



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA Y SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL
SEDE SANTIAGO

Proyecto de ideación: Minicentral Hidroeléctrico canal el Carmen Parque Metropolitano

Herramientas para el Ordenamiento Territorial

Profesor: Margareth Gutiérrez

Estudiantes: Sofía Arenas Orellana

Moisés Andrés Olguín Espinoza

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS	ii
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES	3
METODOLOGÍA.....	5
CONCLUSIÓN.....	12
Conclusión Final.....	12
REFERENCIAS	14
ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

En el siguiente trabajo se analizará la posibilidad de construir una rueda hidráulica modelo Poncelet en el canal El Carmen, ubicado en el Parque Metropolitano de Santiago, Chile.

Este proyecto consta de un estudio detallado de la zona y la viabilidad de instalar una rueda hidráulica Poncelet con el propósito de aprovechar el flujo del canal, logrando generar energía limpia para un sector del parque. Dentro del estudio se evaluará cuánta energía podría generar el canal y si ésta sería suficiente para satisfacer la demanda energética del alumbrado y otros servicios en un área específica del parque. La zona de implementación será definida según la capacidad energética del canal, ya que aún no se conocen datos específicos. En el estudio se incluirán cálculos que permitirán determinar si se generará energía suficiente para el alumbrado, lo que ayudará a definir la zona de implementación.

El proceso es más eficiente con el tipo de rueda hidráulica de Poncelet, que presenta álabes curvos, en comparación con la rueda de paso de palas planas. La rueda de Poncelet tiene una mayor capacidad de transformación de energía y registra un rendimiento máximo del 50% a 70 rpm, mientras que la rueda de palas planas alcanza un rendimiento de 25% a 30% a aproximadamente 50 rpm.

Para llevar a cabo este proyecto, se realizará un análisis exhaustivo de la zona donde se encuentra el canal, identificando la flora y fauna local y considerando el impacto ambiental que la construcción podría generar. También se analizarán los aspectos físicos, como el tipo de suelo y el caudal del canal.

Se revisarán los antecedentes de la zona para comprender mejor el entorno en el que se trabajará, enfocándose principalmente en los aspectos ambientales del Parque Metropolitano. De esta manera, se podrá planificar la construcción de la rueda hidráulica Poncelet de la manera más informada posible, tomando decisiones bien fundamentadas sobre el futuro del proyecto y su viabilidad.

El proyecto incluirá el estudio y análisis de los componentes necesarios para la rueda hidráulica Poncelet, que dependerán del caudal y la capacidad de flujo del canal. Se mencionarán los materiales e instrumentos que se utilizarán.

Principalmente, en este proyecto se estudiará construir una rueda hidráulica Poncelet en el canal El Carmen, para generar energía suficiente para satisfacer la demanda energética del alumbrado y otros servicios de un sector del parque. Además, se buscará mejorar la percepción de seguridad al aumentar la iluminación de la zona, y se intentará no causar un impacto negativo en el ambiente con las instalaciones y obras realizadas.

Objetivos

- Objetivo general: idear un sistema de energía hidroeléctrica en el cerro San Cristóbal, aprovechando la eficiencia del caudal de agua disponible para generar electricidad limpia y sostenible. El proyecto busca satisfacer las necesidades energéticas específicas del área, como la iluminación pública y la seguridad.
- Objetivos específicos:
 - Aprovechar el caudal del canal el Carmen para generar energía limpia y renovable, ideando implementar infraestructura como postes de luz y cámaras de seguridad en una zona localizada.
 - Fomentar un impacto positivo en la sociedad y promover la adopción de energías limpias, con la implementación de una mini central hidroeléctrica. Buscando generar conciencia ambiental y la proliferación de proyectos de energía limpia.
 - Evaluar la necesidad energética de la zona en la que se busca implementar la hidroeléctrica, para así poder evaluar la factibilidad del proyecto, tomando en cuenta si es posible generar la energía suficiente para la zona.

