

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño de un módulo demostrativo de micro generación basado en
energía hídrica”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Juan Pablo Ambrosini Cabrera

Fabián Esteban Brito Arrieta

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico primero a Dios por otorgarme la oportunidad de graduarme de ingeniero mecánico, a mis padres Paolo y Eliana por su esfuerzo y dedicación incondicional para formarme en valores para salir como una persona íntegra. A mis amigos Emmanuel y Andrés que han estado durante el transcurso de mi carrera universitaria brindándome su apoyo y amistad sincera.

Juan Pablo Ambrosini Cabrera

A Dios. A mis padres, Marcelo y Nicole, quienes a través de su esmero, paciencia y cariño supieron guiarme en mi formación personal y profesional. A mis hermanos, Marcelo y Gabriel por su apoyo y sus ocurrencias.

Fabián Estaban Brito Arrieta

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a Dios por todas las bendiciones recibidas a lo largo de mi carrera universitaria y poderla concluir satisfactoriamente. A mis padres, Paolo y Eliana, por su amor y entrega para animarme a seguir adelante pese a las dificultades. A mis amigos, Emmanuel y Andrés, por su apoyo, amistad y acompañamiento. Finalmente, a mis profesores por sus conocimientos brindados en los cursos de energías renovables y con su apoyo en el desarrollo de esta tesis.

Juan Pablo Ambrosini Cabrera

A mis padres por su cariño y apoyo incondicional. A mis hermanos por su ayuda y consejos oportunos. A la Dra. Emérita Delgado y el Dr. Juan Peralta, quienes, a más de guiarnos en la realización de este trabajo, supieron compartir conocimientos, concejos y adentrarnos en el desarrollo de las energías renovables.

Fabián Esteban Brito Arrieta

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Juan Pablo Ambrosini Cabrera* y *Fabián Esteban Brito Arrieta* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Juan P. Ambrosini Cabrera



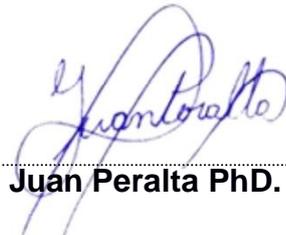
Fabián E. Brito Arrieta

EVALUADORES



Ing. Emérita Delgado PhD.

PROFESOR DE LA MATERIA



Ing. Juan Peralta PhD.

PROFESOR TUTOR



Ing. Galo Durazno

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Durante estas dos últimas décadas se ha evidenciado un cambio en la matriz energética dirigido al uso de fuentes de energía renovable en el Ecuador. No obstante, existe un déficit importante a nivel educativo en la comprensión de sistemas de generación de energía. Por ello, se propone diseñar un módulo demostrativo de energía hídrica empleando microturbinas que permita explicar los principios básicos de conversión de energía.

Se delimitaron 3 alternativas de solución, siendo la variación de cabezal hídrico y su facilidad de transporte, las principales consideraciones de diseño. Mediante una tabla de selección, se optó por el diseño de una estructura metálica dispuesta de un reservorio y un set de tuberías conectadas a las microturbinas que permitían un funcionamiento continuo de apertura simultánea durante 2 minutos.

Se desarrolló un análisis estático usando Autodesk Inventor, a partir del cual se obtuvo la distribución de esfuerzos en la estructura a partir del peso total del agua y una fuerza aplicada por una persona. Dichos resultados confirmaron que la estructura de acero inoxidable y las columnas de acero negro de perfil cuadrado fueron seleccionados correctamente, y los esfuerzos aplicados eran despreciables considerándose un diseño conservativo.

Este proyecto impulsa el desarrollo de la eficiencia energética y el uso de fuentes renovables como matriz primaria de producción de electricidad en el país. La fabricación del módulo tiene un costo total de \$770,75 pero por la carencia de proyectos similares, no es posible realizar una comparación de costos con productos del mercado.

Palabras Clave: Microturbinas, Energía Hídrica, Energía Renovable, Educativo.

ABSTRACT

Along last two decades, there has been a change in the energy matrix directed at the use of renewable energy sources in Ecuador. However, there is a significant educational deficit in the understanding of power generation systems. Therefore, it is proposed to design a demonstration module of hydro energy using microturbines that allows to explain the basic principles of energy conversion.

3 possible solutions were defined, with the variation of the water head and its ease of transport being the main design considerations. Using a selection table, it was decided to design a metallic structure with a reservoir and a set of pipes connected to the microturbines that allowed a continuous simultaneous opening operation for 2 minutes.

A static analysis was developed using Autodesk Inventor, from which the distribution of stresses in the structure was obtained from the total weight of the water and a force applied by a person. These results confirmed that the stainless-steel structure and the square black steel columns were correctly selected, and the applied stresses were negligible considering a conservative design.

This project promotes the development of energy efficiency and the use of renewable sources as the primary matrix of electricity production in the country. The manufacturing of the module has a total cost of \$ 770.75 but due to the lack of similar projects, it is not possible to make benchmarking on the market.

Keywords: Microturbines, Hydro Energy, Renewable Energy, Educational.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
INDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Desarrollo sostenible y energías renovables	3
1.4.2 Tipos de turbo maquinarias.....	4
1.4.3 Potencial de la energía hidráulica	6
1.4.4 Módulos de enseñanza.....	7
CAPÍTULO 2.....	8
2. Metodología	8
2.1 Antecedentes y consideraciones de diseño.....	8
2.1.1 Códigos y normativa	9
2.2 Componentes y elementos mecánicos del módulo	10
2.2.1 Diseño estructural	10

2.2.2	Reservorio de agua.....	10
2.2.3	Tuberías de conexión	11
2.2.4	Microturbinas de generación.....	11
2.2.5	Conexión inferior de desagüe	11
2.2.6	Accesorios	11
2.3	Alternativas de diseño del desplazamiento vertical	12
2.3.1	Alternativa 1: Módulo con desplazamiento de tornillo de potencia.....	12
2.3.2	Alternativa 2: Módulo con desplazamiento de bandeja móvil.....	12
2.3.3	Alternativa 3: Módulo con desplazamiento de tubería fija.....	12
2.4	Selección de diseño	13
2.5	Diseño de forma	15
2.5.1	Análisis de cabezal para la generación de energía.....	15
2.5.2	Selección de tanque de almacenamiento	16
2.5.3	Dimensiones de componentes del módulo	18
2.6	Selección de materiales	19
2.7	Diseño detallado.....	20
2.7.1	Simulación de elementos mecánicos.....	20
2.8	Diagrama de bloque de control.....	21
CAPÍTULO 3.....		22
3.	Resultados Y ANÁLISIS	22
3.1	Análisis de cargas y esfuerzos	22
3.2	Costos del módulo.....	29
3.2.1	Materiales y Equipos.....	30
3.2.2	Fabricación	30
CAPÍTULO 4.....		31
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	31
4.1	Conclusiones.....	31

4.2 Recomendaciones..... 32

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
CAD	Diseño Asistido por Computadora
EDS	Educación para el Desarrollo Sostenible
IHA	Asociación Internacional de Hidroelectricidad
CPE	Código de Práctica Ecuatoriano
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
LOSPEE	Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica
ARCONEL	Agencia de Regulación y Control de Electricidad
PET	Tereftalato de polietileno
PVC	Policloruro de vinilo

SIMBOLOGÍA

W	Watts
Q	Caudal
A	Área
V	Voltios
V	Volumen
m	Metros
s	Segundos
v	Velocidad
t	Tiempo
d	Diámetro
L	Largo
a	Ancho
h	Alto
ρ	Densidad
N	Newtons
M	Momento
F	Fuerza
Pa	Pascales
g	Gramos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de la Turbina Pelton	5
Figura 1.2 Esquema de la Turbina Francis.....	5
Figura 2.1. Prototipo de módulo didáctico de micro generación	8
Figura 2.2 Diseño de desplazamiento vertical de tubería fija.	15
Figura 2.3 Curva de funcionamiento de turbina Pelton 12V	16
Figura 2.4 Diagrama de bloque de control del diseño final.....	21
Figura 3.1 Diagrama del módulo con sus partes.	22
Figura 3.2 Estructura a analizar con las cargas críticas.	24
Figura 3.3 Tensión Von Mises en la estructura.	26
Figura 3.4 Desplazamiento de la estructura.	27
Figura 3.5 Estructura a analizar con las diagonales.	27
Figura 3.6 Tensión Von Mises en la estructura con diagonales.	28
Figura 3.7 Desplazamiento de la estructura con diagonales.	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Comparación por pares de criterios de selección	13
Tabla 2.2 Ponderación y selección de mejor alternativa de solución	14
Tabla 3.1 Propiedades físicas del material de la bandeja superior e inferior	25
Tabla 3.2 Propiedades físicas del material de las columnas	25
Tabla 3.3 Resultados del primer análisis estático en INVENTOR	26
Tabla 3.4 Resultados del segundo análisis estático en INVENTOR	28
Tabla 3.5 Costos de materiales	30
Tabla 3.6 Costos de fabricación	30

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Alternativa 1: Tornillo de potencia
- PLANO 2 Alternativa 2: Bandeja móvil
- PLANO 3 Alternativa 3: Tubería fija
- PLANO 4 Bandeja Superior
- PLANO 5 Base Inferior
- PLANO 6 Conexión Inferior
- PLANO 7 Ensamble
- PLANO 8 Explosión

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Dentro de los contenidos curriculares en los diferentes niveles de formación en el Ecuador se establece la necesidad de incorporar conceptos de fuentes renovables de energía. Sin embargo, dentro de los diferentes procesos de enseñanza-aprendizaje existen al momento un déficit importante de actividades, estrategias o mecanismos que permitan comprender en la práctica los conceptos y aplicaciones asociadas a los sistemas de generación de energía, en especial la renovable. En atención a la problemática expuesta, una forma de subsanarla es la utilización de simulaciones o prototipos que permitan experimentar dentro de un laboratorio los principios básicos de conversión de energía, como parte del entorno o ecosistema áulico educativo.

En cuanto a contenidos asociados a los syllabus de las diferentes asignaturas en cada uno de los niveles de formación, es necesario y fundamental incorporar aspectos de sostenibilidad como parte importante de las acciones de enseñanza-aprendizaje con el fin de contribuir a las metas establecidas dentro del Plan de Desarrollo Nacional. Respecto a este, en el Ecuador no se dispone de suficientes equipamientos, infraestructura o laboratorios, que permitan o incorporen actividades enfocadas al fomento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). Es importante recalcar, que el Ecuador forma parte del grupo de países que firmaron el acuerdo de cumplimiento de las metas establecidas para el 2030 como parte de los ODS.

Cabe considerar, por otra parte, que la sostenibilidad energética es una parte importante del desarrollo sostenible y se encuentra establecida dentro del séptimo objetivo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), Energía asequible y limpia, destacar su relevancia en cuanto a la expansión de su visión en el aspecto ambiental, dado que el uso de energías renovables permite la reducción de gases de efecto invernadero, mejorando la calidad de vida. De igual forma en lo económico, con el uso de energía distribuida,

permite una reducción de costos al tener energía producida en el sitio sin depender de puntos externos y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles. (UNESCO, 2017)

1.2 **Justificación del problema**

Una fuente de energía renovable importante dentro del contexto energético nacional es la energía hidráulica, por tal razón resulta importante dentro del contexto de formación lograr comprender todos los conceptos asociados al uso de esta fuente energética. En primer lugar, las centrales hídricas son instalaciones que utilizan una turbina como medio para generar energía a partir del movimiento o el potencial del agua disponible a cierta altura. En la práctica, estos sistemas no son de fácil manejo demostrativo ni funcional para un estudiante por la infraestructura que conlleva su instalación. Por tal razón cualquier prototipo o simulación de un sistema de generación hídrica que se diseñe, será una herramienta importante en la comprensión de la conversión de energía dentro del entorno educativo.

Por último, es conveniente anotar que dentro de los diferentes enfoques de actuación en el marco del séptimo ODS establece que se realicen experimentos con el uso de prototipos en energías renovables para una formación educativa íntegra que permita al estudiante, como objetivo de aprendizaje cognitivo, comprender “cómo las tecnologías de energía renovable pueden ayudar a impulsar el desarrollo sostenible, y entiende la necesidad de tecnologías nuevas e innovadoras...” (UNESCO, 2017)

1.3 **Objetivos**

1.3.1 **Objetivo General**

Diseñar un módulo demostrativo de energía hídrica empleando generadores de flujo de microturbina para el desarrollo de actividades de enseñanza en laboratorio.

1.3.2 **Objetivos Específicos**

1. Diseñar el mecanismo de movimiento para la variación de altura del reservorio de agua.

2. Diseñar la estructura de soporte y colocación de las microturbinas y el reservorio de agua.
3. Realizar el diseño mediante un software CAD de sistema de variación de estructura de soporte del reservorio de agua.
4. Calcular los esfuerzos del mecanismo de elevación por medio de un análisis dinámico y seleccionar el material adecuado para la manufactura del módulo.
5. Diseñar el sistema de control para la operación del módulo.

1.4 Marco teórico

Este proyecto consiste en el diseño de un módulo de micro generación basado en energía hídrica para favorecer una educación íntegra de acuerdo con el principal enfoque del séptimo objetivo de desarrollo sostenible: uso de tecnologías y experimentos basados en energías renovables.

1.4.1 Desarrollo sostenible y energías renovables

En primer lugar, el desarrollo sostenible, según lo expuesto en el informe de la Comisión Brundtland de 1987, comprende en satisfacer las necesidades presentes sin perjudicar la facultad de satisfacer las necesidades de las futuras generaciones. Además, este comprende de tres pilares fundamentales para su desarrollo: Ambiental, Social y Económico. Dado que se desea obtener un desarrollo sostenible, es primordial el uso de energías renovables que posean beneficios en los tres principios de la sostenibilidad. (UNESCO, 2012)

A fin de lograr el desarrollo sostenible en los diferentes países, la UNESCO desde 1992 ha promovido la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) enmarcados en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que permiten tener una clara visión de los problemas mundiales que se deben atender, así como también como solucionarlos. Sin duda alguna, el séptimo objetivo, Energía asequible y limpia, se tiene en consideración porque, además de la facilidad para su aplicación, promueve el uso de estas energías que dan opción a una mejora ambiental, social y económica

dentro del país. (UNESCO, 2017)

Por otra parte, la energía renovable es aquella “que se obtienen de fuentes naturales inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.” (Casas et Al., 2008). Estas tienen un impacto mínimo o nulo al medio ambiente y entre ellas se encuentran: solar, hídrica, eólica, biomasa, etc. Para este proyecto nos enfocaremos en la hídrica dado que el prototipo se basa en su aplicación.

