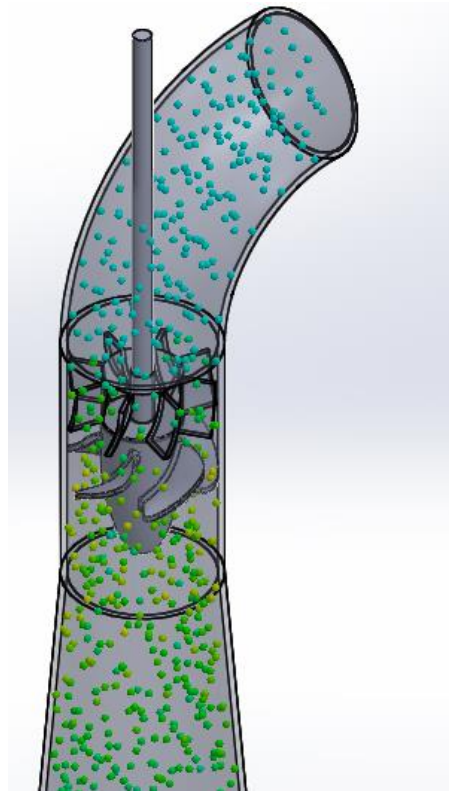


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

Energía Renovable para Comunidades Aisladas

Desarrollo de una Micro turbina Axial



INFORME DE PRÁCTICA SUPERVISADA

Grosso María Florencia

TUTOR INTERNO: DR. TERESA REINA
TUTOR EXTERNO: MAG MARÍA LÁBAQUE

PRESENTACIÓN

El presente informe tiene como objetivo dejar plasmado en forma concisa y ordenada el trabajo realizado por la alumna Grosso, María Florencia en el marco del convenio de Practica Supervisada, en la empresa CEAS S.A. dentro de la cual se desarrollaron las tareas a fin de ser evaluada y calificada por un tribunal examinador.

La actividad ejecutada se trató del diseño hidráulico de una Micro turbina Hidráulica para implementarla en localidades rurales aisladas de Córdoba.

INDICE

PRESENTACIÓN	1
1.- INTRODUCCIÓN	6
1.1.- Introducción	6
1.2.- Objetivos.....	7
1.3.- Objetivos Particulares	7
1.4.- Metodología	8
2.- Energías Renovables. Contexto Internacional y Nacional	9
2.1.- Matriz Energética.....	9
2.2.1- Matriz Energética Argentina.....	10
2.2.2. - Marco Legal	13
2.3.- Las distintas fuentes renovables de energía	14
2.3.1 - Energía Solar:.....	15
2.3.2 - Energía Eólica:.....	20
2.3.3 - Energía de biomasa:	24
2.3.4. - Energía Geotérmica:	28
2.3.5. - Energía Hidráulica	31
3.- Energía Hidráulica - Centrales hidroeléctricas.....	36
3.1.- Utilización de la Energía Hidráulica	36
3.2- Obtención de energía a través del agua	37
3.2.1- Aprovechamientos en derivación	38
3.2.2- Aprovechamientos de regulación	38
3.2.3- Aprovechamientos de usos múltiples.....	39
3.3- Mini centrales hidroeléctricas.....	40
4.- Turbinas.....	43
4.1 – Introducción.....	43
4.1.1- Turbinas Hidráulicas	43

4.1.2 - Partes de una turbina hidráulica.....	43
4.2.1- Fenómenos en las turbinas hidráulicas.....	45
4.2.2- Tipos de turbinas hidráulicas.....	45
5- Micro Turbina.....	54
5.1- Introducción.....	54
5.2- Velocidades del fluido a través del rotor.....	54
5.3- Transferencia de energía.....	55
5.4-Consideraciones generales para el diseño.....	55
5.4.1- Diseño de álabes.....	57
6.- Memoria de cálculo.....	58
6.1- Introducción.....	58
6.1.1- Cálculo hidrodinámico de la turbina Kaplan.....	58
6.1.2- Cálculo de la potencia utilizable de las condiciones del salto.....	58
6.1.3- Rodete de la turbina Kaplan.....	58
6.1.4- Distribuidor.....	71
6.1.5- Tubo de Desfogue.....	74
6.1.6- Calculo de fuerzas sobre el Álabes.....	77
7.- Diseño final y Recomendaciones.....	82
8.- Conclusiones.....	88
Bibliografía.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Consumo Energético global.....	9
Figura 2: Relación entre las Energías Renovables Actuales	10
Figura 3: Fuentes de Energía en Argentina	11
Figura 4: Mecanismo de Presentación de Proyectos	14
Figura 5: Energías Renovables	14
Figura 6: Energía Solar	15
Figura 7: Evolución de la Energía Solar	16
Figura 8: Irradiación Solar	17
Figura 9: Planta Solar Fotovoltaica Hornaditas (Jujuy).....	19
Figura 10: Energía Eólica.....	20
Figura 11: Evolución de la Energía Eólica.....	21
Figura 12: Generación de Energía Eólica en Argentina	24
Figura 13: Energía de Biomasa	24
Figura 14: Potencial de Biomasa	26
Figura 15: Energía Geotérmica	28
Figura 16: Ubicación de aprovechamientos geotérmicos.....	30
Figura 17: Energías Hidroeléctrica.....	32
Figura 18: Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos.....	35
Figura 19: Aprovechamientos en Derivación	38
Figura 20: Aprovechamientos en Regulación.....	39
Figura 21: Tipos de Turbinas.....	46
Figura 22: Turbina Pelton	47
Figura 23: Turbina Michell Banki.....	48
Figura 24: Turbina Francis	50
Figura 25: Turbina Francis	51
Figura 26: Rango de aplicación de distintos tipos de turbinas.....	53
Figura 27: Triángulos de Velocidades	54
Figura 28: Rodete Turbina Kaplan.....	59
Figura 29: Sección de entrada	61
Figura 30: Triángulos de Velocidades	63
Figura31: Dimensiones Principales del Rodete	67
Figura 32: Triangulo de velocidades del álabe	69

Figura 33: Cubo Inferior	71
Figura 34: Perfil Álabes del Distribuidor	72
Figura 35: Ángulo de salida del distribuidor en función del de ingreso al rotor	73
Figura 36: Dimensiones básicas de Tubo de Desfogue	76
Figura 37: Persiana de Álabes	77
Figura 38: Velocidad Relativa media del agua	80
Figura 39: Fuerza de sustentación y arrastre.....	80
Figura 40: Isométrica del Rodete	82
Figura 41: Planta y Vista lateral del Rodete	83
Figura 42: Perfil del álabe del Rodete en tres secciones	83
Figura 43 Isométrica del Distribuidor.....	84
Figura 44: Vista superior e isométrica del Distribuidor.....	84
Figura 45: Vista Lateral y perfil del álabe del Distribuidor.....	84
Figura 46: Plano e Isométrica del conjunto.....	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parques Eólicos en Argentina.....	22
Tabla 2: Comparativa de distintos tipos de turbinas.....	52
Tabla 3: Ángulos de caracterización del álabe	66
Tabla 4: Longitud axial del Distribuidor.....	73
Tabla 5: Altitud Vs Presión Atmosférica.....	76
Tabla 6: Resumen de resultados del diseño hidráulico de una turbina axial	88

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Introducción

El siguiente informe consiste en el diseño de una micro turbina hidráulica que forma parte del Proyecto de Energías Renovables en Mercados Eléctricos Rurales (PERMER) el cual es un programa de inversión y asistencia técnica que apunta a asegurar el abastecimiento del servicio eléctrico a esa porción de la población en forma sostenible preferentemente mediante la utilización de fuentes de generación de energías renovables, contribuyendo de ese modo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Lo lleva a cabo la Secretaría de Energía de la Nación a través de la Unidad Coordinadora del Proyecto.

Es un proyecto de alto contenido social, ya que tiende al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades rurales dispersas, contribuyendo al alivio de la pobreza de las mismas y a evitar la migración de pobladores hacia áreas urbanas. En América Latina más del 50% de la población rural no tiene acceso a la electricidad. La alternativa más común de electrificación en zonas no rurales es mediante interconexión a la red se va haciendo cada vez más complicada y costosa, debido al cada vez mayor aislamiento en que se encuentran miles de centros poblados.

Hace más de un siglo, se aprovecha la energía hidráulica para generar electricidad, y de hecho fue una de las primeras formas que se emplearon para producirla. Las alternativas de generación de energía descentralizadas y de pequeñas potencias como es la Mini y micro hidroenergía aún no son utilizadas en forma significativa para atender a estas comunidades, a pesar de que en muchas zonas existen abundantes recursos hídricos, de fácil explotación, en las cuales es posible establecer escenarios tecnológicos y económicamente factibles, con grandes ventajas medioambientales. Las micro turbinas hidráulicas pueden ser utilizadas en todas las zonas del país donde se dispone de arroyos con saltos y condiciones naturales adecuadas para su instalación.

En general la situación tecnológica de las micro turbinas tienen el inconveniente que sus diseños no responden a estudios específicos aplicados a pequeños aprovechamientos, y al simplificar aspectos relacionados a la concepción del funcionamiento de la turbina se influye sensiblemente en el diseño, por otro lado no es común realizar experimentaciones a pequeña escala ya que la micro generación se

considera una actividad no rentable. Para este tipo de máquinas se estiman eficiencias menores en comparación a las obtenidas en centrales de mayor tamaño. Esta problemática plantea las siguientes preguntas:

¿Cuál es la tecnología más correcta para el micro aprovechamiento?

¿Qué ajustes se deberían realizar para un eficiente diseño de la turbina en los micro aprovechamientos?

¿A través de la instalación de micro turbinas se podrá cubrir la necesidad de energía a comunidades aisladas?

El análisis de esta situación lleva al diseño una Micro Turbina Hidráulica, donde el aspecto constructivo es analizado a partir de la información que se dispone de fabricantes especializados en el tema, los cuales se basan en conocimientos empíricos, finalmente los resultados se plasman en planos y una modelación 3D.

1.2.- Objetivos

El objetivo general de la Práctica Profesional Supervisada es la participación en el desarrollo de una micro turbina como forma de obtención de energía con miras a fomentar y extender esta propuesta a las localidades rurales.

1.3.- Objetivos Particulares

- Afianzar y ampliar los conocimientos adquiridos durante el cursado de la carrera y aprender a aplicarlos en un ámbito profesional de trabajo.
- Tomar contacto con diversas herramientas y ramas existentes en el campo de la Ingeniería Civil y utilizarlas para generar soluciones técnicas y económicamente viables.
- Introducirse en el ámbito laboral, participando en un grupo de trabajo profesional e interactuando con distintos Ingenieros Civiles.
- Redacción de Memoria del trabajo realizado correctamente fundamentada, mejorando y afianzando los conceptos estudiados en el cursado de la carrera.

1.4.- Metodología

La metodología propuesta es un análisis general del contexto en el que se encuentran las energías renovables, volcándonos finalmente en la hidráulica.

Se determina el tipo de turbina para las condiciones de diseño, las adoptadas para el caso son ($Q=0,1\text{m}^3/\text{s}$; $H=5\text{m}$). Siguiendo los lineamientos propuestos por la bibliografía se diseñó una turbina Axial.

De manera de cumplir con los objetivos establecidos y la metodología propuesta se plantea la siguiente estructura.

En el primer capítulo se detallan los objetivos propuestos para esta Práctica Supervisada y se presenta un resumen de los temas a tratar.

En el siguiente capítulo se realiza una explicación del por qué se volcó a la búsqueda de energías renovables y el incentivo al desarrollo de las micro turbinas. Se presenta la matriz energética en Argentina y la búsqueda de inversión en energías renovables.

A partir del tercer capítulo nos enfocamos en aprovechamientos hidroeléctricos, se describen los principios por los cuales se obtiene energía eléctrica a través del agua, mencionando los tipos de aprovechamientos y los parámetros fundamentales.

La obtención de energía a partir del agua se obtiene a través de turbinas, por lo cual en el cuarto capítulo se realiza una descripción sobre los conceptos y elementos básicos para el funcionamiento de las turbinas hidráulicas.

Se detalla en el capítulo cinco las características generales de la turbina Kaplan, describiendo los principios de funcionamiento y pautas para el diseño.

En el capítulo seis se describe y lleva a cabo el cálculo de los principales elementos que componen la micro turbina.

El capítulo siete expone el diseño final y recomendaciones. Este capítulo contiene los planos e imágenes de la modelación 3D.

La conclusión se presenta en el capítulo ocho, donde se expone una breve descripción de los resultados obtenidos.

2.- Energías Renovables. Contexto Internacional y Nacional

2.1.- Matriz Energética

A medida que una sociedad crece y se desarrolla, la demanda energética también aumenta, y en orden de satisfacer esta creciente necesidad de energía, se consumen más recursos para su generación. Pero la energía que se puede obtener del carbón, del petróleo y del gas no es renovable: se van agotando año tras año. La mejor y más viable opción es aprovechar otras fuentes de energía que garanticen abastecimiento en el futuro, este punto es donde toman relevancia las Energías Renovables.

Las energías renovables usan como medio de generación recursos que poseen una fuente prácticamente inagotable en relación al tiempo de vida del hombre en el planeta. Se producen de manera continua, no se agotan, y tienen su origen en los procesos ambientales y atmosféricos naturales; son fuentes de energías alternativas el viento, el sol, los cursos de agua, la descomposición de la materia orgánica, el movimiento de las olas en la superficie del mar y océanos, el calor interior de la tierra.

En la actualidad constituyen un complemento a las energías convencionales fósiles cuyo consumo cada vez más elevado, provocando el agotamiento de los recursos y graves problemas ambientales. Esta situación se puede ilustrar en el siguiente gráfico:

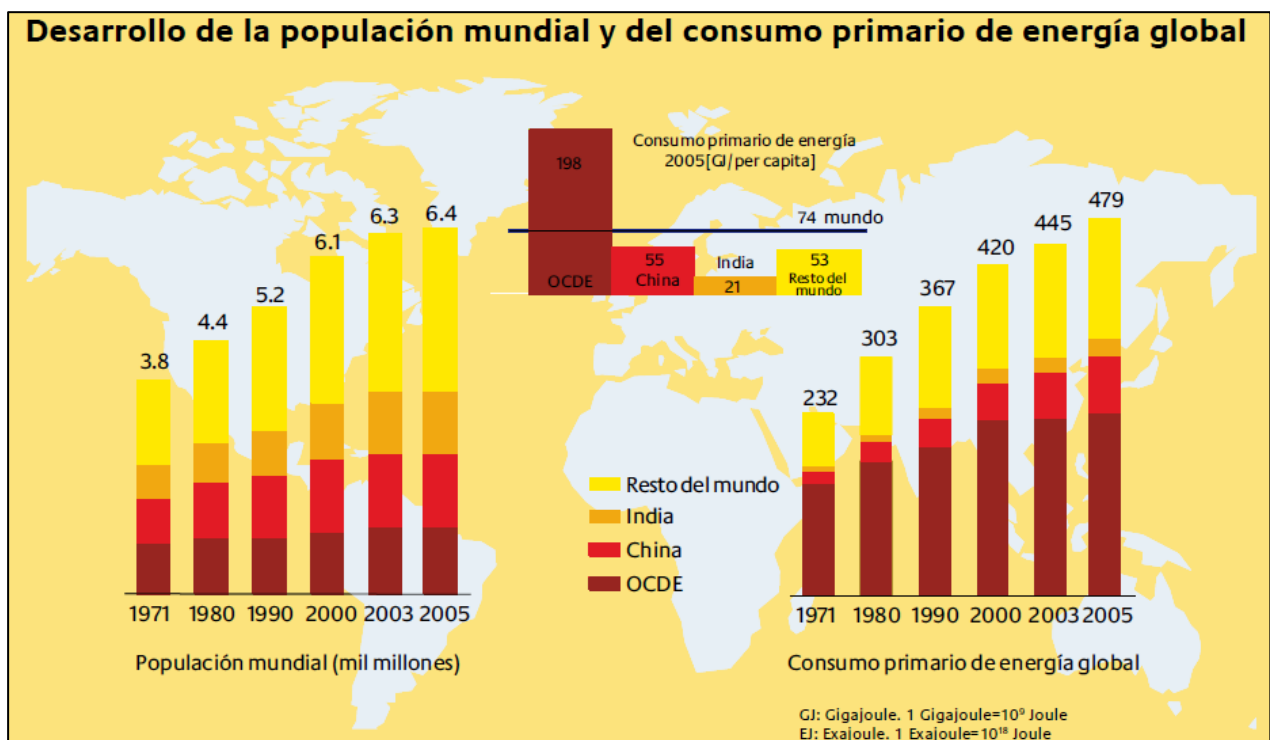


Figura 1: Consumo Energético global (IRENA 2008)

Como esta situación es insostenible en el tiempo, diversos países impulsan la producción y el uso de energías renovables reconociendo la importancia de suplantar las energías tradicionales por aquellas de carácter sustentables.

Esta problemática se ve reflejada en los datos resumidos en el siguiente gráfico:

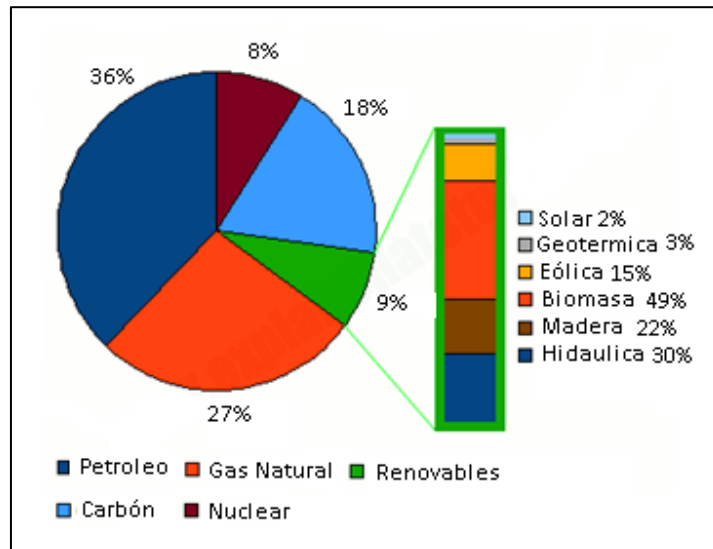


Figura 2: Relación entre las Energías Renovables Actuales
(ECN report on Renewable Energy)

De acuerdo a los datos proporcionados, queda en evidencia que más de la mitad de la energía generada en el mundo proviene del petróleo y el gas natural, atribuyendo un alarmante 9% de este total al conjunto de energías renovables.

2.2.1- Matriz Energética Argentina

Actualmente la matriz energética Argentina es fuertemente dependiente de los combustibles fósiles, básicamente petróleo y gas, que representan el 88% de la oferta energética total. En cuanto a la generación eléctrica, el 60% proviene del gas natural, un recurso no renovable, y que genera emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), responsables del cambio climático.

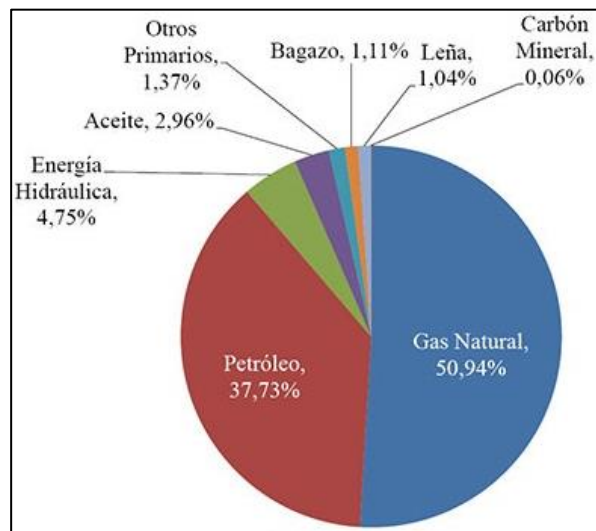


Figura 3: Fuentes de Energía en Argentina (Ensinck – Assefh, 2015)

El país importa combustibles por u\$s 14.000 millones anuales, dejando en evidencia el déficit energético. En la actualidad, la generación eléctrica en la Argentina se sostiene por medio de subsidios, los cuales (entre energía y transporte) están por encima de los 4 puntos del PBI y representan más del 20% del gasto público. (Ensinck – Assefh, 2015)

Si bien se considera que las tecnologías para la obtención de energía renovable son costosas respecto a los combustibles fósiles y nucleares, conforme pasa el tiempo, se vuelven más competitivas al tener en consideración el costo que producen los daños causados a personas y el medio ambiente, por otro lado contribuyen a diversificar y aumentar el suministro nacional, con lo cual se reducen los gastos de la importación de combustibles fósiles, es decir transformar el gasto público en una inversión donde se aprovechen las fuentes disponibles de energías renovables.

Las energías renovables son ilimitadas, están disponibles universalmente y pueden cubrir la necesidad de soluciones energéticas concretas para áreas rurales. De este modo, hasta las regiones más remotas pueden obtener suministro de energía y acceder por esta vía al desarrollo, dado que las energías renovables pueden aprovecharse en lugares alejados de centrales de producción de electricidad.

Se busca dar un impulso al uso eficiente de la energía ya que se considera que con políticas de eficiencia energética se ahorraría el 41% de la demanda total de energía

eléctrica en la Argentina. En el sector transporte, la utilización de vehículos más eficientes ayudaría a ahorrar unos u\$s 240 millones anuales.

La normativa, sancionada en 2006, establecía que, para el año 2016, un 8% de la generación eléctrica del país debía provenir de fuentes limpias. Actualmente, el porcentaje de renovables dentro de la matriz apenas alcanza al 1,4%.

Expertos ambientales y juristas destacan que la Ley de Energías Renovables es coherente con el potencial de recursos naturales presente en la Argentina.

Argentina posee un alto porcentaje de electrificación pero existe una parte de su población que carece de servicio eléctrico. Esta población, ubicada en áreas rurales dispersas no dispondrá de electricidad en el corto y mediano plazo por encontrarse muy alejada de las redes de distribución, resultando económicamente inviable dado el alto costo que involucra. Si bien se considera que micro o mini hidroeléctricas no es costeable o viable para fines únicamente sociales (iluminación, centros de salud, etc.) por lo cual se busca que se utilice en las primeras etapas de formas de trabajo (si bien el uso productivo es limitado debido al tamaño limitado del mercado). Se buscan organizaciones o instituciones dispuestas a invertir en esta tecnología, ya que se considera que será más redituable al invertir en el desarrollo de algún producto final o uso que se genere. Por ejemplo en campings, hoteles, criaderos ubicados en lugares aislados, y de esta forma generar un mayor impacto y darle a gente marginada la satisfacción de necesidades básicas. Esta necesidad se plantea ya que la instalación depende de si es financieramente sostenible.

Se debe realizar un enfoque financiero, social, técnico y organizacional para la determinación clara de objetivos, como ser quien será el responsable de la manutención y funcionamiento, estará regulada gubernamentalmente, se le otorgarán subsidios para que pueda ser competitiva con otras energías, etc.

PERMER, Proyecto de Energías Renovables en Mercados Eléctricos Rurales (PERMER) busca asegurar el abastecimiento del servicio eléctrico a esa porción de la población en forma sostenible preferentemente mediante la utilización de fuentes de generación de energías renovables, (sistemas fotovoltaicos, eólicos, micro turbinas hidráulicas. El Proyecto se financia mediante un préstamo del Banco Mundial y una donación del GEF (Fondo Mundial para el Medio ambiente). Este es uno de los típicos

proyectos considerado por el Banco Mundial de alivio a la pobreza con alto contenido social cuyos objetivos son atender al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades rurales dispersas promoviendo el arraigo de los pobladores al medio y desalentar la migración rural.

2.2.2. - Marco Legal

La Ley 26190 establece el “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la producción de Energía Eléctrica”, declarando de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de energía renovables con destino a la prestación de servicio público como así también la investigación para el desarrollo tecnológico y fabricación de equipos con esa finalidad.

El objetivo del citado régimen es lograr que la contribución de fuentes de energía renovables alcancen el ocho por ciento (8%) del consumo de energía eléctrica nacional en el plazo de diez (10) años a partir de la puesta en vigencia del presente régimen. Esta ley es complementaria de la ley n° 25.019/1998, decreto n° 1.597/1999 (Régimen Nacional de Energía Eólica y Solar), extendiéndose a las demás fuentes renovables (energía geotérmica, mareomotriz, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás).

Indica que serán beneficiarios del régimen instituido, las personas físicas y/o jurídicas que sean titulares de inversiones y/o concesionarios de obras nuevas de producción de energía eléctrica, generada a partir de fuentes de energías renovables con radicación en el territorio nacional, cuya producción esté destinada al mercado eléctrico mayorista y/o la prestación del servicio público de electricidad.

La ley indica que se dará especial prioridad, en el marco del régimen de inversiones, a todos aquellos emprendimientos que favorezcan, cualitativa y cuantitativamente, la creación de empleo y que propongan una integración con bienes de capital de origen nacional. Asimismo indica un mecanismo de presentación de proyectos que se inicia ante el Consejo Federal de la Energía Eléctrica quien los evalúa y les asigna un orden de mérito, el que finalmente debe aprobar la Secretaria de Energía.

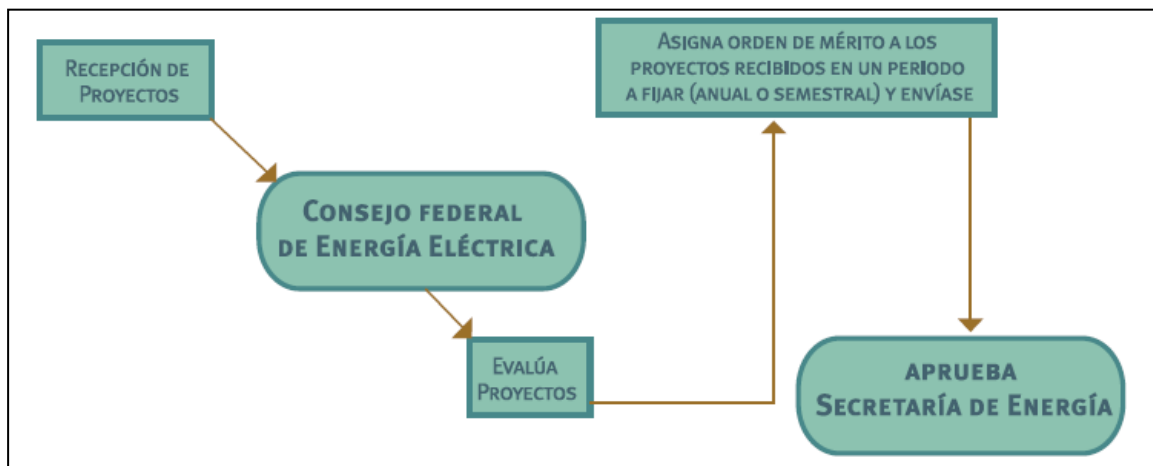


Figura 4: Mecanismo de Presentación de Proyectos (Leal, 2013)

2.3.- Las distintas fuentes renovables de energía

En consideración a su grado de desarrollo tecnológico y a su nivel de penetración en la matriz energética de los países, las Energías Renovables se clasifican en Energías Renovables Convencionales y Energías Renovables No Convencionales.



