



UNIVERSIDAD  
SAN SEBASTIAN

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

## **Propuesta de minicentral hidroeléctrica en la ladera norte del Parque Metropolitano de Santiago**



Para dar solución al reto:

**“Desafío de generación de energía en base a la cascada del Canal del Carmen”**

Propuesto por:

**“Parquemet”**

Asignatura

Profesor: Lic./Mg./Dr. Margareth Giovanna Gutiérrez Torres

Leonardo Céspedes Mandujano

Estudiante(s): Esteban Jesús Pimentel Castro

Nicolás Roberto Rojas Palacios

Javier Alejandro Salazar Reyes

## **CONTENIDO**

<b>CONTENIDO .....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>3</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
Objetivo General .....	2
Objetivos Específicos .....	2
<b>DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN O ENTIDAD COLABORATIVA Y     DIAGNÓSTICO .....</b>	<b>3</b>
Descripción de PARQUEMET: .....	3
Diagnóstico: .....	3
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>11</b>
Pasos previos a la metodología .....	11
Metodología .....	11
<b>PLANIFICACIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>17</b>
Desarrollo de la propuesta del proyecto .....	17
Análisis de Potencia y Viabilidad para la Iluminación del PARQUEMET ....	19
Análisis de viabilidad normativa y ambiental .....	20
<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>21</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>22</b>

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Ilustración 1: Historia del suelo en el Parque Metropolitano (Fuente: Geoparque).....	4
Ilustración 2: Fotografía en terreno sobre los suelos (Fuente: fotografía propia) .....	5
Ilustración 3: Área de estudio propuesta (Fuente: elaboración propia) .....	6
Ilustración 4: Boceto del área de emplazamiento con sus respectivas medidas .....	7
Ilustración 5: Imagen satelital del Canal El Carmen (Fuente: elaboración propia) .....	7
Ilustración 6: ACTUALIZACIÓN PLAN DE DESARROLLO COMUNAL (PLADECO) RECOLETA 2015-2018 .....	10
Ilustración 7: Modelo turbina Kaplan (Fuente: Shutterstock) .....	13
Ilustración 8: Modelo turbina Kaplan interior (Fuente: Shutterstock) .....	13
Ilustración 9: Modelo turbina Kaplan interior (Fuente: Agua y Agricultura) .....	14
Ilustración 10: Modelo turbina Kaplan interior (Fuente: Apuntes Revista digital de arquitectura) .....	14
Ilustración 11: Boceto de propuesta de minicentral hidroeléctrica (Elaboración propia) .....	15
Ilustración 12: Modelo 3D de Estructura hidroeléctrica, (Fuente: elaboración propia en Autocad Fusión 2025).....	18
Ilustración 13: Modelo 3D de la turbina hidroeléctrica tipo Kaplan, (Fuente: elaboración propia en Autocad Fusión 2025).....	18

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Coordenadas satelitales del Canal El Carmen .....	8
Tabla 2: Análisis de tipos de turbina .....	12
Tabla 3: Carta Gantt (Elaboración propia) .....	17

## **GLOSARIO**

**PARQUEMET:** Parque Metropolitano de Santiago

**CEC:** Canal El Carmen

**CM:** Canal Metropolitano

## **INTRODUCCIÓN**

Las grandes ciudades cuentan en su mayoría con parques urbanos denominados “**pulmones verdes**” que son un encuentro con la naturaleza para el ser humano, como también un lugar de estancia para la biodiversidad. Un ejemplo de este concepto a nivel nacional sería el Parque Metropolitano de Santiago (PARQUEMET), en donde destacan esta característica en su página web mencionando **“Somos el pulmón verde más grande de Santiago y el cuarto parque urbano más grande del mundo. En nuestras extensas áreas verdes podrás encontrar cultura, recreación, educación ambiental y deporte estando en contacto permanente con la naturaleza.”** (PARQUEMET, 2024). Tomando en cuenta lo ya mencionado, este parque cumple un rol relevante en la capital de Chile, que concentra a más de 6 millones de habitantes, ya que impacta positivamente en su calidad de vida proporcionando un punto libre de contaminación urbana, además de generar un gran interés turístico por los servicios que este ofrece a sus usuarios.

Si bien es grato tener un área verde dentro de la capital por todos los servicios ecosistémicos que ofrece, también es necesario entender lo importante que es su mantenimiento y cuidado, cosa que PARQUEMET tiene claro y declara en su página, en donde explican su Plan de Reducción de Consumo Hídrico, que dice **“El Plan de Reducción de Consumo Hídrico en Parquemet considera una serie de acciones enfocadas en las técnicas de riego, plantación de especies de bajo consumo y reciclaje. Con esto, se espera hacer frente a la crisis que afecta nuestro país desde hace más de una década y que incluso ha significado el anuncio del racionamiento de agua en la Región Metropolitana.”** (PARQUEMET, 2022). Considerando el paso acelerado del cambio climático y cómo ha incidido en la situación país referente a la sequía, se suma otro factor para tener en cuenta. PARQUEMET a día de hoy, conserva su vegetación en gran parte gracias a los canales que lo abastecen de agua, los cuales son el Canal Metropolitano (CM) y El Canal El Carmen (CEC), donde este último atraviesa transversalmente el parque, teniendo una salida visible en el sector de La Cascada y que genera gran interés por parte de los encargados, debido a que existe una gran oportunidad de generar energía mediante este último, como por ejemplo una hidroeléctrica, idea que iría acorde al Plan de Desarrollo Sostenible, en el apartado de Eficiencia Energética que menciona lo siguiente **“En línea con la necesidad de descarbonizar las fuentes de energía es que como Servicio se quiere hacer una transformación profunda en esta materia, de forma de mejorar nuestro rendimiento energético, así como la percepción de los usuarios, favoreciendo el uso consciente de la energía.”** (PARQUEMET, 2022).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Desarrollar una propuesta de diseño para una minicentral hidroeléctrica en el PARQUEMET aprovechando el caudal del Canal El Carmen, con el fin de generar energía eléctrica para alimentar la red eléctrica interna del parque y así poder reforzar el sistema lumínico.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar un diagnóstico general del PARQUEMET, en torno a sus aspectos físicos, sociales y normativos, para comprender el contexto en el cual se desarrolla la propuesta.
- Evaluar la viabilidad técnica y ambiental de construir una minicentral en el PARQUEMET, considerando las condiciones del entorno, específicamente el sector de La Cascada, y las posibles perturbaciones medioambientales y sociales asociadas.
- Analizar la factibilidad normativa de la propuesta de proyecto de minicentral hidroeléctrica, asegurando el cumplimiento total de las regulaciones y leyes aplicables.

## **DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN O ENTIDAD COLABORATIVA Y DIAGNÓSTICO**

### **Descripción de PARQUEMET:**

El PARQUEMET es un parque urbano ubicado en la ciudad de Santiago, capital de Chile, que está formado por los cerros San Cristóbal, Chacarillas, Los Gemelos, Cerro la Pirámide, Cerro Polanco y el Cerro El Carbón, y los sectores Tupahue, Lo Valdés, Pirámide y Bosque Santiago. Este se subdivide entre cuatro comunas de la ciudad, que son Huechuraba, Providencia, Recoleta y Vitacura. El parque presenta una superficie de aproximadamente 737 hectáreas, que dada esta característica lo convierte en el pulmón verde más grande de Santiago y el cuarto parque urbano más grande del mundo. En estas extensas áreas verdes se puede encontrar cultura, recreación, educación ambiental y deporte estando en contacto permanente con la naturaleza.

El parque fue creado en abril de 1966, al incorporar el Zoológico Nacional y los servicios del cerro San Cristóbal, y su administración depende del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Como se mencionó anteriormente el parque dentro de sus atractivos turísticos incluye el Zoológico Nacional, además de considerar la disponibilidad de la piscina Tupahue, teleféricos y funiculares alrededor del parque, el anfiteatro Pablo Neruda, jardín botánico, santuario de la inmaculada concepción del Cerro San Cristóbal y Jardín Japonés.