1.4.1.1 Energía Hídrica

Ante todo, ésta se puede definir como la energía que “se obtiene a partir de cualquier masa de agua en movimiento. Tal puede ser el caso de la corriente de un río, como la corriente que discurre por un tubo originada por una diferencia de altura entre dos pantanos.” (Carta et Al., 2009)

Esta energía potencial se genera por la diferencia de altura y se convierte en cinética con el movimiento del agua; de igual forma ésta se transforma en energía mecánica al pasar por una turbina hidráulica que hacen girar el rotor que acoplado a un generador produce electricidad. En consecuencia, existen diferentes tipos de turbinas con diferentes características que aprovechan este recurso. (Carta et Al., 2009)

1.4.2 Tipos de turbo maquinarias

A fin de que se pueda aprovechar al máximo la energía que transporta el agua, se utilizan diferentes tipos de turbinas. Estas se pueden clasificar por su funcionamiento en dos tipos: acción y reacción. Cabe destacar que las primeras utilizan la presión dinámica debida a la velocidad del agua con el accionar de la turbina. Por otro lado, las segundas aprovechan inclusive la presión estática al funcionar en el interior de compartimentos cerrados con una presión mayor a la atmosférica. (Carta et Al., 2009)

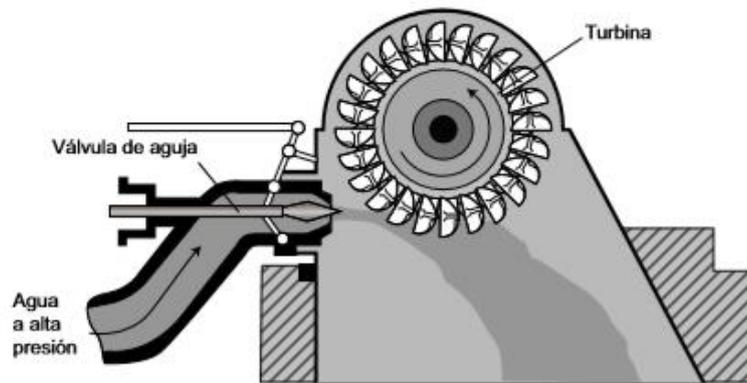


Figura 1.1 Esquema de la Turbina Pelton [obtenido de Centrales de Energías Renovables, pg. 444]

Tal es el caso de la turbina de acción Pelton, como se ilustra en la figura 1.1 Se basa en un rodete que posee en su periferia cucharas las cuales son impactadas de forma tangencial por un chorro de agua a presión que proviene de un inyector, permitiendo la rotación del árbol de la turbina. Este tipo de turbinas son de eje horizontal y trabajan mejor con un alto cabezal y bajo caudal. (Carta et Al., 2009)

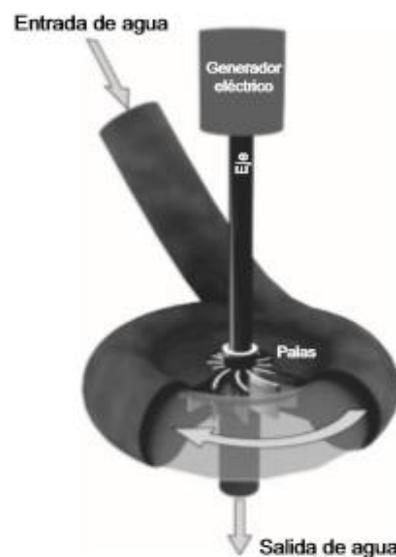


Figura 1.2 Esquema de la Turbina Francis [obtenido de Centrales de Energías Renovables, pg. 446]

Ahora bien, la turbina de reacción Francis, como se ilustra en la figura 1.2. Se basa en un rodete con palas dentro de un compartimiento cerrado en el que entra el agua a velocidad de forma radial al eje y termina de forma axial, que permite la rotación del árbol de la turbina. Dentro de este compartimiento cerrado se encuentra la cámara de alimentación que permite distribuir y aprovechar toda el agua en la periferia del rodete. Este tipo de turbina son de eje vertical y trabajan mejor con un bajo cabezal y alto caudal. (Carta et Al., 2009)

1.4.2.1 Microturbinas

Cabe mencionar, que las turbinas mencionadas anteriormente son de gran tamaño para la producción de electricidad en grande, mediana, pequeña e inclusive minicentrales de energía. Sin embargo, para fines educativos, demostrativos o de micro generación se utilizan microturbinas, las cuales poseen las mismas características geométricas a escala de las turbinas de generación, que permiten ser transportadas y observar su funcionamiento sin utilizar una infraestructura para su instalación.

1.4.3 Potencial de la energía hidráulica

Dentro de la región latinoamericana, el aprovechamiento hídrico constituye la fuente más significativa dentro de la matriz energética actual. Según el reporte anual de la Asociación Internacional de Hidroelectricidad (IHA), en el año 2018 se impulsó la generación de nuevas centrales, con un aporte cercano a los 5 Giga-watts (GW). De la cifra detallada, Ecuador proporciono 556 MW con la entrada en operación de sus centrales energéticas (Alarcon, 2019).

En términos generales, se pone en consideración dos aspectos fundamentales para el análisis de una central hidroeléctrica. La medida de salto en bruto, indica la diferencia de niveles vertical entre la superficie del agua localizada en la toma y el canal de descarga. La medida de Caudal, información proporcionada por estaciones de aforo asentadas en la zona de interés. A partir de esta, se tiene que el aforo de una corriente de agua

es la medida de caudal Q que atraviesa por una sección A en un determinado momento (Ecuación 1.1)

$$Q = vA \quad (1.1)$$

donde v es la velocidad del agua y A es la sección por donde pasa dicha corriente.

1.4.4 Módulos de enseñanza

Cabe destacar que la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) en el marco de la Vinculación con la Sociedad, se encuentra ejecutando un proyecto donde un componente de actuación es el diseño y elaboración de módulos de enseñanza de energía renovable. A la fecha, se han elaborados módulos relacionados aprovechamiento de energía solar como paneles o colectores solares; por otro lado, de energía eólica con molinos de viento. Sin embargo, no se poseen módulos de energía hídrica, siendo la de mayor aprovechamiento energético en el país, haciendo que sea mayor su relevancia y fabricación.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Antecedentes y consideraciones de diseño

Las primeras actividades enmarcadas en el desarrollo conceptual del módulo de energía hidráulica se realizaron como parte de las prácticas de servicio comunitario en el proyecto titulado “Laboratorio Móvil para la formación educativa en Energías Renovables” durante el año 2019. El diseño conceptual planteado utilizaría microturbinas para la generación de electricidad por medio de la variación de cabezal de agua. Por consiguiente, se establecieron las dimensiones del tanque de almacenamiento, esqueleto de la estructura y las alturas de trabajo de las microturbinas junto a las pantallas de control que indicaban el voltaje y la corriente generada por las microturbinas, que requieren un mínimo de 3V para su correcto funcionamiento, como se muestra en la figura 2.1.

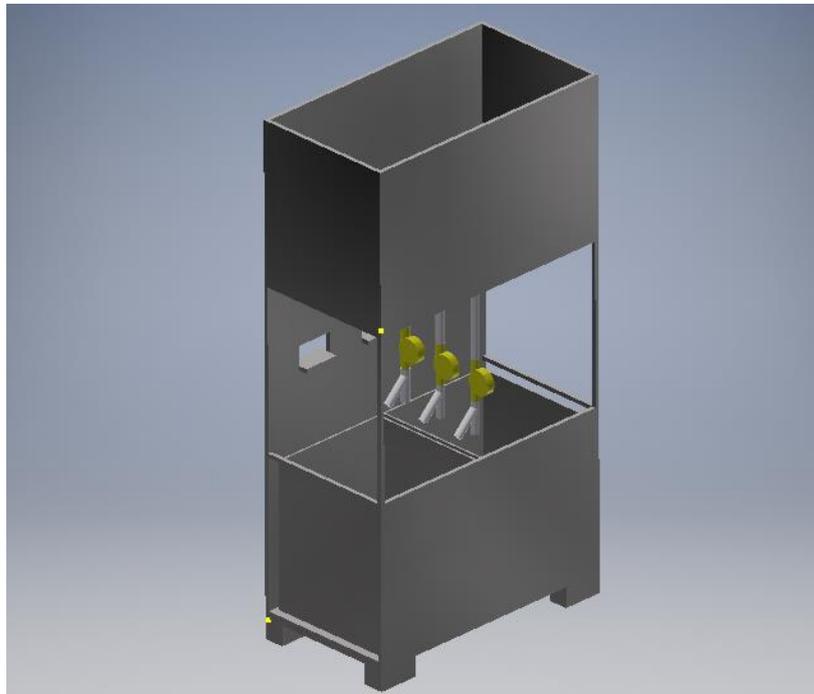


Figura 2.1. Prototipo de módulo didáctico de micro generación [obtenido de Diseño de un módulo de turbinas para uso didáctico y experimental, pg. 4]

Sin embargo, en este proyecto se realizó el diseño detallado del módulo, siendo necesario realizar varias modificaciones al diseño anterior, más adelante se explicará con mayor detalle cada una de ellas, tanto estructurales como de materiales para que cumpla con los nuevos requerimientos de diseño que se detallan a continuación:

- El funcionamiento de las microturbinas debe mantener un cabezal hidráulico no menor a 0.2 metros a fin de que se active el sistema eléctrico.
- Se deberá garantizar un abastecimiento energético de al menos 2 minutos para el funcionamiento del banco de microturbinas en simultáneo.
- La variación de cabezal debe estar dentro del rango de 0.2 a 1 metro de altura.
- El módulo debe ser desarmable en varios componentes para reducir su altura y facilitar su transporte evitando daños en el equipo por golpes.
- Las dimensiones totales del equipo deberán permitir el ingreso a un bus o furgoneta para asegurar su transporte, es decir, menor a 2 metros de alto y 1 metro de ancho.

2.1.1 Códigos y normativa

Ante todo, el siguiente trabajo de diseño se ha regido bajo el código de dibujo técnico-mecánico CPE INEN 003 para realizar en CAD el diseño definitivo del módulo didáctico de micro generación incluyendo el mecanismo de variación de altura por diseñar. Este código permitió obtener una correcta interpretación y utilización de los planos. (INEN, 1989)

Cabe destacar que el siguiente trabajo no requirió una normativa de generación o gestión de fuentes energéticas renovables, sea esta la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica o su Ente regulador ARCONEL, debido a que la producción energética es de pequeña generación de energía y su uso es exclusivo para la enseñanza. (LOSPEE, 2015)

2.2 Componentes y elementos mecánicos del módulo

2.2.1 Diseño estructural

Para empezar, la armadura tiene como función contener al resto de los componentes del módulo. Esta estructura debe ser lo más compacta posible para ser transportada con facilidad a los colegios. Además, tener la capacidad de soportar el peso total del agua, considerando el caso extremo del tanque totalmente lleno. Un factor determinante en las dimensiones de la estructura es que permita establecer un correcto funcionamiento de las microturbinas y, a su vez, el espacio necesario para la variación de altura.

Por consiguiente, se identificaron 3 formas de variar la altura: a través de tornillos de potencia que desplace el reservorio de agua, usando tornillos de potencia para desplazar una bandeja que conecte el reservorio fijo hacia a las turbinas y con el uso de un set tuberías flexibles y fijas que permitan colocar las turbinas sobre un banco de tal forma para modificar la altura relativa de la turbina con respecto al reservorio.

Cabe destacar que, se realizó todo un nuevo diseño de la estructura modulo, priorizando facilidad de montaje y movilidad por medio de un vehículo se identificaron como opciones: columnas empernadas que se tendrían desenroscar para desarmar o columnas empotradas que se colocarían en una base donde encajen y solo se tendría que retirar por partes del ensamblaje.

2.2.2 Reservorio de agua

Este componente es de vital importancia para contener el agua que será utilizada para el funcionamiento y generación de energía por parte de las turbinas. Las dimensiones de este deben permitir que el volumen de agua almacenado sirva para que el equipo pueda estar completamente en funcionamiento durante al menos dos minutos. Además, tiene la función almacenar el resto de los componentes pequeños dentro del reservorio mientras se lo está trasladando, para evitar pérdidas o golpes de los componentes.

2.2.3 Tuberías de conexión

Las tuberías tienen como función conectar el reservorio con las turbinas de tal forma que el agua fluya a través de ellas y pueda generar energía eléctrica. Cabe destacar que las dimensiones de las tuberías están relacionadas el largo según el requerimiento de altura para la generación de energía y con el diámetro de las turbinas para que puedan acoplarse correctamente. Entre las alternativas se considerando la posibilidad de tuberías fijas y flexibles. Estas varían según el requerimiento de altura relativa del reservorio con respecto a las turbinas

2.2.4 Microturbinas de generación

Este componente tiene como función generar la energía eléctrica aprovechando el cabezal de agua obtenido por la diferencia de alturas con el reservorio. Dentro de proyecto de vinculación con la sociedad se ha logrado tener a disposición dos turbinas Pelton y una Francis para el funcionamiento del módulo.

2.2.5 Conexión inferior de desagüe

La finalidad de este componente es recoger el agua utilizada en las turbinas y poder recolectarla para devolverla al reservorio. Comprende de una conexión de tuberías conectadas a las turbinas y con una válvula en la salida para permitir la salida del agua del sistema.

