En el caso del Grupo Santander, los proyectos que se seleccionan son aquellos que fomentan el desarrollo social y económico de la comunidad y la sostenibilidad. Además, se centra en que los proyectos incluyan formación para los habitantes, introducción a nuevas tecnologías y sean inclusivos.



Figura 44: Santander Best Africa. Fuente:

<https://www.fundacionbancosantander.com/es/accion-social/santander-best-africa/proyectos>

Para participar en estos concursos se ha de presentar el proyecto en su totalidad. Como aspecto negativo se da que no se puede prever si vas a ganar o no el concurso por lo que son fondos que no puedes contar con ellos a lo hora de hacer la planificación anual. Financiación a través de socios o padrinos: todos los meses los socios de la fundación hacen una donación y se puede elegir el proyecto al que destinarlo. Se debería hacer una promoción del Proyecto Kumbo para que los socios estuviesen más implicados y así poder contar con más donaciones. Otra opción que hay es la realización de festivales donde se incluyan rifas con premios a través de colaboraciones con empresas que nos quisiesen donar los premios. Además, se puede hacer una colaboración con empresas que donen un beneficio cuando se da la venta del denominado “artículo solidario”.

Todas estas opciones de financiación se pueden aplicar para la llevar el prototipo a Kumbo con el prototipo y así poder impartir las clases necesarias para su construcción y su funcionamiento, con el fin de que se expandan los conocimientos a regiones cercanas y todos los habitantes de la zona puedan disfrutar de la energía obtenida por parte de la turbina eléctrica.

7.4. SOSTENIBILIDAD

Según Gil (2016), el concepto de sostenibilidad es aquel que se basa en compaginar el crecimiento económico, preservar el medio ambiente (generando menos residuos, reduciendo la consumición de recursos) e impulsando la igualdad en la sociedad, es decir, tiene en cuenta tres ámbitos distintos: economía, medio ambiente y sociedad. Si no se consigue compaginar estos tres ámbitos consiguiendo un equilibrio entre ellos, no se puede asegurar su sostenibilidad. Como se explica posteriormente en el Anexo A, el proyecto que se desarrolla en este documento, no solo tiene en cuenta preservar el medio, sino que también ofrece oportunidades a la sociedad de manera igualitaria y, además, se pueden obtener ventajas económicas. En Gasparri (2015) se explican las definiciones de los tres ámbitos referidos anteriormente. La sostenibilidad ambiental consiste en satisfacer las necesidades de la sociedad actual sin perjudicar a las sociedades futuras. La sostenibilidad social trata que todo el proyecto involucre a la sociedad, haciéndola beneficiaria del proyecto, además, si el proyecto que se desarrolla responde a unas

necesidades, como es la instalación de la turbina, es más probable su perduración en el tiempo. Y la sostenibilidad económica trata de presupuestar en el medio y el largo plazo para hacer frente a futuros gastos.

En cuanto al crecimiento económico, este proyecto no genera beneficios a quien lo pone en marcha, sino que los beneficios económicos que hay son para amortizar los gastos de las instalaciones. Se busca aportar una fuente de energía eléctrica renovable a los habitantes de la región, así como enseñar a estos los conocimientos necesarios para las futuras construcciones e instalaciones de nuevas turbinas. Para amortizar los gastos de las instalaciones normalmente se cuenta con ayuda de organizaciones no gubernamentales que podrían tratar de obtener la financiación para la instalación de nuevas turbinas. Por otra parte, se podrían utilizar otros métodos para financiarlas. Estos otros métodos podrían ser ingresos al ofrecer un servicio, como por ejemplo la carga de móviles. En los países menos desarrollados, una de las cargas más típicas del sistema eléctrico es la carga de teléfonos. Para realizar el estudio de sostenibilidad, se ha elegido escoger un teléfono únicamente con funciones básicas como llamar/recibir llamadas o mensajes para que se asemeje más al modelo que pueda estar presente por la zona. Este teléfono elegido es el modelo Alcatel 2003, el cual tiene una capacidad de la batería de 970mAh y los cargadores tradicionales utilizan de voltaje 5V, además, se elige este teléfono por ser uno de los modelos más simples que hay y más baratos de los catálogos. Se obtiene con estos dos números el consumo que tiene un teléfono básico del mercado.

$$970 * 10^{-3} Ah * 5V = 4,85Wh$$

Ecuación 14: Consumo de carga de un teléfono básico

Teniendo en cuenta que la carga del móvil no se hace al día sino pasado un periodo determinado de tiempo, si consideramos que los habitantes cargan el móvil cada 7-10 días, se cargaría un número total media de 44 veces, lo que supondría un consumo total del 215Wh/año.

El teléfono elegido tiene una carga media de 8,3 días entre cargas. Para sacar el coste de este consumo, es necesario conocer la tarifa que pagan los usuarios domésticos en

Camerún, una vez obtenido el dato de la tarifa presente según Farré (2019), se calcula el precio por carga del teléfono.

Tipo de consumo	Precio(FCFA=Franco CFA/kWh)
Menor o igual a 110kWh	50
Entre 110kWh y 400kWh	79

Tabla 15: Tarifas de consumo mensual uso doméstico (Farré, 2019)

Con el cálculo anterior de 215Wh/año se estima el consumo mensual, siendo este, 18Wh/mes, lo que se corresponde con la primera fila de la *Tabla 15* al ser un consumo menor que 110kWh.