La efectividad de la rueda hidráulica en su caudal se puede medir observando la relación entre la velocidad tangencial de las palas de la rueda y la fuerza ejercida por el flujo de agua sobre ellas. Además, se puede analizar la potencia generada por la máquina en función del caudal del curso de agua, lo que determinará su capacidad de alimentación y eficiencia. Para establecer la efectividad, es crucial evaluar el comportamiento del equipo en diferentes rangos de operación, variando parámetros como la velocidad y el caudal, para determinar la potencia de salida y los costos asociados a la fabricación.

ANTECEDENTES

Caracterización de la zona

Ubicación y medio físico

La minicentral hidroeléctrica proyectada se ubicará en la ladera norte del canal El Carmen, dentro del Parque Metropolitano de Santiago, Cerro San Cristóbal. Esta zona se caracteriza por su topografía variada y su ubicación estratégica dentro de la ciudad de Santiago, proporcionando un entorno ideal para el aprovechamiento del caudal de agua para la generación de energía limpia.

Sistema hídrico

El canal El Carmen forma parte del sistema hídrico del Parque metropolitano. Este canal se alimenta principalmente de aguas provenientes de las precipitaciones y del derretimiento de nieve de la cordillera. Su caudal varía estacionalmente, presentando mayores flujos durante los meses de primavera y verano debido al deshielo. El canal posee características adecuadas para la implementación de una hidroeléctrica de pasada, permitiendo el desvío controlado del agua hacia la infraestructura de generación sin alterar significativamente su curso natural.

Flora: la vegetación alrededor del canal El Carmen es diversa, contribuyendo a la estabilidad del ecosistema y a la estética del parque. Entre las especies más destacadas se encuentran:

- **Enredaderas:** plantas trepadoras que cubren muros y superficies rocosas, proporcionando hábitats para varias especies de fauna.
- **Tesaria:** arbustos nativos que crecen en suelos bien drenados, típicos de zonas semiáridas.
- **Cola de Zorro:** pasto alto que crece en áreas abiertas y soleadas, formando parte importante de la cobertura vegetal del parque.
- **Pimiento:** árboles característicos de la zona que ofrecen sombra y protección a otras especies vegetales y animales.

Fauna: la fauna en la ladera norte del canal El Carmen es variada y adaptada a las condiciones semiáridas del entorno. Entre las especies más notables se encuentran:

- **Lechera común:** mariposa vista en la zona, especialmente durante la primavera.
- **Lagartijas:** varias especies de lagartijas que suelen tomar sol entre las enredaderas, aunque son difíciles de observar debido a su comportamiento huidizo.
- **Arañas mineras y sicarias:** arácnidos que construyen sus nidos en el suelo y entre la vegetación, contribuyendo al control de plagas.
- **Culebras:** reptiles que se encuentran en la zona y ayudan a controlar poblaciones de pequeños roedores e insectos.

Materiales de construcción

Para la construcción de la rueda hidráulica en el canal El Carmen, se utilizarán materiales y componentes específicos que aseguran la eficiencia y sostenibilidad del proyecto

- **Rueda o Rodete:** El elemento principal que convertirá la energía cinética del agua en energía mecánica. La rueda será diseñada con álabes o paletas adecuadas para maximizar la captura del flujo del agua y garantizar una rotación eficiente. Se considerará el uso de materiales duraderos y resistentes a la corrosión, como acero inoxidable o aleaciones de aluminio.
- **Generador:** Dispositivo encargado de convertir la energía mecánica en energía eléctrica. El generador deberá ser seleccionado según la capacidad de la turbina y las necesidades energéticas del área.
- **Barrera y bocatoma:** Estructuras que permitirán desviar parte del caudal del canal hacia la turbina. Estas deberán ser construidas con materiales resistentes a la erosión y al desgaste por el flujo constante de agua.
- **Destripador:** Sistema que captará y eliminará sedimentos del agua antes de que ingrese a la turbina, evitando daños y asegurando un funcionamiento óptimo.
- **Sala de máquinas:** espacio donde se ubicará la turbina, el generador y otros componentes necesarios para la operación del sistema. Deberá ser diseñado para facilitar el acceso para mantenimiento y reparaciones.
- **Materiales variados:** incluye conductos, válvulas, sistemas de control y monitoreo, entre otros que asegurarán la correcta instalación y operación del sistema hidroeléctrico.