2.2.6 Accesorios

Cabe mencionar que se ha considerado un componente electrónico que se encuentra conectado a las microturbinas, y tiene objetivo permitir la visualización de la corriente y el voltaje generada por la turbina. Al variar la altura la turbina generará mayor o menor energía que será visualizada en la variación de valores en el módulo eléctrico. Además, se tendrá a disposición un soporte de altura regulable para apoyar el set de turbinas sobre él para variar la altura del mecanismo en caso de que se utilicen tuberías fijas en el diseño.

2.3 Alternativas de diseño del desplazamiento vertical

2.3.1 Alternativa 1: Módulo con desplazamiento de tornillo de potencia

Este diseño consistió en emplear tornillos de potencia como mecanismo de transmisión de movimiento del tanque de almacenamiento de agua a partir de 40 cm desde la base de la estructura hasta alcanzar 180 cm de altura. Los tornillos de potencia están localizados en los extremos laterales de la estructura, que, junto a 2 servomotores, permitirán el traslado del reservorio a lo largo de sus 2 ejes. El banco de microturbinas permanecerá fijo a 20 cm de la superficie, mientras que una tubería retráctil, conectada entre las microturbinas y el reservorio, desarrollará un cabezal entre 20 a 100 cm a medida que se acopla al movimiento del tanque de agua.

2.3.2 Alternativa 2: Módulo con desplazamiento de bandeja móvil

Esta opción optó por un diseño con una estructura más estable y de menor costo de fabricación en comparación a la primera alternativa. En este caso, el reservorio de agua principal se mantendrá fijo a la estructura del diseño, a una altura de 130 cm de la base. Mientras que la variación de cabezal estará dada por una bandeja móvil de menor volumen que se conectará al reservorio por tuberías retractiles. El movimiento de la bandeja se realizará nuevamente por tornillos de potencia, situados externo a la estructura. No obstante, al presentarse un menor requerimiento de carga móvil, los tornillos de potencia mantendrán un cuerpo cilíndrico más simple. A fin de asegurar el funcionamiento constante del equipo, se asegurará un caudal constante de fluido entre el reservorio principal y la bandeja por medio de una llave de paso.

2.3.3 Alternativa 3: Módulo con desplazamiento de tubería fija

Esta alternativa se enfocó en un diseño más simple y funcional. Consta del reservorio de agua en la parte superior de la estructura y un set de 3 tuberías de longitud fija, conectadas por medio de accesorios que proporcionan un movimiento angular variable. Las turbinas se mantendrán fijas al final de las tuberías. A medida que se varia la inclinación de las

tuberías, el cabezal hidráulico de las turbinas se modificará. A más de la estructura fija, se dotará de un banco regulable, en el que se apoyará el set de turbinas al variar la altura.

2.4 Selección de diseño

Con respecto, a la selección de diseño se consideraron los siguientes criterios:

- **Movilidad:** Permite llevar el equipo de un lugar a otro. Es decir, facilidad de transporte para llevar el módulo a diferentes lugares.
- **Facilidad de uso:** Permite que el equipo pueda ser operado por una sola persona, requerir menor esfuerzo físico para modificar la configuración del módulo.
- **Costo:** Se considera el menor precio posible de todos los materiales, piezas, equipos y mano de obra.
- **Fabricación:** Permite que el módulo sea construido por una sola persona y facilidad de ensamblar las partes del mismo.
- **Seguridad:** Permite que la persona pueda operar el módulo sin que se tenga presente ningún riesgo para el operador.

Para determinar el peso relativo de cada uno de los criterios de selección se desarrolló una comparación por pares como se muestra en la tabla 2.1, el cual establece cual criterio tiene mayor grado de importancia al ser evaluados en pares.

Tabla 2.1 Comparación por pares de criterios de selección [Elaboración propia]

Criterios	Movilidad	Facilidad de uso	Costo	Fabricación	Seguridad
Movilidad					
Facilidad de uso	X				
Costo	X	X		X	
Fabricación	X	X			X
Seguridad	X	X	X		
Puntuación	4	3	1	1	1
Peso rel.	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1

A fin de determinar el diseño tentativo de análisis, como se muestra en la tabla 2.2, se dieron puntajes del 1 al 5 a las diferentes alternativas con respecto a cada criterio, siendo 5 como máxima calificación y que cumple de mejor forma el criterio. Por ende, se realizó la sumatoria del producto de los pesos relativos con el puntaje otorgado a cada alternativa y se seleccionó la que obtuvo el puntaje más alto.

Tabla 2.2 Ponderación y selección de mejor alternativa de solución [Elaboración propia]

Criterios	Peso relativo	Alternativas de solución		
		Tornillo de potencia	Bandeja móvil	Tubería fija
Movilidad	0.4	2	3	4
Facilidad de uso	0.3	5	4	3
Costo	0.1	2	3	4
Fabricación	0.1	3	3	5
Seguridad	0.1	3	3	4
Puntaje total		3.1	3.3	3.8
Posición		3	2	1

Los resultados de la tabla 2.1 establecen a la alternativa número 3, tubería fija, como el diseño más apropiado en cuanto a las consideraciones y requerimientos de este proyecto. A continuación, se muestra el modelo seleccionado en la figura 2.2. En el anexo A se muestran los bosquejos de las 3 alternativas para mejor revisión.

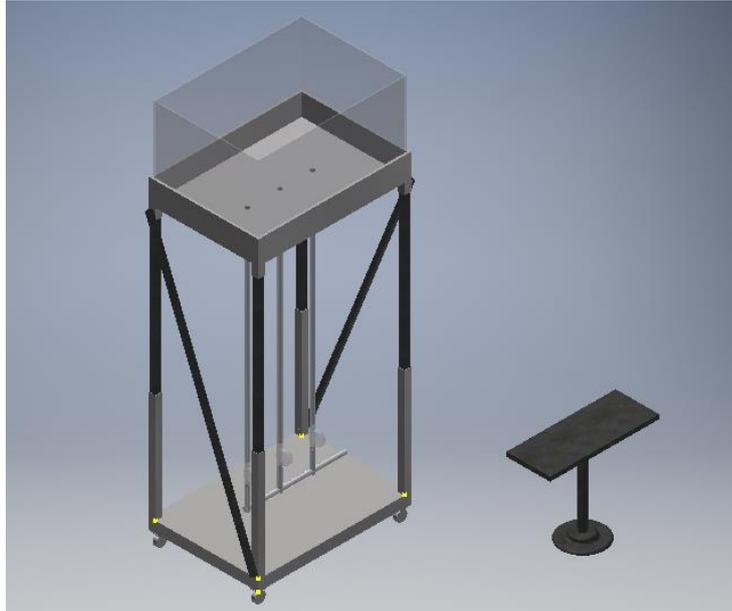


Figura 2.2 Diseño de desplazamiento vertical de tubería fija.
[Elaboración propia]

2.5 Diseño de forma

Para el diseño del equipo se realizaron cálculos durante las prácticas comunitarias para determinar el cabezal mínimo de operación y las dimensiones totales del reservorio de agua. Esto permitió obtener un funcionamiento continuo de al menos 2 minutos según las consideraciones de diseño expuestas al inicio del capítulo.

Luego de obtener las dimensiones de todos los elementos del módulo, se procedió a su diseño a través del software AUTODESK-INVENTOR. Logrando, obtener una mejor visualización del módulo con dimensiones específicas para el ensamblaje del mismo y, además, el software incorpora un complemento que permitir la selección de materiales todos los elementos que lo componen, como se muestra en la figura 2.2.

2.5.1 Análisis de cabezal para la generación de energía

Visto desde la perspectiva del diseño, lo más importante fue determinar el

cabezal mínimo de funcionamiento, de tal forma que la turbina logre generar la suficiente electricidad se puedan operen las pantallas de control. Por consiguiente, se realizó una serie de experimentos haciendo circular agua en una tubería, con diferentes alturas, conectada a la turbina y midiendo el voltaje en las terminales de la microturbina mientras fluye el agua por los alabes. En la figura 2.3, se muestran los resultados obtenidos a la altura de 20 cm se generó 3V y a 100 cm se generaba un voltaje aproximado de 8V. No obstante, se determinó que aumentando el cabezal la turbina no hubo un incremento de voltaje y se mantuvo en un máximo de 10V aproximadamente.

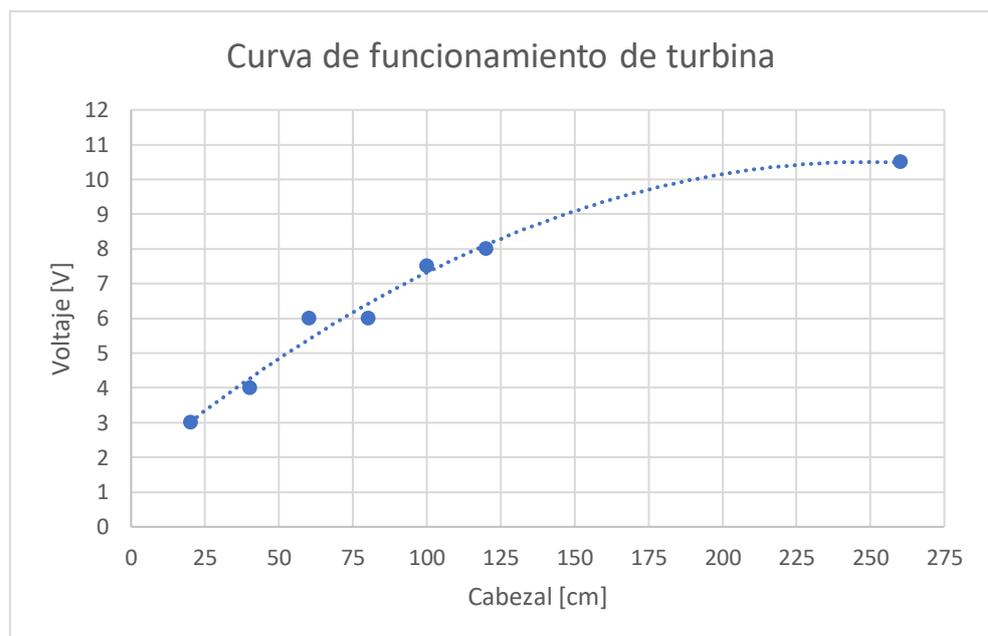


Figura 2.3 Curva de funcionamiento de turbina Pelton 12V [obtenido de Diseño de un módulo de turbinas para uso didáctico y experimental, pg. 2]

2.5.2 Selección de tanque de almacenamiento

Ahora bien, la selección de las dimensiones del tanque de almacenamiento tiene como finalidad permitir que el módulo opere de forma constante por 2 minutos considerando el flujo de agua abierto para las 3 microturbinas en

operación. A continuación, se presenta el procedimiento para el cálculo de las dimensiones.

A fin de determinar el caudal requerido, se considera el principio de Bernoulli para su estimación (Ecuación 2.1). Dado que el cabezal total es la combinación de la energía potencial y cinética, la ecuación del cabezal total considera el efecto del agua sobre el rodete, por lo cual su ecuación es:

$$H_t = H_e + \frac{v^2}{2g} \quad (2.1)$$

$$v = \sqrt{\frac{2g\Delta H}{\rho}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 * 9.8 * 0.20}{1}}$$

$$v = 1.98 \frac{m}{s}$$

Considerando que el funcionamiento del sistema debe ser interrumpido de al menos 120 segundos, se procedió a determinar el volumen requerido que debe almacenar el reservorio de agua mediante la ecuación de continuidad (Ecuación 1.1). Cabe mencionar que se considera el sistema totalmente abierto, es decir, la sección de entrada de agua a las 3 turbinas, totalmente abierta con un diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada o 1,27 cm.

$$Q = vA = \frac{V}{t}$$

$$V = vAt$$

$$V = 198 \frac{cm}{s} * \left(3 * \frac{\pi}{4} * (0.0127m)^2 \right) * 120 s$$

$$V = 0.09 m^3$$

En la perspectiva que aquí se adopta, se procedió a delimitar la geometría del reservorio con un largo de 70 cm, ancho de 50 cm y una altura de 40 cm. Estas medidas fueron seleccionadas considerando que el reservorio tenga también la función de colocar el resto de los componentes del módulo dentro del mismo consiguiendo un fácil transporte del equipo.

Para una mejor fijación del reservorio, se seleccionaron vigas con sección "L" que permiten que éste se encuentre fijo y le da mayor estabilidad. Por esta razón se redujeron las dimensiones externas del reservorio a 68 cm de largo, 48 cm de ancho y se mantuvo la altura de 40 cm. Ahora bien, considerando un espesor de 5 cm, las dimensiones internas, con las cuales se determina el total de volumen de agua, fueron de 67 cm de largo, 47 cm de ancho y 40 cm de alto. Esto nos da un volumen de agua total de 0.126 m³. Con el nuevo volumen, se procedió a recalcular el tiempo total de funcionamiento del sistema:

$$t = \frac{V}{vA}$$

$$t = \frac{V}{3v * \frac{\pi}{4} * d^2} = \frac{V}{3 * 1.98 \frac{m}{s} * \frac{\pi}{4} * (0.0127m)^2}$$

$$t = 167.45 s$$

Finalmente, el tiempo total de funcionamiento si se tuviese el tanque lleno sería de 2 minutos con 47 segundos. Dado que el requerimiento de diseño es de un funcionamiento continuo al menos de 2 minutos, el reservorio se tiene que llenar hasta un 70% de capacidad para cumplir dicho requerimiento.

2.5.3 Dimensiones de componentes del módulo

La selección de las dimensiones que se detallan a continuación se fundamenta en el funcionamiento adecuado del módulo, es decir, el diámetro de conexión para entrada de agua de las microturbinas empleadas, el cabezal requerido de funcionamiento y la dimensión total del reservorio. Cabe destacar que las dimensiones de componentes

corresponden a las disponibles dentro del mercado local.