El precio de la carga del teléfono al mes sería 0,9FCFA como se expresa en la Ecuación 15.

$$\frac{215Wh/año}{12} = \frac{18Wh}{mes}; \frac{0,018kWh}{mes} * \frac{50FCFA}{kwh} = 0,9FCFA$$

Ecuación 15: Precio de carga al mes del teléfono

Para calcular el precio de cada carga en Euros, se utiliza como conversión la siguiente:

$$1 \text{ FCFA Franco CFA} = 0,0015€$$

Por lo que el precio de la carga al mes es de 0,14 céntimos de euro, lo que al año serían 1,64 céntimos. Actualmente, el precio de carga de los teléfonos es de 1€/carga cada vez que se presta este servicio. Si se estableciese como precio de cincuenta céntimos cada vez que se cargue el móvil, se reduciría el gasto de los habitantes y con ese dinero se podría mantener la turbina y repararla en caso de necesidad.

Para conocer si el proyecto que se plantea en este documento es sostenible, se estudia un supuesto caso de que la aldea consumiese 3kWh/día, teniendo en cuenta que se trata de

un consumidor menor que 100kWh, el precio que tendría la electricidad sería de 6,84€/mes y en un año 82€. Considerando que el precio total de la turbina artesanal que se desarrolla en este trabajo es de 2900€, la amortización de este proyecto sería en 35 años aproximadamente, como se muestra en la Ecuación 16.

$$\frac{2900\text{€}}{82\text{€}} = 35 \text{ años}$$

Ecuación 16: Cálculo de años para amortizar el proyecto

La preservación del medio ambiente en este proyecto es un aspecto de vital importancia. Al ser una instalación hidráulica renovable, no se dan emisiones contaminantes ni al agua, suelo o aire. Para la instalación de esta turbina hidráulica se crea un canal para que entre el caudal a la turbina y otro canal de salida que acaba en el mismo río, por lo que el caudal se ve afectado mínimamente. Por ello, la instalación de esta turbina hidráulica no supone un riesgo para el medio ambiente.

Por último, en cuanto a las consecuencias sociales que tendrá el proyecto al instalar la turbina hidráulica en Camerún, supone consecuencias positivas. Supone consecuencias positivas ya que, al instalarla, se forma a los habitantes en conocimientos sobre energías renovables sin discriminación de género. Esto supone un avance para la sociedad de Camerún ya que normalmente deja a las mujeres en un espacio secundario y se les da a los hombres un papel más importante.

7.5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

A la hora de realizar el análisis de sensibilidad se tienen que tener en cuenta diversas variables que pueden afectar de forma significativa a la viabilidad económica del proyecto y la variación de estas para ver si el proyecto es sostenible o no a lo largo del tiempo. En este proyecto las variables son aquellas relacionadas con la fabricación de la turbina y las que aportan al mantenimiento o a la reparación de la turbina.

Aquellos ingresos que se obtienen de la instalación de la turbina hidráulica son los generados por la carga de móviles. Como se ha visto en el apartado anterior, la tarifa que

se propone cuesta cincuenta céntimos por cada carga de un móvil, teniendo en cuenta que en la región haya 100 teléfonos y que cada teléfono se recarga cada 8,3 días, se recaudarían 183€/mes por la recarga de los teléfonos.

$$0,5 \frac{\text{€}}{\text{recarga}} * 3,6 \frac{\text{recarga}}{\text{mes}} * 100 \text{ teléfonos} = 183\text{€/mes}$$

Ecuación 17: Ingresos al mes por carga de teléfonos

Para tener en cuenta los gastos que se puedan dar, hay que tener en cuenta los dos tipos de variables mencionados anteriormente. Aquellas variables podrían ser la sustitución o reparación de un elemento o la limpieza de la turbina para asegurar el correcto funcionamiento de la misma. Para tener en cuenta la limpieza de la turbina que se deberá hacer de forma regular, por ejemplo, cada semana para asegurar que no se obstruyan los canales, se supone que una persona cobra 5€ por cada vez que limpia la turbina. El gasto mensual de esta limpieza son 20€/mes. Por otra parte, en cuanto a los componentes de la turbina que se puedan romper y sea necesaria su sustitución, se considera el peor de los casos, la sustitución del alternador. El alternador puede costar en el mercado de Camerún 110€, estos elementos suelen tener una vida útil de alrededor 10 años, supone un gasto mensual de 0,9€.

Gastos totales al mes (€)	
<i>Limpieza</i>	20
<i>Recambio alternador</i>	0,9

Tabla 16: Gastos provistos al mes

A continuación, se muestra una tabla de balance para observar el margen que habría con las condiciones iniciales supuestas.