Figura 5: Energías Renovables

(Rivas, 2011)

Dentro de las primeras se considera a las grandes centrales hidroeléctricas; mientras que dentro de las segundas se ubica a las generadoras eólicas, solares fotovoltaicas, solares térmicas, geotérmicas, mareomotrices, de biomasa y las pequeñas hidroeléctricas. Se desarrollarán en detalle estas últimas.

2.3.1 - Energía Solar:

Es aquella obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol. Las diferentes tecnologías solares se pueden clasificar en pasivas o activas según cómo capturan, convierten y distribuyen la energía solar. Las tecnologías activas incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores solar-térmicos para recolectar la energía. Entre las técnicas pasivas, se encuentran diferentes técnicas enmarcadas en la arquitectura bioclimática.

El autoconsumo fotovoltaico consiste en la producción individual a pequeña escala de electricidad para el propio consumo, a través de paneles solares fotovoltaicos algunos de ellos autoinstalables. Se puede complementar con el balance neto en las instalaciones autónomas o bien facilitar la independencia energética (instalaciones desconectadas)



Figura 6: Energía Solar (www.erenovable.com)

La energía solar fotovoltaica consiste en la obtención de electricidad obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina, son muy apropiados para proyectos de electrificación rural en zonas que no cuentan con red eléctrica, instalaciones sencillas en azoteas y de autoconsumo fotovoltaico.

La energía solar comienza a hacer competitiva cuando se presenta una reducción del precio de los módulos solares, para el 2013 se obtuvo una reducción del 80 % a lo largo de 5 años. Esta situación se evidencia en el crecimiento de los últimos años de la energía solar fotovoltaica, previendo que esta tendencia continúe en los años que siguen.

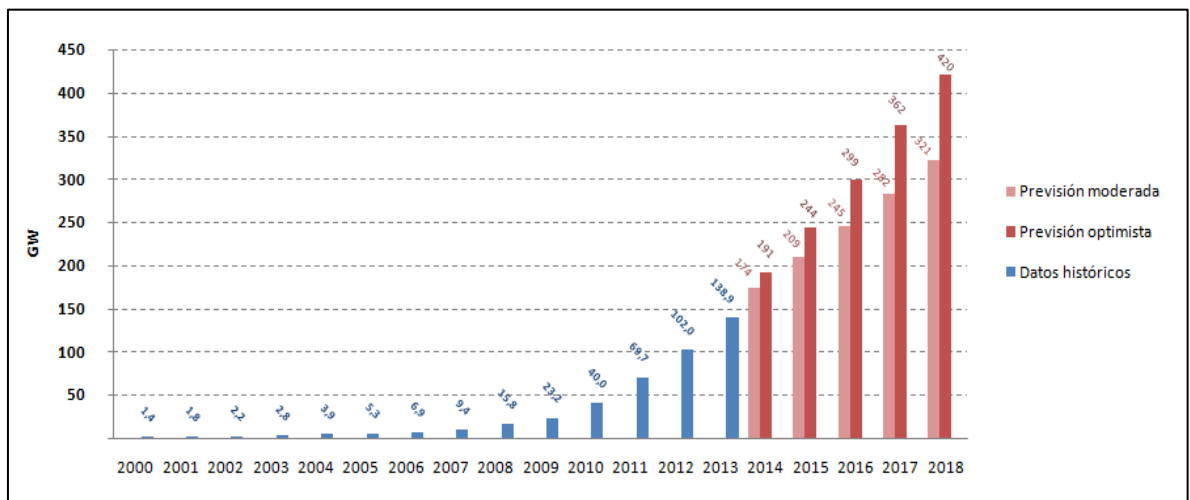


Figura 7: Evolución de la Energía Solar (www.solarproargentina.com)

Una desventaja de este tipo de energía es que el nivel de radiación de esta energía fluctúa de una zona a otra, y entre una estación del año y otra, lo que puede no ser tan atractivo para el consumidor y cuando se decide utilizar la energía solar para una parte importante de la población, se necesitan grandes extensiones de terreno, lo que dificulta que se escoja este tipo de energía.

Energía Solar en la Argentina

En nuestro país se tiene un razonable conocimiento del recurso solar disponible y de su distribución geográfica, sin embargo existen regiones donde se deberían realizar estudios en mayor detalle, por lo que se requiere continuar la medición del recurso mejorando la cobertura espacial y la instrumentación utilizada. En la siguiente imagen, se presenta la distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria correspondiente a los meses de enero y junio. La misma ha sido expresada en unidades convenientes para la conversión fotovoltaica, en kWh/m²-día. (www.energia.gob.ar 2009)

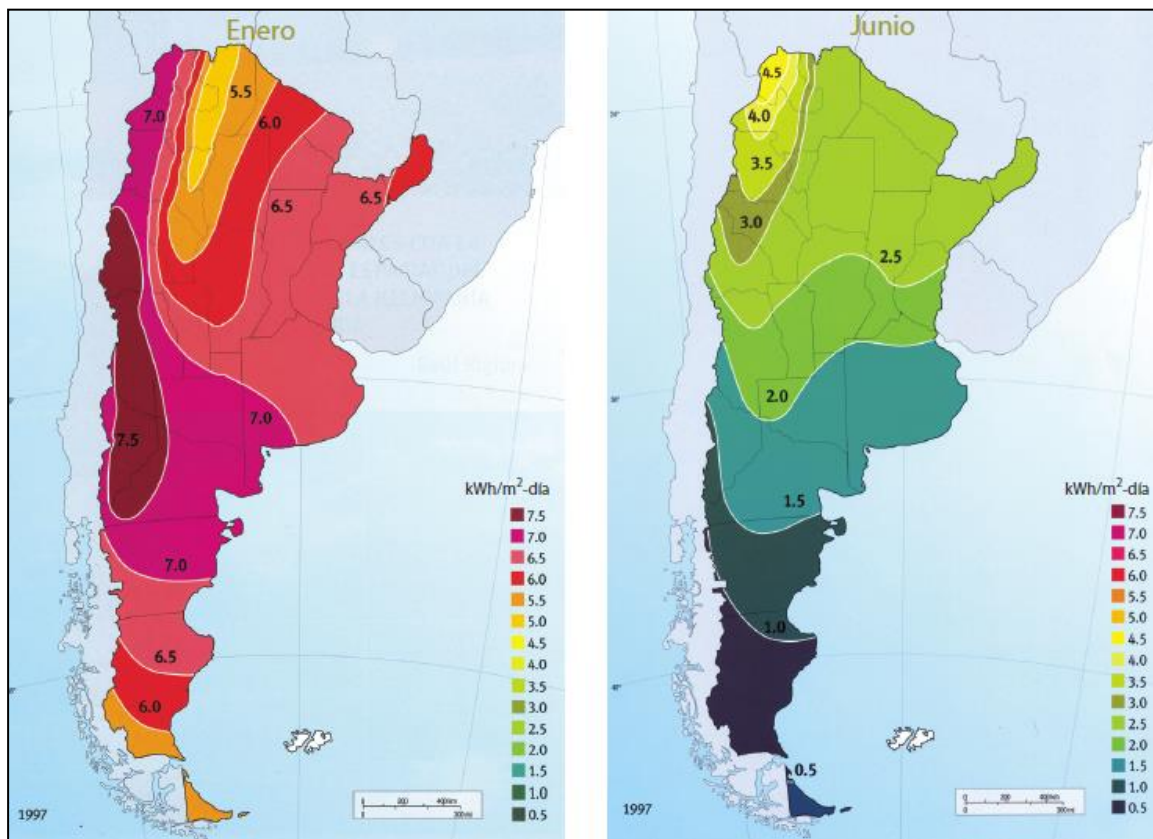


Figura 8: Irradiación Solar (www.energia.gob.ar, 2009)

Analizando las isohelias, se observa que el recurso solar en el Noroeste de la Argentina (parte occidental de Salta, Jujuy, Catamarca, La Rioja y San Juan) es tan abundante que potencialmente podría abastecer a toda la demanda de energía eléctrica del país (presenta irradiación alta: superior 5 kWh/m²-día), pero hay que atender el hecho de que la demanda se produce también durante la noche y el recurso solar está disponible obviamente de día, lo cual sugiere la prioridad de investigar sobre sistemas de almacenamiento de energía solar). Por otra parte de la superficie del país presenta irradiaciones que permitirían su aprovechamiento en proyectos de generación eléctrica de baja potencia y sobre todo en calentamiento de agua.

PERMER ha permitido el suministro eléctrico mediante energías renovables a 3260 viviendas, 540, escuelas y 76 servicios públicos (salas de emergencia médica, destacamentos policiales y de gendarmería, etc). En proceso de instalación se hallan, además, 1049 sistemas en escuelas, 3100 en viviendas y 200 servicios públicos adicionales.

Entre los proyectos fuera del PERMER que contribuyen a la potencia instalada se encuentran:

En el Área de Energías Renovables de ENARSA se mantiene el compromiso de promover y desarrollar proyectos de energía solar, tanto fotovoltaica como termoeléctrica, y las industrias locales asociadas, para contribuir a una matriz energética más diversificada y limpia, y contribuyendo a asegurar el abastecimiento futuro con fuentes de energía inagotables.

Con el objeto de desarrollar proyectos de centrales solares, en distintas provincias se está próximo a firmar acuerdos con las siguientes Empresas, todas con una vasta experiencia en soluciones energéticas mediante la utilización de energía solar, la más destacada es la planta Solar Fotovoltaica de Ullúm (San Juan)

El objetivo de San Juan es convertirse en un polo de desarrollo tecnológico de la industria solar fotovoltaica. La provincia cuyana tiene el potencial para lograrlo: cuenta con un recurso solar abundante y cuarzo de alta calidad, el primer paso fue la inauguración de una planta piloto de 1,2 kilovatios, en Ullum. El objetivo final del programa es completar la cadena industrial del silicio y producir localmente las celdas y paneles fotovoltaicos.

Iniciativas movilizadoras de inversiones en este sector ha sido el Programa de Generación Eléctrica a partir de Fuentes Renovables (Genren), conducido por Enarsa. La primera adjudicación, en junio de 2009, incluyó seis proyectos de fuente solar fotovoltaica, todos en territorio sanjuanino, por un total de 20 megavatios. Los primeros dos parques, Cañada Honda I y II, ubicados a 60 kilómetros de la capital provincial, fueron puestos en marcha en abril del 2015. Cañada Honda I cuenta con una potencia instalada de 2 megavatios y Cañada Honda II posee una potencia instalada de 3 megavatios. Quedan por construir otras cuatro centrales en el marco del Genren: Cañada Honda III (5 MW), Chimbera I (2 MW), Chimbera II (3 MW) y Chimbera III (5 MW).

A lo largo del año 2012 se realizaron estudios de pre factibilidad para el desarrollo de una planta solar fotovoltaica en la zona de Hornaditas, en la Quebrada de Humahuaca, Jujuy. El terreno del emplazamiento estudiado es propiedad de la provincia y se encuentra a la vera de la Ruta Nacional N° 9. En el diseño general del proyecto se estima una capacidad total de 10 MW de potencia pico, generado a partir de módulos fotovoltaicos fijos de 230 Wp cada uno. En este caso se estiman necesarios alrededor de 52.000 módulos que serían ubicados en una superficie total de 30 Hectáreas. Por otro

lado, se han realizado simulaciones de producción y pérdidas, arrojando como resultado para el total de energía anual a producir unos 23.816 MWh / año.



Figura 9: Planta Solar Fotovoltaica Hornaditas (Jujuy) (www.inti.gob.ar)

La primera planta termo solar de Sudamérica en Salta. El ministro de Ambiente y Producción Sustentable de Salta, Alfredo De Angelis, se reunió con 13 empresarios chinos, quienes firmaron un contrato para construir en Salta la primera planta termo solar de espejos parabólicos de Sudamérica. Demandará una inversión de 100 millones de dólares. El lugar de emplazamiento de la planta termo solar será en los Valles Calchaqués, a 7 kilómetros al norte de la localidad de San Carlos, ocupará una superficie de 70 hectáreas, su construcción demorará unos 18 meses y ocupará poco más de 300 puestos de trabajo. La planta termo solar tendrá una capacidad de generación de 20Mwh.

Otros proyectos son la electrificación de escuelas rurales en la provincia de Buenos Aires, la provisión de energía eléctrica residencial y para servicios públicos en Neuquén, y experiencias de bombeo de agua en Catamarca.

2.3.2 - Energía Eólica:

Es la energía obtenida a partir del viento, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire.

Es utilizada principalmente para producir electricidad mediante aerogeneradores conectados a las grandes redes de distribución de energía eléctrica.



Figura 10: Energía Eólica
(<http://erenovable.com/energia-eolica>)

Los parques eólicos construidos en tierra suponen una fuente de energía cada vez más barata y competitiva. Pequeñas instalaciones eólicas pueden proporcionar electricidad en regiones remotas y aisladas que no tienen acceso a la red eléctrica. El auge de la energía eólica ha provocado también la planificación y construcción de parques eólicos marinos, situados cerca de las costas. La energía del viento es más estable y fuerte en el mar que en tierra, y los parques eólicos marinos tienen un impacto visual menor, pero sus costes de construcción y mantenimiento son considerablemente mayores.

Si bien es bastante estable y predecible a escala anual una desventaja es que presenta variaciones significativas a escalas de tiempo menores. Al incrementarse la proporción de energía eólica producida en una determinada región o país, se hace imprescindible establecer una serie de mejoras en la red eléctrica local como una mayor capacidad de almacenamiento de energía, una distribución geográfica amplia de los aerogeneradores, la disponibilidad de fuentes de energía de respaldo, la posibilidad de exportar o importar energía a regiones vecinas o la reducción de la demanda cuando la producción eólica es menor. Otra desventaja es que debido a la falta de seguridad en la existencia de viento, la energía eólica no puede ser utilizada como única fuente de energía eléctrica.

Para distribuir la electricidad producida es necesario construir unas líneas de alta tensión que sean capaces de conducir el máximo de electricidad que sea capaz de producir la instalación y por otro lado una máquina puede estar generando al máximo de su potencia, pero si la velocidad del viento sobrepasa las especificaciones del

aerogenerador, es obligatorio desconectarlo de la red o cambiar la inclinación de las aspas para que dejen de girar, puesto que su estructura puede resultar dañada por los esfuerzos que aparecen en el eje. También existe necesidad de una velocidad mínima en el viento para poder mover las aspas.

La situación global de búsqueda de formas alternativas de obtención de energía impulso la evolución y mayor implementación de la energía eólica, lo cual podemos ver plasmado en el siguiente gráfico.

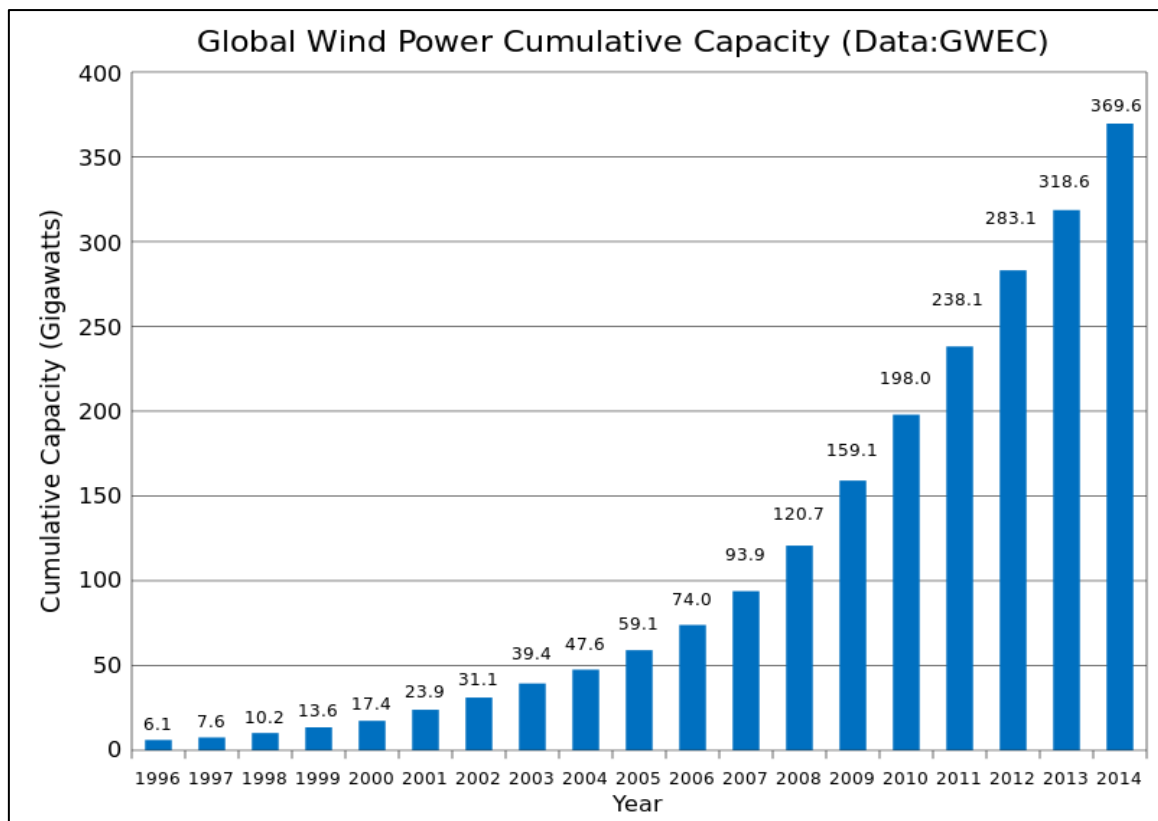


Figura 11: Evolución de la Energía Eólica (www.wikipedia.org)

Energía Eólica en la Argentina

En el marco del Plan Estratégico Nacional Eólico y a fin de ampliar el conocimiento del recurso, el Centro Regional de Energía Eólica (CREE) en conjunto con la UTN y con apoyo del MINPLAN, realizó el Desarrollo del Atlas Eólico del Potencial del Sur Argentino para cada una de las provincias que lo componen. Estos datos se han volcado a un SIG Eólico disponible online, que ofrece información de los vientos para cualquier punto; y es gracias a esta información se puede estimar el potencial eólico técnicamente aprovechable en nuestro país es de 5000mW aproximadamente. (www.energia.gov.ar 2009)

En la actualidad existen casi 30 mW eólicos de media/alta potencia instalados en Argentina (0.11% de la potencia total instalada en 2007), muchos de ellos pertenecientes a cooperativas eléctricas, según puede verse en el cuadro siguiente.

Parques eólicos instalados en Argentina							
Localidad	Provincia	Puesta en servicio	Potencia total (kW)	Detalle de maquinas	Marca y modelo	VMA(m/s)	Propietario-operador
C. Rivadavia	Chubut	19/01/94	500	2 x 250 kW	MICON M530	9.4	PECORSA
Cutral-Co	Neuquen	20/10/94	400	1 x 400 kW	MICON M750-400/100	7.2	COPELCO Coop. Ltda.
Pehuen-Co	BSAS	17/02/95	400	1 x 400 kW	MICRON M750-400/100	7.3	Coop.E de Punta Alta
Tandil	BSAS	26/05/95	800	2 x 400 kW	MICRON M750-400/100	7.2	CRETAL Coop. Ltda.
Rada Tilly	Chubut	18/03/96	400	1 x 400 kW	MICRON M750-400/100	10.2	CO AGUA Coop. Ltda.
C. Rivadavia	Chubut	12/09/97	6000	8 x 750 kW	NEG-MICON NM750/44	9.4	SCPL Com. Riv.
Mayor Buratovich	BSAS	22/10/97	1200	2 x 600 kW	AN BONUS 600kW/44	7.4	Coop de M Buratovich
Darregueira	BSAS	19/09/97	750	1 x 750 kW	NEG-MICON NM750/44	7.3	CELDA Coop. Ltda.
Punta Alta	BSAS	10/12/98	1800	3 x 600 kW	AN BONUS 600kW/44	7.8	Coop. E de Punta Alta
Claromecó	BSAS	26/12/98	750	1 x 750 kW	NEG-MICON NM750/48	7.3	Coop. E de Claromecó
Pico Truncado	Santa Cruz	05/03/01	2400	4 x 600 kW	ENERCON E-40	10.3	Municipalidad de Pico Truncado
C. Rivadavia	Chubut	10/01/13	10560	16 x 660 kW	GAMESA G-47	9.4	SCPL Com. Riv.
Gral. Acha	La Pampa	11/02/13	1800	2 x 900 kW	NEG-MICON NM900/52	7.2	COSEGA Ltda.
Veladero	San Juan	09/07/13	2000	1 x 2000 kW	DEWIND D8.2	--	BARRICK GOLD Corp.
POTENCIA TOTAL			29760				

Tabla 1: Parques Eólicos en Argentina (energia3.mecon.gov.ar)

Durante 2007 las turbinas existentes entregaron cerca de 62 gWh, constituyendo una contribución aproximada del 0.06% de la generación total de electricidad.

En relación a la energía eólica de baja potencia, según el censo nacional agropecuario 2002, en dicho año había 1.162 aerogeneradores instalados para producción de electricidad. Suponiendo un valor promedio de 500 W por equipo, se obtiene una capacidad instalada aproximada de 0,6 mW. Independientemente de los aerogeneradores instalados según el censo mencionado, se identificaron en la provincia de Chubut 93 kW instalados en aldeas escolares y en poblados dispersos.

Por otro lado se ha firmado un Convenio para el desarrollo de Parques Eólicos de Argentina con API NOVA Energía de Italia y se está gestionando la firma con la Empresa ABO WIND de Alemania.

ENARSA participa activamente en el “Desarrollo de Nuevos Proyectos Eólicos:

Parque Eólico Aguada del Molle

En el transcurso del año 2011, el Área de Energías Renovables, comenzó a estudiar y desarrollar proyectos eólicos en el Sur-Oeste de la Provincia de Córdoba. Entre estos, el Proyecto Aguada del Molle tiene como objetivo el diseño, construcción, puesta en marcha y operación de un Parque Eólico, en cooperación con empresas privadas como Conipa, Radiotronica de Argentina, Sutec, WpD, empresa líder en el mercado alemán de energía eólica, entre otras. El propósito de esta obra es el de incorporar al Sistema Argentino de Interconexión (SADI) aprox. 110 MW de potencia eólica, desde la Provincia de Córdoba, en las proximidades de la localidad de Achiras (Río Cuarto), a 850 mts. sobre el nivel del mar, una zona conocida por sus fuertes y constantes vientos.

Durante el año 2012 se avanzó en varias etapas y fases críticas para el desarrollo del proyecto, en 2013 se comenzó el estudio del recurso eólico para lo cual se realizó la compra de dos torres meteorológicas a la empresa Provener S.A., que se instalarán en regiones aledañas a Río Cuarto con el propósito de relevar datos estadísticos de los vientos, fundamentales para la concreción del proyecto y el diseño del parque eólico.

También se han estudiado zonas con potencialidad para seguir creciendo en energía a partir de recursos eólicos, a la fecha hay distintos grados de avance.

- Uno de estos proyectos está ubicado en Plottier, Neuquén, donde se ha firmado un Convenio con la Municipalidad.

- Otras posibles localizaciones donde el Área de Energías Renovables está realizando desarrollos y estudios de viabilidad son Plaza Huincul, en Confluencia, Neuquén, y en Catriel, Río Negro.

La producción de energía eléctrica con fuente en la energía eólica se ha incrementado de manera importante en los últimos años como consecuencia de puesta en marcha de parques de gran escala. Aun así, sigue representando un porcentaje marginal dentro del mix de energía eléctrica (aprox. 0,35% en 2013).

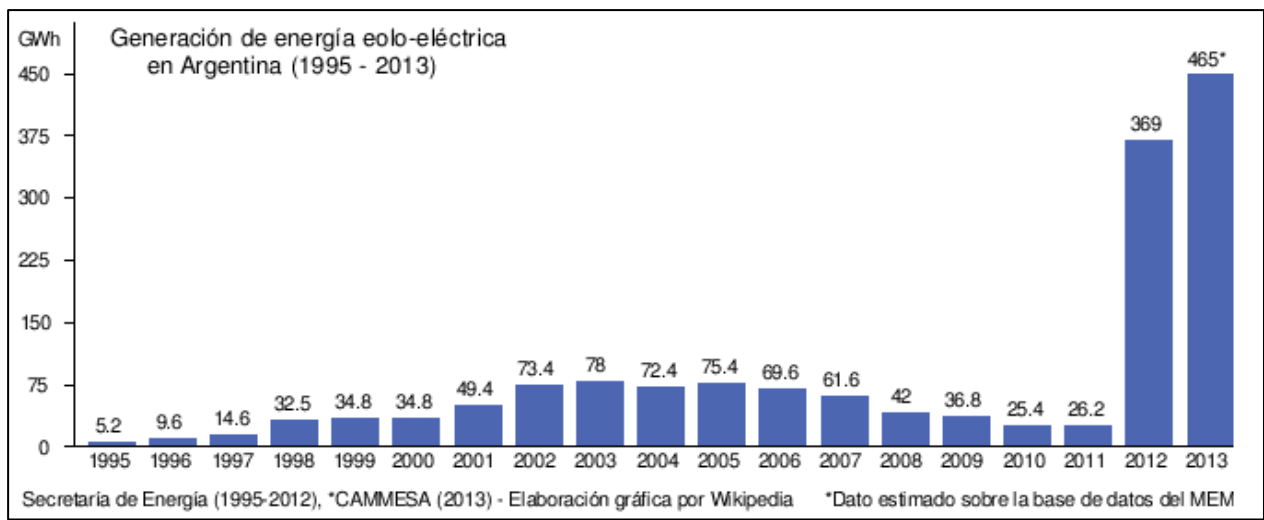


Figura 12: Generación de Energía Eólica ([wikipedia.org/wiki/Energía eólica en Argentina](http://wikipedia.org/wiki/Energía_eólica_en_Argentina))

2.3.3 - Energía de biomasa:

Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Se refiere a la biomasa útil en términos energéticos formales: las plantas transforman la energía radiante del Sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esa energía química queda almacenada en forma de materia orgánica; la energía química de la biomasa puede recuperarse quemándola directamente o transformándola en combustible.

