

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **IMPLEMENTACIÓN DE UN MICRO GENERADOR HIDRO ELÉCTRICO PARA EL LTI - ESFOT (MÓDULO 1)**

#### **GENERACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE UN MICROGENERADOR HIDROELÉCTRICO.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR  
EN ELECTROMECAÁNICA**

**JOAN ALESSANDRO MURILLO ZAMBRANO**

joan.murillo@epn.edu.ec

**DIRECTOR: ING. ALAN DANIEL CUENCA SÁNCHEZ, MSC.**

**DMQ, Enero 2022**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Joan Alessandro Murillo Zambrano declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



**JOAN ALESSANDRO MURILLO ZAMBRANO**

**joan.murillo@epn.edu.ec**

**alessox3@gmail.com**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Joan Alessandro Murillo Zambrano, bajo mi supervisión.



**ING. ALAN DANIEL CUENCA SÁNCHEZ**

**DIRECTOR**

**alan.cuenca@epn.edu.ec**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmo que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

JOAN ALESSANDRO MURILLO ZAMBRANO.

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de titulación a mis amados padres Alejandro y Diana, quienes a lo largo de mi carrera me han apoyado en mi vida personal y académica, fortaleciendo mi desarrollo como profesional y persona, además de infundirme valores y principios imprescindibles para sobrellevar y aplicar con ética los conocimientos aprendidos en mis años como universitario.

Dedico también el presente trabajo a aquellos ingenieros que con ahínco ejercen su profesión como docente con gran pasión y esfuerzo, velando por el aprendizaje eficiente de nosotros como estudiantes y hacer lo que esté en sus manos para enseñar con audaz destreza sus conocimientos guiados en nuestra formación como profesionales.

A Dios por darme la fortaleza necesaria para no flaquear en cada caída y error que a lo largo de mi vida y de mi carrera como estudiante he cometido, por mantenerme constante en el aprendizaje y desarrollo como persona, para demostrar y aportar en mi comunidad conocimiento y práctica que promuevan el desarrollo y contribuyan con nuestro desarrollo como sociedad.

**Joan Murillo**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida como profesional y tener la oportunidad de aprender aquello que me apasiona.

A mis padres, que a pesar de mis errores me han apoyado en todo momento para continuar con mis estudios y brindarme un ambiente de confianza para conservar la dedicación y pasión por el conocer y aprender, ellos han sido un pilar fundamental a lo largo de mi vida y en mis estudios ya que de ellos siempre recibí un apoyo incondicional en todo aspecto.

A mi tutor de tesis Ing. Alan Cuenca quien además de guiar y apoyar el presente trabajo de titulación me ha enseñado con gran pasión los conocimientos que hoy poseo y aspiro aplicar con gran destreza.

**Joan Murillo.**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	VI
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO .....	10
1.1 Objetivo General .....	11
1.2 Objetivos Específicos .....	11
1.3 Alcance .....	11
1.4 Marco teórico .....	11
Energías Renovables .....	11
Micro hidráulica .....	12
Generador de imanes permanentes .....	12
Hidro tornillo .....	13
2 METODOLOGÍA .....	14
2.1 Requerimientos .....	15
2.2 Planos mecánicos y eléctricos .....	16
Caudal máximo .....	16
Cabeza hidráulica .....	16
Tornillo de Arquímedes .....	16
Base del módulo .....	18
Tanque de almacenamiento .....	19
Generador eléctrico .....	20
Cálculo del calibre del cable .....	22
2.3 Construcción .....	23

Hidro tornillo. ....	23
Soporte hidro tornillo. ....	24
Circuito hidráulico. ....	26
3 RESULTADOS .....	28
Módulo de micro generación hidroeléctrico. ....	28
Despiece de partes. ....	28
Cotización del módulo de micro generación hidroeléctrico. ....	29
3.1 Pruebas y Análisis de Resultados. ....	31
Rotación de la turbina. ....	31
Potencia eléctrica. ....	32
Oxidación y fugas. ....	32
4 CONCLUSIONES .....	34
5 RECOMENDACIONES .....	36
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38
7 ANEXOS. ....	40
ANEXO I. REPORTE DE SIMILITUD GENERADO POR TURNITIN .....	41
ANEXO II. CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR .....	42
ANEXO III. PLANOS MECÁNICOS. ....	43
ANEXO IV. PLANO ELECTRÓNICO. ....	44
ANEXO V. HOJA DE ESPECIFICACIONES DE COMPONENTES. ....	45

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación, IMPLEMENTACIÓN DE UN MICRO GENERADOR HIDRO ELÉCTRICO PARA EL LTI - ESFOT (MÓDULO 1), busca mediante la aplicación de teoremas, conceptos y leyes fundamentales de la electricidad como la ley de Faraday [1], comprender el funcionamiento de las máquinas rotativas como generación de energía limpia a partir del recurso hídrico [2], para finalmente implementarlo en un módulo didáctico disponible en el Laboratorio de Tecnología Industrial (LTI) de la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT).

El presente documento consta de siete secciones, las cuales se detallan a continuación:

En la sección uno se describe el proyecto a ser realizado, que parte del propósito de aportar un módulo didáctico útil en el estudio del uso de energías renovables, se describen con ello los objetivos y el alcance del presente trabajo junto a los fundamentos teóricos utilizados.

En la sección dos se describe la metodología que se utilizó para implementar el módulo, gracias a los procedimientos y recursos que permitieron el desarrollo de cada objetivo junto a los planos mecánicos y eléctricos. Además, esta sección contiene el proceso de construcción y ensamblado de los componentes más importantes.

En la sección tres se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento realizadas al micro generador, junto a la descripción y despiece del sistema completo del módulo didáctico.

La sección cuatro contiene las conclusiones a las que se llegaron una vez realizada la implementación del sistema de micro generación hidroeléctrica, las cuales se enlazan al cumplimiento de los objetivos planteados.

La sección cinco contiene las recomendaciones en cuanto al uso y mantenimiento del módulo didáctico, así como las posibles mejoras que se pueden implementar.

La sección seis contiene las referencias bibliográficas utilizadas para el presente trabajo de titulación.

Finalmente, en la sección siete se encuentran los anexos que complementan el proyecto realizado.

**PALABRAS CLAVE:** Micro hidráulica, Tornillo de Arquímedes, micro generador.



## **ABSTRACT**

This degree project, IMPLEMENTATION OF A HYDRO ELECTRIC MICRO GENERATOR FOR THE LTI - ESFOT (MODULE 1), seeks through the application of theorems, concepts, and fundamental laws of electricity such as Faraday's law [1], to understand the operation of rotating machines as clean energy generation from water resources [2], to finally implement it in a didactic module available in the Industrial Technology Laboratory (LTI) of the School for the Training of Technologists (ESFOT).

This document consists of seven sections, which are detailed below:

Section one describes the project to be carried out, which starts from the purpose of providing a didactic module useful in the study of the use of renewable energies, the objectives and scope of the present work are described along with the theoretical foundations used.

Section two describes the methodology used to implement the module, thanks to the procedures and resources that allowed the development of each objective together with the mechanical and electrical drawings. In addition, this section contains the construction and assembly process of the most important components.

Section three shows the results obtained from the performance tests carried out on the micro generator, together with the description and exploded view of the complete system of the didactic module.

Section four contains the conclusions reached after the implementation of the micro hydroelectric generation system, which are linked to the fulfillment of the proposed objectives.

Section five contains the recommendations regarding the use and maintenance of the didactic module, as well as the possible improvements that can be implemented.

Section six contains the bibliographical references used for this degree work.

Finally, section seven contains the annexes that complement the project.

**KEYWORDS:** Micro hydraulics, Archimedes screw, micro generator.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El módulo didáctico micro generador hidro eléctrico, consta de un sistema de propulsión por corriente de agua, aprovechado por una turbina inclinada de forma descendente desde la caída de agua. Este componente es una modificación de un tornillo de Arquímedes al disponer de tres hélices dispuestas en sentido antihorario a lo largo de un eje con dos revoluciones en total. Esta microturbina funciona como sistema de generación, va acoplada a un micro generador para producir energía eléctrica.

Este generador eléctrico parte de un motor brushless, el cual, al proporcionar en su eje de trabajo energía mecánica gracias a un flujo de caudal de agua, aprovechado por la antes mencionada microturbina, permite generar energía eléctrica en sus terminales, misma que será utilizada para alimentar una carga pequeña que demuestre el principio de generación.

Además de los componentes principales el sistema se beneficia de chumaceras en los extremos de la turbina que facilitan la rotación y piezas auxiliares para unir cada uno de los componentes del sistema en general, estas piezas requieren de cierta lubricación que facilita la libre rotación de la microturbina.

El flujo de agua se obtiene mediante una bomba hidráulica para enviar el caudal necesario a la entrada de las hélices de la turbina y hacerla girar con las suficientes revoluciones por minuto para producir energía eléctrica. Este caudal circula por una superficie plástica que recubre la parte media inferior de la microturbina con una curvatura de diámetro ligeramente mayor a las hélices para aprovechar de mejor manera el flujo de agua en los interiores del tornillo de Arquímedes.

Con la finalidad de propiciar un ambiente didáctico, el sistema cuenta con borneras que facilitan la medición de voltaje y corriente, además posee interruptores para encender y apagar las dos luces utilizadas como carga de potencia y evidenciar la producción de electricidad.

El sistema en general va sujeto a una carcasa metálica revestida en pintura electrostática que brinda protección a la intemperie, dicha estructura dispone a la microturbina con cierta inclinación para provocar un empuje natural del caudal de agua que ingresa con cierta presión hidráulica gracias a la bomba empleada.

El sistema desarrollado permitirá realizar aplicaciones prácticas relacionadas a la micro generación hidráulica. En el Anexo 2, se encuentra el certificado de funcionamiento del módulo.

## **1.1 Objetivo General**

Implementar un micro generador hidro eléctrico para el LTI - ESFOT (Módulo 1).

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Determinar los requerimientos necesarios para la implementación del micro generador.
- Diseñar planos mecánicos y eléctricos del micro generador.
- Realizar pruebas de funcionamiento.
- Realizar un manual de usuario y un manual de mantenimiento.

## **1.3 Alcance**

El módulo de micro generación hidráulica permite comprender la generación de energía eléctrica basada en recursos hídricos virtualmente inagotables [3], con la que se describe el funcionamiento y la utilidad que brindan las tecnologías basadas en energías renovables; además de promover y difundir la utilización de recursos naturales e incentivo al cuidado del medio ambiente .

La producción de electricidad se realizó a nivel de micro generación para una carga pequeña, ya que la implementación del módulo tiene un propósito educativo, para demostrar la generación de energía eléctrica mediante el uso de la fuerza motriz del agua, aprovechando esto para impulsar una turbina acoplada a un generador.

## **1.4 Marco teórico**

### **Energías Renovables.**

Se pueden clasificar las energías renovables por su principal fuente de energía, es decir, de la radiación solar, de la fuerza mareomotriz del agua o incluso por caída de un caudal de agua por cabeza hidráulica. Estas son esencialmente la energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y energías marinas [4].

Actualmente, en el Ecuador se han planteado retos de cambio en la matriz energética que busca sustituir el uso de combustibles fósiles en un 51.78% al emplear energías renovables [5].

El objetivo 7 del plan de estudios de la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica TSEM de la Escuela de Formación de Tecnólogos ESFOT de la

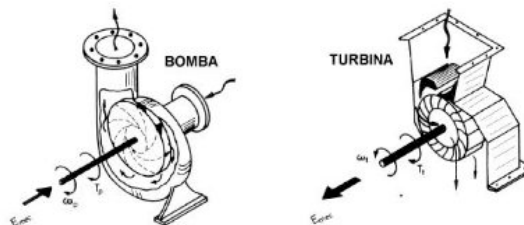
Escuela Politécnica Nacional EPN, plantea como lineamientos estratégicos: Cuantificar el potencial de recursos de energías renovables para generación eléctrica, además de promover una mayor participación de las energías renovables sostenibles como medida de prevención a la contaminación ambiental, estos lineamientos son parte del pénsum académico de la materia Energías Alternativas TEMR-442 que actualmente se imparte en la carrera de TSEM [6].

### **Micro hidráulica**

En la actualidad existen microturbinas hidráulicas para la producción mínima de energía en comparación a las turbinas pensadas para la generación de cientos o miles de kilovatios, como lo son las turbinas Kaplan, Pelton, Francis entre otras.

Estas son turbo máquinas hidráulicas que se impulsan gracias a la presión de un fluido (comúnmente agua), para aprovecharlo en un generador eléctrico y producir energía eléctrica.

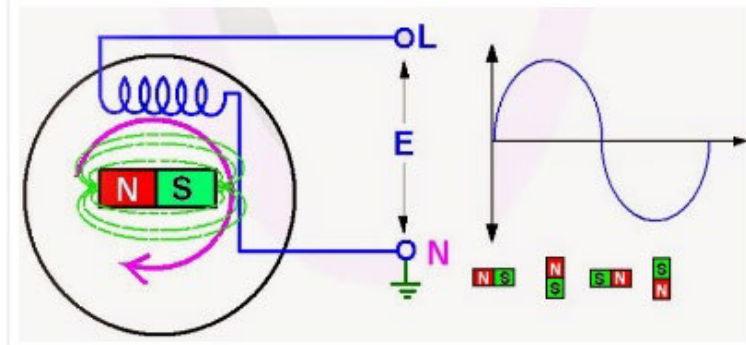
Una tecnología que destaca en este campo son las bombas como turbinas, que aprovechan la presión de un fluido en un proceso interno de rotación inversa al captar agua en su entrada y de esta forma producir energía eléctrica. En la Figura 1.1 se describe el funcionamiento de una bomba como turbina [7].