Este análisis y caracterización de la zona, junto con la selección de materiales de construcción adecuados, proporcionarán una base sólida para evaluar la viabilidad del proyecto y su potencial impacto positivo en la generación de energía limpia y sostenible en el parque Metropolitano de Santiago.

Caracterización de la zona (ladera norte canal el Carmen, medio físico, sistema hídrico, flora, fauna, etc)

Materiales de construcción

Posibles ideas de cómo construir la hidroeléctrica y de qué manera

Vegetación alrededor: enredaderas, tesaría, cola de zorro, pimientos

Fauna: lechera común, en primavera, se pueden ver lagartijas que salen a tomar sol entre las enredaderas del parque, pero son muy huidizas y cuesta verlas.

Arañas mineras, araña sicario, águila mora, culebras, aguilucho

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este proyecto se seguirá una metodología rigurosa y estructurada, que incluirá varias etapas claves para asegurar la viabilidad y sostenibilidad de la instalación de la rueda hidráulica Poncelet en el canal El Carmen.

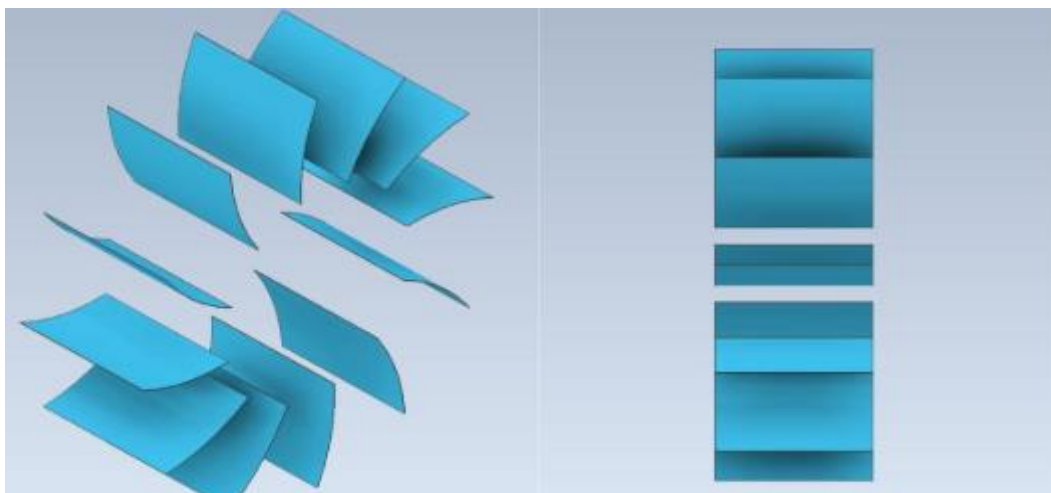
- **Material de construcción:** Para el cuerpo y alabes de la rueda hidráulica serán diseñados en acero A36, una aleación de acero al carbono de propósito general muy comúnmente usado en estructuras metálicas. De los aceros al carbono, el acero ASTM A36 es una de las variedades más comunes en parte debido a su bajo costo. Ofrece una excelente resistencia y fuerza para un acero bajo en carbono y aleación.