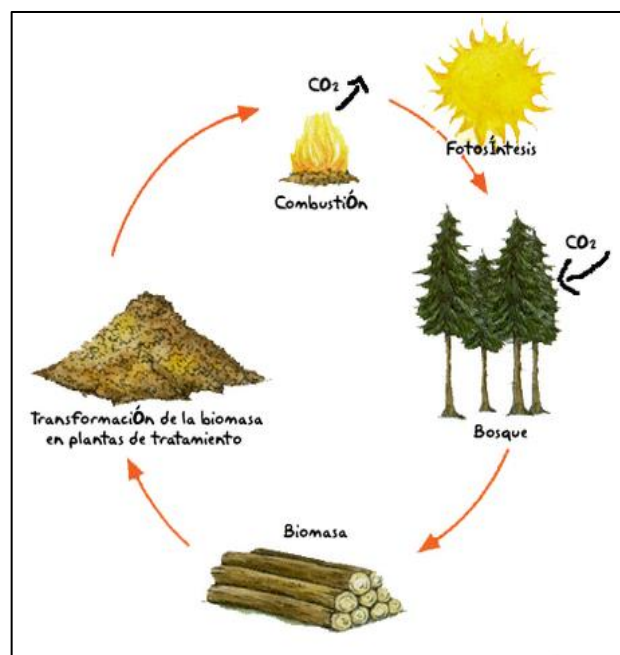


Figura 13: Energía de Biomasa (Rivas, 2011)

La relación entre la energía útil y la biomasa es muy variable y depende de innumerables factores. Para empezar, la energía útil puede extraerse por combustión directa de biomasa (madera, excrementos animales, etc), pero también de la quema de combustibles obtenidos de ella mediante transformaciones físicas o químicas.

La biomasa proporciona combustibles complementarios a los fósiles, ayudando al crecimiento del consumo mundial (y de sus correspondientes impactos ambientales), sobre todo en el sector transporte. Entre las formas de biomasa más destacables por su aprovechamiento energético destacan los combustibles energéticos (caña de azúcar, remolacha, etc.) y los residuos (agrícolas, forestales, ganaderos, urbanos, lodos de depuradora y computadoras, plantas)

Energía de Biomasa en Argentina

Para estimar el potencial de biomasa sería necesario considerar como tal a toda la materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial, clasificándola de la siguiente forma:

- biomasa natural: producida en la naturaleza sin la intervención humana.
- biomasa residual: generada por cualquier actividad humana, principalmente en procesos agrícolas, ganaderos y los del propio hombre, tales como basuras y aguas residuales.
- biomasa producida: cultivada con el propósito de obtener biomasa transformable en combustible, en algunos casos al conocimiento del recurso disponible como la caña de azúcar, orientada a la producción de etanol para carburante.

La FAO, dentro del marco institucional conformado por la Secretaría de Energía, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, la Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación y el INTA, ha llevado adelante una evaluación de la biomasa natural a nivel detallado, utilizando el modelo Wisdom. Dicha evaluación contempla una estimación realizada en base a información secundaria proveniente de estadísticas productivas con datos sobre la distribución geográfica del potencial de leña, otra biomasa leñosa (generada por el procesamiento de los rollizos), del bagazo, y de residuos agrícolas y agroindustriales.

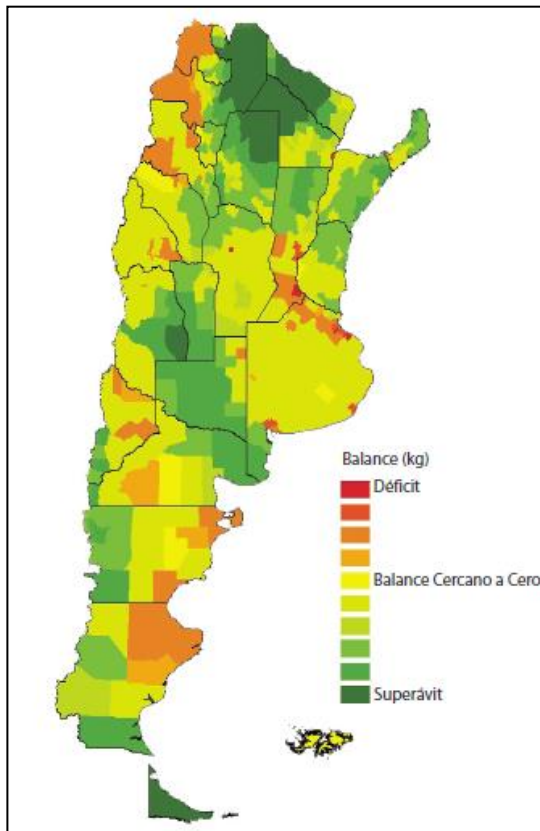


Figura 14: Potencial de Biomasa
(www.energia.gob.ar, 2009)

El estudio del proyecto de FAO indica que la biomasa total accesible y potencialmente contabilizada por el modelo utilizado, ascendió a más de 148 millones de ton, en tanto que la denominada “biomasa comercial” accesible y potencialmente disponible alcanzó a más de 124 millones de ton. (www.energia.gob.ar, 2009)

A fin de acotar el potencial disponible, la Secretaría de Energía ha realizado un relevamiento de proyectos destinados a la generación de electricidad con biomasa, cuantificado mediante estudios de campo.

Dentro de los proyectos identificados, merecen especial mención los siguientes:

En la Provincia de Entre Ríos:

- San Salvador, con un potencial de generación de 7,5 mW utilizando residuos de cáscara de arroz y con tecnología de combustión en lecho fluidizado y grilla vibrante (actualmente en proceso de licitación).
- Villaguay, con un potencial de generación de 2 mW utilizando residuos de cáscara de arroz y con tecnología de grilla vibrante.
- Concordia, un potencial de generación de 25 mW, utilizando residuos forestoindustriales, mediante tecnología de gasificación y combustión.
- Federación con un potencial de 25 mW, utilizando residuos foresto-industriales, con tecnología de gasificación y combustión (actualmente en proceso de licitación).

En la Provincia de Corrientes:

- La planta propuesta para la población de San Antonio Isla es un sistema de gasificación de 10 kW. la planta sería operada manualmente y necesita 300 kg/día de residuos.

En la Provincia de Misiones:

- Para la población de Picada Unión, se propone un sistema de gasificación con una potencia de 20 kW, con operación manual, precisando 300 kg/día de residuos.

En la Provincia de mendoza:

- Localidad de San Martín, esta planta podría abastecerse con 142.563 tn/año de biomasa (proveniente de industria vitivinícola), con lo que la potencia instalada sería de 26 mW.
- Localidad de Villa General Gutiérrez (Maipú), con 112.523 tn/año de biomasa (proveniente de industria vónica, aserraderos y residuos de industria aceitera) y una potencia de 20mW.
- Localidad de Cordón del Plata, departamento de Tupungato, con disponibilidad de 48.757 tn/año de biomasa (proveniente de industria vitivinícola), se podría generar 6 mW.
- Localidad de San Rafael, con un potencial biomásico de 53.391 tn/año (proveniente de industria vitivinícola), podría instalarse una planta de 6 mW.

Uno de los mayores aprovechamientos de la biomasa en la actualidad es el empleo de bagazo de caña de azúcar como combustible para las calderas en ingenios azucareros. En algunos casos, este recurso permite la autosuficiencia energética de los mismos y en otros, los excedentes de energía eléctrica es entregado a la red de servicio Público.

Otra fuente energética considerada como una subcomponente de la biomasa natural está relacionada a la producción de estiércol de origen pecuario, asociado al número de cabezas de los principales animales de campo y su respectiva producción diaria de estiércol seco. Para determinar el estiércol aprovechable, se debe afectar a la producción total por un porcentaje, el que varía según el tipo de animal que de origen al estiércol y que refleja el potencial que podría recolectarse.

Finalmente, cabe destacar que, si bien gran parte de este residuo pecuario estaría disponible, en muchos casos sería de difícil recolección por la gran dispersión de los animales sobre el terreno. Los residuos más accesibles serían aquellos recolectados en tambos, corrales de engorde o en establecimientos avícolas. Además a diferencia de lo

que sucede con los residuos agrícolas, la utilización de los residuos pecuarios para la producción de biogás no resta nutrientes a los suelos ya que uno de los productos obtenidos es una excelente enmienda orgánica que se puede compostar o mezclar con otros materiales orgánicos y agregar directamente al suelo.

2.3.4. - Energía Geotérmica:

Es la que produce el calor interno de la Tierra y que se ha concentrado en el subsuelo en lugares conocidos como reservorios geotermales, que pueden producir energía limpia de forma indefinida.

Generalmente, la fuerza que genera el vapor se aprovecha para impulsar una turbina capaz de mover un generador eléctrico.

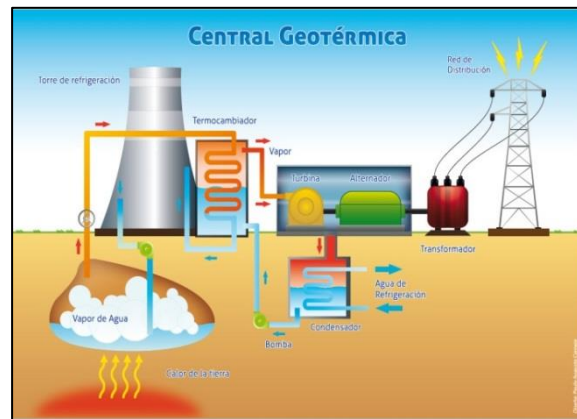


Figura 15: Energía Geotérmica
(www.mendozapost.com 2015)

Puede considerarse que hay tres tipos de yacimientos geotérmicos, que se podrían llamar: (es.wikipedia.org/wiki/Energia_geotermica)

De agua caliente: contenidos en un acuífero, suelen tener caudales relativamente reducidos. En la mayoría de los casos la explotación debe hacerse con dos pozos (o un número par de pozos), de modo que por uno se obtiene el agua caliente y por otro se vuelve a inyectar en el acuífero, tras haber enfriado el caudal obtenido. Las ventajas de este sistema son múltiples: Hay menos probabilidades de agotar el yacimiento térmico, puesto que el agua reinyectada contiene todavía una importante cantidad de energía térmica. Tampoco se agota el agua del yacimiento, puesto que la cantidad total se mantiene.

Secos: hay una zona bajo la tierra, a profundidad no excesiva, con materiales o piedras calientes, en seco. Se inyecta agua por una perforación y se recupera, caliente por otra, se aprovecha el calor, por medio de un intercambiador y se vuelve a reinyectar

Géiseres: Es un tipo especial de fuente termal que emite periódicamente una columna de agua caliente y vapor al aire. La actividad de los géiseres es causada por el contacto entre el agua superficial y rocas calentadas por el magma ubicado

subterráneamente. El agua calentada geotérmicamente regresa a la superficie por convección a través de rocas porosas y fracturadas. Los géiseres se diferencian de las demás fuentes termales por su estructura subterránea; muchos consisten en una pequeña abertura a la superficie conectada con uno o más tubos subterráneos que conectan con las reservas de agua.

A medida que el géiser se llena, el agua más superficial se va enfriando, pero debido a lo estrecho del conducto, el enfriamiento conectivo del agua en la reserva es imposible. El agua fría de la superficie es presionada desde abajo por el agua caliente, asemejándose a la tapa de una olla a presión, haciendo que el agua de reserva se sobrecaliente, manteniendo el líquido a temperaturas superiores a su punto de ebullición.

Por último, la temperatura del fondo del géiser comienza a subir alcanzando el punto de ebullición; las burbujas del vapor ascienden hasta la punta del conducto. Al atravesar el cráter del géiser, algo de agua se desborda y salpica hacia afuera, reduciendo la anchura de la columna y la presión del agua que hay debajo. Con este escape de presión, el agua sobrecalentada se mezcla con el vapor, ebulliciendo violentamente por la columna. La espuma resultante entre el vapor y el agua caliente es expulsada fuera del géiser.

El agua restante en el géiser se va enfriando y la erupción finaliza; el agua caliente se comienza a filtrar nuevamente dentro del depósito, y el ciclo comienza de nuevo.

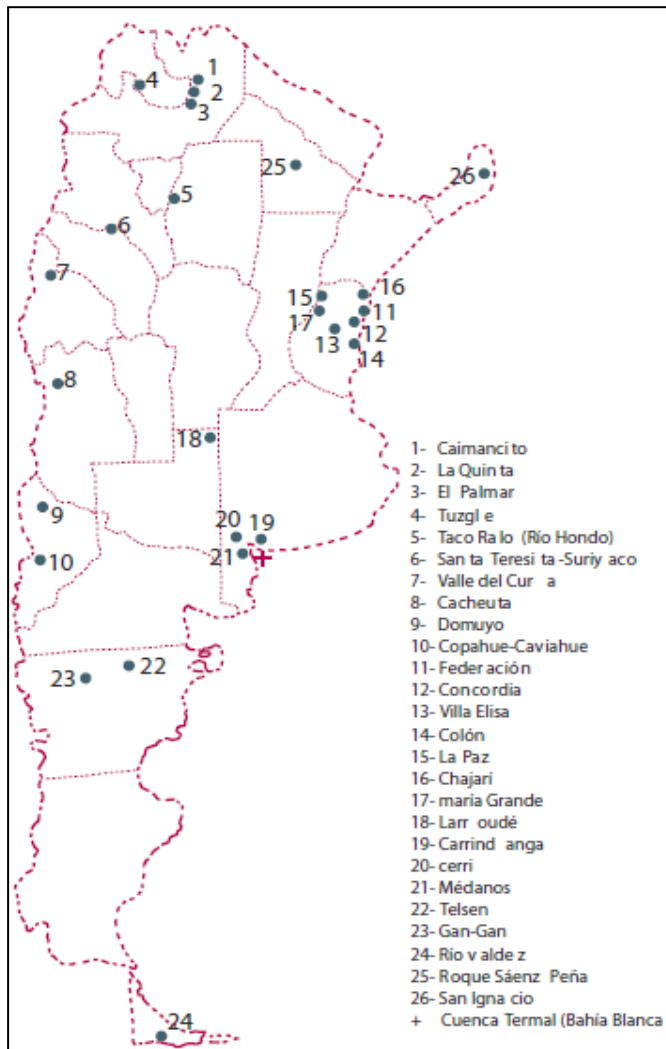
Energía Geotérmica en Argentina

El Departamento de Geotermia de la Dirección de Recursos Geológico-Mineros del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) de la Secretaría de Minería realizó estudios de reconocimiento del potencial teórico del recurso geotérmico en la Argentina. Este trabajo constituye un importante avance en el conocimiento del recurso geotérmico en el país, dado que permite conocer previamente los principales parámetros de los fluidos termales, en futuras prospecciones. Según el SEGEMAR:

“El grado de avance en el conocimiento del recurso termal de la Argentina en la actualidad es satisfactorio, no así, el grado de utilización que se realiza de las Áreas termales investigadas. Se tiene cubierto, con estudios de reconocimientos, un 90% de las regiones del país con posibilidades de alta entalpía (más de 150°C) y mediante trabajos

de reconocimiento o expeditivos, a un 75% de las regiones con posibilidades de baja entalpía que presentan indicios superficiales.

Estas investigaciones se vienen realizando en las regiones andina y extra andina de la Argentina”.



En base a las recomendaciones derivadas de los trabajos de reconocimiento se profundizaron los estudios en 25 zonas geotérmicas con características favorables, en las que se continuó con la etapa siguiente de prefactibilidad. Los mismos se desarrollaron para proyectos de alta entalpía, en las áreas volcánicas constituidas por cuatro reservorios: Tuzgle, Domuyo, Copahue-Caviahue y Valle del Cura.

Para proyectos de baja entalpía, se realizaron estudios en las áreas de Cerri, Médanos, Carrindanga, Caimancito, La Quinta, El Palmar, Tacorralo-Río Hondo, Río Valdéz, Santa Teresita-Suriyaco, Colón, Villa Elisa, Federación, Concordia, la Paz, Chajari.

Figura 16: Ubicación de aprovechamientos geotérmicos
 (www.energia.gob.ar, 2009)

El campo geotérmico de Copahue es el más estudiado y tiene un potencial comprobado de 30 mW eléctricos, razón por la cual el gobierno provincial, a través de la Agencia para la Promoción y Desarrollo de Inversiones (ADI-NQN-SEP), ha convocado a inversionistas privados a construir y operar la planta de generación de energía eléctrica de 30 mW de potencia instalada, denominada “Las Mellizas de Copahue”. El proyecto aprovechará los vapores endógenos del yacimiento y demandará una inversión de 70 millones de dólares.

Los principales usos de la geotermia en Argentina son: balneología, deshielo de calles y rutas, invernaderos, calefacción y acuicultura (Pesce, 1998b). Según el SEGEMAR “en la actualidad existen ciento treinta y cuatro (134) emprendimientos con una capacidad instalada anual de 25,7 mWt, que utilizan los fluidos termales en uso directo. De los diversos tipos de uso la balneología es el tipo dominante con el 52,7% que representa una equivalencia a capacidad instalada anual de 13,56 mWt. otros tipos comunes son: el uso doméstico con 24,6% de capacidad instalada anual (6,33 mWt); la calefacción domiciliaria con el 4,6%, equivalente a 1,17 mWt; invernaderos con 4,5% de capacidad instalada (1,14 mWt); acuicultura con el 1,5% con un equivalente de 0,38 mWt; usos industriales con el 6,7% de la capacidad instalada (1,72 mWt) y derretimiento de nieve con el 5,4% que corresponde a una capacidad instalada de 1,4 mWt”. (www.energia.gob.ar, 2009)

2.3.5. - Energía Hidráulica

Aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua o mareas. Es un tipo de energía verde cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla; en caso contrario, es considerada solo una forma de energía renovable. El agua se hace pasar por una turbina hidráulica la cual transmite la energía a un alternador el cual la convierte en energía eléctrica.

Ventajas

Se trata de una energía renovable de alto rendimiento energético.

Es una energía limpia puesto que no produce emisiones tóxicas.

Los embalses permiten el almacenamiento de agua para la realización de actividades recreativas y el abastecimiento de sistemas de riego. Pueden regular el caudal del río evitando riesgos de inundación en caso de crecidas inusuales.

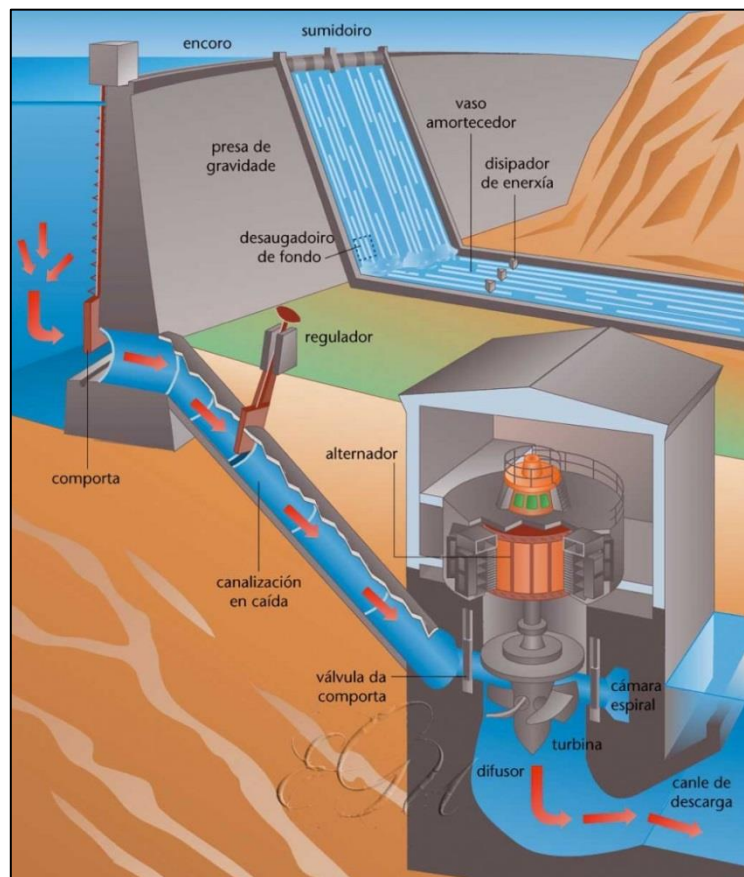


Figura 17: Energías Hidroeléctrica
(centralesporana.blogspot.com.ar)

Desventajas

La construcción de grandes embalses puede inundar importantes extensiones de terreno y podría significar pérdida de tierras fértiles, dependiendo del lugar donde se construyan.

Destrucción de la naturaleza y ecosistemas acuáticos.

Cambia los ecosistemas en el río aguas abajo, puede dar como resultado la erosión de los márgenes de los ríos.

Cuando las turbinas se abren y cierran repetidas veces, el caudal del río se puede modificar drásticamente causando una dramática alteración en los ecosistemas.

Generación hidroeléctrica en Argentina

En Argentina la hidroeléctrica posee una alta cuota de participación en la generación eléctrica total. Históricamente, la construcción de los grandes aprovechamientos que hoy prestan servicios ha favorecido la creación de empleo, la promoción económica y social de sus zonas de influencia, y la concreción de importantes obras de infraestructura para riego, provisión de agua potable, turismo y control de inundaciones. Como aspectos salientes de ese desarrollo actual y potencial se pueden mencionar:

- El 38% de la capacidad instalada es hidroeléctrica (cerca de 9761 mW)
- De casi un centenar de centrales en servicio, solo 3 grandes plantas (Yacyretá, Piedra del Aguila y Salto Grande) contribuyen el 50% de la generación hidráulica total.
- Yacyretá será la central eléctrica más grande del país cuando esté terminada
- Es aún modesto el aprovechamiento del potencial hidráulico total

Dada su naturaleza renovable, la hidroeléctrica es una forma de generación eléctrica que no implica la producción de desechos ni la emisión de gases de efecto invernadero, reportando una serie de ventajas entre las que es posible señalar:

- Generación limpia, económica y virtualmente inagotable
- Sustitución de combustibles fósiles y ahorro de sus emisiones contaminantes
- Posibilidad de beneficios adicionales como riego, agua potable, turismo y recreación, además de la generación de electricidad
- Larga vida útil
- Empleo de recursos nacionales y empleo de mano de obra local

Por supuesto no hay formas de generación que no tenga impacto ambiental de mayor o menor severidad, y los grandes aprovechamientos hidroeléctricos no están exentos. Conocer la magnitud del impacto provocado sobre el medio natural, económico y social en la zona de afectación del proyecto, obliga a los grandes aprovechamientos a que su estudio, proyecto y construcción queden supeditados a la racional explotación y preservación de todos los recursos naturales vinculados a la cuenca hídrica en la que se hallan emplazados. Las principales desventajas ambientales y económicas son:

-
- Mayor costo unitario(\$/kW) que otro tipo de centrales
 - Mayores periodos de estudio y construcción
 - Posible inundación de zonas aledañas
 - Eventual relocalización de poblados

En este sentido, los pequeños aprovechamientos se caracterizan por no requerir los prolongados estudios técnicos, económicos y ambientales asociados a los grandes proyectos, pudiéndose iniciar y completar más rápidamente, lo que los torna en una opción viable para la generación eléctrica en zonas aisladas dentro del país no servida por sistemas convencionales.

Es de destacar que no existe una oposición entre aprovechamientos grandes y pequeños, ya que mientras los grandes abastecen al sistema interconectado, los pequeños proveen electricidad a zonas remotas de una manera comparativamente más económica y ambientalmente benigna.

Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos

La Secretaría de Energía cuenta con un inventario nacional de Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos (PAH), que cubre 116 proyectos de potencias menores de 15 mW y representan una oferta de potencia de casi 430 mW y una energía media anual de más de 1.900 gWh. El mapa siguiente indica la localización de los principales PAH proyectados y en servicio.

Los resultados del estudio mencionado favorecen entre otros a los PAH que se encuentran en la región sur del país y que, en general, están aislados, lo cual mejora los resultados económicos de los mismos. Sin embargo el nivel de desarrollo de los estudios es bajo ya que de los 116 proyectos analizados, hay sólo 4 que han llegado a nivel de Proyecto Ejecutivo y 20 a nivel de Factibilidad. Se estima entonces que se cuenta en principio con un potencial superior a los 400 mW pero se ha estimado posible incorporar una potencia instalada nueva de 100 mW en el término de 10 años en diferentes regiones del país.

Los proyectos de PAH en desarrollo suman 30 mW, mientras que los existentes y en funcionamiento suman casi 380 mW. La producción de energía de las mismas es de 1,152gWh. Esta potencia mini hidráulica representa cerca del 1.3% de la potencia total instalada en la Argentina y el 3.7% de la potencia hidroeléctrica total. En términos de

energía representan el 1.1% y 3.0% de la energía total producida en Argentina y de la energía hidroeléctrica respectivamente.

