

PROYECTO FINAL

ETAPA 3

ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA

PROFESOR: MAIDANA, FERNANDO

AYUDANTE: BASUALDO, JULIO

ALUMNOS: FRACCAROLLI, VICTOR

PEREYRA, FACUNDO

QUISPE, RODRIGO

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		

CONTENIDO

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	2
2. PARÁMETROS DE DISEÑO	3
2.1 UBICACIÓN DE LA TURBINA	3
2.2 DISPOSICIÓN DEL SISTEMA ROTANTE	4
2.2.1 TURBINAS DE FLUJO AXIAL	5
2.2.2 TURBINAS DE FLUJO TRANSVERSAL	5
2.2.3 ORIENTACIÓN DEL EJE (HORIZONTAL O VERTICAL)	5
2.2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS EJE HORIZONTAL Y VERTICAL	6
2.2.5 VENTAJAS DE LAS TURBINAS DE EJE VERTICAL	6
2.2.6 DESVENTAJAS DE LAS TURBINAS EJE VERTICAL	7
2.2.7 TURBINAS DE FLUJO AXIAL	7
3. TIPO DE TURBINA	8
3.1 VENTAJAS EN RELACIÓN A EFICIENCIA Y RENDIMIENTO	8
3.2 FLEXIBILIDAD DE APLICACIÓN	8
4. SELECCIÓN DE LA TURBINA	11
5. DISEÑO DE LA TURBINA GORLOV	12
5.1 DISEÑO DEL ROTOR	12
5.2 DISEÑO DE LAS PALAS	13
5.3 GEOMETRÍA DE PERFILES	13
5.4 SOLIDEZ	17
5.5 LONGITUD DE CUERDA	19
5.6 TIP SPEED RATIO (TSR)	19
5.7 NÚMERO DE REYNOLDS	20
5.8 ÁNGULO DE HÉLICE	20
5.9 ÁNGULO DE ATAQUE	22
6. MODELADO DE LA TURBINA	22
7. DATASHEET RESUMEN - TURBINA	23
8. VELOCIDAD DE FLUJO	24
8.1 TUBO VENTURI	24
8.1.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA TOBERA	26
8.1.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA OBTENIDA CON LA TOBERA	28
8.2 DIFUSOR	29
9. DISEÑO DE EJE	31
10. ANCLAJES	33
10.1 AMARRES	34

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		

10.2 PILOTES.....	38
11. ACCESIBILIDAD	38
12. SISTEMAS DE ELEVACIÓN.....	39
13. FLOTADORES	41
14. BASTIDOR	42
15. MALLA BASTIDOR	43
15.1 CÁLCULOS DE BASTIDOR – SOLICITACIONES.....	44
16. RESUMEN DE PESOS.....	55
17. ANEXOS	56
18. BIBLIOGRAFIA	57

1. INTRODUCCIÓN

Las turbinas de corriente de agua, o turbinas hidrocinéticas, producen electricidad directamente a partir del agua que fluye en un río o un arroyo. No se necesita presa ni salto artificial para producir la potencia de salida a pequeña escala. Dos áreas principales donde los dispositivos hidrocinéticos se pueden utilizar con fines de generación de energía son las corrientes de marea y los ríos.

Este tipo de energía hidroeléctrica se considera amigable con el medio ambiente, lo que significa que el agua que pasa por el generador se dirige de regreso a la corriente con un impacto relativamente pequeño en la ecología circundante.

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

Un sistema de turbinas de río completo puede constar de unidades como canal de aumento, ensamblaje de palas de rotor, generador eléctrico flotante, dispositivo de amarre, sistema de control, pantalla de protección, etc.

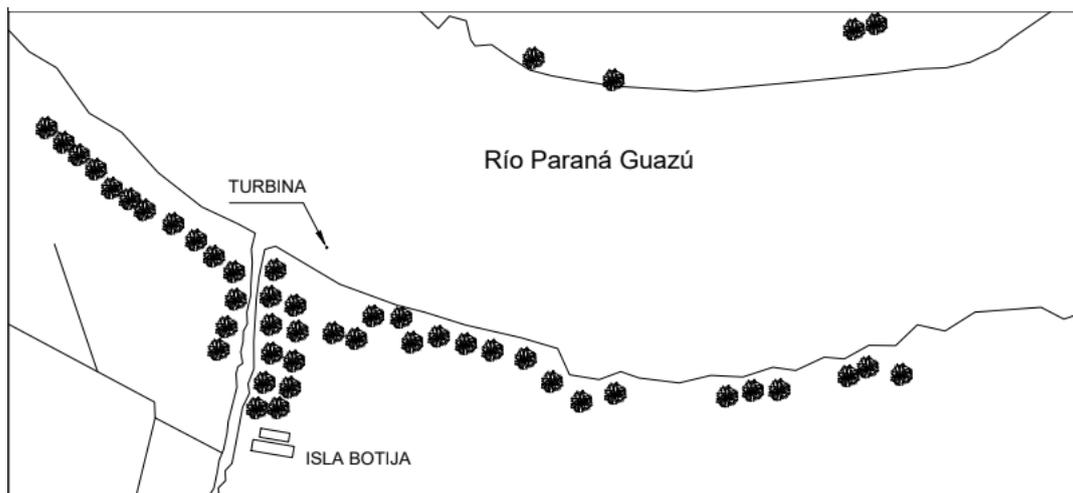
2. PARÁMETROS DE DISEÑO

En esta sección se van a mencionar todas las características tanto del lugar de emplazamiento como de la turbina, logrando dar un pantallazo amplio en todos los aspectos que nos llevaron a seleccionar la turbina.

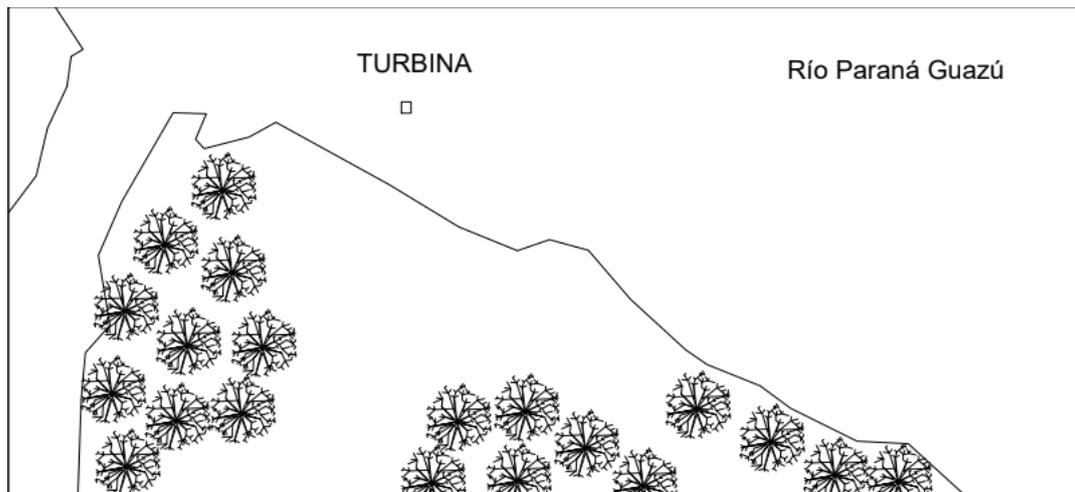
2.1 UBICACIÓN DE LA TURBINA

Para el estudio de la ubicación y emplazamiento, se hicieron relevamientos en las zonas aledañas a la Escuela secundaria N°5 “La botija” de la ciudad de Zárate, por donde pasa un brazo del Río Paraná Guazú

Analizando el público objetivo al cual estará destinado el proyecto se puede decir que el uso de la energía no estará destinado al suministro de grandes maquinarias, sino que será un uso más bien doméstico.



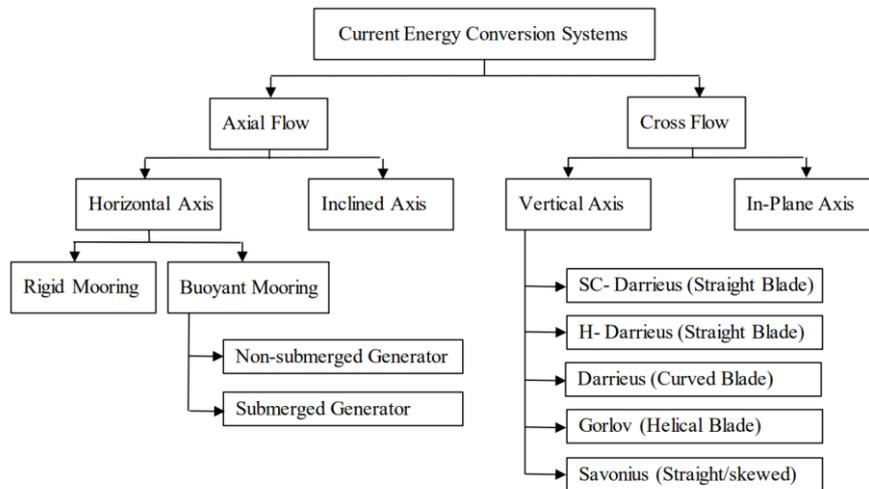
Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		



El espacio físico disponible para la ubicación y dimensiones de la Turbina es amplio, pero se tienen que tomar recaudos para no ejercer una obstrucción a la libre navegación (Ley 20.094 “Ley de Navegación” Ver Anexo 17.1)

2.2 DISPOSICIÓN DEL SISTEMA ROTANTE

Para la elección de la configuración del rotor de la turbina se requiere considerar una gran variedad de factores técnicos y económicos. El primer factor a considerar es el posicionamiento del eje del rotor con respecto al flujo de agua, donde pueden ser turbinas de flujo axial o flujo cruzado. El segundo factor a tener en cuenta es la posición del eje de rotación, donde según el tipo de flujo pueden ser axial, horizontal o vertical. Por último, en función de la selección de los parámetros antes mencionados, se encuentran distintos modelos de turbinas, los cuales se pueden ver en detalle en el cuadro expuesto a continuación. (Ver anexo 17.2)



2.2.1 TURBINAS DE FLUJO AXIAL

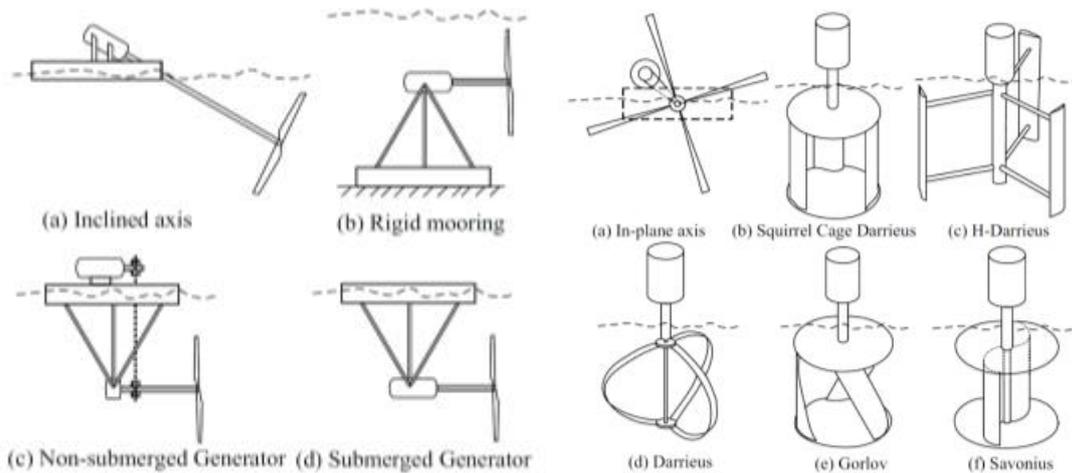
Las turbinas axiales tienen ejes paralelos a la dirección de movimiento del fluido y emplean rotores de tipo hélice, ya que suelen presentar una solidez alta.

2.2.2 TURBINAS DE FLUJO TRANSVERSAL

Por otro lado, las turbinas del tipo de flujo cruzado tienen el eje de rotación ubicado de manera ortogonal a la dirección de movimiento del fluido.

2.2.3 ORIENTACIÓN DEL EJE (HORIZONTAL O VERTICAL)

Las turbinas de eje horizontal son comunes en los convertidores de energía mareomotriz y son muy similares a las turbinas eólicas desde el punto de vista estructural y de diseño. Las turbinas con estructura de amarre sólido requieren que la unidad generadora se coloque cerca del río o fondo marino. Los rotores de eje horizontal con un mecanismo de amarre flotante pueden permitir un generador no sumergido para ser colocado más cerca de la superficie del agua.



2.2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS EJE HORIZONTAL Y VERTICAL

Luego de una primera clasificación según la disposición del rotor, las turbinas se pueden diferenciar por sus características. Es oportuno en una fase de diseño y desarrollo ahondar en las ventajas y desventajas de modelos a fin de obtener las mejores prestaciones según las condiciones de servicio, a continuación, se muestra un cuadro comparativo:

Table 1. Current energy conversion turbine characteristics comparison [16]

General characteristics	Horizontal axis turbine	Vertical axis turbine
Minimum operating current velocity	0.5 m/s	1 m/s - need higher velocity to self-start
Operating tip speed ratio (TSR)	Faster (TSR up to 4.5)	Slower (TSR below 3)
Coefficient of power C_p	46%	35%
Water to wire efficiency	25% (calculated) due to less efficient transmission and generator	26% (claimed) due to efficient transmission and generator
Debris resistant	Poor	Good
Torque ripple	Smoother	Pulsating
Rotor simplicity	Fairly complex	Simple
Material quantity and cost	Less	More
Weight	Less	More
Pontoon	Smaller due compactness	Larger
Mechanical power transmission	Complex	Simple

2.2.5 VENTAJAS DE LAS TURBINAS DE EJE VERTICAL

Simplicidad de diseño: como tecnología emergente, simplicidad de diseño y costo son factores importantes que pueden determinar el éxito de las turbinas. A diferencia de las turbinas de eje horizontal donde el diseño de las palas implica un

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

mecanizado y una fabricación delicados, el uso de aspas rectas hace el diseño potencialmente más simple y menos costoso

Acoplamiento de generador: Para aplicaciones hidrocinéticas, acoplar el generador con el rotor de la turbina implica un desafío. En las turbinas de eje horizontal, esto podría lograrse mediante un acoplamiento de engranajes en ángulo recto, un eje inclinado largo o colocación bajo el agua del generador. En turbinas de eje vertical, el generador se puede colocar en un extremo del eje, lo que permite colocar el generador por encima la superficie del agua Esto reduce la necesidad y el costo subsiguiente de organizar máquinas eléctricas selladas con agua;

Emisión de ruido: Las turbinas verticales generalmente emiten menos ruido que las horizontales. Conceptos de turbinas zonales debido a la reducción de las pérdidas en las puntas de los álabes, esto puede resultar beneficioso para preservar el hábitat de vida acuática;

Flujo sesgado: el perfil vertical de la variación de la velocidad del agua en un canal puede tener un impacto significativo en el funcionamiento de la turbina. En un canal poco profundo, la parte superior de una turbina se enfrenta a una velocidad más alta que la sección inferior. Vertical, las turbinas, especialmente las que tienen palas helicoidales/inclinadas, son supuestamente más adecuado para operar bajo tales condiciones.

2.2.6 DESVENTAJAS DE LAS TURBINAS EJE VERTICAL

Bajo par de arranque: Dependiendo de su diseño, estas turbinas generalmente poseen un bajo rendimiento inicial. Esto puede requerir arreglos especiales para mecanismos de arranque eléctricos, mecánicos o electromecánicos externos

Ondulación de par: Las palas de una unidad de turbina vertical están sujetas a cambios cíclicos. Tirones tangenciales y generar una ondulación de par significativa en la salida

Menor eficiencia: La carga de cavitación y fatiga debido a la hidrodinámica inestable son otros problemas relacionados con las turbinas verticales

2.2.7 TURBINAS DE FLUJO AXIAL

Las turbinas de flujo axial, por otro lado, eliminan muchos de estos inconvenientes.