Las propiedades mecánicas de este acero se presentan en la siguiente tabla:

Propiedades mecánicas	
Módulo de elasticidad	200 GPa
Resistencia a la tracción	400 – 550 MPa
Límite elástico	220 – 250 MPa
Módulo de corte	79,3 GPa
Elongación	20 – 23 %
Dureza Brinell	119 – 162
Módulo de Poisson	0,26
Prueba de impacto Charpy con muesca en V, J (ft·lbf)	27 (20)
Límite de fluencia	250 MPa

- **Alabes de la rueda hidráulica:**

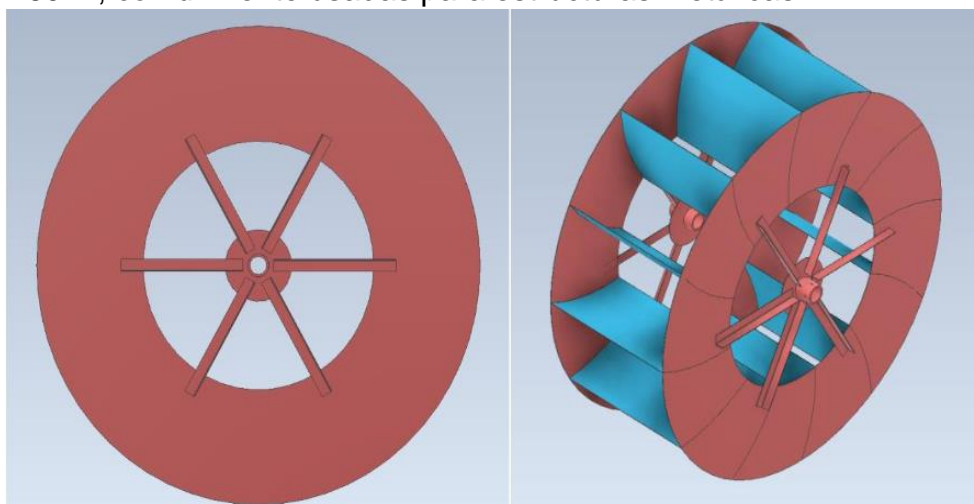
En vista de los resultados que se han expuesto en el apartado, la opción óptima para la generación de electricidad es la rueda de Poncelet de álabes curvos, los cuales presentan una mayor capacidad de transformación de energía que una rueda de paso, cuya interacción con el canal genera pérdidas de carga por efectos del roce viscoso del agua con el movimiento de la máquina:



Para reducir la influencia de la resistencia viscosa al movimiento de las aspás de la rueda hidráulica, es que se necesita generar un mecanismo capaz de limitar la interacción del agua con la parte posterior de ellas, esto es, que las aspás no permanezcan sumergidas en el canal. Esto se logra mediante una rampa de cauce que levante la base del canal creando un pequeño “salto” entre la rampa y el canal para que el agua caiga y se reduzca su interacción con la parte posterior de las aspás

- Rueda de paletas o corona:

Las coronas están compuestas por planchas de acero de 3mm de espesor, con un diámetro de entre 1,5 m y un con un diámetro interior de 1 metro, las que se unen, por la parte exterior de 6 perfiles angulares laminados, que hacen de radio que conectan con el disco interior que soporta el eje de la maquina; y por la parte interior los 12 alabes que comprenden la turbina, complementando el ensamble de la rueda hidráulica. Estas piezas van soldadas con soldadura E6011, comúnmente usadas para estructuras metálicas.



- Plataforma de montaje en la rueda hidráulica:

La plataforma en la que va montada la rueda hidráulica consta de dos partes: el cuerpo principal de la plataforma y un sistema pivotante que permite el levantamiento de la rueda hidráulica para su mantenimiento.

