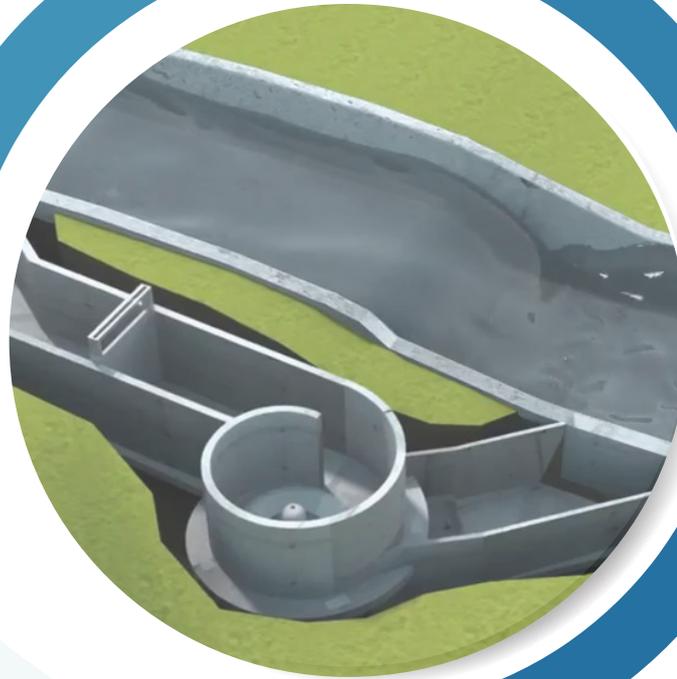


PROYECTO FINAL



MICROHIDRÁULICA: ESTUDIO Y DISEÑO DE PROTOTIPO
PARA ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN DE TURBINA DE
VÓRTICE GRAVITACIONAL.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	6
PALABRAS CLAVES.	6
MEMORIA DESCRIPTIVA	7
INTRODUCCIÓN	7
JUSTIFICACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL TEMA	8
ESQUEMATIZACIÓN Y PROCESO EJECUTIVO.....	9
OBJETIVOS	10
GENERALES	10
PARTICULARES.....	10
DESCRIPCIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO (ETAPAS 1 Y 2)	11
ANTECEDENTES.....	12
ENERGÍAS RENOVABLES.....	12
USO DE LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN EL MUNDO.....	17
ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	20
TURBINAS	30
INVENTARIO	42
LEGISLACIÓN EN ARGENTINA	42
MICROGENERACIÓN ELÉCTRICA EN ARGENTINA	54
MICROTURBINAS	54
INVESTIGACIONES EN LA REGIÓN.....	55
PREFACTIBILIDAD	62
DIAGRAMA FODA.....	62
MATRIZ DE PRIORIZACIÓN.....	62
FACTIBILIDAD	80
PLANOS	105
PRESUPUESTO.....	106
CONCLUSIÓN	107

REREFENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
----------------------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°1: ETAPAS DEL PROYECTO.....	8
FIGURA N°2: ESQUEMA DE TRABAJO	11
FIGURAS N° 3 Y 4: ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA	13
FIGURAS N° 5 Y 6: ENERGÍA GEOTÉRMICA E HIDRÁULICA	14
FIGURAS N° 7 Y 8: ENERGÍA MAREOMOTRIZ Y BIOMASA	14
FIGURA N° 9: MAPA DISTRIBUCIÓN RECURSOS HÍDRICOS EN ARGENTINA.....	23
FIGURA N°10: COMPONENTES DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.	25
FIGURA N°11: COMPONENTES DE UNA TURBINA HIDRÁULICA.	26
FIGURA N°12: CENTRAL HIDROELÉCTRICA POR DERIVACIÓN.	26
FIGURA N°13: CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE EMBALSE.	27
FIGURA N°14: CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO.	28
FIGURA N°15: POTENCIA TEÓRICA DE UNA CENTRAL.	29
FIGURA N°16: ESQUEMA FUNCIONAMIENTO DE TURBINA	30
FIGURA N°17: TURBINAS FRANCIS, KAPLAN Y PELTON	31
FIGURA N°18: TURBINA POR REACCIÓN Y POR ACCIÓN	32
FIGURA N°19: TURBINAS MÁS UTILIZADA.....	33
FIGURA N°20: TURBINA PELTON.....	34
FIGURA N°21: TURBINA FRANCIS.	35
FIGURA N°22: TURBINA KAPLAN	36
FIGURA N°23: GRÁFICO CAUDAL VS ALTURA DE CAÍDA DE AGUA	37
FIGURA N°24: DISPONIBILIDAD DISTINTOS TIPOS DE ENERGÍA RENOVABLE EN EL MUNDO ...	39
FIGURA N°25: EMISIÓN NACIONAL GASES DE EFECTO INVERNADERO	49
FIGURA N°26: DISTRIBUCIÓN REPRESAS HIDROELÉCTRICAS EN LA REGIÓN.	53

FIGURA N°27: MICROTURBINA BANKI.	58
FIGURA N°28: RODETE DE MICROTURBINA HÉLICE.....	59
FIGURA N°29: MICROTURBINA TURGO EN SOLIDWORKS	60
FIGURA N°30: CLASIFICACIÓN DE CENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	64
FIGURA N°31: ALTERNATIVAS ESTRUCTURA HIDRÁULICA.	65
FIGURA N°32: RANGOS DE OPERACIÓN PARA TURBINAS.....	69
FIGURA N°33: VÓRTICE GRAVITACIONAL O DE RANKINE.....	71
FIGURA N°34: TURBINA TORNILLO DE ARQUIMEDES PROYECTO HIDROTOR.	72
FIGURA N°35: TURBINA PORTÁTIL	73
FIGURA N°36: TURBINA HIDRÁULICA ACCIONADA MEDIANTE UN MOTORREDUCTO.	73
FIGURA N°37: TURBINA FLOTANTE.	74
IMÁGENES 38A; 38B Y 38C: GEOMETRÍA DEL TANQUE ELEGIDO DE VÓRTICE.	80
FIGURA N°40: ESQUEMA DE MEDICIÓN DE VELOCIDADES CON TUBO PITOT	91
FIGURA N°41 A.: ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN	92
FIGURAS N°41 B-C.: ESQUEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN.	93
FIGURAS N° 43, 44 Y 45: CANAL VIDRIADO DE LA FACULTAD REGIONAL CONCORDIA.	99
FIGURA N°46: GEOMETRÍA Y DIMENSIONES DEL TANQUE DE CIRCULACIÓN.....	100
FIGURA N°47: SECCIONES A ANALIZAR.	102
FIGURA N°48: SECCIONES A ANALIZAR EN EL TANQUE DE CIRCULACIÓN.	103

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°1: CLASIFICACIÓN CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.	29
TABLA N°2: ANTECEDENTES LEYES NACIONALES SOBRE ENERGÍAS RENOVABLES.	45
TABLA N°3: ANÁLISIS FODA	75
TABLA N°4: CATEGORÍAS MATRIZ PRIORIZACIÓN.....	76
TABLA N°5: MATRIZ DE PRIORIZACIÓN	78

AGRADECIMIENTOS

A todos los que me han acompañado a lo largo de este proceso tan enriquecedor. Especialmente mis padres que me han brindado siempre la libertad de elegir el rumbo de mi vida, apoyándome en absolutamente todas las ideas que se venían a la mente (muchas); haciendo posible que, cada día, la confianza en mí misma creciera. A mis hermanos, a mi cuñado, a mis sobrinos y tíos. A mis amigos por el apoyo incondicional de cada día, por creer en mí más que yo misma. Por estar tan dispuestos a ayudarme siempre sin importar hora ni distancia, especialmente a vos, Coto. A mi novio por llenarme de tanta energía positiva y entusiasmo para enfrentar nuevos desafíos, por brindarme seguridad en cada una de sus palabras. A los docentes de la Facultad Regional Concordia, en especial a Patricio Machado quien me aseguró y dió por hecho que iba a cumplir un sueño en particular (faltando muchas etapas de ese proceso por completar) y el cual pude cumplir. A mi gran profesora de alemán Celia Serfas, por haberme esperado cada mañana con esos cálidos e interminables abrazados acompañados de café caliente y seguidos de sus fructíferas clases y de tantos aprendizajes para la vida. A mis abuelos a quienes iba corriendo a contarles mis notas en primer año, verles esas sonrisas eternas y sus festejos es lo que extraño todos los días.

Por último, dedico este proyecto a mi querido Padre, sé que donde sea que estés, estás orgulloso de mí, como solías decírmelo siempre.

RESUMEN

El presente trabajo se enmarcará dentro de la temática de *Energías Renovables*, más precisamente, en la utilización del recurso hídrico como medio de generación de energía eléctrica. Para ello, se analizarán diferentes propuestas técnicas que; dentro de los criterios establecidos por los objetivos (los cuales se centran principalmente en una mínima intervención de una obra civil), conlleven al menor impacto ambiental posible en lo que respecta a un contexto de *Sustentabilidad*, remitiendo conceptos teóricos/técnicos relacionados a la *Energía Microhidráulica*.

La metodología a llevar a cabo será de índole investigativa y culminará con la propuesta de una estructura civil que satisfaga los requisitos establecidos en los objetivos (generales y particulares), y a su vez, servirá de base para la ejecución de una segunda etapa que será de carácter experimental en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad Regional Concordia y, en la cual, se probarán los aspectos técnicos de la primera parte, que involucra el presente trabajo.

Luego de los estudios realizados, se llegó a la conclusión que el sistema que cumple las premisas establecidas anteriormente, es una estructura de contención para una turbina de vórtice gravitacional.

PALABRAS CLAVES: Energías Renovables, Energía Hidroeléctrica, Microhidráulica, Sustentabilidad, Vórtice Gravitacional.

MEMORIA DESCRIPTIVA

INTRODUCCIÓN

El proyecto tiene por finalidad el estudio de caso del uso de los recursos naturales en la cuenca hidrográfica del Uruguay para la generación de energía eléctrica y la proposición resolutoria de estructuras civiles que faciliten la integración obra-ambiente en un marco holístico y sustentable.

El entendimiento de la implementación de una obra civil en un determinado contexto físico y social admite la consideración de tal acción como una integración, en donde la ejecución es solo una parte cúlmine de un proceso que se gesta bajo una transversalidad que debe impregnar, bajo determinados criterios preestablecidos, todas las fases del proceso, desde la idea inicial, a su materialización.

Los criterios que guiarán las fases del proyecto serán aquellos que prioricen la generación “limpia” de energía, con los recursos naturales de la región, desde el punto de la ingeniería civil, por lo que el modelo propuesto será la sintetización de los aspectos esbozados.

Como la identidad de cualquier obra civil se entiende desde dónde y cuándo se implementa, es fundamental asociar a la proposición una locación específica para que el estudio de caso tenga un cuerpo justificativo o bien, plantear diferentes escenarios, que, a través de su estudio, permita el alcance del propósito anterior.

Dentro de esta delimitación se considerará, para la presente tesis, un aspecto más general, que actúe como punto de partida hacia la consideración de la temática como tal en los sistemas constructivos para la generación de energía eléctrica (desde su origen) y su futura implementación.

Es por esto que el desarrollo del trabajo tendrá carácter investigativo el cual constará de dos etapas. La primera de ellas es la que abarca la presente tesis y su aporte estará vinculado a la apertura de nuevas líneas de investigación, sistema que será el fundamento de una etapa dos, en donde se someterá a prueba experimental los preceptos definidos en la etapa 1.

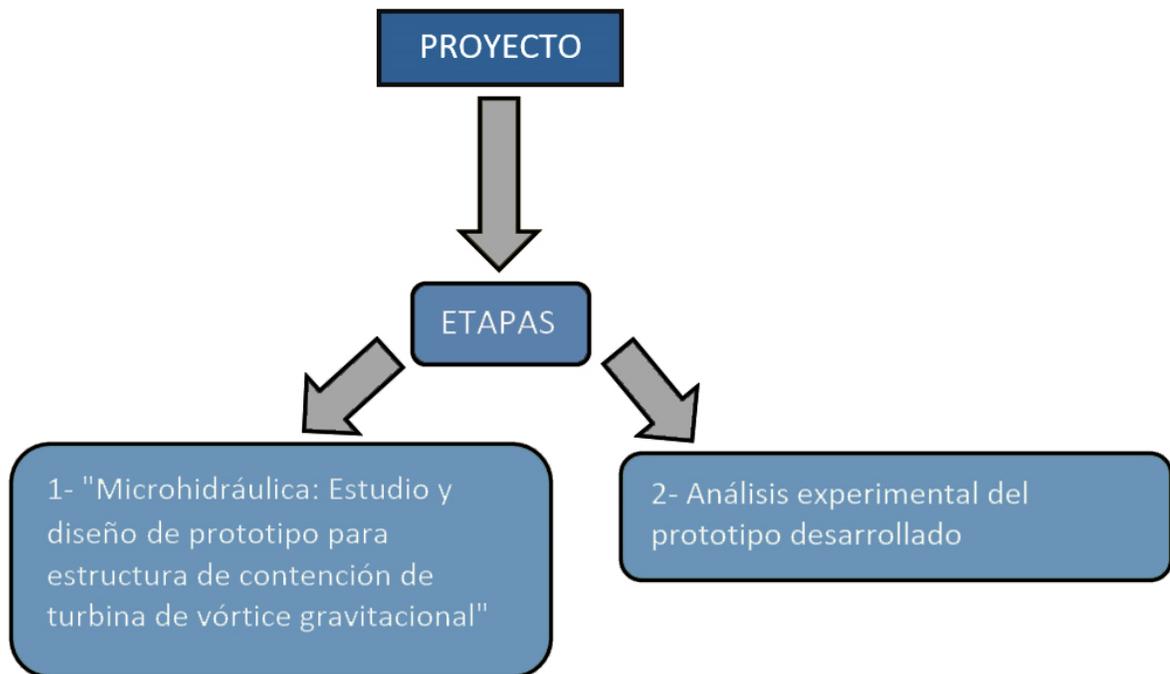


Figura n°1: Etapas del proyecto

Fuente: Autora.

JUSTIFICACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL TEMA

Las premisas definidas en la introducción y las que serán enumeradas en los objetivos están orientadas a ejecutar, en todo lo amplio del término, un proyecto gestado desde una perspectiva diferente.

Esa perspectiva pretende ser el punto de partida de un cambio de paradigma, respecto a la utilización, consideración e implementación de estructuras civiles y su relación con los recursos del medio. (Antropológico, natural y económico).

El concepto de abundancia, entendido como la amplia disposición de ciertos recursos de forma permanente ha devenido sucintamente en la disposición de dichos recursos en una magnitud paritaria, acarreado la intervención, mediante obras civiles que han impactado e impactan en grandes escalas en todos los medios anteriormente nombrados.

Es por eso que se propone la reestructuración de ese sistema estableciendo una reversión hacia un estado original, en donde exista una relación armoniosa entre intervención, impacto y estabilidad.

Desde ese lugar enfocaremos, desde lo que concierne a nuestra disciplina, la disposición de los recursos en dirección de la satisfacción de necesidades de forma sostenible. Es decir, priorizando una interrelación, en donde sus actores, sean copartícipes del proceso sin sobreponerse los unos sobre los otros de manera que se afecte el “sano” funcionamiento del circuito.

Por todo lo citado anteriormente podríamos afirmar que la sola definición de un sistema por sí solo no tiene carácter concluyente, sino que se deberán contemplar los diferentes factores de escala entre los diversos actores del circuito que habitan en un equilibrio estable, el cual es el que se pretenderá hallar.

Si bien el uso de la energía microhidráulica como fuente de generación de electricidad es algo de larga data, los conceptos afines al uso de este tipo de tecnología y aquellos asociados a los aspectos que tratará este trabajo presentan características novedosas en lo que concierne a la relación entre los medios actuantes para dicho fin y la manera en que se considera en nuestra región.

Más allá de los objetivos citados en las páginas siguientes, existe un objetivo implícito a lo largo del trabajo que está abocado a correr el eje de discusión sobre cómo utilizamos los recursos naturales en materia de generación de energía.

Ese objetivo tácito impregna la estructura del proyecto, posicionando una nueva dimensión a la hora de entender la dinámica entre obra y entorno.

ESQUEMATIZACIÓN Y PROCESO EJECUTIVO

Se define como estudio de caso, el análisis de la naturaleza de un objeto o fenómeno mediante diferentes estrategias.

El “objeto” que se pretende analizar y el alcance de dicho análisis serán enumerados en los objetivos.

La principal estrategia a utilizar será el método deductivo, desde el cual, se recorrerá unidireccionalmente, en sentido descendente, el espesor de la tarea a realizar.

La mirada crítica que interpela al proyecto, desde la visión de la ingeniería civil, resultará de la planificación de una obra específica como epílogo de una consecución de procesos de cálculo hidráulicos y estructurales y de los hechos procedimentales necesarios que sirvan de sustrato o apoyo al esquema analítico.

El esquema del trabajo se presentará en sentido consecuente desde una introducción a la conclusión (pasando por antecedentes, inventario, prefactibilidad y factibilidad lo que dictará el sentido deductivo del mismo).

A continuación, se presenta el esquema de forma gráfica.

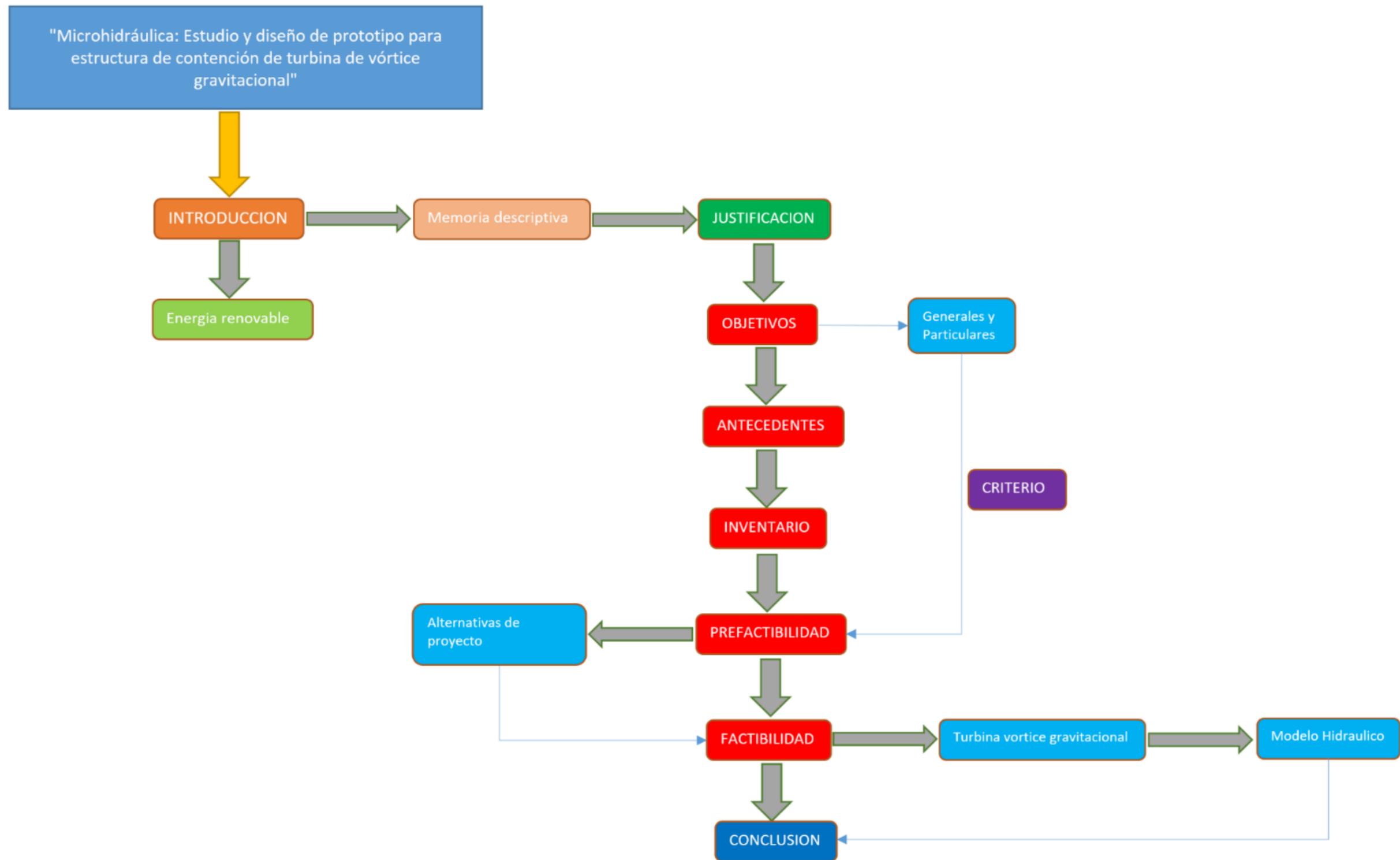


Figura n°2: Esquema de trabajo.

Fuente: Autora.

OBJETIVOS

Se enumerarán los aspectos definidos en la introducción a modo que oficien de guía operativa en el desarrollo del proyecto.

GENERALES

1- Conocer la forma en que se aprovechan los recursos naturales de nuestra región para la generación de energía eléctrica y su grado de impacto en el entorno.

2- Establecer propuestas que posibiliten la ejecución de obras civiles para la generación de energía eléctrica en forma sustentable y eficiente.

3. Abrir potenciales vías investigativas en relación a los mecanismos más eficientes, desde la ingeniería civil, para la generación de energía eléctrica, bajo las premisas establecidas, desde el punto de vista hidráulico.

4. Diseñar un proyecto de investigación para abrir nuevas vertientes de conocimiento respecto al tema y que pueda ser probado en los laboratorios de la Facultad.

PARTICULARES

1- Realizar el estudio de caso para una obra en concreto, desde sus aspectos técnicos y económicos.

2- Elaborar una conclusión que no sólo congrege los aspectos significativos del trabajo, sino también que actúe de puente hacia el desarrollo de nuevos horizontes resolutivos.

3. Diseñar y modelar un prototipo hidráulico, así también como elaborar una estructura experimental (Etapa 1) que pueda ser ensayada en el laboratorio de hidráulica de la Facultad (Etapa 2).

DESCRIPCIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO (ETAPAS 1 Y 2)

El proyecto se justificará a partir de dos etapas bien definidas, las cuales serán descritas a continuación.

ETAPA 1:

Es la que contempla la presente tesis y estará orientada (bajo las premisas de los objetivos) a una investigación que vincule el marco teórico del tema a tratar con el propósito principal de hallar un modelo físico hidráulico, que, a través de una estructura experimental, posibilite en la Etapa 2 la prueba y/o testeo de dicho modelo y su comparación con un software de modelación hidráulica de los resultados experimentales obtenidos.

Es decir que en la Etapa 1 se diseñará un proyecto investigativo.

ETAPA 2:

El objetivo de esta Etapa es desarrollar el proyecto diseñado en la Etapa 1 a través de pruebas y ensayos de laboratorio y su posterior comparación con Software de modelación hidráulica (tipo Ansys u otro).

ANTECEDENTES

ENERGÍAS RENOVABLES

Según *Greenpeace*¹, “*las energías renovables son un tipo de energías derivadas de fuentes naturales que llegan a reponerse más rápido de lo que pueden consumirse*”. Estas fuentes de energía están disponibles para la humanidad y se caracterizan por su inagotabilidad. No depende de la explotación de recursos finitos, como el petróleo o el carbón. En lugar de utilizar combustibles fósiles, se basan en recursos naturales como la luz solar, el viento, el agua, la biomasa y el calor interno de la Tierra.

Cabe mencionar que, a diferencia de las fuentes de energía convencionales, las renovables no generan gases de efecto invernadero ni emisiones dañinas para el medio ambiente, por lo tanto, un aspecto fundamental de este tipo de energías es su impacto ambiental reducido. Esto las convierte en recursos limpios que contribuyen a la mitigación del cambio climático y la preservación del entorno. Por lo contrario, la energía de fuentes no renovables contribuye directamente al calentamiento global.

Por lo tanto, las energías limpias representan una solución sostenible con el medio ambiente para satisfacer las necesidades energéticas actuales y futuras de la sociedad, y desempeñan un papel crucial en la transición hacia un sistema más energético.

Dentro de estos tipos de energías se encuentran los siguientes:

- **Energía hidráulica.** Es producida por el movimiento del agua. Se produce en las centrales hidroeléctricas en represas, las cuales utilizan el agua retenida en embalses de gran altura para que el agua en su caída pase por turbinas hidráulicas, que se encargan de transmitir la energía a un alternador, y así convertirla en energía eléctrica.

- **Energía eólica.** Energía producida por el viento. A través de los aerogeneradores o molinos de viento se aprovechan las corrientes de aire y se transforman en electricidad. Dentro de este tipo de energía podemos encontrar la marina, cuyos parques eólicos se encuentran mar adentro.

- **Energía solar.** Energía proporcionada por el Sol en forma de radiación electromagnética

(luz, calor y rayos ultravioleta principalmente). El uso de la energía del Sol se puede derivar en energía solar térmica, solar fotovoltaica, etc.

• **Energía geotérmica.** Se obtiene mediante el aprovechamiento del calor interno de la Tierra.

• **Energía mareomotriz.** El movimiento de las mareas y las corrientes marinas son capaces de generar energía eléctrica de una forma limpia. Aprovecha la energía térmica del mar basado en la diferencia de temperaturas entre la superficie y las aguas profundas.

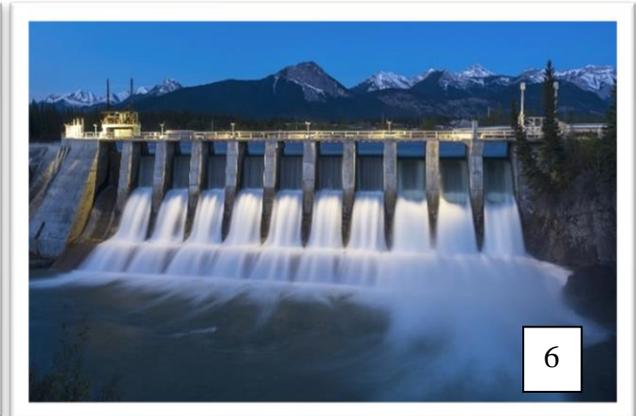
• **Energía de biomasa.** Energía procedente del aprovechamiento de materia orgánica animal y vegetal o de residuos agroindustriales. Incluye los residuos procedentes de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, así como subproductos de las industrias agroalimentarios y de transformación de la madera.



Figuras n° 3 y 4: Energía solar y eólica

Fuentes: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-solar/index.cshtml>.

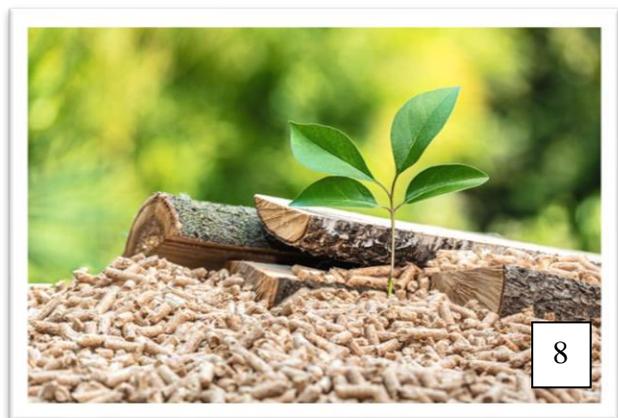
https://www.shutterstock.com/es/search/energ%C3%ADa-e%C3%B3lica?image_type=illustration



Figuras n° 5 y 6: Energía geotérmica e hidráulica

Fuentes: <https://www.pregonagropecuario.com/cat.php?txt=19648>.