### **Diagnóstico:**

#### **Canal El Carmen**

Dentro de los canales que se encuentran administrando agua al PARQUEMET, se pueden mencionar dos, los cuales serían el Canal Metropolitano (CM) y el Canal El Carmen (CEC). El primero ***“capta sus aguas del río Mapocho a la altura del “puente viejo” en el sector de Cantagallo”*** (AndesHandbook, 2024) y el segundo parte ***“desde su bocatomía ubicada aguas arriba de su cruce bajo el río Mapocho, hasta el partidur de los canales Colina y Batuco en el km 26,8.”*** (Sociedad de Canal de Maipo, 2024). Considerando que son las únicas fuentes de agua que recibe el parque para poder abastecerse, estas se consideran primordiales para preservar y mantener las zonas verdes dentro del parque, por ello PARQUEMET actualmente están trabajando y estableciendo planes estratégicos para hacer un manejo eficiente de este recurso, optimizando su uso en riego y otros servicios.

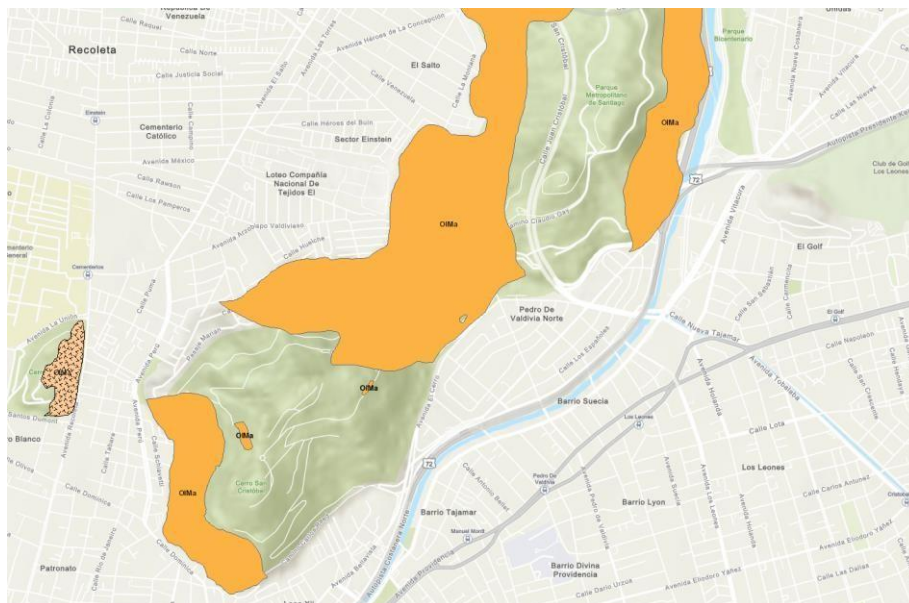
#### **Seguridad**

Como se venía mencionando anteriormente, PARQUEMET está atravesando una crisis de seguridad en su interior por los robos ocurridos en rutas de ciclistas y de turistas. Respecto a esto, según comentaba el guía en terreno de PARQUEMET, estos hechos por lo general suelen ocurrir en el sector de Ladera Norte del parque, debido a que en esa zona existen pasos no habilitados que colindan con las poblaciones de Recoleta. Sumado a ello, en dicho sector existe una cancha de fútbol, en la cual se organizan fiestas ilegales y venta de drogas, que en ocasiones terminan en grescas y conflictos armados lo cual es un factor para tener en cuenta, ya que agrava aún más la situación de inseguridad percibida en la zona por parte de pobladores y visitantes.

## Medio Físico

**Atmósfera:** El parque al estar dentro de la región Metropolitana la atmósfera se caracteriza principalmente por su inversión térmica, ***“es un fenómeno meteorológico que se asocia a la presencia de altas montañas que rodean la ciudad y a la baja de temperaturas en invierno, lo que permite la formación de una capa o “techo” de aire, estancando la dispersión de los contaminantes e inhibiendo los movimientos verticales del aire.”*** (Memoria Chilena Biblioteca Nacional de Chile, 2024), generando que el clima sea del tipo mediterráneo, de estación seca larga y con un invierno lluvioso, en donde ***“La temperatura media anual es de 13,9°C, en tanto que el mes más cálido corresponde al mes de enero, alcanzando una temperatura de 22.1°C, y el mes más frío corresponde al mes de julio con 7,7°C”*** (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2024).

**Litosfera:** En el sector de emplazamiento de la propuesta, es un lugar donde su tipo de suelo se formó principalmente por el Volcanismo explosivo de hace más de 28 millones de años, como se puede observar en la *Ilustración 2*, por lo que en el lugar se pueden observar con claridad dos niveles: el suelo más superficial, con desintegración casi completa de la roca y gran contenido de materia orgánica. Mientras que la segunda capa, debajo de la anterior, corresponde a roca mucho menos afectada por los procesos formadores de suelo, como se puede observar en la *Ilustración 3*.



*Ilustración 1: Historia del suelo en el Parque Metropolitano (Fuente: Geoparque)*



*Ilustración 2: Fotografía en terreno sobre los suelos (Fuente: fotografía propia)*

**Hidrosfera:** El caudal del CEC es alimentado por el río Mapocho y según Marcos Pfeiffer ***“Su color café está asociado a que cargan sedimentos, los que contienen gran cantidad de óxidos de hierro y de aluminio, principalmente los de arcilla y limo, que es lo que les da ese color característico”*** (Bobadilla, 2021). Como ya se mencionó las temperaturas a lo largo del año varían entre los 22,1°C y 7,7°C en promedio, además de los más de 10 años que lleva Chile en sequía, lo que por consecuencia ha traído un déficit hídrico del 61%, lo cual ha impactado en el caudal promedio de todos los canales que son alimentados por el RM teniendo importantes variaciones a lo largo del año. Por otra parte, cabe mencionar que los canales como el CEC son manejados por la Sociedad del Canal el Maipo, los cuales se encargan de hacerle una limpieza y mantención a estos anualmente, que es desarrollada generalmente entre el 28 de mayo hasta el 12 junio, esto producto de la gran carga de sedimentos que viene del RM, los cuales se van quedando adheridos en las superficies de los canales.

**Ecosistemas:** La flora y fauna que se encuentra en el sector de ladera norte del Parque Metropolitano es el siguiente.

a) Flora:

- Tunas
- Pimentero
- Colas de zorro
- Quillay
- Zarzamora

b) Fauna:

- Conejos
- Perros callejeros
- Aves:
  - Cachudito
  - Chincol
  - Mirlo

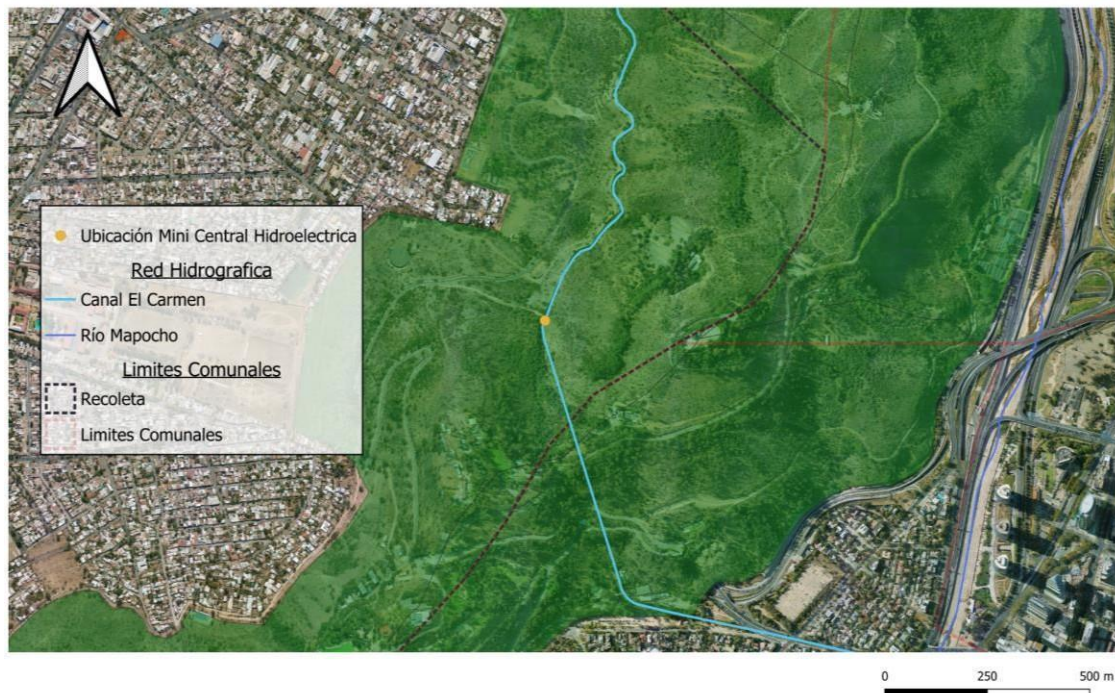


- Carpinterito
- Canastero Chileno
- Paloma
- Turca

**Zona de emplazamiento del proyecto:** La minicentral hidroeléctrica está pensada ser emplazada en el PARQUEMET, en la comuna de Recoleta, específicamente en la ladera norte, sector La Cascada, zona en la que se ubica el canal de interés. Sumado a esto, en caso de considerarse la propuesta de instalar luminarias en los sectores desprovistos de ellas, se considerarían dentro del área de emplazamiento.

### Area de Estudio propuesta

Autor: Esteban Pimentel Castro  
Ingeniería en Energía y Sustentabilidad ambiental



*Ilustración 3: Área de estudio propuesta (Fuente: elaboración propia)*

**Dimensiones de la minicentral hidroeléctrica:** La minicentral hidroeléctrica será empleada en un área de 300 m<sup>2</sup> aproximadamente, con una altura máxima de emplazamiento de 10 metros, justo en la parte de la cascada perteneciente al canal, el cual se conforma de 5 escalones de 1,7 metros aproximadamente cada uno.

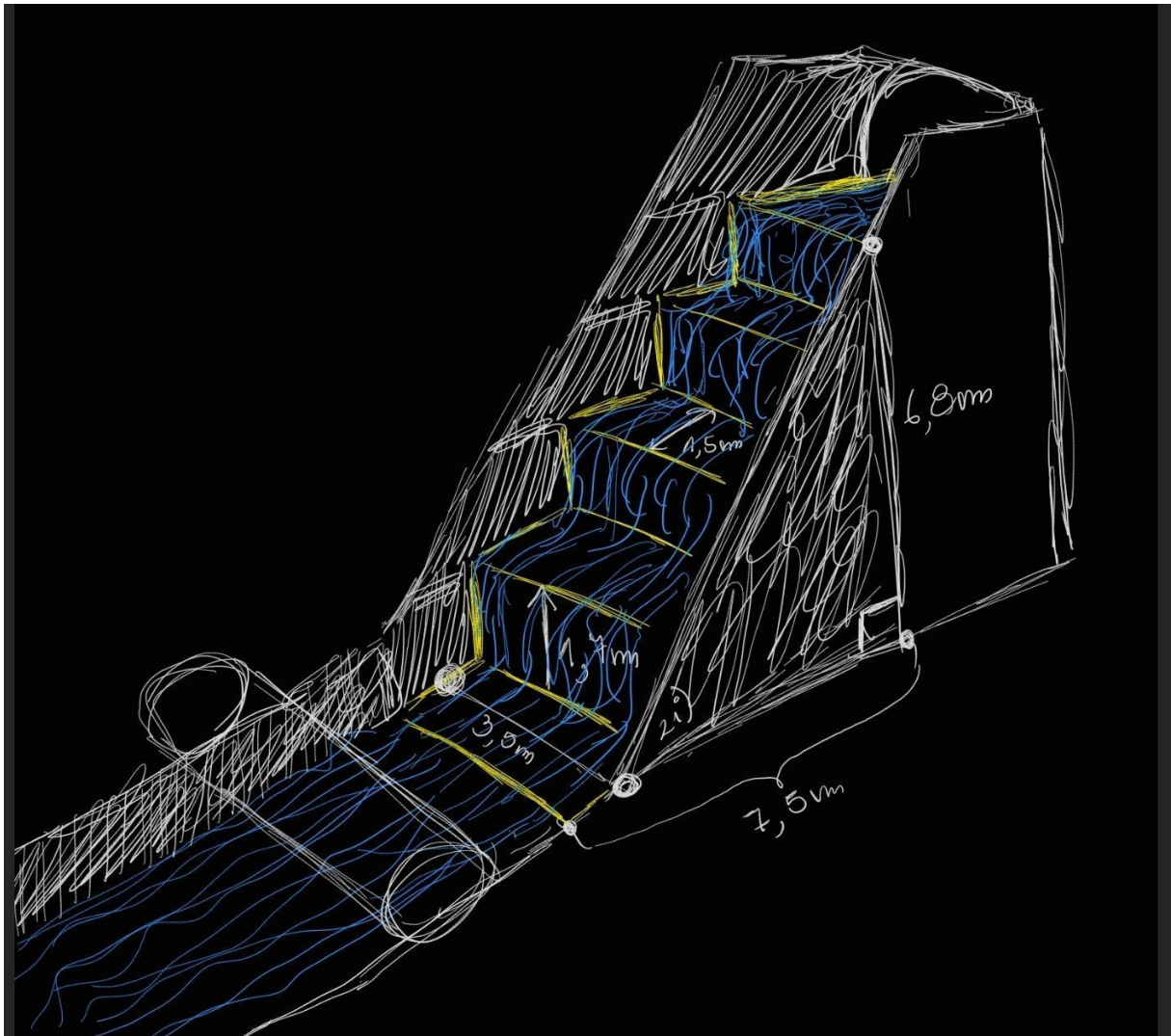


Ilustración 4: Boceto del área de emplazamiento con sus respectivas medidas



Ilustración 5: Imagen satelital del Canal El Carmen (Fuente: elaboración propia)

Coordenadas Puntos Minicentral Hidroeléctrica	Latitud	Longitud
Punto A	33°24'31.62"S	70°37'5.02"O
Punto B	33°24'30.69"S	70°37'4.60"O
Punto C	33°24'30.53"S	70°37'4.90"O
Punto D	33°24'31.47"S	70°37'5.33"O

*Tabla 1: Coordenadas satelitales del Canal El Carmen*

**Zona de influencia del proyecto:** La zona de influencia propuesta para el proyecto se sitúa en la ladera norte del PARQUEMET, específicamente en el sector la cascada, el cual se determinó principalmente por la visita de personas al parque y por la presencia de flora y fauna, ya que por una parte los visitantes son los principales visualizadores del cambio paisajístico que puede producir el proyecto, y por otra parte la posible alteración o modificación del espacio físico, el cual puede afectar a la vida silvestre y a la disminución de área verde cercana a la cascada.

Se concluyó luego de la visita a terreno del sector y el análisis del mismo, que el proyecto afecta poco o nulo al cambio paisajístico, producto del escaso flujo de tránsito en el sector. Por otra parte, el proyecto se desarrollará dentro del mismo canal ya construido previamente, lo cual no alteraría la vida silvestre o áreas verdes formadas en el sector de emplazamiento.

## Medio Humano

**Relación con el parque:** Enfocándonos en la gente de la comuna de recoleta cerca de la ladera norte del parque y a los turistas que recorren los senderos de la ladera norte del PARQUEMET, se puede percibir una relación relativamente estable, ya que el parque incorpora a las comunidades y haciéndoles consultas pertinentes para la implementación de cualquier proyecto que se incorpore al PARQUEMET.

### Impacto social:

1. **Generación de empleo:** La construcción de infraestructura e instalación del equipo acorde a la minicentral hidroeléctrica requerirá tanto, mano de obra como supervisión de esta por lo que se generarán vacantes de trabajo para desarrollar estas actividades.
2. **Mejora de la Infraestructura:** El proyecto es una mejora a la infraestructura del parque en el ámbito energético lo que reduce costo a largo plazo al dejar de depender en parte del gasto energético directo de la línea de transmisión. Asimismo, el posible beneficio de una mayor iluminación mejora la calidad de la visibilidad nocturna lo que permitiría aumentar la cantidad de visitas al parque.