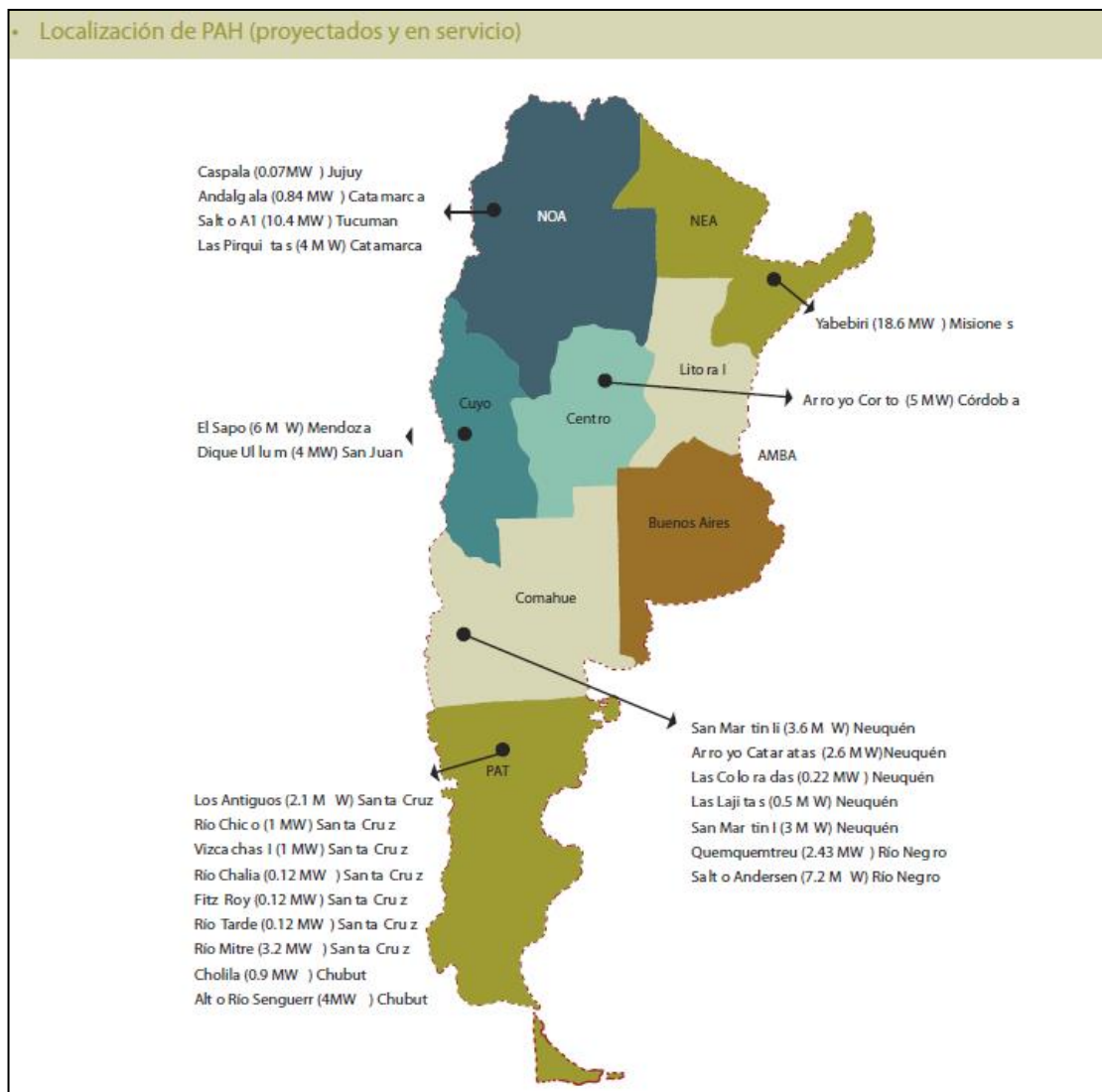


Figura 18: Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos (www.infoleg.gov.ar)

Considerando que desde los comienzos de la producción de electricidad, la hidráulica ha sido, y sigue siendo, la primera fuente renovable utilizada para su generación, resulta sensato pensar en la mini hidráulica como la primera alternativa para suministrar de energía eléctrica a pequeñas comunidades y de este modo evitar a declinación rural y fomentar el desarrollo de las regiones aisladas.

3.- Energía Hidráulica - Centrales hidroeléctricas

3.1.- Utilización de la Energía Hidráulica

Córdoba fue pionera en el aprovechamiento de la energía hidráulica.

En nuestros días, responder a la demanda actual de la energía eléctrica con la opción de la hidroelectricidad ofrece ventajas significativas con respecto a otras fuentes de energía, puesto que es una tecnología madura y disponible en el país con bajos niveles de contaminación. Para Córdoba los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos (micro turbinas), para lugares aislados es una opción viable.

Las centrales están destinadas para la generación de energía eléctrica. Son el resultado actual de la evolución de los antiguos molinos que aprovechaban la corriente de los ríos para mover una rueda hidráulica. En general estas centrales aprovechan la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como salto bruto.

El agua en su caída entre dos niveles del cauce se hace pasar por una turbina hidráulica la cual trasmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica. Sin embargo las centrales hidroeléctricas están muy condicionadas por la topografía, ya que las condiciones donde se desarrolla el flujo darán lugar hay diferentes soluciones constructivas. Para la realización de un aprovechamiento se establece una corriente de agua no uniforme y se modifica la forma de la superficie libre del agua del río antes y después de éste, tomando forma las llamadas curvas de remanso. El establecimiento de las curvas de remanso determina un nuevo salto bruto aprovechable de agua.

Aunque existe una gran variedad de tipos de centrales hidroeléctricas convencionales, dado que las características orológicas del emplazamiento de la central condicionan en gran medida su diseño.

3.2- Obtención de energía a través del agua

La energía hidráulica se basa en aprovechar la caída del agua desde cierta altura. La energía potencial, durante la caída, se convierte en cinética. Esto se logra a través de la instalación de una central hidroeléctrica. El agua pasa por las turbinas a gran velocidad, provocando un movimiento de rotación que finalmente, se transforma en energía eléctrica por medio de los generadores. La energía hidráulica es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua, la cual una vez utilizada, es devuelta río abajo.

Según la potencia instalada, las centrales hidroeléctricas pueden ser: (Mataix, 2009)

- Centrales hidráulicas de gran potencia: más de 10MW de potencia eléctrica.
- Mini centrales hidráulicas: entre 1MW y 10MW.
- Micro centrales hidroeléctricas: menos de 1MW de potencia.

Constructivamente los aprovechamientos hidroeléctricos corresponden a tres grandes esquemas:

- De embalse, con central a pie de presa
- De pasada o fluyente, y alta caída, que aprovechan la pendiente del terreno
- De pasada o fluyente, y baja caída, construidos sobre ríos de llanura y canales de riego

Los aprovechamientos de pasada no requieren reservorio, pero al carecer de capacidad de almacenamiento son altamente dependientes de las variaciones naturales del caudal del río. Contrariamente, los aprovechamientos a embalse pueden ajustarse rápidamente a las variaciones de demanda, que es una característica muy valiosa para el sistema eléctrico.

3.2.1- Aprovechamientos en derivación

El primer tipo, denominado “salto por derivación de las aguas”, consiste en esencia en derivar el agua de un río mediante un embalse pequeño o azud y conducirla, por medio de un canal en lámina libre, de manera que conserve su energía potencial.

En un determinado punto se dirige el agua hacia una cámara de presión, de la que arranca una tubería forzada que conduce el agua hasta la sala de máquinas de la central. La energía liberada a causa del desnivel existente entre los extremos de dicha tubería es transformada, mediante grupos turbina-alternador, en energía eléctrica.

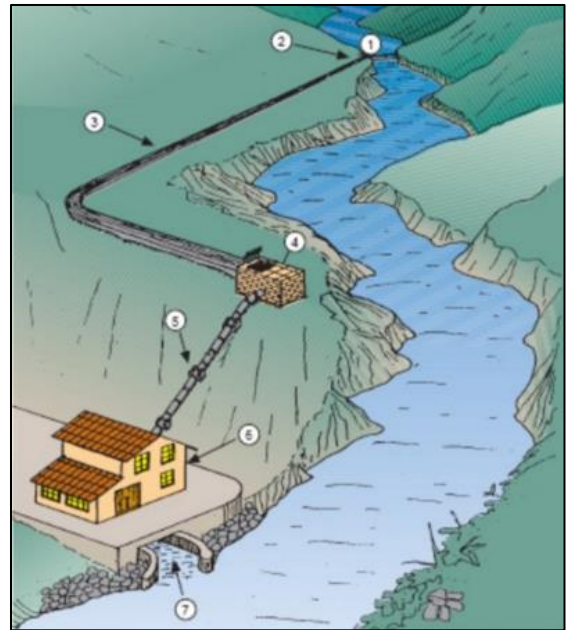


Figura 19: Aprovechamientos en Derivación
(www.eve.eus)

Posteriormente, el agua es restituida al río aguas abajo, utilizando un canal de descarga. Este tipo de central se llama también de “tipo fluyente” ya que no permite almacenar la agua en embalses.

3.2.2- Aprovechamientos de regulación

Por su parte, el segundo sistema de aprovechamiento, o salto de acumulación de las aguas en un tramo de un río que ofrece un desnivel apreciable, consta de una presa de determinada altura que conforma un embalse. El nivel del agua alcanzará, entonces, un punto sensiblemente cercano al extremo superior de la presa. A media altura de la misma, para aprovechar el volumen de embalse a cota superior, se encuentra la toma de aguas; y en la base inferior –aguas abajo de la presa– la sala de máquinas, que aloja al grupo (o grupos) turbina-alternador. La energía liberada por el agua al caer por una conducción forzada que atraviesa la presa es transformada, mediante dicho grupo (o grupos), en energía eléctrica. El agua a presión de la tubería forzada va transformando su energía potencial en cinética, es decir, adquiere velocidad. Al llegar a las máquinas, actúa sobre los álabes del rodete de la turbina, haciéndolo girar.

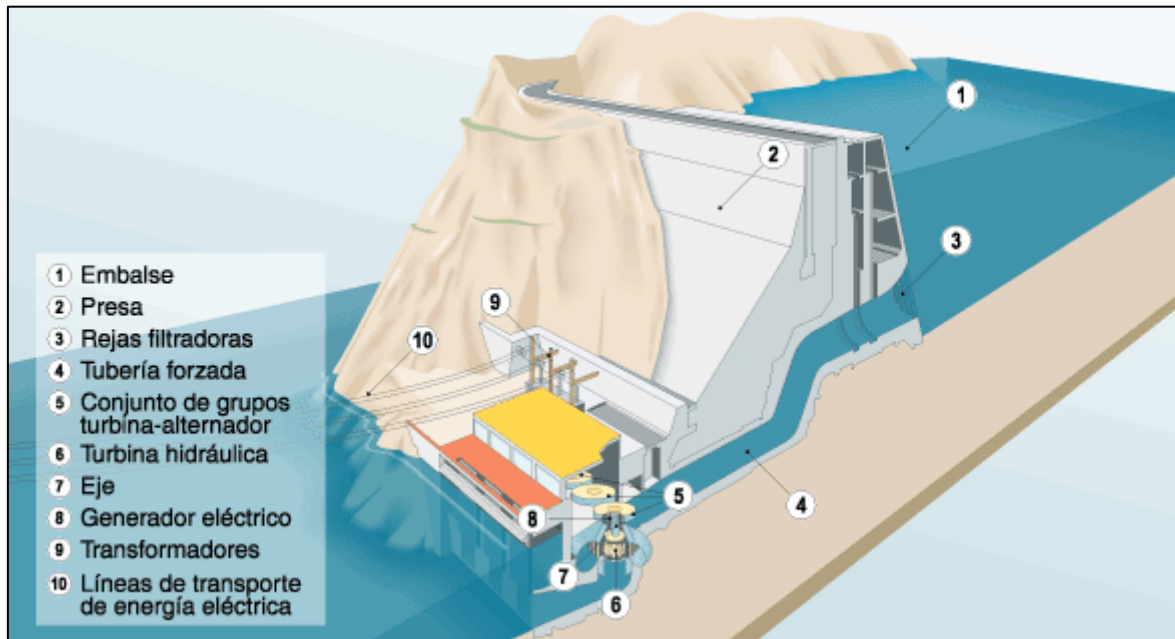


Figura 20: Aprovechamientos en Regulación (www.unesa.net)

Existe un tercer esquema de saltos mixtos consistentes en utilizar una presa de embalse en lugar de una de derivación, y una conducción en presión desde la presa a la central con dos partes diferenciadas: en primer lugar un túnel o galería a presión, una chimenea de equilibrio y posteriormente una tubería de presión. Este esquema permite utilizar el desnivel de la presa y ganar más desnivel gracias a la conducción en presión. Las ventajas de este esquema son evidentes: aprovechar la capacidad de regulación del embalse y, al mismo tiempo, aprovechar un mayor desnivel.

A los aprovechamientos con un embalse importante se les denomina también saltos con regulación y según sea su capacidad pueden ser de regulación anual o hiperanual. Permiten instalar una potencia superior a la del caudal medio del río, con la intención de concentrar la producción en las horas punta de la demanda, en las que el valor del kWh es mayor en el mercado de generación. Por ello las horas de utilización de este tipo de centrales son bajas, oscilando entre 1.200 y 2.000 horas anuales equivalentes a plena carga.

3.2.3- Aprovechamientos de usos múltiples

Se denominan así aquellos aprovechamientos hidráulicos que se construyen para atender distintos tipos de usos, como son el abastecimiento, el riego, la regulación general de la cuenca o una parte de ella o la laminación de avenidas. En estos aprovechamientos de usos múltiples, aunque su origen está básicamente en la

satisfacción de las demandas consuntivas consideradas prioritarias, es posible también el aprovechamiento hidroeléctrico de los caudales desembalsados mediante una central hidroeléctrica, generalmente a pie de presa, donde se turbinan los caudales que luego se destinan a riego, abastecimiento o a otros usos. La energía producida por estos aprovechamientos, a pesar de que procede de un recurso regulado en el embalse, no se puede considerar toda ella como energía regulada, dado que se produce de forma subordinada a otros usos y puede no adecuarse en cierta medida a las necesidades del sistema eléctrico.

Aprovechamientos reversibles

Una central hidroeléctrica de bombeo, o reversible, es un tipo especial de central hidroeléctrica que posee dos embalses. El agua contenida en el embalse situado en la cota más baja (embalse inferior) puede ser elevada durante las horas valle mediante bombas al depósito situado en la cota más alta (embalse o depósito superior) con el fin de reutilizarla posteriormente para la producción de energía eléctrica. Este tipo de centrales produce energía eléctrica durante las horas puntas del consumo (las de mayor demanda de electricidad) funcionando como una central hidroeléctrica convencional. Después, durante las horas valle (las de menor demanda) se bombea el agua, que ha quedado almacenada en el embalse inferior, al embalse superior, bien mediante una bomba o bien mediante la turbina si es reversible, de manera que el agua pueda volver a ser utilizada en un nuevo ciclo. Las centrales de bombeo contribuyen a la optimización económica en la explotación de un sistema eléctrico. A pesar de que en un ciclo bombeo-turbinación se producen unas pérdidas energéticas de cierta importancia, del orden del 25-30%, en términos económicos, esas pérdidas suelen ser menores que la relación de costes de generación entre las horas punta y valle. Son, en definitiva, una forma económica de almacenar energía en forma de agua embalsada en el depósito superior

3.3- Mini centrales hidroeléctricas

La energía mini hidráulica se puede adaptar a diversas situaciones de aprovechamiento, esto significa que deben existir diversas fórmulas para la adaptación de las turbinas hidráulicas, y a su vez la reducción de costes conlleva la existencia de modelos para una fabricación parcial en serie. Este sistema de fabricación consiste en tener una serie estándar de modelos, los cuales se ensamblan cuando existe una orden de pedido, este ensamblaje reduce los tiempos ya que el diseño está realizado con materiales de rápida adquisición, y la tecnología necesaria para el montaje también se

pretende que sea reducida. Consiguiendo que sean pocos los elementos que necesitan una fabricación particular, como pueden ser los álabes, y el cubo del rodete. El tiempo para realizar un montaje completo en el rango de turbinas utilizadas en mini centrales puede variar de a meses, con una puesta en obra que oscila entre unos pocos días, hasta un par de meses.

Se puede acometer la construcción de nuevas mini centrales sobre conducciones de agua potable o en instalaciones de aguas residuales. Cuando se trata de obras instaladas en las tuberías o conducciones de agua potable para el abastecimiento a poblaciones requieren una menor obra civil y presentan menores problemas administrativos. Para terminar existe la posibilidad de aprovechar los caudales ecológicos de grandes presas, con la actual implantación progresiva de un caudal de mantenimiento a pie de presa en los embalses antiguos, no existente anteriormente, supone una energía perdida que puede ser aprovechable mediante la instalación de una nueva central hidroeléctrica cuyo caudal de diseño sería el correspondiente al caudal ecológico o de mantenimiento.

Las micro centrales hidroeléctricas constituyen una alternativa para la generación de energía limpia, confiable y económica. Fundamentalmente este tipo de centrales utilizan las mismas soluciones técnicas que las centrales convencionales. Sin embargo al tratarse de pequeñas instalaciones, se pretende que los costes iniciales de la construcción y los posteriores de mantenimiento sean lo más reducidos posibles. Con las micro centrales independientes se evita incurrir en el costo de las líneas de transmisión, las micro centrales pueden ser diseñadas y construidas por personal local y organizaciones más pequeñas cumpliendo con requisitos menos estrictos y usando componentes fabricados en serie y maquinaria fabricada localmente.

Por esto, el campo hidroeléctrico ha encontrado soluciones exclusivas para la energía micro hidráulica como las turbinas Kaplan ó las Francis, pero diseñadas de tal forma que aunque cabe la posibilidad de tener rendimientos inferiores; los costes y las infraestructuras necesarias para su fabricación son muy reducidos.

Son varios los elementos en la construcción de una micro turbina, se hará una revisión de estos factores para diseñarla en este documento, de tal manera que permita adaptarse a las necesidades de la obra civil.

-
- * Evitar un costoso mantenimiento de líneas eléctricas en zonas de difícil acceso
 - * Eliminar los costos ecológicos y estéticos de la instalación de líneas en esas condiciones
 - * Contribuir a evitar el despoblamiento progresivo de determinadas zonas
 - * Energía descentralizada que puede ser captada y utilizada en todo el territorio
 - * Una vez instalada tiene un costo energético nulo
 - * Mantenimiento y riesgo de avería muy bajo
 - * Tipo de instalación fácilmente modulable, con lo que se puede aumentar o reducir la potencia instalada fácilmente según las necesidades
 - * No produce contaminación de ningún tipo
 - * Se trata de una tecnología en rápido desarrollo que tiende a reducir el costo y aumentar el rendimiento.

4.- Turbinas

4.1 - Introducción

Breve descripción sobre los conceptos y elementos básicos para el funcionamiento de las turbinas hidráulicas

4.1.1- Turbinas Hidráulicas

Las turbinas hidráulicas son maquinas destinadas a transformar la energía hidráulica de una corriente en energía mecánica. Toda turbina convierte la energía del agua, presente como energía potencial y energía cinética, en el trabajo mecánico existente en un eje de rotación.

Una turbina hidráulica es accionada por el agua en movimiento, la cual es debidamente conducida hacia el distribuidor de la turbina, el cual distribuye, regula y direcciona el caudal que incide sobre el rotor o rodete. La energía potencial del tipo gravitatorio del agua se convierte en energía cinética al pasar sucesivamente por el distribuidor y el rodete. En consecuencia, se provocan cambios en la magnitud y dirección de la velocidad del fluido, lo que hace que se produzcan fuerzas tangenciales en el rodete, generándose energía mecánica al girar este.

Estas máquinas presentan rendimientos elevados, rondando el 90%, después de considerar las pérdidas hidráulicas por fricción, por choque, mecánicas.

4.1.2 - Partes de una turbina hidráulica

Distribuidor

Es un elemento estático, pues no posee velocidad angular y en él no se produce trabajo mecánico. Sus funciones son:

- Acelerar el flujo de agua al transformar la energía potencial del agua en energía cinética.
- Dirigir el agua hacia el rodete, siguiendo una dirección adecuada.
- Actuar como un órgano regulador de caudal.

El distribuidor adopta diferentes formas; puede ser del tipo inyector en las turbinas de acción, o de forma radial, semi axial y axial en las turbinas de reacción.

Rodete

Llamado también rotor o rueda, este elemento es el órgano fundamental de las turbinas hidráulicas. Consta esencialmente de un disco provisto de un sistema de álabes, paletas o cucharas, que está animado por una cierta velocidad angular.

La transformación de la energía hidráulica del salto en energía mecánica se produce en el rodete, mediante la aceleración y desviación, o por la simple desviación del flujo de agua a su paso por los álabes.

Tubo de desfogue

Este elemento, muy común en las turbinas de reacción, se instala a continuación del rodete y por lo general tiene la forma de un conducto divergente; puede ser recto o acodado, y cumple las siguientes funciones:

- Recupera la altura entre la salida del rodete y el nivel del canal de desagüe.
- Recupera una parte de la energía cinética correspondiente a la velocidad residual del agua en la salida del rodete, a partir de un diseño del tipo difusor.

El tubo de desfogue, también llamado tubo de succión, se utiliza frecuentemente en las turbinas de reacción. Ocasionalmente se usa en las turbinas de acción, como las del tipo Michell-Banki, donde adopta la forma cilíndrica.

Carcasa

Este elemento tiene la función general de cubrir y soportar a las partes de la turbina. En las turbinas Francis y Kaplan, por ejemplo, tiene la forma de una espiral.

Con el diseño de micro turbinas aparece en consideración el tema de los costos de fabricación y mantenimiento. Al proyectar la máquina, el procedimiento de fabricación apunta hacia minimizar los costos de manufactura y mantenimiento. Deben cuidarse en extremo las tolerancias dimensionales y las rugosidades superficiales, debido a que al tratarse de equipos de reducidas dimensiones los errores relativos adquieren relevancia. Esto toma capital importancia en la construcción de los elementos destinados a la conversión de la energía hidráulica en mecánica (rodete, álabes), siendo necesarios la precisión en las dimensiones de diseño y que su terminación superficial sea adecuada al tamaño de la máquina, sin incrementar notablemente los costos de la misma.

4.2.1- Fenómenos en las turbinas hidráulicas

Cavitación

Consiste en la formación, dentro del seno del fluido, de espacios huecos o cavidades llenas de gas, producidas por una vaporización local debido a acciones dinámicas: se produce una reducción de presión dentro del seno del líquido cuando se mueve a grandes velocidades. Al restituirse la presión a valores normales, las burbujas colapsan y las fuerzas involucradas pueden dañar al equipo. (Benito 2010)

Golpe de ariete

Al interrumpir bruscamente el caudal de agua que circula con cierta velocidad a través de un conducto, se producen fuertes variaciones de presión sobre las paredes interiores de este y del elemento que corta al caudal suministrado como consecuencia del cambio brusco en el movimiento del agua.

Además de las deformaciones motivadas por las sobrepresiones y depresiones mencionadas, se presentan vibraciones y otros efectos perjudiciales que pueden ocasionar roturas, aplastamientos, etc.

Efecto ventilante

Se produce dentro de la carcasa cuando se tiene un espacio muy grande entre esta y el rodete. Se debe a un mal diseño de la carcasa donde el aire actúa oponiendo resistencia al giro del rodete.

4.2.2- Tipos de turbinas hidráulicas

Como se señaló anteriormente, las turbinas hidráulicas se pueden clasificar en dos grandes grupos: turbinas de acción y turbinas de reacción. A estos dos grupos corresponden las turbinas modernas que hoy en día se emplean en las centrales hidráulicas, sean estas pequeñas o grandes.

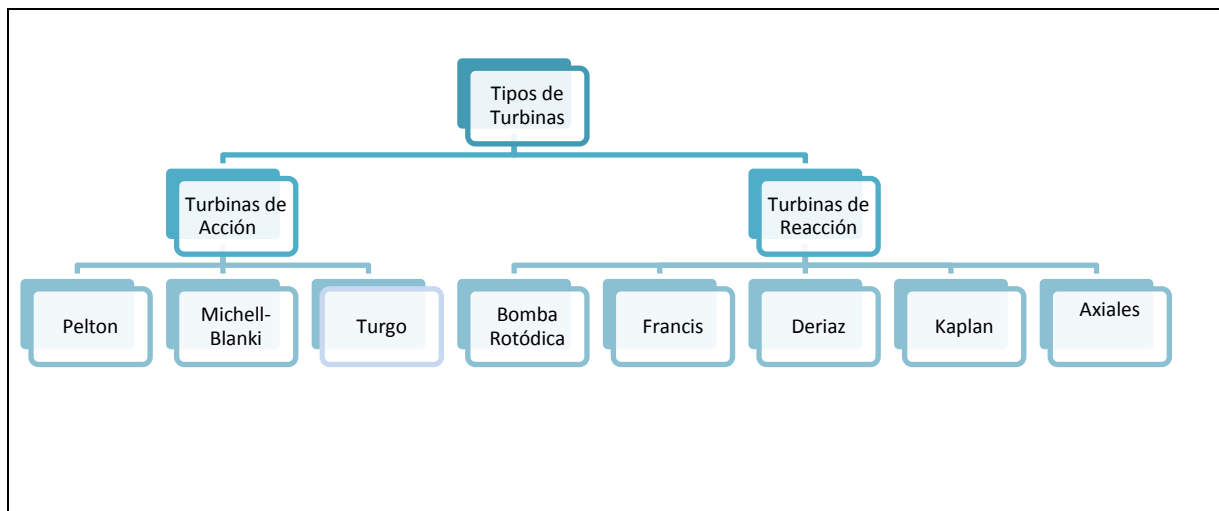


Figura 21: Tipos de Turbinas (Leal, 2013)

Turbinas de acción

La energía del agua que sale del distribuidor es totalmente cinética (la transformación de energía potencial a cinética, se produce al pasar a través de una aguja que provoca un estrechamiento del diámetro del conducto forzado). A lo largo de todo el recorrido a través del rodete, el fluido se encuentra a la presión atmosférica. Se utiliza esta clase de turbinas en los grandes saltos donde las pérdidas de altura resultan de escasa importancia.

- Turbinas Pelton de 1 o más inyectores
- Turbinas Turgo
- Turbinas Michell-Banki

Turbina Pelton

La rueda Pelton, cuyo nombre proviene del ingeniero estadounidense Lester Allen Pelton, se empezó a aplicar durante la segunda mitad del siglo XIX, en instalaciones donde la presión del agua era equivalente a una columna de agua de entre noventa y novecientos metros (90 y 900 m). En este tipo de turbinas el agua se conduce desde un depósito a gran altura a través de un canal o una tubería forzada hasta una boquilla eyectora que convierte la energía cinética del agua en un chorro a presión.

Desde el punto de vista de diseño, existe adaptabilidad para diferentes caudales y alturas. La turbina Pelton puede estar equipada con una, dos o más toberas para mayores salidas. En la fabricación se usa comúnmente la fundición para el rotor, siendo los materiales, acero o bronce.

Un chorro de agua de alta velocidad, emerge de una tobera incidiendo en las paletas y poniendo la rueda en movimiento. La velocidad de rotación, está determinada por la magnitud de caudal y la velocidad del agua es controlada por medio de una aguja en la tobera (la turbina funciona más eficientemente cuando la rueda gira a un medio de la velocidad del chorro).

Si la carga en la rueda disminuye súbitamente, el deflector de chorro desvía parcialmente el chorro que proviene de la tobera hasta que la aguja ha reducido adecuadamente el caudal. Este arreglo es necesario debido a que, si en la eventualidad de una disminución súbita de la carga, la aguja fuera cerrada rápidamente, el flujo de agua se reducirá demasiado abruptamente, causando el fenómeno del "golpe de ariete" en el sistema hidráulico.