<https://blog.oxfamintermon.org/descubre-las-ventajas-y-desventajas-de-la-energia-hidraulica/>



Figuras n° 7 y 8: Energía mareomotriz y biomasa

Fuentes: <https://almargen.org.ar/2017/07/15/energia-renovable-una-opcion-ante-la-propuesta-de-energia-nuclear/> <https://bio-emprender.iica.int/iica-opportunities/diplomatura-internacional-en-bionegocios-sostenibles/>

La civilización humana y las energías renovables se han desarrollado conjuntamente. Por ejemplo, cuando los primeros seres humanos comenzaron a utilizar el fuego para obtener luz y calor, estaban empleando una forma primitiva de energía renovable.

Aunque en comparación con la tecnología actual y nuestro consumo energético, el uso de la biomasa podría parecer ineficiente, el hecho de que los primeros humanos recurrieran a una fuente de energía limpia, demuestra una conexión con el entorno natural.

En cuanto a la energía solar, las civilizaciones griegas y romanas atribuían una gran importancia al sol. Los griegos diseñaban sus viviendas con consideraciones para aprovechar la luz solar, mientras que los romanos promulgaron leyes que sancionaban el bloqueo del acceso a la luz solar de los vecinos, además de construir invernaderos para optimizar el crecimiento de las plantas. Estos ejemplos demuestran la valoración histórica de la energía solar como recurso energético.

Durante los siglos X y XI, Europa experimentó un significativo progreso tecnológico en el campo de la energía alternativa hidráulica. Este avance estuvo fuertemente influenciado por el crecimiento económico y llevó a inversiones significativas en fuentes de energía limpia.

Por otra parte, en relación a la energía eólica, el primer molino de viento documentado en Europa fue en el siglo XII en Inglaterra. Su construcción surgió como respuesta a la escasez de agua o la inaccesibilidad a esta, lo que impulsó el aprovechamiento de la energía eólica. La universalidad del viento como recurso energético se hizo evidente, lo que llevó a la difusión de esta forma de energía renovable por todo el norte de Europa.

Tanto los molinos de agua como los molinos de viento desempeñaron un papel crucial en una variedad de tareas, incluyendo el batanado (la conversión de lana en tejido para la confección de ropa), lavado, curtido, molienda de granos, prensado de aceitunas, producción de pigmentos para la pintura y muchas otras labores.

Hacia el final del siglo XV, Europa contaba con una diversidad de fuentes de energías alternativas que eran prácticas y ampliamente utilizadas.

En el siglo XVII, específicamente a mediados y finales, el carbón se consolidó como una fuente de energía ampliamente reconocida por su asequibilidad y eficiencia. Este reconocimiento llevó a un dramático aumento en los esfuerzos de minería. La capacidad del carbón para arder de manera rápida y a altas temperaturas marcó el inicio de la Revolución Industrial, primero en Europa en la década de 1760 y posteriormente en América del Norte.

Sin embargo, el uso generalizado del carbón también tuvo efectos secundarios negativos, ya que la concentración de centros industriales resultó en problemas de contaminación del aire, suciedad y hollín. A pesar de estos inconvenientes, la innovación y la creciente demanda de energía durante la Revolución Industrial impulsaron la búsqueda de fuentes de energía alternativas.

Con la Revolución Industrial en el siglo XVIII, se establecieron alrededor de medio millón de molinos hidráulicos en funcionamiento. Al mismo tiempo, miles de molinos de viento generaban una potencia superior a la de los molinos de agua. Estos avances tecnológicos representaron un logro significativo en el desarrollo de generadores de energía eólica e hidráulica.

En el siglo XX, se inició un proceso de reflexión en torno al impacto de las energías no renovables. Se observó que los recursos petrolíferos eran finitos y que su explotación tenía efectos perjudiciales para el entorno. Fue entonces cuando se comenzó a considerar la importancia de las energías limpias como alternativas a estas fuentes de energía convencionales.

En la actualidad, contamos con avances tecnológicos que facilitan la transición desde fuentes no renovables hacia opciones más respetuosas con el medio ambiente. Es necesario seguir promoviendo la transformación social en las prácticas de producción y consumo para que sean sostenibles, utilizando energías verdes, el reciclaje, aprovechando el agua y minimizando los efectos negativos al medio ambiente.

USO DE LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN EL MUNDO

Para frenar el ritmo del calentamiento global, gobiernos y empresas de todo el mundo se han comprometido a alcanzar la neutralidad de carbono para 2050, lo que implica reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático. El sector energético convencional, basado principalmente en el uso de combustibles fósiles, es el principal responsable de las emisiones. Por lo tanto, para lograr una reducción significativa, se requiere llevar a cabo una transición energética a gran escala.

Según la última actualización de la *Agencia Internacional de la Energía*² (IEA, por sus siglas en inglés), se esperaba que la capacidad mundial de energía renovable aumente un tercio en el 2023 gracias al impulso de las políticas, el aumento de los precios de los combustibles fósiles y la preocupación por la seguridad energética, que impulsan un fuerte despliegue de la energía solar fotovoltaica y eólica.

El crecimiento continúa durante 2024 con un aumento de la capacidad total mundial de electricidad renovable hasta los 4.500 gigavatios (GW), equivalente a la producción total de China y Estados Unidos juntos, según el nuevo informe de la *AIE*³ (*Renewable Energy Market Update*).

Las adiciones de capacidad renovable mundial se dispararán en 107 gigavatios (GW), el mayor aumento absoluto de la historia, hasta superar los 440 GW en 2023. Esta dinámica expansión se está produciendo en los principales mercados del mundo. Las energías limpias están a la vanguardia de la respuesta europea a la crisis energética, acelerando su crecimiento en ese continente. Las nuevas medidas políticas también están ayudando a impulsar aumentos significativos en Estados Unidos e India en los próximos dos años. China, por su parte, está consolidando su posición de liderazgo y se prevé que represente casi el 55% de las adiciones mundiales de capacidad de energía renovable tanto en 2023 como en 2024.

Por otra parte, el director ejecutivo de la IEA, afirmó que: “*la crisis energética mundial ha demostrado que las energías renovables son fundamentales para conseguir un suministro energético no sólo más limpio, sino también más seguro y asequible, y los gobiernos están respondiendo con esfuerzos para desplegarlas más rápidamente. Pero para lograr un mayor*

crecimiento, las políticas deben adaptarse a las cambiantes condiciones del mercado, y tenemos que mejorar y ampliar las redes eléctricas para garantizar que podamos aprovechar al máximo el enorme potencial de la energía solar y eólica”.

A pesar del panorama global general, hay ciertos países que han dado un buen ejemplo de manera constante en la producción de energías verdes durante varios años, y continuaron haciéndolo en 2023.

Estas naciones cubren una parte importante de sus necesidades eléctricas con fuentes limpias, llegando incluso algunos a superar su demanda interna y exportando el excedente a otros países.

Basándose en los países líderes en energías limpias, la IEA pronostica un aumento significativo de alrededor del 75 % en la capacidad renovable mundial de 2022 a 2027. Este crecimiento está impulsado por políticas de expansión y el atractivo económico de las tecnologías renovables en medio de los altos precios de los combustibles fósiles y la crisis energética. A continuación, se muestra una lista de 8 países líderes en energías limpias que se destacan por sus contribuciones sustanciales.

1. Costa Rica: ha generado más del 98% de su energía durante el 2023 (excluyendo el sector del transporte) a partir de energías renovables. 75,16% de energía hidroeléctrica, 12,97% de fuentes geotérmicas, 10,65% de eólica y menos del 1% de biomasa y paneles solares. También está trabajando en conjunto para alcanzar cero emisiones netas, una posición neutral en carbono, en 2050.

2. Suecia: las necesidades energéticas totales de Suecia se cubrieron con un 43% de energía hidroeléctrica, un 31% de energía nuclear, un 15% de energía eólica, un 9% de biocombustibles y menos de un 1% de energía solar, lo que resultó en tasas de emisión de dióxido de carbono sorprendentemente bajas durante este año. Sin embargo, desde el 2022 las cifras mensuales se volvieron aún mayores ya que lograron aumentar la proporción de viento al 27%. También fijaron su mirada en un objetivo de generación de electricidad 100% no agotable para 2040 y neutral en carbono para 2045.

3. Islandia: el 85% del suministro total de energía de Islandia proviene de fuentes naturales. Sin embargo, el 100% de las necesidades de electricidad se satisfacen con fuentes de energía renovables, aproximadamente un 70% con energía hidroeléctrica y un 30% con geotermia.

4. Noruega: la generación de electricidad de Noruega se deriva en un 92% de sus extensos recursos hidroeléctricos. Además, el país exhibe un alto nivel de electrificación en su demanda de energía, con electricidad que satisface casi la mitad del consumo final total de la nación. Esta es la proporción más alta entre los países miembros de la Agencia Internacional de Energía (IEA).

5. Uruguay: La electricidad de Uruguay fue producida durante los últimos años en un 94% por fuentes renovables, 33% por energía hidroeléctrica, 31% por energía eólica, 17% por biomasa y 4% por energía solar. En 2022, el país exportó el 17% de la electricidad producida a Argentina. Planea convertirse en carbono neutral para 2050 invirtiendo en hidrógeno verde. La última investigación sobre las energías alternativas publicada en junio de 2023 por la IEA, muestra que Uruguay tiene importantes ventajas competitivas para producirlo a partir de fuentes de agua y energía renovable.

6. Paraguay: desde que Paraguay cerró la última central térmica en febrero del 2010, el país se convirtió en una de las dos naciones del mundo (la otra es Albania) que produce electricidad 100% a partir de energía hidroeléctrica. Hay tres centrales hidroeléctricas: Itaipú, Yacyretá y Acaray. La primera produce el 80% de todo el suministro.

7. Brasil: alcanzó el nivel más alto de fuentes de energía renovable para cubrir sus necesidades eléctricas a fines del 2022. La Cámara Brasileña de Comercio de Energía anunció en febrero de 2023 que se alcanzó el 92% porque se agregaron 88 nuevos parques solares a la red, lo que hace que la contribución de la energía solar sea de casi el 65%. La energía hidroeléctrica al 17%, la eólica al 12% y la biomasa a menos del 1% compensan la diferencia.

8. Tayikistán: tiene algunas de las plantas hidroeléctricas más grandes del mundo, que generan energía para cubrir más del 91% de la necesidad de electricidad del país. Debido a la alta vulnerabilidad del país al cambio climático y los desastres naturales, en los últimos años diversificaron su matriz energética y la proporción de centrales térmicas a carbón. Si bien planean introducir más opciones basadas en energía solar y eólica, con suerte, los combustibles fósiles no aumentarán más y seguirán siendo uno de los países con mayor energía renovable.

ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Como se mencionó anteriormente, con la Revolución Industrial, hubo un fuerte desarrollo en cuanto a este tipo de energía.

El agua es una de las fuentes de energía más antiguas utilizadas por el ser humano, fundamental para la vida, la producción de alimentos y la higiene. Y también es el origen de uno de los tipos de energía renovable más extendidos, la energía hidroeléctrica. Según el informe de 2019 de la *Agencia Internacional de las Energías Renovables*⁴ (IRENA), la capacidad total de las centrales hidroeléctricas en todo el mundo es de 1.172 GW, lo que representa alrededor del 50 % del total de las fuentes de energía renovable.

Si bien es la más antigua de todas las energías limpias, con el curso de los años la innovación continua ha conseguido que las centrales hidroeléctricas sean cada vez más eficientes. Gracias a la tecnología actual, alrededor del 90 % de la energía del agua se puede convertir en electricidad, un porcentaje casi tres veces mayor que con las fuentes convencionales.

El bajo impacto ambiental y la alta eficiencia son dos de los factores que contribuyen a un excelente rendimiento final cuyo resultado es que, de las centrales renovables más grandes del mundo, las cinco primeras por energía producida reciban el impulso de la fuerza del agua.

OBTENCIÓN

La energía utilizada proveniente del agua es generada en centrales hidroeléctricas, que generalmente se ubican en las proximidades de fuentes de agua, como ríos o embalses, aunque también pueden situarse cerca de yacimientos de carbón u otras fuentes de energía primaria. Además, es común encontrar este tipo de centrales en áreas cercanas a grandes ciudades y zonas industriales, donde la demanda de energía es considerable. Están compuestas por una serie de elementos esenciales, que permiten la conversión de la energía del agua en electricidad. Estos componentes incluyen:

- **Presa:** es la infraestructura de obra civil. Entre sus características físicas destacan la altura sobre los cimientos, la longitud de coronación y el volumen de hormigón.
- **Embalse:** es el almacén de agua. Para conocer su situación real hay que analizar, principalmente, dos variables: el nivel del agua y el volumen almacenado.
- **Central:** es la construcción donde están localizados los grupos de generación. Las dos magnitudes básicas para definir una central hidroeléctrica son el salto y el caudal.

Estas centrales generan electricidad aprovechando la diferencia de energía potencial entre dos puntos a diferentes altitudes. Este desnivel se conoce como "salto". El proceso comienza al hacer circular agua a través de un sistema hidráulico que supera este desnivel, convirtiendo gradualmente la energía potencial en energía cinética. La turbina transforma la energía cinética en energía mecánica, que luego el generador convierte en electricidad. Finalmente, el agua, con su energía potencial original, fluye de nuevo al entorno al abandonar la turbina en el punto de desagüe.

Hoy en día, a nivel global se estima que ha sido aprovechado solo el 30% del potencial hidroeléctrico identificado, con lo cual el sector tiene por delante un gran potencial de crecimiento. Según la IRENA, la capacidad hidroeléctrica existente en el mundo tendrá que crecer alrededor del 60% en 2050 a fin de llegar a 2150 GW para ayudar a limitar el aumento de la temperatura global.

La proyección señalada por el mismo organismo, se ve reflejada en los últimos años en el índice de crecimiento anual medio mundial de la capacidad instalada de energía hidroeléctrica que fue del 2,1%, liderado por países como China, Estados Unidos, Brasil y Canadá. Estos países son los mayores productores de hidroelectricidad del mundo y, en conjunto, generan más del 50% del total.

Esta tendencia también se repite a nivel regional, en el caso de América del Sur, donde se experimentó la tasa de crecimiento de energía hidroeléctrica más rápida después de Asia Oriental y el Pacífico en 2019 con cerca de 5,172 MW de capacidad agregada.

“En nuestro país, la potencia instalada de energía hidroeléctrica representa el 33,1% del total y cuenta con unos 95 aprovechamientos hidroeléctricos: 17 grandes represas, entre las que se destacan las binacionales Yacyretá (3200 MW), en la provincia de Corrientes, y Salto Grande (1890 MW) en Entre Ríos; y las centrales de Piedra del Águila (1400 MW) y El Chocón (1260 MW), en la provincia de Neuquén; y unos 78 aprovechamientos de menor envergadura”, según Fundación YPF⁵.

En la actualidad el cambio climático y el mayor riesgo de sequía también están afectando a las centrales hidroeléctricas del mundo.

Nuestro país cuenta con abundantes recursos hídricos. Cuenta con un caudal medio anual superior a los 26 mil metros cúbicos por segundo, que puede ser aprovechado para la generación de energía eléctrica.

El 85% del agua superficial corresponde a la cuenca del Río de la Plata, integrada por las subcuencas de los ríos Pilcomayo, Bermejo, Paraná, Paraguay, Iguazú, Uruguay, y otras de éstas que se extienden en los territorios de Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay. Otros recursos se extienden en la zona norte, central y sur del territorio continental.

Actualmente, el país aprovecha solo una quinta parte de los recursos hídricos para la generación eléctrica, es decir que existe un gran potencial para el desarrollo de nuevas represas hidroeléctricas.

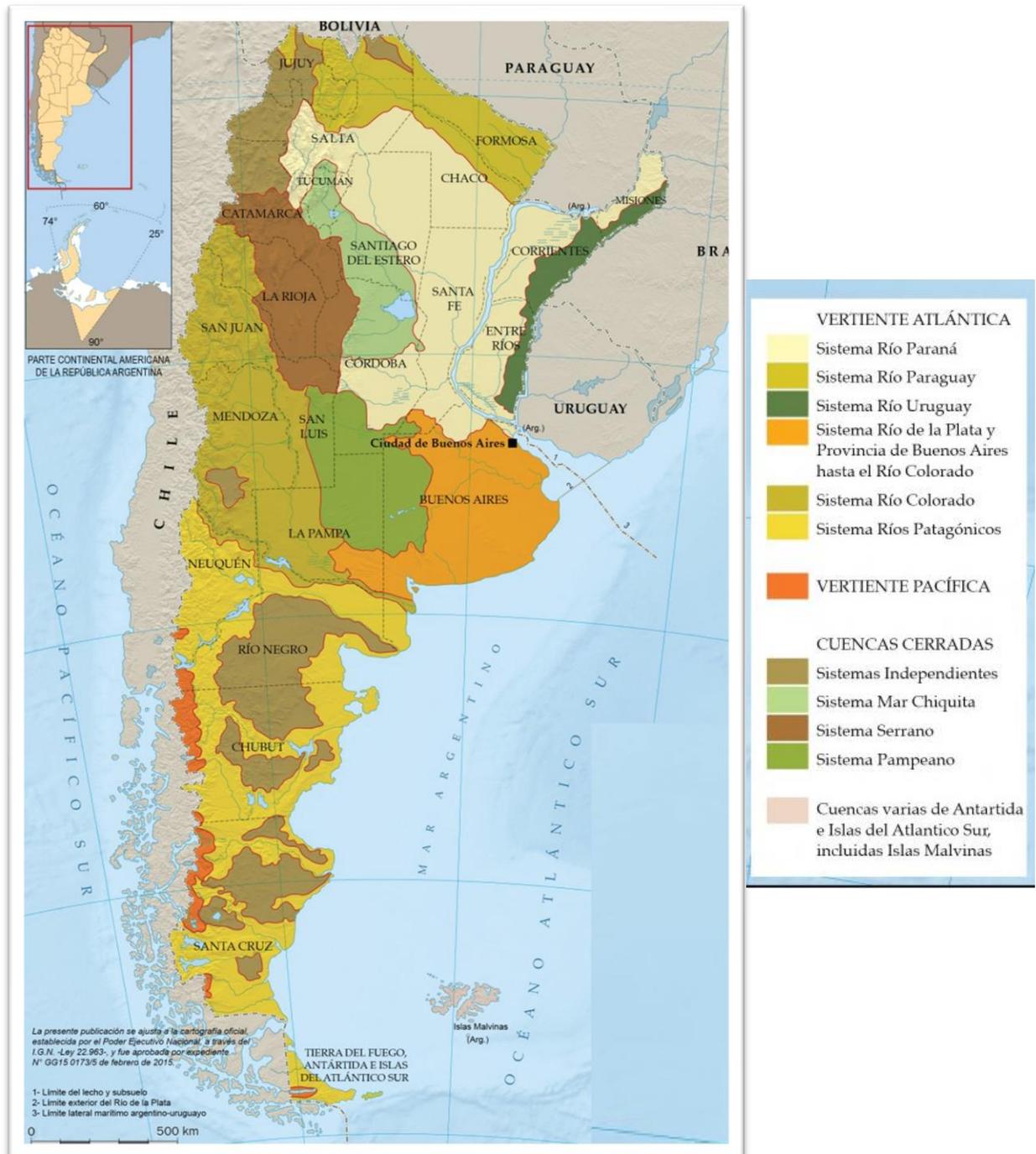


Figura n° 9: Mapa distribución recursos hídricos en Argentina

Fuente: https://energiasdemipais.educ.ar/edmp_recurso/mapa-de-recursos-hidricos/

En la Argentina existen tres represas responsables del mayor porcentaje de energía eléctrica producida a partir del aprovechamiento del agua como fuente de energía:

- **Yacyretá.** Está situada sobre el río Paraná y es una obra binacional, compartida con Paraguay. Si bien el objetivo principal es generar energía eléctrica, también fue diseñada para mejorar la navegación del Paraná y el desarrollo del riego. Es la represa más grande de la Argentina y una de las más importantes de América Latina. Comenzó a funcionar en 1994.
- **El Chocón.** Este complejo hidroeléctrico, que se terminó de construir en 1973, está formado por dos centrales: el Chocón y Arroyito. Se sitúa sobre el río Limay y su embalse es el más grande del país, con una superficie de 816 km² (mayor que el lago Nahuel Huapi). Su capacidad de producción cubre el 25% de la potencia instalada del territorio nacional.
- **Salto Grande.** Se encuentra sobre el río Uruguay, aguas arriba de la localidad de Concordia (Entre Ríos) y Salto (Uruguay). Esta represa se construyó aprovechando un desnivel natural del río. La obra se inició en 1974 y comenzó a generar electricidad en 1979. La energía producida se comparte en partes iguales con Uruguay.

FUNCIONAMIENTO DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Como se mencionó anteriormente, se denomina energía hidráulica a la energía cinética del agua en movimiento. Si bien históricamente se aprovechaba directamente la corriente de los ríos, en la actualidad lo más usual es retener el agua en embalses para liberarla aguas abajo, transformando así la energía potencial gravitatoria en energía cinética. El agua en movimiento se utiliza para generar electricidad al hacer girar las turbinas acopladas a generadores.

La energía hidroeléctrica es una fuente confiable, versátil y de bajo costo de generación de electricidad limpia y gestión responsable del agua, con una baja intensidad de emisión de gases de efecto invernadero en comparación con otras formas de energía.

La instalación hidroeléctrica que genera más electricidad al año es la central de Itaipú, situada en el río Paraná, entre Brasil y Paraguay.

Las centrales hidroeléctricas pueden suministrar grandes cantidades de electricidad y son relativamente fáciles de ajustar a la demanda controlando el caudal de agua que pasa por las turbinas.

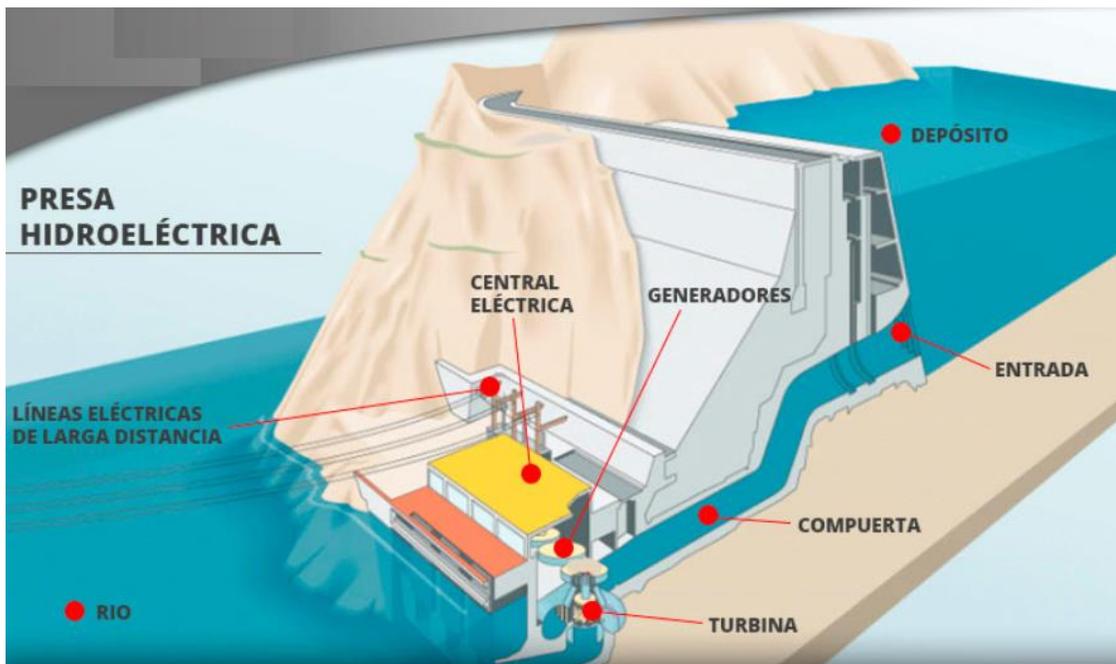


Figura n°10: Componentes de una central hidroeléctrica.

Fuente: <https://todoingenierias.com/impacto-de-la-vida-util-de-una-central-hidroelectrica-en-la-generacion-de-energia/>

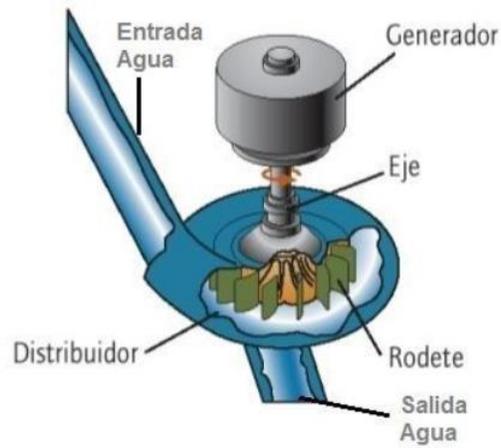


Figura n°11: Componentes de una turbina hidráulica.

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>

TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Centrales de Agua Fluyente, por Derivación o de Pasada: utilizan el caudal de un río para mover la turbina y proporcionan energía básica "sobre el agua" e inmediatamente se inyectan en la red, ya que no poseen capacidad de almacenamiento.



Figura n°12: Central hidroeléctrica por derivación.

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/central-hidroelectrica.html>

Generalmente consisten en una toma de agua, un túnel o un canal, luego una compuerta y una central hidroeléctrica ubicada en la ribera del río.

Al variar el caudal del río, varía también la cantidad de energía eléctrica generada.

El canal de derivación forma parte de este tipo de centrales y se utiliza para llevar el agua desde el río hasta las turbinas de la central.

Centrales de Embalse o a Pie de Presa: Cuando hay un desnivel apreciable en un tramo del río se construye la presa y se almacena el agua a cierta altura en lo que se conoce como embalse.



Figura n°13: Central Hidroeléctrica de Embalse.

Fuente: <https://m.megaconstrucciones.net/?construccion=presa-akosombo>

Almacenan el agua en embalses mediante una presa creándose pantanos o lagos que muchas veces pueden ser utilizados para otros casos, como por ejemplo para náutica.

La planta generadora (turbina-generador) se suele colocar al pie de la presa, por ese motivo también se llaman a "pie de presa".

El agua es trasladada por tuberías llamadas tuberías de agua forzada desde el lago o pantano hasta la entrada de la planta generadora donde se ubica la turbina.

Este tipo de centrales permiten el almacenamiento estacional de agua y el control de la producción eléctrica cuando queramos, solo hay que abrir o cerrar la compuerta de la presa.

Centrales de Bombeo o Reversibles: Hay veces que las propias centrales hidroeléctricas recogen el agua en la parte de abajo, que se almacena en una especie de embalse, para volver a subirla al embalse superior haciendo funcionar la turbina como bomba de succión, girando al revés y para posteriormente volverla a dejar caer y volver a generar energía.