3. **Desarrollo Sostenible:** La generación de energía eléctrica a partir de una fuente renovable y a una escala que tiene un impacto mínimo en el medioambiente como esta central hidroeléctrica cumple con los objetivos de desarrollo sustentable lo que asegura su impacto positivo a largo plazo.
4. **Turismo:** Al verse mejorada la infraestructura existente del canal en el sector “La Cascada”, podría indirectamente aumentar el turismo en el PARQUEMET, debido a que se dispondrá de una mayor cantidad de espacios iluminados, como también a la chance del reforzamiento del plan de seguridad como con la instalación de cámaras de seguridad que se alimentarían también por la energía generada de la minicentral hidroeléctrica, lo que mejoraría la percepción de seguridad de los visitantes.

## Leyes y normativas

Tomando en cuenta la zona en que se encuentra la cascada de PARQUEMET y las características del proyecto, es necesaria la verificación de las leyes y normativas correspondientes a ello en caso de querer respaldar la viabilidad normativa del proyecto. Entre las normativas involucradas se encuentra:

### Plan regulador de Recoleta:

- AV-4 PARQUE METROPOLITANO: Se regirá por las normas y condiciones establecidas en los Artículos 5.2.1 y 5.2.2 de la Ordenanza del P.R.M.S.

### Ordenanza Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS):

- **Artículo 5.2.2:**  
Parques Metropolitanos: *“Son las áreas verdes de uso público de carácter metropolitano que pueden acoger actividades relacionadas con lo recreacional, deportivo, de culto, cultural, científico, de esparcimiento y turismo al aire libre. Los usos antes mencionados deberán ser complementarios y compatibles con el carácter de área verde de uso público, su valor paisajístico o su equilibrio ecológico.”* (Secretaría Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo, 2007).

### El proyecto se emplaza en la Zona 1:

Usos de suelos permitidos: Equipamiento de nivel Metropolitano e Intercomunal de Cultura, Áreas Verdes, Esparcimiento y Turismo - excepto Establecimientos de Hospedaje -, Zonas de Picnic, Piscinas, Restaurantes, Funicular y Teleférico, siempre que no generen una degradación del medio ambiente natural, ni hagan perder al parque su calidad de área verde ni su valor paisajístico. Se prohíbe la instalación de infraestructura de telecomunicaciones- mástiles para antenas - publicidad de cualquier tipo y vialidad urbana.

El proyecto al tener como objetivo generar energía para el funcionamiento del PARQUEMET, entra entre las actividades permitidas para uso de suelo. (Secretaría Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo, 2007).

## Ley 19300: Ley sobre bases generales del medio ambiente

- **Artículo 42:** El Ministerio del Medio Ambiente conjuntamente con el organismo público encargado por la ley de regular el uso o aprovechamiento de los recursos naturales en un área determinada, exigirá, cuando corresponda, la presentación y cumplimiento de planes de manejo de los mismos, a fin de asegurar su conservación.

Estos incluirán, entre otras, las siguientes consideraciones ambientales:

- a) Mantenimiento de caudales de aguas y conservación de suelos;
- b) Mantenimiento del valor paisajístico, y
- c) Protección de especies clasificadas según lo dispuesto en el artículo 37.

### Estudio de Riesgo:

- La zona de emplazamiento es AV-4 con una pendiente de 20 a 25 grados.

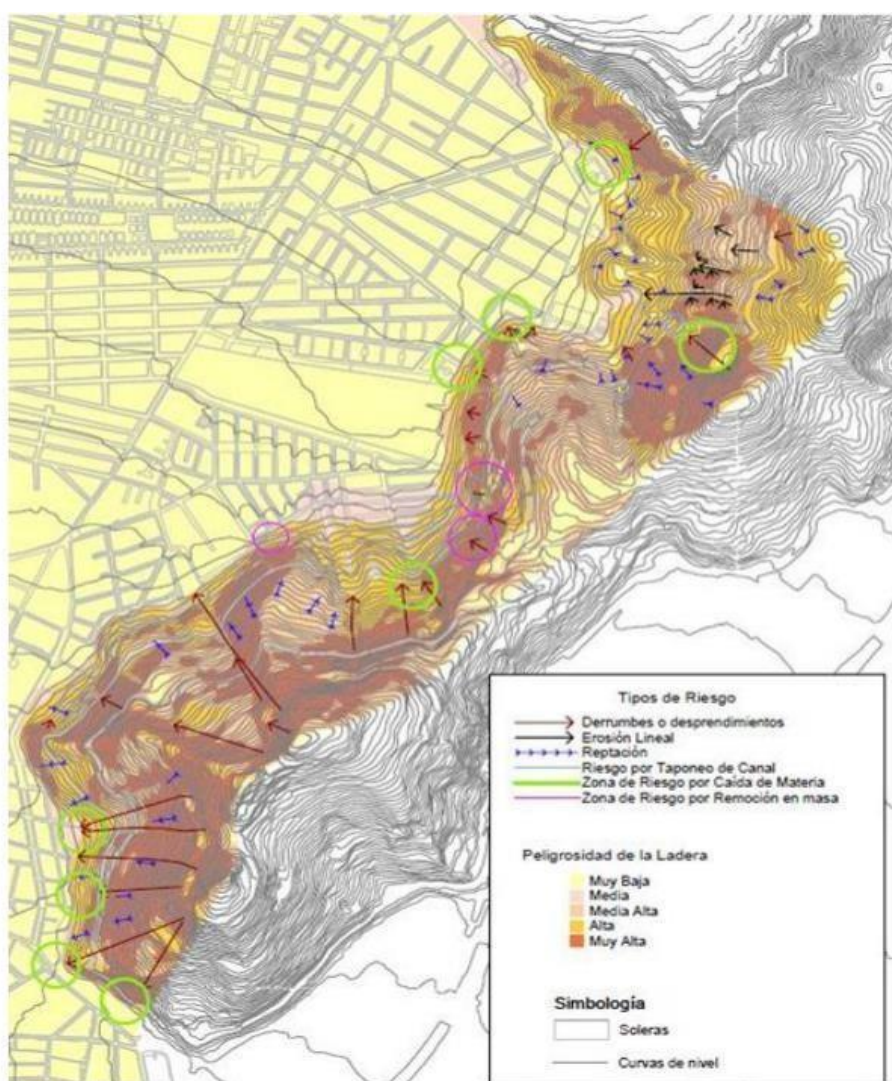


Ilustración 6: ACTUALIZACIÓN PLAN DE DESARROLLO COMUNAL (PLADECO) RECOLETA 2015-2018

- “Las condiciones de emplazamiento de una edificación que afecta el recorrido de los canales, depende exclusivamente de la autoridad competente, que en este caso corresponde a la Asociación de Canalistas del Maipo, La Pólvara y El Carmen. Los cuales revisan y autorizan los emplazamientos en particular para cada uno.” (Comuna de Recoleta, 2000)

# **METODOLOGÍA**

## **Pasos previos a la metodología**

- **Presentación y familiarización del desafío:** Se presenta el desafío propuesto por PARQUEMET en torno a una oportunidad de generación de energía eléctrica en base al caudal del CEC.
- **Visita al laboratorio tecnológico 4.0:** Se presentan las herramientas tecnológicas disponibles para ser empleadas en el desafío junto a sus respectivos cursos en la plataforma Teams, en donde periódicamente se deberán subir los avances realizados por el equipo.
- **Clase de reforzamiento:** Se llevó a cabo una clase de reforzamiento en hidráulica para aclarar los conceptos clave y determinar los datos necesarios que deben recopilarse durante la visita a terreno.