INGRESOS TOTALES		GASTOS TOTALES	
<i>Recarga de móviles</i>	183 €	<i>Limpieza</i>	20 €
		<i>Recambio alternador</i>	0,9 €
TOTAL	183 €	TOTAL	20,9 €

Tabla 17: Balance mensual

$$\text{Margen} = \text{Ingresos totales} - \text{Gastos totales} = 183 - 20,9 = 162,1\text{€}$$

Ecuación 18: Margen mensual

El margen existente con estas primeras suposiciones es de 162,1€ como se muestra en la Ecuación 18. Esto supone que el proyecto a primera vista sea económicamente viable aun habiendo unos gastos que se escapan de la situación ideal. Incluso en el caso de que la recarga de móviles fuese inferior, existiría margen suficiente para asegurar que el proyecto es viable.

En el caso de que hubiese otro tipo de variaciones, tales como el cambio de tarifa a un precio inferior que el establecido de cincuenta céntimos, se podría volver a optar por el servicio ofrecido y pedir apoyo a las ONG presentes en la zona. Por el contrario, si las tarifas subiesen mucho, habría más personas que utilizarían la turbina hidráulica para la recarga de sus teléfonos haciendo que los ingresos fuesen más altos, aumentando por consiguiente el margen existente.

Para hacer más visual el análisis de sostenibilidad del proyecto, a continuación, se muestra una tabla con distintos escenarios para comprobar que el proyecto es factible de realizarlo. En el escenario 3 y 4, se supone una situación del cambio de tarifa en la recarga de teléfonos de la ciudad, en el primero de ellos se supone una bajada de precio, lo que dará lugar a que menos gente de la zona recargue su teléfono con la turbina, se toma como pérdida de clientes un 15% como asimilación del cambio de portabilidad que hubo en España en el año 2017 según datos de la Comisión Nacional de los Mercados y la

Competencia, mientras que en el escenario 4 se utiliza la suposición contraria en la que las tarifas se encarecen y personas que pagaban ese servicio empiezan a utilizar la turbina como forma de recargar sus móviles.

SITUACIÓN	INGRESOS TOTALES		GASTOS		BALANCE
	AL MES		TOTALES		
1. Ideal					183€
	<i>Recarga de móviles</i>	183€		-	
2. Con arreglos y mantenimiento					162,1 €
	<i>Recarga de móviles</i>	183 €	<i>Limpieza</i>	20 €	
			<i>Recambio alternador</i>	0,9 €	
3. Bajada de tarifas					
	<i>Recarga de móviles</i>	146,4 €	<i>Limpieza</i>	20 €	
			<i>Recambio alternador</i>	0,9 €	
4. Subida de tarifas					189,6 €
	<i>Recarga de móviles</i>	210,5 €	<i>Limpieza</i>	20 €	

			<i>Recambio alternador</i>	0,9 €	
--	--	--	--------------------------------	-------	--

Tabla 18: Tabla resumen análisis de sensibilidad con diferentes escenarios

Como conclusión a la Tabla 18 se puede afirmar como en los diversos escenarios que se dan a la hora de plantear el proyecto, el proyecto es sostenible ya que al cambiar las variables y suponer tanto escenarios favorables como desfavorables el balance del proyecto es positivo, y por lo tanto se demuestra tu viabilidad también.

7.6. IMPACTO SOCIAL

Como se ha ido comentando a lo largo de todo el proyecto, la finalidad principal de este Trabajo Fin de Grado es mejorar la calidad de vida de los habitantes de las regiones cercanas a Kumbo. La visión de la parte occidental del planeta con respecto a la energía eléctrica es muy distinta a la que tienen los habitantes de Camerún, para los occidentales la electricidad está siempre presente en nuestro día a día, a cualquier hora al alcance de un interruptor, mientras que para muchas otras personas esto no es así, pueden tener muchas más dificultades o incluso solo pueden disfrutar de la luz del sol, por ello, este proyecto supone un gran avance para las sociedades de los países menos desarrollados. Además, no solo se trata de un proyecto donde se instala la turbina y cada voluntario ha terminado su trabajo. Este trabajo además de proporcionar electricidad, pretende proporcionar los conocimientos que se han ido adquiriendo a lo largo de la fabricación del prototipo y enseñar a los habitantes de la zona los conocimientos de fabricación, instalación y proporcionarles también conocimientos de las energías renovables. Gracias a la instalación de la turbina hidráulica artesanal, las comunidades podrán cambiar de manera sustancial ya que podrían poseer nuevos servicios o realizar tareas, entre otras cosas, eliminando así las limitaciones que tenían.

Otro aspecto donde tiene especial importancia la instalación de la turbina hidráulica es la sanidad. Puede ser que muchos centros de salud no pudiesen atender todas las emergencias debido a que sus reservas de electricidad fuesen muy limitadas o incluso

tuviesen que cerrar en horario nocturno por no disponer de dichas reservas y solo poder atender con luz natural. Por ello, esta turbina supone un gran impacto al generar electricidad en cualquier momento del día, permitiendo que los hospitales y centros de salud puedan abrir durante 24h y así poder atender a las emergencias. Además, ahora con la pandemia de la COVID-19, cuando se lleven vacunas a las zonas más remotas, es necesario contar con neveras que sean capaces de mantener su temperatura, ahora con la turbina hidráulica es posible.

En el ámbito de la educación, cabe destacar que, aunque el horario escolar es durante el día, los alumnos tenían dificultades para realizar sus tareas debido a la falta de luz. La generación constante de energía eléctrica podría implicar una extensión de los horarios lectivos, hacer escuelas nocturnas para adultos y facilitar a los estudiantes la realización de sus tareas, ya que hasta ahora esto último se veía limitado a las horas donde había luz natural.