Figura n°14: Central Hidroeléctrica de Bombeo.

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/central-hidroelectrica.html>

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA POTENCIA

Se clasifican según la potencia instalada de la central, que es la potencia nominal de los grupos generadores instalados en la central y que generan la electricidad.

<i>Clase</i>	<i>Rango de Potencia</i>
Pico Hidroeléctrica	Hasta 10 kW
Micro Hidroeléctrica	10 a 100 kW
Mini Hidroeléctrica	100 kW a 1 MW
Pequeña Hidroeléctrica	1 MW a 10 MW
Mediana Hidroeléctrica	10 MW a 100 MW
Gran Hidroeléctrica	Superior a 100 MW

Tabla n°1: Clasificación centrales hidroeléctricas.

Fuente: <https://www.vectorenrenewables.com/es/blog/potencial-central-hidroelectrica>.

Evaluación del potencial energético

Para la generación de electricidad mediante un sistema hidroeléctrico, es esencial contar con un caudal de agua específico y una altura de caída determinada. El caudal se refiere a la cantidad de agua que atraviesa una sección del curso de agua en un período de tiempo dado. La altura de caída, también conocida como salto bruto, es la distancia vertical entre la superficie del agua en la toma y el punto de retorno del caudal al río después de pasar por la central hidroeléctrica. Como se ilustra en la Figura 15, independientemente de la ruta que tome el curso de agua entre los puntos A y B, la energía potencial que el fluido pierde es constante.



Figura n°15: Potencia teórica de una central.

Fuente: <https://www.vectorenrenewables.com/es/blog/potencial-central-hidroelectrica>

Esta energía potencial puede calcularse de acuerdo a la ecuación:

$$P = Q \cdot H \cdot g \quad (1.1)$$

donde P es la potencia, en kW, Q el caudal medido en m³/s, H el salto bruto en m y g el peso del agua igual a su masa por la constante de aceleración de la gravedad (kg/m³).

Cuando el agua desciende, puede seguir el curso natural del río, lo que resultaría en la disipación de la energía potencial debido a la fricción y la turbulencia. Alternativamente, el agua puede circular a través de una tubería equipada con una turbina en su extremo. En este segundo escenario, la masa de agua disipará parte de su energía para superar la fricción y pasar a través de los alabes de la turbina. Este último componente de la energía potencial hace girar la turbina y genera electricidad.

Para maximizar la energía generada por la turbina, es esencial minimizar la pérdida de energía a lo largo del recorrido desde los puntos A y B. Para evaluar la capacidad de generación de un recurso hídrico específico, se debe comprender cómo varía su caudal a lo largo del año.

TURBINAS

La turbina hidroeléctrica es un dispositivo capaz de transformar la energía cinética del agua en energía mecánica. Son un elemento esencial de las centrales hidroeléctricas y algunas de ellas tienen un rendimiento cercano al 90%.



Figura n°16: Esquema funcionamiento de turbina.

Fuente: [https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html#Clasificaci%C3%B3n de las Turbinas Hidr%C3%A1ulicas](https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html#Clasificaci%C3%B3n%20de%20las%20Turbinas%20Hidr%C3%A1ulicas)

Normalmente esta energía de rotación se utiliza para transformarla en energía eléctrica mediante el acoplamiento de la turbina a un generador en las centrales hidroeléctricas.

La caída del agua y/o el paso del agua por ella hace girar la turbina y el eje de la turbina, que está acoplado al generador, hace que este último gire produciendo energía eléctrica.

Una turbina hidroeléctrica se compone de una parte fija, llamada distribuidor o estator, y una rueda o rodete. El primero dirige y regula el flujo de agua, mientras que el segundo transfiere la energía cinética derivada del agua al eje sobre el que está montada la rueda o rodete.

CLASIFICACIÓN

Según la colocación de su eje: horizontal o vertical.

Según la dirección en que entra el agua las turbinas pueden ser:

- **Turbinas radiales:** El agua entra perpendicular al eje. (Francis)
- **Turbinas axiales:** el agua entra y sale paralela al eje de rotación de la turbina. (Kaplan).
- **Turbinas tangenciales:** El agua golpea el rodete en su periferia. (Pelton).

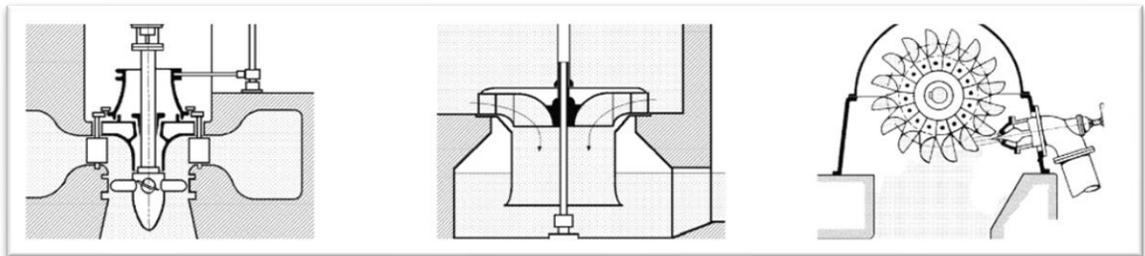


Figura n°17: Turbinas Francis, Kaplan y Pelton

Fuente: [https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html#Clasificaci%C3%B3n de las Turbinas Hidr%C3%A1ulicas](https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html#Clasificaci%C3%B3n%20de%20las%20Turbinas%20Hidr%C3%A1ulicas)

También hay otra clasificación, quizás la más importante, y es según el grado de reactividad o lo que es lo mismo, cómo mueve el eje de la turbina el agua.

Hay dos tipos: de **reacción y de acción**.

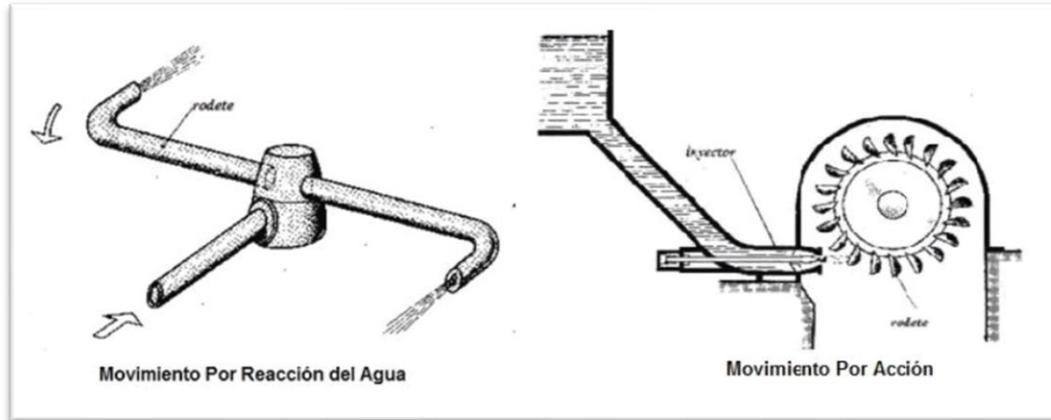


Figura n°18: Turbina por reacción y por acción

Fuente: https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html#Clasificaci%C3%B3n_de_las_Turbinas_Hidr%C3%A1ulicas

Las características de cada una de estos tipos:

- **De acción:** La incidencia del agua y el sentido del giro del rodete coincide en el punto en el que se produce el choque del agua sobre los álabes.

Toda la energía cinética con la que llega el agua a la turbina es utilizada para su giro.

La energía de presión que el agua posee a su entrada, al ser dirigida al rodete directamente, se convierte totalmente en energía cinética (movimiento) en el rodete.

La presión del agua a la entrada y a la salida es la misma.

La más usada es la Pelton.

-**De reacción:** El sentido de giro del rodete no coincide con la dirección de entrada y salida del agua.

Estas turbinas utilizan energía cinética y de presión para mover el rodete y la presión del agua a la salida es inferior a la de entrada.

Antes de llegar el agua al rodete parte de la energía de presión que trae el agua en su caída se transforma en energía cinética en el distribuidor, girando alrededor de él.

El distribuidor en este caso rodea todo el rodete, llegando el agua por la totalidad de la periferia de éste, siendo por tanto la admisión del agua total.

Dentro de la clasificación mostrada, las turbinas más utilizadas son:

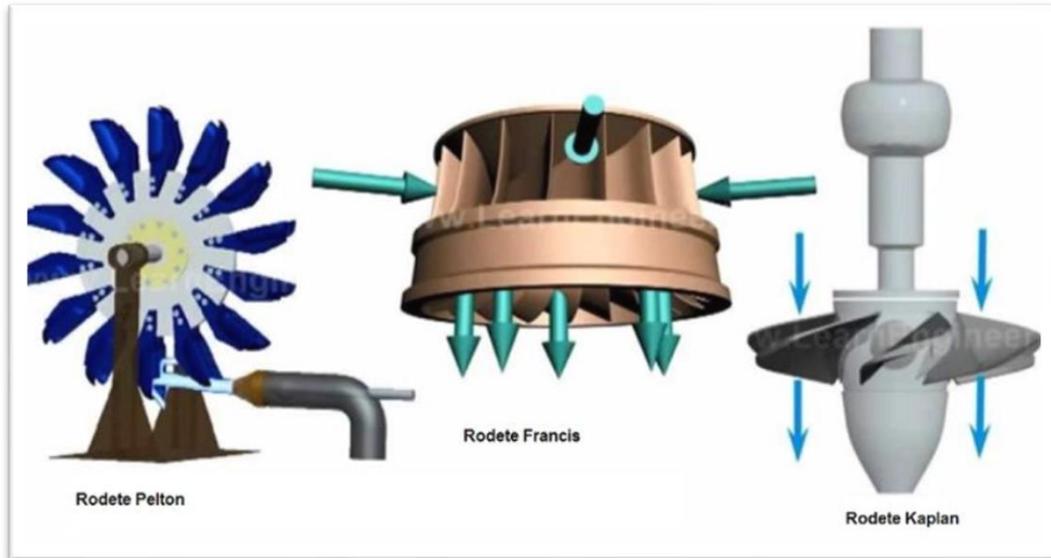


Figura n°19: Turbinas más utilizada

Fuente: [https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html#Clasificaci%C3%B3n de las Turbinas Hidr%C3%A1ulicas](https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html#Clasificaci%C3%B3n%20de%20las%20Turbinas%20Hidr%C3%A1ulicas)

TURBINAS PELTON opera con valores de cargas H_d grandes y gastos Q_d pequeños

TURBINAS FRANCIS opera con valores de cargas H_d medias y gastos Q_d medios

TURBINAS KAPLAN opera con cargas H_d pequeñas y gastos Q_d grandes

TURBINA PELTON

También llamada "Rueda Pelton" es una turbina de acción o de chorro, tangencial y normalmente de eje horizontal.

Se utiliza en saltos de agua de gran altura (superiores a 200 metros) y con pequeños caudales de agua (hasta 10 metros cúbicos por segundo). El distribuidor está formado por una o varias entradas de agua al rodete. Los álabes que están situados sobre la periferia del rodete tienen forma de cuchara. La fuerza del impulso del agua es la responsable del giro de la turbina.

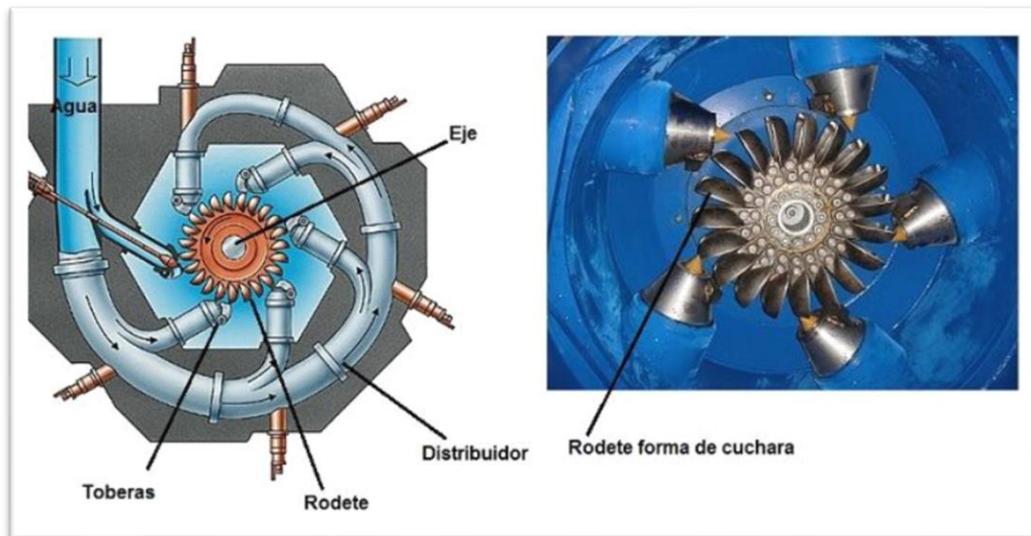


Figura n°20: Turbina Pelton

Fuente: [https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html#Clasificaci%C3%B3n de las Turbinas Hidr%C3%A1ulicas](https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html#Clasificaci%C3%B3n%20de%20las%20Turbinas%20Hidr%C3%A1ulicas)

TURBINA FRANCIS

Es una turbina de reacción, radial-axial, normalmente de eje vertical, aunque pueden ser horizontal como muestra la figura de más abajo.

Se utiliza en saltos de altura intermedia (hasta los 200 metros) y con caudales muy variados de agua, entre 2 y 200 metros cúbicos por segundo. El distribuidor está compuesto de aletas móviles para regular el caudal de agua que conduce al rodete.

El agua procedente de la tubería forzada entra perpendicularmente al eje de la turbina y sale paralela a él.

Para regular el caudal de agua que entra en el rodete se utilizan unas paletas directrices situadas en forma circular, y cuyo conjunto se denomina distribuidor. Se utiliza en sitios de muy diversas alturas de caída de agua y caudales.

Esta turbina se puede utilizar en un gran rango de saltos y caudales de agua, es la más versátil.

Algunas pueden variar el ángulo de sus palas durante su funcionamiento.

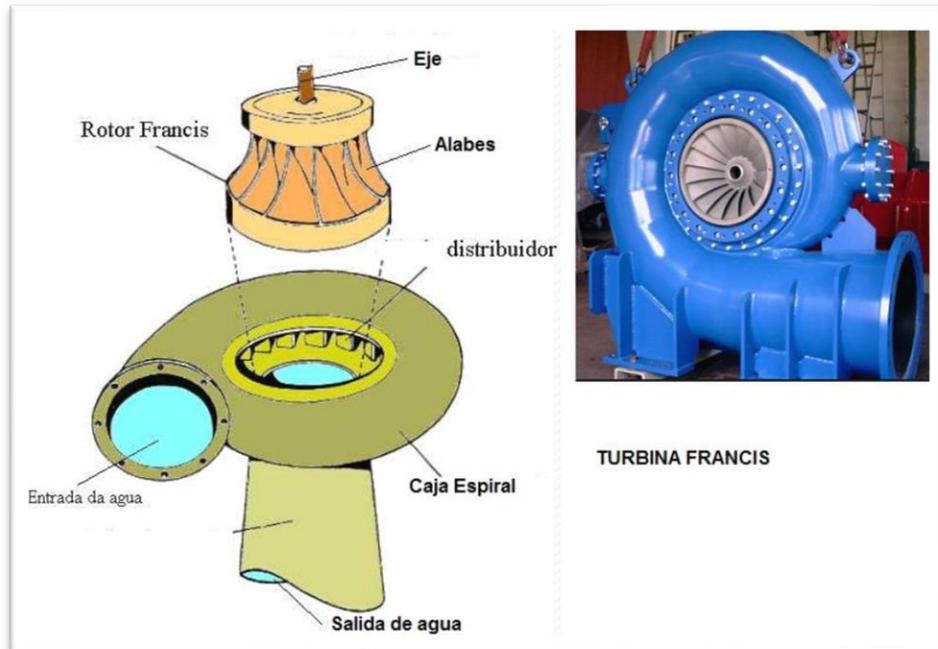


Figura n°21: Turbina Francis.

Fuente: <https://youtu.be/gKtURT7UpIs?si=YSocmwU7o-4ejx6>

- **TURBINA KAPLAN**

La turbina Kaplan es de reacción pura, radial-axial, y normalmente de eje vertical.

Las características técnicas y de construcción son muy parecidas en ambos tipos (Francis y Kaplan). Se utiliza en saltos de pequeña altura de agua (hasta 50 metros) y con caudales que suelen superar los 15 metros cúbicos por segundo. Para mucho caudal de agua a poca altura esta turbina es la mejor opción. Pueden variar el ángulo de sus palas durante su funcionamiento.



Figura n°22: Turbina Kaplan

Fuente: [https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html#Clasificaci%C3%B3n de las Turbinas Hidr%C3%A1ulicas](https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html#Clasificaci%C3%B3n%20de%20las%20Turbinas%20Hidr%C3%A1ulicas)

ELECCIÓN DEL TIPO DE TURBINA

La selección de una turbina hidráulica es un proceso complejo que se basa en varios factores clave, todos los cuales están intrínsecamente vinculados a las condiciones específicas de la instalación y a los requisitos del proyecto en cuestión.

En primer lugar, el caudal de agua disponible es un elemento crucial. Las turbinas deben ser capaces de manejar el caudal específico del sitio, y esta capacidad determinará en gran medida la eficiencia de la conversión de energía.

Otro factor determinante es la altura de cabeza, que representa la diferencia de altura entre la entrada y la salida del agua en la turbina. La elección de la turbina se optimiza para la altura de cabeza disponible en el emplazamiento.

Por lo tanto, se requiere especificar la potencia de diseño o potencia por turbina en kW, la altura de caída “Hd” en metros y el caudal Qd en m³/s. Se seleccionará aquella turbina mediante el siguiente gráfico.

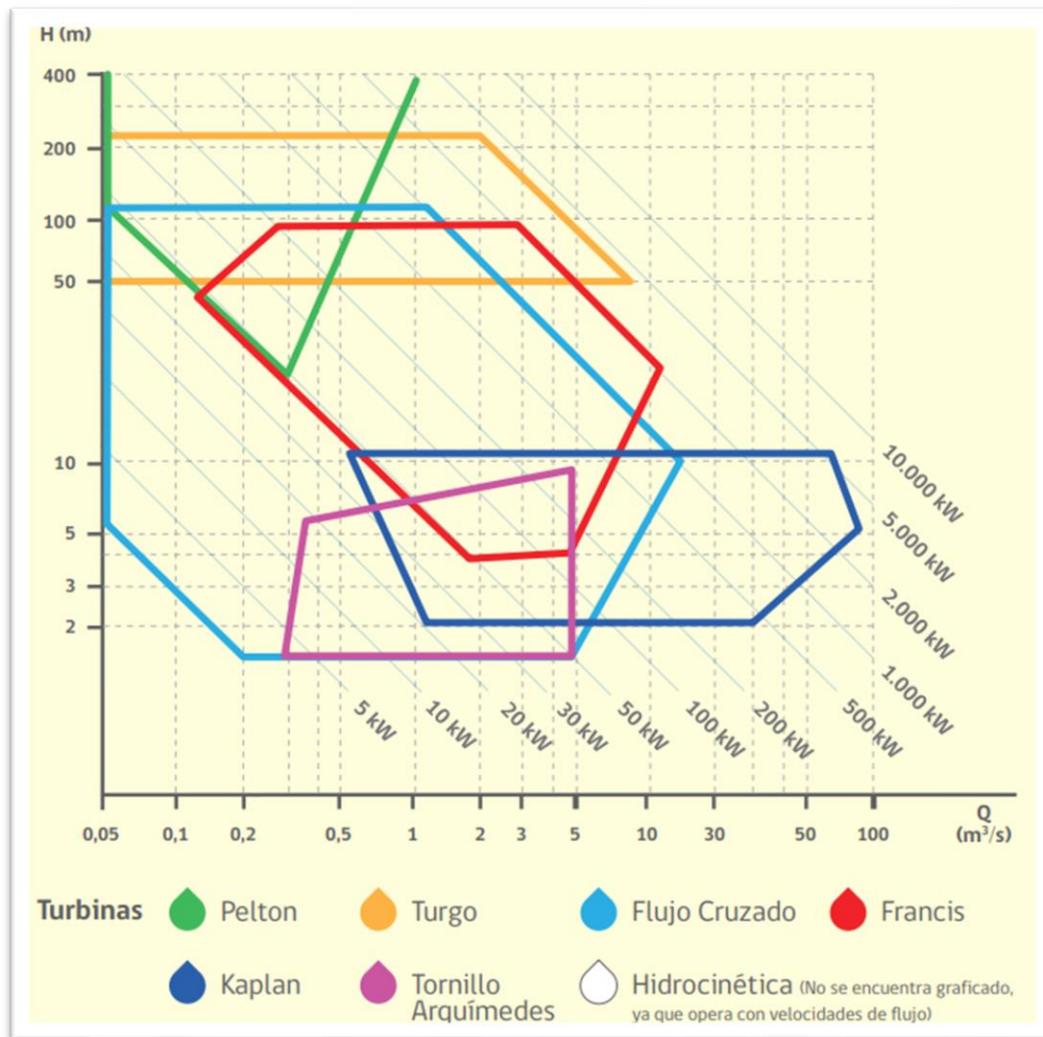


Figura n°23: Gráfico caudal vs altura de caída de agua.

Fuente: http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:congresoCIBIM-2022UPMEspana-Msacosta/Abs_298_185811.pdf

MICRO-GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

Las microcentrales hidroeléctricas (MCH) son instalaciones de generación de energía eléctrica que emplean el recurso del agua y cuya capacidad no supera los 100 kilovatios (100 kW). Estas centrales hidroeléctricas pueden adoptar diversos ajustes, ya sean de tipo embalse, pasada o bombeo. Su fuente de agua puede provenir de cauces naturales como ríos y esteros, o de sistemas artificiales como canales de riego, tranques o embalses.

Además, pueden operar de manera conectada o desconectada de la red eléctrica convencional.

Este tipo de centrales representan una de las formas más sencillas y confiables de energía alternativa. En cualquier área donde haya un flujo de agua disponible, es posible considerar la construcción de un pequeño sistema hidroeléctrico para la generación de electricidad. Estos sistemas generalmente tienen una capacidad de hasta 100 kilovatios y son comunes en propiedades privadas, pequeñas empresas, granjas y ranchos. Incluso un sistema microhidroeléctrico de 10 kilovatios puede proporcionar suficiente electricidad para abastecer una vivienda grande o un pequeño complejo turístico.

También las mismas son una alternativa eficaz para la producción de energía sostenible, aprovechando de manera responsable los recursos hídricos disponibles y contribuyendo a la reducción de la huella de carbono en la generación de electricidad. Su versatilidad y eficiencia las convierten en una solución atractiva para regiones con acceso a fuentes de agua adecuadas.

Según un informe de *United Nations Industrial Development Organization*⁶, la micro hidráulica representa el 7% del total de la generación mundial de energías renovable. China es su máximo exponente -sumando un 51% del total mundial-, seguida de Italia, Japón, Noruega y Estados Unidos.

El mismo estudio destaca el papel determinante de esta energía en la electrificación de áreas rurales, así como su contribución en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la deforestación, que coincidían con los propósitos de la Unión Europea para el 2020. También destaca sus oportunidades de expansión en zonas en vías de desarrollo, gracias a sus reducidos costos y su relativa facilidad de instalación en áreas con difícil acceso a la red eléctrica.

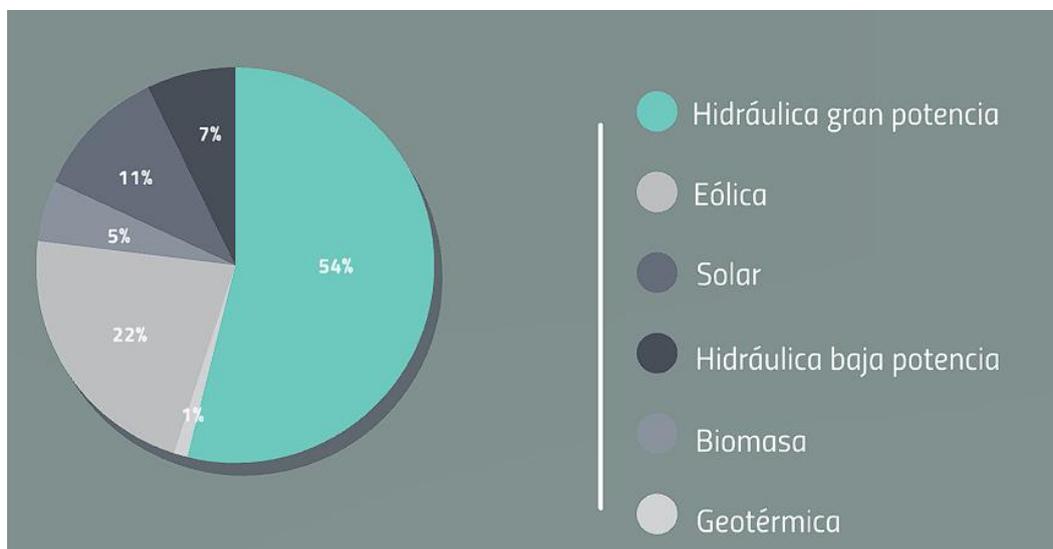


Figura n°24: Disponibilidad distintos tipos de energía renovable en el mundo.

Fuente: <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview/world>

Funcionamiento

El modo de operar de esta micro-central eléctrica (MCH) es similar al de una hidroeléctrica de mayor tamaño. En este caso, la MCH está diseñada para aprovechar menores caudales a una amplia variedad de alturas.

Al igual que lo mencionado anteriormente, el principio de funcionamiento consiste en aprovechar la diferencia de energía potencial del agua a dos alturas, lo que provoca una diferencia de presiones entre el punto desde donde se obtiene el agua y el lugar donde se coloca la central, y transformarla en energía eléctrica a través del hidrogenerador (conjunto turbina-generador).

Una micro-central hidráulica con generación media de 1000 W estará produciendo 8,64MWh/año pudiendo ser ampliado con la adición de diferentes estaciones de generación hasta hacer servir una comunidad de viviendas, granjas o pequeñas industrias.

Ventajas

- **Rentabilidad:** la microhidráulica es considerada una de las fuentes de energía más rentables. Puede recuperar la energía de pequeños saltos de agua y tiene costos de instalación y mantenimiento comparativamente bajos en relación con otras fuentes de energía renovable.
- **Versatilidad:** la energía generada por turbinas hidráulicas en este tipo de sistemas es versátil en su aplicación. Puede utilizarse para cargar baterías o inyectarse directamente en la red eléctrica, lo que permite adaptarse a diversas necesidades y usos.
- **Sostenibilidad:** es una fuente de energía sostenible que permite aprovechar directamente la energía del flujo de agua para convertirla inmediatamente en electricidad. No requiere grandes infraestructuras y tiene un impacto mínimo en el entorno, lo que la hace respetuosa con el medio ambiente.

Estas ventajas hacen que la microhidráulica sea una opción atractiva para la generación de electricidad en áreas con acceso a fuentes de agua adecuadas. Además, su eficiencia y su capacidad para operar de manera descentralizada la convierten en una alternativa valiosa en el panorama de las energías limpias.