Se describen las dimensiones generales de cada uno de los elementos que conforman el módulo:

- Bandeja superior: 700 mm de largo, 500 mm de ancho, 100 mm de alto y 10 mm de espesor.
- Base inferior: 700 mm de largo, 500 mm de ancho y 50 mm de alto.
- Tubería cuadrada mayor en base: 30 mm de lado, 500 mm de largo y 2 mm de espesor.
- Tubería cuadrada mayor en bandeja: 30 mm de lado, 50 mm de largo y 2 mm de espesor.
- Tubería cuadrada menor: 25 mm de lado, 1250 mm de largo y 1,50 mm de espesor.
- Tubería diagonal: 20 mm de lado, 1315 mm de largo y 1,40 mm de espesor
- Reservorio: 680 mm de largo, 480 mm de ancho, 400 mm de alto y 5 mm de espesor.
- Tubería flexible: 100 mm de largo y 20 mm ($\frac{3}{4}$ de pulgada) de diámetro.
- Tubería fija: 900 mm de largo y 20 mm ($\frac{3}{4}$ de pulgada) de diámetro.
- Turbina: 20 mm ($\frac{3}{4}$ de pulgada) de diámetro.
- Conexión inferior: tuberías verticales de 100 mm de largo y tubería horizontal de 460 mm de largo. Ambas de 20 mm ($\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro).
- Banco regulable: 500 mm de largo, 200 mm de ancho y 420 mm de alto con variación a 700 mm de alto.
- Válvula de paso: 20 mm ($\frac{3}{4}$ de pulgada) de diámetro.
- Ruedas: 50 mm de diámetro y 19 mm de ancho.

2.6 Selección de materiales

Como consecuencia del diseño de forma, se seleccionaron los materiales de los diferentes elementos que conforman el módulo:

- Bandeja superior: Acero inoxidable

- Base inferior: Acero inoxidable
- Tubería cuadrada mayor en base: Acero inoxidable
- Tubería cuadrada mayor en bandeja: Acero inoxidable
- Tubería cuadrada menor: Acero
- Tubería diagonal: Acero
- Reservorio: Plástico PET
- Tubería flexible: Plástico PVC
- Tubería fija: Plástico PVC
- Conexión inferior: Plástico PVC
- Banco regulable: Acero inoxidable
- Válvulas de paso: Plástico PVC
- Ruedas: Acero y caucho

2.7 Diseño detallado

El diseño detallado se basó del análisis del diseño de forma del módulo y sus respectivos elementos mecánicos.

2.7.1 Simulación de elementos mecánicos

Para el diseño detallado del módulo, se sometió a una simulación el ensamblaje y cada uno de los elementos mecánicos para obtener un análisis de cargas y esfuerzos que soportará el mismo a través del programa AUTODESK-INVENTOR. Esto permitirá determinar si las dimensiones y materiales seleccionadas para el diseño del módulo no generarán fallas mecánicas y permite su correcta fabricación.

Para empezar la simulación se definió como variable entrada el peso equivalente al tanque lleno de agua como única fuerza externa sobre la base del reservorio, equivalente a 1,23 kN. Es importante recalcar, que las columnas constan de los refuerzos de las vigas diagonales, haciendo que se mantenga más estable y rígida. Se analiza solo el peso del agua hacia la estructura por facilidad de cálculo y análisis. Por último, se debe mencionar el programa ya considera los pesos de cada elemento mecánico según su material.

2.8 Diagrama de bloque de control

En la figura 2.4, se muestra la configuración del funcionamiento del módulo y la lectura de este. Comprende de un módulo eléctrico, desarrollado dentro de las prácticas comunitarias, que permite visualizar el valor de corriente y voltaje generado por las microturbinas al ser accionadas por el flujo de agua que pasa a través de ellas.

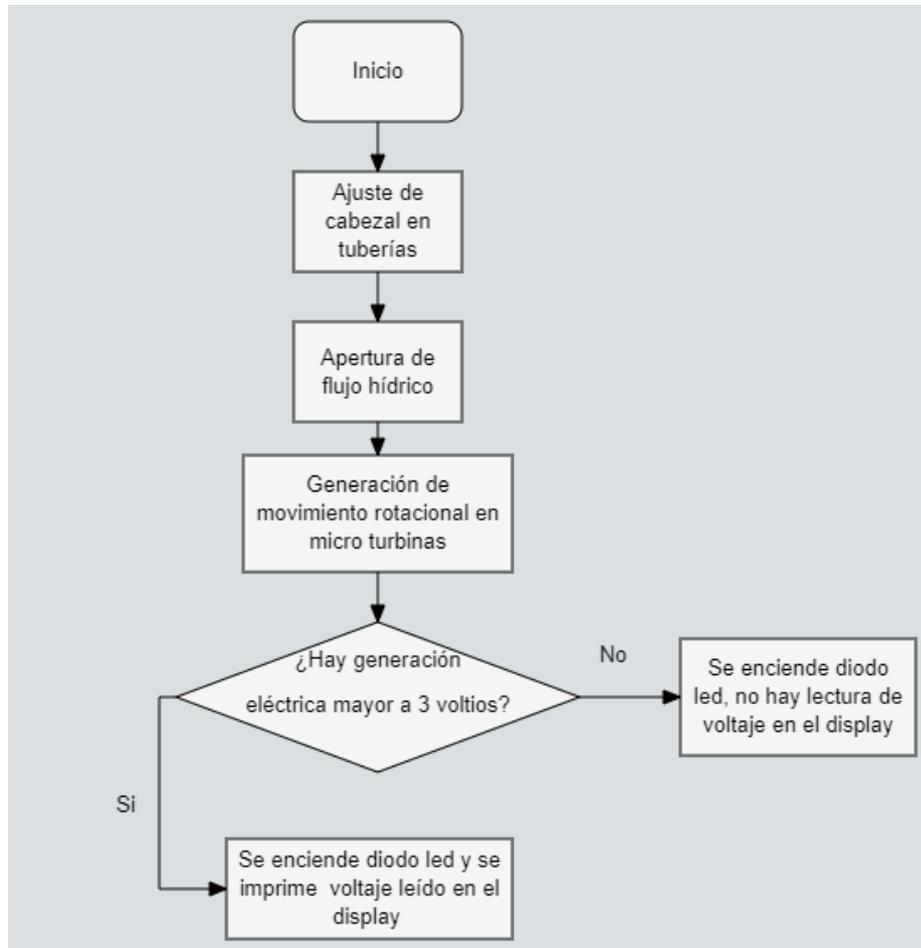


Figura 2.4 Diagrama de bloque de control del diseño final.
[Elaboración propia]

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Análisis de cargas y esfuerzos

Previo al análisis en el software de simulación, se presenta en la imagen 3.1 cada una de las partes del módulo, establecidas en el capítulo 2 como referencia para los cálculos a continuación.

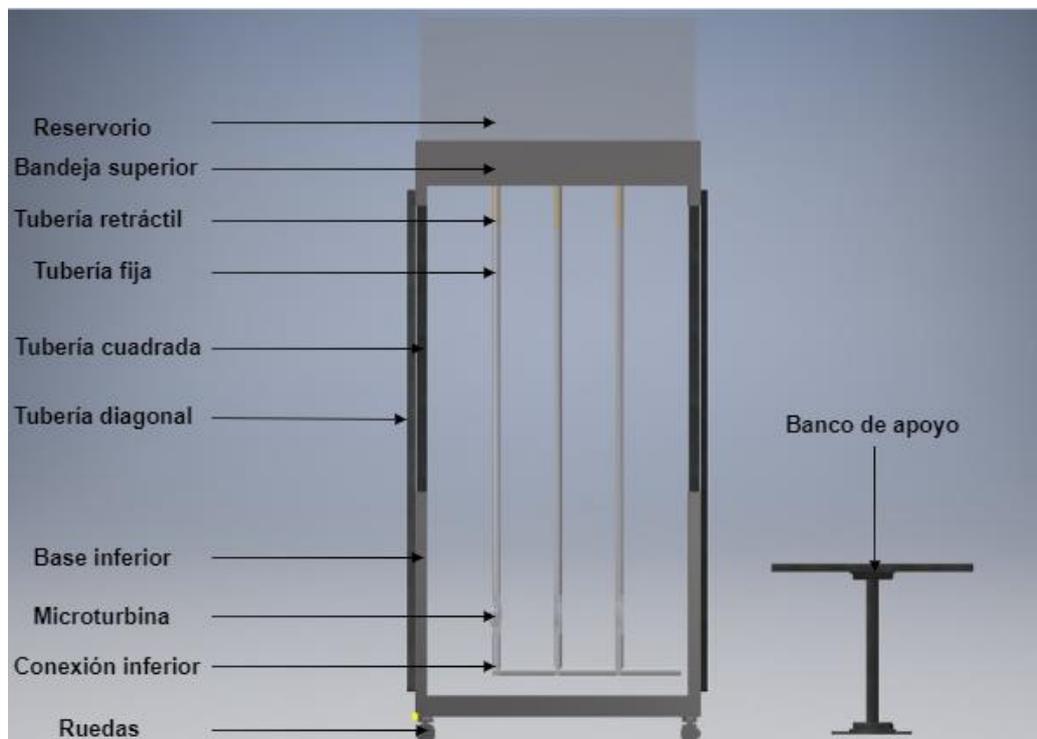


Figura 3.1 Diagrama del módulo con sus partes. [Elaboración propia]

Primero, se consideró el caso más crítico para el análisis, es decir, todo el volumen del reservorio lleno de agua siendo soportado solamente por las cuatro tuberías cuadradas como columnas. Para ello se inició calculando el volumen total de agua, como se muestra en la ecuación 3.1, obteniendo un valor de $0,126 \text{ m}^3$.

$$V = l * A * h \quad (3.1)$$

$$V = 670 \text{ mm} * 470 \text{ mm} * 400 \text{ mm}$$

$$V = 0.126 \text{ m}^3$$

Una vez obtenido el volumen total, se procedió a determinar el peso equivalente total del agua como se muestra en la ecuación 3.2. Este peso es el que tuvo que soportar la estructura se distribuye alrededor de la base del reservorio, éste a su vez a la bandeja superior en donde reposa el tanque de almacenamiento para finalmente ser distribuido y soportado por las cuatro columnas cuadradas de acero, cada una sintiendo un cuarto del peso total del agua. Se obtuvo un peso total de 1.24 kilo newtons.

$$W = m * g = \rho * V * g \quad (3.2)$$

$$W = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.126 \text{ m}^3 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 1.24 \text{ kN}$$

Adicionalmente, se consideró un momento flector generado por el apoyo de una persona sobre el equipo didáctico, para detallar un análisis más conservador y apegado posible situación de ocurrencia. Se delimitó la masa de una persona promedio con un valor de 60 kg, ejerciendo una fuerza a 0.35 metros del centro de masa de la estructura del equipo. Es así como se obtuvo un momento de 206 Nm, mediante el uso de la ecuación 3.3.

$$F_p = m * g = 60 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 588.6 \text{ N}$$

$$M_p = F_p * d \quad (3.3)$$

$$M_p = 588.6 \text{ N} * 0.35 \text{ m}$$

$$M_p = 206 \text{ Nm}$$

Usando el análisis estático en AUTODESK-INVENTOR, se procedió a realizar 2 casos de estudio con el objeto de realizar una comparación cualitativa de condiciones de carga aplicada. El primer análisis consideró, como estructura del modelo, únicamente las cuatro columnas aplicando la fuerza ejercida por el fluido y el momento flector generado por el apoyo de una persona. Para el segundo análisis se involucró a todos los componentes de la estructura del módulo bajo las mismas condiciones de aplicación.

En la figura 3.2 se muestra las condiciones mencionadas para el primer caso. Una fuerza perpendicular ejercida en la cara superior de la base del reservorio de 1.24 kN, y un momento flector de 206 Nm en el centro de la estructura. Adicionalmente, se restringió el movimiento inferior de las 4 columnas que soportan.

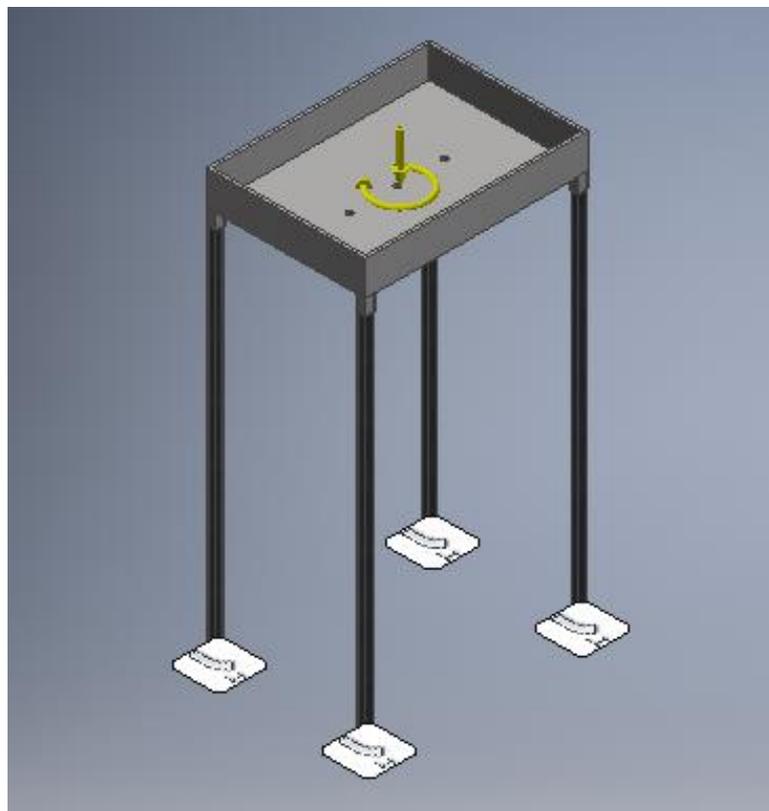


Figura 3.2 Estructura a analizar con las cargas críticas.
[Elaboración propia]

Para el primer análisis estático se consideraron las propiedades físicas de la bandeja superior y las columnas, detalladas en la tabla 3.1 y 3.2 respectivamente. Por otra parte, los resultados del análisis mostrado en la tabla 3.3, especifican los valores más significativos para determinar si la estructura cumple los requisitos para las cargas aplicadas.