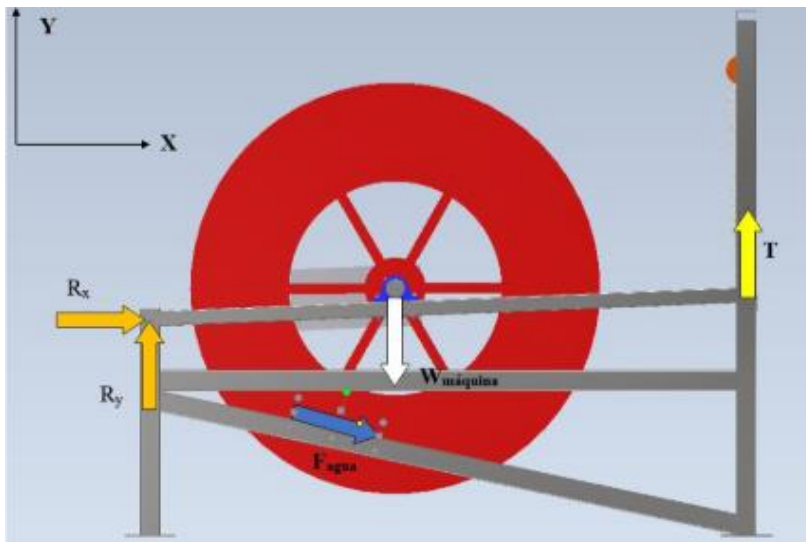
Para el cuerpo principal se diseñó una plataforma de 6 patas, dos de las cuales forman un marco de 2 m en la que será añadido un elemento para colgar un tecla manual de cadena, el cual permitirá el levantamiento y descenso controlado de la rueda hidráulica. La parte comprende perforaciones a 1 m de altura en donde va tomando un eje que permite el pivoteo del segundo cuerpo de la plataforma.

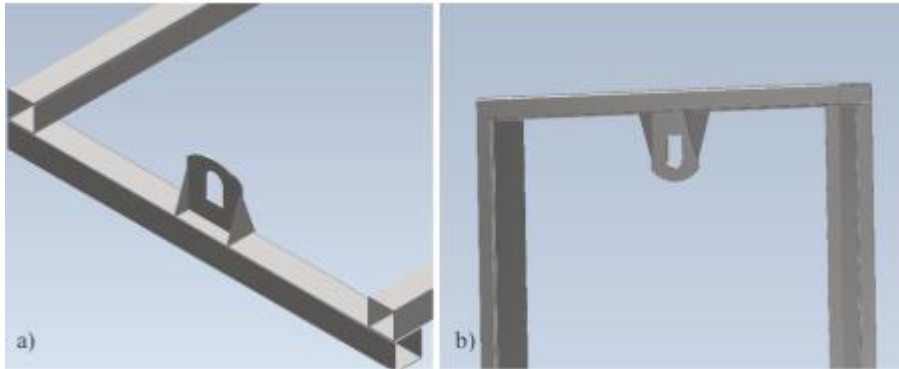


El marco pivotante es el segundo elemento de esta plataforma, el cual consiste en 3 perfiles cuadrados de 75x75x 3 mm, en donde descansa la rueda hidráulica por medio de los soportes de pie con rodamientos seleccionados. En la parte posterior se encuentra el eje pivotante, sobre el cual rota el sistema cuando se hace uso del tecla de cadena.



Ambos componentes de la plataforma de montaje cuentan con una estructura que funcione de “oreja”, donde se conecta el tecele, y es donde se va a encontrar la tensión de la cadena.