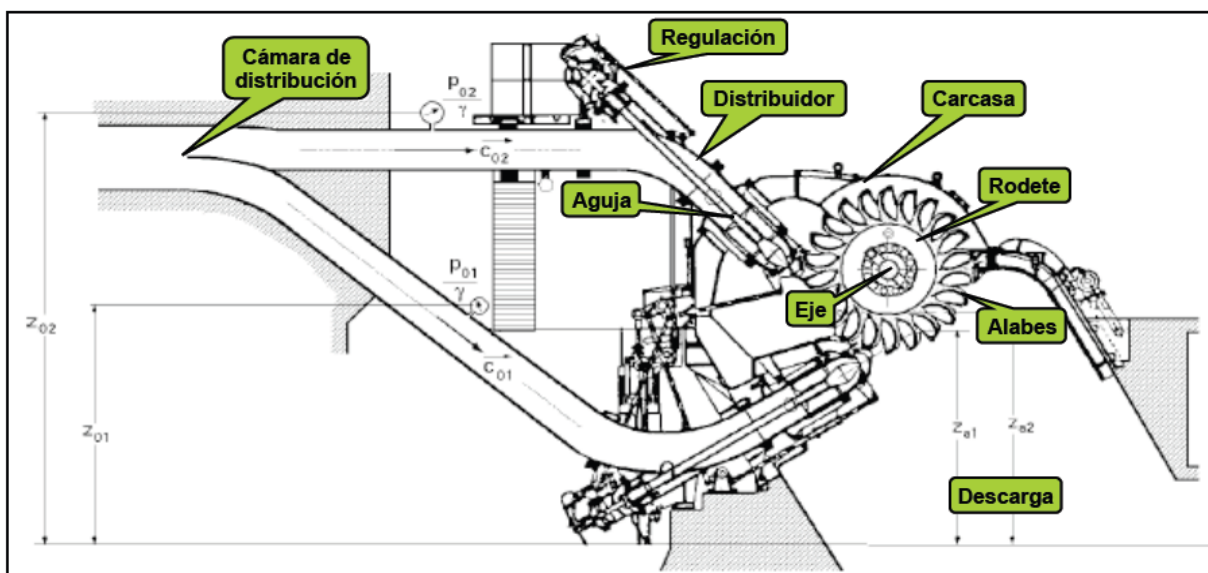


Figura 22: Turbina Pelton

(http://es.slideshare.net/fbancoff_01/turbinas-hidraulicas-42163140)

Turbina Michell Banki

La característica principal de la turbina de flujo cruzado es el chorro de agua de sección transversal rectangular que pasa dos veces a través de los álabes del rotor, ubicados en la periferia del rotor cilíndrico, perpendicular al eje de éste. El agua fluye a través de los álabes, primero desde la periferia hacia el centro y entonces, después de cruzar el espacio abierto del rotor, desde dentro hacia fuera.

La conversión de energía tiene lugar dos veces; primero en la incidencia del agua sobre el álabe en la entrada y luego cuando el agua golpea el álabe en el escape desde el rotor. Es una turbina de libre desviación, de admisión radial y parcial. Debido a su número específico de revoluciones cuenta entre las turbinas de régimen lento.

La turbina de flujo cruzado puede aplicarse sobre un rango de alturas de caída desde menos de 2 m a más de 100 m. Una gran variedad de caudales pueden acomodarse con un diámetro constante del rotor

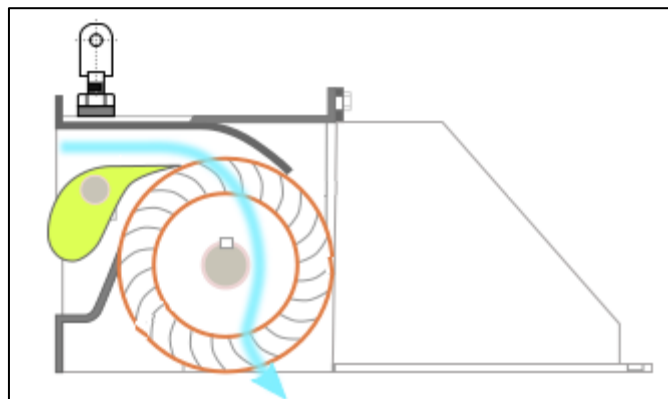


Figura 23: Turbina Michell Banki

https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_de_flujo_transversal

Turbinas de reacción

La energía del agua que sale del distribuidor es en parte cinética y en parte de presión (la transformación de potencial a cinética que se produce en el distribuidor no es completa: el agua sale con una velocidad inferior a la de las turbinas de acción, pero con una presión no nula). Al moverse el agua por los espacios que hay entre los álabes del rodete, que se encuentran llenos de agua, ocurre una aceleración; así pues, en el mismo álabe se transforma aún parte de la energía potencial en cinética. El chorro de agua que sale, ejerce entonces una reacción sobre la cámara de álabes, cuya componente horizontal se convierte en una fuerza centrífuga.

Las turbinas de reacción trabajan completamente sumergidas en el agua y en la parte final tienen un difusor.

- Bomba rotodinámica operando como turbina
- Turbinas Francis, en sus variantes: lenta, normal y rápida
- Turbina Deriaz
- Turbinas Kaplan y de hélice
- Turbinas axiales, en sus variantes: tubular, bulbo y de generador periférico

Turbina Francis

Se trata de una turbina de reacción de flujo interno que combina conceptos tanto de flujo radial como de flujo axial, se pueden diseñar para un amplio rango de saltos y caudales, siendo capaces de operar en rangos de desnivel que van de los diez metros hasta varios cientos de metros. Esto, junto con su alta eficiencia, ha hecho que este tipo de turbina sea el más ampliamente usado en el mundo, principalmente para la producción de energía eléctrica mediante centrales hidroeléctricas.

La turbina Francis es una turbina de reacción, lo cual significa que el fluido cambia de presión a medida que se desplaza a través de la turbina, perdiendo su energía. Se necesita una carcasa para contener el caudal de agua.

La admisión tiene forma de espiral. Los álabes directores dirigen el agua tangencialmente hacia el rodete. Este flujo radial actúa sobre los álabes del rodete, causando que este gire. Los álabes directores, también conocidos como álabes giratorios, pueden ser ajustables para permitir un funcionamiento eficiente en un rango amplio de condiciones del caudal de agua.

A medida que el agua se mueve a través del rodete su radio de giro disminuye, actuando sobre él. En la salida, el agua actúa sobre unas excepcionales tazas situadas en el rodete, que hacen su trabajo sobre el agua, dejándola sin remolinos y con muy poca energía cinética o potencial. El tubo de salida tiene una forma especialmente diseñada para ayudar a desacelerar el flujo de agua y recuperar energía cinética.

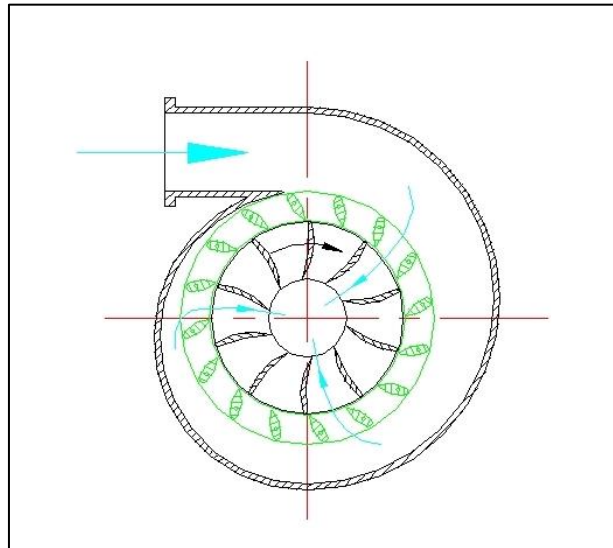


Figura 24: Turbina Francis

(<http://www.naturenergia.com/micro-mini-hidroeléctrico/turbina-francis>)

Turbina Kaplan

El aumento de las necesidades de energía hidroeléctrica durante los albores del siglo XX puso de manifiesto la necesidad de turbinas que pudieran aprovechar caídas de agua de tres a nueve metros (3-9 m), que podrían utilizarse en muchos ríos construyendo pequeños embalses de agua. En el año de mil novecientos trece (1913), el ingeniero austriaco Viktor Kaplan planteó por primera vez la turbina de hélice, que actúa al contrario que la hélice de un barco. Kaplan mejoró la turbina haciendo que las palas pudieran pivotar sobre su eje. Los distintos ángulos de las palas aumentaban el rendimiento ajustando el ángulo al volumen de la caída de agua.

Las turbinas Kaplan son turbinas de agua de reacción de flujo axial, con un rodete que funciona de manera semejante a la hélice de un barco. Se emplean en saltos de pequeña altura. Las amplias palas o álabes de la turbina son impulsadas por agua a alta presión liberada por una compuerta.

Los álabes del rodete en las turbinas Kaplan son siempre regulables y tienen forma de una hélice, mientras que los álabes de los distribuidores pueden ser fijos o regulables. Si ambos son regulables, se dice que la turbina es una turbina Kaplan verdadera; si solo son regulables los álabes del rodete, se dice que la turbina es una turbina Semi-Kaplan. Las turbinas Kaplan son de admisión radial mientras que las semi-Kaplan pueden ser de admisión radial o axial.

Para su regulación, los álabes del rodete giran alrededor de su eje, accionados por unas manijas, que son solidarias de unas bielas articuladas a una cruceta, que se desplaza hacia arriba o hacia abajo por el interior del eje hueco de la turbina. Este desplazamiento es accionado por un servomotor hidráulico, con la turbina en movimiento.

Las turbinas de hélice se caracterizan porque tanto los álabes del rodete como los del distribuidor son fijos, por lo que solo se utilizan cuando el caudal y el salto son prácticamente constantes.

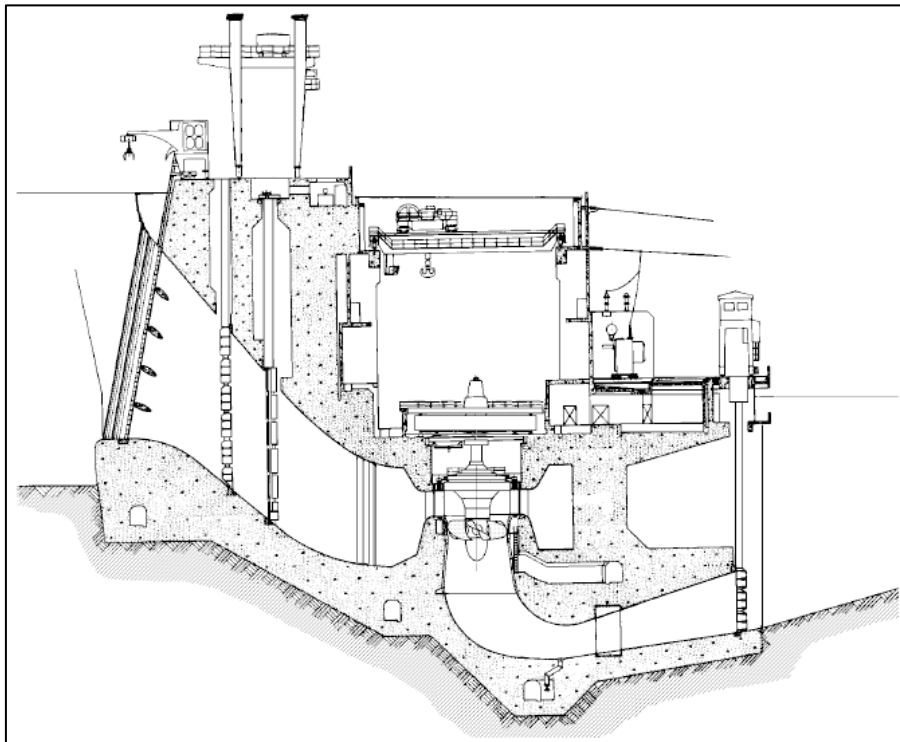


Figura 25: Turbina Francis (Mataix, 2009)

La siguiente tabla compara las ventajas y desventajas de las distintas turbinas utilizadas para micro aprovechamientos:

CARACTERISTICAS DE LAS TURBINAS	PARA PEQUEÑOS APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS (<100 kW)	
	VENTAJAS	DESVENTAJAS
IMPULSO EN GENERAL	Reducida posibilidad de cavitación. Buen rendimiento a cargas parciales	Aplicación de límites bajos de velocidad específica. Bajos picos de eficiencia sobre las turbinas de reacción Las turbinas deben operar generalmente sobre el nivel de restitución
Pelton	Los daños por erosión son fácilmente reparables	Requiere múltiples inyectores para hacer frente a grandes caudales
Michell-Banki	Velocidad específica entre 40-200 obtenido por variación del ancho solamente	Eficiencia entre el 70-80% son más bajos que los de las Pelton, Francis o Turgo
Turgo	Rango de aplicación similar al de las Pelton, multi-inyector	Grandes cargas axiales sobre los cojinetes
REACCION EN GENERAL	Altos números específicos permitidos por diseños compactos. Altos picos de rendimiento. El uso del tubo de desfogue permite un aprovechamiento más efectivo del mismo	Requiere un diseño elaborado de los sellos, mantenimiento más complicado y caro. Aplicación y operación mas limitada por cavitación
Francis	Fabricación estándar disponible en varios fabricantes	Una eficiencia relativamente baja a cargas parciales
Kaplan, Bulbo	Los tipos Bulbo y Tubo ofrecen ventajas cuando se los aplica a presas existentes	Altas velocidades de embalamiento
Bombas centrifugas y axiales	Bajo costo y amplio stock	Bajo rendimiento a cargas parciales. Falta experiencia de aplicación

Tabla 2: Comparativa de distintos tipos de turbinas (Gongora, 2012)

Se puede realizar una selección rápida de la turbina para una micro central hidroeléctrica, utilizando el siguiente diagrama en la que aparecen las diversas turbinas que se usan en la actualidad ubicadas por zonas de aplicación referidas al salto neto, caudal, potencia y una eficiencia promedio.

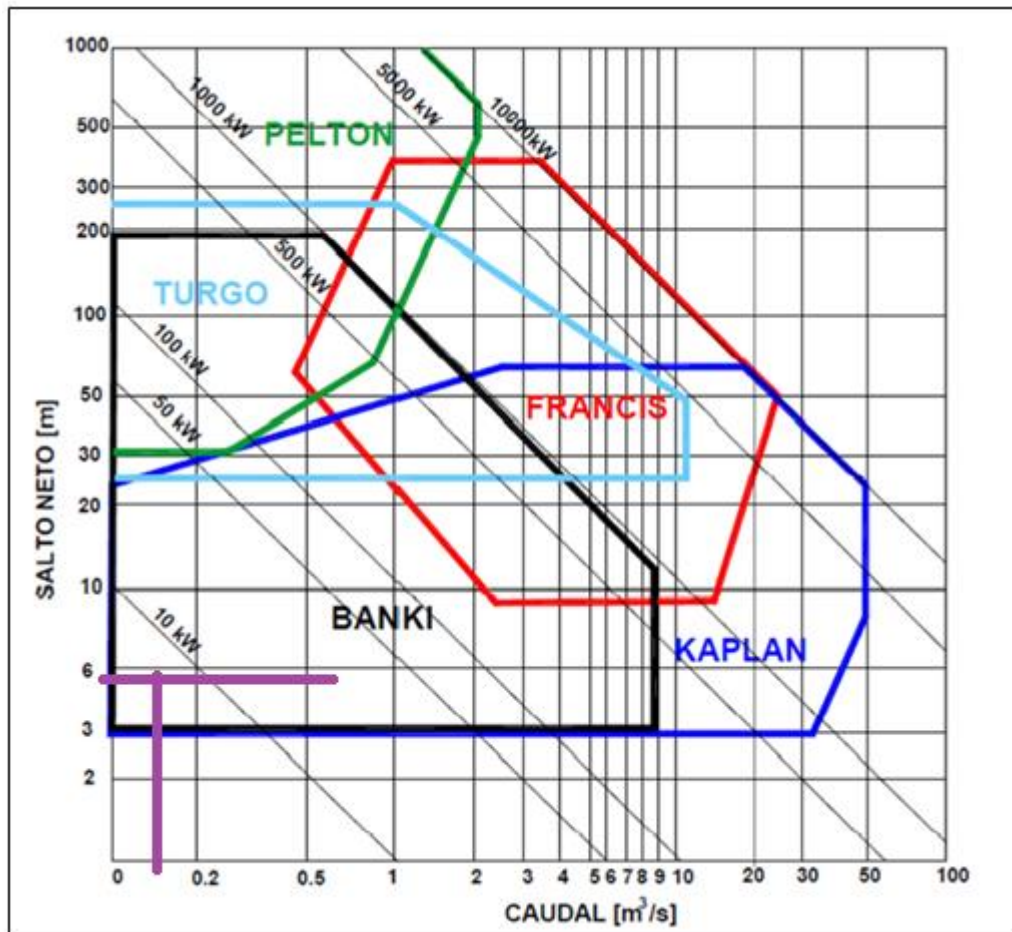


Figura 26: Rango de aplicación de distintos tipos de turbinas (Leal, 2013)

Según esta figura con un caudal $0.1\text{m}^3/\text{s}$ y un salto neto de 5m, podemos seleccionar una turbina Banki o una Kaplan.

De acuerdo con lo solicitado se realizará el diseño de una turbina Kaplan. A continuación se detallaran los parámetros y características principales a determinar.

5- Micro Turbina

5.1- Introducción

Se detalla las características generales de la turbina Kaplan, describiendo los principios de funcionamiento y pautas para el diseño.

5.2- Velocidades del fluido a través del rotor

El fluido primero ingresa a los álabes del distribuidor para luego incidir sobre el rodete con una velocidad absoluta, c_2 , y un ángulo absoluto α_2 . Luego, la velocidad absoluta se descompone en la velocidad tangencial u_2 y la velocidad relativa w_2

La velocidad relativa al álabe, w_2 , incidirá sobre los álabes de tal forma que logre la máxima transferencia de energía, evitando choques, que hagan que se reduzca la eficiencia.

La componente de velocidad absoluta en la dirección axial de la turbina, c_m , se mantiene constante tanto a la entrada como a la salida del rotor, a veces en la salida, esta velocidad puede sufrir una pequeña variación por la aparición de una componente giratoria mínima (la que consideraremos despreciable para fines del cálculo, además para obtener una componente $c_{mu} = 0$, a la salida)

En general: $\bar{c} = \bar{u} + \bar{w}$

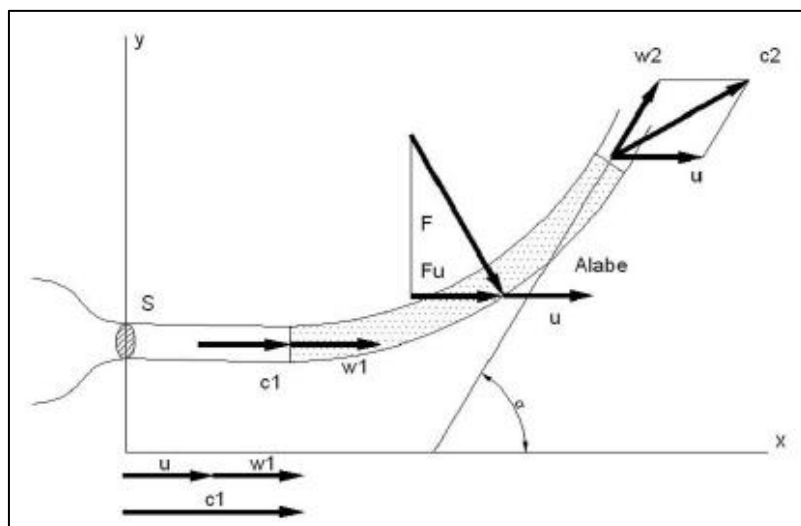


Figura 27: Triángulos de Velocidades

(Benito, 2010)

La componente tangencial de la velocidad (u) a una distancia determinada del eje de giro es definida por:

$$u = r * \omega$$

Se usará álabes de espesor constante curvados, para reducir costos de fabricación, por lo cual se obtendrán menores coeficientes de sustentación y mayores de resistencia, y el conjunto tendrá una menor eficiencia, además de no aprovechar por completo el intercambio de energía por parte del fluido al incidir sobre los álabes.

5.3- Transferencia de energía

El estudio se realizará mediante un volumen de control que abarca la región del rodete, el flujo atravesará dicha superficie de control por la entrada y saldrá por el otro lado de la superficie de control. Dentro de dicho volumen se tendrá un conjunto de álabes que se encuentran girando alrededor del eje con una velocidad angular ω determinada.

Para analizar la transferencia de energía en la turbina se asumieron las siguientes consideraciones:

- Se omitió la viscosidad, es decir, un flujo sin pérdidas.
- Se asumió un flujo bidimensional ideal en toda la región del rodete.
- El sistema considerado fue un sistema inercial.
- El fluido discurre en régimen permanente.

5.4-Consideraciones generales para el diseño

- Para emprender el diseño de la turbina, se realizó una recopilación bibliográfica con tres frentes. Siendo estos, mecánica de fluidos y turbomaquinas, turbinas hidráulicas, y turbinas Kaplan.

La turbina tendrá un rodete de tipo Kaplan con álabes fijos (rodete tipo hélice), es decir que estos no se podrán regular para diferentes caudales, por lo cual no se tratara de una turbina Kaplan propiamente dicha sino de una turbina axial, Hélice. De todas maneras para el diseño de la geometría del rodete nos basamos en métodos de cálculo de rodetes de turbinas Kaplan. El diseño hidráulico de los álabes se realizará utilizando métodos analíticos, se fundamenta en el estudio del movimiento del fluido a través de los álabes, según los principios de la Mecánica de Fluidos. El diseño del distribuidor, que también tendrá álabe fijo, se realizará por

el método Weinig y finalmente el diseño del tubo difusor que tendrá una geometría tronco-cónica recta o acodado en donde se tomará en cuenta el fenómeno de la cavitación, para lo cual nos basaremos en diferentes recomendaciones

- Asumiremos una eficiencia total de la turbina: $\eta = 0.6$ por ser un diseño de turbina Kaplan de geometría fija, es decir que el rodete y el distribuidor cuentan con álabes fijos, es decir, los álabes del distribuidor no son móviles y los álabes del rotor no tiene doble regulación, por lo cual lo correcto sería definir a la turbina en cuestión como hélice. El diseño de la turbina será para obtener el máximo rendimiento por eso se calcula con parámetros propios de potencia, salto neto, caudal y número de revoluciones. La turbina puede trabajar a otras consideraciones de salto y caudal pero se vería afectado el rendimiento
- El distribuidor se diseñará con álabes de placa curvada de arco de círculo.
- Las potencias que consideraremos serán aprox. 3 KW, el fin de este trabajo es que pueda ser aprovechada en el sector rural, es decir donde el consumo de energía es bajo. Como ejemplo, se puede aplicar para la iluminación de casas, radios, para pequeños molinos, etc. Otro fin del trabajo es que en un futuro se pueda construir localmente y pueda servir de aplicación dada su baja potencia, para aprendizaje en laboratorios o cursos tales como mecánica de fluidos, turbo máquinas, control automático, electricidad, máquinas eléctricas, etc.

Las diferentes formas de pérdidas de energía en las turbinas son las siguientes:

- Por rozamiento del agua en el distribuidor.
- Por la distancia que existe entre el distribuidor y rodete.
- Pérdidas en el rodete producidas por el choque de entrada del fluido y fricción en los conductos formados por los álabes y también la carcasa.
- Por rozamiento del agua en el tubo de desfogue del tipo recto vertical.

Todas estas pérdidas se suman y reducen la cantidad de energía teórica.

5.4.1- Diseño de álabes

El diseño de la turbina comienza en el cálculo de estas piezas, ya que gran parte de los elementos adyacentes dependen de las dimensiones del rodete que son impuestas por los álabes. Para calcularlos, primero se realizó una estimación de la potencia transformable del fluido. Conocida la potencia estimada útil, se estableció con la teoría de álabe infinito las condiciones de contorno en el álabe. El procedimiento utilizado está basado en los ángulos formados entre las velocidades en los álabes. La teoría de álabe infinito, o teoría de Euler para turbomaquinas, debe ser complementada con la teoría de persiana de álabes. Esta teoría estudia el comportamiento entre álabes adyacentes, para determinar el número de los mismos más apropiado; conociendo el número de álabes se pueden obtener prácticamente el resto de parámetros. El método que completa el diseño hidrodinámico es el de Weinig, que se encarga de determinar las curvaturas necesarias en flujos acelerativos para que estos no se despeguen de las superficies.

Aplicando los métodos expuestos en última instancia, conociendo el caudal y la altura neta se obtiene primeramente la estimación de potencia interna y junto a las restricciones de diseño se puede calcular el sistema originado obteniéndose tres datos característicos. Estos son, el diámetro externo e interno del rodete, y el ángulo entre la velocidad tangencial y absoluta a la entrada. Con estos datos se puede emprender el cálculo del resto de las secciones que conforman el álabe.

Finalmente se consigue el número de álabes y las curvaturas del álabe tanto en el plano meridional, como en el plano transversal.

6.- Memoria de cálculo

6.1- Introducción

Se describe y realiza el cálculo de los principales elementos de los elementos que componen la micro turbina proyectada

6.1.1- Cálculo hidrodinámico de la turbina Kaplan

1. Introducción
2. Cálculo de la potencia utilizable de las condiciones del salto
3. Rodete de la turbina Kaplan
4. Distribuidor
5. Tubo de Desfogue
6. Cálculo de fuerzas actuantes en el álabe

6.1.2- Cálculo de la potencia utilizable de las condiciones del salto

Considerada la adaptación de una turbina de tipo Kaplan, la cual está definida para un caudal de 0.1 m³ /s que abastece a la turbo máquina junto a una altura neta de 5m. Estas magnitudes indicarán la potencia teórica que produce un aprovechamiento hidráulico de características similares. La capacidad del aprovechamiento considerado de producir energía respecto del tiempo nos da el valor máximo. Este valor nos permite conocer el valor mínimo de puesta en red. Así como el intervalo acotado de diseño.

Datos principales del aprovechamiento:

$$Q = 0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$H = 5\text{m}$$

La potencia teórica es:

$$P_{th} = Q * \rho * g * H$$

$$= 0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 5\text{m}$$

$$= 4.91 \text{ KW}$$

Considerando un rendimiento de aproximadamente 60% obtenemos una potencia útil de: $P_u = 0.6 * 4.91\text{KW} = 2.94\text{KW}$

6.1.3- Rodete de la turbina Kaplan

En el cálculo del diámetro del rodete, para establecer el estudio consideramos la ecuación de Euler para las turbo máquinas; esta ecuación nos permite definir los

ángulos de entrada y salida de la máquina y las velocidades de operación para posteriormente conocer los ángulos en cada sección. Este procedimiento nos da un esquema de los ángulos y el diámetro del rodete pero se deberá definir por completo los parámetros del álabe, ya que esta teoría se dice de álabes infinitos; de forma que no expresa otras dimensiones como el número de álabes.