Rendimiento: Una de las principales ventajas de las turbinas de tipo axial es que todas las aspas están diseñadas para tener suficiente conicidad y torsión de modo

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

que las fuerzas de sustentación se aplican uniformemente a lo largo de la hoja. Por lo tanto, estas turbinas son de arranque automático. Además, su rendimiento óptimo se logra a velocidades de rotor más altas y esto simplifica el problema de adaptación del generador, lo que permite reducir el acoplamiento.

Control: Varios métodos de control (bloqueo o paso regulado) en turbinas del tipo axial han sido estudiadas con gran detalle. El control de pala permite una mayor flexibilidad en la protección contra sobrevelocidad y una operación eficiente.

Bases de conocimiento: La literatura sobre el diseño del sistema y la información sobre el rendimiento de los rotores de tipo axial es abundante. Los avances en ingeniería eólica y hélices marinas han contribuido significativamente a este campo. (Ver anexo 17.2)

3. TIPO DE TURBINA

Para poder realizar la selección de la turbina, debemos tener en cuenta ciertos aspectos como:

3.1 VENTAJAS EN RELACIÓN A EFICIENCIA Y RENDIMIENTO

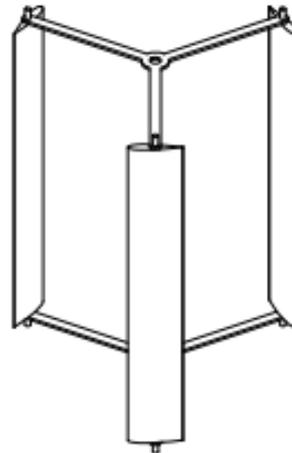
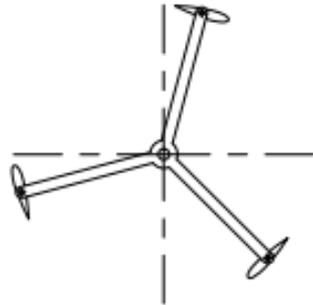
3.2 FLEXIBILIDAD DE APLICACIÓN

Desde el sustento teórico, podemos manejar las siguientes alternativas para poder realizar una preselección:

Alternativa 1:

Turbina tipo Darrieus "H"

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		



Las turbinas tipo H-Darrieus son unas turbinas en las cuales las palas se encuentran rectas y en paralelo con el eje de rotación, sujetas al eje normalmente por dos puntos, uno en la parte superior de los álabes y otro en la parte inferior.

Alternativa 2:

Turbina tipo Darrieus

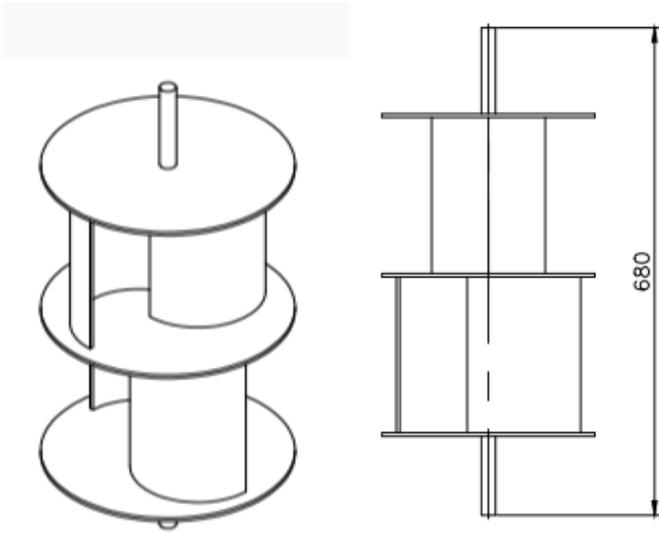


Estas turbinas usan la sustentación o empuje del fluido para funcionar. Tienen la ventaja de no necesitar orientarse, a diferencia de las turbinas de hélice, y no necesitan de un gran soporte, lo que hace que su mantenimiento y costo sean menores.

Alternativa 3:

Turbina tipo Savonius

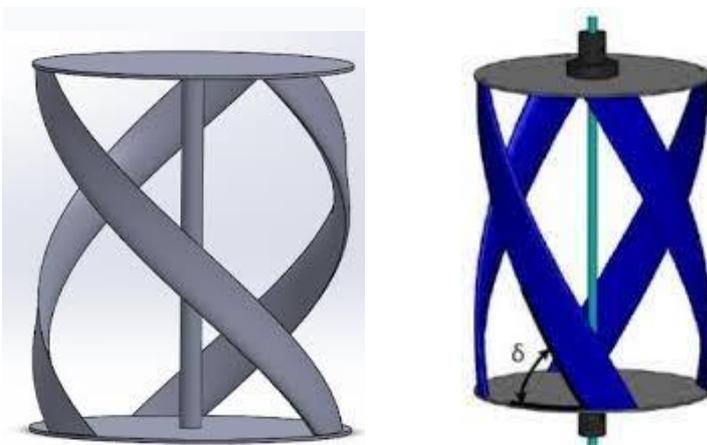
Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		



Estas máquinas consisten de dos aspas semi cilíndricas dispuestas en forma de 'S'. El lado convexo de un medio cilindro y el lado cóncavo del otro se enfrentan al fluido al mismo tiempo. Como el coeficiente de arrastre de la superficie cóncava es mayor que el del lado convexo, en una corriente dada , la fuerza de arrastre experimentada por la mitad cóncava sería mayor que la de la otra mitad. Es esta diferencia en la fuerza de arrastre la que hace girar el rotor para desarrollar potencia mecánica.

Alternativa 4:

Turbina tipo Gorlov helicoidal



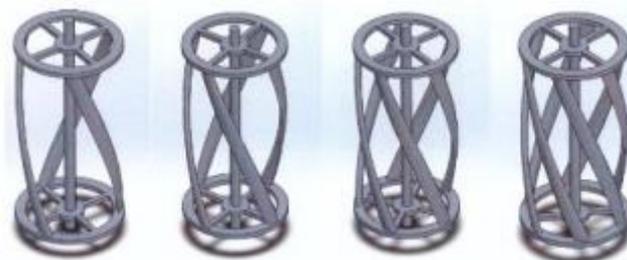
Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

La turbina de Gorlov. Ha evolucionado a partir de la turbina de Darrieus, funciona con un eje perpendicular de dos o tres álabes y puede ser instalada vertical u horizontalmente. Está especialmente diseñada para trabajar con intensidades de corriente bajas, además que su forma permite aprovechar corrientes en cualquier dirección

4. SELECCIÓN DE LA TURBINA

Decidimos que la mejor turbina para nuestro caso de trabajo es la Gorlov. La turbina Gorlov helicoidal ha resuelto los problemas de vibración, problemas de sonido y torque usando las cuchillas retorcidas en espiral. La característica más importante es su distribución de par o torque suave. Además de esto, las turbinas Gorlov tienen la particularidad de poder utilizarlas tanto de eje horizontal (Flujo transversal) como de eje vertical.

Es esta también una característica de peso a la hora de decidir el tipo de turbina.

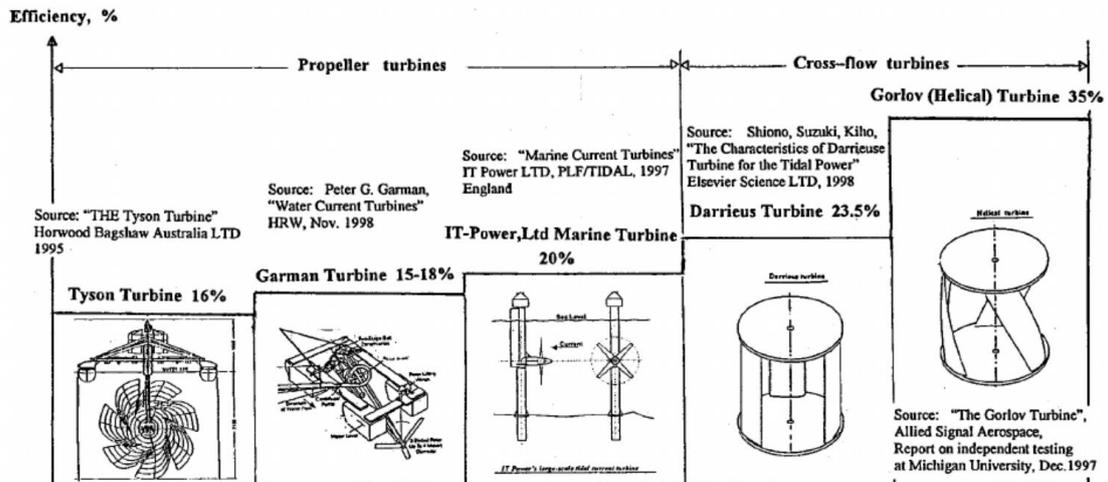


A medida que la forma del álabes helicoidal se desplaza a lo largo de la circunferencia de rotación de la turbina, parte del perfil de la pala está situado en el ángulo de ataque óptimo condiciones de rotación, con esto es muy útil al momento de generar electricidad en casi cualquier lugar con flujos de agua, en canales artificiales, estrechos de marea, mar abierto y ríos, sin la necesidad de represamiento de agua lo que permite un par de arranque más uniforme que depende menos de la posición de la turbina. Además, la forma de hoja helicoidal permite la reducción de la oscilación del par durante la rotación.

Las turbinas de tipo Helicoidal Gorlov se pueden montar horizontal o verticalmente, apiladas en filas, y se las puede colocar a una profundidad de 3 pies, (la mayoría de las turbinas de flujo axial requieren ocho pies o más)

En la figura debajo, se muestra que las turbinas de flujo transversal cuentan con las eficiencias más altas (23.5% y 35% respectivamente). Por lo que la turbina helicoidal de Gorlov fue la seleccionada para este trabajo.

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		



Note: Some specific exploitation problems for Propeller and Darrieus turbines

1. Propeller turbines with fixed blades cannot be used directly in reversible tidal flow as well as at shallow water sites
2. Darrieus turbines develop strong pulsation. They are not self-starting in most cases

Estas turbinas pueden clasificar como ecológicas, debido a su aspecto constructivo, es decir, dimensión, ángulo y distancia entre sus paletas, que permiten el paso de peces, con lo cual no afecta el medio ambiente. Ver anexo 17.3/17.5

5. DISEÑO DE LA TURBINA GORLOV

En esta sección se inicia con el desarrollo y diseño de la turbina del tipo Gorlov seleccionada en el análisis previo.

Para comenzar con el diseño se debe tener en cuenta que este tipo de turbina cuenta con diferentes componentes y consideraciones a tener en cuenta:

5.1 DISEÑO DEL ROTOR

El tamaño y forma del rotor de la máquina son algunos de los elementos fundamentales a la hora de la obtención de energía. Un buen diseño del rotor va a permitir obtener la mayor cantidad posible de energía a partir del fluido sin causar resistencia ni frenarlo.

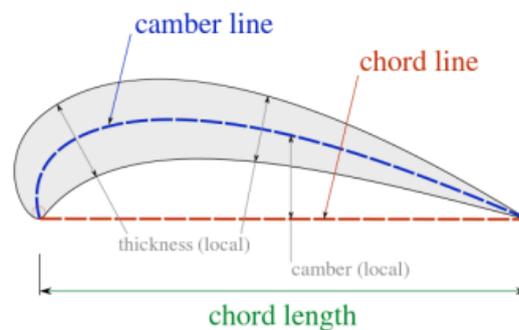
Los materiales que componen el rotor revisten importancia por el motivo que deben resistir a la corrosión y desgaste, así como la presión generada por el fluido.

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		

5.2 DISEÑO DE LAS PALAS

El diseño, cantidad y ángulo de palas tiene un papel fundamental en la turbina para lograr una máxima eficiencia y poder así minimizar la resistencia. Generalmente en este tipo de turbinas se utilizan los álabes de perfil alar

Se conoce como perfil alar a las geometrías utilizadas en aerodinámica e hidrodinámica para generar fuerza de sustentación. Para describir correctamente el perfil del álabe es necesario conocer ciertas dimensiones de este. En la siguiente ilustración se pueden apreciar:



- Chord line: Es la línea recta que une ambos extremos del perfil, su longitud corresponde a chord length.
- Camber line: Es la línea que pasa por la mitad del perfil en todo momento.
- Thickness: Espesor del perfil en cierto punto de la camber line.
- Camber: Distancia entre la chord line y la camber line

5.3 GEOMETRÍA DE PERFILES

La geometría de los perfiles se encuentra normada por la NACA (National Advisory Committee for Aeronautics). La forma del perfil se describe con un número de 4 dígitos, estos corresponden a:

- Primer dígito: máximo camber (ver en la ilustración) en porcentaje del chord length.
- Segundo dígito: indica la posición del máximo camber en décimos del chord length.
- Tercer y cuarto dígitos: máximo espesor (thickness) en porcentaje del chord length.

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

En los perfiles NACA la curvatura está descrita en los dos primeros números, en el caso de tener un perfil simétrico la línea de curvatura y el chord length están superpuestas.

Las turbinas de flujo cruzado funcionan mejor con perfiles simétricos, ya que con estos alcanzamos mayores relaciones de Sustentación/Arrastre.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se realiza una evaluación de los tipos de perfiles NACA que serán de utilidad en el diseño de la turbina.

Se evalúan los perfiles NACA 0020, NACA 0022, NACA 0009-03, NACA 653-018.

Los parámetros se dividen principalmente en dos categorías: Los que se rigen por la geometría de la turbina y los que se rigen por el campo de flujo en el que la turbina está diseñada para colocarse.

En general, los parámetros ambientales son fijos y el diseñador tiene pocas opciones para alterar cualquiera de ellos en un intento de aumentar la eficiencia. Estos parámetros incluyen valores como la velocidad de la corriente libre y la densidad del fluido.

Los parámetros geométricos, en su mayoría se pueden ajustar libremente para mejorar el rendimiento de la turbina. Si bien cada uno de estos parámetros se puede ajustar, muchos de ellos son funciones dependientes entre sí. Por ejemplo, la longitud de cuerda es uno de los parámetros que determinan la solidez de la turbina. Por lo tanto, cuando la longitud de la cuerda es modificada, la solidez también se altera.

Los parámetros de entrada importantes, así como una breve descripción de cada uno, se dan a continuación.

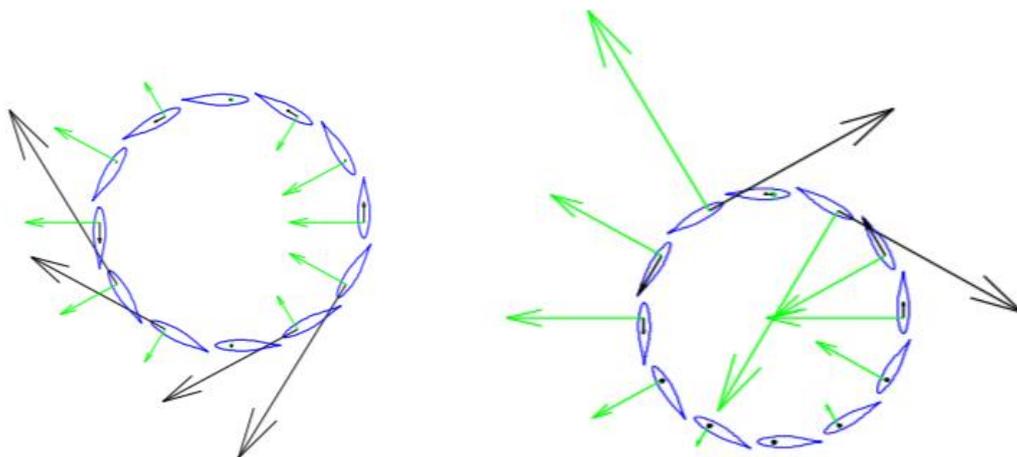
- Velocidad de flujo libre: La magnitud de la velocidad del flujo entrante. Para corrientes de flujo complejas, se puede suponer que este valor es un valor promedio de la velocidad del flujo a través del área frontal de la turbina. (Ver apartado de velocidad de flujo)
- Perfil: el área de la sección transversal bidimensional de la pala que constituye la geometría de cada sección del aspa. Los diferentes perfiles de álabes investigados en este estudio se muestran en la Figura 2.1.
- Longitud de cuerda: Longitud del perfil aerodinámico.
- Solidez: El porcentaje del área frontal de la turbina que es ocupado por las palas de las turbinas.
- Número de Palas: Número de palas que componen la turbina. Generalmente 2, 3 o 6.