## **Metodología**

### **1. *Revisión de información secundaria***

Se hizo una revisión deductiva de la información secundaria pertinente al proyecto como es el caso del medio físico, humano, normativo y de seguridad, para así tener una visión general y completa en torno al área de estudio que se aborda en el desafío propuesto por PARQUEMET. Respecto al medio físico, se abordaron todos los aspectos físicos del terreno, valga la redundancia, en los que se incluye información geográfica, elementos naturales y artificiales, ecosistemas, paisaje, áreas protegidas, atractivos naturales y uso del territorio. La información pertinente a este tópico fue rescatada de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN), memoria chilena de la Biblioteca Nacional de Chile, Secretaría Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Sociedad del Canal del Maipo y la página oficial de PARQUEMET. Por otra parte, en el medio humano y seguridad se abordaron aspectos que tienen relación con la población local, visitantes, encargados del PARQUEMET y los problemas de seguridad en torno al parque. En este caso, la información recopilada se basa en reportes de la página oficial de PARQUEMET, sumado con noticias en medios y diarios oficiales. Por último, en cuanto a la normativa, se recopiló el material descargable de los planes reguladores de Recoleta, la Ordenanza del Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS) y la Ley sobre bases generales del medio ambiente, para así tener en cuenta el marco legal y los parámetros exigidos para poder cumplir nuestra hipótesis de implementación de un proyecto de generación de energía en el PARQUEMET. Dicha información fue recopilada de la página web de la Secretaría Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo. Por otra parte, teniendo en cuenta que los derechos de agua del caudal son de propiedad de la Sociedad del Canal de Maipo, donde en su página web transparentan la información del caudal de sus canales en tiempo real. No obstante, por problemas de mantenimiento de los canales y posterior corte de este por las lluvias de temporada, no se encontraba dicha información por lo que se recurrió a una noticia de un medio externo que menciona el dato de los derechos de agua del canal.

### **2. *Visita de terreno***

Se realizó una visita de campo a la localidad del PARQUEMET, específicamente en el sector de La Cascada, para contrastar con los antecedentes recabados anteriormente y complementar dicha información secundaria con la adquirida en terreno (información primaria). En el caso del medio físico, se realizaron mediciones al canal respecto a sus

dimensiones y se calculó un caudal estimado tomando en cuenta las dimensiones que este presentaba. Sumado a esta actividad se observó y dato sobre la flora y fauna presente en el lugar, junto a las condiciones que presentaba el terreno. En el caso del medio humano, se realizaron consultas al guía de PARQUEMET en torno a la problemática de seguridad percibida en el parque para así posteriormente hacer una comparación con la información secundaria recopilada. La primera visita a terreno fue para una recopilación de información primaria y la segunda estuvo enfocada en resolver dudas específicas en torno a la parte normativa involucrada. Con respecto a la obtención de mediciones, se procedió a efectuar las medidas dimensionales del canal, no obstante no se logró realizar las medidas reales del caudal debido a la falta de instrumentación.

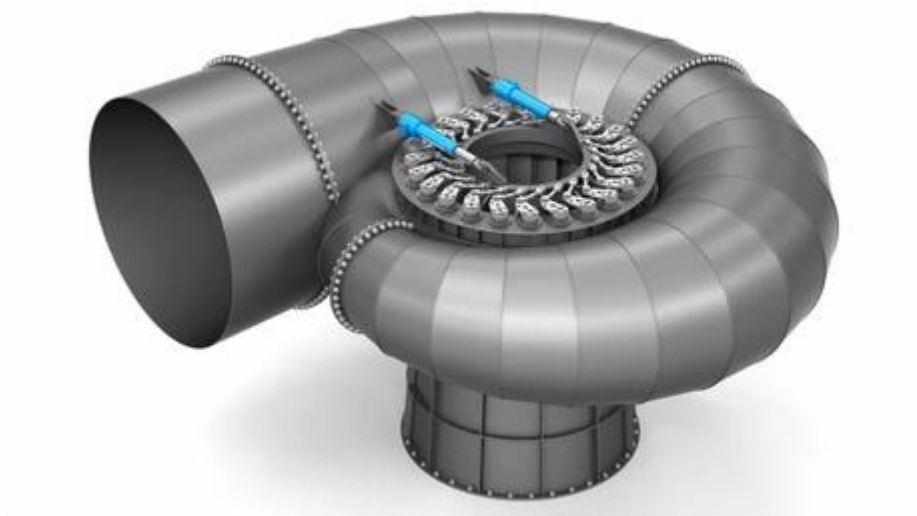
### 3. Definición de propuesta de proyectos

Tomando en cuenta los antecedentes recopilados, se realizó una reunión de equipo para hacer una lluvia de ideas y discutir sobre qué propuesta se adapta mejor a las condiciones que se presentan en la localidad del sector La Cascada, junto al tipo de caudal que se presenta en el lugar. La selección de turbinas se realizó a través de un proceso de análisis de una matriz de comparación de las turbinas como se logra visualizar en la *Tabla 2* donde, tal como se menciona antes, evaluamos la capacidad adaptabilidad del tipo para su posterior elección donde, además, se seleccionaron dos tipos que influenciaron la propuesta final.

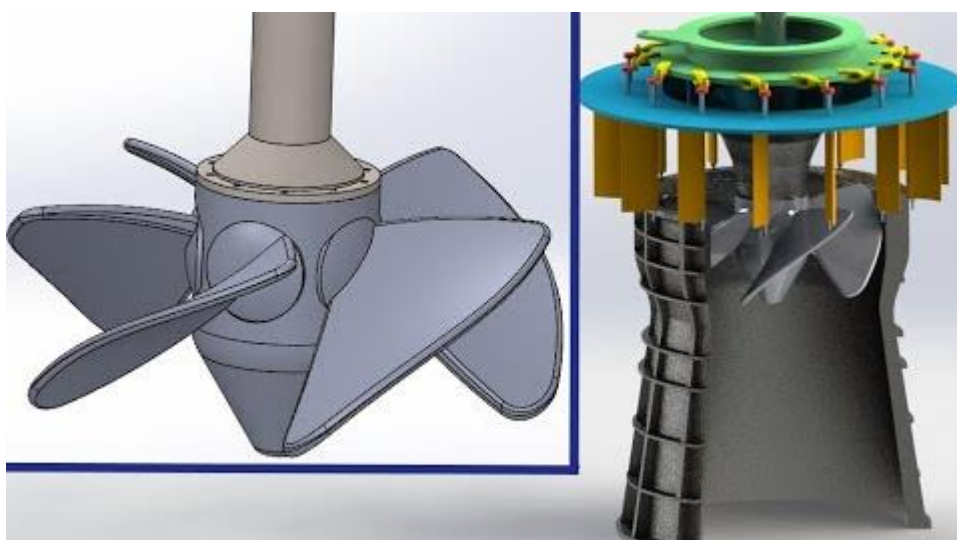
Tipo de Turbina	Eficiencia	Costo de Mantenimiento	Adaptabilidad al Caudal	Impacto Ambiental	Vida Útil	Facilidad de Instalación
Turbina Kaplan	Alta	Moderado	Alta	Moderado	Alta	Moderada
Turbina Francis	Alta	Moderado	Moderado	Moderado	Alta	Moderada
Turbina Pelton	Baja	Moderado	Baja	Moderado	Alta	Baja
Turbina Crossflow	Moderada	Alta	Alta	Baja	Moderada	Alta
Turbina de Bulbo	Moderada	Alta	Alta	Moderado	Alta	Moderada
Turbina de Hélice	Moderada	Moderado	Alta	Moderado	Moderada	Alta
Turbina Vortex	Moderada	Moderado	Alta	Baja	Moderada	Alta

*Tabla 2: Análisis de tipos de turbina*

Tomando en cuenta el análisis realizado se optó por considerar las turbinas Kaplan y Vortex, dado a que este tipo de turbinas se adaptan mejor a las condiciones del lugar. En el caso de la turbina Kaplan, esta es muy eficiente en su operación con grandes caudales de poca altura.