Para determinar la primera dimensión fundamental de la turbina, consideramos la definición de caudal. Esta definición nos permite conocer a partir del caudal y la velocidad, el área expresada en función del diámetro. Junto la ecuación de Euler, conocida la potencia producida en el grupo, podemos obtener la relación de velocidades. Para simplificar la relación de esta ecuación se imponen una serie de restricciones, que definen la situación de contorno.

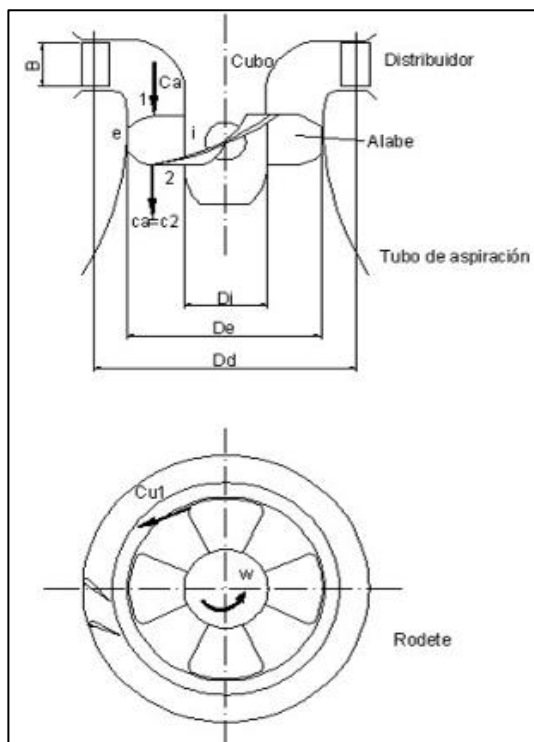


Figura 28: Rodete Turbina Kaplan
(Benito 2010)

Restricciones al diseño:

La relación geométrica entre el diámetro interior y el exterior, según Adolph y F. Schweiger (1987) varía entre 0.35 a 0.67 según la caracterización del número específico de revoluciones de la turbina máquina, luego:

$$V = \frac{D_i}{D_e} = 0.54$$

Aplicando la imposición de una relación entre la energía cinética y la energía de presión tal que el coeficiente de proporcionalidad sea:

$$\xi = 0.47$$

La velocidad absoluta del fluido a la entrada de la turbina es ideal y dependiente de la relación de energía cinética y de presión. Se puede entonces definir la transferencia de energía cinética en cuanto a su velocidad:

$$C_1 = \sqrt{(H_n - (H_n * \xi)) * 2 * g}$$

Por ser una turbomáquina axial la velocidad tangencial de entrada y salida son iguales, esto se debe a que las dimensiones del álabe en una cierta sección, el radio a la entrada y a la salida permanecen constantes, parámetros fundamentales en los cuales se basa la realización del cálculo:

$$u = u_1 = u_2$$

La velocidad de salida del fluido coincide con la velocidad meridional, y el ángulo existente entre la velocidad absoluta y la velocidad tangencial forma 90° , esto se cumple al considerar que el escurrimiento en el borde de salida del álabe, resulta paralelo al eje de rotación de la turbomáquina, luego:

$$c_2 = c_{2m}$$

$$\alpha_2 = 90^\circ$$

Los ángulos formados por la velocidad relativa álabe-fluido y velocidad tangencial, óptimos en el extremo. Esta relación indica que el perfil exterior es prácticamente lineal lo que facilita los cálculos para su determinación.

Una forma de cálculo en este punto puede ser considerar la variación máxima de este ángulo a la entrada de la sección exterior respecto de la sección interior. De manera que se puede conocer desde el inicio del cálculo si la sección interior supera el punto vertical y por tanto se origina en la entrada del álabe una zona de remanso. En la opción expuesta se debe comprobar que el ángulo β_{1i} sea menor a 90° cuando se determinen el resto de secciones.

$$\beta_1 \approx \beta_2 \quad u \approx k_u \sqrt{2 * g * H_n} \quad \text{donde } K_u \text{ va de } 0.65 \text{ a } 2.5 \text{ adoptamos } K_u = 1.5$$

Este conjunto de restricciones se pueden establecer por varias causas, el hecho de que toda la transformación se realice en una etapa nos permite seleccionar la dirección de escurrimiento. A su vez los diámetros de entrada y salida al resultar idénticos permiten no solo definir las velocidades tangenciales, sino también realizar la estimación de la relación de diámetros; que estos a su vez dependen de la sección necesaria para el paso del caudal.

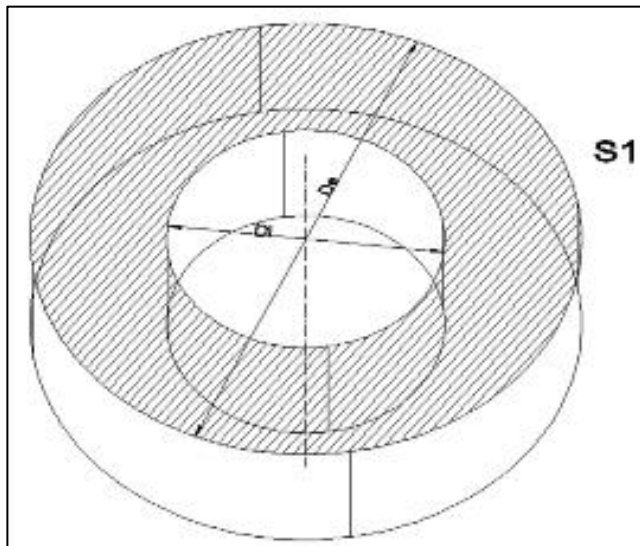


Figura 29: Sección de entrada
(Benito, 2010)

Calculando:

$$c_{1m} = c_1 * \text{sen}(\alpha_1)$$

$$Q = S * c_{1m} = (\pi * (r_e^2 - r_i^2)) * c_{1m}$$

$$Q = \left(\pi \left(\frac{D_e^2}{2} - \frac{D_e^2 * 0.54^2}{2} \right) \right) * c_{1m}$$

Primero tomamos la sección de entrada, en función del diámetro externo. Definiendo de esta manera la corona circular formada en el borde de ataque de los álabes. Para el cálculo de esta sección se desprecia el espesor de los álabes. Una vez obtenida la sección, se define la velocidad meridional en función de la velocidad absoluta y del ángulo entre la velocidad absoluta y la velocidad tangencial.

Mediante la ecuación de Euler para turbo máquinas, podemos introducir en el cálculo la potencia útil de la turbina. Las velocidades y los ángulos característicos se simplifican en función de las restricciones planteadas por lo cual tenemos: $c_2 = c_{2m} = c_{1m}$

$$P_{\text{util}} = Q * \rho * \omega * (r_1 * c_1 * \cos(\alpha_1) - r_2 * c_2 * \cos(\alpha_2))$$

Sabiendo que la velocidad tangencial a la entrada y salida es idéntica

$$u = u_1 = u_2$$

La velocidad angular se define según el diámetro por lo tanto:

$$\omega = \frac{u}{r}$$

$$\omega = \frac{u}{\frac{D_e}{2}}$$

Luego los radios también permanecen iguales en la sección de cálculo:

$$r_1 = r_2 = r$$

$$P_{\text{interna}} = Q * \rho * \omega * \left(\left(\frac{D_e}{2} * c_1 * \cos(\alpha_1) - \left(\frac{D_e}{2} \right) * c_2 * \cos(\alpha_2) \right) \right)$$

Formamos el sistema, quedando la ecuación del caudal y la ecuación de Euler únicamente en función del ángulo entre la velocidad absoluta y la velocidad tangencial a la entrada y el diámetro exterior del rodete. El diámetro interior así como la velocidad meridional a la entrada y salida del álabe se pueden obtener despejando de las ecuaciones anteriores una vez obtenida la solución. Este proceso se realizará para determinar los ángulos del resto de secciones:

$$\begin{cases} Q = \left(\pi \left(\frac{D_e^2}{2} - \frac{D_e^2 * 0.505^2}{2} \right) \right) * c_1 * \sin(\alpha_1) \\ P_{\text{interna}} = Q * \rho * \frac{u}{\frac{D_e}{2}} * \left(\left(\frac{D_e}{2} \right) * c_1 * \cos(\alpha_1) - \left(\frac{D_e}{2} \right) * c_1 * \sin(\alpha_1) * \cos(\alpha_2) \right) \end{cases}$$

Resolviendo el sistema, y descartando las soluciones complejas tenemos:

$$D_e = 0.16\text{m}$$

$$\alpha_1 = 74^\circ$$

Para la condición del deslizamiento del fluido, obtenemos los ángulos:

$$\beta_1 \approx \beta_2$$

$$\tan(\beta_1) = \frac{c_{1m}}{u - c_{1u}} = \frac{c_1 * \sin(\alpha_1)}{u - c_1 * \cos(\alpha_1)}$$

$$\tan(\beta_2) = \frac{c_{2m}}{u} = \frac{c_{1m}}{u}$$

Teniendo:

$$\beta_1 = 28.23^\circ$$

$$\beta_2 = 24.95^\circ$$

La diferencia existente entre β_1 y β_2 , resulta mínima en el procedimiento utilizado y por lo tanto el perfil es prácticamente lineal.

El diámetro del rodete se ha calculado, respecto al borde del álabe en la sección externa. En la situación de potencia útil máxima, por lo tanto esta definición será lo que se conoce como punto óptimo de diseño.

Los triángulos de velocidades son:

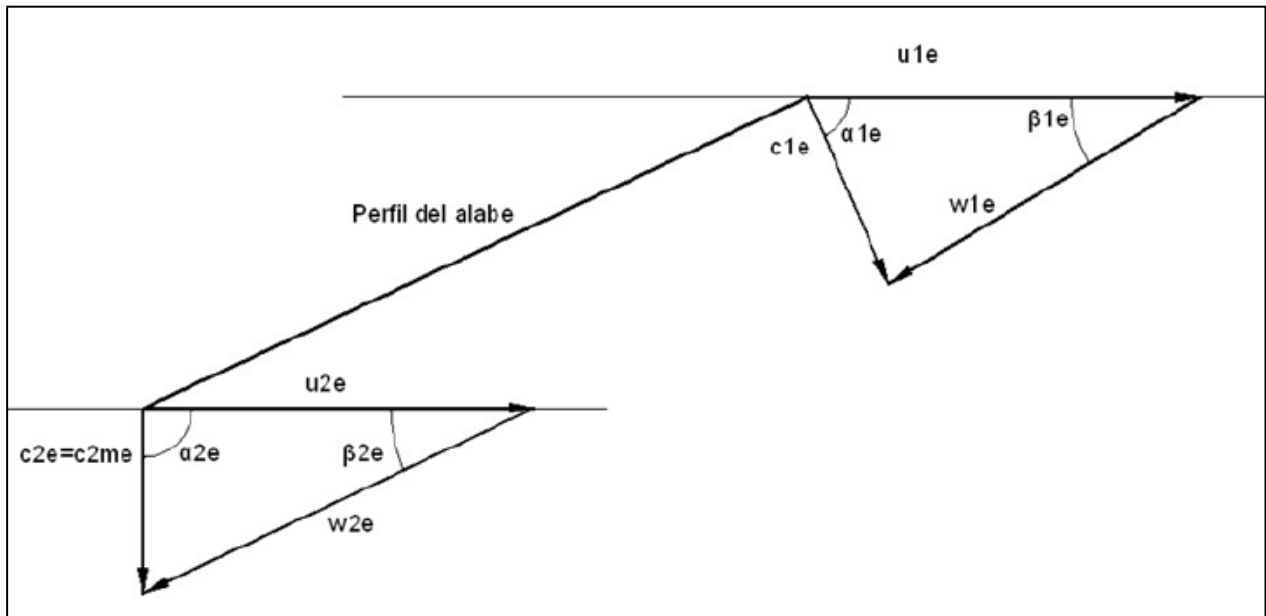


Figura 30: Triángulos de Velocidades (Benito, 2010)

La velocidad c_{1m} tiene la misma magnitud que c_{2m} esta velocidad a su vez coincide con la velocidad absoluta c_2 a la salida del álab (característica de turbinas axiales). Esta simplificación del diseño resultará útil para trazar las diferentes secciones del álab hasta su diámetro interior, así como calcular la variación del grado de reacción cuando este sea necesario.

Para poder realizar comparaciones entre datos obtenidos de otras turbinas hidráulicas se deben utilizar una serie de parámetros unitarios como son el de caudal, velocidad, y potencia. Estos parámetros nos permiten conocer rangos para realizar variaciones geométricas y finalmente conocer el parámetro más característico de una turbo máquina, el número específico de revoluciones. Conocidos el diámetro, caudal, altura, y velocidad tangencial a la entrada obtenemos la velocidad angular.

$$Q = 0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$H = 5\text{m}$$

$$u = 14.86 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\omega = \frac{u}{(D_e/2)} = 184.26 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$N = \frac{\omega * 60}{2 * \pi} = 1759 \text{ rpm}$$

Ahora bien para la turbina diseñada el número específico de revoluciones en función de la potencia no puede ser expresado salvo que se realice una estimación del rendimiento de la turbina. Sin embargo se puede expresar el número específico de revoluciones en función del caudal, esta forma resulta práctica para conocer el conjunto de máquinas similares a priori de los cálculos energéticos finales. El número específico en función del caudal queda:

$$n_q = \frac{N * \sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} = 166$$

Cálculo de las secciones de álabe de la turbina

El objetivo de conocer la geometría de las diferentes secciones del álabe es para trazar la generatriz del mismo y conocer la superficie total del álabe. Con estos datos posteriormente se puede calcular la carga sobre el mismo y fijar el espesor que tiene la generatriz, así como el eje de regulación. Para ello tomamos 5 secciones igualmente espaciadas y calculamos los triángulos de velocidades para cada sección, de esta manera podemos comprobar si la geometría que se traza es correcta. Una vez obtenidos los triángulos de velocidades se tienen los datos necesarios para aplicar la teoría de persiana y obtener el número de álabes en el rodete, las posiciones entre rodete y distribuidor, y finalmente los radios de curvatura para adaptar los ángulos de entrada y salida a la circulación del fluido sin que existan choques o remansos, que disipen energía o reduzcan el intercambio de la misma.

A partir de los datos del cálculo del rodete modificado tenemos:

$$D_e = 0.16\text{m}$$

$$D_i = 0.087\text{m}$$

$$\alpha_{1e} = 74^\circ$$

$$\alpha_{2e} = 90^\circ$$

$$\beta_1 = 28.23^\circ$$

$$\beta_2 = 24.95^\circ$$

$$c_{1e} = 7.19 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$c_{1me} = 6.91 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$u_{1e} = 14.86 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$n_q = 166 \text{rpm}$$

$$c_{2ue} = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Utilizando la expresión del rendimiento hidráulico, buscamos las velocidades c_{1u} :

$$\eta_h = \frac{(u_{1e} * c_{1ue}) - (u_{2e} * c_{2ue})}{g * H}$$

$$c_{1ue} = 1.98 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Como ya mencionamos el rendimiento es del 60%

Este rendimiento junto al volumétrico y al mecánico, representan el rendimiento total de la máquina. El rendimiento hidráulico expresa las pérdidas originadas por la altura del salto no aprovechadas. El rendimiento volumétrico expresa las pérdidas debidas al caudal aislado que circula por el rodete. Y el rendimiento mecánico es el originado por la interacción de las distintas partes de la máquina, como puede ser la fricción.

Conocido el rendimiento tenemos:

$$c_{1ui} = \frac{\eta_h * g * H}{u_{1i}}$$

$$\alpha_{1i} = \text{Arccos} \left(\frac{c_{1ui}}{c_{1e}} \right)$$

$$\beta_{1i} = \text{Arctan} \left(\frac{c_{1me}}{u_{1i} - c_{1ui}} \right)$$

$$\omega = \text{cte} = 184.16 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$u = \omega * r_i$$

$$\Delta r = \frac{(D_e - D_i)}{2 * n^\circ} = 0.007m$$

$r_i = 0,044$	\rightarrow	$u_i = 8.02$	\rightarrow	$c_{1ui} = 3.67$	\rightarrow	$\alpha_{1i} = 59.32$	\rightarrow	$\beta_{1i} = 57.79$	$\beta_{2i} = 40.75$
$r_1 = 0,051$	\rightarrow	$u_1 = 9.39$	\rightarrow	$c_{1u1} = 3.13$	\rightarrow	$\alpha_{11} = 64.16$	\rightarrow	$\beta_{11} = 47.86$	$\beta_{21} = 36.36$
$r_2 = 0,058$	\rightarrow	$u_2 = 10.76$	\rightarrow	$c_{1u2} = 2.74$	\rightarrow	$\alpha_{12} = 67.63$	\rightarrow	$\beta_{12} = 40.75$	$\beta_{22} = 32.72$
$r_3 = 0,066$	\rightarrow	$u_3 = 12.12$	\rightarrow	$c_{1u3} = 2.43$	\rightarrow	$\alpha_{13} = 70.27$	\rightarrow	$\beta_{13} = 35.48$	$\beta_{23} = 29.69$
$r_4 = 0,073$	\rightarrow	$u_4 = 13.49$	\rightarrow	$c_{1u4} = 2.18$	\rightarrow	$\alpha_{14} = 72.34$	\rightarrow	$\beta_{14} = 31.43$	$\beta_{24} = 27.13$
$r_e = 0,081$	\rightarrow	$u_e = 14.86$	\rightarrow	$c_{1ue} = 1.98$	\rightarrow	$\alpha_{1e} = 74.01$	\rightarrow	$\beta_{1e} = 28.23$	$\beta_{2e} = 24.95$

Tabla 3: Ángulos de caracterización del álabe

Conocido el ángulo β_{1i} podemos comprobar si las secciones a la entrada del perfil tienen puntos de remanso o de generación de torbellinos. Esto conlleva que el perfil no tenga ninguna zona cóncava secundaria en la cara de presión, para ello comprobamos que el ángulo existente entre la velocidad relativa álabe-fluido y la velocidad tangencial es creciente conforme se acerca al interior del perfil. Además debe cumplir que el perfil no se cubra así mismo, siendo $\beta_{1i} < 90^\circ$.

Obtenemos los ángulos β_2 (ver tabla 3)

$$\beta_{2i} = \text{Arctan} \left(\frac{c_{1me}}{u_{1i}} \right)$$

$$\omega = \frac{c_{1me}}{\text{sen}(\beta_{1i})}$$

Obtenidas las velocidades relativas en la entrada y la salida comprobamos que los canales entre álabes se comportan como una tobera (Situación propia de una turbina). La velocidad en cada sección a la entrada es inferior a la velocidad a la salida, luego se realiza el intercambio de la energía de presión a la energía cinética.

velocidades relativas fluido-álabe

en la entrada

$$w_{1i} = 8,17$$

$$w_{11} = 9,32$$

$$w_{12} = 10,59$$

$$w_{13} = 11,91$$

$$w_{14} = 13,25$$

$$w_{1e} = 14,61$$

en la salida

$$w_{2i} = 10,59$$

$$w_{21} = 11,66$$

$$w_{22} = 12,79$$

$$w_{23} = 13,96$$

$$w_{24} = 15,16$$

$$w_{2e} = 16,39$$

Calculo del número de álabes y las dimensiones de estos.

Para obtener la cantidad de álabes en el rodete, así como la altura y curvatura de los mismos; tenemos que determinar primeramente el número específico de revoluciones según la potencia, para poder fijar la condición de la altura del álabe siguiendo un criterio obtenido por experimentación. Para obtener el número específico de revoluciones según la potencia nos apoyaremos en la utilización del número específico en función del caudal y aplicaremos el rendimiento hidráulico para obtener una aproximación del número real.

$$n_s^* = 3.65 * \sqrt{\eta_h} * \eta_h = 470$$

Según Bohl (2008) algunas dimensiones principales se pueden obtener respecto al ensayo de sucesivas turbinas Kaplan de doble regulación, de forma que dependen de la definición de la maquina según las siguientes expresiones.

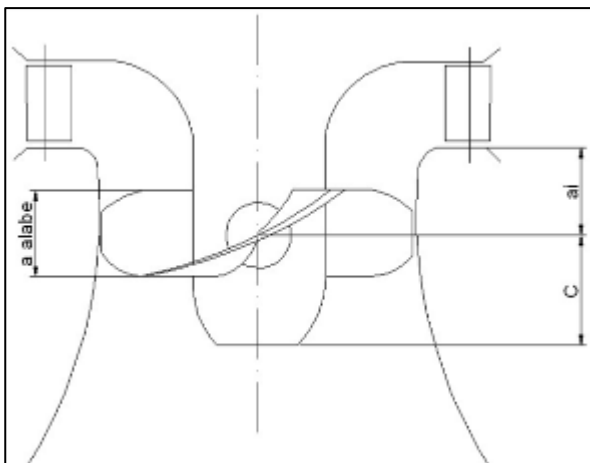


Figura31: Dimensiones Principales del Rodete
(Benito, 2010)

$$C = (6.94 * \eta_s^{-0.403}) * D_e = 0.110m$$

$$a_i = (0.38 + (5.17 * 10^{-5} * \eta_s)) * D_e = 0.064m$$

La altura del álabe será:

$$a_{alabe} = \frac{1}{3} * (C + a_i) = 0.06m$$

$$t = \frac{a_{alabe}}{\tan(\beta_{1e})} = 0.11m$$

La solidez del enrejado de álabes, queda determinada por la siguiente ecuación que considera el espacio libre entre dos álabes vistos según el esquema de persiana.

Es posible conocer la solidez del enrejado en aquellas turbinas donde se presente superposición; calculando el caudal que debe circular entre dos álabes consecutivos. Considerando esta zona canal de álabe, para ello se analizan la sección de entrada y la de salida determinando la sección superpuesta y la diferencia con la sección de admisión entre los álabes:

Para las condiciones de caudal y altura neta la turbina no presenta superposición en los álabes, esta forma geométrica se utiliza cuando el caudal resulta reducido para una turbina Kaplan. Cuando sucede esto los álabes están expuestos a choques con el fluido y se produce una reducción del rendimiento. Esta situación sucede en turbinas con insuficiente espacio para el sistema de regulación, para introducir el sistema se aumenta el diámetro interior y exterior del rodete; pero al realizar esta acción el tamaño de los canales entre álabes aumenta, luego se superponen los álabes para definir exactamente la sección. De tal manera que en el diseño realizado en la turbina Kaplan de este documento la superposición no está presente, luego el número de álabes que componen el rodete es:

$$Z = \frac{\pi * D_e}{t} = 4.7 \approx 5 \text{ álabes}$$

Para definir la longitud de la cuerda en las diferentes secciones, de la altura del álabe obtenemos para cada ángulo existente entre la velocidad relativa fluido-álabe y la velocidad tangencial sus componentes geométricas en el espacio y con estas obtenemos la primera.

La longitud de la cuerda en diferentes secciones se calcula:

$$l_i = \sqrt{\left(\frac{a_{alabe}}{2 * \sin(\beta_{1i})} + \frac{a_{alabe}}{2 * \sin(\beta_{2i})}\right)^2 + a_{alabe}^2}$$

La curvatura del perfil en cada sección según el método de weinig :

$$R_{ci} = \frac{l_i}{\sqrt{2 * (1 - \sin(\alpha_{1i}))}}$$

$$l_i = 0.098\text{m}$$

$$l_1 = 0.106\text{m}$$

$$l_2 = 0.114\text{m}$$

$$l_3 = 0.123\text{m}$$

$$l_4 = 0.133\text{m}$$

$$l_{1e} = 0.143\text{m}$$

$$R_{ci} = 0.185\text{m}$$

$$R_{c1} = 0.236\text{m}$$

$$R_{c2} = 0.294\text{m}$$

$$R_{c3} = 0.360\text{m}$$

$$R_{c4} = 0.433\text{m}$$

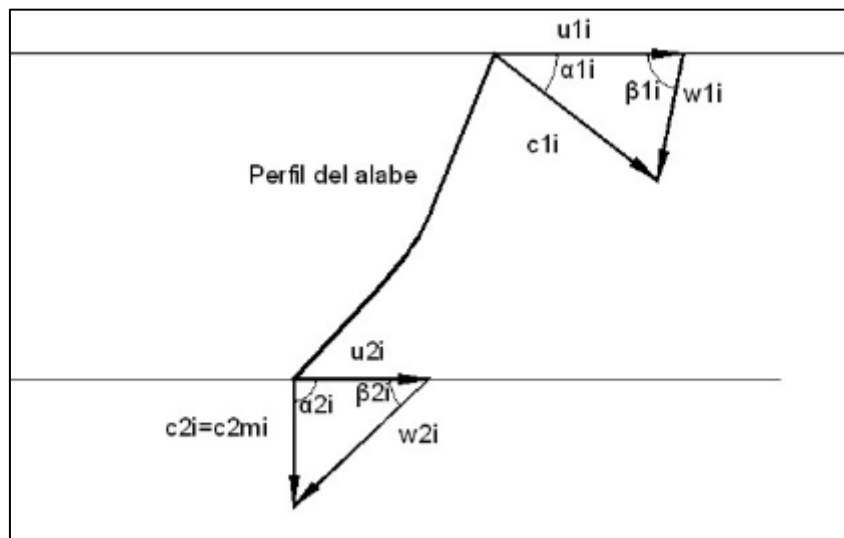


Figura 32: Triángulo de velocidades del álabes
(Benito, 2010)

Calculamos el ángulo de álabes suficiente para realizar la superposición de los mismos. Este ángulo será algo menor que el correspondiente a los álabes debido a que la longitud de la cuerda del exterior del álabes entraría en contacto con el álabes más próximo.

$$Z = 5 \text{ álabes} \rightarrow \theta^* = 72^\circ$$

Se puede realizar una aproximación de los radios de acuerdo en los bordes del álabes. Estos redondeos hacen que el álabes tenga mejor comportamiento ante los choques del fluido como ya se indicó, pero también mejora el comportamiento ante la presencia del efecto de la cavitación. Para hallar el radio de curvatura se considera el triángulo rectángulo entre el centro del rodete, el borde del diámetro externo y la mitad de la amplitud del ángulo.

$$e = \frac{D_e}{2} * \cos\left(\frac{\theta_{\text{álabes}}}{2}\right) = 0.07\text{m}$$

$$R_{cb} = \frac{e}{Z} = 0.014\text{m}$$

La curvatura en el extremo de los álabes debe tender a este valor, presentarse esta dimensión ajustada es muy complejo, ya que el cálculo está realizado bajo un modelo en el plano mientras que la dimensión realmente se encuentra en el espacio.