**Figura 1.1** Funcionamiento de bombas como turbinas, [7]

### **Generador de imanes permanentes.**

Los generadores de imanes permanentes son capaces de transmitir energía eléctrica por medio del efecto de inducción. El rotor está construido de tal forma que posee imanes tangenciales a su estructura cilíndrica, cuando este elemento entra en rotación, interactúa con las bobinas fijas dispuestas en el estator, ya que inducen un voltaje en los bobinados, provocando un diferencial de potencial en sus bornes, como se observa en la Figura 1.2 [8]



**Figura 1.2** Alternador, [8]

La función que cumple este elemento es de tipo alternador, debido a que el diferencial de potencial producido es de característica alterna, es decir, varía en valor constantemente entre picos de voltaje positivos y negativos con cruce por cero, a esto se le denomina fuerza electromotriz (fem), ya que la electricidad es proveniente de una fuerza motriz.

### **Hidro tornillo.**

Son la opción más recomendada para transporte de grandes caudales con material sólido, es una especie de tornillo sin fin en el cual el caudal que se transporta en el tornillo depende de la entrada de agua y de la inclinación que esté dispuesto, con la posibilidad de poder modificarse las revoluciones por minuto para variar la variable del caudal. En la Figura 1.3 se muestra una instalación con tornillos de Arquímedes [9].



**Figura 1.3** Tornillo de Arquímedes, [9]

En las instalaciones hidroeléctricas se produce energía renovable utilizando corrientes de agua, los hidro tornillos como se observa en la Figura 1.3, se disponen de esta forma en lagos, ríos o esclusas respetando la vida marina y sin presentar conflictos por presencia de sólidos en el flujo de agua.

Es así como se tienen numerosas ventajas al implementar los hidro tornillos para la generación eléctrica, como por ejemplo, su alta eficacia (hasta el 86%) [9].

## 2 METODOLOGÍA

La implementación de un micro generador hidroeléctrico para el LTI de la ESFOT, se realizó mediante la aplicación puntual de la transformación de energía mecánica a eléctrica sustentada por sus respectivos principios y leyes fundamentales.

Para realizar la implementación del micro generador se utilizó un enfoque cualitativo al ser en esencia una comprensión de fenómenos aplicados en diferentes metodologías y sistemas.

El presente trabajo es experimental basado en diseños realizados con el mismo fin de generación eléctrica y sustentan el correcto funcionamiento y disposición del componente.

La recolección de datos parte en síntesis de pruebas experimentales realizadas en prototipos aplicando fundamentos teóricos relacionados a la generación micro hidráulica.

Como punto de partida, se establecieron los recursos necesarios que permitieron evaluar las condiciones físicas y mecánicas que influyeron en el funcionamiento del micro generador y el entorno en el cual este trabaja. Se establecieron las condiciones de operación del micro generador tomando en cuenta las instalaciones del LTI – ESFOT, además se puntualizaron las dimensiones del micro generador en base a aspectos importantes como materiales, costo y acceso a recurso hídrico.

En base a los planos esquemáticos desarrollados, se procedió a la selección de los principales componentes mecánicos que permitieron la implementación del módulo didáctico. Se tomó en cuenta que las piezas que conforman la parte mecánica como el tornillo de Arquímedes, los soportes y la estructura principal fueron diseñados mediante un software CAD, siendo fabricados utilizando impresión 3D y corte en plasma según aplique. Con los componentes eléctricos y mecánicos se procedió al acoplamiento y ensamblaje del micro generador hidroeléctrico y se llevaron a cabo las respectivas pruebas de funcionamiento.

Las pruebas de funcionamiento se realizaron con la finalidad de verificar el comportamiento óptimo del micro generador hidroeléctrico. Se midió el voltaje y la corriente generada en función al caudal de agua de entrada, además se aseguró la conversión de energía mecánica en energía eléctrica evitando pérdidas en los componentes expuestos a fricción. Además, se comprobó que la energía producida por el micro generador hidráulico pueda abastecer una carga pequeña puntual.

Se realizó una guía de usuario del módulo implementado, en la cual se puntualizaron las características principales del mismo, además se establecieron los parámetros necesarios para su correcto funcionamiento. Se especificaron instrucciones de puesta en marcha y utilización, de igual manera se incluyó una guía de mantenimiento, la cual establece las principales consideraciones para conservar la integridad del módulo.

## **2.1 Requerimientos.**

Para establecer los requerimientos que debe cumplir el módulo de micro generación hidráulica, se realizó una visita técnica a las instalaciones del LTI – ESFOT, en base a esto, se determinaron las características principales que debe disponer el módulo didáctico:

- Tamaño adecuado en función del espacio disponible en el laboratorio.

El área de trabajo que demanda el módulo hidro eléctrico para operar no debe ser superior a 1.5 ( $m^2$ ) de superficie, además debe asegurar un correcto aislamiento del flujo de trabajo para evitar el contacto de este con el resto de los componentes del laboratorio.

- Utilización del módulo dentro de las instalaciones aprovechando el recurso hidráulico disponible.

Instalar un circuito hidráulico simple para proveer de corriente de agua al módulo didáctico, este circuito de agua recircula durante un determinado tiempo hasta realizar su reemplazo.

- Utilización de la turbina en base al tornillo de Arquímedes, tomando en cuenta prototipos existentes.

El presente proyecto se basa en módulos didácticos realizados con el mismo propósito de generación eléctrica para fines educativos, lo que establece las dimensiones y disposición de las piezas según las especificaciones de estos módulos ya diseñados.

Específicamente la unidad de potencia hidráulica en espiral “PicoPica” fabricado por Sumino Co. el 27 de noviembre del 2020 sustenta algunas de las dimensiones del hidro tornillo a utilizar y se adapta a las necesidades requeridas [10].

- Generación de voltaje en función del caudal aprovechado.

La selección del generador a utilizar se seleccionó en base a las revoluciones por minuto que se obtuvo, para entregar valores de voltaje y corriente capaces de permitir adaptar una carga pequeña al generador y evidenciar la producción de electricidad.

- Solventar la demanda eléctrica de una determinada carga.

Según la potencia eléctrica obtenida, se adaptará una carga de iluminación al módulo, con el respectivo circuito rectificador que estabilizará el voltaje proveniente del generador y permitirá evidenciar su correcto funcionamiento.

## **2.2 Planos mecánicos y eléctricos.**

Las dimensiones del módulo de micro generación hidráulica se establecieron en base a los siguientes factores:

### **Caudal máximo**

Siendo  $Q$  el caudal que llega a las hélices, el volumen de agua de flujo nominal máximo con el que se alimenta al hidro tornillo es de:

$$Q = 35 \left( \frac{L}{\text{min}} \right)$$

Este caudal proviene de una bomba periférica, la cual a su entrada y salida dispone tubería de 1 pulgada con una reducción de  $\frac{1}{4}$  de pulgada a la salida de agua para impulsar la turbina hidráulica.

### **Cabeza hidráulica.**

Otro dato importante para el dimensionamiento del hidro tornillo es " $H$ " la cabeza hidráulica para establecer la inclinación, el diseño del módulo (según prototipos similares) fue realizado para adaptarse a los ríos, es así como dado el lugar de implementación, se modifica su disposición para ser dispuesto en un laboratorio, con su respectiva estructura de soporte para el módulo y de igual forma para la bomba periférica y el generador eléctrico a una altura de aproximadamente:

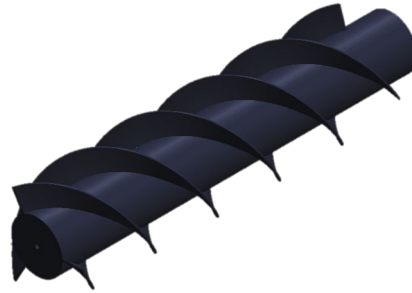
$$H = 30 \text{ (cm)}$$

### **Tornillo de Arquímedes.**

Tomando en cuenta la información anterior, se adaptó un tornillo de Arquímedes de tres hilos con dos revoluciones a lo largo de un eje de plástico de 76 (cm) de longitud según



el diseño base en que se basa este componente [10]. Esta pieza fue dividida en dos secciones, las cuales son acoplables. En la Figura 2.1 se observa la microturbina hidráulica, la misma que no tiene un relleno sólido y dispone de un espesor de 3 (mm) en su eje y 2 (mm) de espesor en sus hélices. En su extremo lateral posee un agujero para fijar la turbina con respecto a un eje metálico.



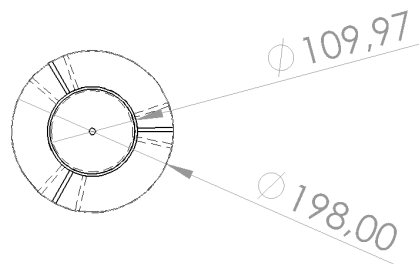
**Figura 2.1** Microturbina hidráulica tipo tornillo de Arquímedes.

Para el diseño de la microturbina se tomó en cuenta un prototipo del tornillo de Arquímedes para micro generación con fines didácticos, dichos datos y especificaciones geométricas se adaptaron al diseño de este componente en cuestión.

De requerir la impresión de repuesto para la turbina hidráulica, acudir al siguiente link.

[https://epnecuador-my.sharepoint.com/:f/g/personal/joan\\_murillo\\_epn\\_edu\\_ec/ErM3uQBVBsFOmZB1yy-QxHoBz1t5TICPjzIq1eoF1IalnA?e=S7TDKS](https://epnecuador-my.sharepoint.com/:f/g/personal/joan_murillo_epn_edu_ec/ErM3uQBVBsFOmZB1yy-QxHoBz1t5TICPjzIq1eoF1IalnA?e=S7TDKS)

En la Figura 2.2 se muestran los diámetros del elemento.



**Figura 2.2** Diámetros interior y exterior del tornillo de Arquímedes.

En la Tabla 2.1 se muestran las principales características para el diseño del tornillo de Arquímedes.

**Tabla 2.1** Características del tornillo de Arquímedes.

Propiedades	Valores
Material	Ácido Poli láctico

Propiedades	Valores
Longitud	76 (cm)
Diámetro exterior de la hélice.	19.8 (cm)
Diámetro del eje de la hélice.	10.97 (cm)
Espesor	3 (mm)

En el Anexo 3 – Lámina 1 se encuentran las dimensiones de las partes que conforman el tornillo de Arquímedes y sus respectivas medidas.

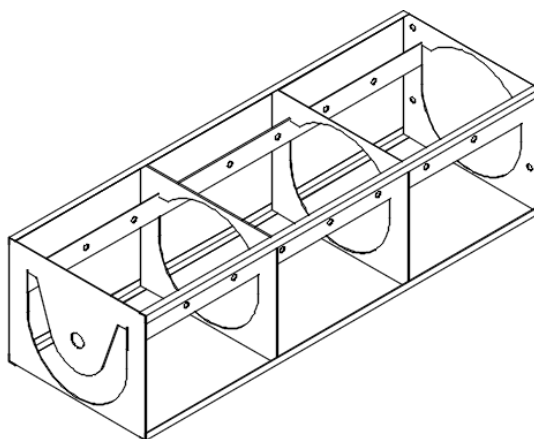
### Base del módulo.

Según las especificaciones antes mencionadas, la inclinación del tornillo de Arquímedes se realizó para poseer un salto de agua suficiente para la generación eléctrica, por lo tanto, como se observa en la Tabla 2.2, se han establecido ciertas dimensiones para la base del módulo:

**Tabla 2.2** Dimensiones de la base de soporte del hidro tornillo.

Propiedades	Valores
Longitud	81 (cm)
Ancho	28.1 (cm)
Altura	22.1 (cm)

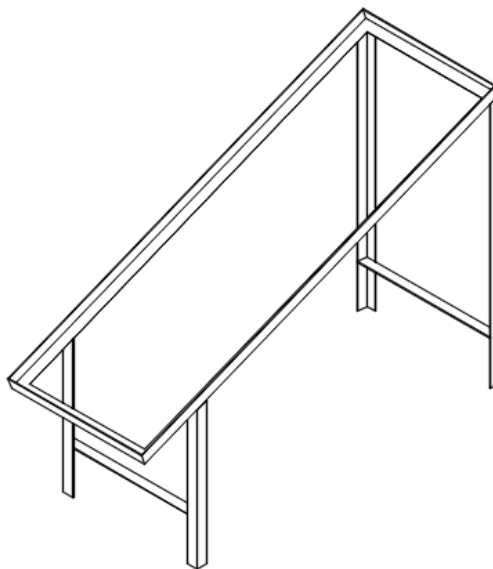
Como se observa en la Figura 2.3, se tiene una vista general del diseño total de la base del módulo.



**Figura 2.3** Base de soporte del hidro tornillo.

En el Anexo 3 – Lámina 2, se encuentran las dimensiones de las partes que conforman la base del módulo.

Como soporte de la base del módulo, se realizó una estructura metálica revestida en pintura anti – corrosiva adaptada a las dimensiones de la base del módulo como se observa en la Figura 2.4, de tal modo que se acople tanto la base del módulo como el soporte metálico a presión, la estructura inclina la turbina hidráulica sujeta a la base del módulo unos  $22^\circ$  gracias a los ángulos soldados que permiten esta inclinación, además de una elevación de altura de aproximadamente 30 (cm) tomando en cuenta el punto inferior de la base del módulo donde inicia la inclinación.



**Figura 2.4** Estructura metálica para la inclinación de la turbina y soporte de la bomba periférica.

En el Anexo 3 – Lámina 5 se encuentra el detalle de las dimensiones de la estructura metálica descrita gráficamente en la Figura 2.4.

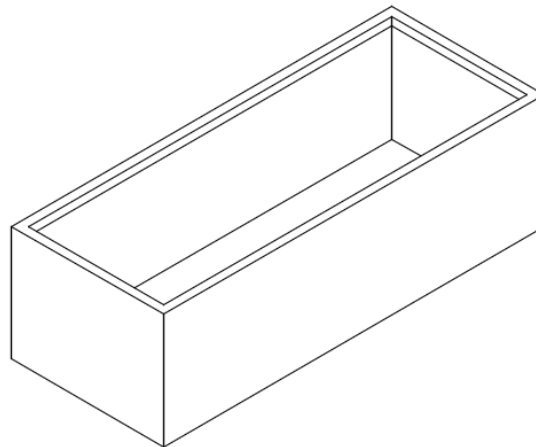
### **Tanque de almacenamiento.**

Para el almacenamiento del agua de donde la bomba periférica captará el agua a ser impulsada y de igual forma desembocada, se realizó un tanque en tol galvanizado recubierto en mate piedra como se observa en la Figura 2.5, además de colocársele chova en el suelo para evitar el rozamiento de los ángulos de la estructura metálica con el tanque, y de esta forma prevenir el deterioro en la superficie que produciría oxidación con el tiempo. En la Tabla 2.3 se describen las dimensiones del tanque.