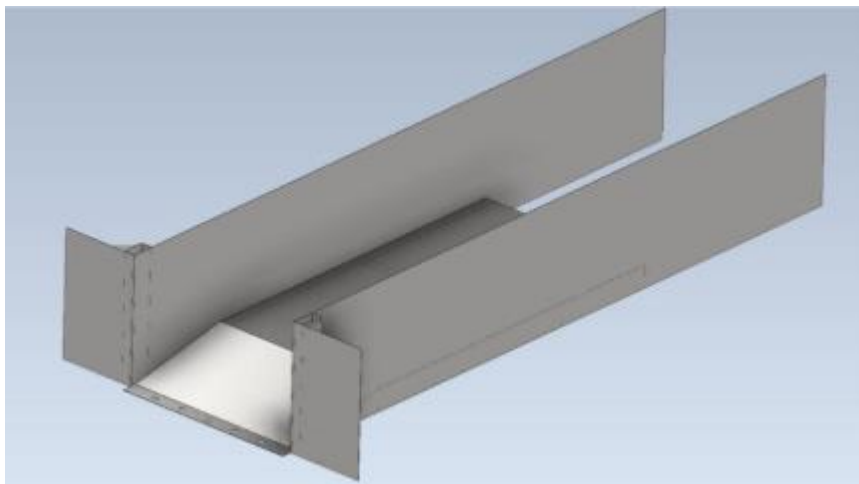




Oreja de anclaje para levante. A) sobre el marco pivotante donde descansa la rueda. B) bajo el marco de la estructura principal donde reposa el peso de la estructura.

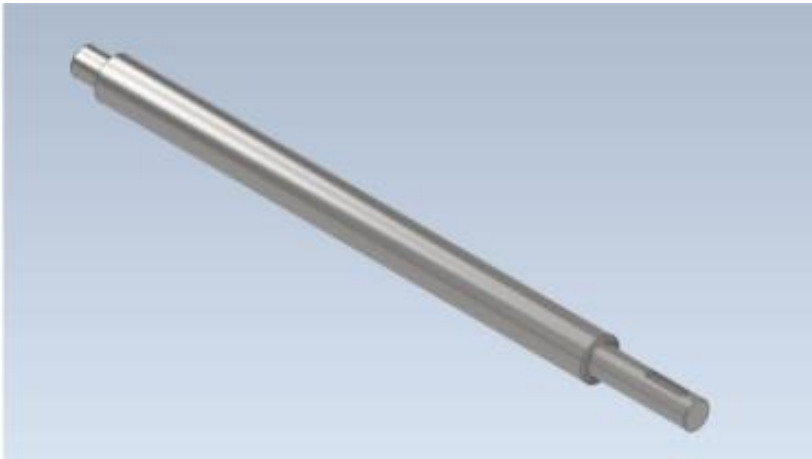
- Rampa de cauce

La función de la rampa de cauce es dirigir el cauce de agua directamente a los álabes para realizar el intercambio de energía. El diseño de esta rampa está pensado para levantar el agua desde el lecho del canal, y dejar la rueda hidráulica "en el aire" con el fin de evitar la presencia de fuerzas de reacción sobre la superficie posterior del alabe al desplazarse a través de un fluido viscoso como es el agua, lo que generaría pérdidas de carga. Las paredes laterales separan la porción del canal del resto y guían el agua circulante nuevamente al cauce original una vez transferida la energía