Tabla 3.1 Propiedades físicas del material de la bandeja superior e inferior [Elaboración propia]

Nombre	Acero inoxidable	
General	Densidad de masa	8g/cm ³
	Límite de elasticidad	250 MPa
	Resistencia máxima a tracción	540 MPa
Tensión	Módulo de Young	193 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3
	Módulo cortante	74,2308 GPa

Tabla 3.2 Propiedades físicas del material de las columnas [Elaboración propia]

Nombre	Acero	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	210 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3
	Módulo cortante	80,7692 GPa

Tabla 3.3 Resultados del primer análisis estático en INVENTOR [Elaboración propia]

Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión Von Mises	0,0965335 MPa	4,86909 MPa
Primera tensión principal	-2,01466 MPa	5,64148 MPa
Tercera tensión principal	-5,4546 MPa	0,504455 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0733539 mm
Coefficiente de seguridad	15	15

Tal como se observa en la figura 3.3, la columna presenta una tensión Von Mises de alrededor de 1.5MPa. A su vez, en la figura 3.4, se determinó que la deformación vertical alcanzará un máximo de 0,073 mm en el centro de la bandeja superior, considerándose una deformación despreciable. Estos resultados demuestran que la estructura se mantendrá estable en escenario de condiciones extremas de carga. Además, las dimensiones requeridas de alturas entre el reservorio y la turbina no se verán afectados para un correcto funcionamiento del módulo.

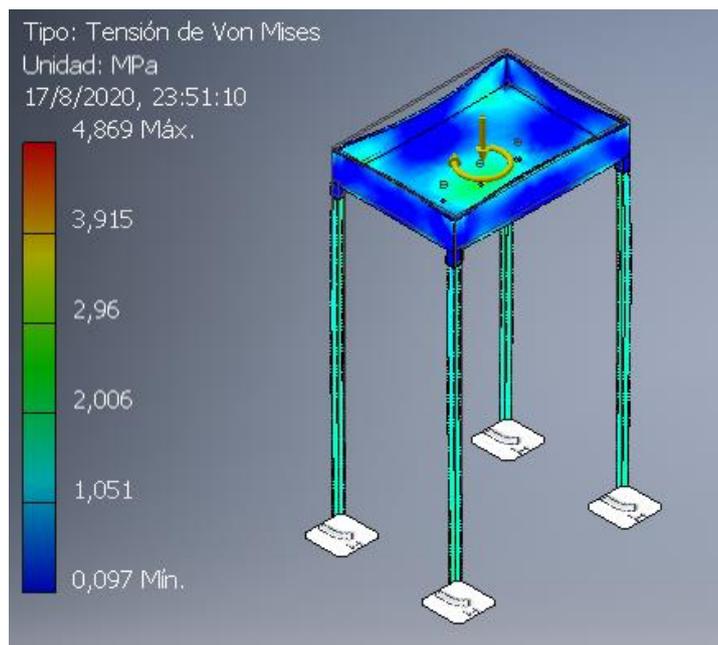


Figura 3.3 Tensión Von Mises en la estructura. [Elaboración propia]

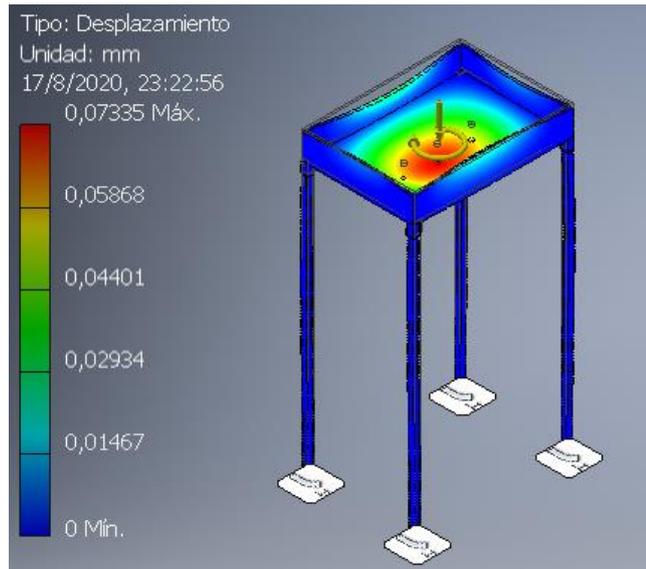


Figura 3.4 Desplazamiento de la estructura. [Elaboración propia]

En la figura 3.5, se muestra el segundo caso, donde se considera a la estructura real que comprende de unas columnas mayores, ubicadas en la bandeja superior y en la base inferior, acopladas para mayor rigidez del módulo. También se delimitó agregar 2 columnas diagonales laterales de soporte, para agregar rigidez a las verticales en caso de una fuerza externa; ésta puede ser ocasionada por una persona al apoyarse al módulo o un movimiento brusco de desplazamiento lateral de agua.

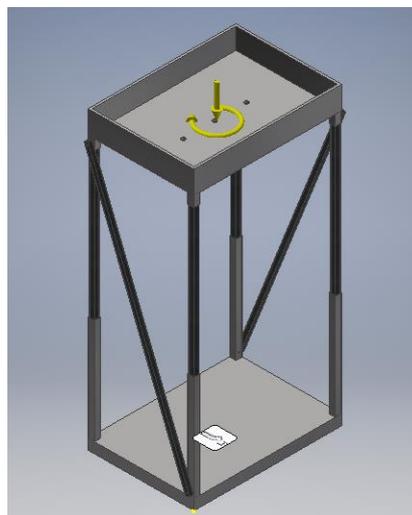


Figura 3.5 Estructura con diagonales. [Elaboración propia]

Los resultados del segundo análisis estático fueron considerados las propiedades de la bandeja inferior y las columnas detalladas anteriormente. Los valores más significativos se muestran en la tabla 3.4. Con ello se pretende determinar si se generó una reducción en la tensión aplicada sobre las columnas y el desplazamiento de la estructura, según las cargas aplicadas.

Tabla 3.4 Resultados del segundo análisis estático en INVENTOR [Elaboración propia]

Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión Von Mises	0 MPa	4,82539 MPa
Primera tensión principal	-1,21536 MPa	5,68958 MPa
Tercera tensión principal	-5,19669 MPa	0,503104 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0702731 mm
Coefficiente de seguridad	15	15

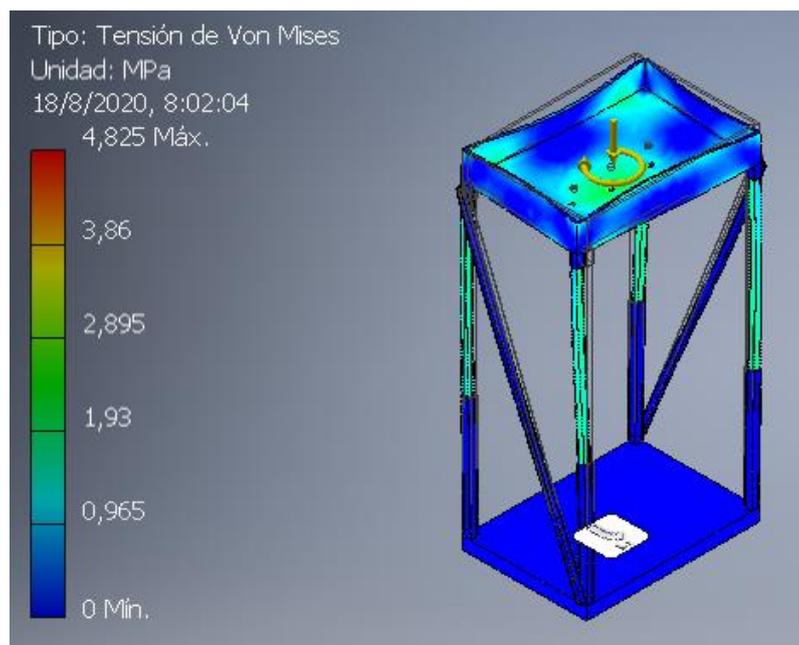


Figura 3.6 Tensión Von Mises en la estructura con diagonales. [Elaboración propia]

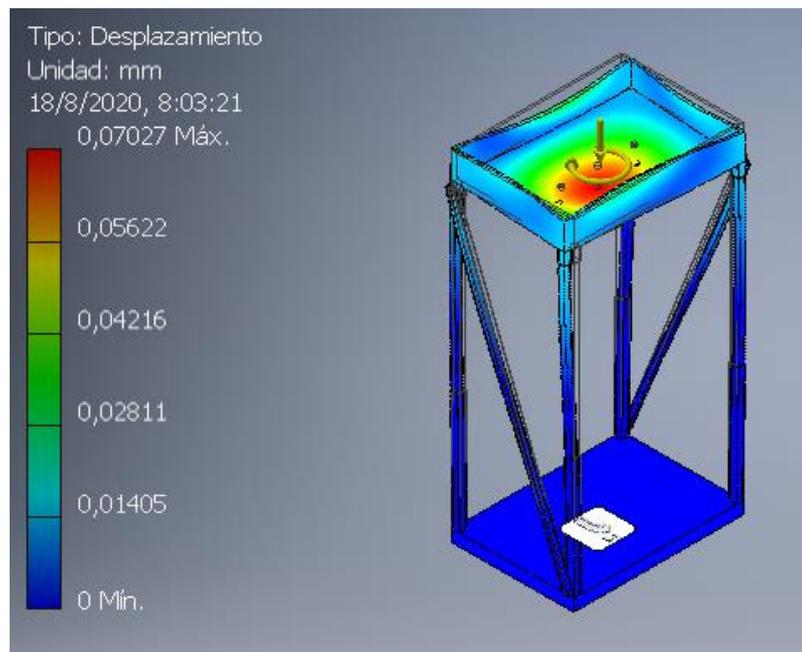


Figura 3.7 Desplazamiento de la estructura con diagonales.
 [Elaboración propia]

Finalmente, se realizó la comparación cualitativa de ambos estudios con respecto a la tensión Von Mises, como se ilustró en las figuras 3.3 y 3.6, se determinó una reducción del esfuerzo sometido a la columna para el segundo caso de estudio. Con ello, se establece que la base y las vigas diagonales cumplen con el funcionamiento de distribuir eficientemente las cargas sometidas en la estructura. En el caso del desplazamiento, como se mostró en las figuras 3.4 y 3.7, la bandeja superior sera sometida a la misma deformación debido a que en ambos casos los valores máximos son muy similares.

3.2 Costos del módulo

En la tabla 3.5, se detallan el costo directo de los materiales y equipos necesarios para la implementación del banco de microturbinas. Puesto que este equipo representa una alternativa innovadora de estudio, no es posible realizar un análisis comparativo con equipos similares, debido a su carencia en el mercado.

3.2.1 Materiales y Equipos

Tabla 3.5 Costos de materiales [Elaboración propia]

N°	Componente	Cant.	Valor Uni.	Valor Total
1	Tubo estructural cuadrado negro 30mm x 2mm (1 ¼")	1	\$15,00	\$15,00
2	Tubo estructural cuadrado negro 25mm x 2mm (1")	1	\$15,00	\$15,00
3	Tubo estructural cuadrado negro 20mm x 1.40mm	1	\$14,00	\$14,00
4	Plancha laminada 10mm x 1220 x 6000	1	\$ 24,00	\$ 24,00
5	Tubería PVC 20 mm (¾ de pulgada) de diámetro.	1	\$ 7,00	\$ 7,00
6	Válvula de paso 20mm (¾") de diámetro	4	\$ 2,00	\$ 8,00
7	Ruedas 50 mm de diámetro y 19 mm de ancho.	4	\$ 5,00	\$20,00
8	Banco de soporte	1	\$ 7,00	\$ 7,00
9	Turbina	3	\$ 20,00	\$ 60,00
10	Diodo led	15	\$ 0.05	\$ 0.75
11	Resistencia eléctrica 670 ohm	15	\$ 0.10	\$ 1.50
12	Potenciómetro	3	\$ 1.50	\$ 4.50
13	Fuente de voltaje: batería 9v	3	\$ 3.00	\$ 9.00
14	Caja impresa de filamento ABS	3	\$ 15.00	\$ 45.00
15	Display LCD	3	\$ 5,00	\$ 15,00
Total				\$ 245,75

3.2.2 Fabricación

La estimación del costo de fabricación del módulo didáctico consideró a un operador con un tiempo de trabajo de 5.1 horas de mano de obra. Adicionalmente, la ingeniería de diseño se estimó a partir del trabajo de las personas encargadas de este proyecto. Por otra parte, el apartado de imprevistos considera el 15% del costo total de materiales.

Tabla 3.6 Costos de fabricación [Elaboración propia]

Descripción	Valor
Materiales	\$245,75
Mano de obra	\$ 40,00
Ingeniería de diseño	\$ 450,00
Imprevistos	\$ 35,00
Total	\$ 770,75

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Este proyecto simboliza gran relevancia en el área académica y, a largo plazo, en el ámbito económico, energético e industrial. Representando una iniciativa que, desde la educación secundaria y universitaria, impulsa el desarrollo de la eficiencia energética y el uso de recursos renovables como fuente primaria de producción de energía eléctrica en el país.
- Siendo un país con una gran cantidad de ríos, este trabajo ayuda a promover nuevos proyectos de creación, reparación o mejora de las plantas hidroeléctricas en todos sus niveles de generación. Esto permite seguir trabajando en el desarrollo del séptimo y onceavo ODS. Cabe destacar que este cambio energético fomenta la creación de nuevas empresas privadas encargadas de los proyectos de generación de energía basado en energía hídrica, por lo tanto, la creación de nuevos empleos, aplicación de nuevas tecnologías y venta de energía al extranjero en caso de superávit en la producción.
- El dimensionamiento del diseño del módulo cumple con las consideraciones de diseño mencionadas en el capítulo 2. Con ello se garantiza que: el módulo logrará funcionar por al menos dos minutos de forma ininterrumpida, la estructura desmontable reducirá la altura del módulo permitiendo su fácil transporte y el mecanismo de movimiento para la variación de cabezal proporcionará diferentes alturas desde 20 cm a 100 cm que permiten la generación de energía.
- El costo total del módulo, incluyendo materiales, ingeniería y fabricación, fue de \$770,75. Considerando la carencia de proyectos similares o relacionados a este, no fue posible realizar una comparación de costos con productos semejantes en el mercado. Además, se debe trabajar en la patente de este

módulo debido a su futura producción y venta para los laboratorios de las instituciones académicas, colegios y universidades.