Además, en el ámbito social las cosas también serían distintas. A la hora de realizar reuniones o eventos solo se podían hacer a la luz del día o aprovechándose de la luz que pudiese proporcionar lo hoguera, dando por acabada la reunión en el momento en el que se apagase el fuego. Ahora, con la instalación de la turbina hidráulica artesanal, las reuniones y los eventos se podrían alargar hasta que los habitantes quisiesen.

En resumen, la instalación de la turbina hidráulica generaría un impacto en la sociedad positivo ya que podrían disfrutar de muchos aspectos de la vida que hasta ahora, se veían limitados por la luz solar.

8. CONCLUSIONES

Para concluir este Trabajo Fin de Grado es necesario analizar las dos partes que lo componen: ingeniería y financiera. Por una parte, tras haber realizado los ensayos correspondientes, tanto en el laboratorio de Fluidos con el profesor de la escuela, Luis Mochón como en el laboratorio del colaborador Julio Tejedor, se puede concluir que, aunque la turbina funciona, son necesarios una serie de mejoras, entre ellas, está mejorar la parte mecánica ya que el eje del alternador no se encuentra nivelados y los rodets no están perfectamente concéntricos. Además, cabe destacar que la turbina presenta unos niveles de vibración muy altos y conviene reducirlos porque si no la parte mecánica no va a ser duradera. Cabe destacar también que Camerún presenta numerosas fuentes de energía renovable, lo que hace que sea un aliciente más para la instalación de una turbina hidráulica en esta localización.

En cuanto a la parte económica, en el apartado del análisis económico se describen las formas que hay de obtener financiación y las distintas alternativas que existen, es por ello, que se considera económicamente viable al haber numerosas opciones que van desde donaciones de particulares hasta el apoyo de empresas privadas. Además, una vez allí, el coste para los habitantes de la región es reducido ya que los aparatos tienen bastante vida útil y contarían con el apoyo de organizaciones para financiar los arreglos que sean precisos. El apartado económico tiene gran relevancia en todos los proyectos, debido a que la falta de planificación o el desconocimiento de algunos escenarios puede resultar en que el proyecto deje de ser económicamente viable.

Como conclusión, todos los proyectos deben tener como objetivo final el beneficio común y este proyecto se basa en eso, en beneficiar a una comunidad. El beneficio de esta comunidad será avanzar como sociedad ya que a los habitantes de la zona se les transmitirán conocimientos para así poder ponerlos en práctica en otras localizaciones. Además de beneficiar a una comunidad, se fomenta el uso de las energías renovables y no contaminantes, lo cual es muy necesario en un momento como el que vivimos ahora. También, cabe decir que este proyecto tiene como finalidad ser una guía para otros que lo puedan necesitar a la hora de instalar turbinas en zonas donde sea posible su instalación.

9. BIBLIOGRAFÍA

Tovar Rodríguez, F. G. (2011). Proyecto Kumbo (Camerún). Instalaciones energéticas necesarias (II). *Revista anales de mecánica y electricidad*. Recuperado de https://revista-anales.icaei.es/web/n_10/pdf/seccion_7.pdf

Paz Penín, C. (2019). *Turbomáquinas hidráulicas*. Vigo: Servizo de Publicacións da Universidade de Vigo.

Zamora Parra, B. (2016). *Máquinas hidráulicas. Teoría y Problemas*. Cartagena: CRAI.

Agütera Soriano, J. (2002). *Mecánica de Fluidos Incompresibles y Turbomáquinas Hidráulicas*. Madrid: Editorial Ciencia 3, S.L.

Sánchez San Román, F.J. (2013). *Medida de caudales*. Salamanca: Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca. Recuperado de: <http://hidrologia.usal.es>

ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, 2017). *Manual de medición de caudales*. Guatemala. 18 p.

Sánchez, T. (1995). *Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos*. Lima: ITDG

ONU (2015). *17 objetivos para transformar nuestro mundo*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Mataix, C. (1982). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Madrid: ICAI, Segunda Edición.

Castro, A. (2006). *Manuales de Energías Renovables*. Madrid: IDEA, Capítulo 6.

Farré Salvans, C. (2019). *El mercado de las energías renovables en Camerún*. Malabo: ICEX España Exportación e Inversiones.

Gasparri, E. (2015). *Elaboracion del Plan de Sostenibilidad para el Proyecto*.

Gil, A. (2010). Sostenibilidad. *La revista de ANSEMAT*, Volumen 26, 16-17. Recuperado de: <http://www.ansemat.es/empresas/ansemat/revista/REVISTA%20n26.pdf>

Sobrero, F. (2009). *Análisis de viabilidad: la cenicienta de los proyectos de inversión*. Argentina: Asociación Argentina de Estudios en Administración Pública (AAEAP).