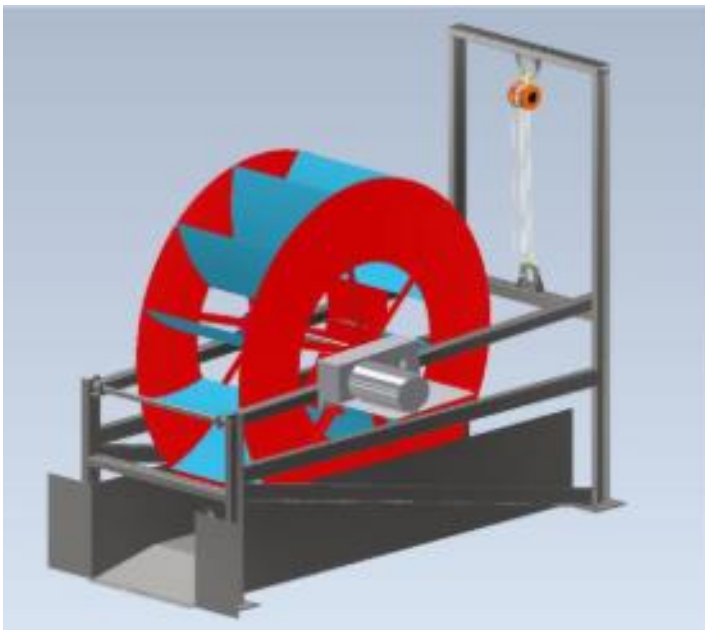
- Eje de transmisión

El eje de transmisión cuenta con una ranura para chavetero. Un mecanismo de seguridad que se diseña con el fin de, en una eventual falla, este elemento sea destruido en lugar del eje de transmisión, el cual sería más caro reemplazar. Cuenta con tolerancia de ajuste en el diámetro menor según las recomendaciones del fabricante de rodamientos.



- Ensamblaje del conjunto

En la figura se presenta el modelo final del conjunto, donde se puede apreciar la disposición geométrica de los distintos elementos involucrados y la interacción de cada uno.



Se detallan los distintos componentes de la rueda hidráulica, consideraciones de montaje, los elementos necesarios para su correcto funcionamiento y una sumatoria de materiales y fabricación. La plataforma en la cual va montada el dispositivo está hecha de perfiles de acero ASTM A36 que se encuentran comúnmente en el mercado de manera local pensando principalmente en un rápido acceso a estos materiales por conceptos de construcción y

CONCLUSIÓN

En conclusión, el proyecto de instalación de una rueda hidráulica Poncelet en el canal El Carmen, ubicado en el Parque Metropolitano de Santiago, Chile, representa una oportunidad significativa para generar energía limpia y sostenible. A través de investigación de la zona, se ha identificado que el flujo del canal puede ser aprovechado de manera eficiente para satisfacer la demanda energética de alumbrado y otros servicios en un área específica del parque.

La rueda hidráulica Poncelet, con sus álabes curvos, ofrece una eficiencia superior en comparación con las ruedas hidráulicas tradicionales de palas planas. Esta mejora en el diseño permite alcanzar un rendimiento máximo de entre 50% y 70% a 70 rpm, mientras que las ruedas de palas planas solo alcanzan un rendimiento del 25% al 30% a aproximadamente 50 rpm. Esta diferencia significativa en eficiencia destaca la viabilidad técnica del proyecto y su capacidad para generar una cantidad considerable de energía.

El análisis exhaustivo de la flora y fauna local, así como de las condiciones físicas del canal, ha sido fundamental para garantizar que la construcción de la rueda hidráulica no cause impactos ambientales negativos. La metodología seguida, que incluye una visita a terreno, diseño detallado, asegura que el proyecto se realice de manera informada y sostenible.

Además de los beneficios energéticos, este proyecto tiene el potencial de mejorar la percepción de seguridad en el parque al aumentar la iluminación en áreas específicas. La generación de energía renovable dará una nueva visión de cómo se podrá aprovechar caudales de condiciones similares en otros sectores, sino que también promoverá el uso de tecnologías limpias.

En resumen, la instalación de la rueda hidráulica Poncelet en el canal El Carmen es una propuesta viable y beneficiosa que puede proporcionar energía limpia y sostenible al Parque Metropolitano de Santiago, mejorando tanto la infraestructura del parque como la seguridad y la calidad de vida de sus visitantes.

Conclusión Final

En conclusión, la instalación de una rueda hidráulica Poncelet en el canal El Carmen del Parque Metropolitano de Santiago es una propuesta viable y sostenible para generar energía renovable. Este proyecto no solo maximiza la eficiencia energética gracias al diseño avanzado de la rueda Poncelet, sino que también se alinea con los principios de preservación ambiental y mejora social. La energía generada contribuirá a la iluminación del parque, mejorando la seguridad y la calidad de vida de sus visitantes, demostrando que es posible implementar soluciones tecnológicas responsables y beneficiosas para la comunidad.