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

- Paso de pala: El ángulo entre la cuerda y la línea tangente a la circunferencia de la turbina en el punto del centro de sustentación de la pala.
- Ángulo de barrido: El ángulo alrededor de la circunferencia que barre cada pala.
- Velocidad de torsión: la velocidad a la que la pala gira sobre el eje central de la turbina con respecto a la altura de la turbina.
- Densidad del fluido: la densidad del fluido que fluye alrededor de las palas.
- Altura de la turbina: La longitud del eje central de la turbina.
- Diámetro de la turbina: Diámetro de la circunferencia de la turbina, o la trayectoria que recorre el centro de sustentación.

Para los ensayos que se realizan de forma computacional se toman algunas suposiciones que hacen incorporar una fuente de error en el comportamiento de las mismas, es por ello que se tienen algunas diferencias con el ensayo experimental, para mitigar esa fuente de errores y mejorar el modelado se deben realizar una cantidad significativa de estudios.

Las figuras, muestran los vectores normal y tangencial para dos situaciones de flujo diferentes que dependiendo de la velocidad del flujo entrante, la ubicación de las secciones que producen la mayor parte del par cambia de ubicación alrededor de la circunferencia de la turbina. Al estudiar dónde se genera la mayor fuerza tangencial, se puede entender cómo modificar el diseño para optimizar la producción de energía.



Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		

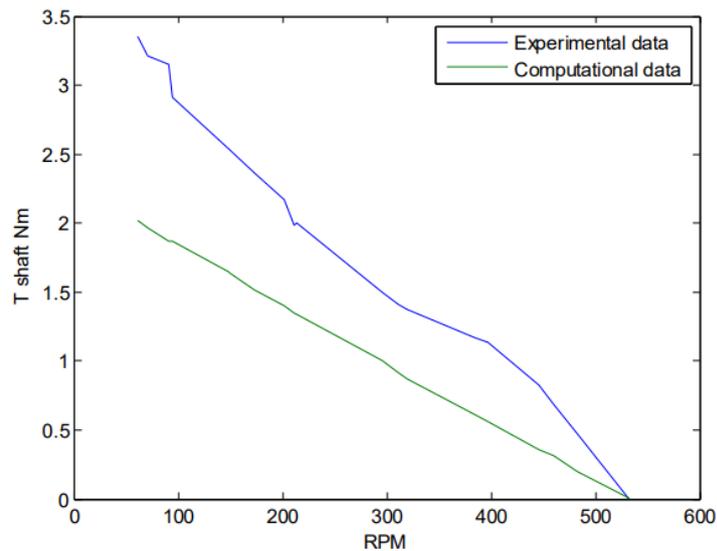
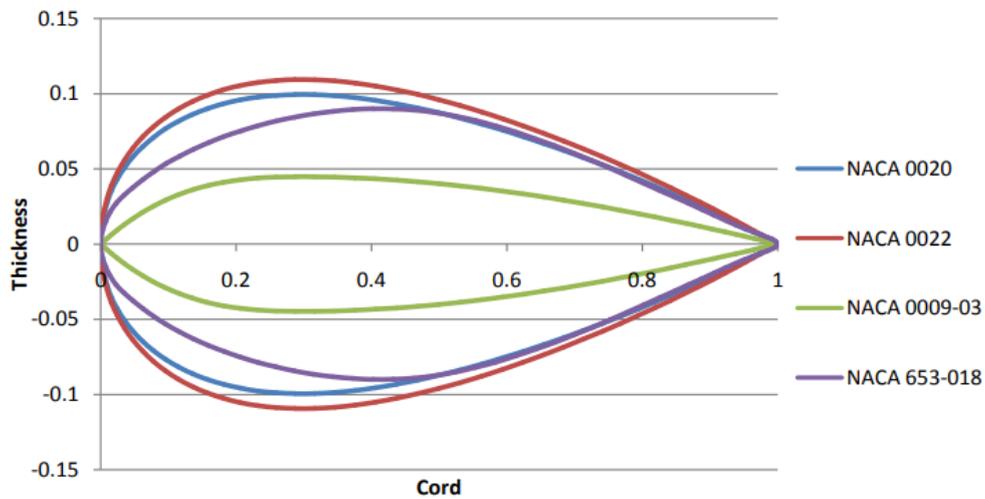


Figure 2.28. Comparison of computational and experimental torque speed data for NACA0022

Se analizaron, fabricaron y probaron experimentalmente siete configuraciones diferentes de turbinas. El primer estudio utilizó un perfil aerodinámico NACA 653-018, NACA 0020 y NACA 0022 para investigar cómo los diferentes perfiles influyen en la eficiencia de la turbina. Cabe señalar que se eligió el perfil aerodinámico NACA 0020 como perfil de referencia, ya que la mayoría de las investigaciones sobre turbinas helicoidales hasta la fecha se han realizado con este perfil. A continuación, manteniendo constante el perfil aerodinámico (NACA 0022), el número de álabes

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

por La turbina fue variado. Se probaron dos, tres y seis palas por sistema. La variable final incluía variar la solidez de la turbina mientras se mantenía constante el perfil aerodinámico (NACA 0022) y el número de palas (3).

En consecuencia, esto significa que aunque la configuración de solidez del 55 % produjo un valor de torque más bajo en comparación con la turbina del 48 %, en realidad estaba girando mucho más rápido, por lo tanto, de la Ecuación 3.36, se produjo más potencia. Ver anexo 17.4

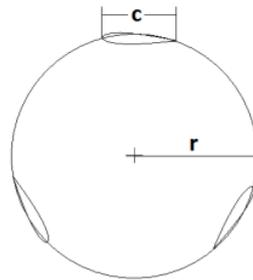


Figure 3.11. Model 3 bladed, NACA 0022 profile, 55% solidity turbine

5.4 SOLIDEZ

El término solidez, que se representa como σ , es un número adimensional que representa la fracción del perímetro de la circunferencia de la turbina que está cubierta por álabes. En la siguiente ilustración se aprecia bien c y el perímetro de la circunferencia.

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		



La expresión que describe la solidez es:

$$\sigma = \frac{c B}{2\pi r}$$

Donde:

c : Chord length o largo de cuerda

B : Número de álabes

r : Radio de la turbina

Otra expresión utilizada también para calcular el factor de solidez para turbina Gorlov de 3 álabes

$$\sigma = \frac{3}{\pi} (d - \sqrt{3} + \sin d + \sqrt{3} \cos d)$$

Donde:

d : es la mitad del ángulo de ataque.

Este parámetro tiene gran influencia en el funcionamiento de una turbina, porque representa el bloqueo o intercepción del flujo que realiza la turbina. A mayor solidez la superficie de interacción fluido-álabe, generando de esta forma menor velocidad pero mayor torque además de un mejor rendimiento de auto arranque. Si se busca una turbina que funcione a bajas RPM es recomendable aumentar la solidez. Sin embargo, existe un límite superior en la solidez de la turbina, ya que en algún momento el fluido tenderá a “evitar” pasar por los álabes y va a fluir por alrededor de la turbina, en lugar de interactuar con ella.

Algunas investigaciones informan que la solidez tiene un mayor efecto en el rendimiento de la turbina que el ángulo de ataque.

Segun el informe experimental “Output Characteristics of Darrieus Water Turbine with Helical Blades for Tidal Current Generations”(ver Anexo) la mejor solidez para turbinas helicoidales es 0,4, donde se observan las eficiencias más altas comparadas

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

a otros factores de solidez. Este valor evita que el álabe sea frágil y presente problemas de fatiga prematuramente.

5.5 LONGITUD DE CUERDA

Seleccionando el perfil, el siguiente paso es la determinación de la cuerda del perfil, que es la longitud máxima que se tiene en la sección transversal del perfil aerodinámico y se calcula mediante la ecuación. Bajo este precepto para fines de esta tesis el valor de la cuerda se la obtendrá a través de fijar un valor de 0.4 para la solidez

$$C = \frac{\sigma \cdot \pi \cdot d}{n}$$

5.6 TIP SPEED RATIO (TSR)

El valor de Tip Speed Ratio es un valor adimensional denominado también con la letra λ , es la relación entre la velocidad tangencial de la turbina (extremo más alejado del eje) y la velocidad del fluido.

$$TSR = \frac{\omega \cdot r}{V_{\infty}}$$

Donde:

ω = Vel. angular

V_{∞} = Vel. fluido

r = radio de la turbina

Como este valor depende de ambas velocidades, tanto del fluido como de la turbina es necesario encontrar el punto óptimo de funcionamiento donde la extracción de energía es máxima, este valor es el TSR óptimo. El valor de TSR óptimo va a ser el punto donde se logra una mayor eficiencia en la extracción de energía, el cual es función tanto de la turbina, como del flujo y del generador. Ver anexo 17.4

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

5.7 NÚMERO DE REYNOLDS

Es un parámetro adimensional utilizado para describir las características del flujo y para poder realizar un trabajo de escalas. Un aspecto importante a su vez, es la relación arrastre/sustentación que se da en la interacción sólido-fluido. Este número adimensional representa una relación entre las fuerzas viscosas e inerciales presentes en un fluido.

$$Re = \frac{V \cdot l}{\nu}$$

Donde:

V: Velocidad de flujo

l: Chord Length

ν : Viscosidad cinemática del fluido

Principalmente este valor determinará el comportamiento del flujo, siendo:

- Flujo Laminar: Es un flujo suave y constante, se da con números de Reynolds bajos. En estos flujos predominan las fuerzas viscosas y los esfuerzos tangenciales generan un flujo en forma de láminas, lo que comúnmente se dice que fluye de forma “ordenada”
- Flujo turbulento: En contraposición al laminar, este tipo de flujo se da con Números de Reynolds altos, tienen mayor presencia las fuerzas inerciales y se generan vórtices.

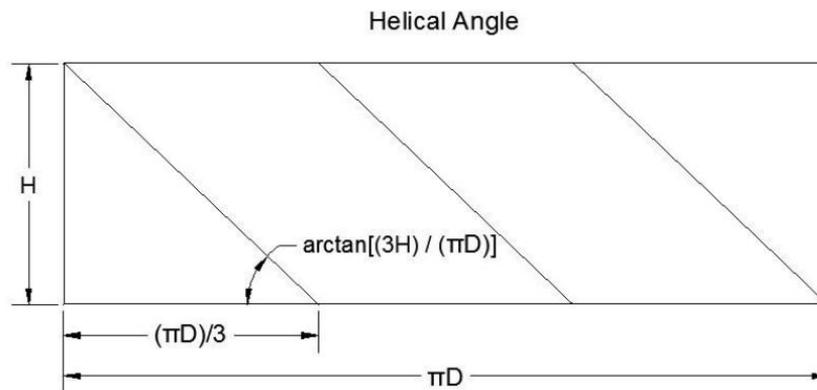
La potencia aumenta a medida que disminuye el número de cuchillas. Se cree que esto se debe a la interferencia del flujo. Cuanto menor sea el número de álabes, más tiempo tendrá el flujo para volver a converger a su condición uniforme original para el siguiente álabe. Cuanto más representa este flujo el caso ideal y uniforme, mejor funcionará la turbina.

5.8 ÁNGULO DE HÉLICE

El ángulo de hélice corresponde al ángulo de la hélice generatriz del rodete Gorlov. En la figura se observa la proyección en el plano del manto cilíndrico de la turbina.

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

La altura h corresponde a la altura en la que el álabe da $1/3$ de vuelta, para esta turbina cada álabe dará $2/3$ de vuelta y la altura es de H .



$$\arctan = \frac{N * H}{\pi * D}$$

Donde:

N: número de álabes

H: altura del álabe

D: Diámetro de la turbina

Ángulo de hélice: 62°

Como conclusión del estudio, Figuras 3.41 a 3.42 así como 3.43 a 3.45, se puede observar que el sistema de dos álabes NACA 0022 produjo un torque de 3.44 Nm, el de tres álabes, mismo sistema de solidez (41%) produce un par máximo de 2,00 Nm.

Por otro lado, el NACA 0022, sistema de tres palas (solidez del 48%) produce un par de 3,36 Nm, el mismo tipo de perfil pero sistema de seis palas con la misma solidez que sólo produce 1,84 Nm de par. En general, este estudio sugiere que una configuración de dos palas sería la mejor opción para un rendimiento óptimo.

Comparando los efectos de la solidez variable. Al examinar las Figuras 3.41 a 3.43 y 3.44, este estudio muestra que la configuración NACA 0022, de tres palas y 48% de solidez, produce un par de 3,36 Nm.

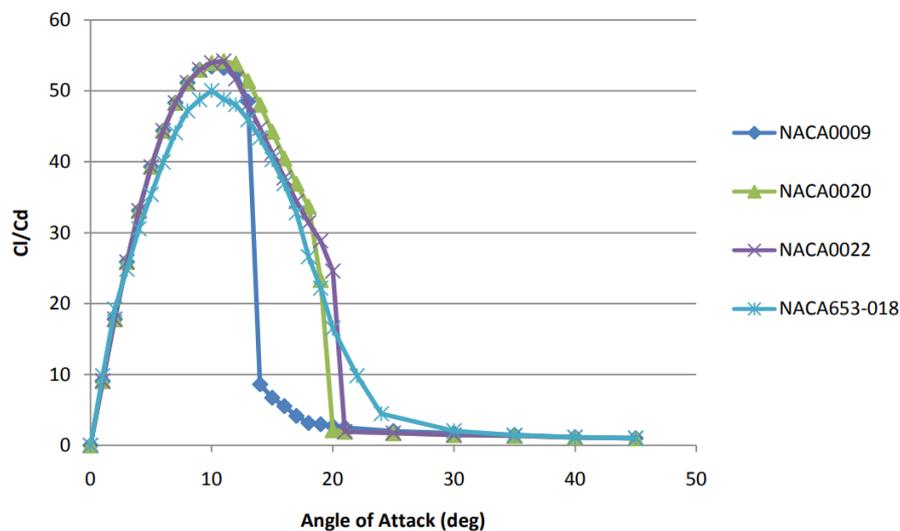
Dadas las condiciones de contorno y necesidades del caso, la geometría y tipo de perfil seleccionado será un perfil NACA 0022 con sistema de 3 palas. Este tipo de turbina permite una mayor extracción de potencia y tiene el menor impacto medioambiental (ver Anexo 17.5).

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		

5.9 ÁNGULO DE ATAQUE

Este ángulo corresponde al ángulo entre la línea de cuerda y la velocidad relativa, para este caso es el mismo ángulo que se genera entre la velocidad tangencial y la relativa debido al perfil simétrico del álabe.

Para lograr el mayor torque se tiene que conseguir un alto ratio Lift/Drag tanto para ángulos de ataque positivos como negativos, por este motivo se utilizan en gran mayoría de las turbinas de flujo cruzado perfiles simétricos.



Este gráfico muestra la mayor relación entre el coeficiente de arrastre (Cd) y coeficiente de sustentación (Cl) para un determinado ángulo de ataque.