*Ilustración 7: Modelo turbina Kaplan (Fuente: Shutterstock)*



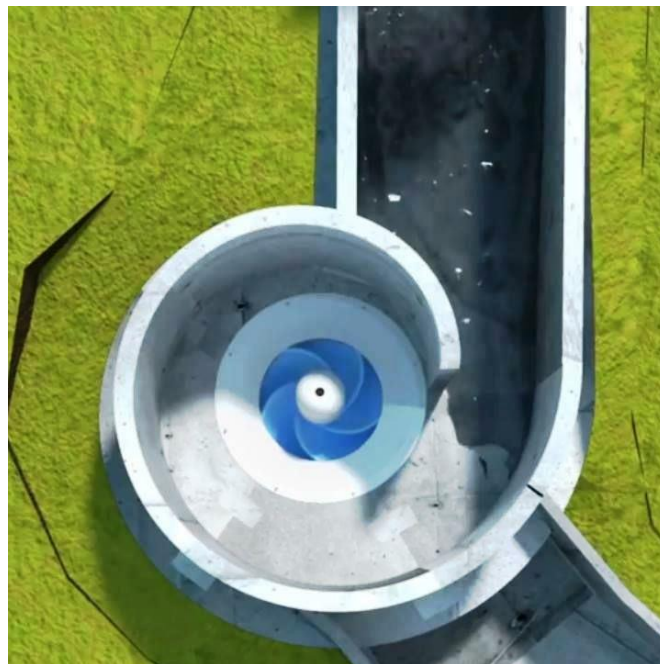
*Ilustración 8: Modelo turbina Kaplan interior (Fuente: Shutterstock)*

Sin embargo, considerando el caudal presente en el lugar y el tamaño de la turbina, la opción no resulta viable en su totalidad. Por ello, es más adecuado considerar la turbina Vortex, un subtipo de turbina Kaplan que se utiliza para caudales menores. Este tipo se suele utilizar en centrales hidroeléctricas de pasada, pero considerando la infraestructura instalada en el sector La Cascada tampoco resulta viable su implementación en su totalidad.



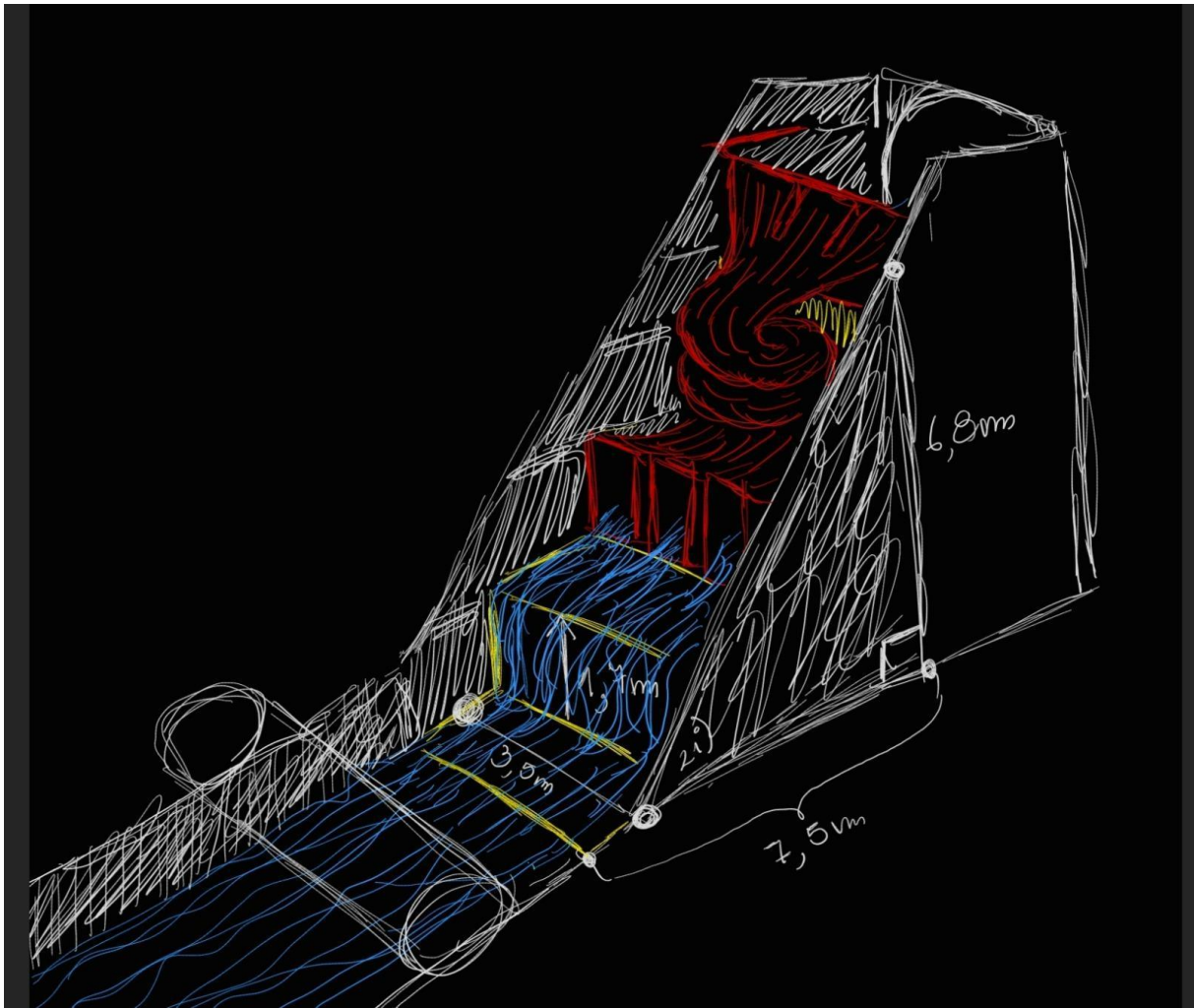


*Ilustración 9: Modelo turbina Kaplan interior (Fuente: Agua y Agricultura)*



*Ilustración 10: Modelo turbina Kaplan interior (Fuente: Apuntes Revista digital de arquitectura)*

Por ello teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de esto se optó por proponer la posibilidad de combinar ambos tipos de turbinas adaptándolas a las características de la zona y aprovechar de mejor manera el caudal proveniente del CEC. A continuación, se tiene el boceto en la *Ilustración 11* en que se logra visualizar la combinación de turbinas en la cascada de PARQUEMET.



*Ilustración 11: Boceto de propuesta de minicentral hidroeléctrica (Elaboración propia)*

#### **4. Análisis y evaluación del entorno**

Tomando en cuenta los antecedentes recopilados y el tipo de central propuesta, se procedió a realizar un análisis junto a una caracterización del entorno correspondiente al sector de La Cascada, presentando variables referentes al medio físico y humano, para posteriormente evaluar si alguno de estos factores se vería afectado en caso de instalar una minicentral hidroeléctrica.

#### **5. Análisis y evaluación de la viabilidad técnica de construcción**

En esta etapa se procedió a realizar un análisis integral que permita determinar si la construcción de la propuesta de minicentral hidroeléctrica es técnicamente viable, tomando en cuenta los antecedentes, asegurando que todas las variables críticas sean consideradas y gestionadas adecuadamente antes de proceder con la fase de ejecución del proyecto.

#### **6. Análisis y evaluación de la viabilidad normativa y ambiental**

En esta etapa se procedió a revisar nuevamente las leyes y normativas involucradas para llevar a cabo el proyecto, cerciorándose de que cumple a cabalidad cada una de ellas. Entre ellos la Ley 19.300: Ley sobre Bases Generales de Medio Ambiente, en que se evaluó las posibles afecciones medioambientales asociadas mediante una breve evaluación de los requerimientos para el proyecto.