**Tabla 2.3** Dimensiones del tanque de almacenamiento.

Propiedades	Valores
Longitud.	100 (cm)
Ancho.	40 (cm)
Altura.	30 (cm)
Capacidad en litros.	120 (L) o 120000 (cm <sup>3</sup> )

Para el funcionamiento normal del módulo hidroeléctrico, se debe llenar el tanque a un 73% aproximadamente de su capacidad total, es decir, 88 litros de los 120 litros que es capaz de almacenar, para mayor practicidad esto se traduce en llenar el tanque a una altura de 22 centímetros con respecto al suelo del tanque de agua.



**Figura 2.5** Tanque de almacenamiento del agua.

En el Anexo 3 – Lámina 6 se encuentra el detalle de las dimensiones del tanque de almacenamiento de agua descrito gráficamente en la Figura 2.5.

### **Generador eléctrico.**

Para la producción de electricidad se empleó un motor de control Brushless DC (BLDC), para ser utilizado como generador eléctrico como se observa en la Figura 2.6, comercialmente se denomina como un motor de lavadora “LG Smart inverter”, es en esencia un motor de corriente continua sin escobillas, el cual está compuesto de un rotor de imán permanente como se observa en la Figura 2.7, ya que a diferencia del resto de motores de inducción convencionales, su construcción disminuye el rozamiento y mejora la conversión de energía mecánica a eléctrica, se acopla en la parte posterior de la turbina hidráulica, este elemento se adapta a las revoluciones por acople mecánico directo que provee la turbina, además, la variable de inclinación del tornillo de

Arquímedes y el caudal que ingrese en las hélices, influyen en la conversión de la energía mecánica a eléctrica.



**Figura 2.6** Motor síncrono de imán permanente.



**Figura 2.7** Composición del motor Smart inverter BLDC, [11].

En la Tabla 2.4 se detallan los datos técnicos del generador utilizado.

**Tabla 2.4** Características técnicas del generador

Propiedades	Valores
Marca	LG
Modelo	WDC0150Y1M
Nombre comercial	Motor de lavadora inverter LG
Voltaje (Motor DC)	310 (V)

### **Cálculo del calibre del cable.**

Se trabaja con una bomba periférica, la cual posee las siguientes características:

$$P = 0.5 \text{ (HP)}$$

$$V = 120 \text{ (V)}$$

$$I = 4.3 \text{ (A)}$$

Para hallar el factor de potencia se despeja en la Ecuación 2.1 dicho valor:

$$I_L = \frac{P_{elec}}{V_L * \cos \phi}$$

**Ecuación 2.1** Cálculo de corriente motores monofásicos.

$$\cos \phi = \frac{372.85 \text{ (kW)}}{120 \text{ (V)} * 4.3 \text{ (A)}}$$

$$\cos \phi = 0.72$$

Se obtiene la corriente multiplicada por un factor de protección para motores:

$$I_{AWG} = 4.3 * 1.25 = 5.38 \text{ (A)}$$

Con la bomba a ser empleada se tiene una corriente que soportará la instalación de:

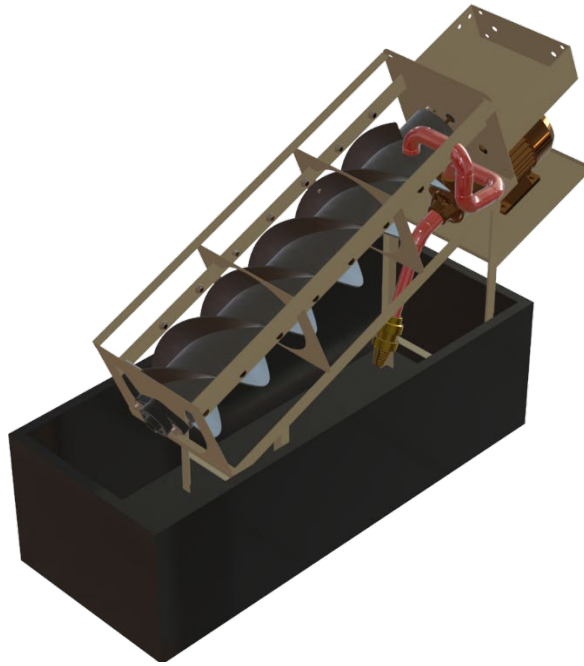
$$I_{AWG} = 5.38 \text{ (A)}$$

En este punto un cable AWG calibre 14 sería el óptimo, sin embargo, debido al consumo de corriente en el arranque de la bomba y la caída de tensión por la longitud del cableado para la instalación eléctrica, se elige el calibre AWG 12 para mayor seguridad.

### **AWG 12**

En el Anexo 4 – Lámina 7 se muestra el esquema electrónico de las conexiones, el cual se compone de un rectificador de onda completa, también un elevador de voltaje MT3608 [12], el mismo se adapta junto al circuito de rectificación de voltaje, para poder regular el voltaje de entrada proveniente del generador en caso de presentar inestabilidad [13], además contiene un led indicador y las cargas de iluminación.

Finalmente en la Figura 2.8, se muestra el diseño del módulo hidroeléctrico realizado.



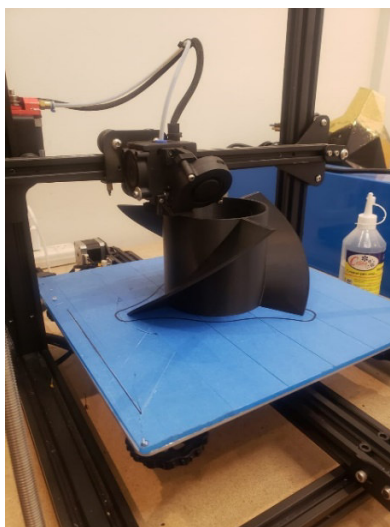
**Figura 2.8** Módulo hidroeléctrico realizado.

En el Anexo 3 – Lámina 3 se muestra el diseño del módulo hidroeléctrico realizado.

## **2.3 Construcción.**

### **Hidro tornillo.**

La elaboración de la pieza se realizó mediante impresión 3D en modelado por deposición fundida (MDF), utilizando en esta técnica filamento de ácido poli láctico (PLA) en la totalidad de la estructura de la microturbina hidráulica, como se observa en la Figura 2.9.



**Figura 2.9** Fabricación del hidro tornillo.

En la Figura 2.10 se muestra el hidro tornillo final fabricado.



**Figura 2.10** Hidro tornillo final fabricado .

La transmisión de la rotación por el impulso hidráulico de la turbina al generador es enviada directamente mediante un acople mecánico, desde el eje del tornillo de Arquímedes hasta el eje de trabajo del generador.

### **Soporte hidro tornillo.**

Se realizó el corte en plasma las 4 placas metálicas necesarias para la estructura metálica compuestas de tol A – 34 de 1.5 (mm) de espesor como se observa en la Figura 2.11 y Figura 2.12, las mismas que fueron soldadas de forma paralela con una distancia de 268.5 (mm) por medio de ángulos dispuestos en las cuatro esquinas, además se soldó de igual maneras platinas de soporte perpendiculares a las placas como soporte del canal plástico sujetado mediante pernos.



**Figura 2.11** Proceso de corte placas metálicas .





**Figura 2.12** Corte de placas mediante plasma .

Se utilizó una lámina plástica sujeta con platinas a la estructura, para establecer el canal de flujo de agua como se observa en la Figura 2.13.



**Figura 2.13** Fijación del canal plástico mediante platinas.

El elemento principal para controlar la fricción en los soportes del tornillo de Arquímedes son las chumaceras, elementos que disminuyen la fricción en la rotación de los elementos giratorios, piezas fijas en la estructura metálica de soporte que centran el eje de la forma óptima y permiten una mayor velocidad en la rotación.

Se utilizó un eje roscado de  $\frac{1}{2}$  pulgada fijado mediante prisioneros de dos chumaceras como se observa en la Figura 2.14.



**Figura 2.14** Chumaceras de ½ pulgada.

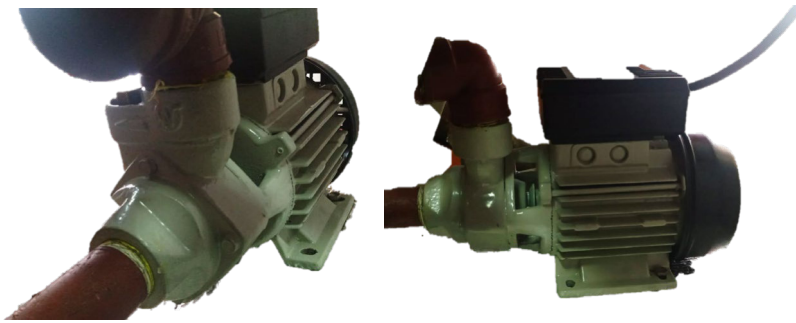
Finalmente se detalla la base final del módulo construida como se observa en la Figura 2.15.



**Figura 2.15** Base del módulo construida.

### **Circuito hidráulico.**

Para el circuito hidráulico se empleó una bomba periférica de ½ (hp) la cual se observa en la Figura 2.16. Esta provee al módulo didáctico el recurso necesario para la producción de energía. Para el sistema de las tuberías se dimensionaron en 1 pulgada respectivamente, además se utilizó una válvula de pie para evitar el bombeo de partículas sólidas capaces de averiar los componentes internos de la bomba hidráulica.



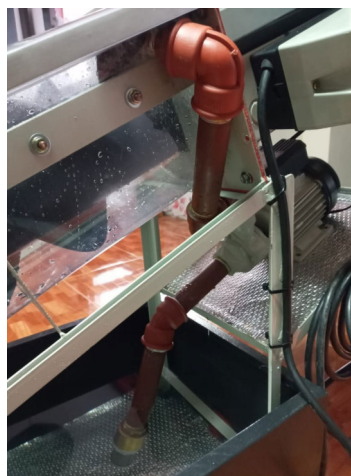
**Figura 2.16** Bomba periférica – ½ (hp)

Las características de la bomba hidráulica empleada se detallan en la Tabla 2.5:

**Tabla 2.5** Características de la bomba periférica empleada.

Características	Valores
Marca	Worldpump.
Modelo	WPP15/60
Altura máxima	39 (m)
Alimentación	110 ( $V_{AC}$ ) - 4.6 (A) - 60 (Hz)
Caudal	8 - 35 (lpm)
Succión máxima	8 (m)
Velocidad	3400 (rpm)
Clase	F
Certificación	IP44

En la Figura 2.17 se muestra el circuito hidráulico construido.



**Figura 2.17** Circuito hidráulico para transmisión de agua.

En el Anexo 3 – Lámina 4, se encuentra el plano mecánico del circuito hidráulico realizado con su respectiva descripción y dimensiones correspondientes, junto a la vista isométrica de la bomba periférica de 0.5 (HP)

### 3 RESULTADOS

#### Módulo de micro generación hidroeléctrico.



**Figura 3.1** Módulo de micro generación hidroeléctrico finalizado.

#### Despiece de partes.

En la Tabla 3.1 se encuentran descritos cada uno de los componentes que se visualizan en la Figura 3.1

**Tabla 3.1.** Descripción del despiece de partes del módulo didáctico.

Número de parte	Detalle
1	Generador eléctrico.
2	Circuito electrónico.
3	Borneras para medición de voltaje.
4	Botonera de arranque.
5	Bomba Periférica.

Número de parte	Detalle
6	Circuito Hidráulico.
7	Turbina Hidráulica.
8	Estructura Metálica.
9	Tanque de almacenamiento de agua.

### Cotización del módulo de micro generación hidroeléctrico.

Se ha establecido un costo aproximado de los componentes usados para la implementación del módulo de micro generación hidroeléctrica, los cuales están descritos en la Tabla 3.2 y están sujetos a cambios por mano de obra y proveedor donde se adquieren cada uno de los componentes que se cotizarán.

**Tabla 3.2.** Descripción del costo aproximado de los componentes en general.

Número de parte	Detalle	Costo USD
1	Motor Para Turbo Drum Inverter Original Lavadora Digital LG.	\$95.00
2	Estructura metálica pintada – Base del módulo y soportes en general con mano de obra.	\$92.00
3	Turbina hidráulica impresa 3D.	\$280.00
4	Botonera de arranque.	\$29.99
5	Bomba Periférica.	\$80.00
6	Codo 45° Polipropileno POLIMEX - 1”.	\$3.35
7	Codo 90° Polipropileno POLIMEX - 1” x3u.	\$9.90
8	Tubo PP Polipropileno POLIMEX - 1”.	\$29.31
9	Neplo Corrido Polipropileno POLIMEX – 1”.	\$1.15
10	Tanque de almacenamiento y recubrimiento en mate piedra.	\$50.00
11	Chova.	\$7.00
12	Lámparas y cableado eléctrico.	\$10.00

Número de parte	Detalle	Costo USD
13	Unión Reducción Polipropileno POLIMEX – 1”.	\$2.85
14	Circuito electrónico.	\$8.00
15	Plástico – 1 (m).	\$8.00
16	Etiquetas.	\$13.65
17	Pernos Inoxidables, arandelas – 1” x 20	\$10.00
18	Instalación eléctrica – 8(m) – cable industrial monofásico + tierra	\$20.00
19	Eje acero roscable – 1”.	\$7.00
20	Acople mecánico.	\$30.00
21	Válvula de pie – 1”.	\$13.00
-	Suma total.	\$800.20

Se han preparado dos videos para la presentación de este trabajo de integración curricular.

En la Figura 3.2 se encuentra el código QR del video demostrativo de funcionamiento del sistema implementado y en la Figura 3.3 se encuentra el código QR del video de las recomendaciones de mantenimiento para mantener la vida útil del proyecto implementado.