El ángulo que da la mayor relación es aproximadamente 10°.

6. MODELADO DE LA TURBINA

Para comenzar con el diseño de la turbina, una vez definido el perfil aerodinámico se calcula la longitud de cuerda con la fórmula:

$$C = \frac{\pi * D * \sigma}{N}$$

Donde:

D: Diámetro de la turbina

σ : Solidez

N: número de álabes

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

Para nuestro caso, la longitud de cuerda es $C=0,209$ m.

Se generan los croquis correspondientes al rotor de la turbina basados en los cálculos anteriores.

Un resumen de los valores previamente calculados son:

Parámetro	Valor
Tipo de perfil	NACA 0022
Longitud de cuerda	0,209 m
Solidez	40%
Ángulo de hélice	62°
Ángulo de ataque	10°
Cantidad de álabes	3
Altura (H)	1 m
Diámetro	0,5 m

7. DATASHEET RESUMEN - TURBINA

TURBINA	
Descripción:	Turbina Gorlov Helicoidal
Material	Copolimero PP
Tipo de perfil	NACA 0022
Longitud de cuerda (m)	0,209
Solidez	40%
Ángulo de hélice	62°
Ángulo de ataque	10°
Cantidad de álabes	3
Altura (m)	1
Diámetro (m)	0,5
Densidad (kg/m ³)	915-930
Peso total aproximado (kg)	77,4

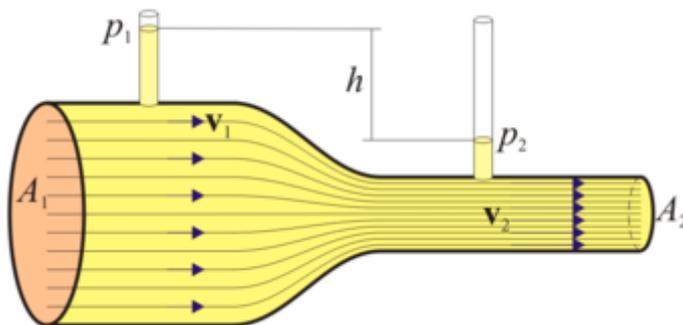
Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

8. VELOCIDAD DE FLUJO

Cantidad de fluido que atraviesa una barrera determinada en una unidad de tiempo. En nuestro estudio esta variable es mandatoria para la generación de potencia, como ya se ha mencionado la velocidad es muy baja. Se recurre a alternativas para poder aumentar la velocidad del fluido con tubos Venturi, en los cuales se analizará la geometría de sección más eficiente. (Ver anexo 17.6)

8.1 TUBO VENTURI

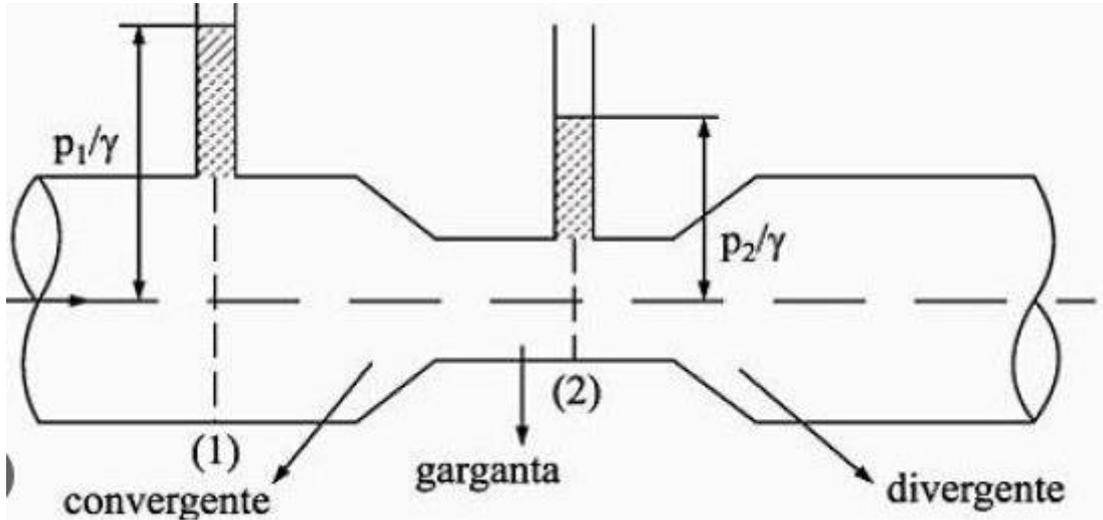
El tubo de Venturi se utiliza para medir la velocidad de un fluido incompresible. Consiste en un tubo con un estrechamiento, de modo que las secciones antes y después del estrechamiento son A_1 y A_2 , con $A_1 > A_2$.



Alternativa 1:

Tubo Venturi - Sección circular

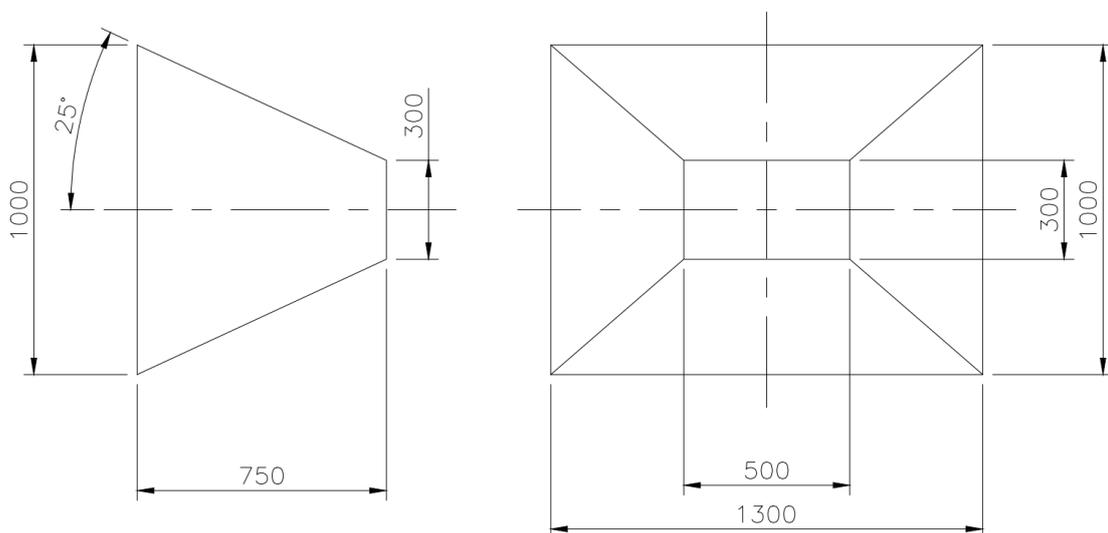
Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		



La alternativa 1 es la sección clásica conocida del tubo venturi tradicional, se toma como base para las distintas comparaciones.

Alternativa 2:

Tubo Venturi - Sección Rectangular

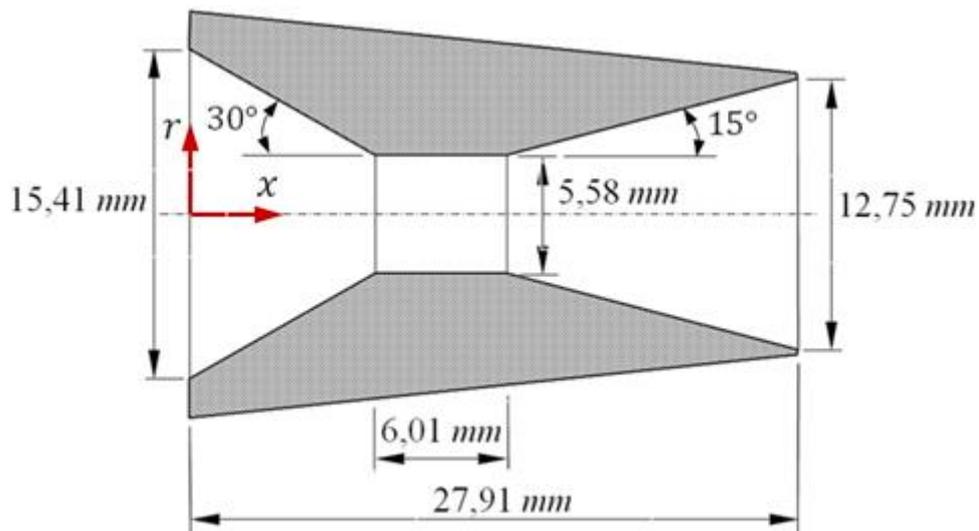


La alternativa 2 se utiliza una sección rectangular, esto permite variar el área a través de la modificación de uno de los lados

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		

Alternativa 3:

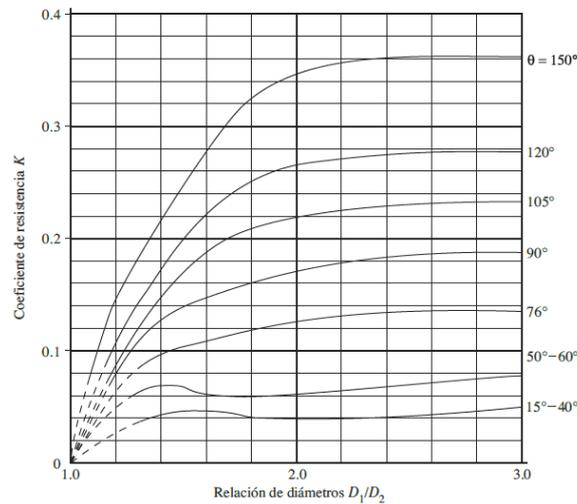
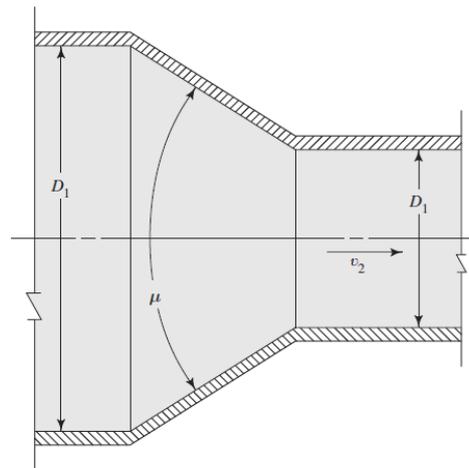
Tubo Venturi - Sección cuadrada



La alternativa 3 permite una optimización de las dimensiones con una relación de aspecto bloqueada para la utilización de áreas

8.1.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA TOBERA

La pérdida de energía en una contracción puede disminuir en forma sustancial si la contracción se hace más gradual. La figura muestra tal contracción, formada por una sección cónica entre los dos diámetros, con bordes afilados en las uniones. El ángulo θ se denomina ángulo del cono.



Conforme el ángulo del cono de la contracción disminuye a menos de 15° , el coeficiente de resistencia en realidad se incrementa. La razón es que los datos incluyen los efectos, tanto de la turbulencia local que ocasiona la separación del flujo como los de la fricción con el tubo. Para ángulos del cono más pequeños, la transición entre los dos diámetros es muy larga, lo que aumenta las pérdidas por fricción.

Para las dimensiones de la tobera a utilizar se contempla la condición de continuidad para fluidos incompresibles, la cual dice que:

- Si no hay pérdidas de fluido dentro de un tubo uniforme, la masa de fluido que entra es igual a la que sale en un tubo en un tiempo.
- Si un fluido es incompresible, su densidad ρ es constante
- Por otro lado la cantidad $A \cdot V$ se conoce como caudal promedio Q y representa el volumen del fluido que pasa por un punto en el tubo por unidad de tiempo.

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		

$$A_1 * v_1 = A_2 * v_2$$

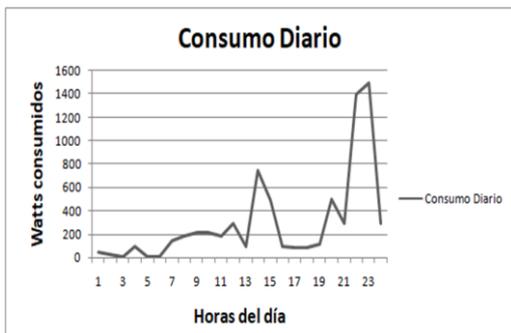
$$\frac{A_1 * v_1}{A_2} = v_2$$

$$\frac{1,3m^2 * 0,34 \frac{m}{s}}{0,15 m^2} = v_2$$

$$2,95 \frac{m}{s} = v_2$$

8.1.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA OBTENIDA CON LA TOBERA

A partir de este valor de velocidad se calculan las potencias que se podrían llegar a obtener con estos resultados, recordando que:



Energía diaria de mandada	7,2 kWh
Energía Fotovoltaica (Paneles)	4,8 kWh
Energía a cubrir por la microturbina	2,4 kWh

Los cálculos que se utilizarán para calcular la potencia son:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * V^3 * A$$

Donde:

- ρ = Densidad del fluido [Kg/m³]
- V = Velocidad del fluido [m/s]
- A = Area de contacto [m²]

densidad : 1000 Kg/m³

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

V: 2,95 m/s

A: 0,06 m

$$P = \frac{1}{2} * 1000 \frac{Kg}{m^3} * 2,95 \frac{m}{s} * 0,0022 m^2$$

$$P = 3,24 kW$$

Con la utilización de una tobera a la entrada de la turbina, se lograría tener un valor estimado de potencia que supera a la mínima necesaria de 2,4 kWh.

8.2 DIFUSOR

El concepto de conducto (o con difusor aumentado) se ha estudiado en el contexto de la energía eólica durante décadas, pero no hay diseños comercialmente exitosos hasta la fecha.

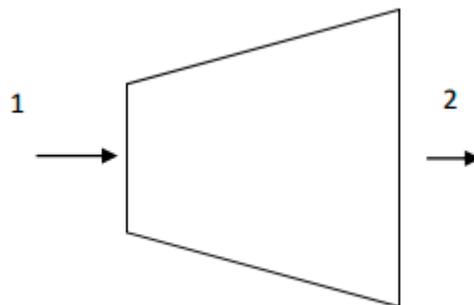
Desde un punto de vista físico, la lógica típica detrás de la incorporación de un conducto es aumentar la potencia extraída aumentando la velocidad del flujo a través del rotor.

Una explicación es que el conducto fuerza una expansión del flujo aguas abajo de la turbina más allá de lo que es posible para un rotor abierto. Esto proporciona una presión reducida en el lado aguas abajo de la turbina, que actúa para aumentar el flujo a través de la garganta del ducto, y por lo tanto aumenta el flujo másico total a través de la turbina.

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

Alternativa 1:

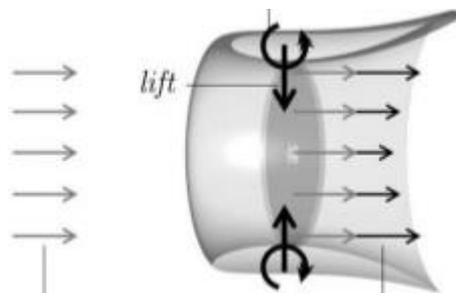
Difusor de iguales características geométricas que el Venturi utilizado:



Esta alternativa potencia la extracción de energía del fluido con la continuidad de aceleración del agua

Alternativa 2:

Difusor de diseño de perfil alar



El conducto produce una fuerza de sustentación actuando hacia el centro del conducto. La fuerza de sustentación tiene una circulación asociada, que fluye hacia la línea central del conducto y, por lo tanto, aumenta la velocidad de la corriente libre en la ubicación del rotor.