Desventajas

- **Potencia Limitada:** Las microcentrales hidroeléctricas tienen una capacidad limitada en términos de generación de energía. Aunque son adecuados para aplicaciones locales y descentralizadas, su potencia es limitada en comparación con las centrales hidroeléctricas de mayor escala.
- **Tamaño físico:** El tamaño de las (MCH) también es físico limitado, lo que significa que no pueden manejar flujos de agua excesivamente grandes o distancias de transporte eléctrico muy largas.
- **Estacionalidad:** En algunas regiones geográficas, el flujo de agua puede variar significativamente según la estación del año. En verano, por ejemplo, el caudal puede disminuir considerablemente. Esto puede afectar la capacidad de generación de energía de una (MCH), lo que debe considerarse al planificar proyectos en áreas con estacionalidad en el flujo de agua.

Es importante evaluar cuidadosamente estas condiciones y limitaciones al considerar la implementación de un proyecto de energía microhidráulica para garantizar su viabilidad y eficacia.

INVENTARIO

LEGISLACIÓN EN ARGENTINA

Históricamente en materia ambiental se legisló primero en la Argentina sobre los recursos, después los residuos y más tarde sobre energía renovable; la metodología durante muchos años fue la de encontrar un área de interés (generalmente económico y / o político) y regularla particularmente. La mayoría de las obligaciones que se tienen a nivel ambiental en el país surgen (primero) de los Tratados Internacionales, pero hasta que aparece una ley local que les da forma y los adapta al medio, nadie sabe siquiera que existen y/o que son obligatorios para nuestro territorio.

Es importante tener en cuenta que, antes de 1994, no existía referencia a la materia alguna en la Constitución Nacional, por lo que se regía en su totalidad por normas provinciales y / o locales. Después de la suscripción de los «tratados internacionales» (desde 1972), las provincias tuvieron que reformar sus propias constituciones para empezar a dar cumplimiento con el mismo. Este proceso comienza en los años ochenta. La reforma constitucional de 1994 pone fin a esta incertidumbre.

Actualmente en nuestro país se encuentran vigentes las siguientes leyes sobre las energías renovables:

- ❖ Ley 27.191: Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Modificación.
- ❖ Ley 26.190: Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica.
- ❖ Ley 25.019: Régimen nacional de energía eólica y solar.
- ❖ Ley 26.093: Régimen de regulación y promoción para la producción y uso sustentables de biocombustibles.
- ❖ Ley 25.675: Ley general del ambiente.
- ❖ Ley 26.331: Presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos.
- ❖ Ley 26.639: Régimen de presupuestos mínimos para la preservación de los glaciares y del ambiente periglacial.

- ❖ Ley 24.051: Residuos peligrosos.

Decretos:

- ❖ Decreto 531/2016: Reglamentación de la Ley N° 27.191.
- ❖ Decreto 562/2009: Reglaméntase la Ley N° 26.190.

Resoluciones:

- ❖ Resolución 108/2011: Habilitase la realización de Contratos de Abastecimiento entre el Mercado Eléctrico Mayorista y las ofertas de disponibilidad de generación y energía asociada.
- ❖ Resolución 280/2008: Habilitase a los Prestadores del Servicio Público de Distribución de Energía Eléctrica de jurisdicción provincial y/o municipal a OED la operación de unidades de generación inferior a 2000 kW.
- ❖ CAMMESA - Los Procedimientos.

Por lo tanto, resumiendo brevemente:

Ley Nacional N° 25.019 (1998): Esta ley declara de interés nacional la generación de energía de origen eólica y solar en todo el territorio nacional. Introducir incentivos económicos para promover la generación de energía renovable que se vierta en los mercados mayoristas o esté destinada a la prestación de servicio público por un período de 15 años. Prevé incentivos fiscales, desgravaciones a las inversiones y la creación de un Fondo Fiduciario de Energías Renovables para remunerar estas fuentes de energía.

Ley Nacional N° 26.190 (2006): Esta ley establece un Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía. Amplía la definición de fuentes renovables para incluir la geotérmica, mareomotriz, hidráulica hasta 30 MW de potencia, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás, excluyendo los usos previstos en la Ley 26.093.

Ley Nacional N° 27.191 (2015): Modifica la Ley 26.190 y establece el objetivo de alcanzar una contribución del 8% de las fuentes de energía renovables en el consumo de energía eléctrica nacional para el 31 de diciembre de 2017. Amplía la definición de fuentes renovables, incluyendo eólica, solar térmica, solar fotovoltaica, geotérmica, mareomotriz

de las corrientes marinas, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración, biogás y biocombustibles, excluyendo los usos previstos en la Ley 26.093. También aumenta el límite de potencia para las centrales hidroeléctricas a 50 MW.

Estas leyes tienen como objetivo promover el uso de fuentes de energía renovables en Argentina y brindar incentivos fiscales y económicos para fomentar su desarrollo y uso en el país.

En la siguiente tabla se enuncian los antecedentes de dichas leyes.

Ley N° // Año	Antecedentes Leyes Nacionales Energías Renovables	
	Título	Aspectos Relevantes
25.019 // 1998	Declarar de interés nacional la generación de energía de origen eólico y solar	Crea Fondo Fiduciario de ER Establece remuneraciones a la generación eólica y fotovoltaica
26.190 // 2006	Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica	Objetivo del 8% del consumo eléctrico nacional abastecido con fuentes de ER a 2016. Crea el Fondo Fiduciario para la generación con ER Establece remuneraciones para la generación proveniente de E eólica, E solar y E hidráulica
27.191 // 2015	Modificación Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica	Contribución del 8% de ER del consumo de energía eléctrica nacional al 31 de diciembre de 2017. Contribución de las ER del 20% del consumo de energía eléctrica nacional al 31 de diciembre de 2025. Límite de potencia para los proyectos de centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW Beneficios impositivos: amortización acelerada en el Impuesto a las Ganancias y devolución anticipada del Impuesto al Valor Agregado no serán excluyentes entre sí

Tabla n°2: Antecedentes leyes nacionales sobre energías renovables.

Fuente: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/9704/642-moreno-sintesis-legislacion.pdf

La producción de energía renovable en América Latina está experimentando un rápido crecimiento, y Argentina se posiciona como un actor destacado en esta tendencia. Con una capacidad instalada total de 4,7 gigavatios (GW) en proyectos eólicos y solares a gran escala en funcionamiento, el país se sitúa en el cuarto lugar en la región en términos de generación de energía renovable, según un informe de *El Cronista*⁷.

En la lista de los principales productores de energía renovable en 2023, Brasil lidera la región con una capacidad combinada de 27 GW en energía eólica y solar, seguido de cerca por Chile con 20 GW y México con 10 GW.

El desarrollo de la energía solar en Argentina ha dado lugar a un mercado en constante crecimiento, con varios proyectos en operación y otros en diversas etapas de desarrollo. Durante el año 2022, las energías renovables representaron el 14% de la demanda eléctrica total del país. Uno de los proyectos operativos más destacados es el Parque Solar Ullum, ubicado en la provincia de San Juan, que lidera la generación de energía limpia en Argentina. Genneia adquirió este parque en abril de 2018, y está compuesto por más de 300.000 paneles solares que proporcionan una capacidad instalada de 80 megavatios (MW), suficiente para abastecer a 50.000 hogares.

Otro proyecto de energía solar que ya se encuentra en funcionamiento se localiza en la provincia de Jujuy. Este proyecto es conocido como el Parque Solar Caucharí y es el parque solar más extenso de América del Sur, a cubrir un terreno de 800 hectáreas, de las cuales 600 están cubiertas por paneles solares. Estos paneles tienen la capacidad de producir 230.000 megavatios-hora (MWh) al año por cada 100 MW de potencia instalada. Además, el Parque Solar Caucharí desempeña un papel crucial en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), contribuyendo a evitar la emisión de 260.000 toneladas de CO₂ al año por cada 100 MW de capacidad instalada.

El crecimiento de la energía renovable en Argentina, con un enfoque particular en la energía eólica, ha sido notable en los últimos años. Según datos proporcionados por *Cammesa*⁸ (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico), en 2017, alrededor del 23% de la energía renovable se originó a partir de fuentes eólicas. Este porcentaje se ha triplicado en solo cinco años, alcanzando un impresionante 74% en 2021. En comparación, la energía solar también ha experimentado un crecimiento, aunque en menor medida. En 2021, aproximadamente el 12,6% de la capacidad instalada en fuentes renovables correspondía a la generación de energía solar.

Argentina, en consonancia con los compromisos internacionales, incluido el Pacto Climático de Glasgow, ha asumido compromisos en el ámbito ambiental y energético con

el propósito de mitigar el impacto del cambio climático. Estos compromisos incluyen un aumento significativo en la generación de energías renovables.

Sin embargo, a pesar de los avances, las metas establecidas por el Gobierno nacional aún no se han cumplido por completo. Según datos oficiales y análisis de organizaciones internacionales, para alcanzar los compromisos asumidos se requerirá una inversión considerable, estimada en un rango de entre US\$ 20 mil millones y US\$ 27 mil millones hasta el año 2030.

Esta inversión se considera esencial para el fortalecimiento continuo de la infraestructura y la capacidad de generación de energías renovables en la región. Esto no solo contribuirá a la mitigación del cambio climático, sino que también fomentará la independencia energética y el desarrollo sostenible en el país.

Argentina ha establecido objetivos ambiciosos en el campo de las energías renovables y se ha comprometido a aumentar de manera significativa la proporción de estas fuentes en su matriz energética. Sin embargo, a pesar de estos compromisos, la realidad presenta desafíos en el cumplimiento de estas metas.

Metas establecidas:

En la *Cumbre de Líderes sobre el Clima*⁹ celebrada de forma virtual el 22 de abril de 2021, el entonces presidente de la Nación, Alberto Fernández, anunció el compromiso de Argentina de "*desarrollar el 30% de la matriz energética nacional con energías renovables*". En octubre del mismo año, el Gobierno nacional ratificó esta meta a través de la Resolución 1036/2021, que aprobó los "*Lineamientos para un Plan de Transición Energética al 2030*". Esta resolución se presentó en la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*¹⁰ (COP26) que tuvo lugar en Glasgow (Escocia) en noviembre de 2022. En el ámbito de las energías renovables, este plan establece dos posibles metas: una más conservadora que prevé que para 2030 el 20% de la generación eléctrica provenga de fuentes renovables, y otra más ambiciosa que busca que la energía limpia represente el 30% del total. El compromiso de Argentina con el desarrollo de energías renovables se refleja en una serie de regulaciones y metas a lo largo del tiempo.

La Ley 26.190, promulgada en diciembre de 2006, inició la meta de que para 2016, las energías renovables satisficieran el 8% del consumo de energía eléctrica nacional.

La Ley 27.191 de 2015 modificó la legislación anterior y postergó la meta de cobertura de energías renovables hasta 2017, al tiempo que estableció nuevos objetivos ambiciosos. Estos incluyen lograr una cobertura del 12% en 2019, el 16% en 2021, el 18% en 2023 y el 20% en 2025.

Además, Argentina también se ha comprometido a alcanzar, antes de 2030, la generación de 1.000 megavatios (MW) de potencia a través de generación eléctrica distribuida. Esto se refiere a la generación de energía en hogares y otras instalaciones a partir de fuentes renovables, con la capacidad de inyectar el excedente en la red general.

Estas regulaciones y compromisos representan un paso significativo en el camino hacia la expansión de las energías renovables en Argentina, aunque los desafíos persisten en el cumplimiento de estas metas en su totalidad.

Sin embargo, en 2021, la potencia instalada de generación de energía a través de fuentes renovables alcanzó un 12% del total, según los datos de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (Cammesa). Además, las fuentes renovables generaron un 13% de la energía que demandó el sistema eléctrico argentino. Ambos porcentajes están muy por debajo del 16% que plantea la ley para ese año.

Emisiones de gases de efecto invernadero

El pico de emisiones de gases de efecto invernadero en nuestro país se produjo en 2017, con un total de 424.627 gigagramos de dióxido de carbono equivalente (GgCO₂ equivalente). Estos datos provienen de la estimación más reciente realizada en 2021 por el *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*¹¹ en su "Cuarto informe bienal ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático". Estos números subrayan la importancia de abordar de manera efectiva la reducción de emisiones y la adopción de prácticas más sostenibles para abordar el cambio climático.

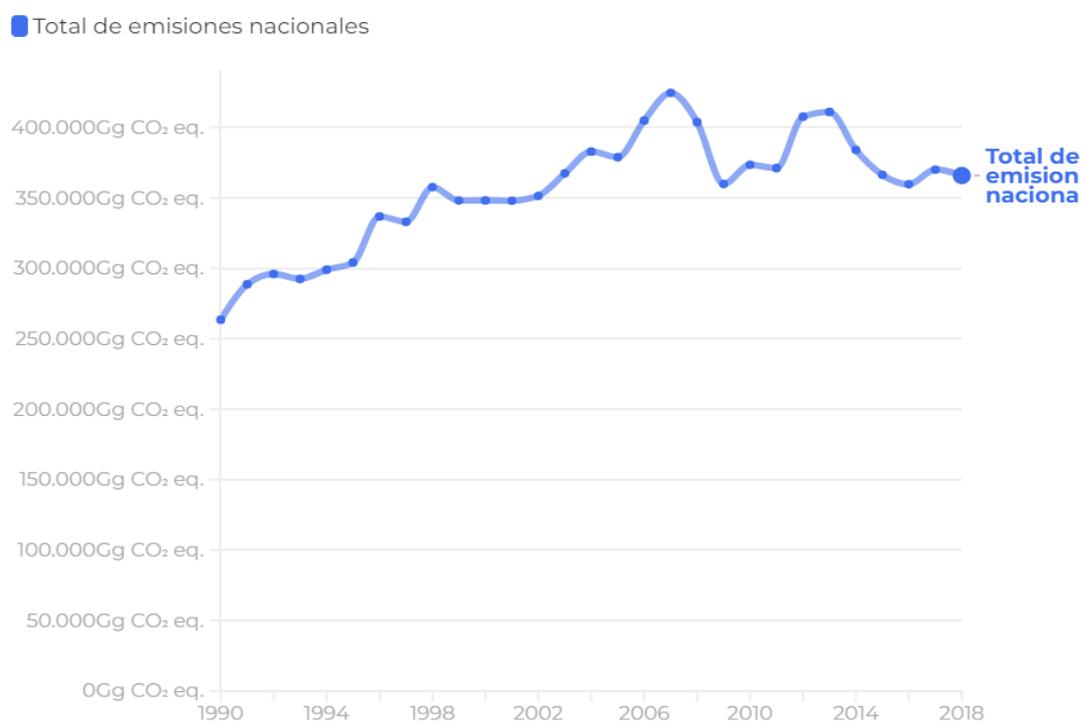


Figura n°25: Emisión nacional gases de efecto invernadero

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

En 2018, Argentina emitió una cantidad de gases de efecto invernadero similar a la que se registró en 2003, lo que representó una reducción del 11% en las emisiones en un período de 5 años.

A nivel global, las emisiones del sector energético argentino constituyen aproximadamente el 0.5% del total de emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo, según datos de Climate Watch citados por la Secretaría de Energía de la Nación. Argentina ocupa la posición 31 entre los países con mayores emisiones a nivel global. Las naciones con mayores contribuciones son China, que aporta el 27,2% del total, seguida de Estados Unidos con un 14,2%, e India y Rusia, que contribuyen cerca del 6%.

La mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero en Argentina se derivan de la generación de energía. Por esta razón, la *Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN)*¹² destaca que la energía es un enfoque primordial en las estrategias de descarbonización. Esto involucra tanto la generación de electricidad limpia como la

promoción de la electrificación, aspectos clave para reducir la huella de carbono del país y abordar el cambio climático.

El constante aumento del consumo de energía, característico de una nación en crecimiento, plantea un desafío significativo en cuanto a la incorporación de nuevas fuentes de generación eléctrica para satisfacer las demandas de manera efectiva. Este hecho motiva la implementación de un plan que abarque el desarrollo eficiente de todas las presas hidroeléctricas potenciales que existen en Argentina.

En este contexto, el Estado asume la responsabilidad de coordinar, fomentar y promover el desarrollo. En nuestra área de competencia, esta responsabilidad se origina en la investigación, el desarrollo, la actualización y la promoción de proyectos, lo que implica llevar a cabo las inversiones necesarias para obtener la información previa requerida antes de licitar la construcción de las obras hidroeléctricas.

Como se ha mencionado anteriormente, las represas o presas desempeñan un papel fundamental al permitir el almacenamiento de agua en períodos de exceso y su disponibilidad en momentos de escasez, para ser utilizado en una variedad de propósitos, que incluyen el consumo humano, riego agrícola, abastecimiento industrial y otros usos, tanto consumitivos como no consumitivos. Además, estas estructuras ofrecen ventajas adicionales, como la prevención de inundaciones y sequías, la generación de energía hidroeléctrica, el fomento del turismo, el desarrollo de la agricultura, la pesca y la recreación, y la mejora de las condiciones ambientales, entre otras.

Es importante destacar que las presas hidroeléctricas representan la única fuente de energía capaz de brindar electricidad con una combinación de atributos excepcionales. Esto incluye la generación de energía renovable, limpia, estable, flexible y económicamente eficiente. Además, los costos asociados a la energía hidroeléctrica son notables bajos por unidad de energía generada y no están sujetos a las fluctuaciones de precios en los mercados internacionales,

Las presas hidroeléctricas son las únicas fuentes capaces de brindar electricidad con atributos simultáneos de suministro a gran escala de una energía renovable, limpia, estable, flexible, económica en su explotación; y cuyos costos, además de ser sumamente bajos por

unidad de energía generada, no están sujetos a variabilidad de precios internacionales (como sí es el caso de los combustibles fósiles, con los que compite en escala de producción la energía hidráulica).

Las represas son en la actualidad la mejor alternativa para generación de energía renovable a escala suficiente para el desarrollo sustentable de todo un país o una región; sus proyectos ameritan evaluaciones situadas, prudentes y equilibradas en orden a la totalidad de sus implicancias para el conjunto de la sociedad.

Los principios del *Programa Nacional de Obras Hidroeléctricas para el 2025*¹³ (creado en 2009), convergen en la conveniencia estratégica de mayor progreso, profundización y expansión del camino reiniciado en 2003 de crecimiento y desarrollo sustentable en democracia.

- Contribuir y apuntalar el desarrollo territorial equilibrado;
- Aportar al crecimiento de la oferta energética. Ello a través de inversiones en presas hidroeléctricas, que generan en gran escala energía estable y flexible, limpia, renovable y de explotación económica, en respuesta a las crecientes actividades económico productivas en la Argentina, del presente y futuro;
 - Reemplazar las energías no renovables;
 - Incrementar y mejorar la calidad de la matriz de generación energética;
 - Proteger e incrementar nuestras reservas de agua dulce;
 - Cooperar a la sustentabilidad hídrica posibilitando el desarrollo de nuevas áreas de producción agropecuaria e industrial en el marco del *Plan Estratégico Agroalimentario y Agroindustrial Participativo y Federal 2020*¹⁴ (PEA);
- Contribuir al desplazamiento de centros de gravedad demográfica según intereses de integración nacional;
- Aportar a la transformación positiva de la estructura social, económica, política y geopolítica de muchas regiones del país.

Todo incremento en la cantidad de habitantes de un país y/o en sus niveles de producción, todo aumento en la generación de valor de nuestra economía y en el nivel de

vida de la población, en cualquiera de los casos van acompañados, necesariamente, de mayor consumo eléctrico.

Según datos de CMMESA, en 2021 las centrales hidroeléctricas de la Argentina generaron 10.834 MW, poco menos de un tercio del total del país.

De esta manera, la energía hidráulica ocupó el segundo lugar luego de la producida por las centrales térmicas convencionales (25.398 MW), que son aquellas que utilizan combustibles fósiles, como gas natural o carbón.



Figura n°26: Distribución represas hidroeléctricas en la región.

Fuente: https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Centrales_hidroel%C3%A9ctricas_de_Argentina

MICROGENERACIÓN ELÉCTRICA EN ARGENTINA

Si partimos que la energía hidroeléctrica en sí es una fuente de energía renovable, también lo son sus derivados. Existen varias razones detrás de su falta de explotación en Argentina y en otros lugares:

- Falta de acceso a tecnologías confiables y de bajo costo: La inversión inicial en equipos y tecnologías hidroeléctricas puede ser un obstáculo, especialmente en áreas rurales y remotas. Las tecnologías más enormes y confiables podrían hacer que estos sistemas fueran más accesibles para comunidades locales.
- Falta de capacidad local: La falta de conocimientos técnicos y de mano de obra capacitada para la evaluación, planificación, diseño e implementación de sistemas de generación hidroeléctrica a pequeña escala puede ser una limitación importante. La capacitación y el desarrollo de habilidades locales son esenciales para superar este obstáculo.
- Sostenibilidad y confianza en sistemas pequeños: Existe cierta incertidumbre en torno a la sostenibilidad de los sistemas de generación hidroeléctrica a pequeña escala en áreas aisladas. Esto puede llevar a una falta de confianza en la inversión en estas tecnologías, lo que se puede abordar mediante una mayor educación y divulgación sobre su viabilidad y beneficios a largo plazo.
- Falta de políticas y estrategias de promoción: Para fomentar la adopción de microcentrales hidroeléctricas, se requieren políticas y estrategias a nivel nacional o regional que proporcionen incentivos y apoyo a las comunidades locales y las empresas interesadas en desarrollar proyectos hidroeléctricos.

MICROTURBINAS

En el ámbito de las MCH (microturbinas hidráulicas), las tecnologías más difundidas para las máquinas con capacidades de 1 a 300 kW incluyen las turbinas Pelton, Michell-Banki y de hélice. Estas tecnologías se eligen en función de las condiciones específicas de la ubicación y la capacidad de generación requerida; ya que, a menudo, representan un equilibrio entre eficiencia y costos en proyectos de pequeña escala.

En el contexto de microcentrales hidroeléctricas (MCH) y, al igual que en las grandes centrales, se utilizan diferentes tipos de turbinas para adaptarse a las condiciones específicas de cada proyecto. Las características de las microturbinas hidroeléctricas son:

- **Turbinas Pelton:** como se mencionó anteriormente, estas turbinas son adecuadas para aprovechar grandes alturas de caída, generalmente en el rango de 50 a 500 metros.
- **Turbinas tipo Hélice:** Las turbinas tipo hélice son ideales para el aprovechamiento de pequeños desniveles, tamaño menos de 10 metros de caída. Son adecuados para proyectos en los que la altura de caída es limitada, pero el caudal de agua disponible es suficiente para generar energía.
- **Turbinas Michell-Banki:** Estas turbinas ofrecen ventajas comparativas en una amplia gama de valores de caudal y altura de caída. Tienen un rendimiento más alto tanto a cargas parciales como a plena carga, son más sencillas de construir y suelen tener un menor costo por unidad de potencia instalada en comparación con otras tecnologías. Son ideales para proyectos que abarcan saltos de agua en el rango de 3 a 80 metros de desnivel y ofrecen una solución competitiva en una variedad de situaciones.

INVESTIGACIONES EN LA REGIÓN

La disponibilidad de literatura especializada sobre proyectos de microgeneración hidroeléctrica en Argentina es limitada. Según la definición previamente establecida para microcentrales hidroeléctricas, sólo se han registrado oficialmente 13 centrales en el Ministerio de Economía. Sin embargo, cabe destacar la existencia de varios proyectos no registrados, combinados dedicados al suministro de energía en escuelas rurales y otras instalaciones aisladas en entornos rurales.

Un ejemplo representativo es la microcentral hidroeléctrica UNEN. Este proyecto se concibió con el propósito de generar energía eléctrica para abastecer a una escuela rural aislada, la Escuela Nro. 252 en Paimún, ubicada en la región montañosa de la provincia de Neuquén. Esta central opera con un caudal nominal de 70 litros por segundo y una carga hidráulica de 3,65 metros, generando 1,8 kW de potencia. A pesar de su tamaño modesto,

estos proyectos desempeñan un papel importante al proporcionar electricidad en áreas rurales remotas, contribuyendo así a promover la sostenibilidad en el sector energético.

Sin embargo, en nuestro país se han y se continúan llevando a cabo investigaciones en diferentes universidades relacionadas a la microhidráulica y su aplicación. Se destaca la provincia de Córdoba como la que más desarrollos de micro y mini turbinas ha realizado.

➤ En el 2010, como tesis de grado del Instituto de Tecnología de Buenos Aires, se presentó el proyecto: “*Abastecimiento Sustentable De Energía A Regiones Rurales Aisladas. Análisis De Generación De Energía Hidroeléctrica De Paso Utilizando Un Tornillo De Arquímedes*”¹⁵. Cuyo objetivo fue brindar una alternativa para solucionar el estado de falta de energía eléctrica en vastas regiones rurales del país. A tal fin se buscó definir en qué sitios aislados de la red eléctrica, el sistema de generación propuesto es una alternativa más atractiva y adecuada como fuente de obtención de energía en comparación con los otros sistemas de microgeneración disponibles actualmente en el país.

El sistema propuesto se clasifica como pequeña central hidroeléctrica (mini – microcentral) y se trató de un nuevo diseño que utilizaba un Tornillo de Arquímedes como fuente motriz del sistema de rotación.

➤ En la Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba - Facultad de Ingeniería, durante el año 2002, se presentó el diseño y la construcción de una microturbina hidráulica “Diseño y Construcción de una Microturbina Hidráulica de 1 Kw”. La misma estaba destinada a zonas donde sus características geográficas y baja densidad poblacional no permitieron económicamente la factibilidad del suministro de energía eléctrica por medio de líneas de transmisión y distribución, pero poseían un adecuado potencial para la instalación de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos.

Por este motivo, el diseño y construcción de este tipo de turbina se llevó a cabo por medio de un convenio Universidad – Empresa, lo que permitió realizar el diseño en la Universidad y la construcción en la Empresa adoptante del proyecto, con resultados altamente satisfactorios, ya que se arribó a la construcción de un prototipo industrializable.

Se optó por utilizar un generador de producción en serie con la cual se suscribió el convenio antes mencionado, que entrega 1 KW a 2000 RPM. Esta decisión aceleró el

proceso de diseño, ya que define dos variables importantes, potencia y velocidad de giro de la máquina. Esta opción se consideró adecuada ya que la energía suministrada, de 720 KW-h mensuales, es suficiente para abastecer un pequeño establecimiento o un conjunto de unas seis viviendas familiares con 120 KW-h mensuales cada una. En el orden de esta potencia, los costos de la instalación hidráulica, como ser: obra de toma, canal de aproximación y cañería forzada, no alcanzan costos elevados con respecto al valor de la máquina.

La altura del salto hidráulico, luego de estudiar posibles emplazamientos del conjunto generador se fijó de común acuerdo con la empresa adoptante en tres metros de columna de agua efectivos, lo que condujo a un caudal manejable con tuberías comerciales de PVC.

La metodología de diseño tomó como punto de partida los métodos usados para máquinas de mayor porte, los que fueron adaptados a las necesidades correspondientes en el área de micro turbinas hidráulicas. El resultado fue la realización de una máquina de bajo costo. Este modelo se diseñó para ser fabricado en grandes series a fin de disminuir costos. (Brizuela y Zanella¹¹, 2001).