**Figura 3.2** Código QR del enlace al video demostrativo de funcionamiento

**Enlace:** <https://youtu.be/yESsPWAY1RM>



**Figura 3.3** Código QR del enlace al video con las recomendaciones de mantenimiento

**Enlace:** <https://youtu.be/galn5-hn57s>

### 3.1 Pruebas y Análisis de Resultados

- Como pruebas realizadas al módulo hidroeléctrico se realizaron las siguientes pruebas:

#### **Rotación de la turbina.**

Al ingresar un caudal constante de  $35 \left(\frac{L}{min}\right)$ , la turbina gira con una velocidad en un rango de 180 a 200 (rpm's) con el acople respectivo del generador, sin embargo, con la carga conectada esta velocidad reduce ligeramente .

En la Tabla 3.3 se tiene los datos obtenidos al realizar las pruebas de rotación de la turbina.

**Tabla 3.3** Velocidad alcanzada con la turbina en vacío y con carga.

Acoples	Caudal y carga	Velocidad máxima turbina
Generador en vacío.	$35 \left(\frac{L}{min}\right) - 0 (W)$	200 (rpm's)
Generador con carga .	$35 \left(\frac{L}{min}\right) - 1.6 (W)$	180 (rpm's)
Generador en corto.	$35 \left(\frac{L}{min}\right) - 0 (W)$	110 (rpm's)

### Potencia eléctrica.

Una vez se tiene el caudal mínimo para alimentar al generador, se realizó pruebas en vacío y con carga y se tabuló los parámetros de voltaje y corriente en cada caso como se observa en la Tabla 3.4:

**Tabla 3.4** Voltaje y corriente del generador y potencia obtenida

Pruebas	Voltaje máximo	Corriente	Potencia útil
En vacío – 0 (W).	12.7(V <sub>AC</sub> )	180 (mA) (Prueba en corto circuito - pico)	2.286 (W) AC
En vacío – 0 [W]	11.7 (V <sub>DC</sub> )	80 (mA) (Prueba en corto circuito - estable)	0.936 (W) - DC
Con carga – Foco LED (12 V – 4.8 (W))	8.7 (V <sub>DC</sub> )	0.02 (mA)	0.174 (W) - DC

### Oxidación y fugas.

El tanque de almacenamiento se recubrió de mate piedra para proteger de la oxidación al tol negro del que está compuesto el tanque, de igual forma, los soportes de la base y la base de la turbina hidráulica fueron recubiertas con pintura electrostática y pintura anti – corrosiva en ciertos casos, además, los pernos y arandelas se reemplazaron por unos de acero inoxidable como se observa en la Figura 3.4.



**Figura 3.4** Pernos inoxidables.



En la Figura 3.5 se encuentra el código QR del video de las pruebas de funcionamiento.



**Figura 3.5** Código QR del enlace al video con las pruebas de funcionamiento.

**Enlace:** <https://www.youtube.com/watch?v=av5olZfaJgk&t=218s>

## 4 CONCLUSIONES

- El diseño de la turbina hidráulica permitió aprovechar la energía de la circulación del agua a través de sus hélices y el canal en el que se disponen, gracias al empuje que el fluido genera y la poca resistencia que presenta el hidro tornillo a entrar en rotación.
- Se establecieron las dimensiones del sistema en general y su descripción correspondiente mediante planos mecánicos, además, se describió la disposición de las conexiones eléctricas realizadas en los respectivos planos eléctricos.
- Se evitó un desperdicio innecesario de agua para proveer de energía hidráulica a la turbina, al diseñar un sistema de recirculación del agua con el que trabaja la bomba periférica que cumple con el caudal mínimo para generar impulso cinético.
- Se instaló un arrancador para la bomba periférica que facilita su encendido y permite proteger la misma de sobre corriente en caso de un fallo eléctrico, además de contar con posibilidad de conexión a enchufe GFCI en caso de fallo a tierra.
- Se adquirió una lámpara de uso adecuado para el generador, de tal forma que se demuestra la producción de energía eléctrica mediante el sistema de generación implementado con propósito educativo.
- El generador adquirido permitió generar la suficiente corriente para adaptar una carga considerable y aprovechar la energía cinética que provee el flujo hidráulico al módulo hidroeléctrico.
- Se realizaron dos videos descriptivos para guiar el uso adecuado del módulo hidroeléctrico, así como el mantenimiento que requiere este para evitar su deterioro, aumentar su durabilidad durante su tiempo de vida útil y definir el tiempo adecuado para reemplazar ciertos componentes del sistema.
- Al trabajar en vacío, la turbina presenta una velocidad mayor a la que presenta con el generador acoplado, además el generador tiende a frenar el sistema cuando se conecta una carga a su salida de voltaje, esto fue útil para determinar la cantidad de fuerza en el caudal de agua necesario.
- Debido al alto consumo de corriente en el arranque de la bombas periférica, fue imperativo instalar un calibre de cable suficiente (AWG 12) para soportar dicho amperaje, que evitará el calentamiento en los cables y brindará protección al sistema.

- Con la fuerza y velocidad alcanzadas con la turbina se logró abastecer parcialmente una carga de 4.8 (W) de consumo de potencia, al acoplar cargas al generador eléctrico este frena ligeramente el eje y exige un mayor par en el eje axial de la turbina hidráulica.
- Se recubrió tanto el tanque de almacenamiento y piso de la bomba periférica con mate piedra y chova respectivamente, para evitar que los ángulos de la estructura metálica rocen con el tanque de agua, causando deterioro en la pintura en general y quede expuesta la superficie metálica al agua.
- Se realizó una calibración y ajuste de la turbina hidráulica de forma minuciosa, de tal forma que no exista contacto directo de la turbina con la estructura metálica y de igual manera esta se encuentre lo más centrada que fue posible disponerla.
- La potencia final generada por el generador se utilizó para dimensionar el circuito electrónico que filtra la señal de corriente alterna a una continua con la que se alimentan las cargas de iluminación.
- El módulo de micro generación hidroeléctrica obtuvo según las pruebas realizadas una potencia máxima final de 2.29 [W] y una potencia útil de consumo con las cargas de iluminación de aproximadamente 0.174 [W], una potencia eficiente en relación con los 2.4 [W] del diseño original con un caudal aproximadamente 17 veces mayor al que se utilizó en el presente proyecto.
- El módulo didáctico construido cumple con el objetivo de ser didáctico para aquellos que tengan la disposición a observar y comprobar la generación de electricidad mediante el uso de la energía cinética del agua, además de poder realizar las mediciones de voltaje en AC, DC y la corriente en DC.

## 5 RECOMENDACIONES

- Se considera óptimo aumentar el caudal que entra en la turbina hidráulica con la finalidad de aumentar la velocidad y fuerza del hidro tornillo, mejorar la producción de generación eléctrica y con ello poder abastecer a más cargas de mayor potencia.
- Se recomienda seleccionar el generador una vez se disponga de la información de las revoluciones por minuto máximas logradas y la carga que se pretende alimentar, ya que de esto depende la conexión directa del generador o un multiplicador de velocidad antes de este.
- Se debe trabajar con fluidos hidráulicos totalmente limpios y libres de residuos, ya que a pesar de no afectar a la turbina hidráulica, pueden obstruir las válvulas con las que trabaja la bomba periférica y perjudicar su funcionamiento.
- Se recomienda alinear correctamente los ejes de trabajo a la estructura metálica, de forma que se evite bamboleos en la turbina hidráulica debido a su longitud, además centrar correctamente los ejes respectivos con los rodamientos y generador.
- Si el módulo hidroeléctrico funciona con normalidad y si no es estrictamente necesario, no destornillar o aflojar en ninguna circunstancia las chumaceras y acoples que sostienen a la turbina hidráulica, ya que una manipulación incorrecta descentraría los ejes y produciría una caída de potencia considerable.
- La turbina hidráulica se limpia a sí misma al entrar en funcionamiento, por lo que únicamente se debe ajustar los pernos de sujeción concéntricos al eje de la turbina para que no lleguen a aflojarse, lo cual no requiere que la turbina se extraiga de donde está dispuesta y no se recomienda hacerse.
- Se recomienda verificar el buen estado de los empaques que evitan el ingreso de agua al interior de la turbina hidráulica, si no se revisa esto con frecuencia, el ingreso de agua perjudicará el normal funcionamiento del módulo hidroeléctrico.
- Se recomienda purgar la bomba periférica y el tanque de almacenamiento cuando estos no estén en uso por un largo tiempo, para evitar el estancamiento de agua en el caso del tanque y evitar la oxidación de la estructura interna en el caso de la bomba hidráulica.
- No colocar en ninguna circunstancia la turbina hidráulica bajo el sol, debido a que por su composición, esta tiende a deformarse al estar expuesta a temperaturas mayores a la del ambiente.

- Es recomendable al momento de realizar revisiones en la parte del circuito hidráulico, desconectar las cargas eléctricas del generador, con el fin de evitar daños en los circuitos electrónicos de suceder algún percance.
- Se recomienda llenar el tanque de almacenamiento de agua a tan solo el 73% de su capacidad, esto significa a una altura de 22 centímetros con respecto a la superficie inferior del tanque de agua.
- Evitar el ingreso de basura, o agentes extraños al tanque de almacenamiento de agua, ya que si son más densos que el agua pueden ser absorbidos por la válvula de pie y causar daños en la estructura interna tanto de la bomba periférica como la válvula de pie.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. C. Leskow, «concepto,» 15 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://concepto.de/ley-de-faraday/#:~:text=El%20enunciado%20de%20dicha%20ley,el%20circuito%20mismo%20como%20borde%E2%80%9D..> [Último acceso: 01 Diciembre 2021].
- [2] E. D. G. G. Dr. C. Pascual Felipe Correa Alvares, «RENEWABLE ENERGIES AND ENVIRONMENT. ITS LEGAL REGULATION IN ECUADOR,» *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 8, nº 3, 2016.
- [3] C. Spiegel y J. Iván Cifuentes, «Definición e información de energías renovables,» Escuela de estudios de Postgrado USAC, [En línea]. Available: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4455/1/DEFINICION%20E%20INFORMACION%20DE%20ENERGIAS%20RENOVABLES.pdf>. [Último acceso: 10 Enero 2021].
- [4] J. S. Rodríguez, «Energías Renovables y eficiencia energética,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>. [Último acceso: 10 Enero 2021].
- [5] Agencia de Regulación y control de electricidad (ARCONEL), «Ecuador posee un 51,78% de energía renovable,» Arconel, 2015. [En línea]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/ecuador-posee-un-5155-de-energia-renovable/>. [Último acceso: 10 Enero 2021].
- [6] Escuela de Formación de Tecnólogos - ESFOT, «CES: RPC-SO-42-No.769-2017,» 15 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2018/03/Tecnologia-superior-en-Electromecanica.pdf>. [Último acceso: 10 Enero 2021].
- [7] tecnoturbines, «Bombas usadas como turbinas bajo condiciones hidráulicas variables,» [En línea]. Available: <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/bombas-usadas-como-turbinas-bajo-condiciones-hidraulicas-variables-BEW0>.

- [8] I. Paco, «coparoman,» 24 Octubre 2014. [En línea]. Available: <https://coparoman.blogspot.com/2014/10/generador-de-iman-permanentes.html>. [Último acceso: 03 Enero 2022].
- [9] hidro metálica, «Tornillo de Arquímedes,» [En línea]. Available: <https://www.hidrometalica.com/tornillo-arquimedes/>.
- [10] Sumino Co., LTD, «Renewable energy: Micro Hydraulic Power Unit (Spiral Type Pico-Hydro Unit “PicoPica10”, “PicoPica500”),» CTCN Climate Technology Centre & Network, [En línea]. Available: <https://www.ctc-n.org/products/renewable-energy-micro-hydraulic-power-unit-spiral-type-pico-hydro-unit-picopica10>. [Último acceso: 03 Enero 2022].
- [11] LG Chile, «¿Por qué te conviene una lavadora de carga superior LG con motor Smart Inverter?,» 22 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=851v1F81uEk>. [Último acceso: 01 Enero 2022].
- [12] Doñate, «EAGLE #4: Ejemplo de un convertidor elevador de voltaje usando el MT3608,» PCB Central, Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://pcbcentral.com/eagle-4-ejemplo-de-un-convertidor-elevador-de-voltaje-usando-el-mt3608>.
- [13] AEROSEMI, «Olimex,» [En línea]. Available: <https://www.olimex.com/Products/Breadboarding/BB-PWR-3608/resources/MT3608.pdf>. [Último acceso: 03 01 2022].

## **7 ANEXOS**



# ANEXO I. REPORTE DE SIMILITUD GENERADO POR TURNITIN

DMQ, 28 de enero de 2022

Yo, Alan Daniel Cuenca Sánchez, como Director del presente Trabajo de Integración Curricular, certifico que el siguiente es el resultado de la evaluación de similitud realizado por la plataforma Turnitin:

Autor de la entrega:	Joan Murillo Zambrano
Título del ejercicio:	Tesis ESFOT
Título de la entrega:	Tesis Murillo
Nombre del archivo:	Trabajo_UIC_Murillo_Joan.pdf
Tamaño del archivo:	1.57M
Total páginas:	28
Word count:	5,615
Total de caracteres:	29,509
Fecha de entrega:	28-ene.-2022 04:03p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	1750237047

## Tesis Murillo

INFORME DE ORIGINALIDAD

**9%**

INDICE DE SIMILITUD

**7%**

FUENTES DE INTERNET

**1%**

PUBLICACIONES

**3%**

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

Excluir citas


Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo



**DIRECTOR**

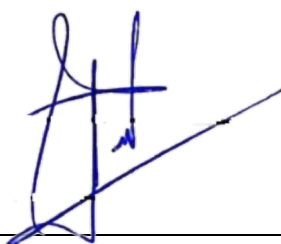
Ing. Alan Cuenca Daniel Sánchez., Msc.

## ANEXO II. CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

DMQ, 31 de enero de 2022

Yo, Alan Daniel Cuenca Sánchez, docente a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y como director de este trabajo de integración curricular, certifico que he constatado el correcto funcionamiento de la implementación de un micro generador hidro eléctrico para el LTI - ESFOT (módulo 1), el cual fue implementado por el estudiante Joan Alessandro Murillo Zambrano.