- La estructura del módulo cumple con los requerimientos de diseño mencionados en la metodología. Su diseño se realizó a través de software AUTODESK-INVENTOR, el cual tiene como función dar soporte al reservorio de agua y el sistema de microturbinas. Esta estructura se compuso de 3 partes principales: bandeja superior, columnas y base inferior; la cual soportará a las cargas sometidas en máximas condiciones, es decir, con el peso total del agua con e reservorio lleno e incluyendo el caso hipotético en el que una persona se encuentre apoyada al equipo. Cabe destacar que el diseño permite fácilmente ensamblar y desarmar el módulo en sus partes, con la finalidad de que sea fácil de transportar se eviten golpes o raspones de los componentes.
- Dentro del cálculo de los esfuerzos del mecanismo de elevación por medio de un análisis estático, se obtuvo que los esfuerzos aplicados en la estructura, y con mayor relevancia sobre las columnas, fueron menores al límite elástico de los materiales establecidos. En el caso de la bandeja superior y la base inferior se seleccionó acero inoxidable y para las columnas acero. Se debe enfatizar que los componentes fueron elegidos según los materiales y medidas establecidas de los perfiles disponibles en el mercado local.
- El diseño del sistema de control para la operación del módulo estuvo integrado a un trabajo colaborativo por parte de estudiantes de la carrera de Mecatrónica, el cual cumple la función de mostrar la energía de generada por las microturbinas en relación con la corriente y voltaje generada.

4.2 Recomendaciones

- En el momento de desarmar el módulo para transportarlo, se puede utilizar el reservorio para colocar dentro del mismo, los componentes más pequeños tales como las microturbinas, válvulas, la conexión inferior y las columnas. Esto ayuda a que las piezas no sufran golpes al ser transportadas o, en el peor de los casos, que se pierdan.

- Al equipo se pueden adicionar una bomba de agua y mangueras, como accesorios del módulo, que permitan la recirculación del agua desde la salida de la conexión inferior de regreso al reservorio. Caso contrario de que no se pueda acceder a una bomba, se puede recolectar el agua con un balde o bandeja y luego ser regresada al reservorio. Otra opción es conectar una manguera al drenaje y para un segundo experimento, reponer la cantidad de agua necesaria.
- A fin de estabilizar la inclinación otorgada a las tuberías flexibles respecto a la variación de cabezal, es posible integrar en el diseño un indicador gradual en la base de la tubería fija, junto con un pin. Así, se podría establecer claramente la regulación de cabezal a partir de relaciones trigonométricas.
- En caso de que se cuente con un mayor capital de inversión, se recomienda implementar la segunda alternativa de diseño planteada en este trabajo. Debido a que se podría variar el cabezal de forma más precisa, los resultados experimentales serían más rigurosos.

BIBLIOGRAFÍA

UNESCO. (2012). Educación para el desarrollo sostenible. Accedido el 18 de junio, 2020 desde http://www.lacult.unesco.org/docc/2012_Educ_para_des_sost.pdf

UNESCO. (2017). Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: objetivos de aprendizaje. Accedido el 18 de junio, 2020 desde <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423?locale=es>

Casas, J. Gea, F. Javaloyes, E. Peña, A. Pérez, J. Triguero, I. Vives, F. (2008). Educación medioambiental. Accedido el 18 de junio, 2020 desde https://books.google.com.ec/books?id=JDhoUfDmsvEC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

INEN. (1989). Código de Dibujo Técnico-Mecánico. Accedido el 20 de junio, 2020 desde <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-de-las-fuerzas-armadas-de-ecuador/instrumentacion-mecatronica/apuntes/norma-de-dibujo-tecnico-mecanico-cpe-inen-003-para-ecuador/8179669/view>

LOSPEE. (2015). Gestión de Fuentes Energéticas y Energías Renovables no Convencionales. Accedido el 22 de junio, 2020, desde http://www.cenace.org.ec/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=25:lospee&Itemid=50

Carta, J. Calero, R. Colmenar, A. & Catro, M. (2009). Centrales de energías renovables (1era ed.). Madrid, MA: Pearson Prentice Hall

Alarcon, A. D. (18 de julio de 2019). BID. Accedido el 14 de junio, 2020, desde Las hidroeléctricas en Latinoamérica, dónde estamos y hacia dónde vamos: <https://blogs.iadb.org/energia/es/hidroelectricas-en-latinoamerica-donde-estamos-y-hacia-donde-vamos/>

Ambrosini, J. Brito, . (2019). Diseño de un módulo de turbinas para uso didáctico y experimental. FIMCP, ESPOL

APÉNDICES

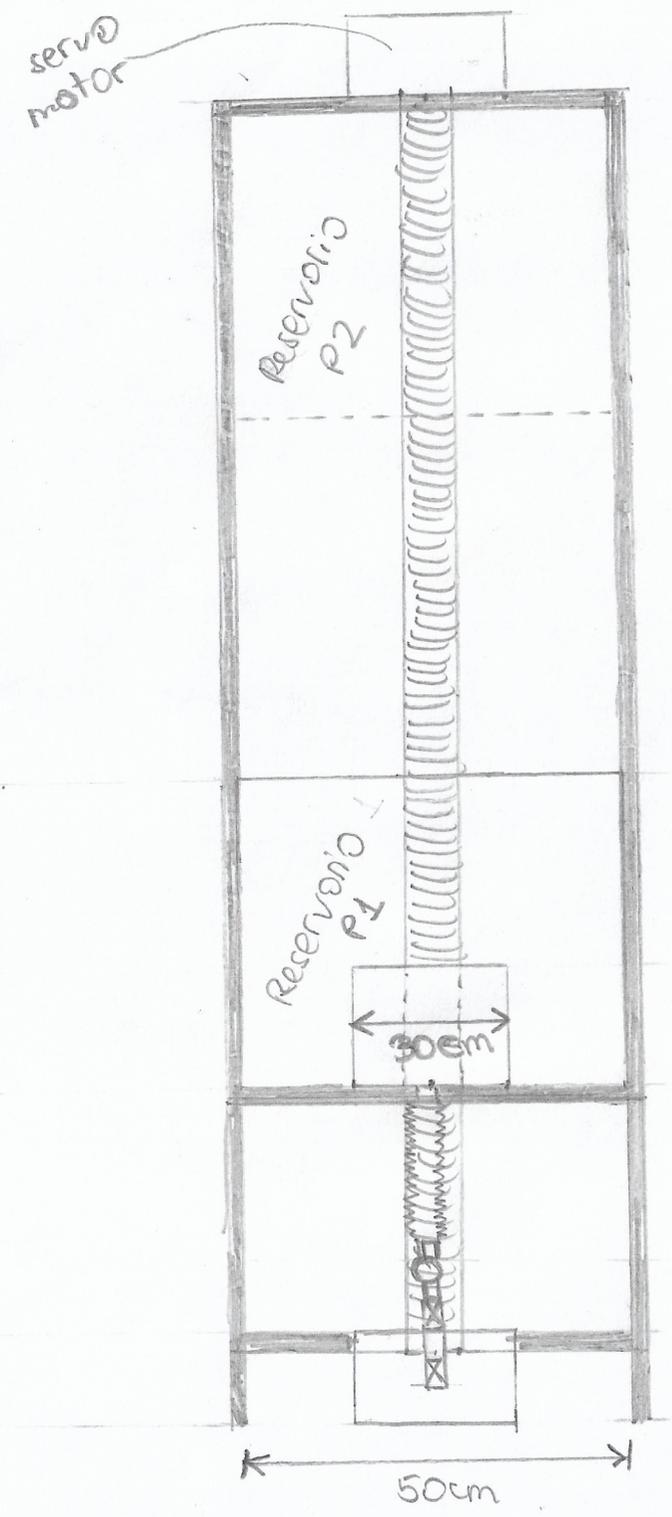
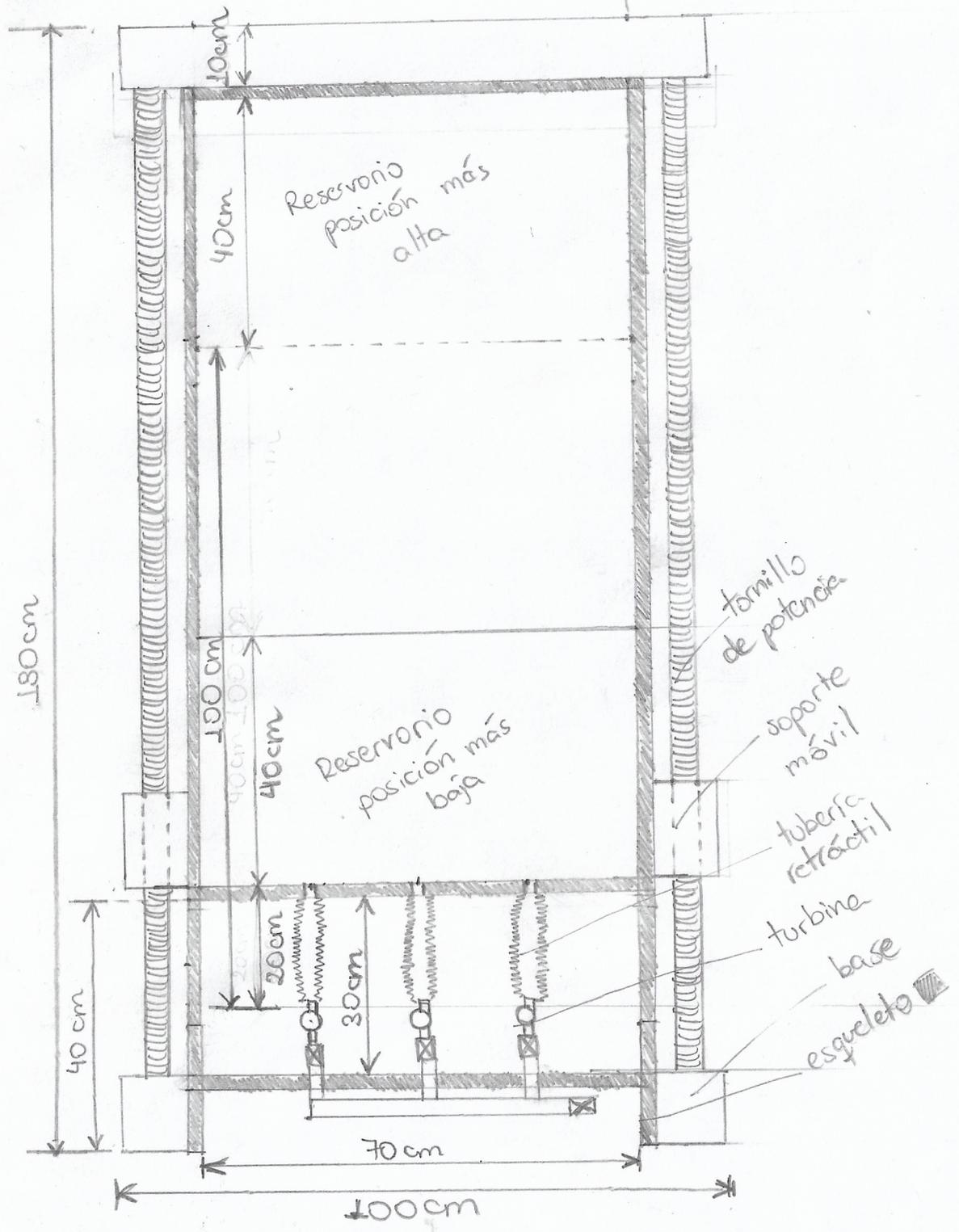