CARTA GANTT

Name	Texto	Estado	Duración	Cronograma - Start		Cronograma - End
Planificación y Diseño	Reuniones iniciales	Listo	14	2024-06-01		2024-06-14
Planificación y Diseño	Diseño preliminar del sistema	Listo	21	2024-06-15		2024-07-05
Planificación y Diseño	Revisión y ajustes del diseño	Listo	7	2024-07-06		2024-07-12
Planificación y Diseño	Presentación del plan de proyecto	Listo	7	2024-07-13		2024-07-19
Estudio de Factibilidad	Análisis del caudal y condiciones	Listo	31	2024-07-20		2024-08-19
Estudio de Factibilidad	Estudio ambiental y de impacto	Listo	31	2024-08-20		2024-09-19
Estudio de Factibilidad	Evaluación económica y financiera	En Proceso	31	2024-09-20		2024-10-20
Permisos y Regulaciones	Identificación de permisos necesarios	Listo	14	2024-10-20		2024-11-02
Permisos y Regulaciones	presentacion de solicitudes	En Proceso	31	2024-11-03		2024-12-03
Permisos y Regulaciones	Obtención de aprobaciones	En Proceso	14	2024-12-03		2024-12-16
Construcción e Instalación	Preparación del sitio	En Proceso	31	2024-12-17		2025-01-16
Construcción e Instalación (copy)	Instalación de la infraestructura	En Pausas	62	2025-01-17		2025-03-19
Construcción e Instalación (copy)	Conexión y montaje de equipos	En Pausas	31	2025-03-17		2025-04-16
Pruebas y Puesta en Marcha	Pruebas iniciales	En Pausas	14	2025-04-17		2025-04-30
Pruebas y Puesta en Marcha (copy)	Ajustes y calibraciones	En Pausas	7	2025-05-01		2025-05-07
Pruebas y Puesta en Marcha (copy)	Puesta en marcha oficial	En Pausas	7	2025-05-08		2025-05-14
Monitoreo y Evaluación	Monitoreo del rendimiento	En Pausas	186	2025-05-15		2025-11-16
Monitoreo y Evaluación	Evaluación periódica y reporte	En Pausas	93	2025-05-15		2025-08-15
			632	2024-06-01		2025-11-16

REFERENCIAS

Hidroeléctricas, L. M., hidro”, T. L. “mini, La energía hidráulica en energía eléctrica,

S. un M. de G. de E. R. no C. Q. T., & de una o más turbinas. Pueden ser

instaladas aprovechando, a. T. del U. (s/f). *TECNOLOGÍA MINI*

HIDROELÉCTRICA. 4Echile.cl. Recuperado el 2 de junio de 2024, de

<https://4echile.cl/wp-content/uploads/2020/11/Ficha-T%C3%A9cnica->

[Tecnolog%C3%ADDa-Mini-Hidroel%C3%A9ctrica.pdf](https://4echile.cl/wp-content/uploads/2020/11/Ficha-T%C3%A9cnica-Tecnolog%C3%ADDa-Mini-Hidroel%C3%A9ctrica.pdf)

Micro-Central Vernis: energía hidráulica producida en casa. (s/f). Interempresas.

Recuperado el 2 de junio de 2024, de

<https://www.interempresas.net/Energia/Articulos/57268-Micro-Central-Vernis->

[energia-hidraulica-producida-en-casa.html](https://www.interempresas.net/Energia/Articulos/57268-Micro-Central-Vernis-energia-hidraulica-producida-en-casa.html)

Potencia Chile. (s/f). Potenciachile.cl. Recuperado el 2 de junio de 2024, de

https://potenciachile.cl/central_hidricas/index.php

<http://dspace.utalca.cl/bitstream/1950/12935/3/2021A000798.pdf>

<https://fjarabo.webs.ull.es/TER/HIDRA/HIDRA04.HTM>

<https://es.scribd.com/document/14000407/Aplicacion-Poncelet>

https://www.youtube.com/shorts/x9i_y76mumc

https://www.appropedia.org/Hydraulic_wheels_and_impulse_turbines/es