El proyecto cumple con los requerimientos de diseño y parámetros necesarios para que los usuarios de la ESFOT puedan utilizar el módulo con seguridad.



**DIRECTOR**

Ing. Alan Daniel Cuenca Sánchez., Msc.

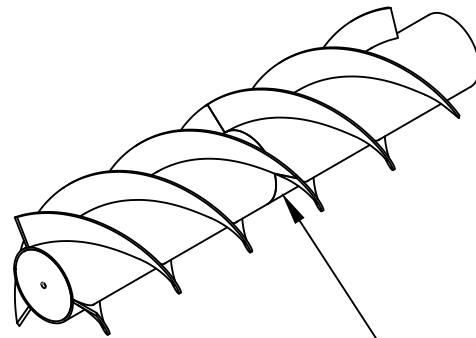
---

Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía | Edificio N. 21 | Área 7 | Oficina 22

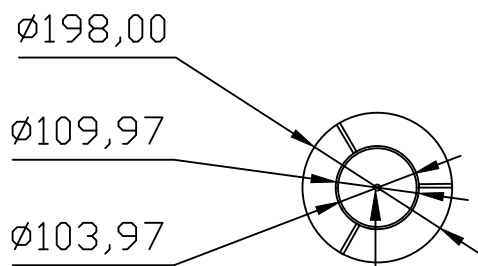
**Correo:** alan.cuenca@epn.edu.ec | **Ext:** 2736

### **ANEXO III. PLANOS MECÁNICOS.**

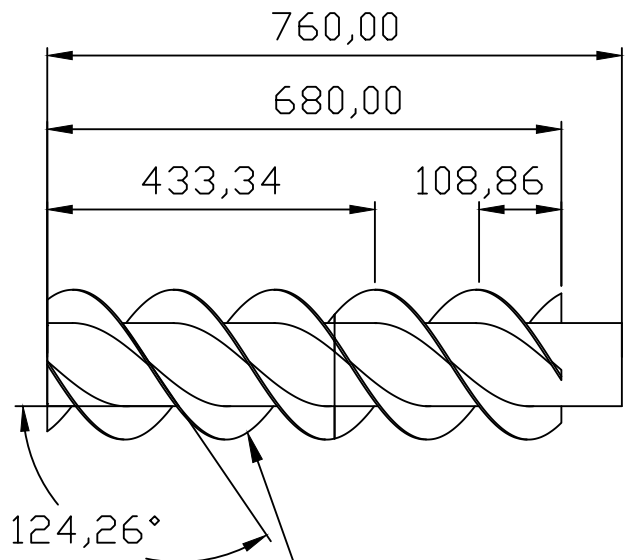
(Todas las medidas están en milímetros a menos que se especifique lo contrario)



Vista Isométrica



Vista Frontal



Vista Lateral

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT**

**HIDRO TORNILLO**

TRATAMIENTO  
TÉRMICO: NINGUNO

MATERIAL: ÁCIDO  
POLILÁCTICO (PLA)

ESCALA: 1 : 10

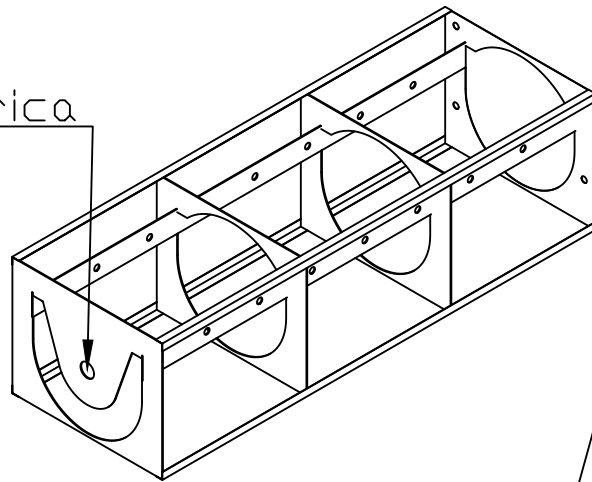
FORMATO: A4

DISEÑADO POR:  
Joan Alessandro Murillo Zambrano.

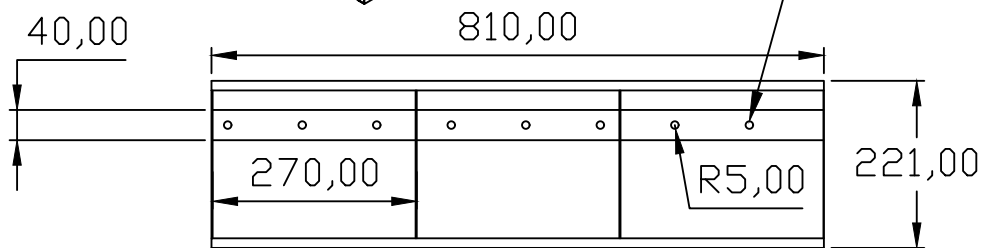
FECHA: 31 - 01 - 2022

LÁMINA: 1

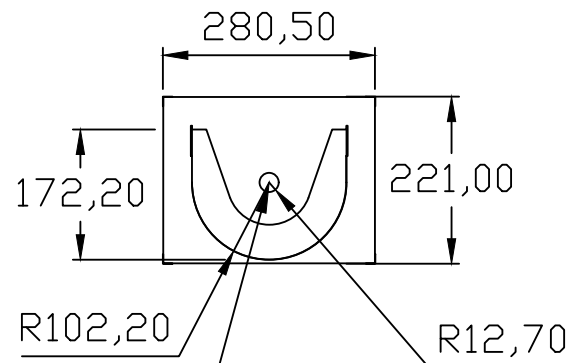
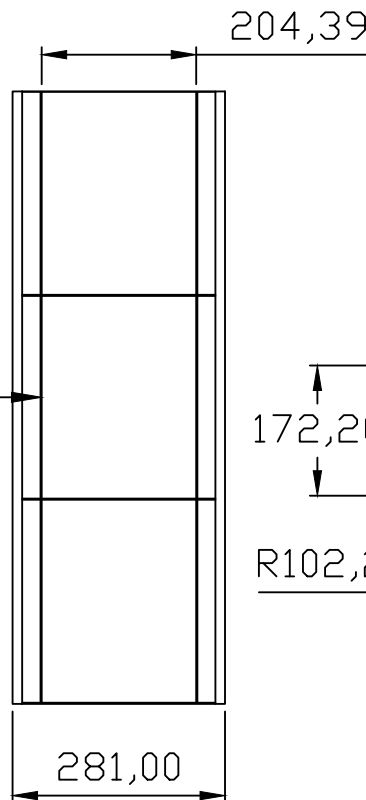
Vista Isométrica



Vista Lateral



Vista Superior



Vista Frontal

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT**

**BASE DEL MÓDULO**

TRATAMIENTO  
TÉRMICO: NINGUNO

MATERIAL: TOL  
GALVANIZADO

ESCALA: 1 : 10

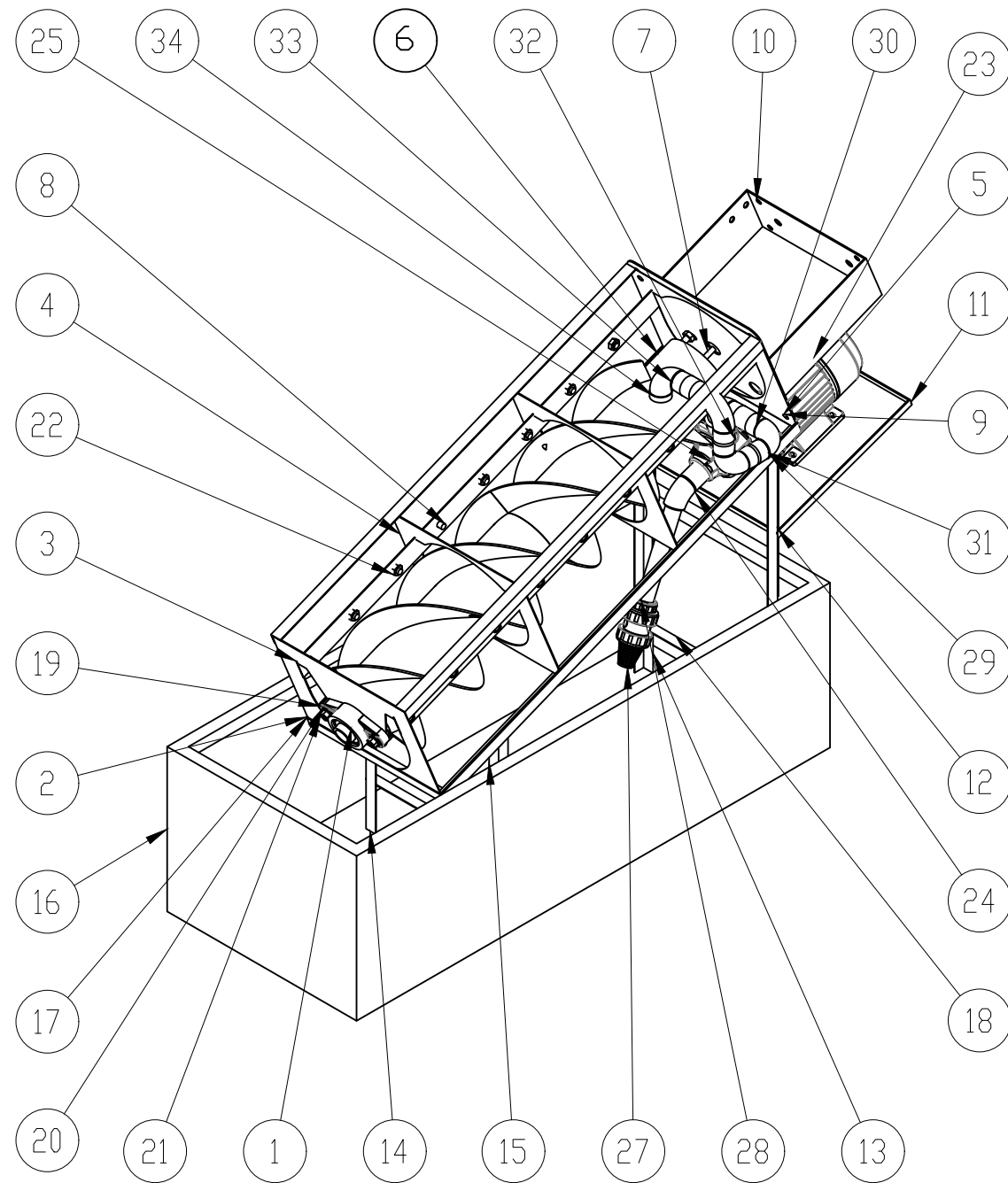
FORMATO: A4

DISEÑADO POR:  
Joan Alessandro Murillo Zambrano.

FECHA: 31 - 01 - 2022

LÁMINA: 2

# Vista Isométrica



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Placa frontal	1
2	Ángulo	4
3	Barra de soporte	2
4	Placa intermedia	2
5	Placa posterior	1
6	Turbina	1
7	Eje metálico	1
8	FHTS 0.375-12-B-1.875-C	16
9	Placa unión	1
10	Soporte generador	1
11	Soporte Bomba Periférica	1
12	ángulo superior derecho	1
13	ángulo superior izquierdo	1
14	ángulo inferior izquierdo	1
15	ángulo inferior derecho	1
16	Tanque de agua	1
17	Soporte módulo	1
18	Platina soporte	2
19	Chumacera	2
20	Narrow FW 0.5	4
21	FHTS 0.375-12-B-1.875-N	4
22	MSHXNUT 0.375-16-S-N	20
23	Bomba Periférica 0.5 HP	1
24	45L LR METRIC 1 Sch 160	1
25	1 in, Schedule 40	1
26	1 in, Schedule 40, 1	1
27	Válvula de pie	1
28	Tube 1.000in OD X .020in Wall	1
29	90L LR Metric 1 Sch 40	5
30	1 in, Sch 40, 5	1
31	1 in, Sch 40, 6	1
32	1 in, Sch 40, 7	1
33	1 in, Sch 40, 8	1
34	1 in, Sch 40, 9	1

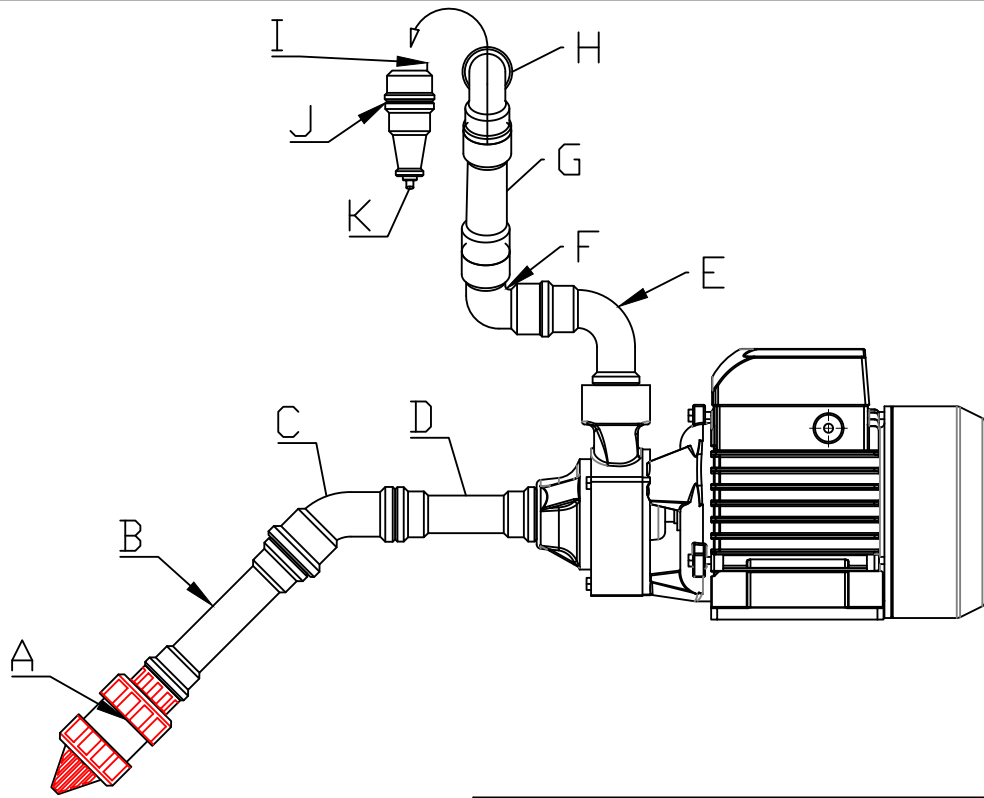
## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