Por características constructivas del conducto y tubo venturi, el difusor debe continuar la sección de la misma manera que el ingreso. (Ver anexo 17.4)

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

9. DISEÑO DE EJE

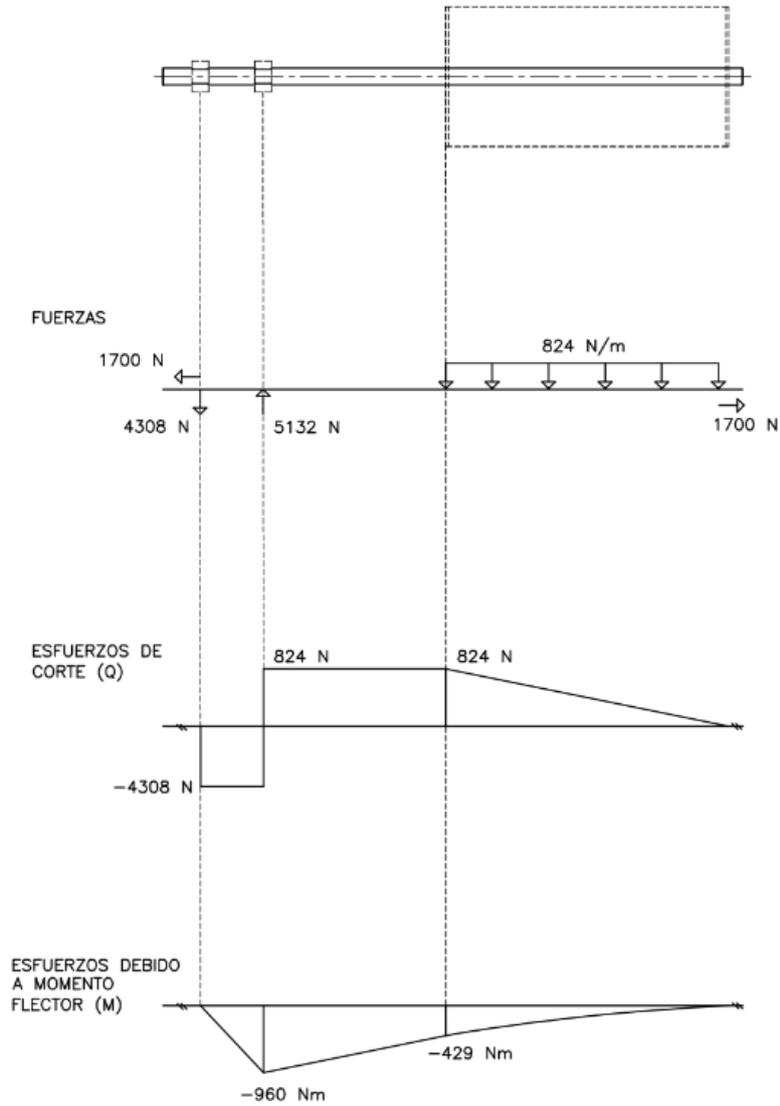
El diseño correspondiente al eje tendrá como objetivo, la resistencia a los esfuerzos generados por las fuerzas propias de la corriente de fluido y los pesos propios de la turbina. El eje estará sometido a esfuerzos de flexión, corte y torque, como así también fatiga.

A partir de estas premisas, se comenzará generando un estudio de fuerzas para lograr la determinación de los diagramas de esfuerzos característicos correspondientes

Se adjunta un croquis resumen de los gráficos de fuerzas y esfuerzos característicos para un eje de Acero SAE 1045 Estirado en frío (CD: Cold Drawn).

En el cálculo deben tenerse en cuenta todos aquellos componentes que funcionan de soporte del mismo (rodamientos, chaveteros o cuñeros, bujes, etc).

DIAGRAMAS DE ESFUERZOS CARACTERÍSTICOS



Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		

Seccion mas solicitada $x=355\text{mm}$; $Mfl.=960\text{ Nm}$; $Mt.= 86,89\text{ Nm}$
 Material: Acero Sae 1045 CD
 Ec. de Goodman

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left(\frac{2(Mf, Mf)}{Se} + \frac{3(Kfs, Mt)^2}{Sut} \right)^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$Se=145\text{Mpa}$

$Sut=630\text{Mpa}$

$Mfl=960\text{Nm}$

$Mt=86,89\text{Nm}$

$d = 52,92\text{mm}$

como el calculo es conservador, se toma un

$d = 50\text{mm}$

se calculan las tensiones medias (σ_m) y alternativas (σ_a)

$$\sigma'_a = \left\{ \frac{32 \cdot Kt \cdot Mf}{\pi \cdot d^3} + \frac{3 \cdot (Kfs \cdot Mt)^2}{Sut} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma'_m = 3 \cdot \left(\frac{16 \cdot (Kfs \cdot Mt)^2}{\pi \cdot d^3} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$\sigma_a = 116,7\text{ Mpa}$

$\sigma_m = 7,98\text{ Mpa}$

Criterio Goodman

$1/nf = \sigma_a/Se + \sigma_m/Sut$

$nf = 1,23$

Verificacion por Von Misses

$ny = Sy / \sigma'_{max}$

$ny = 4,25$

10. ANCLAJES

Los anclajes cumplen la función de la sujeción de la máquina en tierra firme, dada esta condición inicial se deben realizar los estudios correspondientes teniendo en cuenta las diferentes alternativas a considerar.

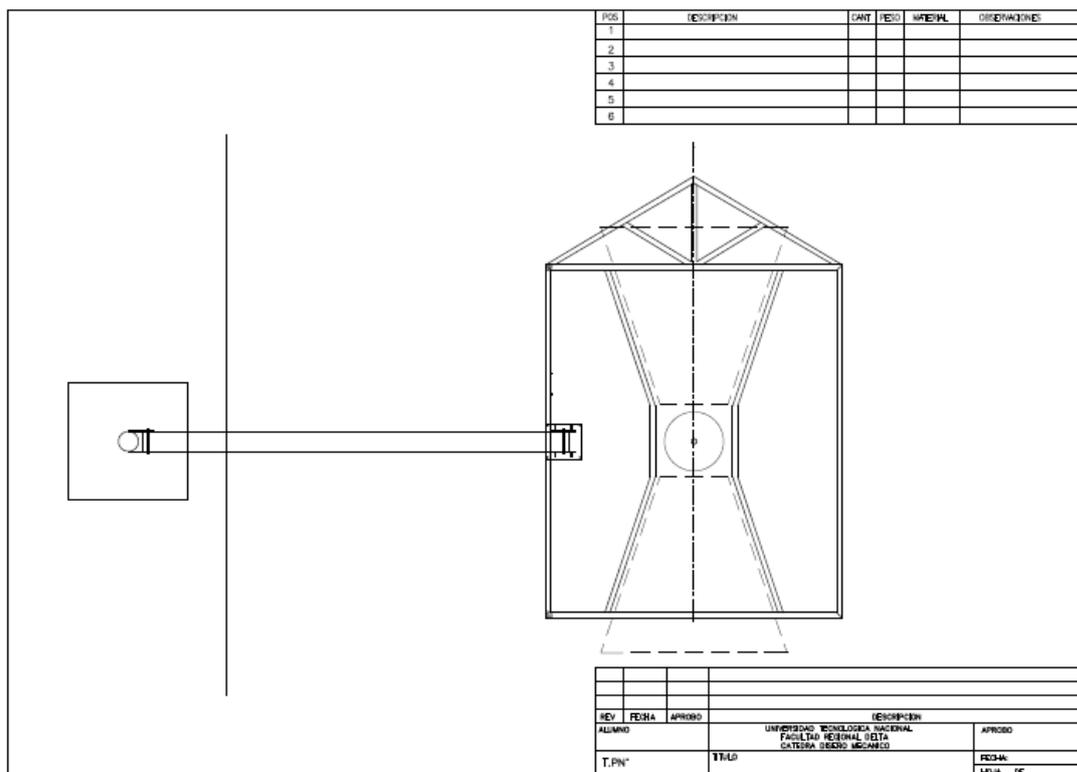
Como primera medida se propone un punto de soporte rígido que sea el vínculo entre tierra y la balsa que se encontrará flotando. Para compensar los movimientos de la marea, que van desde las olas generadas al pasar por una embarcación como así también las bajantes y crecientes del río, se decidió crearle un punto pivotante. Con lo cual la balsa puede tener un desplazamiento en altura sin ningún tipo de problemas.

Se decidió que el conjunto tenga dos puntos de rotación, tanto en el extremo de tierra firme como en el de la balsa. Estos dos giros nos permiten en primer lugar posicionar la balsa cerca de la orilla en caso de ser necesarias tareas de mantenimiento. En segundo lugar, en función de la dirección del río, nos permite orientar con un cierto ángulo la turbina, para obtener la máxima potencia hidráulica disponible.

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

Como desventaja de este sistema de anclaje, se determinó que las fuerzas generadas por la marea y la distancia que había entre el punto fijo y la balsa eran muy grandes. Esto nos ocasiona el problema de tener que realizar un soporte de importantes dimensiones para compensar los esfuerzos generados.

Bajo esta condición es que se decidió utilizar el recurso de dos riendas que sostengan la balsa desde los dos extremos. Para esto se procedió a realizar un estudio para verificar los movimientos de la balsa bajo varias circunstancias.

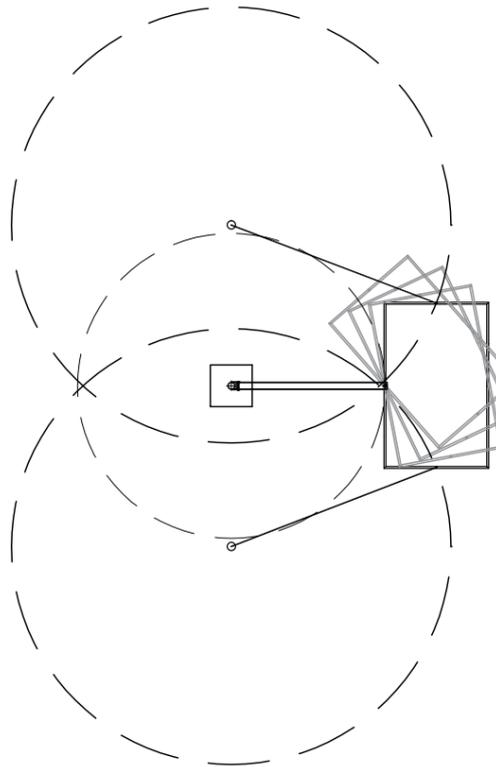


10.1 AMARRES

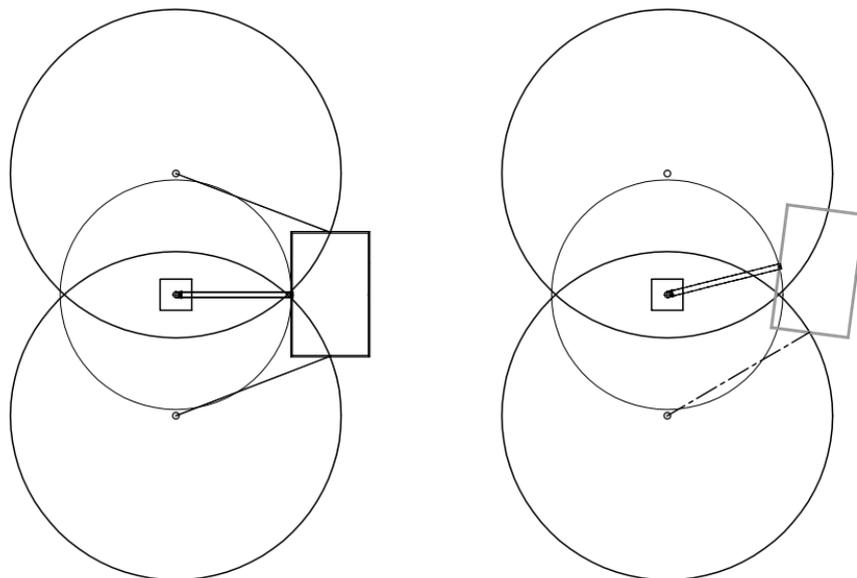
Como se analizó anteriormente, la balsa iba a generar tensiones elevadas sobre el soporte rígido, es por esto que se decidió colocar riendas para compensar los esfuerzos generados por la fuerza del río. Estas riendas deben estar tensionadas con un sistema de accionamiento tipo “malacate” para compensar desgastes y alargamientos producidos por las condiciones climáticas a las cuales van a estar sometidas las riendas, como también para ayudar a la rotación de la balsa en caso de necesitar mantenimiento.

Para ello en primer lugar se analiza cómo se comporta la balsa sin la utilización de riendas, donde se observa que esta puede dar un giro de 360° sin problemas si es que no utilizamos un perno para limitar la rotación.

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		



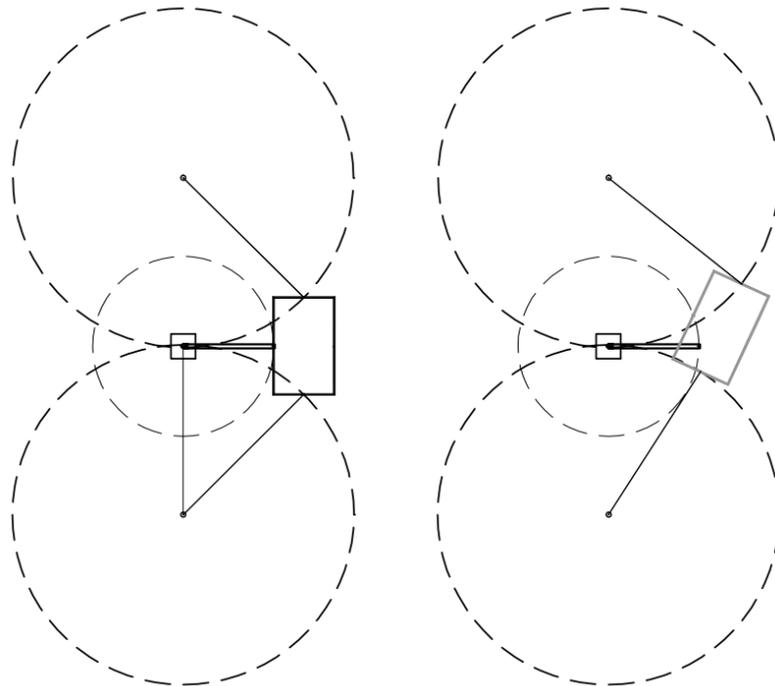
En segundo lugar, se colocaron 2 riendas para determinar cómo era el radio de giro de la balsa con respecto al eje rígido y a los 2 riendas. Como conclusión se determinó que las riendas colocadas a esa distancia no eran suficientes para limitar el movimiento.