Maldonado Quispe, F. (2005). *Diseño de una turbina de río para la generación de electricidad en el distrito de Mazán-Región Loreto* (Bachelor's thesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos)

Forero Parrado, J. A., Moreno Aguilar, J. J., Neuta Céspedes, S. (2019). *Elaboración de un prototipo de turbina tipo Pelton para el laboratorio de hidráulica de la Universidad* (Bachelor's thesis, Universidad Cooperativa de Colombia)

Hensdorff, M. (2017). *Rotor generate your own electricity*. Recuperado de: https://www.heinsdorff.de/sites/default/files/daten/objekte/Rotor-generate_your_own_electricity.pdf

ANEXO A: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

La realización de este proyecto persigue garantizar el acceso a la electricidad de una forma asequible y no contaminante, es decir, que la obtención de la electricidad sea sostenible para que el impacto en el medio ambiente sea lo más reducido posible. El propósito del trabajo de fin de grado es mejorar la vida de los habitantes de la región de Kumbo, a la vez que se enseñan conceptos sobre las energías renovables.

Dentro de este marco se encuentran los objetivos de desarrollo sostenible. Durante el mes de septiembre de 2015 muchos de los líderes mundiales se comprometieron con un conjunto de objetivos que, entre otras cosas, pretenden erradicar la pobreza o reducir el cambio climático protegiendo el planeta para así en un futuro conseguir vivir en un mundo sostenible. Cada uno de los objetivos planteados están previstos para cumplirse en los próximos 15 años.



Figura 45: Imagen de los objetivos de desarrollo sostenible. Fuente: ONU, 2015

Este Trabajo Fin de Grado tiene varios objetivos de desarrollo sostenible asociados. Aquellos con los que se puede relacionar son los siguientes:

- ODS 3: Salud y Bienestar

En este objetivo, se pretende garantizar una vida sana y promover el bienestar para todas las personas. La instalación de una turbina hidráulica artesanal en Camerún promovería este objetivo, ya que, la presencia de luz a cualquier hora del día permitiría la realización de ciertas actividades que sin ella no podrían hacerse. Actualmente con la pandemia un aspecto clave es la conservación de las vacunas a bajas temperaturas. La energía eléctrica que habría durante todo el día, permitiría la conservación de las mismas.

- ODS 4: Educación de calidad

El objetivo número 4 persigue que a través de la educación se salga de la pobreza presente en todos los países, especialmente en aquellos subdesarrollados. Además, de una educación inclusiva donde no haya diferencias entre niños y niñas. Este proyecto es muy importante para las escuelas alrededor de la instalación, ya que permitiría aumentar el número de horas de trabajo y también permitiría a los niños que viven en esas zonas disponer de más horas de luz para realizar sus tareas escolares y que de otra forma no podrían hacerlas o se verían limitados.

- ODS 7: Energía asequible y no contaminante

Este objetivo tiene como meta conseguir que la energía sea cada vez más sostenible y con más disponibilidad. En los países menos desarrollados esta situación ha ido mejorando con los años siendo muy destacable la actuación de la energía renovable. El proyecto que se está desarrollando en este Trabajo Fin de Grado casa a la perfección con la consecución de este objetivo ya que se instala en un país como Camerún y además se obtiene energía de una forma sostenible y no contaminante.

- ODS 10: Reducción de las desigualdades

La meta presente en este objetivo es reducir la brecha existente entre dos zonas del mismo país. Si bien es verdad que esta situación mejora con el paso de los años reduciendo la desigualdad, en la sociedad de Camerún donde se desarrolla el proyecto existen grandes diferencias entre las zonas urbanas y las zonas urbanas como diferencias salariales o sociales. La instalación de turbinas hidráulicas en zonas rurales conseguirá reducir las diferencias presentes con las zonas urbanas especialmente en el grado de electrificación que presentan estas zonas, siendo este muy elevado en zonas urbanas.

- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles


El objetivo numero 11 persigue lograr que las ciudades y las comunidades sean más sostenibles. Este objetivo tiene también relación con nuestra instalación ya que pudiendo instalar cualquier tipo de central, se decide que sea una mini-central hidroeléctrica favoreciendo así a que las comunidades que la rodean sean sostenibles.

- ODS 13: Acción por el clima

Este objetivo se centra en la adopción de medidas que contribuyan a combatir el cambio climático y sus efectos. A lo largo de los años las emisiones de dióxido de carbono y de otros gases de efecto invernadero han aumentado de tal forma que en 2019 se alcanzaron niveles récord. La instalación una turbina hidráulica contribuye al clima ya que los elementos de la turbina no generan ningún contaminante y son respetuosas con el medio.

Como conclusión, este proyecto de fin de carrera es un proyecto que persigue la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible ya que favorece la consecución de objetivos de distintas clases como sociales, económicos y sostenibles.