➤ En 2018, docentes-investigadores de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba han trabajado en proyectos de investigación relacionados con micro turbinas hidroeléctricas presentando así en el XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica el proyecto: “*Micro Turbinas Hidráulicas. Diseños, Adaptaciones Para Enseñanza De Microhidrogeneración*”¹⁶ Estos proyectos han simplificado los modelos comerciales para hacer que las turbinas sean accesibles a las comunidades locales aisladas con el apoyo de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNC. Se desarrollaron:

-*Micro Turbina Michael Banki*: se diseñó y se construyó completamente en talleres de la Ciudad de Córdoba en escala 1:1.

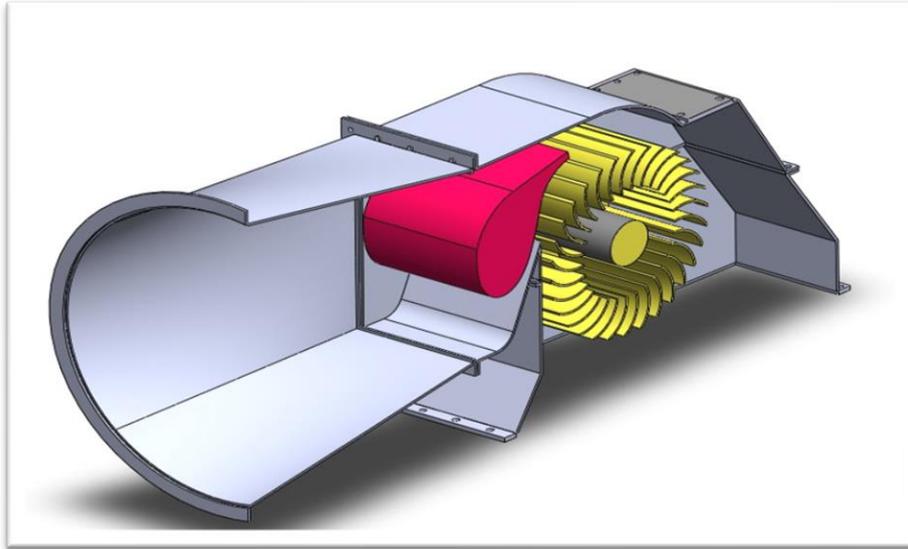


Figura n°27: Microturbina Banki.

Fuente: <https://grabcad.com/library/turbina-michel-banki-1>

Esta máquina se encuentra actualmente instalada en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

El desarrollo del proyecto de la turbina Michael Banki generó un impulso importante en la temática del uso de energías renovables en Córdoba y ha fomentado el desarrollo de grupos de investigación local vinculadas para mejorar el desarrollo tecnológico de ésta área de generación energética.

-*Microturbina Axial*: la máquina que se desarrolló en la Universidad Nacional de Córdoba en 2015 busca producir como mínimo un megavatio. El caudal considerado es de 0.1 m³/s y una altura neta de 5 m. Con estos valores, considerando un rendimiento de aproximadamente 60%, obtenemos una potencia útil aproximada de 3 kW.

En estas máquinas el perfil de los alabes tiene características hidrodinámicas con poca curvatura, que facilita su rendimiento y aumenta la velocidad del fluido (agua), estas características hacen que estas turbinas se construyan de diámetros de rodete bastante pequeños.

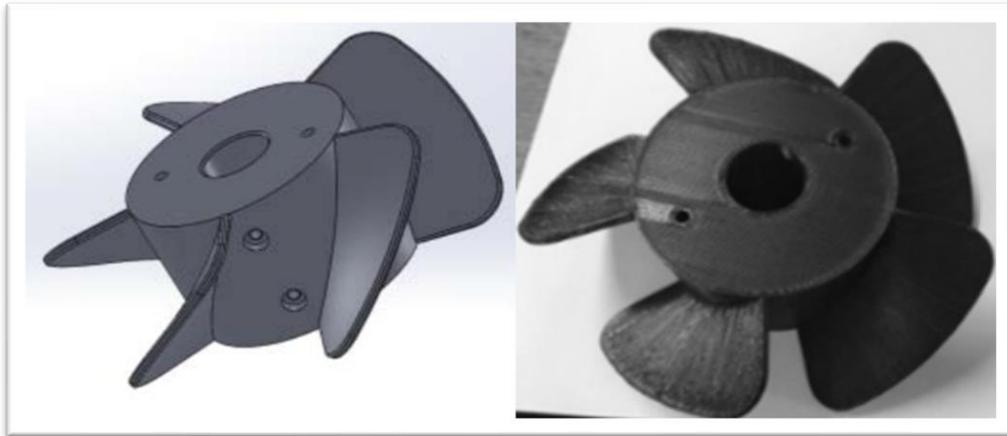


Figura n°28: Rodete de microturbina hélice.

Fuente: https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/resumenes/LADHI_2018_RE_317.pdf

-*Turbina Turgo*: la turbina tipo Turgo permite trabajar en cauces que poseen saltos intermedios, pero con bajos caudales, para así poder ofrecer al mercado local una nueva alternativa a las diferentes condiciones de cada localización.

De la misma manera que con la turbina axial se procedió con la turbina Turgo. Es una turbomáquina motora de acción, a chorro libre, de flujo radial. Tiene varias ventajas sobre la turbina Francis y la Pelton en determinadas aplicaciones. El rodete es más barato de fabricar que el de una Pelton, no necesita una carcasa hermética como la Francis, dispone de una velocidad específica más elevada y puede manejar un mayor flujo para el mismo diámetro que una turbina Pelton.

El distribuidor de la turbina Turgo consiste básicamente en un inyector del tipo que proyecta un chorro de agua inclinado respecto al eje del Rodete, en un ángulo de 15° a 22.5° .

El rodete se asemeja a un medio rodete Pelton, como si a este se le dividiera mediante un plano que pasa por las aristas de las cucharas y sea perpendicular al eje.

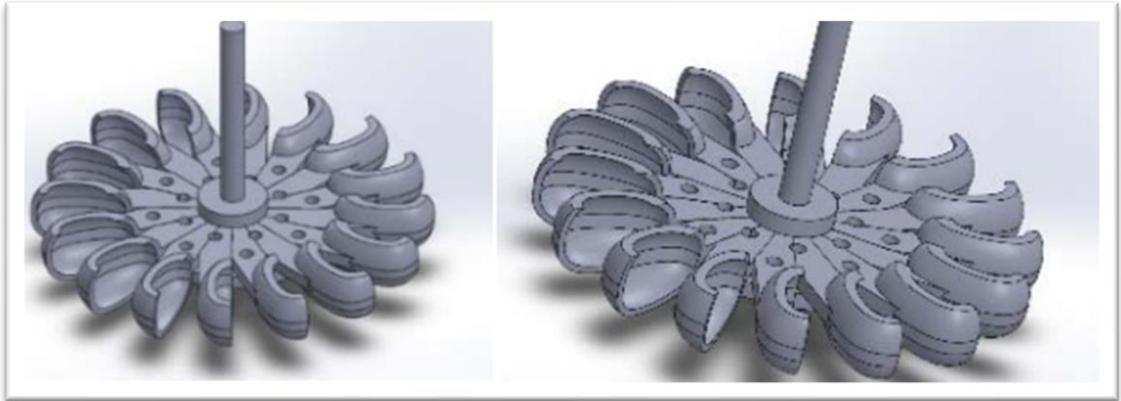


Figura n°29: Microturbina turgo en Solidworks

Fuente: https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/resumenes/LADHI_2018_RE_317.pdf

➤ Otra investigación desarrollada también en Córdoba fue en 2014. La población rural durante el 2014 era el 11,3 % del total y el 6% se encontraba en zonas aisladas. Aproximadamente el 30% de la población rural no estaba conectada al sistema de distribución eléctrica. Este fue el contexto en el cual se realizó el proyecto y construcción de una turbina Michell-Banki, con el fin de ser considerada una opción para pequeñas localidades de la zona.

El diseño consideró los siguientes parámetros de caudal y salto en función de la ubicación y el flujo que se tiene disponible en el lugar de implantación de la máquina: salto efectivo: 25,00 metros y caudal: 0,120 m³/s

De acuerdo con estos condicionantes de diseño se definieron los elementos de una máquina de potencia 30kVA. Una máquina de estas características podrá servir sin problemas a unas 20 casas.

Luego de finalizado el diseño mecánico se efectuaron los planos constructivos de los distintos subconjuntos. Finalizados los trabajos de gabinete se comenzó con la construcción de los distintos elementos de la turbina. Finalmente, antes de instalar la máquina en el sitio se está ensayando en el laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

Los resultados han demostrado que estas turbinas son sencillas, con bajos costos de fabricación, instalación y mantenimiento. Además, se analizaron distintos sitios para su instalación tanto desde el punto de vista hidráulico como de las poblaciones a las cuales suministrarían energía.

La necesidad de encontrar soluciones energéticas descentralizadas de bajo costo e impacto ambiental, que contribuyeran al desarrollo de localidades aisladas, hace de este tipo de turbinas (de fácil construcción, mantenimiento e instalación), una opción cada vez más utilizada en diversos países.

Pero estos estudios han demostrado que estas turbinas convencionales modificadas (miniaturizadas y de diseño simplificado) tienen aplicaciones limitadas debido a la escasa eficiencia del flujo parcial, las dificultades de instalación y el despliegue antieconómico.

PREFACTIBILIDAD

Esquema Analítico

Como ya se ha descrito en la parte introductoria de este trabajo, el estudio de prefactibilidad se centrará en determinar, según criterios preestablecidos, qué sistema, modelo o estructura satisfacen las premisas iniciales ya detalladas anteriormente.

Los objetivos del trabajo jugarán el rol de criterios de selección y conducirán; a través de mecanismos de elección, a la opción definitiva, la cual será desarrollada en el apartado *Factibilidad*.

Para otorgarle una forma o estructura comparable a los objetivos y transformarlos en elementos de medición y ponderación se establecerán dos mecanismos de selección: uno numérico y otro descriptivo.

A continuación, los definiremos brevemente.

DIAGRAMA FODA

Un diagrama FODA es una herramienta visual utilizada en la planificación estratégica que permite analizar, a través de la división de una entidad o situación cuatro áreas clave:

Fortalezas: Son cualidades internas positivas que proporcionan ventajas competitivas, como recursos sólidos o habilidades distintivas.

Oportunidades: Representan factores externos favorables que se pueden aprovechar para alcanzar los objetivos.

Debilidades: Son las limitaciones internas que pueden obstaculizar el desempeño del sistema.

Amenazas: Representan factores externos negativos que plantean potenciales desafíos y riesgos.

MATRIZ DE PRIORIZACIÓN

Consiste en una herramienta que se usa para la toma de decisiones a los efectos de evaluar y clasificar opciones, alternativas o proyectos en función de criterios predefinidos. Es un medio para asignar prioridades de manera sistemática y objetiva la cual se visualiza mediante la preparación de una tabla o diagrama.

Los pasos que se contemplarán para ejecutar la matriz son:

- Identificar los Criterios de Evaluación: Se definirán los criterios que son importantes para la toma de decisiones.
- Asignar Ponderaciones: Se asignará un peso o importancia a cada criterio para reflejar su relevancia relativa en la toma de decisiones. Las ponderaciones se expresarán como porcentajes o valores numéricos.
- Evaluar las Opciones: Se evaluará cada opción o alternativa en relación con cada criterio, utilizando una escala predefinida, como una puntuación numérica o una descripción cualitativa.
- Calcular Puntajes Ponderados: Se obtendrán los valores numéricos correspondientes a las ponderaciones establecidas.
- Clasificar las Opciones: Se clasificarán las opciones en función de sus puntajesponderados.
- Toma de Decisiones: En función de la información obtenida a través de los pasos anteriores se elegirá la opción más conveniente en relación directa al puntaje obtenido en el paso anterior.

Planteamiento de las opciones

Antes de poder realizar los análisis correspondientes es importante la definición de las opciones que serán a posteriori evaluadas tanto por el FODA como por la matriz de Priorización.

En los capítulos anteriores se realizó una compilación teórica y técnica de los elementos que tienen un rol participativo/activo en el presente proyecto y que ahora se mostrarán como opciones factibles de ser analizadas por los sistemas propuestos.

A su vez se debe destacar que, como los objetivos detallan, el tipo de energía renovable que se considerará para los planteamientos futuros dentro del presente cuerpo investigativo será la **energía hidráulica**, ya que su uso en la generación de electricidad viene ocupando un rol trascendente desde hace décadas y sumado a su amplia, extensa y homogénea disponibilidad en la región se presenta como la alternativa más consistente y afín a los preceptos que se desprenden del trabajo.

Dentro de este estado analítico y atendiendo también a aquellos puntos postulados en los objetivos, las estructuras que elegiremos atenderán a la generación de energía de manera limpia y sustentable.

Tal como fue explicado en el capítulo inventario, la microhidráulica reúne condiciones que presentan, según los criterios determinados para nuestro enfoque, ventajas competitivas en relación a los otros tipos definidos en la clasificación (según capacidad potencial de energía generada) ya que no pretende cubrir demandas “grandes y extensas” y no se encuentra en el espectro de las “pico-generación de energía”, por lo que en función de la escala elegida para este proyecto (viviendas, pequeños barrios o zonas rurales cercanas a cauces de agua), representa la mejor alternativa.

De acuerdo a los distintos tipos de clasificaciones de las centrales hidráulicas en función de sus componentes o elementos constitutivos se desarrollarán las diagramaciones analíticas.

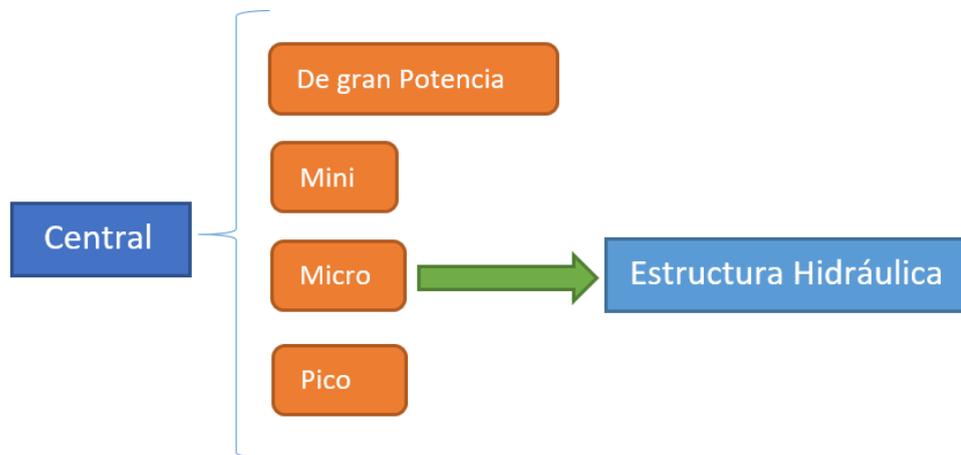


Figura n°30: Clasificación de central hidroeléctrica en función de sus componentes.

Fuente: Autora

Bajo esta perspectiva teórico/técnica, la desagregación de la información antes detallada permite postular en el nivel más general del término, en principio, dos alternativas globales, con sus correspondientes clasificaciones particulares.

Estas opciones son:

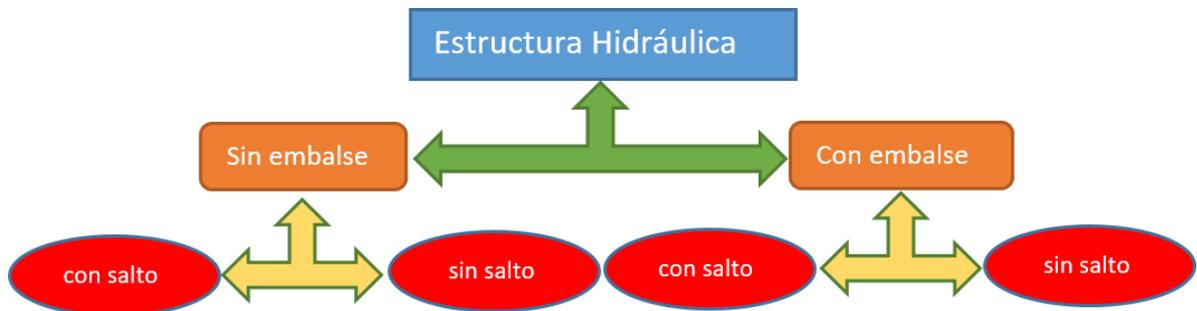


Figura n°31: Alternativas estructura hidráulica.

Fuente: Autora

Es decir, se tiene por un lado una estructura hidráulica con embalse, la cual podría tener salto o caída y también una estructura sin embalse con idénticas variaciones. A los efectos de decidir bajo los preceptos ya aclarados, se debe considerar la necesidad o no de la utilización de un embalse para este proyecto. Para eso, se analizará el grado de afectación de la consideración o no, dentro de un proyecto de este tipo de estructuras.

Dentro del marco de las clasificaciones ya enunciadas en los capítulos anteriores, las que resultan de la anterior diagramación son:

- Centrales de agua fluyente (sin embalse)
- Centrales a pie de presa (con embalse)

Impacto de los embalses en el medio

Existen numerosos estudios y una amplia literatura científica que investigan los impactos de las presas y los embalses en los ecosistemas. Estos estudios abordan diversas áreas de investigación y evalúan los efectos ambientales de las presas desde diversas perspectivas. Estas investigaciones coinciden en la afectación en mayor o menor medida, de las siguientes áreas.

- Hidrología y calidad del agua: Estos estudios se centran en cómo las presas afectan el flujo de agua, la calidad del agua, la temperatura del agua y la disponibilidad de nutrientes. Se analizan los cambios en los patrones de inundación, la sedimentación y la erosión, así como los efectos en la biodiversidad acuática.

- **Ecología de ríos y humedales:** Evalúan cómo la construcción de presas afecta a los hábitats acuáticos, la vegetación ribereña, la fauna y la flora en las áreas inundadas y en aguas abajo de la presa.
- **Impacto en la biodiversidad:** Estudios de impacto ambiental evidencian el impacto de las presas en la biodiversidad local y regional, identificando las especies que pueden verse afectadas y aquellas que pueden adaptarse a los cambios en el entorno.
- **Cambio climático y emisiones de gases de efecto invernadero:** Se investiga cómo la formación de embalses puede dar lugar a la emisión de gases de efecto invernadero, como metano, debido a la descomposición de materia orgánica en los sedimentos. Estos estudios evalúan el papel de las presas en el cambio climático.
- **Socioeconómica y aspectos humanos:** Además de los impactos ecológicos, se investiga cómo las presas y/o embalses afectan a las comunidades locales, la agricultura, la pesca y otros sectores económicos, así como a la calidad de vida de las personas que viven en las áreas circundantes.

Es decir que la construcción de un embalse tiene desde diferentes perspectivas una afectación multidimensional, cuyos impactos negativos varían en magnitud según factores como el tamaño de la presa, el diseño de la represa, la ubicación geográfica y las medidas de mitigación implementadas. Algunos de estos tipos de impacto incluyen:

- **Pérdida de hábitat:** La creación de un embalse implica la inundación de grandes extensiones de tierra, incluyendo áreas forestales, humedales, hábitats ribereños y terrestres. Esto puede llevar a la degradación y la pérdida de hábitats importantes para numerosas especies de plantas y animales.
- **Alteración del flujo de agua:** Una presa detiene el flujo de agua en el río, lo que puede afectar los ecosistemas aguas arriba y aguas abajo de la misma. Aguas arriba, la acumulación de agua en el embalse puede inundar áreas, alterar hábitats y cambiarlos patrones naturales de inundación. Aguas abajo, el flujo de agua puede reducirse drásticamente, lo que puede afectar la fauna y flora acuáticas y terrestres, así como los patrones de sedimentación.

- Barreras para la migración de peces: Las presas pueden bloquear la migración de peces y otros organismos acuáticos, lo que puede afectar sus poblaciones y la diversidad genética.
- Cambios en la calidad del agua: La retención del agua en el embalse puede cambiarla calidad del agua. El agua estancada en el embalse puede calentarse, acumular nutrientes y sedimentos, lo que puede afectar la calidad del agua y la biodiversidad acuática.
- Emisiones de gases de efecto invernadero: La creación de embalses puede dar lugar a la emisión de gases de efecto invernadero.
- Efectos sociales y culturales: La construcción de presas también puede tener impactos sociales y culturales, como la reubicación de comunidades locales y la alteración de su modo de vida.

Siguiendo con la dialéctica esbozada por ambos diagramas se determina que aquella estructura hidráulica que no posea embalse está más en sincronía con el cumplimiento de los parámetros de este trabajo.

Es de ahí que se debe seguir dándole forma a las opciones factibles, a las conclusiones parciales obtenidas, las que permitirán ir al encuentro de la respuesta técnica buscada.

Opciones Técnicas para cada propuesta

En virtud de lo mostrado por los diagramas y por las conclusiones parciales obtenidas hasta el momento es menester darle una forma concreta a las opciones, para así, poder especificar más detalladamente el análisis.

Se va a prescindir del embalse como elemento constitutivo de la estructura, restando poner forma a qué tipo de tecnología satisface las premisas del proyecto bajo los formatos de (con salto y sin salto hidráulico).

Si bien existen opciones diversas, las que se posicionan más claramente son las que se desarrollarán a continuación.

Factor de escala

La definición de este parámetro proporcionará un marco objetivo para magnificar las potenciales estructuras. Dicha objetivación se dará a partir de darle un espectro numérico a los objetivos iniciales del trabajo.

Como ya fue planteado las potenciales líneas de deseo del presente cuerpo investigativo son:

- Proponer estructuras civiles que mediante la energía limpia puedan satisfacer la demanda de un grupo pequeño de personas y viviendas.
- Disminuir el impacto de la obra a valores mínimos.

De los ítems anteriores se desprende que, como ya fue descrito, la energía a utilizar será la hidráulica y la consideración de escala de pequeños números de viviendas a proveer serán lo que puedan satisfacer un grupo entre 20 y 100 personas, lo que corresponde a una potencia aproximada de 10 a 20 kw.

Cabe destacar también que el escenario geográfico sobre el que se basa el estudio es sobre la orografía de nuestra región (Cuenca hidrográfica del Río Uruguay) caracterizado por pendientes y caudales variables, lo que permite hacer un deductivismo y replicar estos estudios con exactitud.

Opción 1: Con Salto Hidráulico

El siguiente gráfico muestra una relación entre el salto, caudal y la turbina apropiada para las diferentes proporciones.

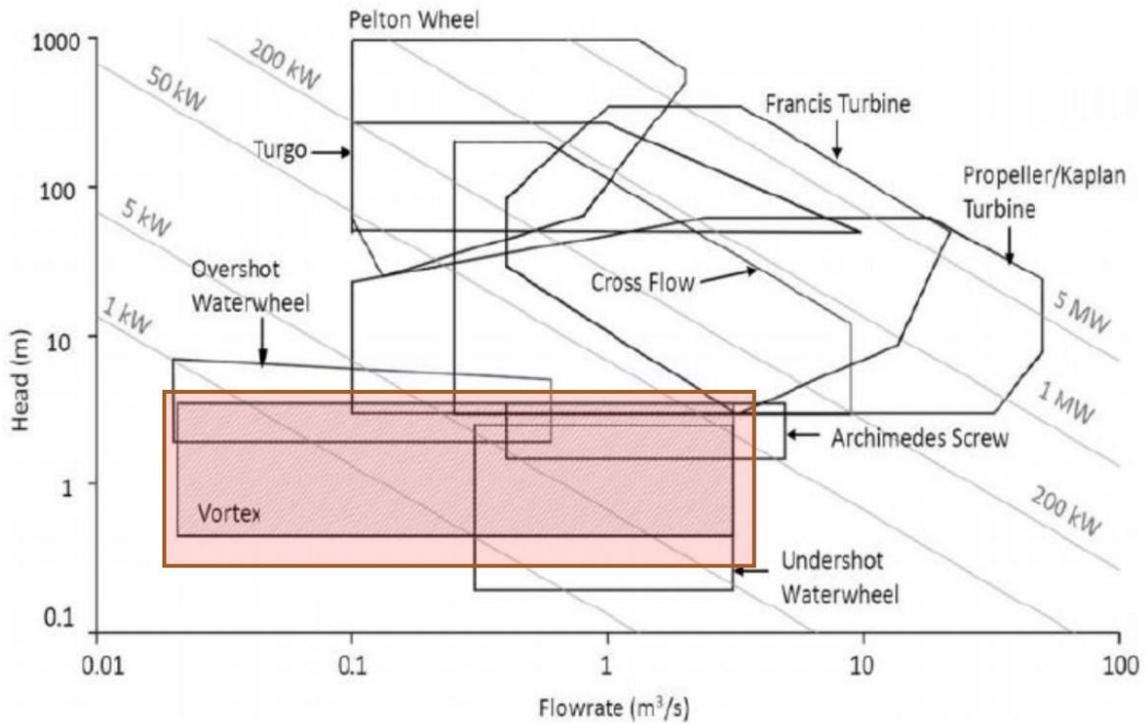


Figura n°32: Rangos de operación para turbinas

Fuente: <https://www.redalyc.org/journal/5537/553768365003/html/>

Como se puede apreciar y según los parámetros ya aportados que guían la concreción del presente proyecto dicha opción está representada por la turbina tipo Vortex, la cual aplica al rango de caudales y desniveles buscados. aplica al rango de caudales y desniveles buscados.

A continuación, se detallará cuáles son sus principales características de la misma.

Turbina de Vórtice Gravitacional

El sistema de Vórtice de Agua Gravitacional (GWV) es una tecnología que utiliza el concepto de vórtice (remolino) de agua superficial libre para la generación de energía eléctrica.

Los estudios experimentales e investigaciones sobre la microgeneración hidráulica comenzaron a ganar impulso a partir de 1996, cuando el inventor greco-australiano Paul Kouris comenzó a explorar formas de aprovechar la energía generada por un remolino. Posteriormente, el inventor austríaco Franz Zotlöterer patentó una turbina similar a la de

Paul, en un esfuerzo por aprovechar la energía cinética de un remolino en el agua sin requerir una fuente de alimentación externa. Este nuevo sistema de generación hidráulica se conoce como "hidrogeneración por vórtice gravitacional".

El concepto detrás de la hidrogeneración por remolino gravitacional se basa en la captura de la energía cinética de un remolino inducido y la energía potencial asociada a un pequeño desnivel entre el punto de entrada y el punto de salida del agua. A diferencia de otros enfoques, esta generación no depende de las diferencias de presión, sino de la fuerza dinámica del remolino. Se utiliza una turbina que aprovecha la energía generada por el remolino para hacer girar sus paletas y generar electricidad.

Este enfoque de generación hidráulica tiene el potencial de ser una forma efectiva de generar electricidad en lugares donde se pueden crear remolinos de manera natural o artificial, y su bajo impacto ambiental lo convierte en una opción interesante en la búsqueda de soluciones sostenibles de generación eléctrica.

El vórtice gravitacional hidráulico posee las características de un vórtice compuesto o vórtice de Rankine. En este contexto, el flujo próximo al núcleo se comporta como un sólido rígido, mientras que el resto del flujo se comporta como un vórtice libre.