Turbina Hidráulica 12 V Negra

Tiempos de trabajo para fabricación del módulo

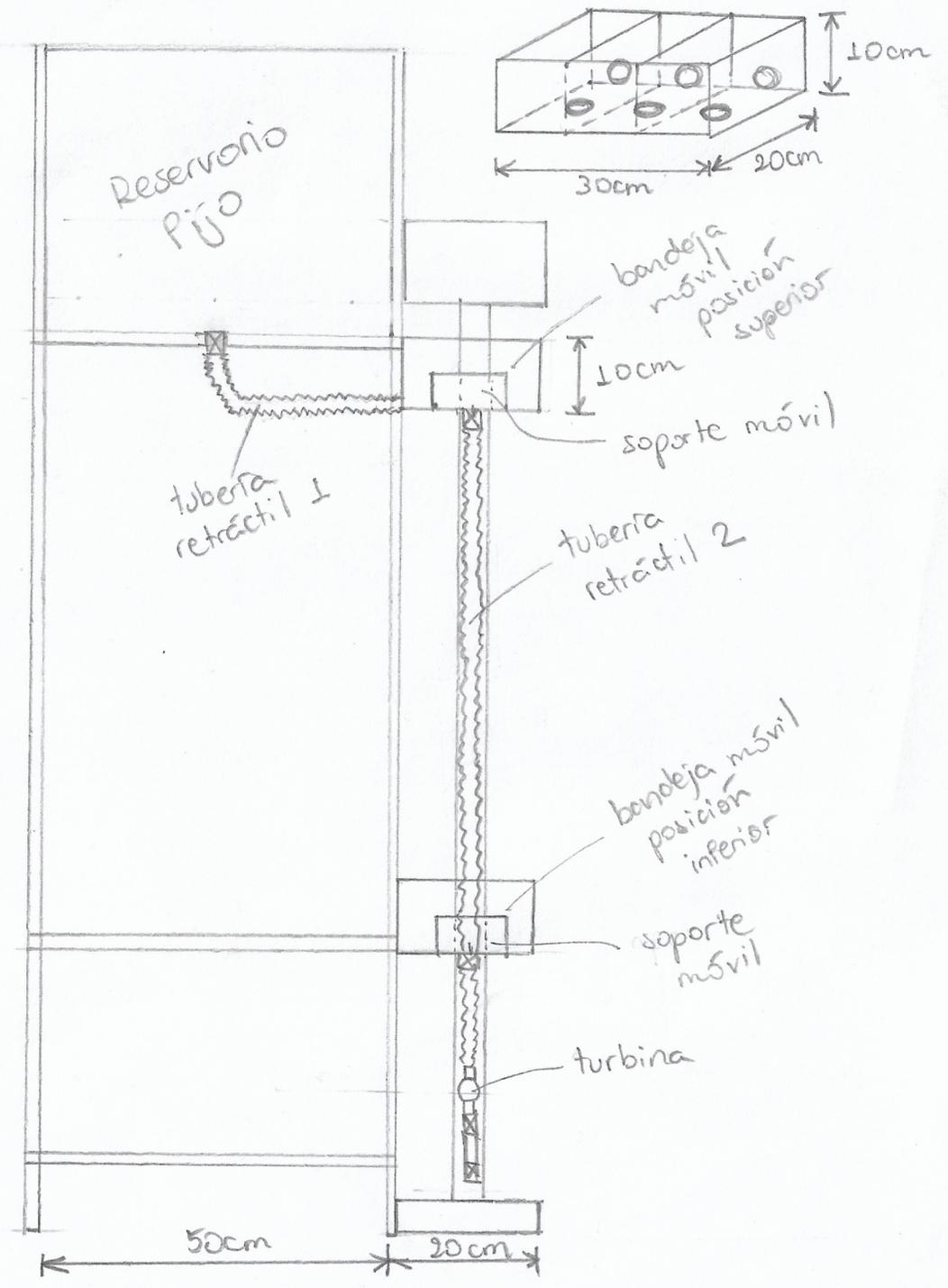
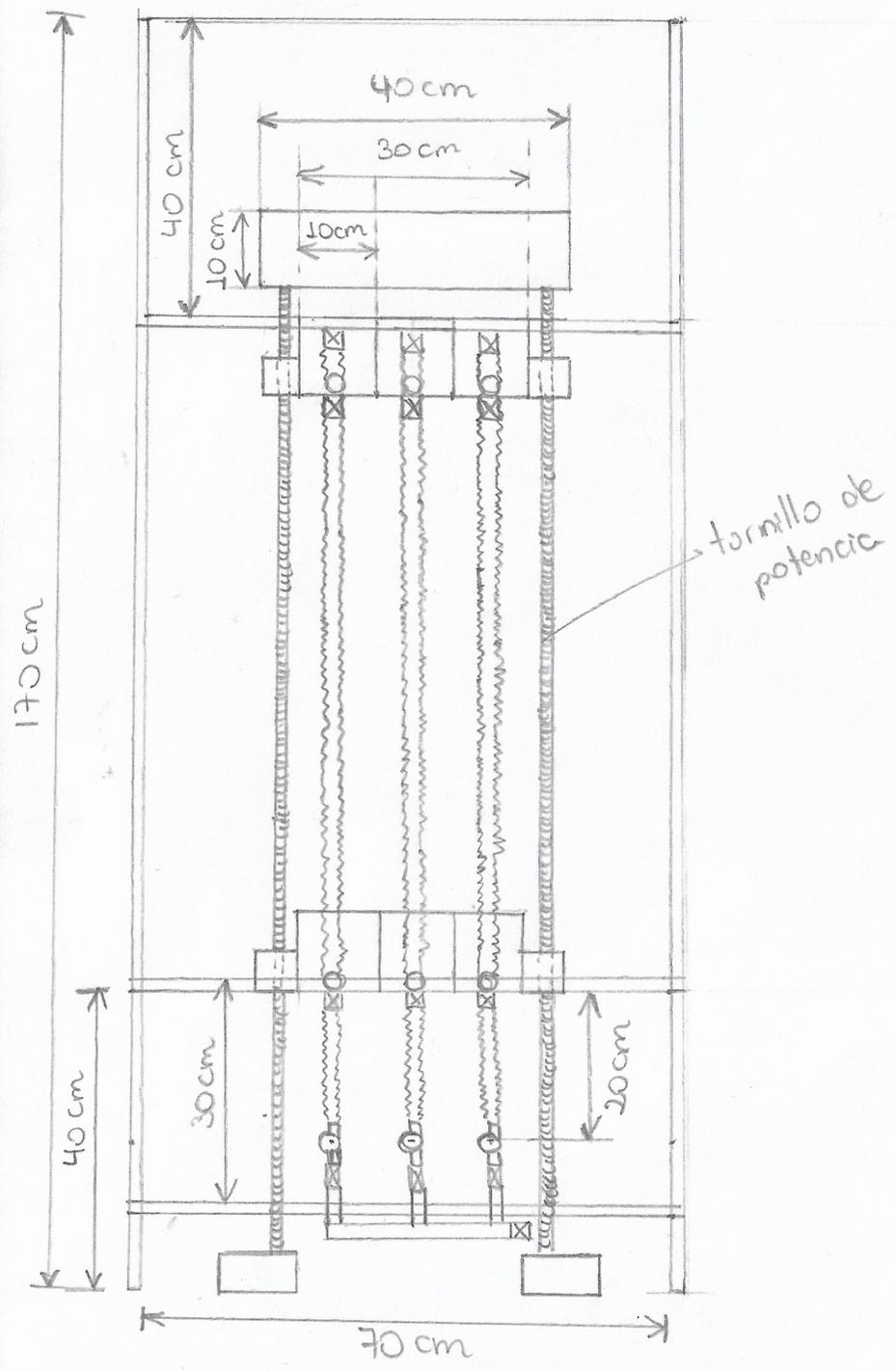
Actividad	Tiempo estimado [horas]
Preparación de operador y equipos	0.4
Medición y corte de los perfiles y planchas	0.7
Perforación de los perfiles para sujeción	0.5
Soldadura de la base del prototipo	0.6
Colocación y verificación de turbinas	0.5
Sujeción de la armadura	1
Colocación e instalación de módulos	1
Colocación de las tuberías fijas y móviles	0.4
Total	5.1