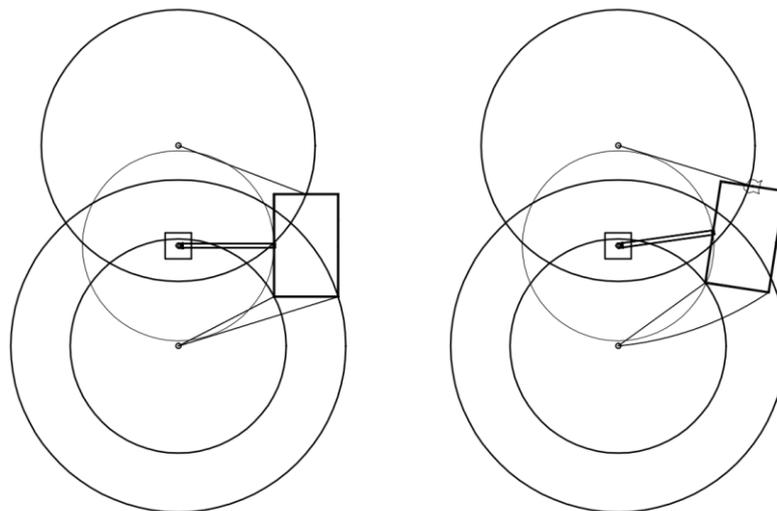
Como siguiente instancia, se recurre a colocar los puntos de anclaje de las riendas a una mayor distancia del anclaje del sistema rígido. Se analiza nuevamente el sistema de rotación y no se

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		

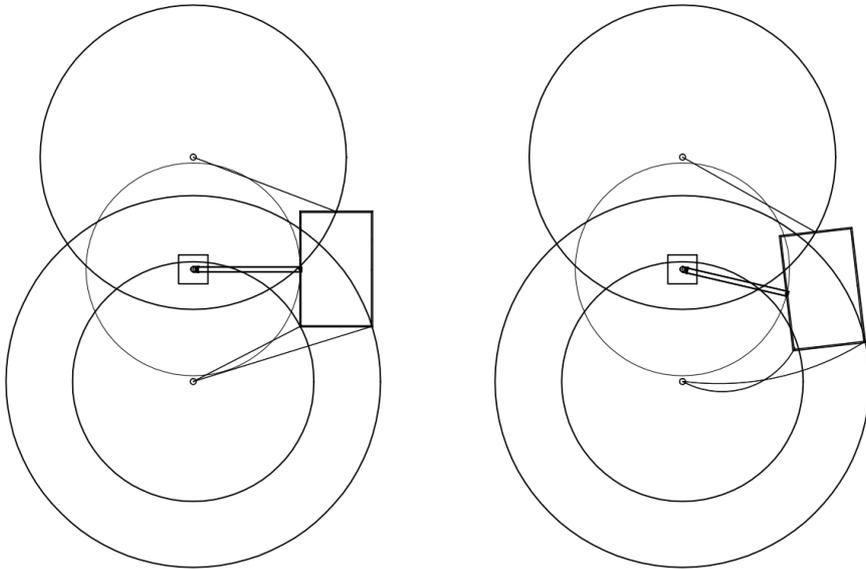
ven mejoras, con lo cual se descarta definitivamente la idea de alejar los anclajes para limitar el movimiento.



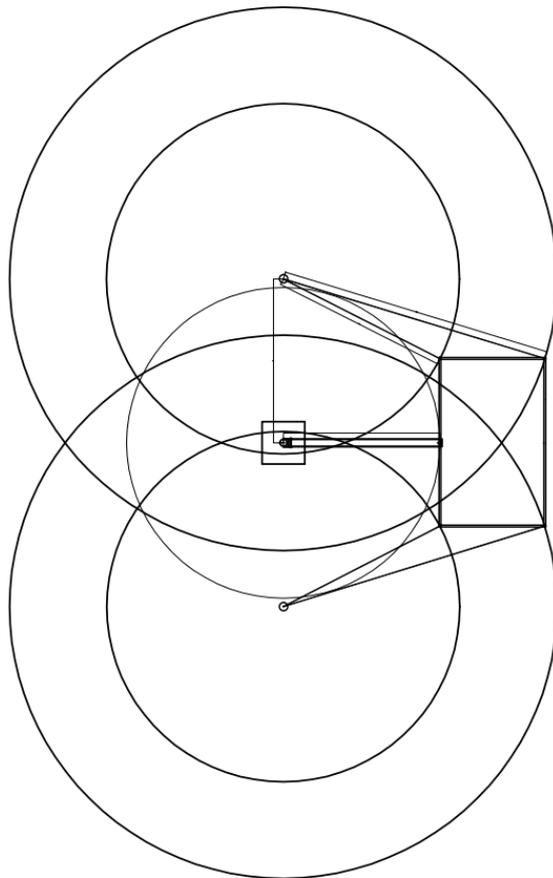
Como cuarto caso de estudio, se colocan 2 riendas en la dirección de desplazamiento del río y una rienda en el lado contrario. Se determina que para limitar el movimiento producido por la fuerza del río con esta alternativa es suficiente. Como contraparte se observa que en caso de que una fuerza externa impacte a la balsa en el lado contrario a la dirección del río generaría que la balsa se desplace. Con lo cual se procede a hacer un último estudio colocando 2 riendas en ambos lados.



Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		



Se determina que con 4 riendas en total y un sistema rígido que permita la rotación de la turbina va a ser suficiente para soportar todos los esfuerzos generados sobre la balsa.



Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

10.2 PILOTES

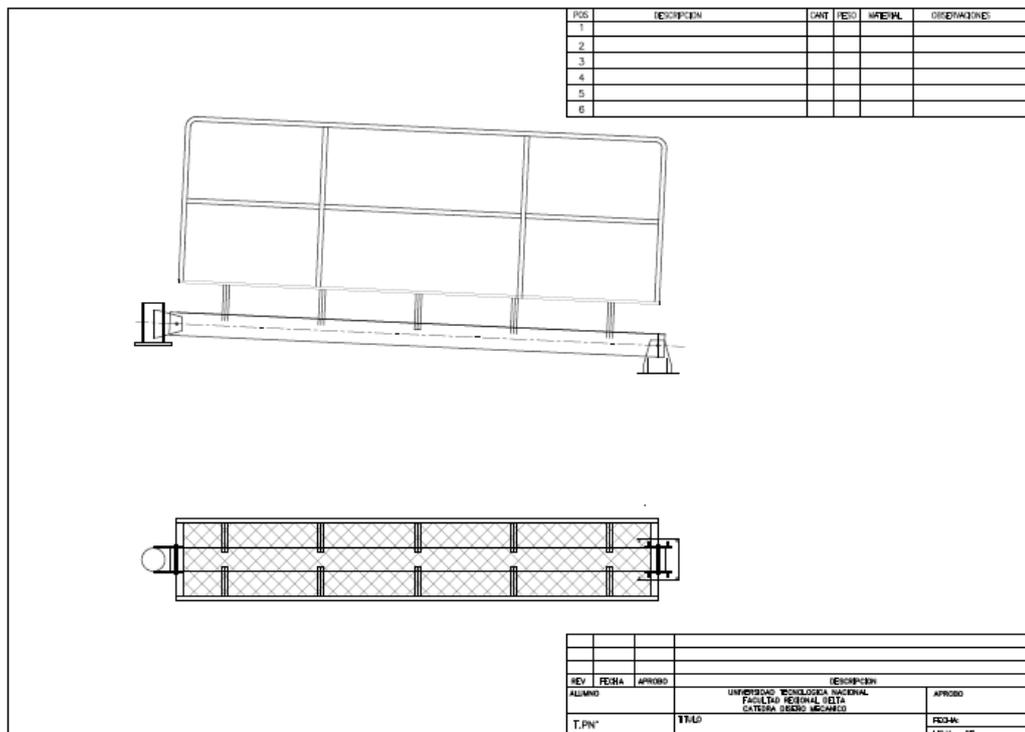
Las cimentaciones profundas son las que ayudan a transmitir las cargas a lo largo de los sustratos más resistentes del suelo. Se utilizan cuando la parte más superficial del terreno es frágil, está cubierta de fracturas, hay presencia de agua o está poco consolidada. En estas se usan varios tipos de pilotes dependiendo del tipo de construcción y de las características del terreno.

11. ACCESIBILIDAD

Con el propósito de facilitar el acceso a la parte de la balsa de la máquina para tareas relacionadas al mantenimiento de la misma, se propone la realización de una pasarela.

Para la pasarela, se toma como base de la misma el diseño previo del vínculo fijo entre la balsa o bastidor y tierra firme. A partir de esta base, se colocarán apoyos igualmente distanciados y por cuestiones de seguridad se adiciona una baranda, la cual se extenderá al perímetro de toda la balsa. La ventaja que tiene este tipo de construcción es que se puede retirar en caso que el usuario o los operadores de mantenimiento lo deseen o tengan la necesidad.

A continuación se adjunta un croquis de la pasarela.



Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		

12. SISTEMAS DE ELEVACIÓN

A nivel general, un izaje de cargas se utiliza cuando no es posible mover o trasladar un equipo de forma manual debido a múltiples factores, ya sea por sus dimensiones, su fragilidad o la responsabilidad que representa para la persona.

Es importante aclarar que el izaje es un movimiento vertical que únicamente puede darse de manera ascendente o descendente, por lo que es importante contar con las máquinas adecuadas para evitar cualquier tipo de riesgo que pueda afectar las condiciones de la carga.

En ese sentido, la importancia de hacer un buen izaje de cargas radica en no solamente garantizar que el equipo sea trasladado de forma segura, sino también que el personal involucrado en dicho proceso cuente con la formación y los implementos necesarios para evitar accidentes y riesgos operativos.

Por cuestiones asociadas al mantenimiento de la turbina, se realiza la construcción de un sistema de elevación rebatible y plegable.

Realizado de acero estructural rectangular, tiene un diseño que permite facilitar el mantenimiento de la turbina de Gorlov. Cuenta con una rondana en un extremo para poder elevar la misma. La ventaja de este sistema es que permite realizar el mantenimiento del equipo "in situ" sin necesidad de trasladar hasta tierra en caso de reparaciones o intervenciones menores.

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		



Se calculan las fuerzas de empuje que pueden soportar. Se utilizarán 6 de este tipo.

$$\underline{E} = \rho * V * g$$

donde:

ρ = Densidad [Kg/m³]

V = volumen desplazado [m³]

g= gravedad [m/s²]

Vol. desplazado = 200 lts. → 0,2 m³

$$\underline{E} = \rho * V * g \rightarrow \underline{E} = 1000 \frac{kg}{m^3} * 0,2m^3 * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$\underline{E} = 1962 \text{ N} \approx 200 \text{ Kg}$$

Se utilizarán 10 flotadores en total, dando una fuerza de empuje que ronda los 2000kg. Por lo cual, se verificará con el peso total del equipo si la utilización de esta cantidad de flotadores es la correcta

14. BASTIDOR

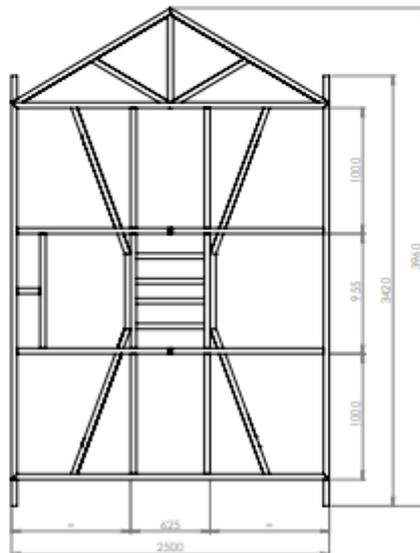
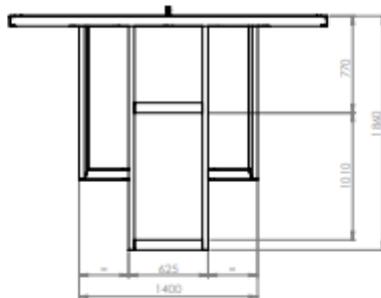
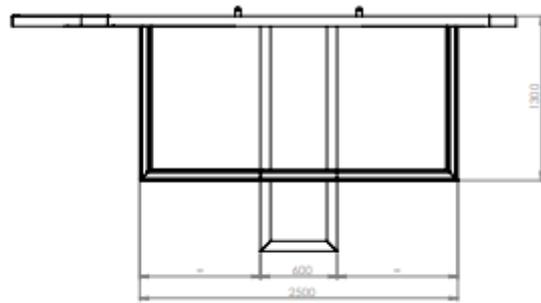
Los perfiles utilizados en la estructura será un perfil de acero comercial que será verificado según los esfuerzos a los que será sometido.

Fecha: 29/01/2024

ETAPA 3
Microturbina para ríos



REV: 02



Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

15. MALLA BASTIDOR

Se utilizará para el piso del bastidor, material desplegable comercial con las siguientes especificaciones.

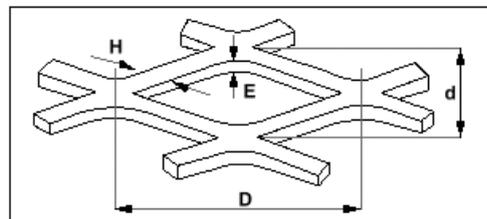
El metal desplegado es una malla metálica formada de una sola pieza, sin costura ni soldadura alguna, que presenta una serie de rombos o diamantes.

El metal desplegado es un producto muy versátil que se ofrece en el mercado en diversos calibres, dimensiones, tipos de acabado y formas de presentación.

Ventajas:

- permite el paso de la luz.
- permite el paso del aire.
- permite el paso del calor.
- permite el paso del sonido.
- más ligero por metro cuadrado.
- más fuerte por kilo.

D: Diagonal Mayor.
E: Espesor de la chapa.
H: Ancho del nervio.
d: diagonal menor.



Metal Desplegado Liviano

920.20-2,5	2,8	92,00	38	1,22 x 2,44	7,66
------------	-----	-------	----	-------------	------

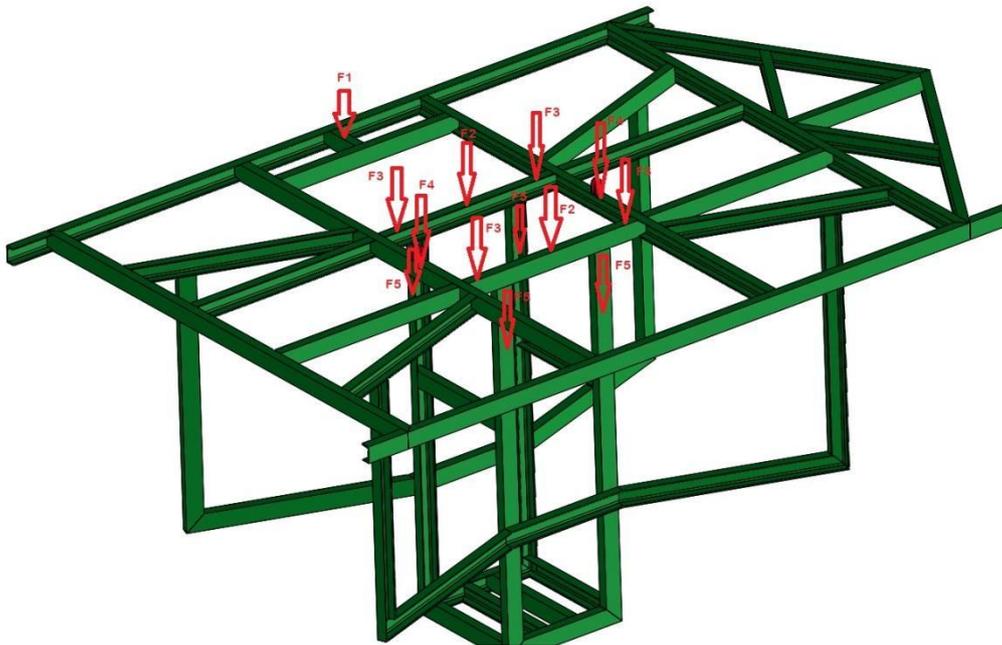
Ver catalogo en Anexo 17.8

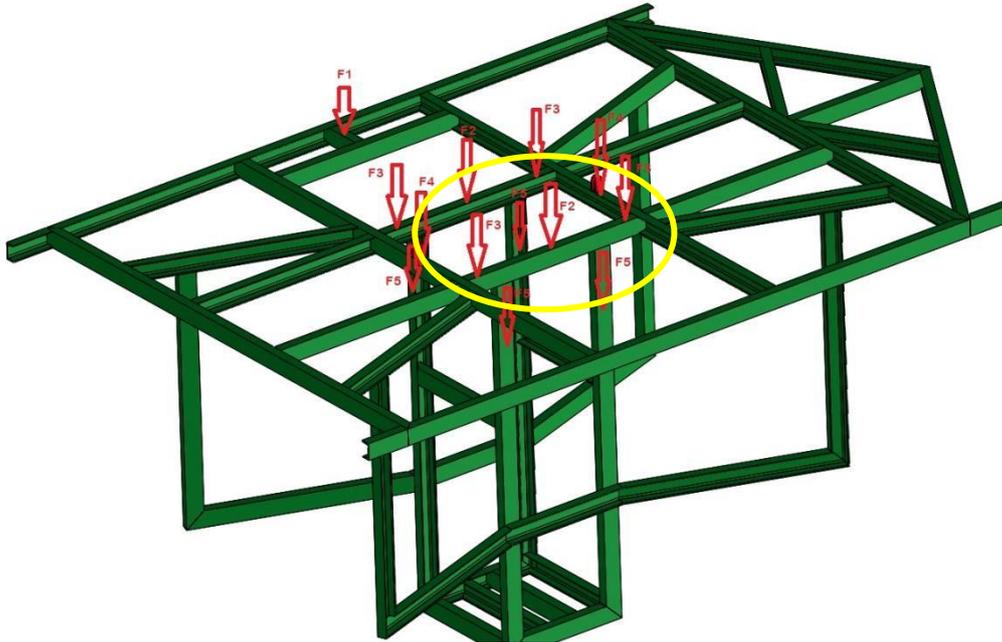
15.1 CÁLCULOS DE BASTIDOR – SOLICITACIONES