Este vórtice se origina debido al flujo tangencial en la garganta del inductor de vórtice, que entra en contacto con la cámara cilíndrica estacionaria de vórtice.

En el ámbito de la dinámica de fluidos, se define un vórtice gravitacional como el movimiento de un fluido a lo largo de una trayectoria curvada, lo cual da lugar a un patrón de flujo curvado. A medida que el mismo se desplaza entre las trayectorias de flujo curvadas, se experimenta una fuerza centrífuga que actúa en una dirección radial. Esta fuerza centrífuga se equilibra mediante la acción de la fuerza de presión que actúa en la misma dirección radial.

Por otro lado, este tipo de turbina tiene un diseño compacto que facilita su adaptación y su instalación en espacios reducidos disponibles. Generalmente el diámetro exterior de la cámara del vórtice llega a medir un máximo de 4 m, lo que representa la necesidad de poco espacio para su montaje.

La generación eléctrica máxima que alcanza esta turbina actualmente llega a los 55 kW, esto es debido a la limitación que presenta el generador ya que trabaja en un rango de salto comprendido entre 1 m y 4.4 m, además de un rango del caudal que van desde los 0.7 m³/s hasta los 4 m³/s *Turbulent Hydro*¹⁷ pero hay casos como los de *Turbulent Hydro* que está trabajando en proyectos para construir turbinas que generen 100 kW en Ylang – Taiwán, y 140 kW en Mindanao– Filipinas.

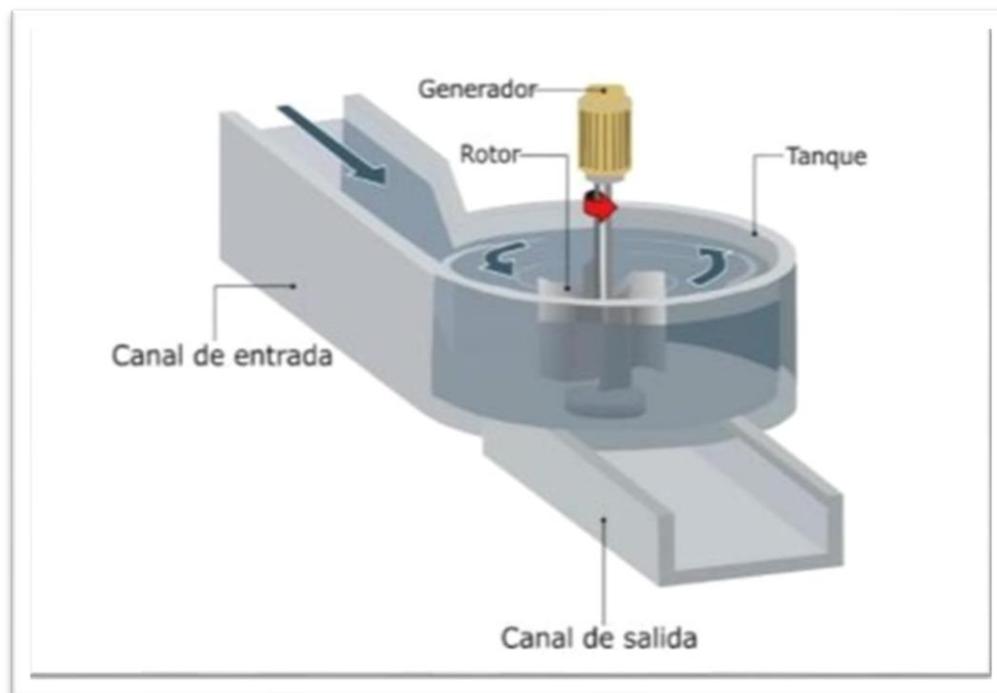


Figura n°33: Vórtice Gravitacional o de Rankine.

Fuente: https://semarakilmu.com.my/journals/index.php/CFD_Letters/article/view/542

Opción 2: Sin salto hidráulico

Para esta alternativa, existen diversas opciones dentro de las cuales se encuentran:

- ***Micro turbina tipo tornillo de Arquímedes:***

Este dispositivo se puede instalar en cualquier estructura hidráulica que esté en operación y no esté aprovechando toda el agua que pasa por ella.

Actualmente se encuentran en operación microcentrales con una capacidad de entre 5kW y 200 kW.



Figura n°34: Turbina tornillo de Arquímedes Proyecto Hidrotor.
Fuente: <https://terrenos.es/en/professionals/wind-solar-energy/az-renovables>

- ***Turbina Portátil***

Este tipo de turbina puede satisfacer las necesidades eléctricas de una residencia generando, a su máxima capacidad, hasta 12 kWh diarios, dependiendo de la velocidad del cauce del río.

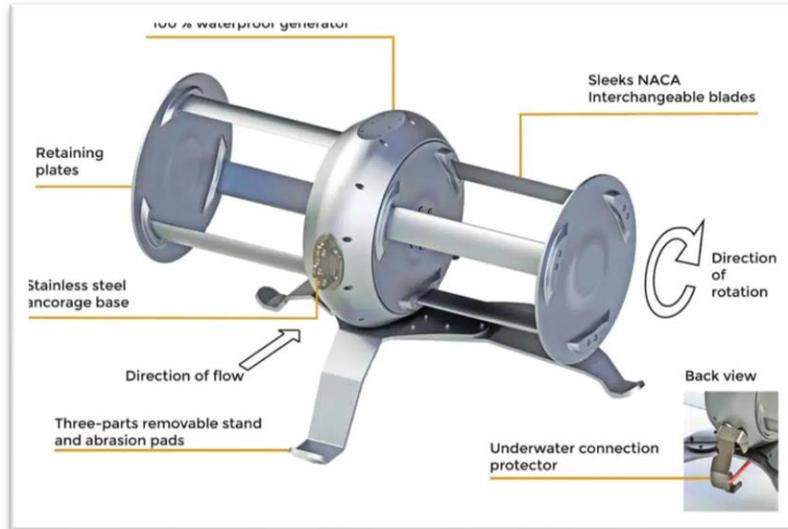


Figura n°35: Turbina portátil

Fuente: <https://expresion-sonora.com/turbina-de-rio-portatil-y-reciclable-produce-12kwh-de-energia-limpia-al-dia/>

- **Turbinas hidráulicas**

Turbinas hidráulicas sobre pontones o elementos flotantes que producen electricidad a través del paso del agua en un cauce.



Figura n°36: Turbina hidráulica accionada mediante un motor reductor.

Fuente: <https://www.stmteam.com.ar/aplicaciones-por-industria/energia/>

- Turbina Flotante

Estas turbinas desarrolladas por la compañía Smart Hydro Power para ríos y canales permiten la introducción de un suministro de carga base. En la imagen se pueden apreciar algunas de sus características.

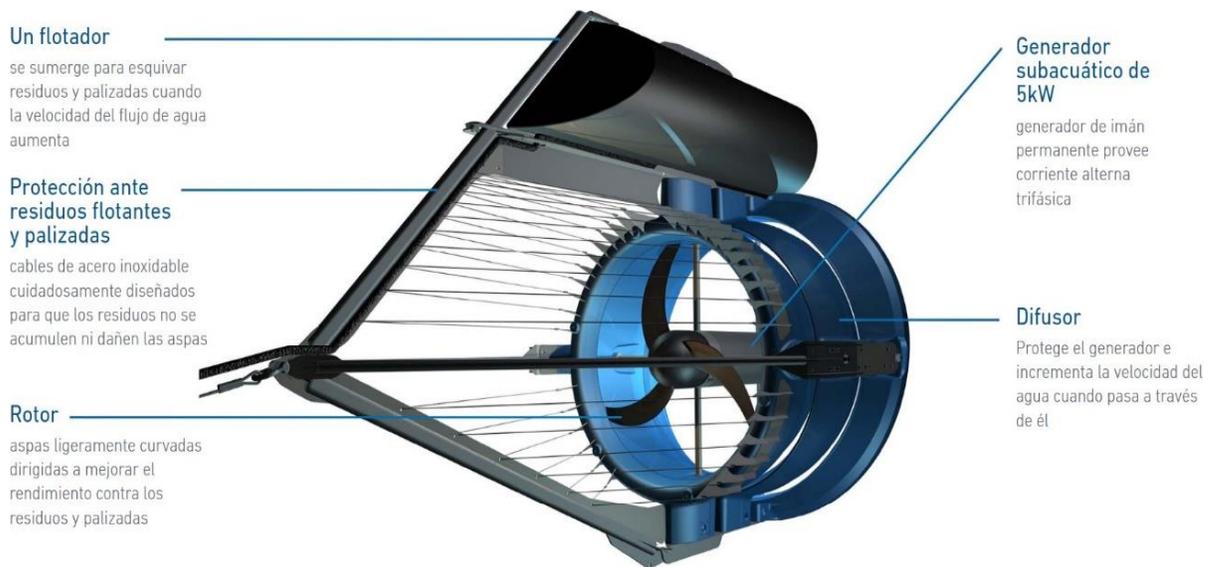


Figura n°37: Turbina flotante.

Fuente: <https://www.caycom.org/servicios-energia-hidraulica/>

Tras llevar a cabo una meticulosa clasificación de diversos tipos de turbinas, la investigación se encamina hacia la realización de un análisis FODA en el cual se emprenderá un análisis más profundo empleando esta metodología. De esta manera se permitirá la identificación de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas asociadas a cada tipo de turbinas. La adopción de este método proporciona una perspectiva integral para la toma de decisiones.

Diagrama analítico FODA

FODA (Elección de tipo de central microhidráulica).				
	Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Con salto hidráulico	Mayor capacidad de generación	Rango de uso a mayor escala	Necesita una estructura externa (de contención)	De tipo legal, normativo y social
Sin salto hidráulico	No desvía el flujo natural del cauce		Tecnología más nueva (emergente) y no tan ampliamente usada	De tipo legal, normativo y social
		Acceso a ubicaciones remotas	Requiere de un mínimo caudal o tirante para su uso	

Tabla n°3: Análisis FODA

Fuente: Autora.

Fortalezas: Para el modelo con salto hidráulico su principal “fortaleza” es que puede potencialmente producir mayor cantidad de energía debido a las características tecnológicas de las turbinas asociadas a este sistema. A su vez para el modelo sin salto hidráulico, debido a su configuración técnica-espacial, prescinde del desvío del flujo natural del cauce lo que la convierte en una alternativa comparativamente más fácil de aplicar, instalar e implementar.

Oportunidades: En este caso, para la primera opción (con salto), y en añadidura a la principal fortaleza se observa que tiene una capacidad de ser utilizada a escalas más grandes (en términos de abastecimiento) en comparación a la otra opción, que sí cuenta como una oportunidad el hecho de poder acceder a ubicaciones geográficas remotas y con infraestructura precaria.

Debilidades: La principal “debilidad” del primer modelo es que, al contar con un salto, por más pequeño que este sea, necesita de una estructura de contención externa, es decir en rasgos generales, un canal conductor, una estructura de contención de la turbina así también como un canal de egreso del agua. Para el segundo modelo, el hecho de que es una tecnología, comparativamente más nueva y con menos

ejecuciones prácticas en el mundo es un punto endeble, a su vez de que requiere condiciones mínimas para su uso más acentuadas que el otro sistema.

Amenazas: Para ambos modelos las “amenazas” son idénticas. Existen circunstancias presentes de tipo legal, normativo y social que pueden intervenir en el normal desenvolvimiento de la aplicación de este tipo de tecnologías en el futuro próximo. De tipo legal porque en este momento muchas de las legislaciones están orientadas al uso, práctica y ejecución para modelos a escalas “más grandes” cuya infraestructura y práctica se vienen ejerciendo hace décadas y tanto las normativas y la “conciencia global” producto de la naturalización de las cosas y los eventos provoca que existan tensiones que deberán ser superadas para la consideración (si así lo fuese) de este tipo de tecnologías como una alternativa más fehaciente y sólida.

Matriz de Priorización

Escala	Rango	Categoría	Ponderación
1	Muy bajo	Impacto ambiental	0,25
2	Bajo	Facilidad de implementación	0,2
3	Intermedio	Abastecimiento a mayores demandas	0,25
4	Alto	Adaptabilidad hidráulica	0,2
5	Muy alto	Perspectivas futuras	0,1

Tabla n°4: Categorías Matriz Priorización

Fuente: Autora.

En las tablas anteriores se definieron tanto la escala como las categorías intervinientes y sus respectivas ponderaciones:

La escala está determinada en sentido creciente de magnitud desde el valor 1 (muy bajo) a la nominación máxima 5 (muy alto) pasando este recorrido por valoraciones medias como (bajo, intermedio y alto).

Por otro lado, la tabla correspondiente a las categorías indica no sólo un criterio de selección nominal (las categorías propiamente dichas) sino también numérico, determinado a través de un factor de ponderación.

Las categorías, que representan, las nominaciones que devienen de los objetivos en un parámetro de elección taxativo, circunscriben aquellas “líneas de deseo definidas por este proyecto” y la correspondiente ponderación actúa de cuantificador de las mismas.

Es por eso que, si bien las cualificaciones tienden a ser parecidas, las categorías consideradas de mayor valor son las de impacto ambiental y las de abastecimiento a mayores demandas, resultando las de perspectivas futuras como la de menor ponderación debido a su carácter más ambiguo.

A continuación, se explica que contempla cada una de las categorías.

- Impacto ambiental: Considera como cada una de las intervenciones afecta positiva o negativamente al medio natural con el que interactúa.
- Facilidad de implementación: Debido al uso de estos sistemas se encuentran relacionados a pequeñas comunidades o grupo de personas, en condiciones a veces aisladas o de dificultoso acceso es importante ponderar la agilidad, practicidad y eficiencia a

la hora de la implementación de estas tecnologías.

- Abastecimiento a mayores demandas: Contempla como cada una de las opciones potencialmente podría (a escalas similares) proporcionar energía a mayores poblaciones.
- Adaptabilidad hidráulica: Establece como un mismo modelo se adapta a condiciones hidráulicas diferentes (caudal, tirante, etc).
- Perspectivas futuras: Considera una proyección de cómo estos sistemas podrían en el futuro ser una parte corriente de la matriz energética.

La siguiente tabla muestra la Matriz propiamente dicha ya con las calificaciones y el índice calculado.

Para la obtención del índice se multiplicó el rango asignado a la ponderación elegida para cada categoría. Para aquellas categorías cuya relación a los rangos son consideradas positivas (abastecimientos a mayores demandas, adaptabilidad hidráulica y perspectivas futuras) se sumaron los términos y para las categorías cuyo vínculo a los rangos son inversamente proporcional (impacto ambiental y facilidad de implementación) los términos fueron restados.

La opción con mayor valoración numérica es la más compatible con los preceptos del presente trabajo. Los resultados son los que se muestran a continuación

Matriz de Priorización (Elección de tipo de central microhidráulica)						
	Impacto ambiental	Facilidad de implementación	Abastecimientos a mayores demandas	Adaptabilidad hidráulica	Perspectivas futuras	Índice
Con salto hidráulico	2	2	3	3	4	0.85
Sin salto hidráulico	1.5	1	2	2	3	0.725

Tabla n°5: Matriz de priorización

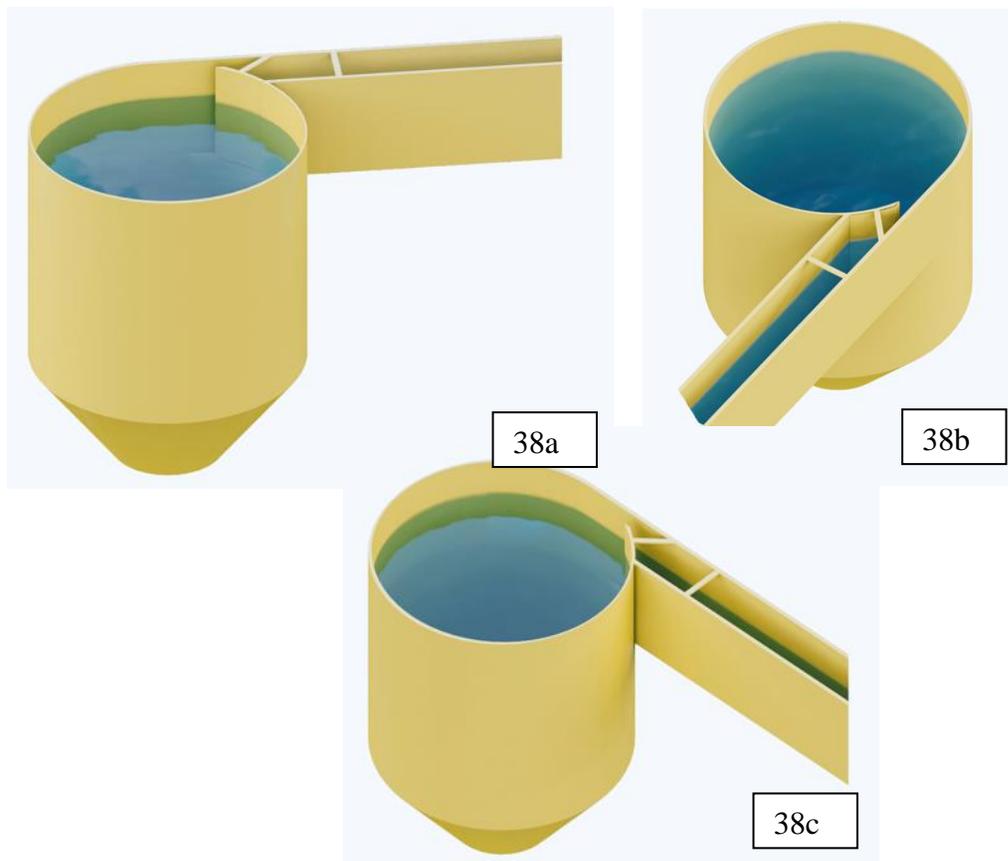
Fuente: Autora

Como se observa en los diagramas anteriores tanto en el diagrama FODA como en la matriz de Priorización, si bien los resultados son, en principio paritarios, la alternativa más consistente es representada por la versión con salto hidráulico, cuya versión estructural es esquematizada por la turbina de vórtice gravitacional, con los elementos asociados a su funcionamiento que ya han sido detallados.

FACTIBILIDAD

Basándose en los dos mecanismos de selección mencionados anteriormente, el Diagrama FODA y la Matriz de Priorización, se procede a la elección definitiva de la estructura para llevar a cabo su diseño y estudio. La estructura civil de contención, en particular, el tanque de circulación, para una turbina de vórtice gravitacional es la opción elegida según los criterios y aspectos detallados en el capítulo anterior.

La geometría seleccionada para el tanque de circulación anexado al canal vidriado se presenta en la siguiente imagen. Este tanque posee una forma cilíndrica en la parte superior y cónica en la parte inferior o de desagüe. Se destaca la presencia de una placa rectangular reguladora de flujo en la entrada al tanque, cuya altura es igual a la del canal vidriado y cuya longitud es variable.



*Imágenes 38a; 38b y 38c: Geometría del tanque elegido de vórtice gravitacional.
Fuente: Autora*

Para el estudio y desarrollo de la estructura civil se llevarán a cabo las siguientes tareas:

- ❖ medición de las componentes geométricas (ancho, alto, largo) del canal vidriado que se encuentra en el Laboratorio de Hidráulica en la Facultad Regional Concordia, el cual se presentará más adelante;
- ❖ diseño del proyecto y experimento;
- ❖ modelación matemática hidráulica,
- ❖ representación del modelo en 3D.

Previo al procedimiento de cálculo para la verificación cuantitativa y cualitativa, es necesario mencionar las características del flujo de circulación en relación al tanque de vórtice gravitacional. Los tipos de ingresos del caudal al tanque de contención de vórtice para lograr un flujo helicoidal son los siguientes:

- a) Circular: de paredes concéntricas y piso horizontal
- b) Scroll: de paredes convergentes y curvas hacia el conducto vertical.
- c) Espiral: las paredes siguen una alineación espiral y el piso no es horizontal.
- d) Tangencial: de paredes rectas y tienen una aproximación tangencial excéntrica al conducto vertical, el piso es inclinado con pendiente longitudinal.

A continuación, se presenta una imagen que representa los distintos tipos de ingresos del flujo.

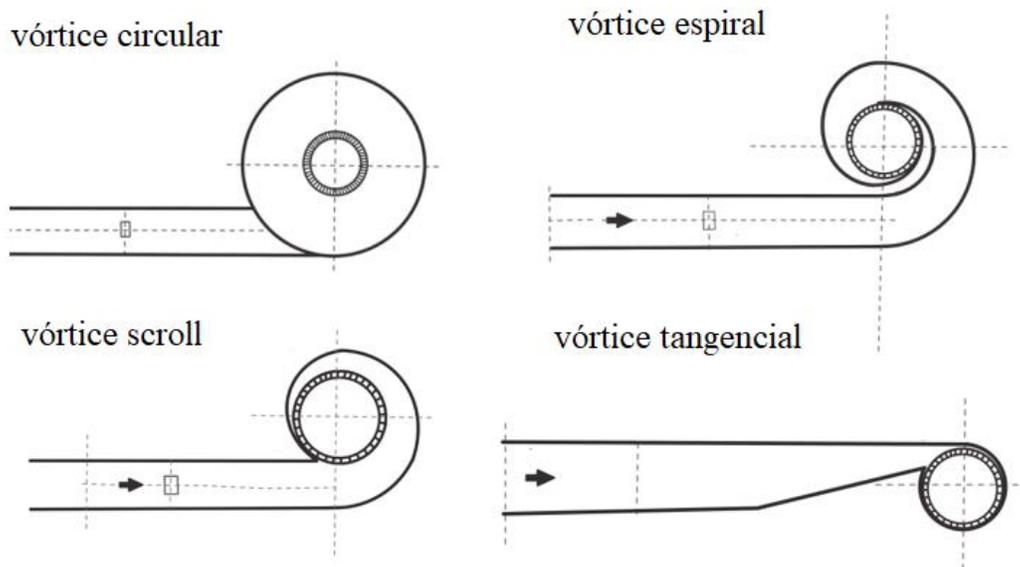


Imagen n°39: Tipos de ingresos de fluido al tanque de contención

Fuente: Autora

Actualmente, la entrada circular no se utiliza debido a las grandes profundidades de flujo requeridas.

Por otro lado, la toma Scroll desarrollada por Drioli en 1947 ha sido ampliamente aplicada para flujos de aproximación subcrítica, mostrando eficiencia hidráulica, aunque no necesariamente constructiva ni operacional.

La entrada en espiral implementada por Kellenberger en 1988 se recomienda para zonas montañosas con flujos supercríticos.

Por lo tanto, se ha seleccionado para la cámara de vórtice la entrada tangencial debido a su geometría simple y estructura compacta.

Respecto a los parámetros necesarios del canal vidriado del laboratorio para la realización del modelo físico e hidráulico, se destacan los siguientes:

- Ancho del canal “a” [m].
- Largo del canal “l” [m].
- Altura del canal “hc” [m].
- Pendiente “i” [adimensional].

Una vez determinadas las dimensiones mencionadas, se establecerán relaciones entre la geometría del canal y la geometría del tanque de vórtice a diseñar, las cuales serán mencionadas más adelante.

▪ **Modelación hidráulica**

El tanque de vórtice o estructura de contención se alimentará del canal vidriado existente en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad Regional Concordia, Universidad Tecnológica Nacional. Este canal brinda un caudal de entrada proporcionado por una bomba. Otra manera de obtenerlo es con la siguiente fórmula de Manning:

$$Q = \frac{Ar * R^{2/3} * i^{1/2}}{n}$$

Siendo:

Q= caudal de ingreso [m³/s].

Ar= área real del canal → $Ar = a * y$ (Siendo a: ancho del canal e y: tirante hidráulico) [m²].

R= radio hidráulico [m]. (Resultado de dividir el área real y el perímetro mojado del canal)

i= pendiente del canal [adimensional].

n= coeficiente de Manning que depende de la rugosidad del canal [adimensional].

▪ **Modelación física**

Para que un modelo físico represente en adecuada escala los fenómenos hidrodinámicos presentes en el prototipo deben cumplirse ciertas reglas, las cuales se denominan leyes de semejanza.

La ley de escalas de cada modelo físico depende del tipo de fuerzas predominantes con respecto a las demás en el fenómeno. Como resultado, se obtienen distintos tipos de modelos, como lo son: la ley de Froude (cuando prevalecen las fuerzas gravitacionales), de Reynolds (cuando las fuerzas viscosas son dominantes), de Weber (cuando las fuerzas capilares tienen mayor influencia) o modelos de Cauchy (cuando las fuerzas elásticas predominan).

Para lograr la reproducción exitosa de un fenómeno hidráulico mediante la construcción y operación de un sistema más pequeño llamado "modelo reducido", es esencial cumplir con ciertas

condiciones de similitud entre el modelo y el prototipo (Vergara, 1995), como se detalla a continuación.

- Ley de Semejanza Geométrica

Esta ley establece que las formas geométricas en el modelo deben ser semejantes a las del sistema real. La relación de escala en todas las dimensiones es crucial para garantizar que la geometría del modelo represente adecuadamente la geometría del sistema real.

- Ley de Semejanza Cinemática

Se refiere a que las velocidades y aceleraciones en puntos similares del modelo y el sistema real deben tener la misma relación de escala. Esto asegura que las características del flujo, como la velocidad se reproducirán con precisión en el modelo.

- Ley de Semejanza Dinámica

Esta ley establece que las fuerzas y momentos en el modelo deben tener la misma relación de escalada que en el sistema real. Garantiza que los efectos dinámicos, como las presiones y las fuerzas, sean replicados adecuadamente en el modelo a escala.

- Ley de Semejanza de Froude

La ley de Froude es específica para flujos abiertos y establece que el número de Froude en el modelo debe ser igual al número de Froude en el sistema real. Esto asegura la semejanza en términos de la relación entre las fuerzas inerciales y gravitacionales en el flujo.

- Ley de Semejanza de Reynolds

La ley de Reynolds es relevante para flujos viscosos y establece que el número de Reynolds en el modelo debe ser igual al número de Reynolds en el sistema real. Esto asegura la semejanza en términos de los efectos viscosos en el flujo.

- Ley de Semejanza de Euler

Esta ley se refiere a flujos compresibles y establece que el número de Mach en el modelo debe ser igual al número de Mach en el sistema real. Asegure la seguridad en términos de la velocidad del sonido en el flujo.

Sin embargo, “no es posible lograr una similitud absoluta en la construcción de modelos, en

el sentido de que cumplan estrictamente con las condiciones de los parámetros adimensionales. Aunque la no identidad de algunos parámetros puede no influir apreciablemente en el resultado buscado. Por lo tanto, en ciertas circunstancias, se pueden despreciar algunos parámetros y construir modelos de manera efectiva, de modo que sus resultados sean prácticamente representativos” (Fuentes, 2002).

Por ende, la necesidad de realizar una modelación física e hidráulica en esta investigación reside en garantizar la viabilidad práctica de las ideas propuestas. Estos modelos ofrecen una representación tangible del comportamiento del vórtice gravitacional, permitiendo ajustes y optimizaciones en el diseño del tanque de circulación y otros componentes del sistema. Además, son fundamentales para comprender la interacción del vórtice con elementos hidráulicos específicos, validar mediciones de velocidad, realizar análisis detallados del rendimiento del sistema y estudiar la estabilidad del vórtice en diversas condiciones operativas. Resumiendo, la modelación física e hidráulica enriquecen la comprensión del sistema propuesto.