ANEXO B: PLANOS




A0003

Alternators, Starters & Parts 2021-01-22

Product card

Data		rasgos del producto	
index AS:	A0003	Tensión [V]	12
EAN:	5901259400052	Intensidad [A]	120
Product type:	Para estrenar	Tamaño A [mm]	91.50
Line:	STANDARD LINE	Tamaño B [mm]	55.00
Producer:	AS-PL	Polea	AP
Reemplazo para:	Bosch	D.1 [mm]	11.50
OE:	0123510002	D.2 [mm]	11.50
Product status:	Active	G [qty.]	6
		O.D.1 [mm]	44.00
		L.1 [mm]	195.00

Photos



B+

D+

W

Número de referencia

Número	Producer
ALTE425	3EFFE
ALTK083	3EFFE
ALTS569	3EFFE
PRAE425	3EFFE
PRAS569	3EFFE
CGB-17990	AINDE
A0003	AS-PL
AEC1300	AUTOELECTRO
0123500001	BOSCH
0123510002	BOSCH
0123510023	BOSCH
0986037990	BOSCH
112194	CARGO
CAL10105	CASCO
CAL10105AS	CASCO
CAL10105ES	CASCO
CAL10105GS	CASCO
CAL10105OS	CASCO
CAL10105RS	CASCO
CAL10122	CASCO
CAL10122AS	CASCO
CAL10122ES	CASCO
CAL10122GS	CASCO
CAL10122OS	CASCO
CAL10122RS	CASCO
CAL10123	CASCO
CAL10123AS	CASCO
CAL10123ES	CASCO

AS-PL Sp. z o.o. Product card: **A0003** 1

Figura 46: Características Alternador



Datasheet

ENGLISH

RS Pro 1000W Fixed Installation DC-AC Power Inverter Modified sine, 12V dc / 230V ac

Stock number: 816-0068

RoHS 



Specifications:

Model	816-0068
Rated power	1000W
Surge power	2000W
Output voltage	230V
Output frequency	50Hz \pm 3
Output waveform	Modified sine wave
USB port	5V 2.1A
Input voltage	12V
Dimension(LxWxH)	270.4x208x77mm
N.W/unit	2480g

Features:

- Anodized aluminum case provides durability & max heat dissipation
- Two LED indicators on the front panel shows the working and failure state
- ON/OFF switch control the inverter by hand
- The inverter is compact, light weight and east to operate.
- Protections: overheat, overload, low-voltage alarm & shutdown, over-voltage, short circuit, reverse polarity
- Soft start
- Auto. Reset after being in protected
- Universal UK/Euro output socket:

rspro.com

Figura 47: Características Conversor

L600D TECHNICAL DATA SHEET – L2 60Ah 480A PILOT

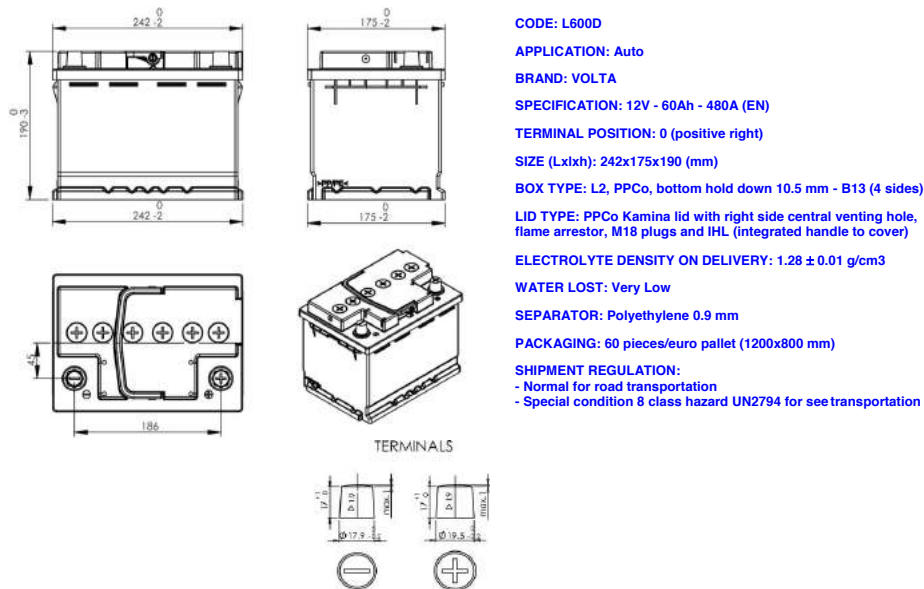


Figura 48: Características Bateria

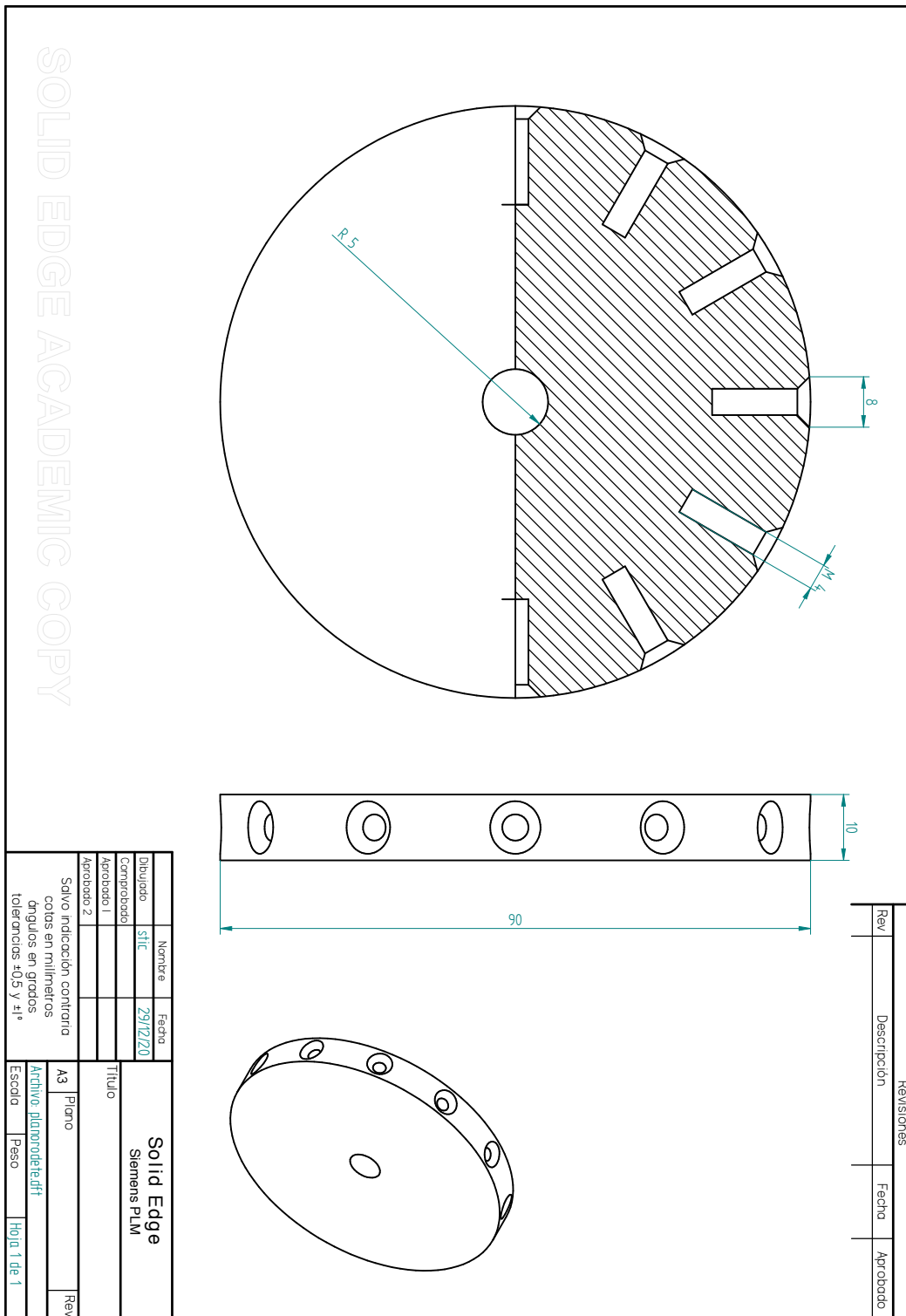