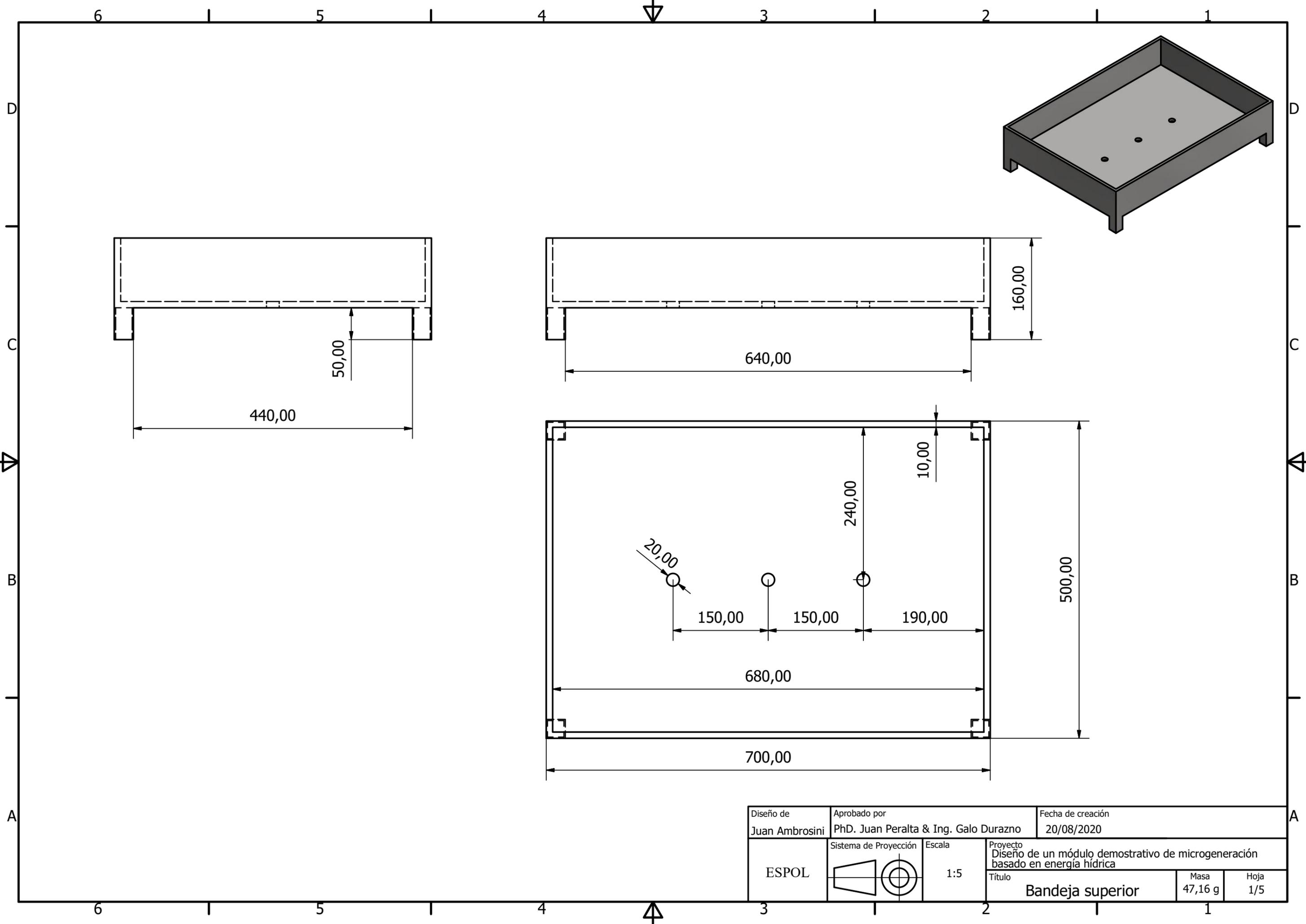
Alternativa 1 : Tornillo de potencia



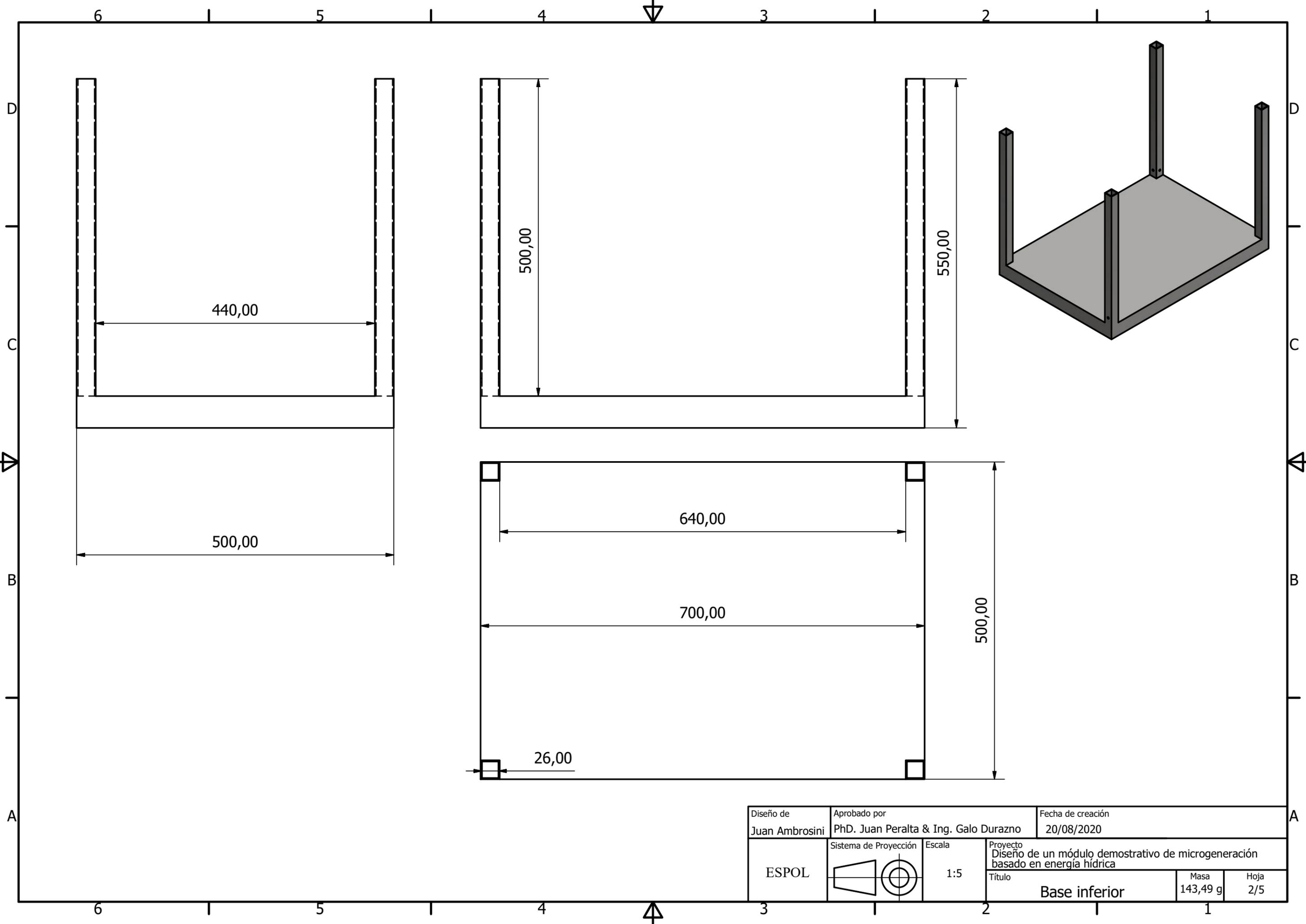
Alternativa 2: Bandeja móvil

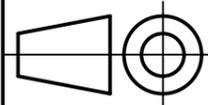
Bandeja móvil

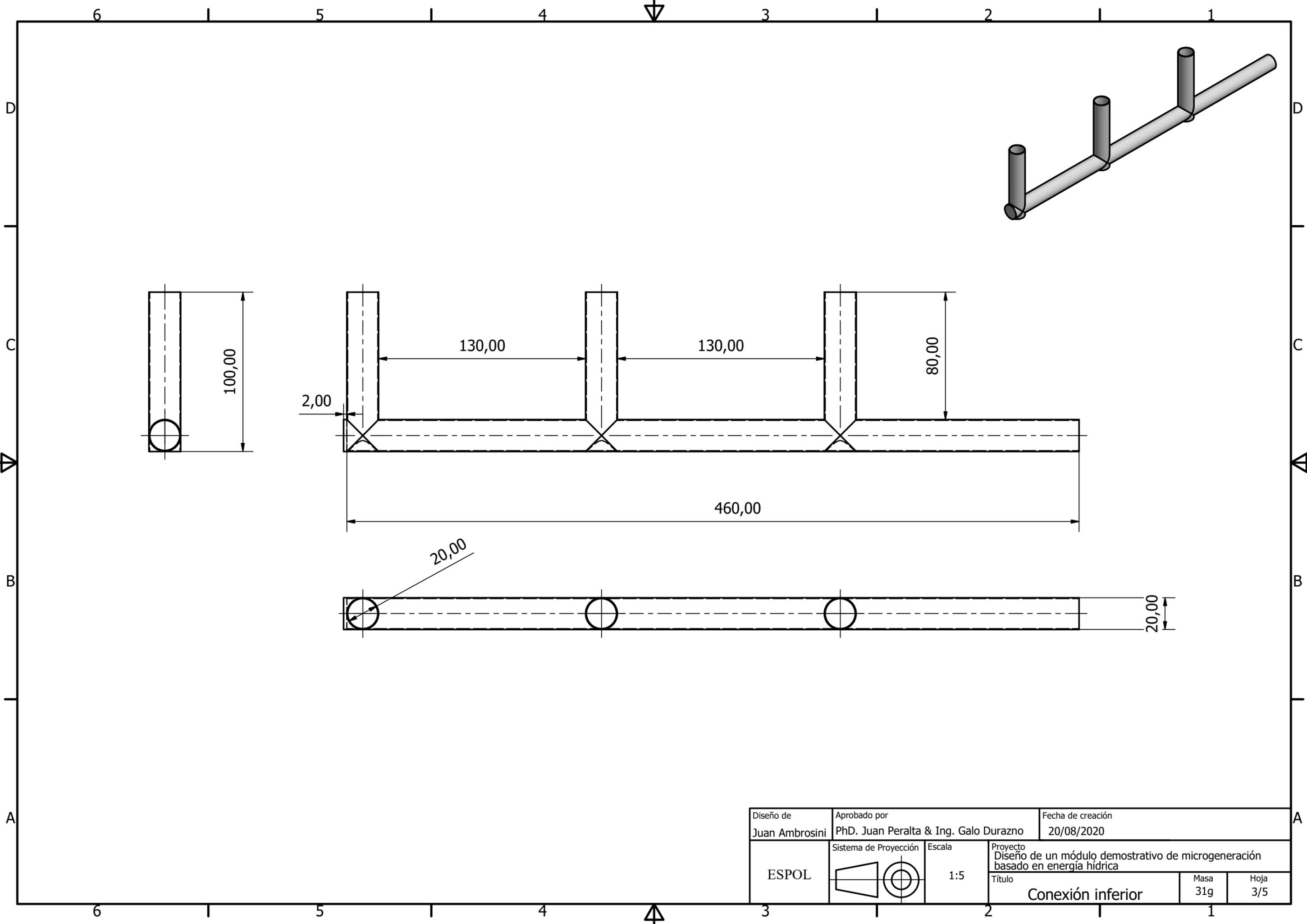




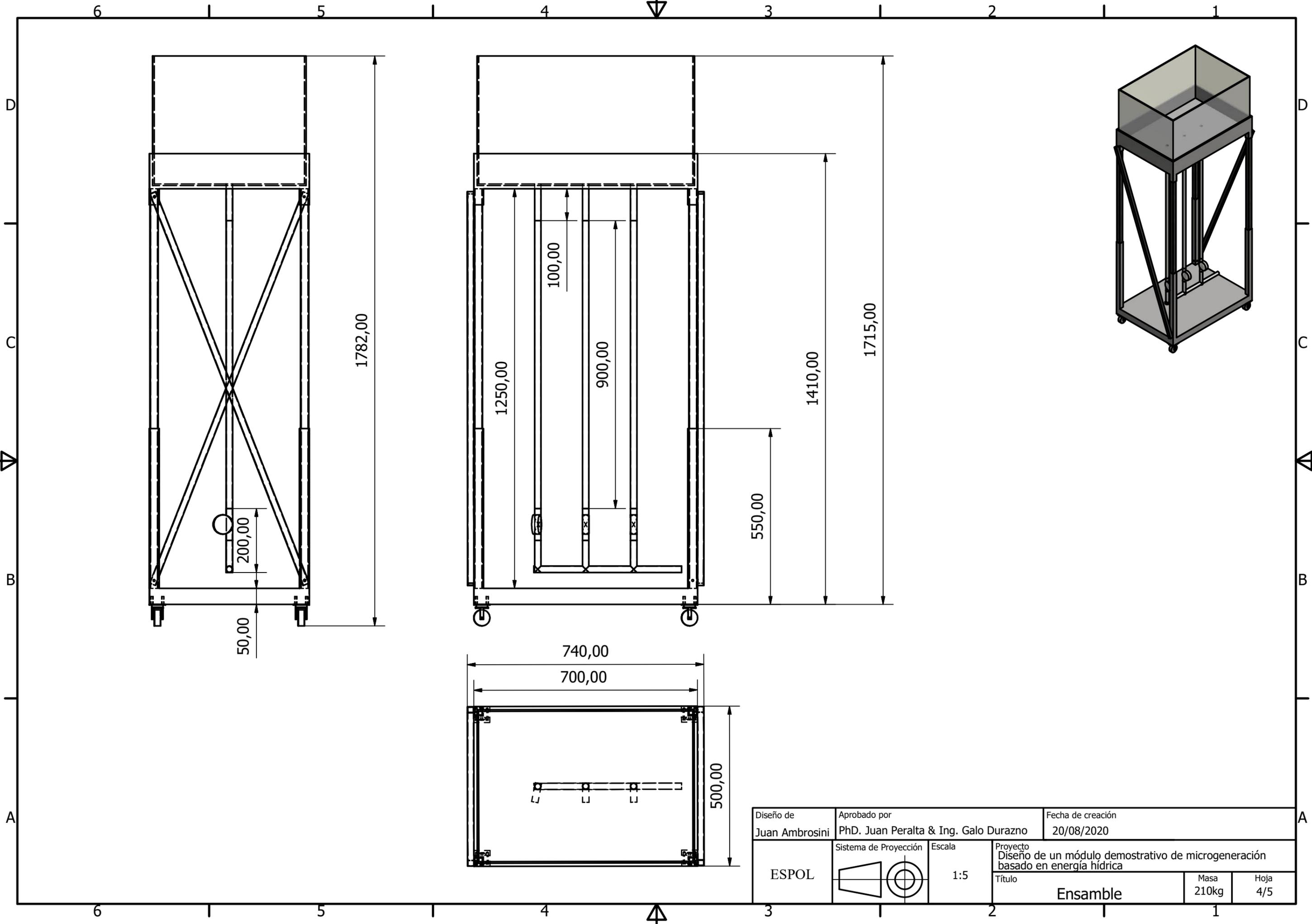
Diseño de Juan Ambrosini	Aprobado por PhD. Juan Peralta & Ing. Galo Durazno	Fecha de creación 20/08/2020		
ESPOL	Sistema de Proyección	Escala	Proyecto Diseño de un módulo demostrativo de microgeneración basado en energía hídrica	
		1:5	Título	Masa
Bandeja superior			47,16 g	Hoja 1/5

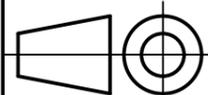


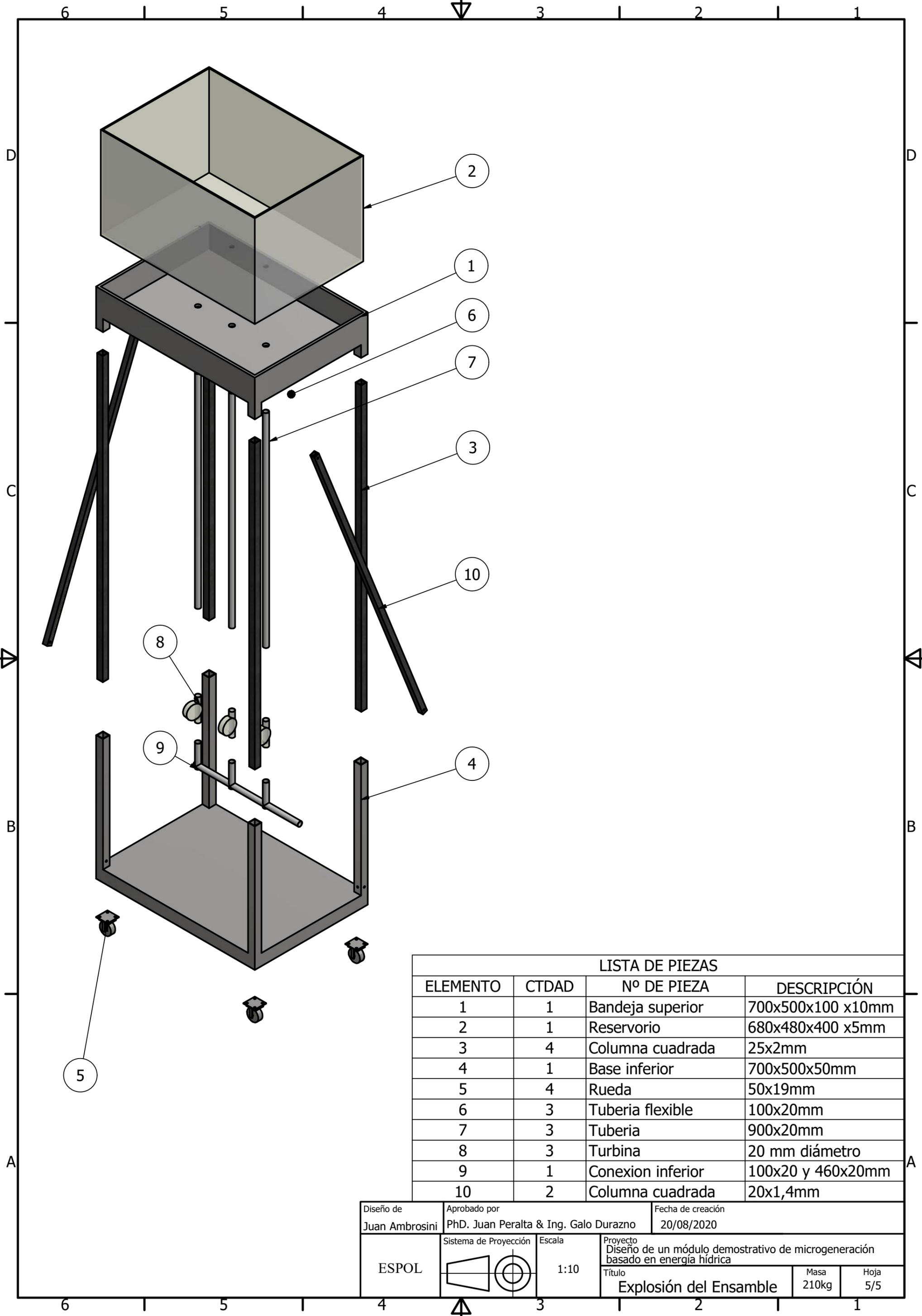
Diseño de Juan Ambrosini	Aprobado por PhD. Juan Peralta & Ing. Galo Durazno	Fecha de creación 20/08/2020		
ESPOL	Sistema de Proyección 	Escala 1:5	Proyecto Diseño de un módulo demostrativo de microgeneración basado en energía hídrica	
Título Base inferior			Masa 143,49 g	Hoja 2/5



Diseño de Juan Ambrosini	Aprobado por PhD. Juan Peralta & Ing. Galo Durazno	Fecha de creación 20/08/2020		
ESPOL	Sistema de Proyección	Escala	Proyecto Diseño de un módulo demostrativo de microgeneración basado en energía hídrica	
		1:5	Título	Masa
			Conexión inferior	Hoja 3/5



Diseño de Juan Ambrosini	Aprobado por PhD. Juan Peralta & Ing. Galo Durazno	Fecha de creación 20/08/2020
ESPOL	Sistema de Proyección 	Escala 1:5
Proyecto Diseño de un módulo demostrativo de microgeneración basado en energía hídrica		Título Ensamble
Masa 210kg		Hoja 4/5



LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Bandeja superior	700x500x100 x10mm
2	1	Reservorio	680x480x400 x5mm
3	4	Columna cuadrada	25x2mm
4	1	Base inferior	700x500x50mm
5	4	Rueda	50x19mm
6	3	Tuberia flexible	100x20mm
7	3	Tuberia	900x20mm
8	3	Turbina	20 mm diámetro
9	1	Conexion inferior	100x20 y 460x20mm
10	2	Columna cuadrada	20x1,4mm

Diseño de Juan Ambrosini	Aprobado por PhD. Juan Peralta & Ing. Galo Durazno	Fecha de creación 20/08/2020
ESPOL	Sistema de Proyección 	Escala 1:10
Proyecto Diseño de un módulo demostrativo de microgeneración basado en energía hídrica		Título Explosión del Ensamble
Masa 210kg		Hoja 5/5