## PLANIFICACIÓN

Actividades	Fechas													
	Abril			Mayo					Junio				Julio	
	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	
Formación de grupos y definición de cargos														
Desarrollo y entrega de contrato firmado														
Visita a terreno														
Recopilación de información primaria														
Recopilar información secundaria														
Desarrollo de minuta con propuesta individual y grupal														
Entrega de la minuta de propuesta														
Desarrollo del informe diagnóstico														
Entrega y del informe diagnóstico														
Realizar habilitadores tecnológicos														

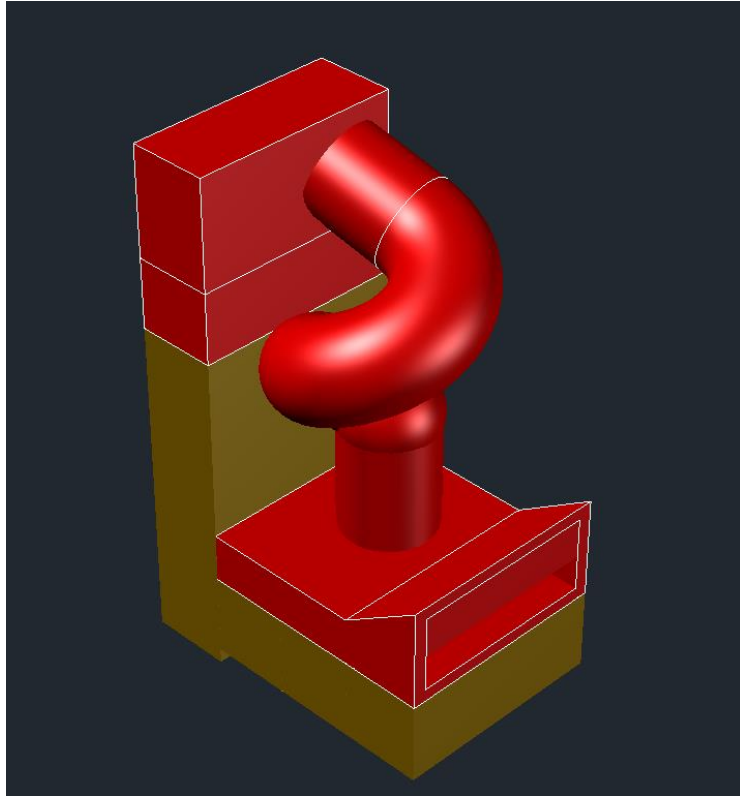
Entrega final de Carta Gantt													
Visita a terreno													
Visita laboratorio 4.0													
Desarrollo de informe final													
Desarrollo de presentación final													
Feedback de informe final y presentación													
Entrega de informe final y presentación ante audiencia													

Tabla 3: Carta Gantt (Elaboración propia)

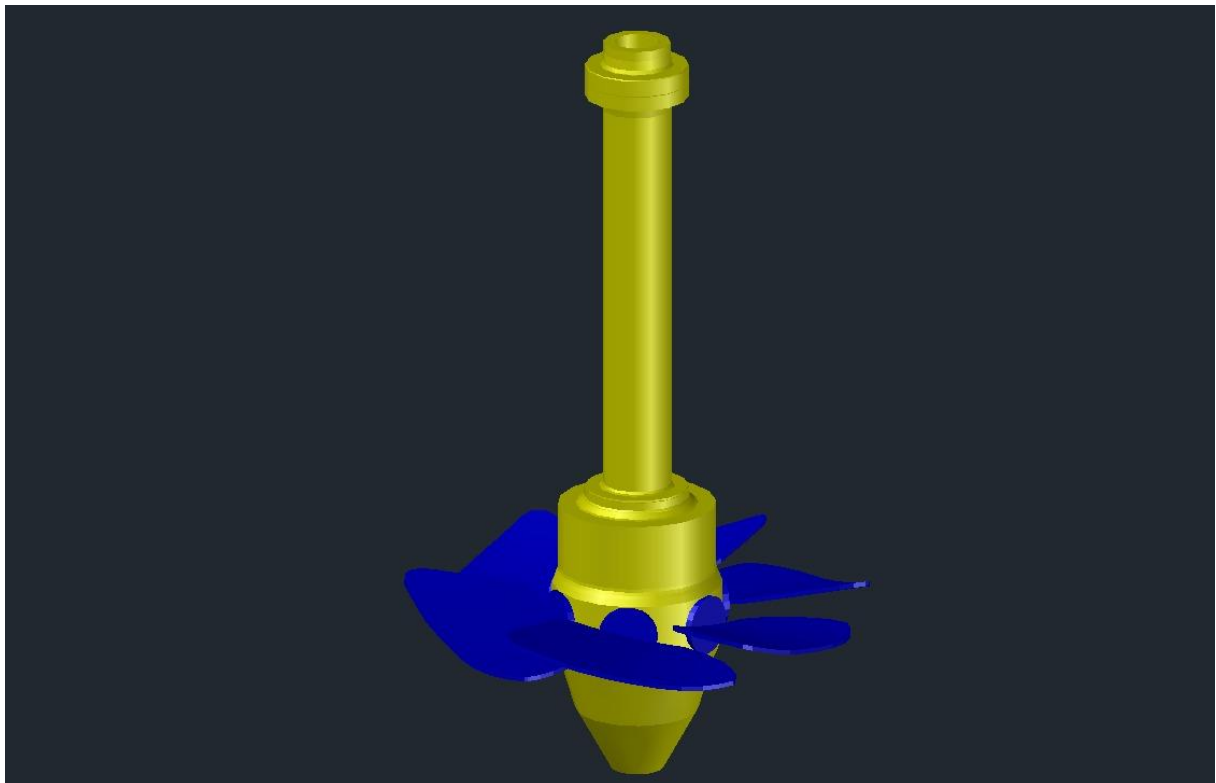
## **RESULTADOS**

### **Desarrollo de la propuesta del proyecto**

Posterior a la reunión de equipo se optó por la propuesta de combinar las turbinas Kaplan y Vortex adaptándolas al caudal e infraestructura de la zona, dando origen al modelo de la *Ilustración 12 y 13*. Esta turbina se encontraría ubicada específicamente en los escalones del canal, aprovechando el caudal directo y su pendiente.



*Ilustración 12: Modelo 3D de Estructura hidroeléctrica, (Fuente: elaboración propia en Autocad Fusión 2025)*



*Ilustración 13: Modelo 3D de la turbina hidroeléctrica tipo Kaplan, (Fuente: elaboración propia en Autocad Fusión 2025)*

Por último, el equipo eléctrico estaría instalado a un costado de la cascada recibiendo la electricidad producida de ambas tecnologías para posteriormente transmitir dicha electricidad a las luminarias del parque.

## Análisis de Potencia y Viabilidad para la Iluminación del PARQUEMET

### 1. Potencia Generada por la Turbina tipo Kaplan

Para este proyecto, se ha seleccionado una turbina Kaplan ubicada bajo una caída de 2 metros en el canal El Carmen. Los parámetros clave para el cálculo de la potencia generada son:

- **Altura de caída ( $h$ ):** 2 metros
- **Caudal ( $Q$ ):** 0.4 m<sup>3</sup>/s
- **Eficiencia del sistema ( $\eta$ ):** 70% (0.7)
- **Densidad del agua ( $\rho$ ):** 1000 kg/m<sup>3</sup>
- **Aceleración de la gravedad ( $g$ ):** 9.81 m/s<sup>2</sup>

La potencia hidráulica ( $Ph$ ) se calcula con la fórmula:

$$Ph = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot h$$

Sustituyendo los valores:

$$Ph = 0.7 \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 0.4 \frac{m^3}{s} \cdot 2 m$$

$$Ph = 5493.6 W$$

Por lo tanto, la potencia eléctrica generada es de 5.4936 kW. Si se lleva a la energía generada por día y por año se consideraría un periodo de 12 horas de funcionamiento, lo cual arroja los siguientes resultados:

#### Energía generada por día:

- **Periodo operativo:** 12 horas diarias

$$\text{Energía generada por día} = Ph(kW) \cdot 12 \text{ horas/día}$$

$$\text{Energía generada por día} = 5.4936 kW \cdot 12 \text{ horas/día}$$

$$\text{Energía generada por día} = 65.9232 kWh/día$$

#### Energía generada por año:

- **Periodo operativo:** 365 días por año

$$\text{Energía generada por año} = \text{Energía Generada por día (kW/día)} \cdot 365 \text{ días/año}$$

$$\text{Energía generada por año} = 65.9232 kWh/día \cdot 365 \text{ días/año}$$

$$\text{Energía generada por año} = 24061.968 kWh/año$$

A modo de ejemplo, con esta potencia generada se podría alimentar 55 luminarias LED de alumbrado público de 100W como se logra visualizar en el siguiente calculo:

- **Potencia de cada luminaria:** 100 W (0.1 kW)
- **Capacidad instalada:** 5.4936 kW.