**Módulo de microgeneración  
hidroeléctrica**

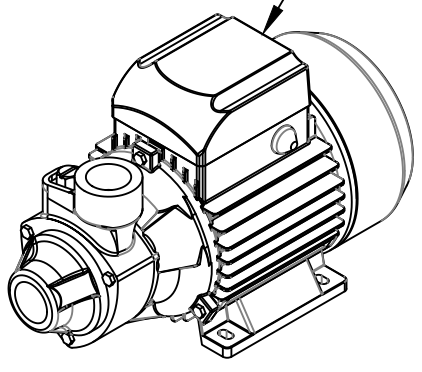
<b>TRATAMIENTO TÉRMICO:</b> N/A	<b>MATERIAL:</b> N/A
<b>ESCALA:</b> 1:20	<b>FORMATO:</b> A3

**DISEÑADO POR:**  
Joan Alessandro Murillo Zambrano

<b>FECHA:</b> 31 - 01 - 2022	<b>LÁMINA:</b> 3
------------------------------	------------------



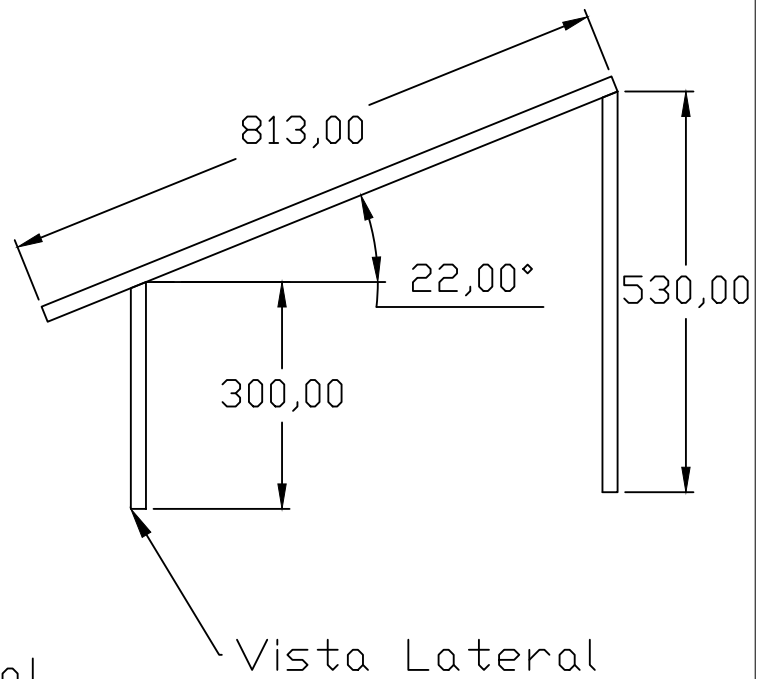
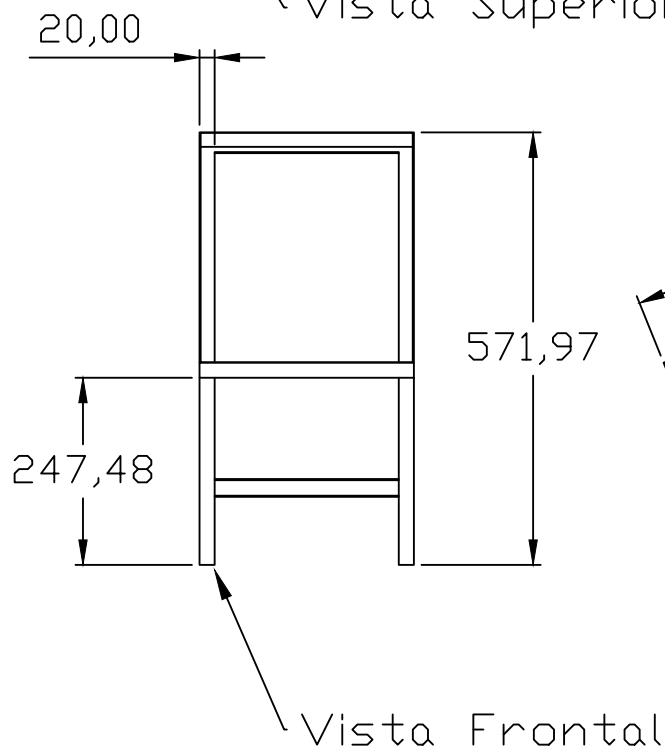
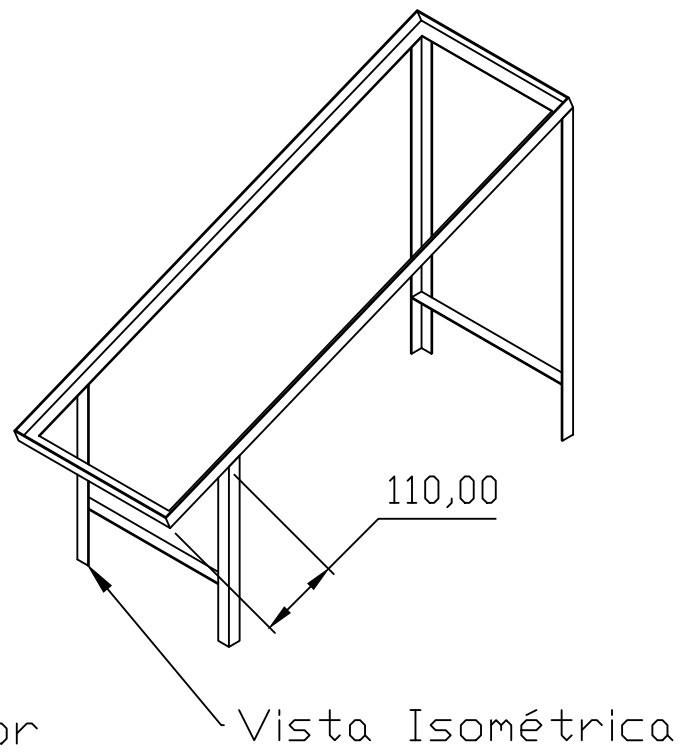
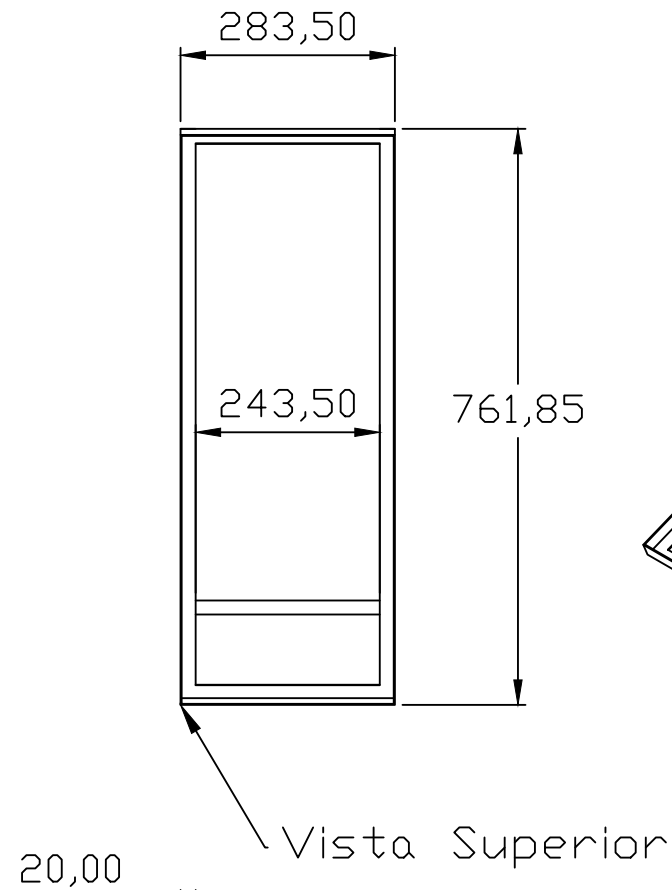
Bomba Periférica  
0.5 (HP)



Descripción	
A	Válvula de pie 1"
B	Neplo 10 (cm) 1"
C	Codo 45° 1"
D	Neplo 10 (cm) 1"
E	Codo 90° 1"
F	Codo 90° 1"
G	Neplo 15 (cm) 1"
H	Codo 90° 1"
I	Reducción 1" a 1/2 "
J	Reducción 1/2 " a 1/4 "
K	Boquilla 1/4"

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT**

<b>CIRCUITO HIDRÁULICO</b>	TRATAMIENTO TÉRMICO: NINGUNO	MATERIAL: N/A
	ESCALA: 1 : 5	FORMATO: A4
DISEÑADO POR: Joan Alessandro Murillo Zambrano.	FECHA: 31 - 01 - 2022	LÁMINA: 4



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT**

**SOPORTE METÁLICO -  
BASE DEL MÓDULO**

TRATAMIENTO  
TÉRMICO: NINGUNO

MATERIAL: HIERRO  
NEGRO

ESCALA: 1 : 10

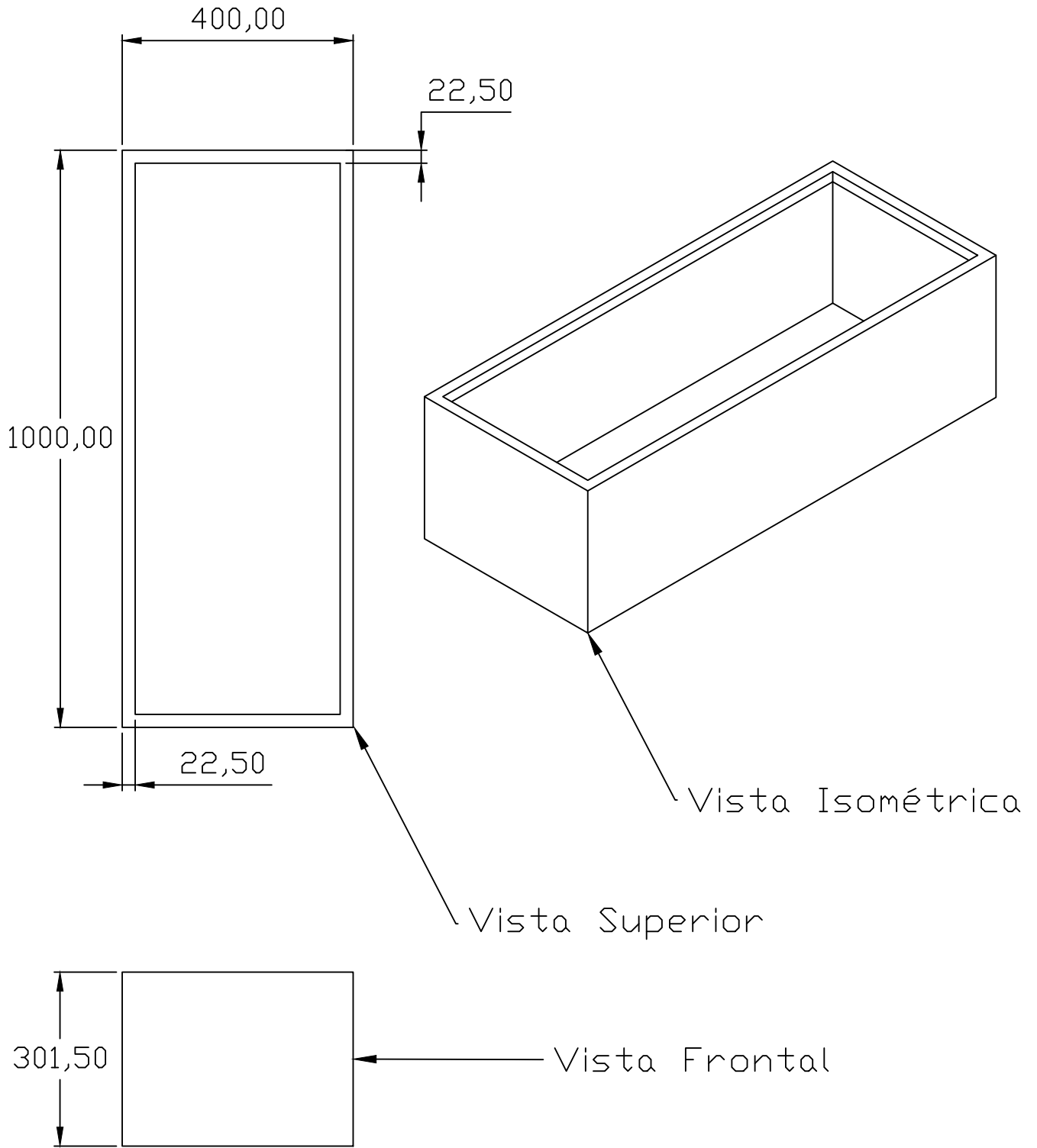
FORMATO: A4

DISEÑADO POR:  
Joan Alessandro Murillo Zambrano.