Figura 49: Plano base rodete

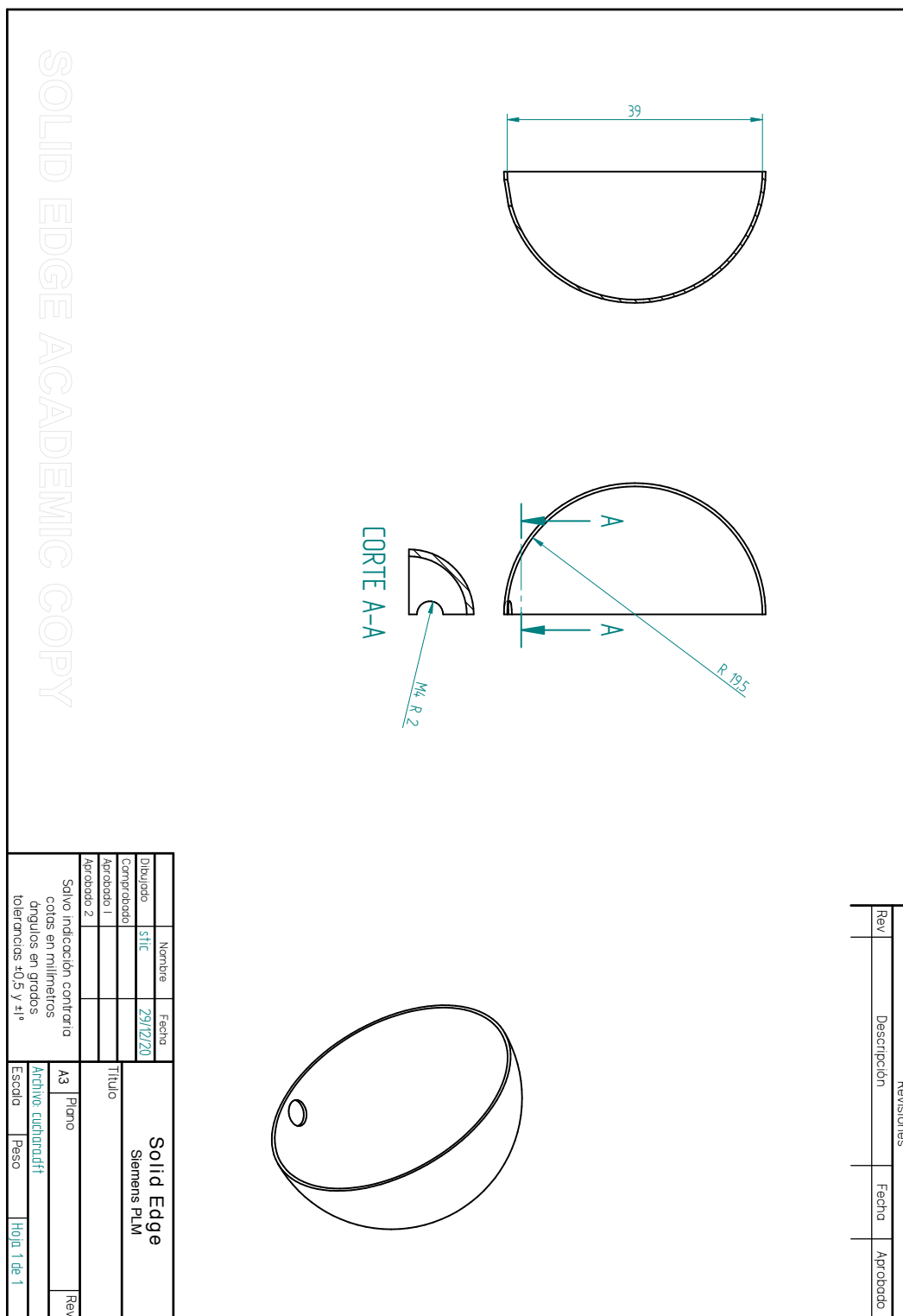


Figura 50: Plano cuchara rodete

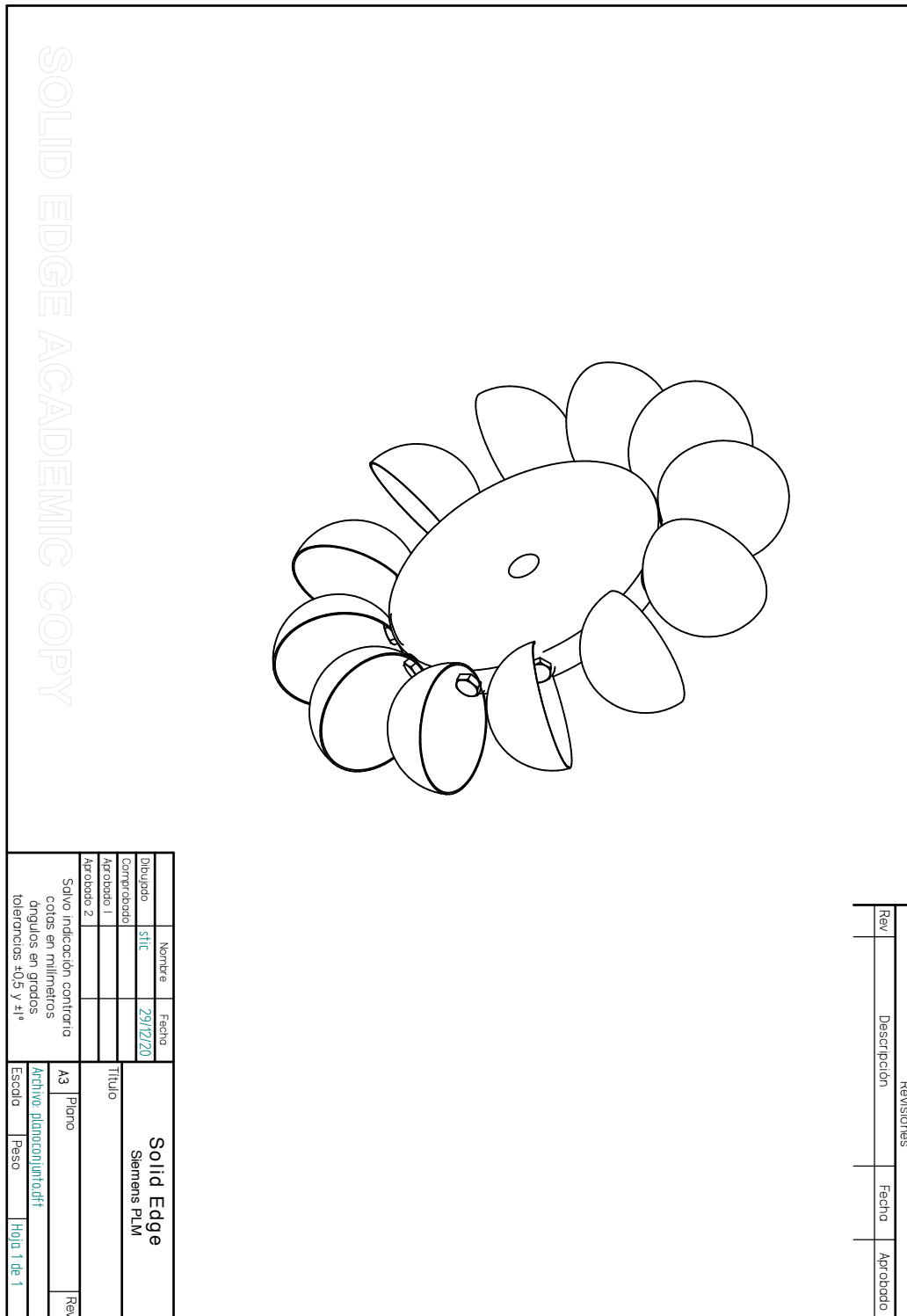


Figura 51: Vista 3D conjunto rodete