Para el cálculo de las fuerzas que actúan en los álabes, por lo extenso del método y la relación que presenta con los cálculos resistentes, se realizará junto a estos la determinación de las mismas. En el método se realiza una transformación de las fuerzas del fluido mediante el grado de reacción, que permite adaptar una carga continua a la torsión que presentan las diferentes secciones del álabe. De esta forma se obtiene la variación de la carga respecto de un perfil plano. Y luego se obtiene a lo largo de todo el perfil la carga resultante para dimensionar el eje del mismo y la base del álabe.

Cálculo de la cubierta inferior y cónica de flujo

Para realizar el cálculo de la cubierta, se considera que la forma del cubo del rodete para esta turbina es de forma esférica. Conocida la altura del álabe y el diámetro interior del rodete, se selecciona una generatriz adecuada para permitir el escurrimiento del fluido sin desprendimiento; esta generatriz puede ser en el cono lineal o parabólico. Luego conociendo el diámetro interior y la altura de álabe.

Tomamos unas demasías respecto del centro del cubo:

$$\Delta_s = 0.026 \quad \Delta_i = 0.023$$

Calculamos el ángulo del casquete esférico a la distancia del diámetro de las cubiertas en el cubo del rodete:

$$\alpha_s = 2 * \text{ArcCos} \left(1 - \frac{r - \Delta_s}{r} \right) = 106^\circ$$

$$\alpha_i = 2 * \text{ArcCos} \left(1 - \frac{r - \Delta_i}{r} \right) = 115^\circ$$

Luego los diámetros de las cubiertas serán:

$$d_s = 2 * r * \text{Sen} \left(\frac{\alpha_s}{2} \right) = 0.07\text{m}$$

$$d_i = 2 * r * \text{Sen} \left(\frac{\alpha_i}{2} \right) = 0.074\text{m}$$

Conocidos los diámetros, primeramente se procede a definir la generatriz de la cubierta cónica. Para ello se utiliza la altura de esta cubierta definida por el método de Bohl.

$$C = (6.94 * \eta_s^{-0.403}) * D_e = 0.110\text{m}$$

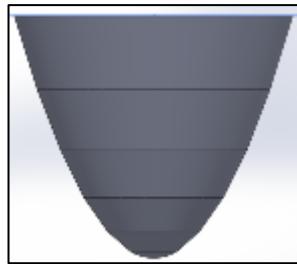
$$c = C - \Delta_i = 0.087\text{m}$$

Consideramos que la cubierta sea un paraboloide por lo que calculamos la parábola generatriz. $A * 0.026^2 + B * 0.026 + C = c = 0.081m$

Para que coincida el mínimo en el origen y sea simétrica el término B y C se suprimen, posteriormente se resuelve el coeficiente de la parábola.

$$A * 0.026^2 = 0.081m$$

$$A = 122.97$$



x	y
0,0061	0,002
0,0123	0,010
0,0184	0,022
0,0246	0,039
0,0307	0,061
0,0368	0,087

Figura 33: Cubo Inferior

Está cubierta en su parte superior lleva una brida para atornillarla junto al cubo del rodete.

6.1.4- Distribuidor

Se considerará el distribuidor como una serie de álabes fijos ubicado aguas arriba del rodete de la turbina. Al ser fijos los álabes no podrán abrirse o cerrarse para regular el flujo de agua que incidirá sobre la turbina. Sus principales funciones son:

a) Distribuir el flujo de manera ordenada y crear la componente de vórtice C_{u2} que forma parte de la ecuación de Euler.

b) El grupo de álabes funciona como toberas hasta alcanzar el valor C_{u3} logrando la aceleración del flujo.

c) Logran la orientación del flujo al dirigir la velocidad absoluta del fluido con el ángulo α_4

Diseño del distribuidor usando el método de Weinig.

Flujo del fluido a través del distribuidor.

El ángulo que forma el fluido al ingresar a los álabes del distribuidor α_5 es de 90° pues se asume que el flujo viene alineado desde la brida de admisión, se puede decir que el flujo es paralelo. A la salida de los álabes del distribuidor, se espera que el líquido

abandone con un ángulo α_4 (flujo acelerado), pero realmente sufre una desviación muy suave aumentando a un ángulo α_3 . Éste ángulo se obtiene del cálculo de los triángulos de velocidades del rodete, como resultado del fluido que incidirá directamente sobre el rodete, como resultado del fluido que incidirá directamente sobre el rodete se considera $\alpha_3 = \alpha_2$

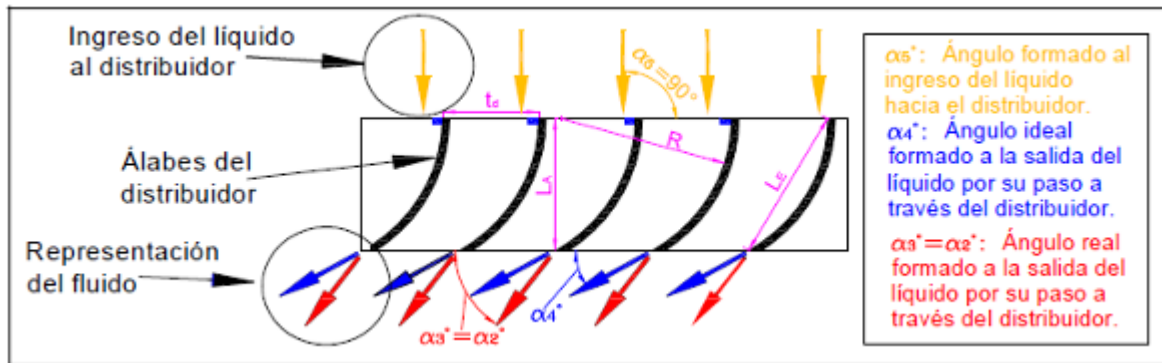


Figura 34: Perfil Álabes del Distribuidor (Pérez Piero, 2007)

Método de Weinig

Weinig propuso un método de cálculo para la corrección del ángulo α_4 hacia α_3 de los álabes axiales en flujos acelerativos, como es el caso de las turbinas, basado en un flujo sin fricción y aplicado a álabes con curvatura suaves. Su método se basa en las siguientes fórmulas:

$$t_d = \left(\frac{\pi * D_m}{Z_{le}} \right)$$

$$\alpha_2 = \arctg \left(\frac{c_m}{c_{u2m}} \right)$$

$$R = \frac{L_E}{\sqrt{2 * (1 - \text{sen} \alpha_4)}}$$

α_2 =Ángulo de incidencia en grados

$C_{u2m} = C_{u3m}$ = Velocidad tangencial en el diámetro medio

L_A =Longitud axial del distribuidor, m.

L_E =Longitud de la cuerda del álabe del distribuidor, m.

D_m =Diámetro medio del álabe respecto al eje de giro del rotor, m.

Z_{le} =Numero de álabes del distribuidor

t_d =Paso entre álabes del distribuidor, m.

$\alpha_2 = \alpha_3$ =Ángulo de incidencia del fluido hacia el rodete, grados.

α_4 =Ángulo del flujo de agua a la salida del distribuidor, grados.

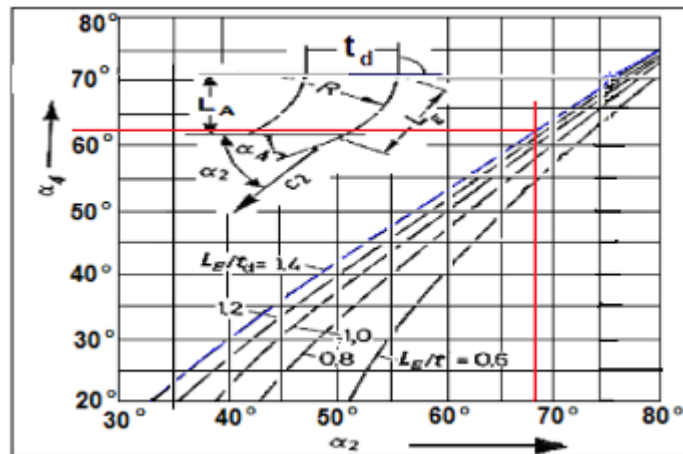


Figura 35: Ángulo de salida del distribuidor en función del de ingreso al rotor
(Pérez, 2007)

$$\alpha_2 = 68^\circ \rightarrow \alpha_4 = 63^\circ$$

Por referencias de turbinas Kaplan y axiales desarrolladas en el mundo se toma como posible número de álabes del distribuidor valores entre 8 y 18, la selección de esto se hará de forma tal que no cause alguna resonancia con el rodete.

La longitud de cuerda (L_E) la longitud axial del distribuidor (L_A) y el radio de curvatura del álabe del distribuidor (R).

Luego, para hacer la elección en la cantidad de álabes se tendrá en referencia las siguientes recomendación del autor Adolph $L_A/D_{ext} = (0,35-0,4) \Rightarrow L_A = (0,056-0,065)$

L_A	Z					
	8	10	12	14	16	18
	td					
Le/t	0.046	0.037	0.031	0.026	0.023	0.020
0.6	0.026	0.020	0.017	0.015	0.013	0.011
0.7	0.030	0.024	0.020	0.017	0.015	0.013
0.8	0.034	0.027	0.023	0.019	0.017	0.015
0.9	0.038	0.031	0.026	0.022	0.019	0.017
1	0.043	0.034	0.028	0.024	0.021	0.019
1.1	0.047	0.038	0.031	0.027	0.023	0.021
1.2	0.051	0.041	0.034	0.029	0.026	0.023
1.3	0.055	0.044	0.037	0.032	0.028	0.025
1.4	0.060	0.048	0.040	0.034	0.030	0.027

Tabla 4: Longitud axial del Distribuidor

$$L_E = 0,064\text{m}; R = 0,1375\text{m}$$

6.1.5- Tubo de Desfogue

Para determinar las dimensiones del tubo de desfogue de la turbina Kaplan, resulta necesario conocer la altura máxima que evita el desarrollo del fenómeno de cavitación. En este proceso resulta de vital importancia definir el coeficiente de cavitación, ya que con este coeficiente estamos situando la zona de transición de este fenómeno a partir de las características que definen a la turbomáquina. Conocido este coeficiente y determinada posteriormente la altura de máxima se puede determinar las demás dimensiones principales. Con las dimensiones del tubo de desfogue, se calcula el incremento de transformación energética en el rodete y su efecto difusor. Finalmente resulta útil expresar las zonas de los álabes donde se centrará la cavitación en caso de presentarse debida a la presión de saturación, estas zonas serán las que posteriormente deberá planificarse un mantenimiento de sus envolventes.

Conocidos los siguientes datos:

Pamb=	101300 Pa
H=	5 m
De=	0.16 m
ns=	403.7
c1=	7.190 m/s
u1=	14.857 m/s
c1u=	1.981 m/s
alfa1=	74,0°
Densidad del agua=	1000 Kg/m ³
Presión de saturación del vapor a 25°=	3166 Pa

Tomamos la presión de saturación del vapor a 25°C, elegimos este valor por ser una temperatura suficientemente alta para las condiciones de la turbina hidráulica. Esta acción conlleva estar del lado de la seguridad en cuanto a la presencia de la cavitación en la turbina Kaplan.

Determinamos la velocidad de salida de la turbina, conocida esta velocidad hallamos la velocidad a la salida del tubo de desfogue; para determinar la variación de energía debida al efecto difusor:

$$c_2 = c_1 * \text{sen}(\alpha_1) = 6.91 \frac{m}{s}$$

Obtenemos el coeficiente de Thoma según F. de Siervo:

Primero tenemos el coeficiente donde la maquina trabaja en ausencia de cavitación debida a la presión de vaporización. Este coeficiente se conoce de aplicación

hidráulica, y es el apropiado para el dimensionado de la altura del tubo de desfogue debido a que deja un margen de seguridad al coeficiente de oficina de reclamación según normativa.

$$\sigma_s = 0.0413 * \left(\frac{n_s}{100}\right)^{1.672} = 0.426$$

Este es el coeficiente donde la maquina trabaja en completa cavitación debida a la presión de vaporización. En este punto la cavitación es crítica, y se define esta curva para conocer las áreas donde se manifiesta la cavitación en el rodete.

$$\sigma_c = 0.0348 * \left(\frac{n_s}{100}\right)^{1.293} = 0.209$$

En función del coeficiente de Thoma podemos calcular la altura máxima para que no se desarrolle la cavitación debida a la presión. Se toma como referencia la presión atmosférica a nivel del mar debido a que no se conoce un emplazamiento exacto de la turbina, se realizara para la cota máxima de altura:

$$\sigma_c = \frac{\frac{(P_{amb} - P_s)}{\rho * g} - H_s}{H} \quad H_s = -(\sigma_c * H) + \frac{(P_{amb} - P_s)}{\rho * g} = 9.13m$$

Consideramos para el diseño del tubo de desfogue una $H_s=1,03$ con estas dimensiones comprobamos la energía recuperada una vez conocidas el resto de dimensiones principales. Realizamos la comprobación de la altitud máxima de emplazamiento de la turbina para el tubo de desfogue calculado:

Para esta presión atmosférica la altitud máxima resulta en torno a 10000m

$$P_{amb} = ((H_s + (\sigma_c \cdot H)) \cdot \rho \cdot g) + P_s = 23539 \text{ pa}$$

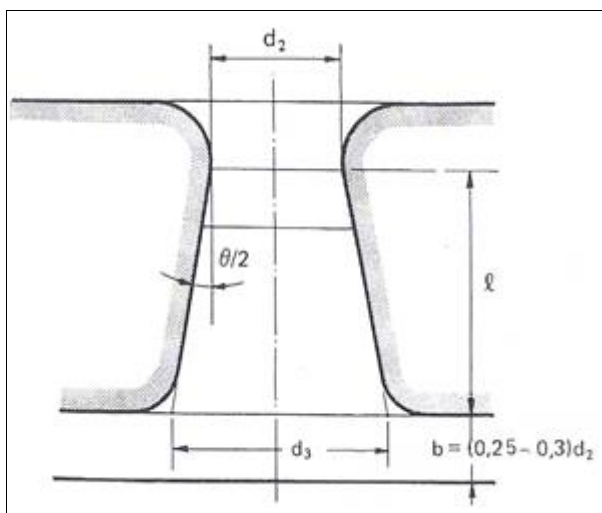
Si la maquina fuera a implantarse en cotas superiores el constructor de la maquina debe dar respaldo calculando la exposición existente de la maquina al fenómeno. Sin embargo esta situación es compleja de alcanzar. Esto hace que implícitamente los emplazamientos de estas turbinas se encuentren a una cota inferior a 10000m, por lo que la maquina estaría en condiciones de operar con seguridad frente la cavitación.

Altura (m)	Presión (hPa)
0	1013,25
1000	898,75
5000	540,21
10000	264,36
15000	120,45
20000	54,75

Tabla 5: Altitud Vs Presión Atmosférica

La altura del tubo de desfogue seleccionado, al ser positiva indica que la turbina está ubicada por encima del nivel de aguas debajo de la máquina. Sin embargo este caso no es único, ya que la turbina puede estar situada por debajo del nivel de aguas de salida. Esta situación se conoce como sumergencia, es una posición óptima para maquinas con incipiente cavitación pero resulta una técnica delicada en cuanto a la inundación del grupo.

Las dimensiones básicas del tubo de desfogue



$$d_2 = 0,16\text{m}$$

$$l = 1,03\text{m}$$

$$d_3 = 0,33\text{m}$$

$$\theta = 18^\circ$$

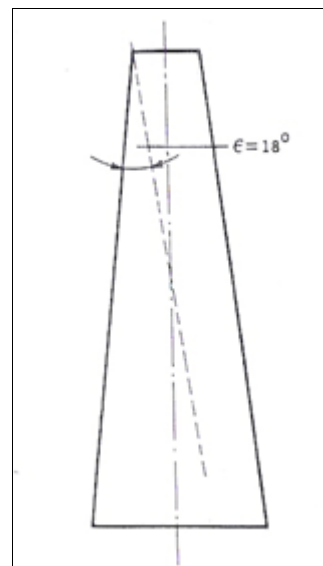


Figura 36: Dimensiones básicas de Tubo de Desfogue
(Mataix, 2009)

Calculo de la presión a la salida del rodete, a la salida en la superficie libre aguas abajo:

$$P_2 = \left(\frac{P_{amb}}{\rho * g} - H_s - \frac{c_2^2}{2 * g} \right) * \rho * g = 68881 \text{ Pa}$$

6.1.6- Calculo de fuerzas sobre el Álab

TEORÍA AERODINÁMICA DE LAS TURBOMÁQUINAS AXIALES

Si se considera una sección cilíndrica del rodete, coaxial, de radio R, desarrollada sobre un plano (x,y), de forma que sobre el mismo se encuentren las trayectorias relativas al fluido y las secciones de las palas formando lo que se conoce como persiana, parrilla o enrejado de álabes, de paso t y cuerda l, se puede obtener una solución aproximada del problema considerando un movimiento plano y permanente a través de dicha persiana.

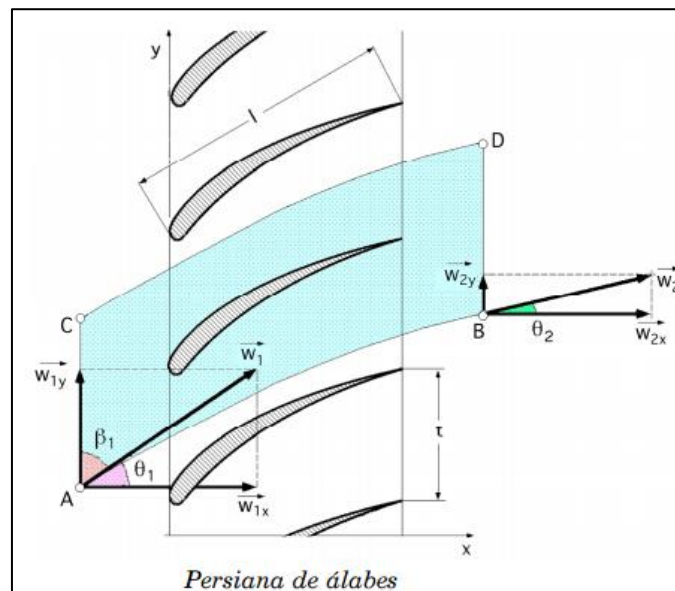


Figura 37: Persiana de Álabes (Pérez, 2007)

El contorno (ABCD) se puede suponer formado por dos líneas de corriente (CD) y (AB) deducidas la una de la otra mediante la traslación t igual al paso tangencial de la persiana. Los caudales que atraviesan esta sección cilíndrica desarrollada sobre el plano, son:

a) A través de (AB) y (CD), nulos.

b) A través de (AC) y (BD) tienen que ser iguales, por la ecuación de continuidad; ésto implica que $w_{1x} = w_{1m}$ y $w_{2x} = w_{2m}$, normales a la dirección de u, por lo que las componentes meridianas de la velocidad relativa a la entrada y salida, tienen que ser iguales: $w_{1x} = w_{2x}$; $w_{1m} = w_{2m}$

La circulación Γ es igual a la suma algebraica de las intensidades de todos los torbellinos que existan en la región interior a la curva cerrada (ABCD); la circulación Γ a lo largo de (ABCD), o lo que es lo mismo, la circulación alrededor de un álabe, al ser la misma a lo largo de (AB) y (DC) es:

$$\Gamma = t^* (w_{2y} - w_{1y}) = t^* (w_{2n} - w_{1n})$$

Las componentes de la resultante F de las fuerzas que actúan sobre el álabe, en las direcciones (x, y) , son la fuerza axial F_x (paralela al eje de giro) y la fuerza de par F_y (en un plano normal al eje de giro):

$$\text{Donde } W_{1y} = 6,26 \text{ m/s; } W_{2y} = 9,39 \text{ m/s}$$

$$\text{Entonces } r = 0,34 \text{ m/s}$$

$$\text{Sobre el eje } O_x \text{ se tiene la fuerza axial: } F_x = t^*(p_1 - p_2)$$

En la que: t (paso), es la sección de entrada del agua entre dos álabes por unidad de altura del álabe; p_1 y p_2 son las presiones del fluido aguas arriba y aguas abajo del rodete, (entrada y salida de los álabes).

Si se considera que el fluido es perfecto e incompresible, el Teorema de Bernoulli proporciona:

$$p_1 + \rho * \frac{w_1^2}{2} = p_2 + \rho * \frac{w_2^2}{2}$$

$$p_1 + \rho * \frac{w_{1x}^2 + w_{1y}^2}{2} = p_2 + \rho * \frac{w_{2x}^2 + w_{2y}^2}{2}$$

$$p_1 - p_2 = \rho * \left(\frac{w_{1x}^2 + w_{1y}^2}{2} - \frac{w_{2x}^2 + w_{2y}^2}{2} \right) = |w_{1x} = w_{2x}| = \rho * \frac{w_{2y}^2 - w_{1y}^2}{2}$$

$$= \rho * \frac{\Gamma}{t} * \frac{w_{2y} + w_{1y}}{2}$$

$$\text{Valor que sustituido en } F_x \text{ proporciona: } F_x = \rho * \frac{\Gamma}{t} * (w_{2y} + w_{1y}) = \rho * \frac{\Gamma}{t} * (w_{2n} + w_{1n})$$

Sobre el eje O_y se obtiene la fuerza de par (radial); aplicando el Teorema de la Cantidad de Movimiento:

$$F_y = \rho * \Gamma * \omega_{1x}(\omega_{1y} - \omega_{2y}) = \rho * w_{1x} * \Gamma = \left| \begin{array}{l} w_{1x} = w_{2y} \\ w_{1x} = \frac{w_{1x} + w_{2x}}{2} \end{array} \right| = -\rho * \frac{w_{1x} + w_{2x}}{2} * \Gamma$$

$$= -\rho * \frac{w_{1m} + w_{2m}}{2} * \Gamma$$

La fuerza resultante F es perpendicular a la cuerda; la velocidad relativa media del agua a su paso por los álabes es $F = 3702 \frac{N}{m^2}$

$$F = \rho * w_m * |\Gamma| \text{ con: } \vec{w}_m = \frac{\vec{w}_1 + \vec{w}_2}{2}$$

Si el paso t aumenta indefinidamente, la circulación Γ permanece constante y la diferencia de velocidades ($w_{2y} - w_{1y}$) tiende a cero, pero los resultados subsisten, obteniéndose la formulación de Kutta- Joukowski, en la que w_m se reemplaza por la velocidad ω_∞ , velocidad sin perturbar:

$$F = \rho * \omega_\infty * |\Gamma|$$

Para el caso de un fluido real, hay que tener en cuenta las pérdidas de energía experimentadas por el fluido al atravesar la persiana de álabes; dicha persiana viene determinada, geoméricamente, por:

- a) La forma del perfil del álabe
- b) El paso relativo $t/l = \text{Sección de entrada} / \text{Longitud de la cuerda} = 1,025$

c) La inclinación θ que es el ángulo que forma la velocidad relativa \vec{w}_m con el eje de giro definido por la dirección x La acción de la corriente fluida sobre el perfil viene representada por la fuerza F por unidad de longitud del álabe l que se puede descomponer en una componente Z perpendicular a w_m (fuerza de sustentación) y una componente X paralela a w_m (fuerza de arrastre); $\theta=57^\circ$

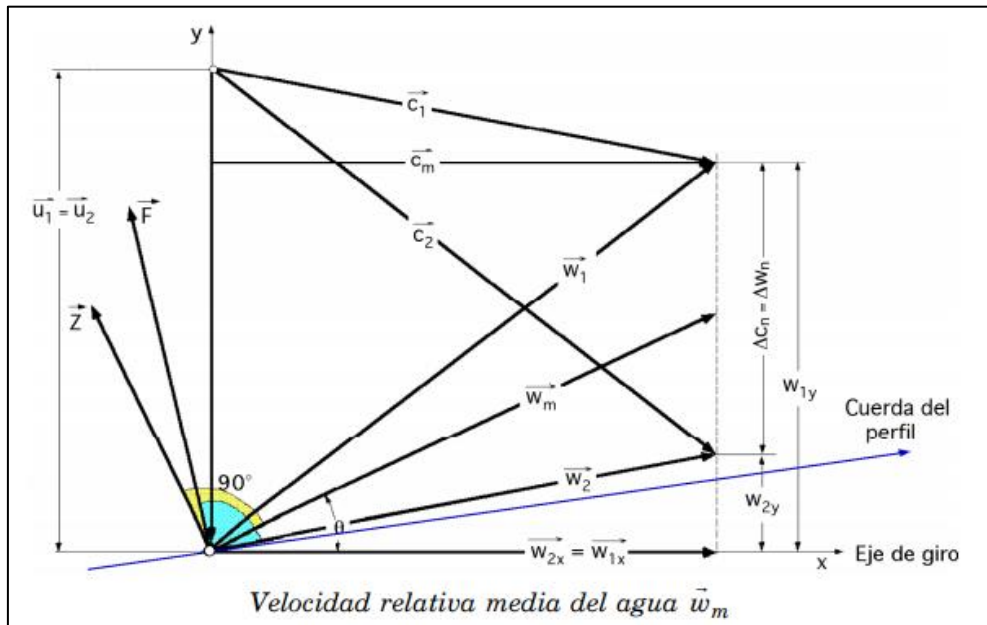


Figura 38: Velocidad Relativa media del agua (Pérez 2007)

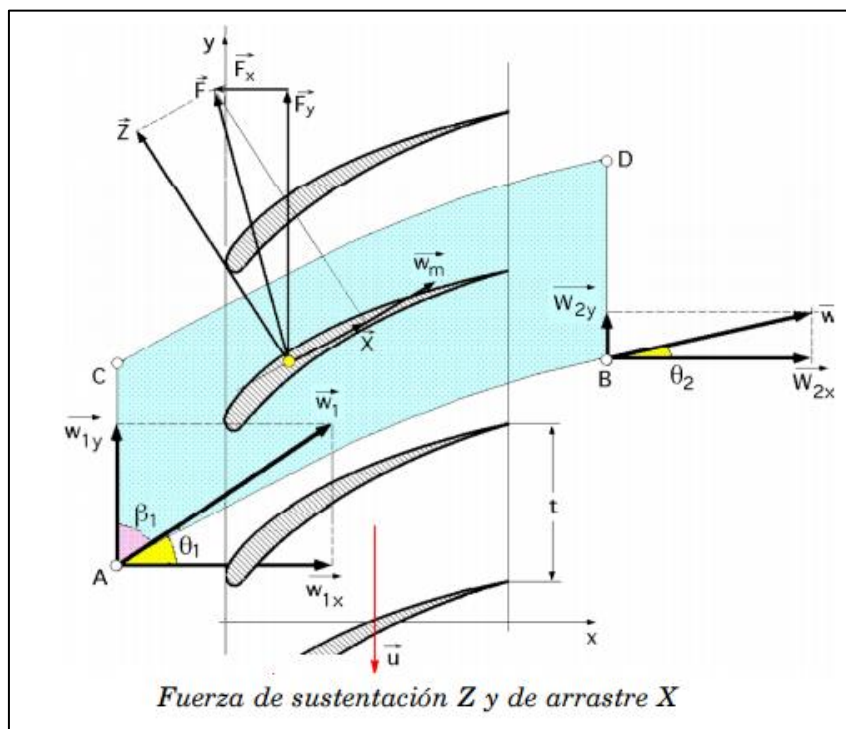


Figura 39: Fuerza de sustentación y arrastre (Pérez, 2010)

Las velocidades periféricas a la entrada y a la salida u_1 y u_2 son iguales.

$$X = \frac{1}{2} * \rho * c_{wx} * l * w_m^2 = |c_m = w_m * \cos(\theta)| = \frac{1}{2} * \rho * c_{wx} * l * \frac{c_m^2}{\cos^2 \theta}$$

La componente X de la resultante F es la fuerza de arrastre de la forma:

La componente Z es la fuerza de sustentación:

$$Z = \frac{1}{2} * \rho * c_{wx} * l * w_m^2 = |c_m = w_m * \cos\theta| = \frac{1}{2} * \rho * c_{wz} * l * \frac{c_m^2}{\cos^2\theta}$$

en las que C_{wx} y C_{wz} son los coeficientes de arrastre y sustentación, respectivamente.