Se realizarán los cálculos para determinar si los perfiles utilizados soportarán las solicitaciones que le generarán tanto las fuerzas internas (Pesos propios de la estructura) como las fuerzas externas (condiciones de contorno)

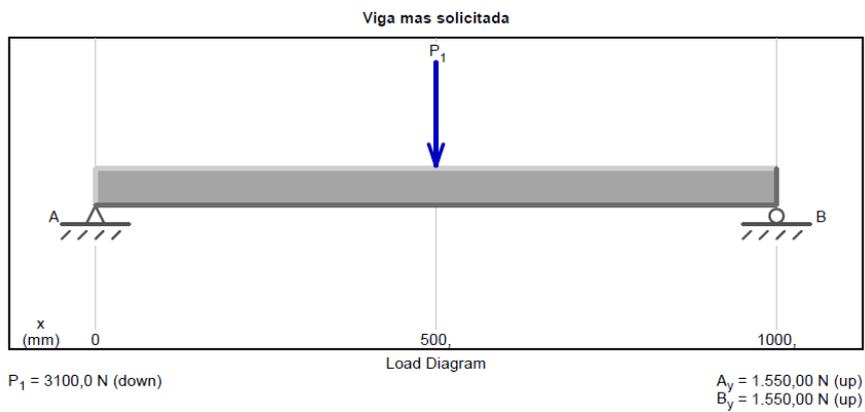
Distribución de esfuerzos debido a fuerzas internas:

Fuerzas	Denominación	Valor [Kg]
F1	Apoyo de pasarela	187,2
F2	Conjunto turbina	37,35
F3	Sistema de Izaje/Elevacion	29
F4	Venturi	177
F5	Soporte de venturi	113,5





Se remarca la viga con mayor sollicitación a esfuerzos

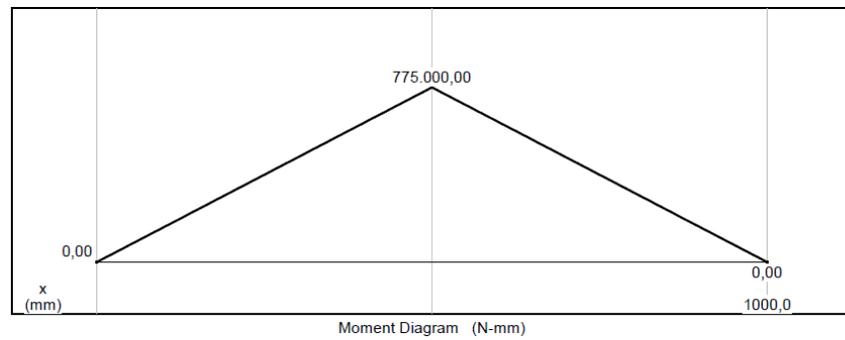
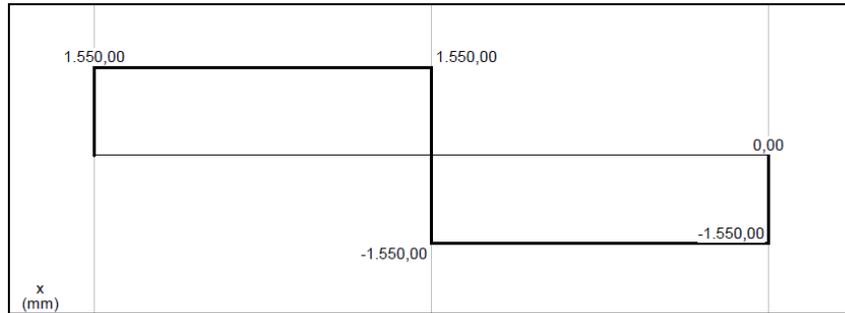


Fecha: 29/01/2024

ETAPA 3
Microturbina para ríos



REV: 02



Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

Perfil C AISI 1020



Perfiles conformados

Perfiles C

Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Sección (cm ²)	Valores estáticos relativos a los ejes XX-YY						
				Wx (cm ³)	Ix (cm ⁴)	Ix (cm)	Xg (cm)	Wy (cm ³)	Iy (cm ⁴)	Iy (cm)
80x40x15	1.60	2.23	2.84	7.52	30.08	3.26	1.48	2.78	7.02	1.57
	2	2.73	3.48	9.22	36.89	3.26	1.48	3.38	8.51	1.56
	2.50	3.34	4.25	11.25	45.02	3.25	1.48	4.07	10.25	1.55
	3.20	4.13	5.26	13.93	55.70	3.25	1.48	4.94	12.44	1.54
80x50x15	1.60	2.48	3.16	8.75	35	3.33	1.91	3.84	11.89	1.94
	2	3.05	3.88	10.74	42.98	3.33	1.91	4.69	14.50	1.93
	2.50	3.73	4.75	13.13	52.53	3.33	1.91	5.68	17.56	1.92
	3.20	4.63	5.90	16.29	65.14	3.32	1.91	6.95	21.50	1.91
100x45x10	1.60	2.60	3.32	10.46	52.29	3.97	1.46	3.39	8.60	1.61
	2	3.20	4.08	12.86	64.31	3.97	1.46	4.12	10.45	1.60
	2.50	3.93	5	15.75	78.77	3.97	1.46	4.97	12.60	1.59
	3.20	4.88	6.22	19.59	97.97	3.97	1.47	6.06	15.35	1.57

Wx: Módulo resistente: 7,52 cm³

$$W_x : \frac{I_{xx}}{Y_{max}} \quad \sigma : \frac{M_{x*Y}}{I_x}$$

$$M_{max} : \frac{P.L}{4} \rightarrow \frac{316,32 \text{ Kg} * 1m}{4} \rightarrow M_{max} : 79,03 \text{ Kg.m}$$

$$M_{max} : 79,03 \text{ Kg.m} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 7.903 \text{ Kg.cm}$$

$$\sigma : \frac{7.903 \text{ Kg.cm}}{7,52 \text{ cm}} \rightarrow \sigma : 1.050 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Datos de aceros AISI 1020:

$$\sigma_f : 350 \text{ N/mm}^2 = 3569,01 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

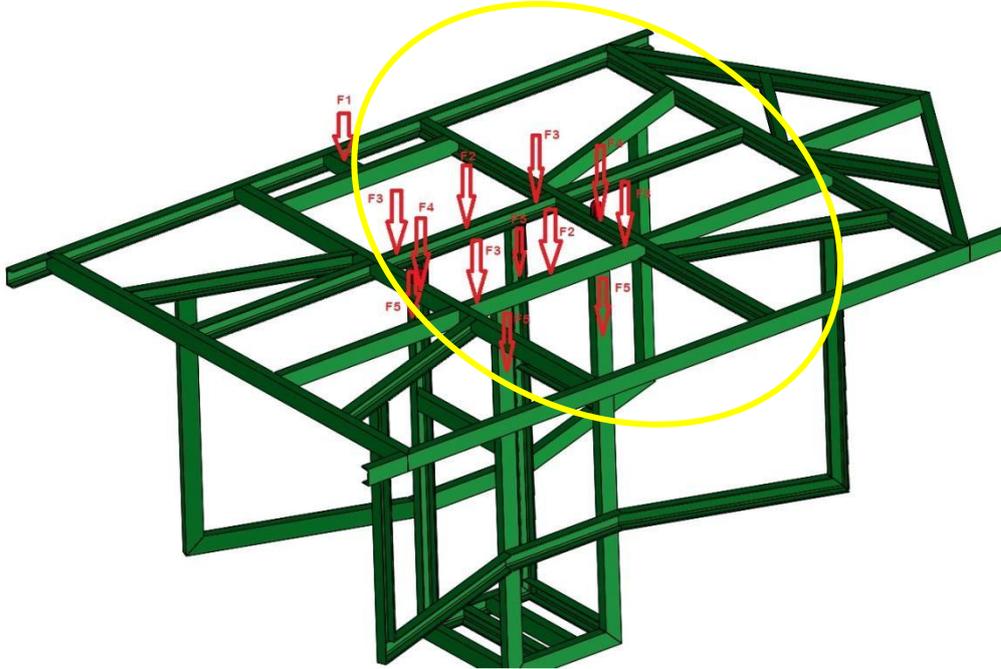
$$\sigma_{adm} : \frac{\sigma_f}{\eta} \rightarrow \frac{3569,01}{1,5} \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{adm} : 2379,34 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

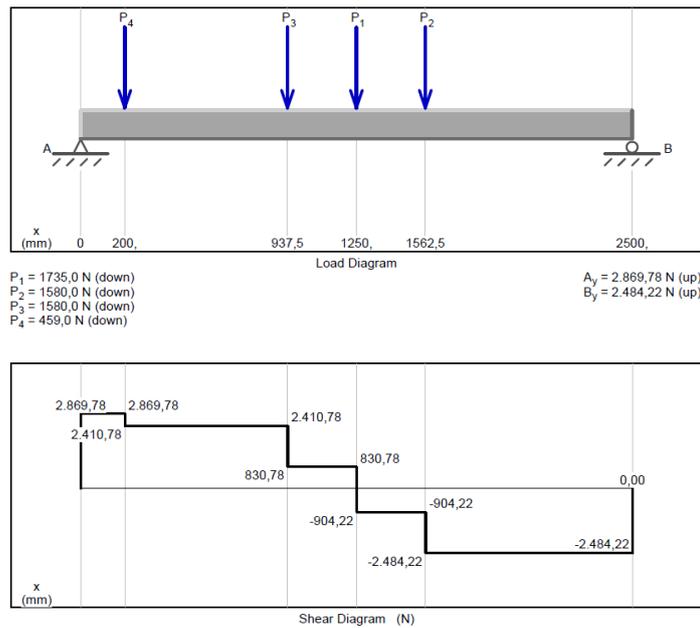
$$\sigma_{adm} : 2379,34 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} >> \sigma_{BASTIDOR} : 1.050 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

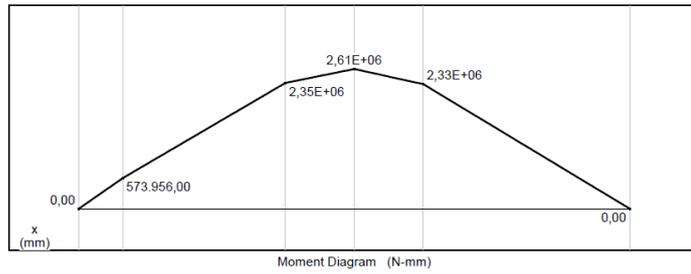
Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		

Extrapolando las fuerzas a la viga transversal para verificar esfuerzos



Se realiza el estudio para verificar el perfil transversal con mayor sollicitación, el cual arroja los siguientes resultados:





Perfiles conformados

Perfiles C

Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Sección (cm ²)	Valores estáticos relativos a los ejes XX-YY						
				Wx (cm ³)	Ix (cm ⁴)	Iy (cm ⁴)	Xg (cm)	Wy (cm ³)	Iy (cm ⁴)	Iy (cm ⁴)
80x40x15	1,60	2,23	2,84	7,52	30,08	3,26	1,48	2,78	7,02	1,57
	2	2,73	3,48	9,22	36,89	3,26	1,48	3,38	8,51	1,56
	2,50	3,34	4,25	11,25	45,02	3,25	1,48	4,07	10,25	1,55
	3,20	4,13	5,26	13,93	55,70	3,25	1,48	4,94	12,44	1,54
80x50x15	1,60	2,48	3,16	8,75	35	3,33	1,91	3,84	11,89	1,94
	2	3,05	3,88	10,74	42,98	3,33	1,91	4,69	14,50	1,93
	2,50	3,73	4,75	13,13	52,53	3,33	1,91	5,68	17,56	1,92
	3,20	4,63	5,90	16,29	65,14	3,32	1,91	6,95	21,50	1,91
100x45x10	1,60	2,60	3,32	10,46	52,29	3,97	1,46	3,39	8,60	1,61
	2	3,20	4,08	12,86	64,31	3,97	1,46	4,12	10,45	1,60
	2,50	3,93	5	15,75	78,77	3,97	1,46	4,97	12,60	1,59
	3,20	4,88	6,22	19,59	97,97	3,97	1,47	6,06	15,35	1,57

$$W_x : \frac{I_{xx}}{Y_{max}} \quad \sigma : \frac{M_{x,Y}}{I_x}$$

Mmax: 266.14 Kg.m

$$M_{max} : 266,14 \text{ Kg.m} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 26.614,59 \text{ Kg.cm}$$

$$\sigma : \frac{26.614 \text{ Kg.cm}}{7,52 \text{ cm}} \rightarrow \sigma : 3.539 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Datos de aceros AISI 1020:

$$\sigma_f : 350 \text{ N/mm}^2 = 3569,01 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{adm} : \frac{\sigma_f l}{\eta} \rightarrow \frac{3569,01}{1,5} \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{adm} : 2379,34 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{adm} : 2379,34 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \gg \sigma_{BASTIDOR} : 3.539 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

Los resultados obtenidos muestran que el perfil utilizado en la zona de carga no verifica estructuralmente ante los esfuerzos, por lo que se sugiere realizar un cambio en el tipo de perfil.