FECHA: 31 - 01 - 2022

LÁMINA: 5

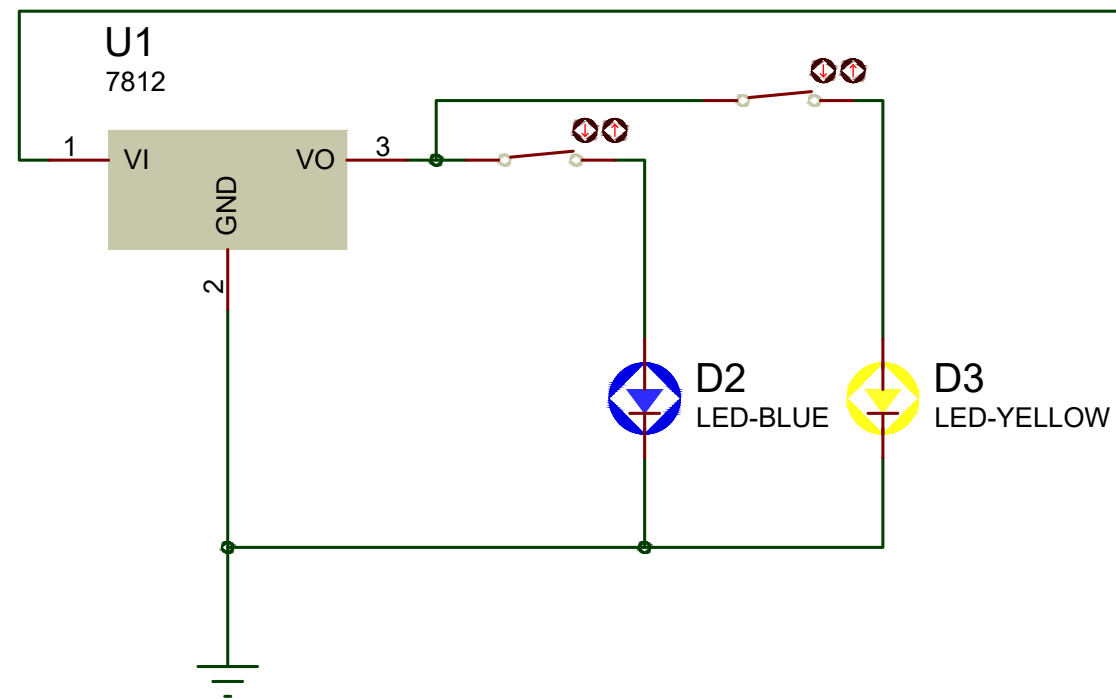
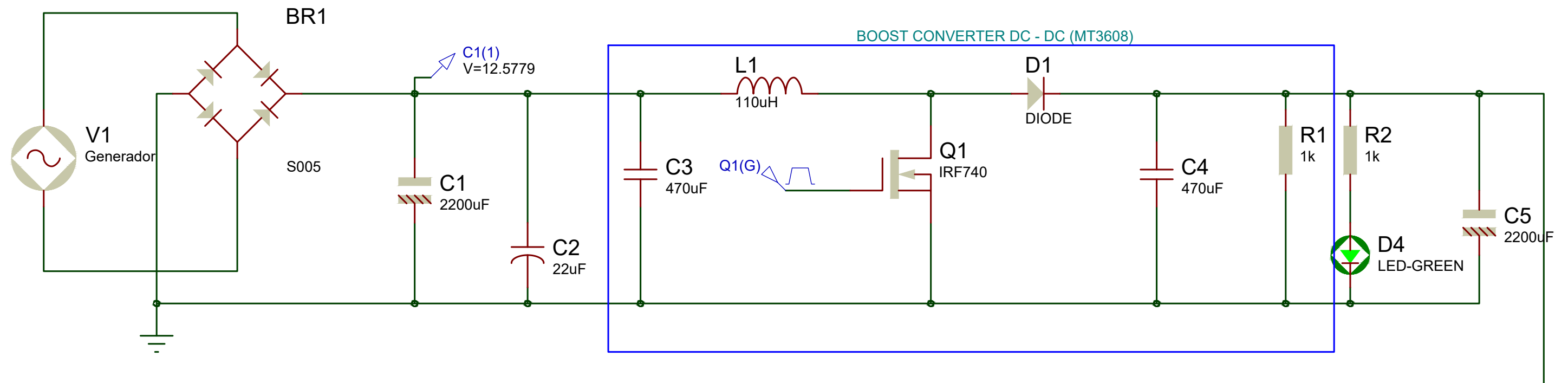




**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT**

<b>TANQUE DE AGUA</b>	TRATAMIENTO TÉRMICO: NINGUNO	MATERIAL: TOL GALVANIZADO
	ESCALA: 1 : 10	FORMATO: A4
DISEÑADO POR: Joan Alessandro Murillo Zambrano.	FECHA: 31 - 01 - 2022	LÁMINA: 6

## **ANEXO IV. PLANO ELECTRÓNICO.**



### ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

**Rectificador AC - DC y Elevador de Voltaje**

TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A

MATERIAL: N/A

ESCALA: N/A

FORMATO: A3

DISEÑADO POR:  
Joan Alessandro Murillo Zambrano

FECHA: 31 - 01 - 2022

LÁMINA: 7

**ANEXO V. HOJA DE ESPECIFICACIONES DE COMPONENTES.**

# Spiral Hydraulic Power Unit "PicoPica"

Manufactured by Sumino Co., Ltd. Japan

November 27, 2020

## Specification

Model		PicoPica 10	PicoPica 100	PicoPica 500		
Generator <sup>(1)</sup>	Rated Power	10W		500W(300rpm)		
	Number of Revolutions	-		100rpm	200rpm	300rpm
	Voltage	6.0V		59.7V	119.7V	178.6V
	Current	0.4A	-	1.00A	2.01A	2.99A
	Power	2.4W		59.7W	240.3W	534.2W
Structural Dimensions <sup>(2)</sup>	Length	Main Body (L1)	1085mm		3100mm (incl. protrusion)	
		with Foundation (L2) <sup>(3)</sup>	-		3000mm (incl. protrusion)	
	Width	Main Body (W1)	280mm		656mm	
		with Foundation (W2) <sup>(3)</sup>	-		764mm	
	Height	Main Body (H1)	385mm		700mm	
		with Foundation (H2) <sup>(3)</sup>	-		2150mm	
	Weight		17.5kg		Main Body 500kg, Foundation 75kg	

(1) Output mode for PicoPica 100 and PicoPica 500 is three-phase alternating current.

(2) The values of Structural Dimensions are subject to change without notice.

(3) Foundation Frames for PicoPica 100 and PicoPica 500 are optional auxiliary attachments (removable).

## Main Components

Model	Pico Pica 10	Pico Pica 100	Pico Pica 500
Spiral Blade	φ 198mm		φ 540mm
Generator	see Specification		see Specification
Rotary Ball Bearings	Inner φ 12mm		Inner φ 40mm
Accelerator	-		Speed increase ratio 4

## Auxiliary Attachments

Model	PicoPica 10	PicoPica 100	PicoPica 500
6V LED Light designed for exclusive use	○		-
Battery <sup>(1)</sup>	-		Optional
Voltage Controller <sup>(1)</sup>	-		Optional
Foundation Frame <sup>(2)</sup>	-		Optional

Optional auxiliary attachments are available at cost by order.

(1) Battery and Voltage Controller should be paired and synchronized to the voltage specified by the buyer.

(2) Foundation Frame is designed to provide a 30-degree elevation to the inflow end of the main body when installed on a flat and horizontal (without inclination) channel bed (see Elevation Angle in Effective Channel Conditions below).

## Effective Channel Conditions (for reference only)

Model	PicoPica 10	PicoPica 100	PicoPica 500
Channel Platform Length (horizontal)	300mm		780mm
Rated Water-Flow Volume	10L/sec		100L/sec
Hydraulic Head	100mm		700mm
Elevation Angle	-	Inflow end of the main body to be elevated and placed at an angle of 30 degrees against the water surface at the hydraulic head	

**Caution:** All matters related to electricity must be handled by professional electricians.  
The manufacturer shall be free of liability for any accident or mechanical and/or human damage caused by mishandling.

## Notes:

- PicoPica 10 is an educational model and it is not recommended for practical use. It will be shipped in a dismantled form in a cardboard casing.
- PicoPica 100 and PicoPica 500 can be used for practical purposes. Each model will be shipped in a fully assembled form in fumigated wooden casing. Availability of PicoPica 100 is to be announced.
- The rotary ball bearing is subject to wear. However, it can be removed and replaced without difficulty by screwing it off and on. Replacement bearings are available upon order at cost.

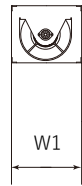
# Spiral Hydraulic Power Unit "PicoPica10"

Manufactured by Sumino Co., Ltd. Japan

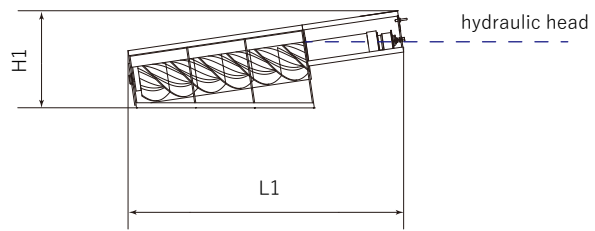
November 27, 2020

## Main Body

out flow



side view



Children discussing how to assemble the parts.



PicoPica 10 is structured with an appropriate elevation and a block plate to the inflow end and can be placed as it is on a flat and horizontal channel bed. The 6V LED light is a specially made auxiliary. It lights up when the generator is functioning normally. It can be used to light up the walkway or for security.



PicoPica 10 is shipped in a dismantled form in a cardboard casing. Children will have fun assembling the parts.



### High Efficiency 1.2MHz 2A Step Up Converter

## FEATURES

- Integrated 80mΩ Power MOSFET
- 2V to 24V Input Voltage
- 1.2MHz Fixed Switching Frequency
- Internal 4A Switch Current Limit
- Adjustable Output Voltage
- Internal Compensation
- Up to 28V Output Voltage
- Automatic Pulse Frequency Modulation Mode at Light Loads
- up to 97% Efficiency
- Available in a 6-Pin SOT23-6 Package

## APPLICATIONS

- Battery-Powered Equipment
- Set-Top Boxed
- LCD Bias Supply
- DSL and Cable Modems and Routers
- Networking cards powered from PCI or PCI express slots

## GENERAL DESCRIPTION

The MT3608 is a constant frequency, 6-pin SOT23 current mode step-up converter intended for small, low power applications. The MT3608 switches at 1.2MHz and allows the use of tiny, low cost capacitors and inductors 2mm or less in height. Internal soft-start results in small inrush current and extends battery life.

The MT3608 features automatic shifting to pulse frequency modulation mode at light loads. The MT3608 includes under-voltage lockout, current limiting, and thermal overload protection to prevent damage in the event of an output overload. The MT3608 is available in a small 6-pin SOT-23 package.

## TYPICAL APPLICATION

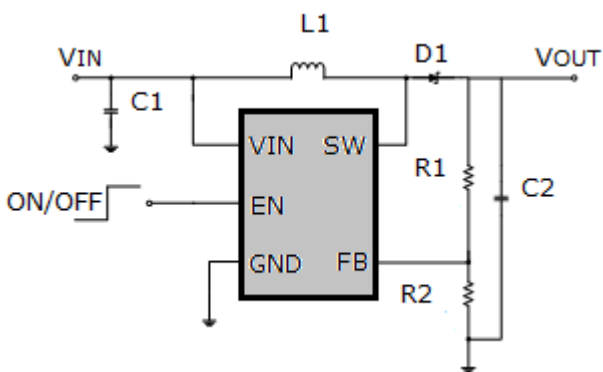


Figure 1. Basic Application Circuit

### Efficiency

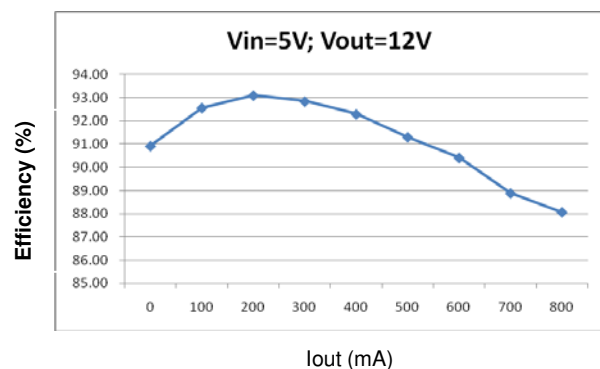
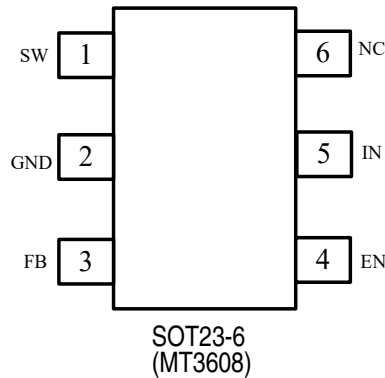


Figure 2. Efficiency Curve

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

IN, EN voltages .....	-0.3V to 26V	SW Voltage .....	-0.3V to 30V
Operating Temperature.....	-40°C to +85°C	Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
FB Voltages .....	-0.3V to 6V	Peak SW Sink and Source Current .....	4A
Junction Temperature .....	160°C	Lead Temperature (Soldering, 10s) ...	+300°C

## PACKAGE/ORDER INFORMATION



## PIN DESCRIPTION

PIN	NAME	FUNCTION
1	SW	Power Switch Output. SW is the drain of the internal MOSFET switch. Connect the power inductor and output rectifier to SW. SW can swing between GND and 28V.
2	GND	Ground Pin
3	FB	Feedback Input. The FB voltage is 0.6V. Connect a resistor divider to FB.
4	EN	Regulator On/Off Control Input. A high input at EN turns on the converter, and a low input turns it off. When not used, connect EN to the input supply for automatic startup.
5	IN	Input Supply Pin. Must be locally bypassed.
6	NC	NC



## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

( $V_{IN}=V_{EN}=5V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ , unless otherwise noted.)

Parameter	Conditions	MIN	TYP	MAX	unit
Operating Input Voltage		2		24	V
Under Voltage Lockout				1.98	V
Under Voltage Lockout Hysteresis			100		mV
Current (Shutdown)	$V_{EN}= 0V$		0.1	1	$\mu A$
Quiescent Current (PFM)	$V_{FB}=0.7V$ , No switch		100	200	$\mu A$
Quiescent Current (PWM)	$V_{FB}=0.5V$ , switch		1.6	2.2	mA
Switching Frequency			1.2		MHz
Maximum Duty Cycle	$V_{FB} = 0V$	90			%
EN Input High Voltage		1.5			V
EN Input Low Voltage				0.4	V
FB Voltage		0.588	0.6	0.612	V
FB Input Bias Current	$V_{FB} = 0.6V$	-50	-10		nA
SW On Resistance (1)			80	150	m $\Omega$
SW Current Limit (1)	$V_{IN}= 5V$ , Duty cycle=50%		4		A
SW Leakage	$V_{SW} = 20V$			1	$\mu A$
Thermal Shutdown			155		$^\circ C$

**Note:**

1) Guaranteed by design, not tested.