En la búsqueda de comprender y optimizar el comportamiento del flujo en el tanque de circulación (con el objetivo de obtener las máximas velocidades de salida, con lo cual el sistema sea más eficaz en cuanto a la generación de energía hidroeléctrica), surge la necesidad de aplicar Principios Fundamentales de la Mecánica de Fluidos. Uno de estos conceptos es el "número de Froude".

Como se ha mencionado en apartados anteriores, el Número de Froude se define como la relación entre las fuerzas centrípetas y gravitacionales en un flujo circular. En este contexto, este número se convierte en un parámetro esencial para caracterizar el tipo de flujo que se origina en el tanque de circulación.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * y}}$$

Donde:

- Fr: n° de Froude [adimensional].
- V: velocidad del fluido [m/s].
- g: gravedad [m/s²].
- y: tirante hidráulico [m].

Los valores del número de Froude representan el régimen del flujo:

- $Fr < 1$, Flujo subcrítico o tranquilo. Tiene una velocidad relativa baja y la profundidad es relativamente grande, prevalece la energía potencial. corresponde a un régimen de llanura.
- $Fr = 1$, Flujo crítico. Estado teórico en corrientes naturales y representa el punto de transición entre los regímenes subcrítico y supercrítico.
- $Fr > 1$, Flujo supercrítico o rápido, tiene una velocidad relativamente alta y poca profundidad. prevalece la energía cinética. propios de cauces de gran pendiente o ríos de montaña.

En laboratorio para conocer el número de Froude del flujo, bastará con conocer la velocidad y el tirante hidráulico. Cabe destacar que los puntos o zonas para llevar a cabo el cálculo del número de Froude serán detallados más adelante. A su vez se deberá prestar atención a áreas donde se anticipa que el flujo podría ser crítico o cambiar de subcrítico ($Fr < 1$) a supercrítico ($Fr > 1$).

Por ejemplo, se ha determinado (en base a diversas investigaciones académicas) que el flujo en el canal es subcrítico y el flujo que sale del canal e ingresa al tanque de circulación es supercrítico. Esto se debe al notable cambio de sección y variación en la profundidad. Los ensayos en laboratorio (tanto cuantitativamente como cualitativamente) serán desarrollados en las siguientes páginas.

Por lo tanto, para llevar a cabo la modelación, se requerirá generar un flujo supercrítico (flujo al ingreso del tanque) con el propósito de lograr que la velocidad y la energía cinética sean mayores y, al mismo tiempo, el tirante hidráulico sea menor. Esto permitirá una mayor eficiencia del sistema. También se puede lograr manteniendo un caudal volumétrico constante y permitiendo variaciones aleatorias en la velocidad del flujo, lo que a su vez ayudará a determinar el tirante hidráulico.

En consecuencia, es fundamental adoptar un determinado comportamiento siguiendo las semejanzas de Froude. En esta investigación, estudiar el comportamiento supercrítico del flujo

es esencial para optimizar el diseño del tanque y maximizar la eficiencia en la generación de energía eléctrica. Cabe mencionar que tanto la turbulencia y la formación de vórtices en flujos pueden ser el resultado de diversas interacciones complejas entre la geometría del canal, la velocidad del flujo, cambios en la profundidad del agua y la presencia de obstáculos.

Midiendo el tirante hidráulico y estableciendo el tipo de flujo en la zona de interés, se podrá obtener el valor de la velocidad de flujo despejando esta incógnita de la fórmula de Froude ya detallada anteriormente. A continuación, se presenta un resumen de cómo realizar las mediciones para obtener el tirante hidráulico:

El primer paso es calibrar la sonda que se utilizará para medir el tirante hidráulico (y). Esto asegurará lecturas precisas. Luego en el punto seleccionado, medir el tirante sumergiendo el calibrador o la sonda hasta el fondo del canal para medir la distancia desde la superficie del agua hasta el fondo. Luego de obtener diferentes valores de velocidades en el punto de medición, se seleccionará el valor de la velocidad que sea más representativo a los objetivos buscados en cuanto a la eficiencia del tanque de vórtice siempre y cuando se modifiquen las condiciones geométricas que no hayan sido estudiadas o desarrolladas hasta el día de la fecha. (Recordando que es un concepto nuevo y actualmente se encuentran en estudio diferentes componentes del sistema. El agregado de una placa reguladora de flujo al ingreso del tanque de circulación permitirá que se reduzcan las pérdidas de energía en el sistema y se observará el comportamiento del flujo de entrada y salida a través de la realización de los ensayos de laboratorio).

Procedimiento de Ensayos en Laboratorio

Para realizar el modelo matemático, es necesario contar con las dimensiones del canal del laboratorio. De esta manera, será posible diseñar la estructura de vórtice tanto geométrica como hidráulicamente mediante relaciones establecidas en investigaciones anteriores y nuevas relaciones propuestas en este apartado.

Se procederá a la realización de un prototipo en el cual se variará la longitud de la placa anexada en el acople entre el canal vidriado y el tanque de circulación. La misma será rectangular de igual altura que el canal, pero de longitud variable. Se buscará obtener las mayores velocidades angulares que produzcan un vórtice concéntrico y de esta manera se halle la relación adecuada

entre las dimensiones de la placa de ingreso con el diseño del tanque de circulación. Como consecuencia se logrará un mejor aprovechamiento hidráulico para la generación de energía eléctrica.

Por otra parte, los objetivos de la ejecución del ensayo en laboratorio (etapa 2), teniendo en cuenta el prototipo y variando la longitud de la placa anexada, son:

- Observar las líneas de corriente tanto en el ingreso como en el egreso del tanque de circulación.
- Medir las velocidades producto de la generación del vórtice con el fin de obtener las mayores velocidades angulares.
- Medir las velocidades de desagüe.
- Observar la formación del vórtice con el objetivo de hallar el más concéntrico.
- Analizar la influencia de la placa para diferentes longitudes al caudal de circulación.
- Medir el tiempo de formación del vórtice.
- Observar la variación del caudal.
- Comparar los resultados con el modelo físico propuesto.

A continuación, se detalla el procedimiento para llevar a cabo cada ensayo en relación a los ítems mencionados anteriormente:

❖ *Ensayo de Líneas de Corriente en un Canal Vidriado*

Este ensayo proporciona una comprensión visual y práctica de cómo las líneas de corriente responden a diferentes condiciones en un canal vidriado. Es útil para estudiar la dinámica de fluidos y su aplicación en hidráulica.

Para llevarlo a cabo es necesario realizar las siguientes tareas:

- Configurar el canal vidriado y ajustar la inclinación si es necesario.
- Asegurar un suministro constante de agua.
- Agregar tinte al agua para hacer visibles las líneas de corriente.
- Observar visualmente la trayectoria del flujo, ajustando condiciones como la inclinación.

- Tomar fotografías o grabar videos para un análisis detallado.
- Experimentar variando la velocidad del flujo y otras condiciones.
- Registrar observaciones detalladas.

Una vez realizado el procedimiento anterior, se procederá a analizar los siguientes ítems:

- Identificar patrones en las líneas de corriente.
- Interpretar cómo el diseño del tanque de circulación y las condiciones afectan las líneas de corriente.
- Comparar observaciones con la teoría hidrodinámica.
- Extraer conclusiones sobre el comportamiento del flujo en el canal.

❖ *Medición de Velocidades de Flujo en un Canal Vidriado*

Existen varios métodos para medir velocidades de flujo en un canal, cada uno con sus propias ventajas y limitaciones. Algunos de los métodos más comunes son:

- **Placa de Orificio:** consiste en una placa con un agujero (orificio) que se coloca en el flujo. La diferencia de presión entre aguas arriba y aguas abajo de la placa se utiliza para calcular la velocidad.
- **Tubo Venturi:** similar a la placa de orificio, pero en forma de un tubo más ancho en la entrada que se estrecha y luego se ensancha nuevamente. La velocidad se determina midiendo la diferencia de presión entre las secciones estrecha y ancha.
- **Medidores Electromagnéticos:** se utiliza el principio de inducción electromagnética para medir la velocidad del flujo.
- **Medidores Ultrasónicos:** se emplean ondas ultrasónicas para medir la velocidad del flujo. Pueden ser de tipo Doppler (miden el cambio de frecuencia de las ondas reflejadas por partículas en movimiento en el agua) o de tiempo de tránsito (miden el tiempo que tarda un pulso ultrasónico en viajar aguas arriba y aguas abajo).
- **Anemómetro de Hilo Caliente:** consiste en un pequeño hilo caliente colocado en el flujo. La velocidad del flujo se determina midiendo la cantidad de corriente eléctrica necesaria para mantener el hilo a una temperatura constante.
- **Placa Vibrante:** una placa vibrante se coloca en el agua, y la frecuencia de vibración

cambia según la velocidad del flujo.

- Medidores de Presión Diferencial: se utilizan dispositivos como tubos de Pitot, tubos Prandtl, o tubos de impacto para medir la presión diferencial y calcular la velocidad.
- Flotadores o Boyas Instrumentadas: se dejan flotar en el agua y se rastrean para medir la velocidad de la corriente.
- Velocímetros Acústicos Doppler (ADV): utilizan el efecto Doppler para medir la velocidad de partículas suspendidas en el agua.
- Medidores de Corriente Electromagnéticos (EMC): utilizan campos magnéticos y conductividad del agua para medir la velocidad.

Cabe destacar que la elección del método dependerá de factores como la precisión requerida, el presupuesto, las condiciones específicas del flujo y la facilidad de implementación. La combinación de varios métodos a veces se utiliza para obtener mediciones más precisas y redundantes.

En este caso en particular, se optó por utilizar el Tubo de Pitot. El mismo es una herramienta ampliamente utilizada para medir velocidades, tiene una forma en L con un extremo puntiagudo y abierto. Se coloca en sentido contrario al flujo en el punto de medición. Cuando la corriente impacta el extremo del tubo, se genera un aumento de la presión por encima de la altura piezométrica, y esta diferencia se traduce en la cabeza de velocidad en ese punto específico.

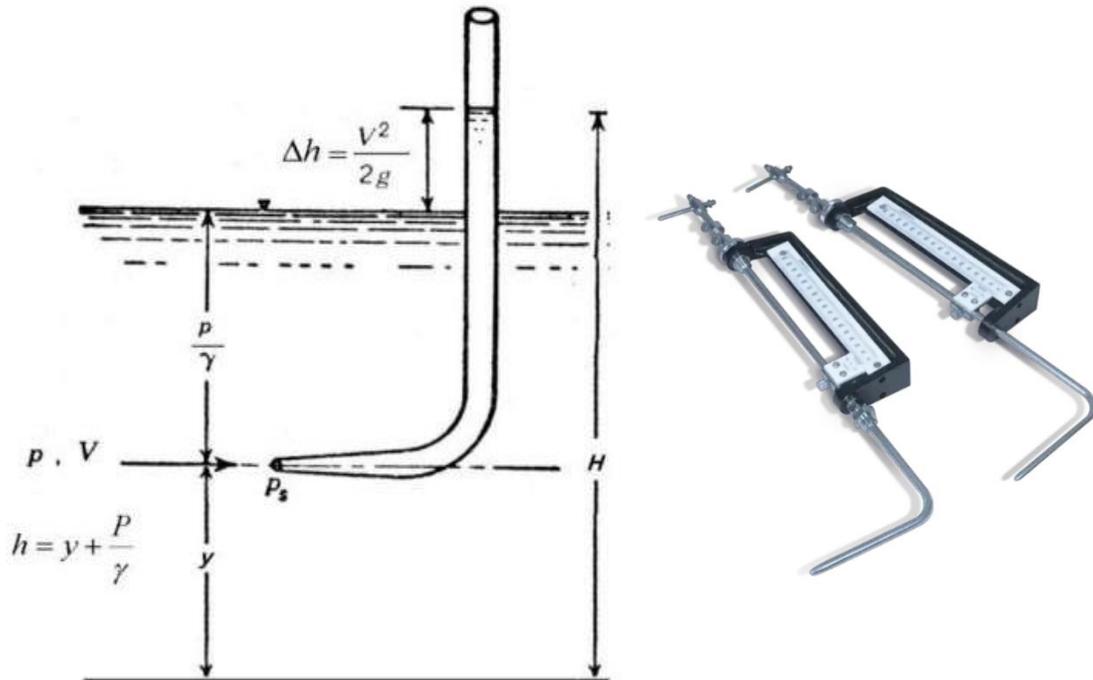


Figura n°40: Esquema de medición de velocidades con Tubo Pitot
Fuente: Vennard y Street, 1985.

Procedimiento detallado del ensayo con tubo de Pitot:

Materiales Necesarios:

- Canal vidriado transparente.
- Tubo de Pitot.
- Manómetro.
- Regla o medidor de distancia.

Procedimiento:

Configuración del Canal:

- Asegurar que el canal esté limpio y sin obstrucciones.
- Ajustar la inclinación si es necesario.

Posicionamiento del Tubo de Pitot:

- Colocar el Tubo de Pitot en el flujo de agua. El extremo del tubo debe apuntar directamente contra el flujo.

-
- Conectar el Tubo de Pitot al manómetro.
 - Medir la presión estática utilizando el Tubo de Pitot fuera del flujo.
 - Introducir el Tubo de Pitot en el flujo y medir la presión total (P) en el manómetro.
 - Calcular la velocidad del flujo (V)
 - Registrar las mediciones de velocidad junto con la ubicación en el canal.

Luego de llevar a cabo los pasos anteriores, se deberá realizar el siguiente análisis:

- Perfil de Velocidad: Analizar cómo varía la velocidad en diferentes partes del canal.

Para realizar la medición de velocidades, se seleccionan las zonas esquematizadas a continuación.

- 1: al final del canal vidriado y al inicio del ingreso al tanque de circulación;
- 2 y 3: dentro del tanque de circulación.

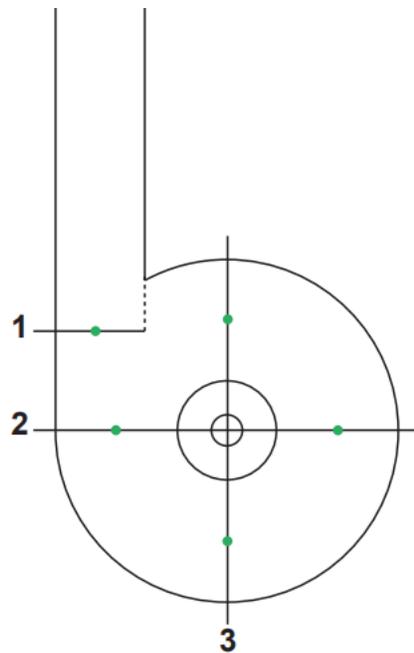
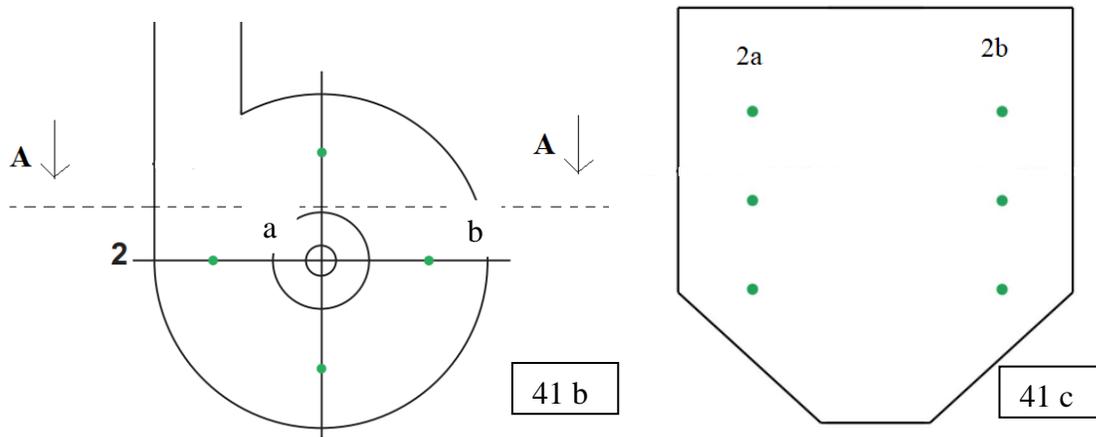


Figura n°41 a.: Esquema de distribución de puntos de medición (vista en planta).

Fuente: Autora.



Figuras n°41 b-c.: Esquemas de distribución de puntos de medición –en vista y en corte-.
Fuente: Autora.

En cada ubicación seleccionada para medir la velocidad, es necesario seguir el procedimiento de medición al menos 3 veces y se deben realizar a profundidades diferentes (a cada tercio de la altura total del tanque) para luego promediar una velocidad determinada para cada profundidad en cada punto medido, manteniendo constante el caudal, el cual ya está establecido por la bomba conectada al canal vidriado. Este proceso se repite para obtener datos precisos de la velocidad del flujo en diferentes secciones del canal.

La velocidad en cada punto se obtendrá con la ecuación:

$$V = \sqrt{2g(H - h)}$$

Donde:

- V= velocidad de flujo;
- g= gravedad;
- H= altura total hasta la lectura del tubo de Pitot,
- h= altura hasta la profundidad de medición.

Por último, se deben promediar las velocidades en cada uno y obtener un único valor

para analizar. Se deberá elaborar una tabla indicado los 7 puntos junto a las velocidades ya promediadas en cada uno para las 3 profundidades y luego compararlas con las obtenidas al variar el largo de la placa reguladora de flujo.

- ❖ **Medición de la Concentricidad del Vórtice:** La medición de la concentricidad del vórtice implica una combinación de instrumentación de medición y técnicas de visualización. Al analizar la velocidad del agua y la forma del vórtice, se podrá evaluar y mejorar la eficacia de la turbina en la captura de energía del flujo de agua.

Materiales Necesarios:

- Instrumentación de medición, como sensores de velocidad, y dispositivos de visualización.
- Equipo para generar el flujo de agua.

Procedimiento:

- Asegurar que el prototipo esté correctamente instalado y libre de obstrucciones. Garantizar que la caída del agua sea consistente.
- Iniciar el flujo de agua para generar el vórtice. La caída del agua debe ser suficiente para crear un vórtice estable.
- Utilizar sensores de velocidad para medir la velocidad del agua en diferentes puntos alrededor del vórtice. Colocar estos instrumentos en ubicaciones estratégicas para obtener una representación completa.

Visualización del Vórtice:

- Emplear métodos de visualización, como tinte o partículas en el agua, para seguir la trayectoria del flujo y observar la forma y concentricidad del vórtice.

Registro de Datos:

- Registrar cuidadosamente los datos de velocidad y cualquier observación visual. Asegurarse de realizar mediciones en intervalos de tiempo específicos.

Luego realizar el siguiente análisis:

- Analizar el perfil de velocidad alrededor del vórtice en 3 profundidades diferentes: cada 1/3 de la altura total del flujo tanto al final del canal como en el tanque de

circulación. Observar si hay variaciones significativas en la velocidad en diferentes ubicaciones, calculando estadísticas descriptivas, como la media y la desviación estándar, para evaluar la variabilidad entre puntos.

- Analizar la trayectoria del vórtice utilizando los datos visuales y de velocidad. Evaluar si la forma es concéntrica o no. La manera para notar estos cambios es evaluando las variaciones de velocidad en el sistema empleando métodos prácticos y visuales. Por ejemplo, las representaciones gráficas, como perfiles de velocidad, ofrecen una visión clara de cómo cambia la velocidad en diversas áreas alrededor del vórtice; calcular promedios de velocidad en distintos puntos y examinar la variabilidad proporcionando una perspectiva más cuantitativa observando si velocidades son relativamente consistentes o muestran variaciones notables. Realizar mediciones en momentos diferentes revela si las variaciones son constantes o si cambian con el tiempo.
- Si es necesario, realizar ajustes en el diseño para mejorar la concéntrica del vórtice. Esto podría incluir modificaciones en la geometría del prototipo.

❖ ***Análisis de la influencia de Placa Reguladora de Flujo (variando su longitud):***

Diseño de la Placa:

- Detallar el diseño de la placa reguladora, incluyendo su forma y dimensiones.
- Explicar cómo se espera que esta placa afecte el flujo de agua en el tanque de circulación y en el canal vidriado.
- Planificar experimentos con diferentes longitudes de la placa reguladora.
- Variar la longitud de manera sistemática y medir las velocidades de salida correspondientes en el canal vidriado mediante la utilización de fórmulas de Bernoulli en conjunto a las de Continuidad. Éstas se utilizan en conjunto para modelar y entender cómo la variación de la longitud de la placa reguladora afecta la velocidad de salida del tanque de circulación, teniendo en cuenta la conservación de la masa (fórmula de Continuidad) y la conservación de la energía (fórmula de Bernoulli).

La **ecuación de continuidad** establece que el caudal de entrada es igual al caudal de salida en un sistema de flujo de fluido incompresible. La fórmula es la siguiente:

$$A1 * V1 = A2 * V2$$

Donde:

- A es el área de la sección transversal.
- V es la velocidad del fluido.

La **ecuación de Bernoulli** describe la conservación de la energía en un flujo de fluido. La forma simplificada es:

$$P + \frac{1}{2} * \rho * V^2 + \rho * g * h = cte$$

Donde:

- P es la presión del fluido.
- ρ es la densidad del fluido.
- V es la velocidad del fluido.
- g es la aceleración debido a la gravedad.
- h es la altura del fluido sobre un punto de referencia.

Por lo tanto, para llevar a cabo la utilización en conjunto de las fórmulas, se utilizará la ecuación de continuidad para establecer la relación entre el área de entrada y salida del tanque de circulación, considerando que el caudal de entrada es igual al caudal de salida. Luego se debe integrar esta relación con la fórmula de Bernoulli, considerando las variaciones de presión, velocidad y altura en el sistema. Por último, resolver un sistema de ecuaciones resultante para obtener la velocidad de salida en función de la longitud de la placa reguladora (l_p).

- Instrumentación adicional:

- Puede ser útil agregar instrumentación adicional para medir variables específicas relacionadas con el efecto de la placa, como la presión en puntos clave o la concentración de vórtices.

Registro de datos:

- Registrar cuidadosamente los datos para cada experimento. Esto incluye la longitud de la placa reguladora, las velocidades medidas y cualquier observación relevante.

Análisis de resultados:

- Analizar cómo la variación en la longitud de la placa afecta las velocidades de salida en el canal vidriado.
- Realizar comparaciones directas entre condiciones con y sin la placa reguladora. De esta manera se podrá analizar el impacto real de la placa en el tanque de circulación.

❖ **Análisis del Flujo de manera cualitativa:** Realizar un análisis cualitativo en los ensayos relacionados con el comportamiento del flujo cuando se forma el vórtice gravitacional implica observar visualmente y comprender los fenómenos hidrodinámicos que ocurren. A continuación, se presentan algunas pautas a tener en cuenta para este tipo de análisis:

- Observación del Vórtice:

Se observa la formación y evolución del vórtice. Se debe prestar atención a su tamaño, forma y estabilidad. Observar si hay variaciones en el vórtice bajo diferentes condiciones.

- Identificación de Patrones:

Busca patrones en el comportamiento del vórtice. ¿Se forma de manera consistente? ¿Cómo cambia su forma o posición con la variación de la velocidad del agua? ¿Cómo influye la entrada de flujo al tanque de circulación al variar la longitud de la placa reguladora?

- Variación en la Velocidad:

Variar la velocidad del flujo y observar cómo afecta la formación y el comportamiento del vórtice. Identifica cambios en la velocidad angular y otros parámetros.

Efectos de la Inclinación del Canal:

- Observar cómo afecta la inclinación del canal o cambio de pendiente a la formación del vórtice. Esto puede proporcionar información sobre la sensibilidad del sistema a la pendiente.

Comparación con Modelos Teóricos:

- Comparar las observaciones con modelos teóricos existentes. ¿El comportamiento del vórtice coincide con lo que se espera teóricamente?

Grabación de Videos:

- De ser posible, grabar videos de los ensayos ya que los mismos permiten revisar y analizar detalladamente el comportamiento del flujo en diferentes momentos.

Mediciones de las dimensiones del canal del laboratorio de Hidráulica.

En el marco de esta investigación, se llevaron a cabo mediciones detalladas de los parámetros geométricos del canal vidriado del laboratorio para realizar los cálculos pertinentes para las dimensiones reales del prototipo mediante relaciones ejecutadas y/o recomendadas en investigaciones y ensayos académicos anteriores mencionados más adelante.

A continuación, se presenta un resumen conciso de las dimensiones y características fundamentales del canal, respaldado por imágenes y datos específicos.





*Figuras n° 43, 44 y 45: Canal Vidriado de la Facultad Regional Concordia.
Fuente: Autora.*

Las medidas obtenidas del canal son:

Ancho (a)= 0,10 [m].

Altura (hc)= 0,20 [m].

Pendiente (i)= variable [adimensional].

Largo (lc)= 2,50 [m].

Partiendo de estos datos obtenidos en las mediciones en el laboratorio, se podrá dar valor numérico a las dimensiones geométricas del tanque de circulación.

Cabe mencionar que la mayoría de las relaciones geométricas que serán utilizadas a continuación, han sido seleccionadas de diferentes recomendaciones brindadas en investigaciones y/o tesis académicas alrededor del mundo (citadas en el apartado Bibliografía).

En primer lugar, se presenta un esquema de la geometría y las nomenclaturas de las dimensiones a especificar para el modelo real. Más adelante se presenta el plano en el cual se detallan las dimensiones numéricas adoptadas y los detalles constructivos para el futuro acoplamiento al canal vidriado existente.

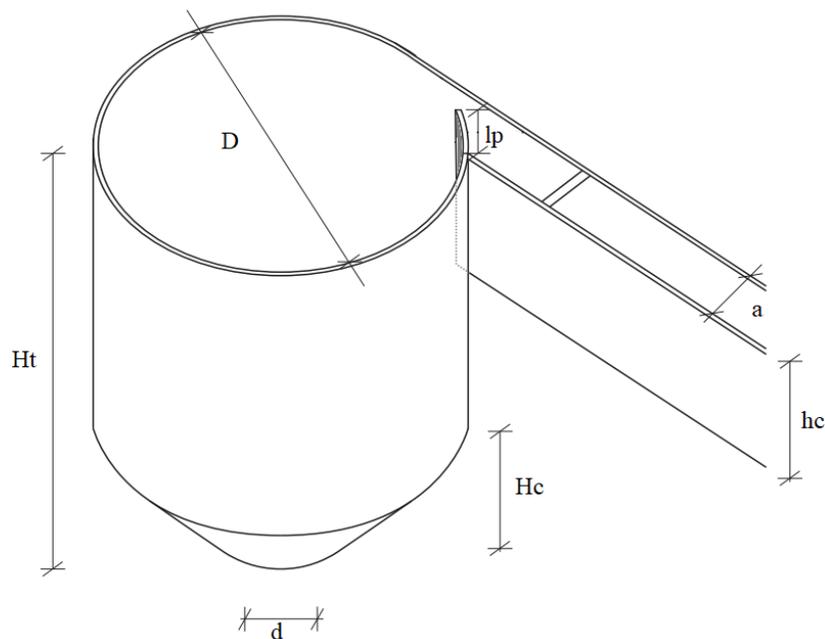


Figura n°46: Geometría y dimensiones del Tanque de Circulación.
Fuente: Autora.