El número de luminarias que pueden ser alimentadas se calcula como:

$$\text{Número de luminarias} = \frac{\text{Capacidad instalada (kW)}}{\text{Potencia por luminaria (kW)}}$$

$$\text{Número de luminarias} = \frac{5.4936 \text{ kW}}{0.1 \text{ kW}} = 54.936 \text{ luminarias}$$

Redondeando al número entero más cercano, es posible la alimentación o instalación de 55 luminarias LED de 100W cada una. Asumiendo que las luminarias estarían operativas durante 12 horas al día, el consumo diario total de luminarias de este tipo sería:

$$\text{Consumo diario} = \text{luminarias} \cdot \text{consumo en kW} \cdot \text{N}^\circ \text{ de horas}$$

$$\text{Consumo diario} = 55 \text{ luminarias} \cdot 0.1 \text{ kW} \cdot 12 \text{ horas} = 66 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$$

## **2. Viabilidad del Proyecto**

La capacidad generada por la turbina será de 5,4936 kW y con un total diario de energía generada de 65,9232 kWh. Es más que suficiente para alimentar 55 luminarias de 100 W cada una, durante 12 horas de operación estimadas. Este análisis muestra que la propuesta de minicentral hidroeléctrica no sólo es viable, sino que además entrega una solución sostenible y sustentable para mejorar la iluminación en la ladera norte del PARQUEMET.

Considerando la instalación de las luminarias como respaldo de la eficiencia de la implementación del sistema hidroeléctrico, se puede asegurar un progreso considerable en la iluminación para la ladera norte del PARQUEMET, mejorando así, la experiencia de los visitantes durante las horas con menos luz de día. Además, este progreso puede ayudar a otras variables como el fortalecimiento del plan de seguridad, por ejemplo, con la implementación de cámaras de seguridad que pueden ser energizadas con la minicentral.

## **Análisis de viabilidad normativa y ambiental**

De acuerdo con las normas sectoriales vigentes en Recoleta, la propuesta de proyecto emplazada en el PARQUEMET se rige a través de la Ordenanza Plan Regulador Metropolitano de Santiago, Artículo 5.2.2, Zona 1, lo cual define que nuestro proyecto entra en los tipos de construcciones y actividades permitidas, al ser esta una actividad que va a suministrar energía a las infraestructuras ya existentes y por existir en el parque. Respecto al ámbito ambiental, el proyecto al ser emplazado en un área verde, este debe ser manejado sobre las bases generales del medio ambiente (Ley 19.300), la cual especifica las consideraciones ambientales que debemos tener para emplazar nuestro tipo de proyecto en el artículo 42. Por lo que se debe realizar un estudio de impacto ambiental y obtener una Resolución de Calificación Ambiental (RCA) conveniente desde el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), para conocer la factibilidad de la posible construcción.



## **CONCLUSIÓN**

Como conclusión, toda la información recopilada, siendo primaria y secundaria, dio el pie para desarrollar la propuesta. La información del espacio físico del lugar, como también las características del canal El Carmen en el sector “Cascadas”, entrega la oportunidad de desarrollar una propuesta de minicentral hidroeléctrica debido a las condiciones y sabiendo que, este flujo de agua no está siendo aprovechado en ese sector. Por lo tanto, nuestro análisis de prefactibilidad de la propuesta determinó que las condiciones dadas para crear un sistema de generación son adecuadas y eficientes.

En relación a la viabilidad técnica, la minicentral generaría lo suficiente para considerarse eficiente en términos de implementación y capacidad de generación instalada. Además de la viabilidad técnica, se revisó su factibilidad ambiental y normativa que, aunque subjetivamente se perciba que no generará un gran impacto, de acuerdo a la ley 19.300, se debe realizar un plan de manejo que ayude a la mitigación y la adaptación del proyecto a los posibles impactos.

Es por ello que, como equipo tomando en cuenta estos antecedentes y visualizando las oportunidades asociadas, se sugiere la posibilidad de desarrollar una propuesta de minicentral hidroeléctrica que aprovecha el caudal disponible del CEC, fomentando el uso de energía renovables no convencionales, apoyando los planes de sustentabilidad energética que busca concretar PARQUEMET y creando la oportunidad de destinar esa energía a la alimentación, por ejemplo, de luminarias en los sectores más necesitados de esta o en cámara de seguridad para apoyar los planes de seguridad del parque.

Además para cerrar, como equipo sugerimos que el posterior desarrollo de esta propuesta se considere primero el caudal real y sus variaciones en el año que puede presentar el canal, como también el desarrollo de la factibilidad económica, para así contemplar de manera más completa los parámetros necesarios para una factibilidad real.



## **BIBLIOGRAFÍA**

- Agua y Agricultura. (s.f.). *Agua y Agricultura*. Obtenido de <https://aguayagricultura.iica.int/tecnologias-1/turbina-vortex->
- AndesHandbook. (2024). *AndesHandbook*. Obtenido de [https://www.andeshandbook.org/senderismo/ruta/855/Canal\\_Metropolitano\\_de\\_Santiago](https://www.andeshandbook.org/senderismo/ruta/855/Canal_Metropolitano_de_Santiago)
- Apuntes revista digital de arquitectura. (18 de Junio de 2018). Obtenido de <https://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2018/06/la-turbina-vortice-una-nueva-manera-de.html>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2024). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/clima.htm#:~:text=Chile%20Nuestro%20Pa%C3%ADs&text=La%20principales%20caracter%C3%ADsticas%20clim%C3%A1ticas%20que,y%20con%20un%20invierno%20lluvioso>
- Bobadilla, M. (12 de Noviembre de 2021). *Radio Pauta 100.5*. Obtenido de <https://www.pauta.cl/tendencias/2021/11/12/el-agua-del-rio-mapocho-esta-sucia.html#:~:text=En%20el%20caso%20de%20los,les%20da%20ese%20color%20caracter%C3%ADstico>
- Comuna de Recoleta. (2000). *Plan Regulador de Recoleta*. Obtenido de [https://www.recoletatransparente.cl/archivos\\_2019/sai/mayo/Estudio%20riesgo%2021%2011%202000\\_completo.pdf](https://www.recoletatransparente.cl/archivos_2019/sai/mayo/Estudio%20riesgo%2021%2011%202000_completo.pdf)
- Comuna de Recoleta. (2015). *Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) Recoleta 2015-2018*.
- Fernández, C. D. (15 de Octubre de 2020). *Turbina Kaplan diseñada en Solidworks*. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=xhlfNMU1LE4&ab\\_channel=CarlosDi%C3%A9guezFern%C3%A1ndez](https://www.youtube.com/watch?v=xhlfNMU1LE4&ab_channel=CarlosDi%C3%A9guezFern%C3%A1ndez)
- La Tercera. (19 de Febrero de 2024). *La Tercera*. Obtenido de <https://www.latercera.com/nacional/noticia/directora-s-del-parquemety-violencia-en-cerro-san-cristobal-la-cifra-de-asaltos-se-ha-duplicado-respecto-del-ano-pasado/H2N63VJICRDQJISJLXZRG3SZMQ/>
- Memoria Chilena Biblioteca Nacional de Chile. (2024). *Memoria Chilena Biblioteca Nacional de Chile*. Obtenido de <https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-95179.html#:~:text=La%20inversi%C3%B3n%20t%C3%A9rmica%20es%20un,los%20movimientos%20verticales%20del%20aire>
- PARQUEMET. (2022). *Plan de Desarrollo Sustentable*. Santiago: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile.
- PARQUEMET. (2024). *PARQUEMET El Pulmón Verde de Santiago*. Obtenido de <https://parquemec.cl/quienes-somos/>

PARQUEMET. (2024). *PARQUEMET El Pulmón Verde de Santiago*. Obtenido de <https://parquemet.cl/proyectos/plan-de-reduccion-de-consumo-hidrico/>

Secretaría Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo. (2007). *Secretaría Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo*. Obtenido de <https://ciperchile.cl/pdfs/2015/03/mineria-maipu/PRMS.pdf>

Sociedad de Canal de Maipo. (2024). *Sociedad de Canal de Maipo*. Obtenido de <https://www.scmaipo.cl/canalistas/administracion-de-canales/>