Para este tipo de estructura se realizarán los cálculos con un perfil del mismo tipo pero mayor espesor ante la misma sollicitación de esfuerzos. (Ver anexo 17.7)



Perfiles conformados

Perfiles C

Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Sección (cm ²)	Valores estáticos relativos a los ejes XX-YY						
				Wx (cm ³)	Ix (cm ⁴)	Ix (cm)	Xg (cm)	Wy (cm ³)	Iy (cm ⁴)	Iy (cm)
80x40x15	1,60	2,23	2,84	7,52	30,08	3,26	1,48	2,78	7,02	1,57
	2	2,73	3,48	9,22	36,89	3,26	1,48	3,38	8,51	1,56
	2,50	3,24	4,35	11,35	45,02	3,25	1,48	4,07	10,25	1,55
80x50x15	3,20	4,13	5,26	13,93	55,70	3,25	1,48	4,94	12,44	1,54
	1,60	2,48	3,16	8,75	35	3,33	1,91	3,84	11,89	1,94
	2	3,05	3,88	10,74	42,98	3,33	1,91	4,69	14,50	1,93
	2,50	3,73	4,75	13,13	52,53	3,33	1,91	5,68	17,56	1,92
100x45x10	3,20	4,63	5,90	16,29	65,14	3,32	1,91	6,95	21,50	1,91
	1,60	2,60	3,32	10,46	52,29	3,97	1,46	3,39	8,60	1,61
	2	3,20	4,08	12,86	64,31	3,97	1,46	4,12	10,45	1,60
	2,50	3,93	5	15,75	78,77	3,97	1,46	4,97	12,60	1,59
3,20	4,88	6,22	19,59	97,97	3,97	1,47	6,06	15,35	1,57	

Perfil C 1020

Modulo resistente: 13,93 cm³

$$W_x : \frac{I_{xx}}{Y_{max}} \quad \sigma : \frac{M_{x \cdot Y}}{I_x}$$

Mmax: 266.14 Kg.m

$$M_{max} : 266,14 \text{ Kg.m} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 26.614,59 \text{ Kg.cm}$$

$$\sigma : \frac{26.614 \text{ Kg.cm}}{13,93 \text{ cm}^3} \rightarrow \sigma : 1.911 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Datos de aceros AISI 1020:

$$\sigma_f : 350 \text{ N/mm}^2 = 3569,01 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{adm} : \frac{\sigma_f l}{\eta} \rightarrow \frac{3569,01 \text{ Kg}}{1,5} \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

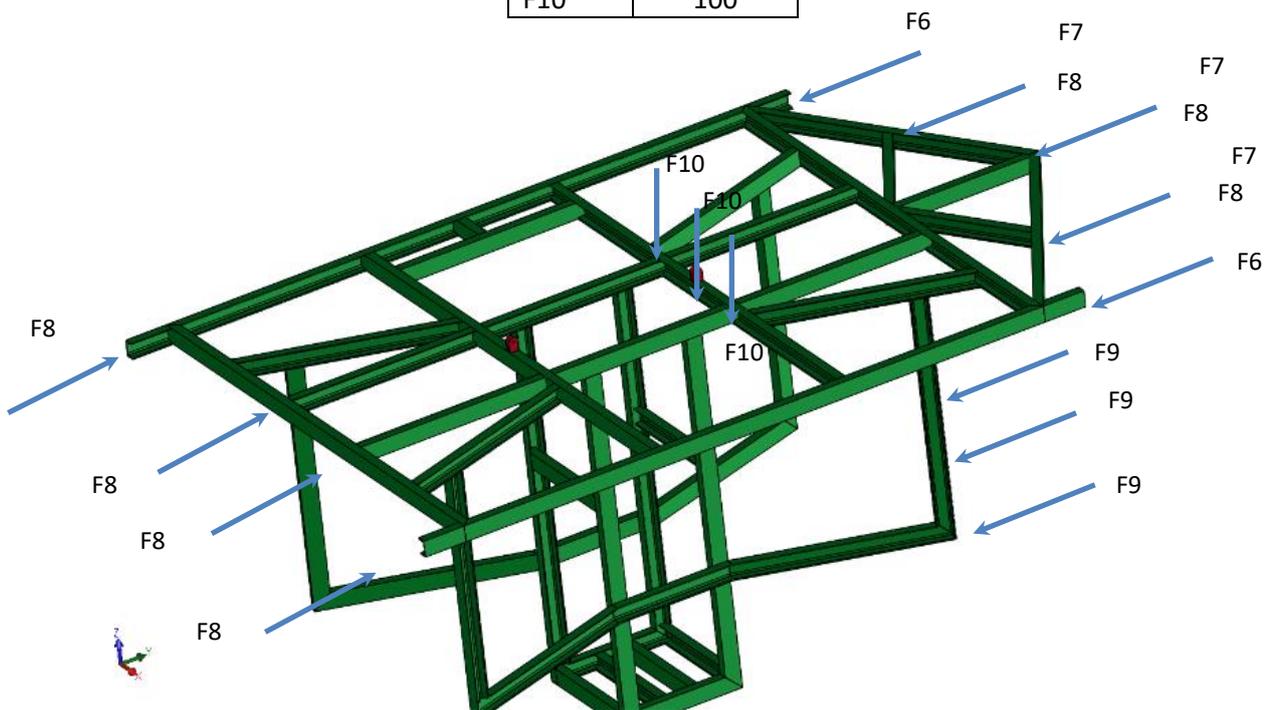
$$\sigma_{adm}: 2379,34 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$\sigma_{adm}: 2379,34 \frac{Kg}{cm^2} \gg \sigma_{BASTIDOR}: 1.911 \frac{Kg}{cm^2}$$

Para contemplar las fuerzas externas, adoptamos el criterio de sumar a las fuerzas internas aquellas fuerzas provenientes del ambiente circundante como:

- Tensiones de cuerdas de amarre (F6)
- Elementos flotantes en el cauce del Río (F7)
- Impactos con elementos de navegación (F8)
- Obstrucción del área de ingreso al Venturi (F9)
- Peso de operadores (F10)

Fuerza	Valor [Kg]
F6	22,53
F7	58,9
F8	101,4
F9	17,8
F10	100



Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		

Calculo del esfuerzo con los operadores

$$W_x : \frac{I_{xx}}{Y_{max}} \quad \sigma : \frac{M_{x*Y}}{I_x}$$

$$M_{max}: 277,2 \text{ Kg.m}$$

$$M_{max}: 277,2 \text{ Kg.m} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 27.226,4 \text{ Kg.cm}$$

$$\sigma : \frac{27.226,4 \text{ Kg.cm}}{13,93 \text{ cm}^3} \rightarrow \sigma : 1.954 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Datos de aceros AISI 1020:

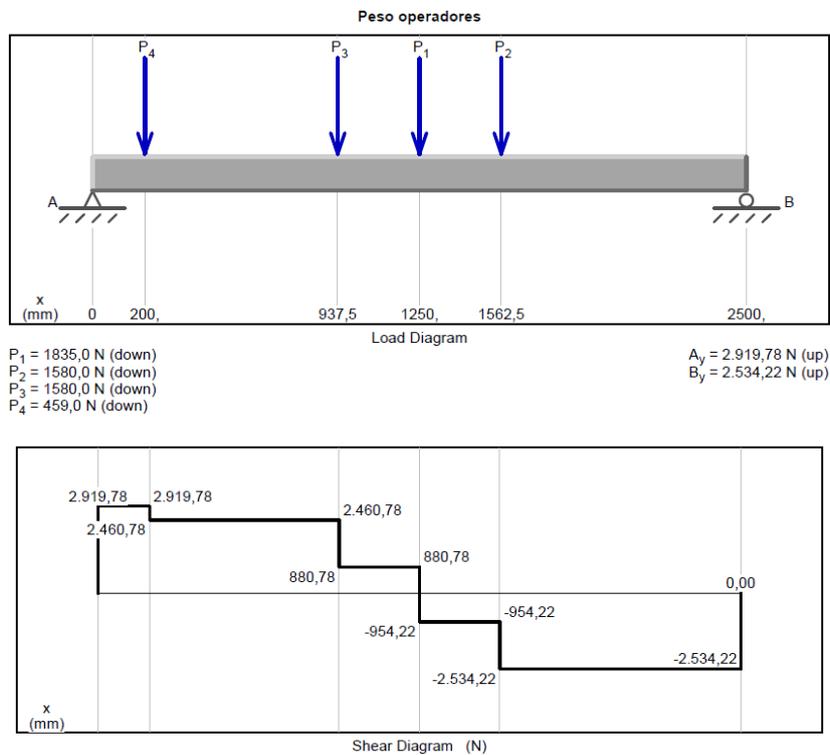
$$\sigma_{fl}: 350 \text{ N/mm}^2 = 3569,01 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{adm}: \frac{\sigma_{fl}}{\eta} \rightarrow \frac{3569,01}{1,5} \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

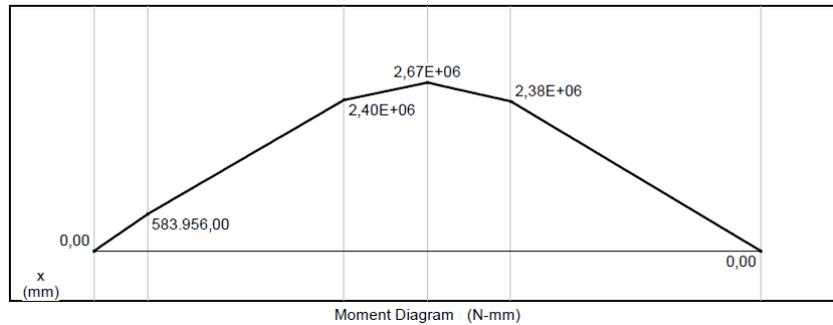
$$\sigma_{adm}: 2379,34 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{adm}: 2379,34 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \gg \sigma_{BASTIDOR}: 1.954 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Calculo de esfuerzos exteriores (Peso de operadores)



Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		



Calculo de esfuerzos exteriores (aplicación en dirección del eje X)

$$W_x : \frac{I_{xx}}{Y_{max}} \quad \sigma : \frac{M_{x*Y}}{I_x}$$

$$M_{max}: 556 \text{ Kg.m}$$

$$M_{max}: 556 \text{ Kg.m} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 5.560,5 \text{ Kg.cm}$$

$$\sigma : \frac{5.560 \text{ Kg.cm}}{3,38 \text{ cm}^3} \rightarrow \sigma : 1.645 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

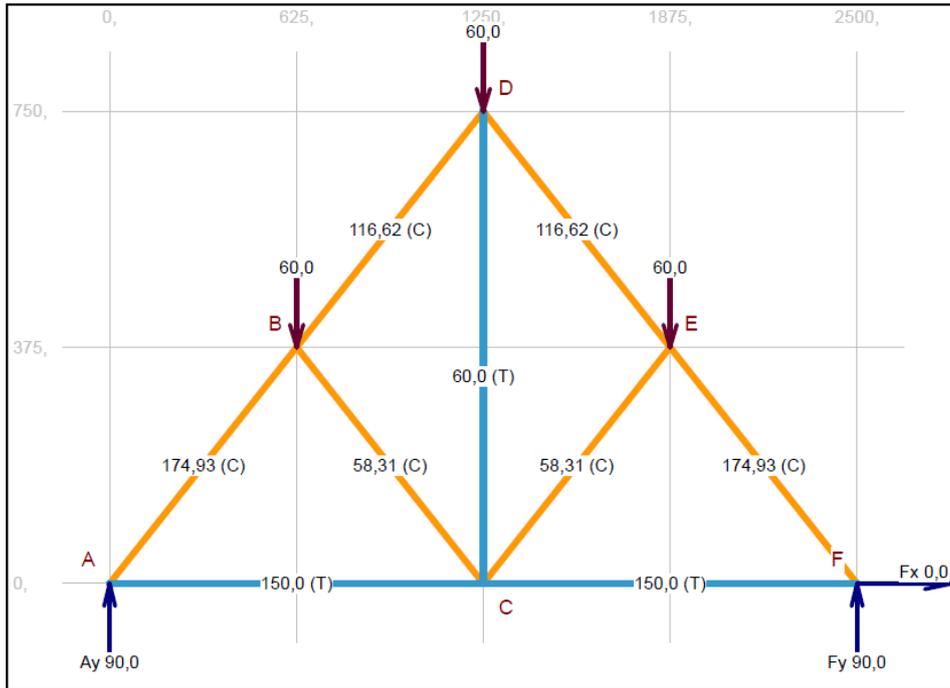
Datos de aceros AISI 1020:

$$\sigma_{fl}: 350 \text{ N/mm}^2 = 3569,01 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{adm} : \frac{\sigma_{fl}}{\eta} \rightarrow \frac{3569,01}{1,5} \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{adm} : 2379,34 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{adm} : 2379,34 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} >> \sigma_{BASTIDOR} : 1.645 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$



Calculo de los esfuerzos en reticulado de proteccion

$$W_x : \frac{I_{xx}}{Y_{max}} \quad \sigma : \frac{M_{x*Y}}{I_x}$$

Nmax: 175 Kg

$$\sigma : \frac{175 \text{ Kg}}{3,48 \text{ cm}^2} \rightarrow \sigma : 50,3 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Datos de aceros AISI 1020:

$$\sigma_{fl} : 350 \text{ N/mm}^2 = 3569,01 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{adm} : \frac{\sigma_{fl}}{\eta} \rightarrow \frac{3569,01}{1,5} \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{adm} : 2379,34 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{adm} : 2379,34 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \gg \sigma_{BASTIDOR} : 50,43 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	
REV: 02		

La conclusión del análisis anteriormente descrito, menciona que la estructura hecha con los perfiles seleccionados cumple y verifica a los esfuerzos que estará sometido durante su utilización.

16. RESUMEN DE PESOS

Parte del equipo	Pesos [Kg]
Bastidor perfil C - 80x40x15x2	146
Bastidor perfil C - 80x40x15x3.2	20,7
Venturi perfil C - 80x40x15x2	354
Chapa cerramiento	17,2
Pasarela	187,2
Chapa base	7
Baranda	108
soporte flotador	100
Chapa guia	8
sistema de elevacion	116
Soporte de baranda	3
Mat. desplegado	28,5
Turbina - eje	77,4
Operadores	300
Peso del generador	10
Palanca tensor	14
TOTAL	1497,3

Los pesos calculados de las distintas partes del equipo son menores al valor de empuje que ofrece el uso de 10 flotadores.

Un valor estimado para contemplar las soldaduras para unir las distintas partes del equipo es de un 15%, aun así el peso sería un total de 1721,9 Kg. Lo que seguiría dando por debajo del valor de empuje de los flotadores (2000 kg)

El detalle de los pesos por cada parte del equipo está calculado mediante software SolidWorks 2018.

17. ANEXOS

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		

17.1 Anexo Ley 20.094 Navegación

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/43550>

17.2 Anexo Clasificación de turbinas según flujo

https://www.researchgate.net/publication/223345969_Hydrokinetic_Energy_Conversion_Systems_and_Assessment_of_Horizontal_and_Vertical_Axis_Turbines_for_River_and_Tidal_Applications_A_Technology_Status_Review?enrichId=rgreq-3961ad74d7109f1162c863083cb26d70-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzIyMzM0NTk2OTtBUzo5NTM1MDgxNzgxODYyNDVAMTYwNDM0NTQ3MzcxMQ%3D%3D&el=1_x_3&esc=publicationCoverPdf

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211930440X>

17.3 Anexo optimización de turbinas helicoidales- Aplicación de perfiles aerodinámicos

https://collections.lib.utah.edu/dl_files/da/49/da49ab44ee5668fee35d34079b68fee269258d88.pdf

17.4 Anexo modelado hidrodinámico con optimización de rendimiento utilizando ductos - Estudio de toberas/difusores

https://www.researchgate.net/publication/258694863_Hydrodynamic_Modeling_Optimization_and_Performance_Assessment_for_Ducted_and_Non-ducted_Tidal_Turbines

17.5 Anexo turbinas helicoidales y seguridad ambiental

<http://www.math.le.ac.uk/people/ag153/homepage/gorlovrevisedFish.pdf>

17.6 Anexo estudio de efectos de instalación de venturi en turbinas

<https://www.semanticscholar.org/paper/The-Effect-of-Installation-on-the-Coefficients-of-Pardoe/ebd6da3b7908eb5f11408e47df16369ba114eba2>

Fecha: 29/01/2024	ETAPA 3 Microturbina para ríos	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DELTA
REV: 02		

17.7 Catalogo comercial perfil c

http://acerossolaro.com.ar/pdf/industria/Hoja_tecnica_Perfiles.pdf

17.8 Anexo catálogo de malla para bastidor

<https://www.hierrostrorrent.com.ar/metal-desplegado/>

18. BIBLIOGRAFIA

- **Energía del viento y diseño de turbinas eólicas** (Ricardo A. Bastianon)
- **Campañas de aforos líquidos Delta del Rio Paraná 2016-2017** (Instituto Nacional Del Agua)
- **Mecánica de fluidos, 6ta Edición** (Robert L. Mott)
- **Diseño en ing. Mecánica de Shigley Novena Edicion**(Richard G. Budynas & J. Keith Nisbett)
- **Diseño de máquinas un enfoque integrado 4ta. Edición** (Robert L. Norton)
- **Fisica para ciencias e ingeniería** (Raymond A. Serway y John W. Jewett, Jr.)
- **Mécanica de materiales 8va. Edicion** (Russell C. Hibbeler)
- **Mecanica de materiales 7ma. Edicion** (James M. Gere & Barry J. Goodno)