Siendo:

- **D**= diámetro mayor del tanque [m].
- **d**= diámetro de desagüe o salida [m].
- **H_t**= altura total del tanque [m].
- **H_c**= altura cono de descarga [m].

Dimensiones de la placa:

- **l_p**= largo [m].
- **H_p**= altura [m]. (La altura de la placa será igual a la altura del canal vidriado).

Relaciones desarrolladas en el ámbito académico:

Mediante una relación establecida a través de diferentes ensayos, se concluyó que se puede determinar el diámetro del tanque una vez obtenido el diámetro de desagüe, siendo este último, el 40% del mayor. (*Miguel Toledo Velázquez, 2019*).

La altura total del tanque se obtiene a partir de un promedio de relaciones ya ensayadas. Sea la altura total igual a 2,5 veces la altura del canal. (*Juan Carlos Peña Salazar, 2013*).

La altura del cono de descarga, se adopta aproximadamente igual a un tercio de la altura total del tanque. (*Josue David Quispe Carpio, 2023*).

De esta manera el diseño geométrico del tanque quedará establecido numéricamente en función de las mediciones del canal vidriado.

Los ensayos en laboratorio se realizarán para diferentes longitudes de placa (se intercambiarán las mismas). Al modificar esta longitud, se repercutirá en el ancho de ingreso al tanque denominado “be”. El mismo se obtiene matemáticamente de la siguiente relación entre el ancho del canal (a) y el largo de la placa “l_p” → $be = a - l_p$ [m]. Cabe destacar que, si la placa estuviese abierta completamente, el ancho “be” es igual al ancho del canal “a”.

Más adelante se desarrollará en profundidad el procedimiento a llevar a cabo en el laboratorio, el cual consistirá obtener las mayores velocidades de salida de flujo y así adoptar el sistema más eficiente para la generación de energía hidroeléctrica. En lo que se refiere al comportamiento del flujo de ingreso al tanque, la generación del vórtice representa un flujo turbulento. Será necesario

calcular diferentes valores de velocidades (en zonas indicadas en páginas siguientes).

El caudal se mantendrá constante. Para un tirante hidráulico adoptado, el área del canal (A_1) y el área de ingreso al tanque (A_2) se calcularán como el producto entre el ancho y el tirante hidráulico.

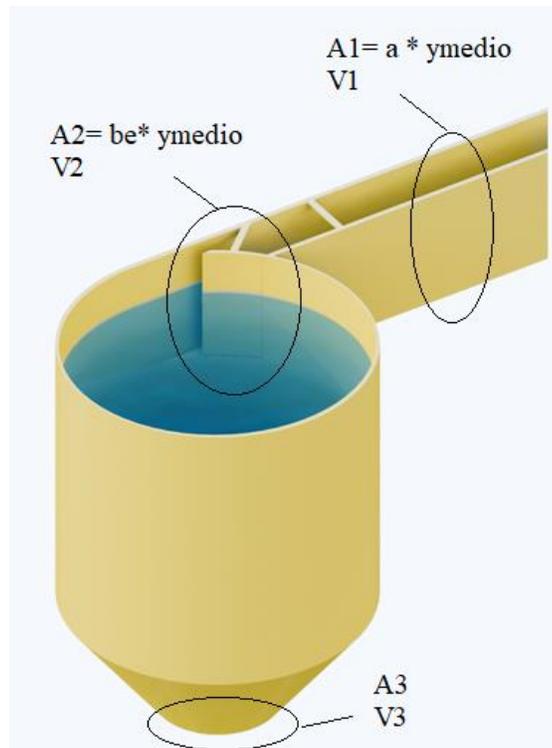


Figura n°47: Secciones a analizar.

Fuente: Autora

V_1 se calcula dividiendo el caudal (proporcionado por la bomba) y el área A_1 (ancho del canal multiplicado por el tirante medio).

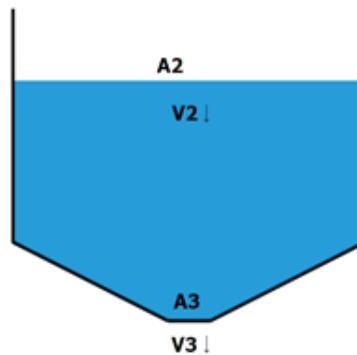
V_2 se obtiene como resultado de aplicar la Ecuación de Continuidad entre el punto 1 y 2, es decir:

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

Ecuación de Continuidad

Para el cálculo de la velocidad de salida (V_3), se requerirá del uso de herramientas del tipo de modelación numérica mediante mecánica de fluido computacional. Según *CIERHI-EPN*¹⁸ (Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos- Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador) “*Esta técnica permite la solución de las ecuaciones fundamentales de la hidráulica en espacio y tiempo en conjunto con la modelación de fenómenos específicos, como por ejemplo la turbulencia y el flujo de una mezcla de agua, aire, entre otros*”.

La representación numérica del flujo dentro de esta estructura implica la resolución de las ecuaciones diferenciales de transporte y las ecuaciones de estado de la masa de agua en movimiento. Este proceso incluye la discretización y linealización de dichas ecuaciones, junto con la selección cuidadosa de algoritmos que capturen de manera apropiada los efectos de la turbulencia y el flujo multifásico. Cabe mencionar que esta formulación excede los propósitos establecidos para la fase 1 de este proyecto y deberá ser tenida en cuenta para la ejecución de la fase 2.



*Figura n°48: Secciones a analizar en el tanque de circulación.
Fuente: Autora.*

Luego de llevar a cabo, por un lado, el modelo matemático hidráulico y por otro, el procedimiento de los ensayos en el laboratorio, el siguiente paso crucial es la interpretación y análisis de los resultados. Este proceso implica una serie de pasos para extraer conclusiones significativas y validar el modelo propuesto.

En primer lugar, se procede con la recopilación de todos los datos generados durante los ensayos, incluyendo mediciones de velocidades, presiones, niveles de agua y cualquier otro

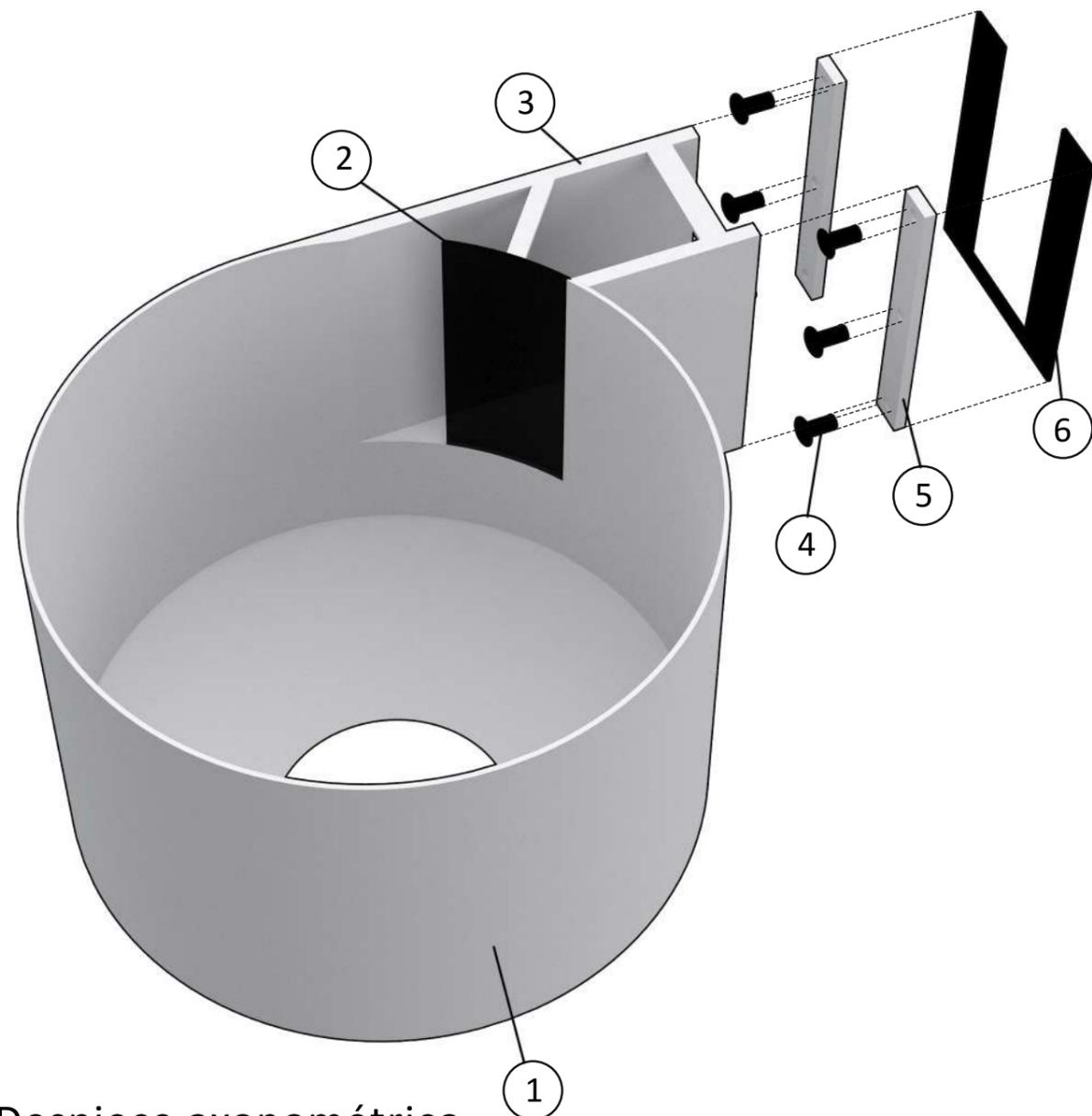
parámetro relevante. Estos datos son esenciales para la evaluación comparativa con las predicciones del modelo matemático.

Esta comparación es un paso crítico ya que se busca identificar similitudes y diferencias para evaluar la validez y precisión del modelo. Si se encuentran discrepancias, se iniciará un análisis detallado para determinar las posibles causas, que podrían incluir la precisión de las mediciones, condiciones de contorno no consideradas o limitaciones en el modelo matemático.

La validación del modelo se logra cuando los resultados experimentales y las predicciones del modelo concuerdan razonablemente. Esto implica que el modelo puede utilizarse con confianza para predecir el comportamiento del sistema real.

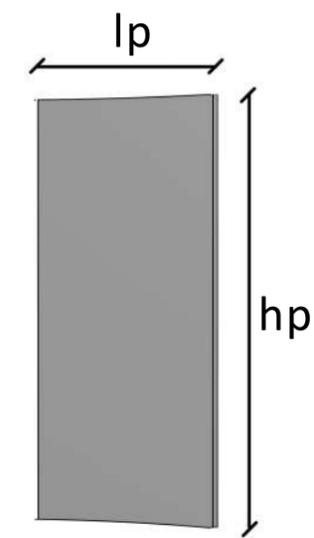
Las conclusiones derivadas de los resultados experimentales y del análisis de la comparación entre el modelo y los datos de laboratorio son fundamentales. Se identifican patrones, tendencias y cualquier pauta significativa.

La revisión de los objetivos de la investigación es otro aspecto importante ya que se debe evaluar si se han cumplido los objetivos establecidos y, si es necesario, se reajustarán o redefinirán para futuras investigaciones.

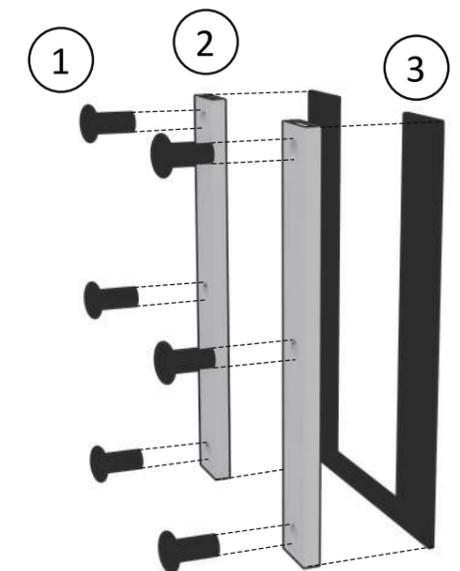


Despiece axonométrico

1	Tanque de acero inoxidable
2	Placa rectangular reguladora de flujo de entrada al tanque
3	Tangente de conexión al canal
4	Bulones hexagonales dimensiones 1/4" x 1". Acero inoxidable
5	Acople de acero inoxidable electrosoldado al tanque de circulación
6	Adhesivo sellador de silicona líquida



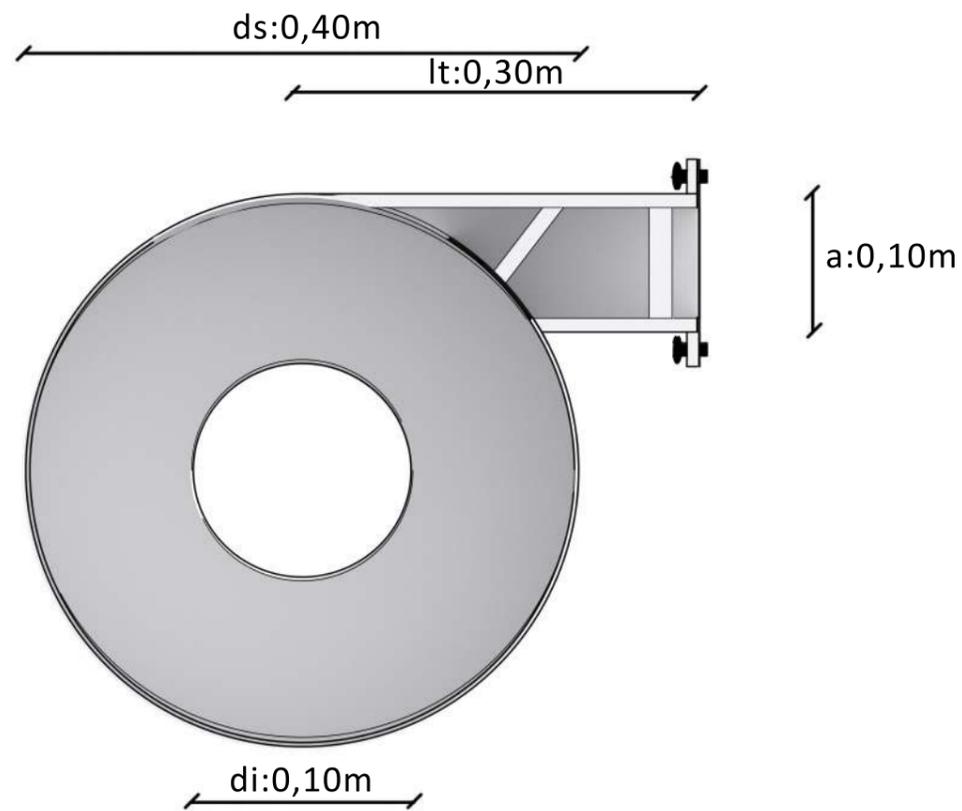
Detalle placa



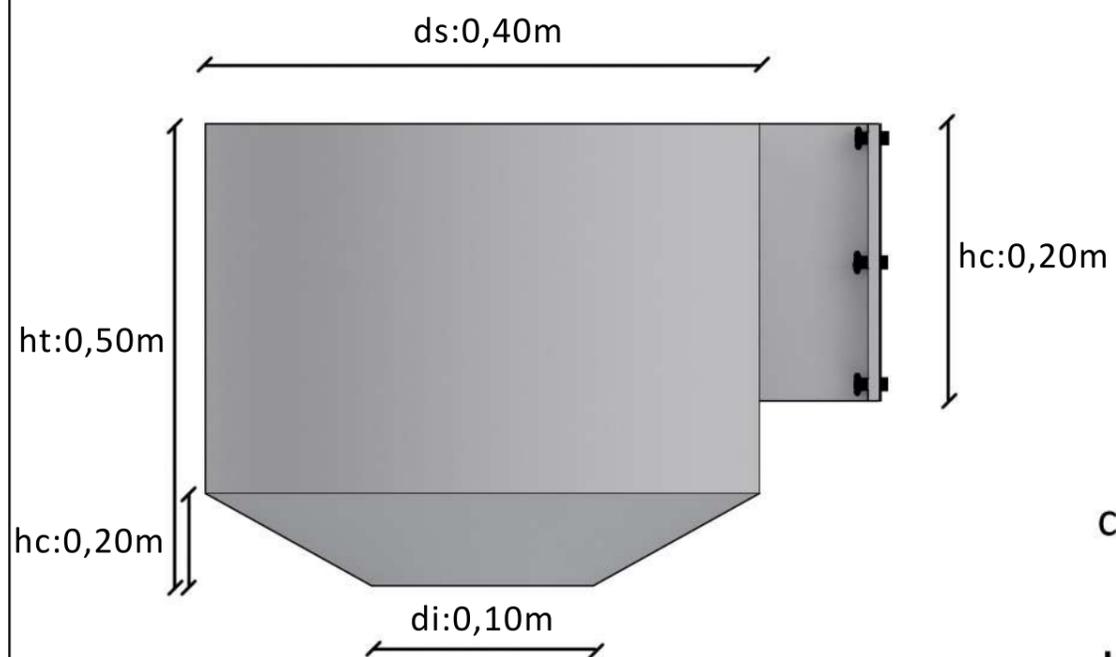
Detalle ensamble tanque/canal existente

Detalle placa	lp	longitud variable
	hp	0,20m
Detalle ensamble tanque/canal existente	①	Bulon hexagonal 1/4 x 1 acero inox.
	②	Placa de ensamble electrosoldada
	③	Adhesivo sellador de silicona líquida

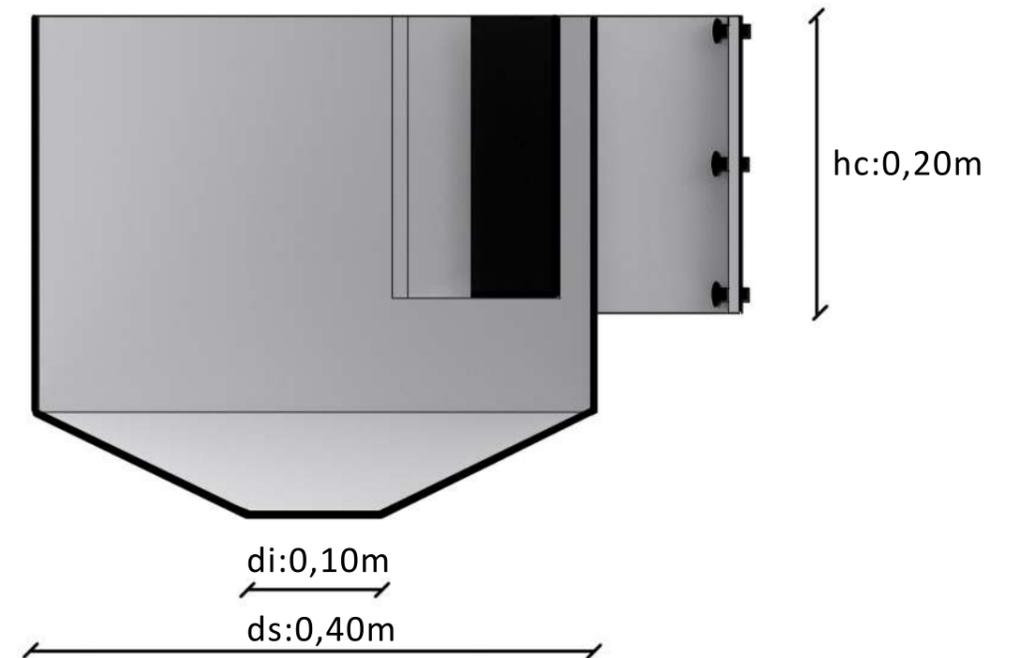
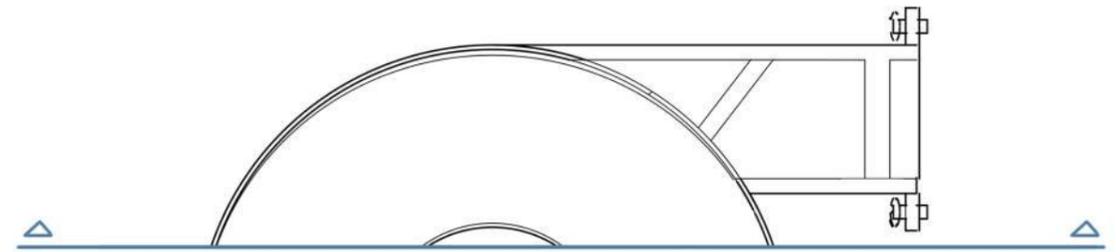
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL		
FACULTAD REGIONAL CONCORDIA		
PROYECTO:	Microhidráulica: Estudio y Diseño de Prototipo para Estructura de Contención de Turbina de Vórtice Gravitacional	
CONTENIDO:	Despiece axonométrico / detalles	
FECHA:		



Vista superior



Vista frontal



Corte longitudinal

REFERENCIAS

ds: diámetro superior
di: diámetro inferior
lt: largo de tangente d
conexion superior al canal
a: ancho del canal
hc: altura del canal
ht: altura total del tanque
hc: altura cono de descarga

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL		
FACULTAD REGIONAL CONCORDIA		
PROYECTO:	Microhidráulica: Estudio y Diseño de Prototipo para Estructura de Contención de Turbina de Vórtice Gravitacional	
CONTENIDO:	Geométrales	
FECHA:		

PRESUPUESTO

PRESUPUESTO	PRECIO
MATERIALES	\$445.500,00
TANQUE DE ACERO INOXIDABLE DE 3MM DE ESPESOR	
PLACA RECTANGULAR REGULADORA DE FLUJO DE ENTRADA AL TANQUE	
TANGENTE DE CONEXIÓN AL CANAL	
BULONES HEXAGONALES DE 1/4" X 1" DE ACERO INOXIDABLE	
ACOPLE DE ACERO INOXIDABLE ELECTROSOLDADO	
ADHESIVO SELLADOR DE SILICONA LIQUIDA	
MANO DE OBRA	\$350.000,00
TOTAL	\$795.500,00

CONCLUSIÓN

El presente Proyecto Final de Investigación, ha abordado el diseño y estudio geométrico de un modelo hidráulico con el fin de generar energía hidroeléctrica mediante un sistema de turbina de vórtice gravitacional. A lo largo de este proceso, se han explorado aspectos cruciales que impactan directamente en la eficiencia del sistema, abarcando todas las aristas desde el diseño geométrico del tanque de circulación hasta la inserción estratégica de una placa reguladora de flujo.

El diseño de cada elemento ha sido un componente central de esta investigación. La consideración meticulosa de cada detalle, incluyendo la forma y las dimensiones del tanque, ha sido llevada a cabo por el objetivo principal de optimizar las velocidades de salida. Respecto a la introducción de la placa reguladora de flujo, ubicada estratégicamente en el final del canal y en el ingreso al tanque, ha demostrado ser una adición fundamental para canalizar y dirigir el flujo de agua de manera más eficiente y reducir las pérdidas de energía, lo que afectaría a la disminución de velocidades dentro del tanque.

Por otra parte, la ejecución de los ensayos en el laboratorio es imprescindible para validar el modelo matemático propuesto ya que, mediante los mismos, se llevarán a cabo la correspondencia entre los resultados experimentales y las predicciones del modelo y, de esta manera, permitirá establecer si el enfoque adoptado pueda ser utilizado con confianza para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

En este estudio, se ha logrado no solo diseñar un sistema que mejore la eficiencia en la generación de energía hidroeléctrica respecto a los existentes, sino también comprender en mayor profundidad las complejidades y dinámicas del flujo de agua en un entorno controlado. Este conocimiento no solo contribuye al avance de la tecnología de vórtice gravitacional, sino que también puede tener implicaciones más amplias en el diseño de sistemas hidráulicos para la generación de energía renovable.

Los lineamientos de esta investigación señalan hacia la posibilidad de diseñar sistemas más eficientes y sostenibles en el ámbito de la hidrogenación e implementar los mismos tanto en la provincia de Entre Ríos, que, como se ha mencionado al principio, se encuentra rodeada de un recurso renovable en abundancia, el agua, como también alrededor de toda la Argentina.

No obstante, se plantean nuevas áreas para futuras líneas de investigación que se lleven a cabo, principalmente, en la Facultad Regional Concordia ya que la misma brinda los espacios necesarios para llevar a cabo el desarrollo de los ensayos propiamente dichos dentro de esta temática. La optimización continua del diseño y la adaptabilidad del sistema a diversas condiciones son aspectos que podrían ser objeto de futuras investigaciones.

Por lo tanto, no solo ha contribuido al conocimiento existente en el campo de la hidrogenación por turbina de vórtice gravitacional, sino que también ha sentado las bases para investigaciones y desarrollos futuros en la búsqueda de soluciones más eficientes y sostenibles.

REREFENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Greenpeace. (2014). *El impacto de las energías renovables en la economía con el horizonte 2030*.
2. *Resumen Ejecutivo – World Energy Outlook 2023 – Analysis - IEA*. (s. f.). IEA.
3. IEA. (2023). *Renewable energy market update – analysis - IEA*. (s. f.).
4. IRENA. (2019). *Estadísticas de energía renovable 2019*.
5. Fundacion YPF. (s.f). *Energía hidráulica*.
6. United Nations Industrial Development Organization. (2016). *World Small Hydropower Development Report 2016*.
7. El Cronista. (2023). *Renovables: la Argentina en el cuarto lugar regional en producción solar y eólica*.
8. CAMMESA. (s/f). *Evolución anual 2006-2021*.
9. United Nations. (2021). *La Cumbre de líderes sobre el clima en el Día de la Tierra*.
10. (s/n). (2022). *Lineamientos para un Plan de Transición Energética al 2030*.
11. (2022). *Cuarto informe bienal de actualización*. Argentina.gob.ar.
12. Fundación Ambiente y Recursos Naturales. (2020). *Elementos para una estrategia a largo plazo baja en carbono*.
13. Subsecretaría de Recursos Hídricos. (s/f). *POLÍTICA HÍDRICA Programa Nacional de Obras Hidroeléctricas 2025*.
14. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2020). *Plan Estratégico Agroalimentario y Agroindustrial Participativo y Federal 2010-2020*.
15. Fernandez Marco. (2010). *Abastecimiento Sustentable de Energía a Regiones Rurales Aisladas. Análisis de Generación de Energía Hidroeléctrica de Paso Utilizando un Tornillo de Arquímedes*. Instituto Tecnológico de Buenos Aires.
16. (2018). *Micro Turbinas Hidráulicas. Diseños, Adaptaciones Para Enseñanza De Microhidrogeneración*. XXVIII Congreso Latinoamericano De Hidráulica
1. Buenos Aires, Argentina.
17. Turbulent Hydro. (2022). *Turbulent..*
18. Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos. (2016). *Modelación Numérica del Flujo en un Descargador a Vórtice Aplicando Mecánica de Fluidos Computacional (CFD)*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.