## OPERATION

The MT3608 uses a fixed frequency, peak current mode boost regulator architecture to regulate voltage at the feedback pin. The operation of the MT3608 can be understood by referring to the block diagram of Figure 3. At the start of each oscillator cycle the MOSFET is turned on through the control circuitry. To prevent sub-harmonic oscillations at duty cycles greater than 50 percent, a stabilizing ramp is added to the output of the current sense amplifier and the result is fed into the negative input of the PWM comparator. When this voltage equals

The output voltage of the error amplifier the power MOSFET is turned off. The voltage at the output of the error amplifier is an amplified version of the difference between the 0.6V bandgap reference voltage and the feedback voltage. In this way the peak current level keeps the output in regulation. If the feedback voltage starts to drop, the output of the error amplifier increases. These results in more current to flow through the power MOSFET, thus increasing the power delivered to the output. The MT3608 has internal soft start to limit the amount of input current at startup and to also limit the amount of overshoot on the output.

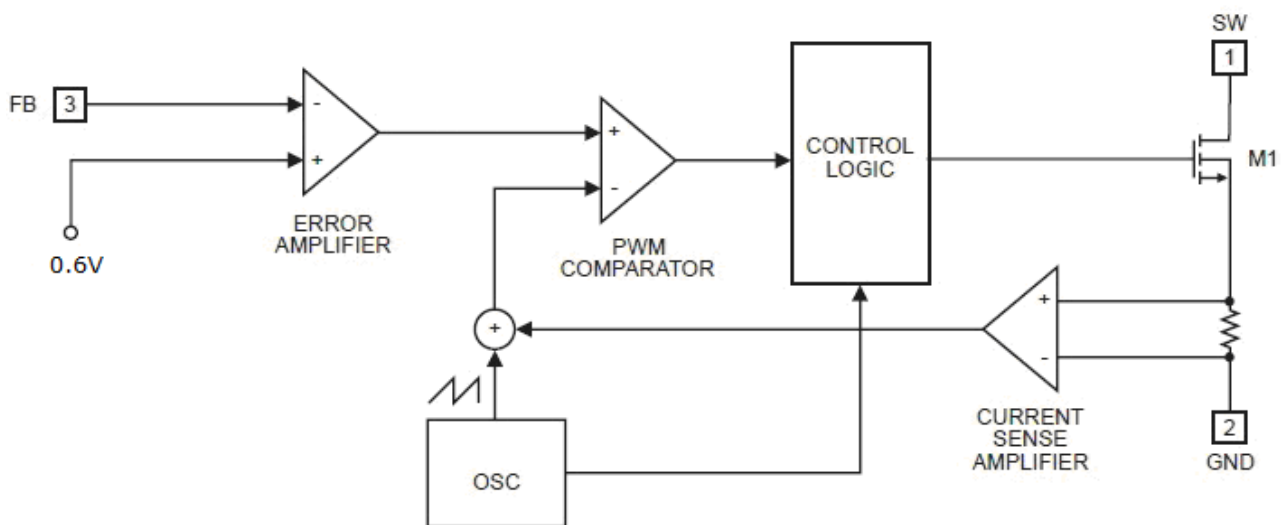
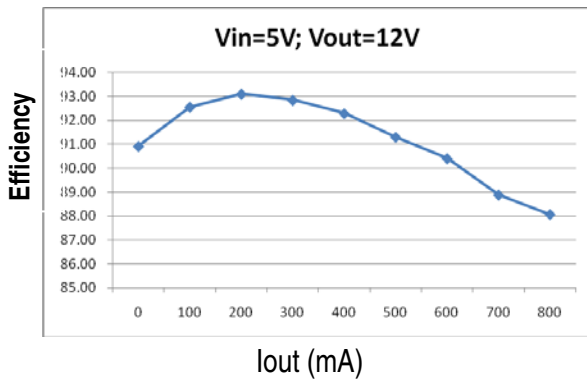


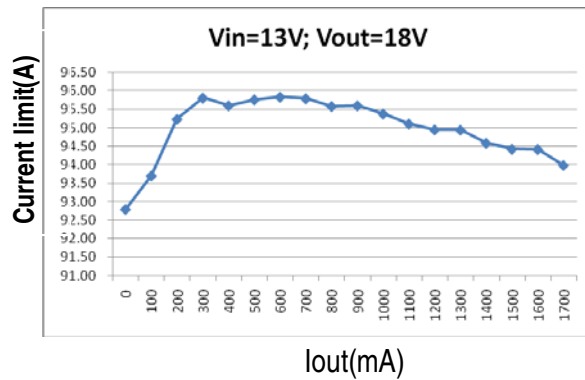
Figure 3. Functional Block Diagram

# TYPICAL OPERATING CHARACTERISTICS

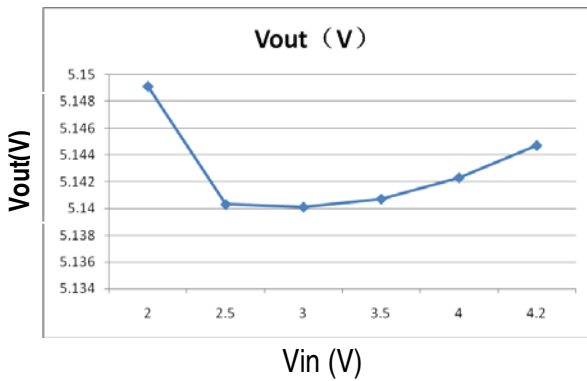
Efficiency Curve



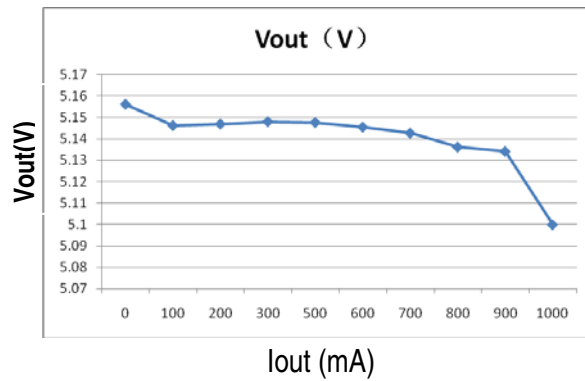
Efficiency Curve



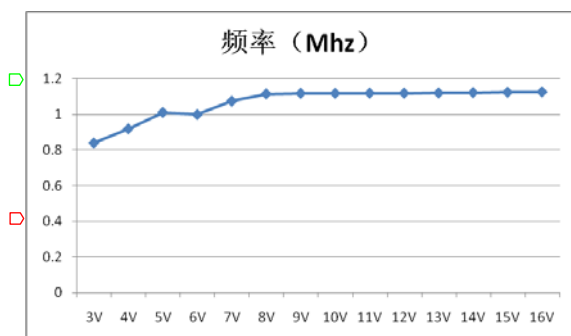
line Regulation



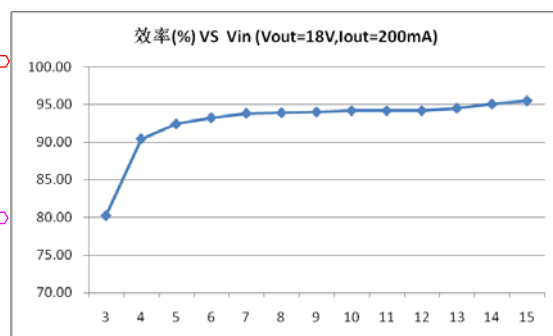
Load regulation



Freq VS Vin



Efficiency VS Vin



## APPLICATION INFORMATION

### Setting the Output Voltage

The internal reference  $V_{REF}$  is 0.6V (Typical). The output voltage is divided by a resistor divider,  $R_1$  and  $R_2$  to the FB pin. The output voltage is given by

$$V_{OUT} = V_{REF} \times \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

### Inductor Selection

The recommended values of inductor are 4.7 to 22 $\mu$ H. Small size and better efficiency are the major concerns for portable device, such as MT3608 used for mobile phone. The inductor should have low core loss at 1.2MHz and low DCR for better efficiency. To avoid inductor saturation current rating should be considered.

### Capacitor Selection

Input and output ceramic capacitors of 22 $\mu$ F are recommended for MT3608 applications. For better voltage filtering, ceramic capacitors with low ESR are recommended. X5R and X7R types are suitable because of their wider voltage and temperature ranges.

### Diode Selection

Schottky diode is a good choice for MT3608 because of its low forward voltage drop and fast reverse recovery. Using Schottky diode can get better efficiency. The high speed rectification is also a good characteristic of Schottky diode for high switching frequency. Current rating of the diode must meet the root mean square of the peak current and output average current multiplication as following :

$$I_D (RMS) \approx \sqrt{I_{OUT} \times I_{PEAK}}$$

The diode's reverse breakdown voltage should be larger than the output voltage.

### Layout Consideration

For best performance of the MT3608, the following guidelines must be strictly followed.

- Input and Output capacitors should be placed close to the IC and connected to ground plane to reduce noise coupling.
- The GND should be connected to a strong ground plane for heat sinking and noise protection.
- Keep the main current traces as possible as short and wide.
- SW node of DC-DC converter is with high frequency voltage swing. It should be kept at a small area.
- Place the feedback components as close as possible to the IC and keep away from the noisy devices.

**PACKAGE DESCRIPTION**

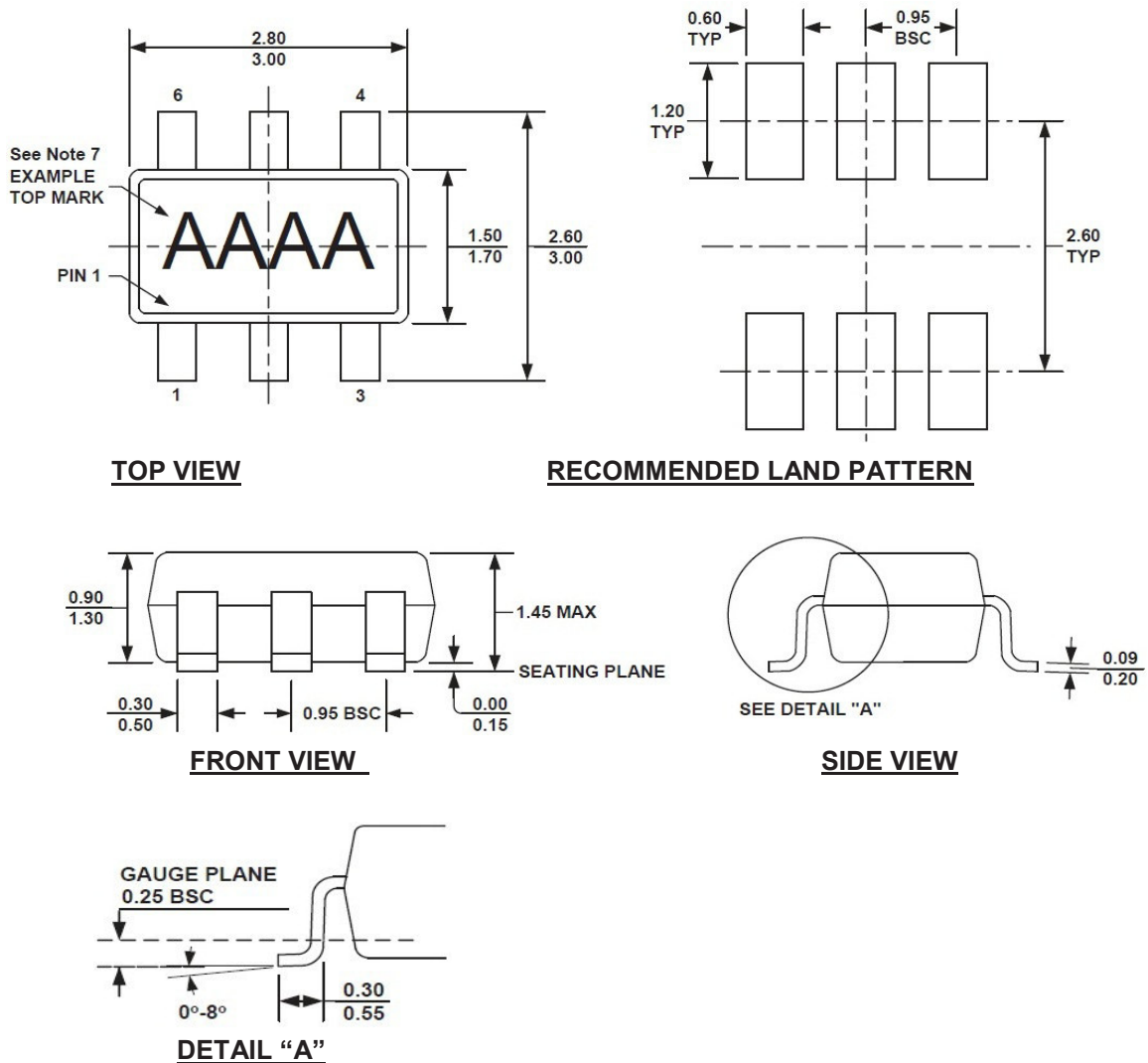


Figure 4. TSOT23-6/SOT23-6 Physical Dimensions

**NOTE:**

- 1) ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
- 2) PACKAGE LENGTH DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH, PROTRUSION OR GATE BURR.
- 3) PACKAGE WIDTH DOES NOT INCLUDE INTERLEAD FLASH OR PROTRUSION.
- 4) LEAD COPLANARITY (BOTTOM OF LEADS AFTER FORMING) SHALL BE 0.10 MILLIMETERS MAX.
- 5) DRAWING CONFORMS TO JEDEC MO-193, VARIATION AB.
- 6) DRAWING IS NOT TO SCALE.
- 7) PIN 1 IS LOWER LEFT PIN WHEN READING TOP MARK FROM LEFT TO RIGHT, (SEE EXAMPLE TOP MARK)