Los valores de F_x y F_y componentes de F en las direcciones (x,y), son:

$$\text{Fuerza axial: } F_x = x * \cos\theta - z * \sin\theta = (p_1 - p_2) * t$$

Fuerza radial:

$$F_y = x * \sin\theta + z * \cos\theta = \rho * c_m * t * (w_1 * \sin\theta_1 - w_2 * \sin\theta_2) = -\rho * c_m * t * \Delta w_m$$

$$F_y = \frac{1}{2} * c_{wx} * l * \frac{c_m^2}{\cos^2\theta} * \sin\theta + \frac{1}{2} * c_{wz} * l * \frac{c_m^2}{\cos^2\theta} = \left| \begin{array}{l} \frac{c_{wx}}{c_{wz}} = \operatorname{tg}\varepsilon \\ c_m = w_m * \cos\theta \end{array} \right|$$

$$= \frac{1}{2} * c_{wz} * l * \operatorname{tg}\varepsilon * \frac{c_m}{\cos^2\theta} * \sin\theta + \frac{1}{2} * c_{wz} * l * \frac{c_m}{\cos\theta}$$

La esbeltez aerodinámica del perfil viene caracterizada por el valor de $\cotg \varepsilon$; para los álabes normalmente empleados, $\cotg \theta$ varía entre 10 y 80, por lo que en primera aproximación se puede despreciar el valor de $\operatorname{tg} \varepsilon$ obteniéndose:

$$\frac{\Delta w_n}{w_m} = c_{wz} * \frac{l}{2 * t}$$

Ecuación fundamental de la Teoría de persianas de álabes y de la que se puede obtener el coeficiente de empuje ascensional C_{wz} . $\rightarrow C_{wz}=0,497$

Adoptando los coeficientes de arrastre 0,20 y 0,29 obtenidos del libro mecánica de los fluidos, Streeter. Pag 265.

Obtenemos

$$x = (1762 \text{ a } 2555) \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$Z = 1013 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Entonces nos quedan

$$F_y = (-2759 \text{ a } 2335) \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$F_x = (3834 \text{ a } 4504) \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

7.- Diseño final y Recomendaciones

Los planos siguientes pretenden mostrar los resultados del diseño hidráulico de la micro turbina. Estos planos se desarrollaron junto con otros profesionales que trabajaron en el proyecto, detalles mecánicos y constructivos se muestran en el anexo. De continuarse con este proyecto se deberán realizar estudios, ajustes y bancos de prueba que verifiquen y aseguren el correcto funcionamiento de la microturbina.

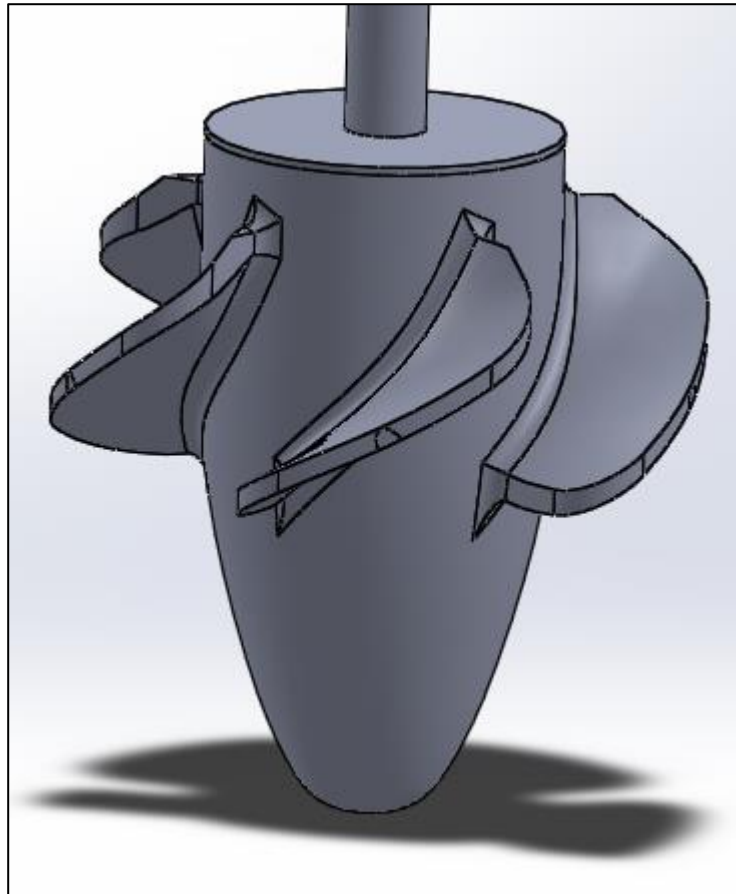


Figura 40: Isométrica del Rodete

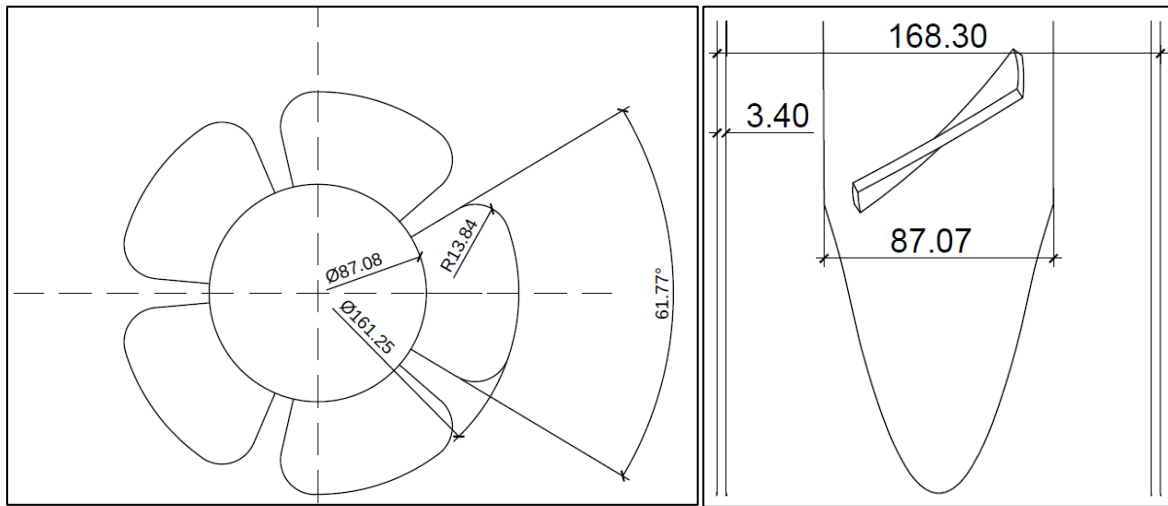


Figura 41: Planta y Vista lateral del Rodete

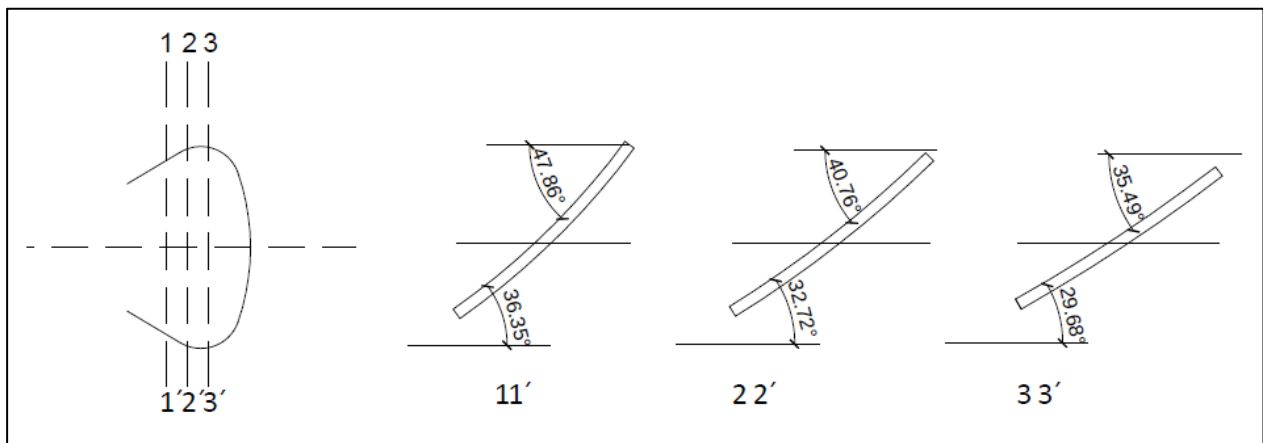


Figura 42: Perfil del álabe del Rodete en tres secciones

Se busca que la tecnología sea de fácil implementación, y bajo mantenimiento, de esta manera impulsar el empleo y compra local para su puesta en práctica.

Algunas consideraciones son:

La conducción del fluido se realizará a través de tubos de acero comerciales.

Los álabes del distribuidor se obtendrán de una sección de caños de acero negro comerciales, por lo cual su radio es constante.

Para los álabes se realizó un diseño hidráulico con mayor detalle debidos a su relevancia en el aprovechamiento y rendimiento de la energía obtenida.

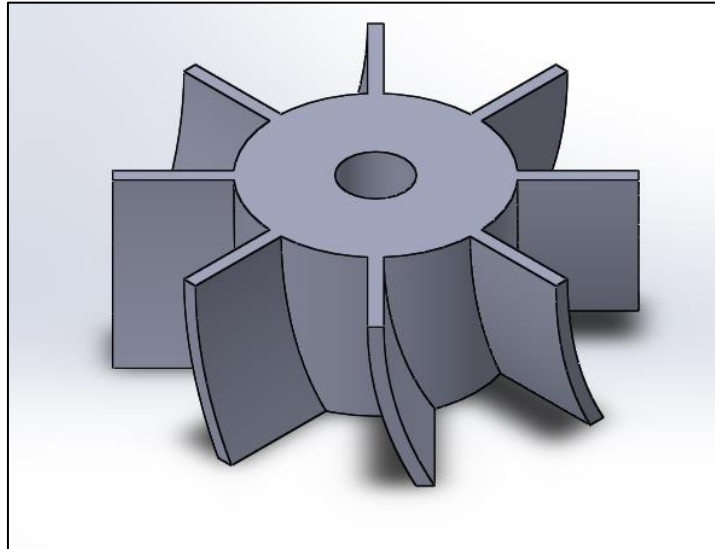


Figura 43 Isométrica del Distribuidor

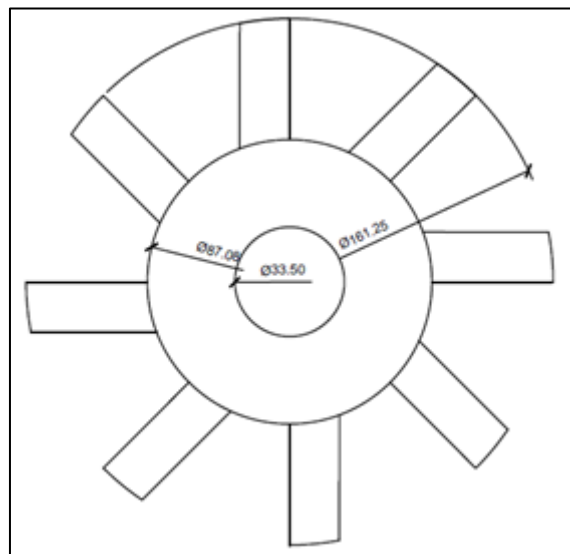


Figura 44: Vista superior e isométrica del Distribuidor

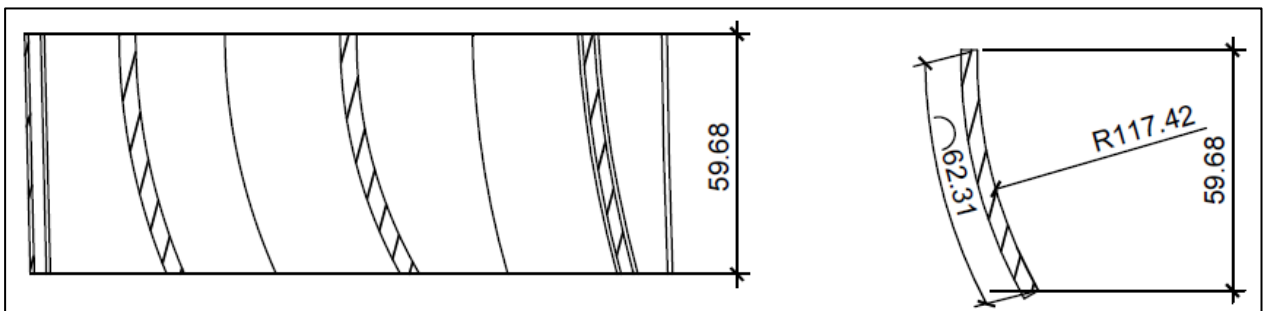


Figura 45: Vista Lateral y perfil del álabe del Distribuidor

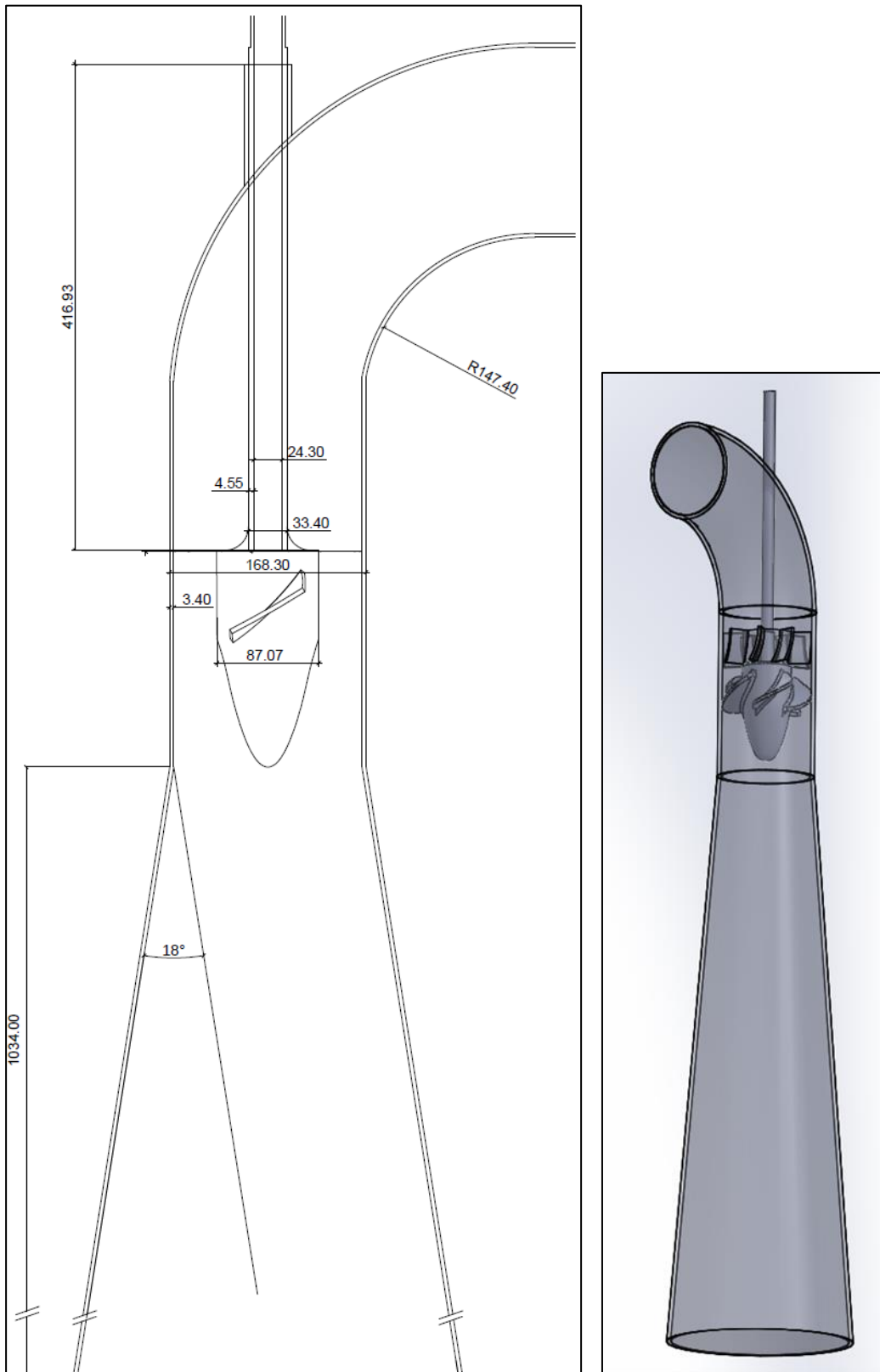


Figura 46: Plano e Isométrica del conjunto

Según el cálculo realizado en el capítulo seis la potencia obtenida es de 2.94KW donde la mayoría de las viviendas tienen contratada una potencia mínima entre 2,5 y 5

kW con una potencia inferior de 2,2 Kw es posible disponer de luz y pequeños electrodomésticos.

Se consideró que el almacenamiento de la energía se realizaría a través de un conjunto de baterías. El cargador de batería puede estar instalado en la misma microturbina o en cualquier punto de la red de distribución que esta alimenta.

Si a la turbina se le acopla un generador de c.c. del tipo de los utilizados en los vehículos de transporte pueden cargarse directamente las baterías ya que estos generadores tienen un regulador de voltaje incorporado. Como desventajas estos equipos son de baja eficiencia y requieren multiplicador de velocidad ya que operan con un número de vueltas elevado (2.000 rpm).

Es en general más conveniente trabajar con generación de corriente alterna en 220V y los dispositivos de transformación y rectificación a c.c. con que cuentan los equipos de carga de batería.

La tensión de trabajo de cargado de baterías es algo superior a la tensión de la batería. Así para una batería de 12V el cargador opera con tensiones de 15 y 16V.

Los cargadores deben contar con dispositivos antidescarga (diodos) en línea con cada batería para evitar la transferencia de energía entre baterías.

A los efectos del cálculo de perdidas, puede considerarse un rendimiento promedio de del proceso de carga de batería del 75%.

Aunque de mayor costo inicial que las baterías de automóviles, se recomienda el uso de las baterías que admiten descarga profunda ya que reducen la frecuencia de recarga y tienen mayor vida útil.

Estas consideraciones desde luego tienen que ser sujetas a un estudio de pre factibilidad económica, donde se pondrá en evidencia cuanto se pudo reducir los costos a través de las elecciones anteriores, considerando que estas han ido en detrimento de la generación energética. Es decir, realizar un estudio de costos y beneficios. Por tratarse, como dijimos, de soluciones de abastecimiento que no resuelve el mercado, sino que deben ser asistidas desde el estado mediante transferencia de recursos de la sociedad, la evaluación debe realizarse bajo los principios de la denominada evaluación social de proyectos.

La evaluación social de proyectos no se realiza en base a los precios de mercado de las inversiones y gastos asociados al mismo, sino a los denominados precios de eficiencia (o precios sombra o precios de cuenta).

Estos precios reflejan el uso óptimo o eficiente de los recursos de la sociedad de tal forma que, por ejemplo, si en el país existe fuerte desocupación de mano de obra no calificada, el precio de cuenta o precio de eficiencia de la misma será menor que el precio de mercado. De tal forma proyectos con alta incidencia de la mano de obra no calificada en sus costos tendrán un valor más competitivo a precios de cuenta que a precios de mercado cuando se los compare con los otros proyectos con menor incidencia de este rubro.

8.- Conclusiones

Este trabajo se planteó como un antecedente para la búsqueda de soluciones energéticas, es decir se busca generar energía siendo respetuosos con el ambiente y todo lo que nos rodea, viendo que el impacto sea el menor posible. Planteando que el uso de esta sea en pos de una mayor equidad social, ya que está pensada para zonas rurales aisladas o de difícil acceso. En donde el coste de transmisión hace inviable el abastecimiento de energía eléctrica. Por esto se impuso como condición que sea de fácil construcción, implementación y operación (que puedan ser puestas en funcionamiento por personal local y organizaciones pequeñas, cumpliendo requisitos menos estrictos) y así poder de esta manera posibilitar el desarrollo local, ayudándolas principalmente con el suministro de energía y al desarrollo de actividades productiva y económicos que pueden aumentar la rentabilidad del proyecto y mejorar la calidad de vida de la región.

Se propuso que la obtención de esta energía sería a través de una micro turbina hidráulica axial. El diseño hidráulico de esta se realizó determinando en primera instancia las variables de entrada al rotor, con las cuales se resolvió el diagrama de velocidades que corresponden al diseño en estudio. Los resultados se pueden resumir en el siguiente tabla:

Caudal	$Q=0.1\text{m}^3/\text{s}$
Salto Bruto	$H_b=5\text{m}$
Potencia	$P=2.94\text{KW}$
Ángulo de las velocidades u a c	$\alpha_1=74^\circ$
Angulo de velocidades u a w	$B_1=28^\circ$
Coefficiente del inyector	$K_c=0.967$
Diámetro externo del rotor	$D=163\text{mm}$
Diámetro interno del rotor	$D_i=87\text{mm}$
Velocidad de giro	$N=1759$
Numero de álabes	$Z= 5 \text{ álabes}$
Espesor del álabe	$t= 11\text{mm}$

Tabla 6: Resumen de resultados del diseño hidráulico de una turbina axial

Se considera que la potencia obtenida de 2.94KW es suficiente para abastecer a viviendas, es decir, disponer de luz y uso pequeños electrodomésticos. Por ejemplo se

establece que para un uso normal de luz, frigorífico, cocina, lavadora, aspirador y plancha.

Podemos decir que la aplicación de esta micro turbina puede marcar un cambio significativo a aquellas personas que se encuentran aisladas y no pueden acceder a la red eléctrica y el hacerlo a través de la generación hidroeléctrica como fuente de energía, la cual es una fuente limpia y renovables es una gran avance, analizando tanto desde una perspectiva de equidad social como de impacto al medioambiente. Por otro lado también una gran ventaja de la micro turbina es su bajo costo de operación y mantenimiento.

El incentivo de PERMER para la aplicación de sistemas de generación a través de uso de energías renovables dará importantes soluciones a las comunidades aisladas, ayudándolas en el desarrollo de las actividades productivas y económicas, aumentando la rentabilidad del proyecto y mejorando la calidad de vida de la región.

Este trabajo pretende colaborar en la búsqueda de soluciones energéticas sustentables mostrando que se pueden desarrollar maquinas hidráulicas fáciles de construir y operar que pueda ser accesible a las comunidades que hoy se encuentran sin posibilidades de acceder a la electricidad.

Bibliografía

Benito, Diego (2010)- Diseño de una Turbina Kaplan para un caudal de 15m³/s y un salto neto de 10m - Universidad de Salamanca Escuela Politécnica Superior de Zamora.

Bohl, W (2008) - Technische stromungslehre wurzburg: Vogel industrie und mediem GmbH Co KG.

Góngora Valdivia, Carlos (2012) - Micro Turbinas para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Turbina Michell-Banki – Argentina. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales.

Leal, Andres (2013) – Estudio sobre Prefactibilidad en la instalación de una Microcentral Hidroelectrica en Lutti, Pctica supervisada para obtener el titulo de ingeniero civil - Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales.

Muguerza, Daniel (2014) - Micro Centrales Hidroeléctricas -

Ensinck, María Gabriela - Assefh, María del Pilar (2015). Día del Medioambiente: Energías Renovables, una deuda de la que no se habla. El Cronista 05/06/2015

Mataix, Claudio. 2009. Turbo máquinas Hidráulicas Turbinas Hidráulicas, Bombas y Ventiladores. España: Comillas.

Pérez, Piero - Grupo Generación Kaplan Tubular (2007)- Pontificia Universidad Católica del Perú

Polo Encinas, Manuel. 1976. Turbo máquinas Hidráulicas. Mexico: LIMUSA

Reep Secretaría de Energía - Fundación Bariloche junio 2009

Schweiger (1987) – Developments in desing of Kaplan turbines. Water power and dam construction.

Secretaría de Energía de la Nación (2004) - Descripción, desarrollo y perspectivas de las energías renovables en Argentina y el mundo.

Rosa Arjona Rivas (2011) – <http://cs1011rosaarjonarivas.blogspot.com.ar>

<http://cs1011rosaarjonarivas.blogspot.com.ar/2011/04/recursos-renovables-mas-importantes.html>

https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar

<https://es.wikipedia.org/wiki/Biomasa>

<http://solarproargentina.com/energia-solar-descripcion-general-detallada/>

http://www.infoleg.gov.ar/basehome/actos_gobierno/actosdegobierno21-12-2009-1.htm

http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/renovables/parques_eolicos.pdf

https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/contenidos_didacticos/publicaciones/EnergiasRenovables.pdf

<http://www.mendozapost.com/nota/20633-la-energia-geotermica-ya-se-aplica-en-un-edificio-publico-de-mendoza/>

<http://www.eve.eus/La-energia/Infografias/La-energia-minihidraulica/Energia-hidraulica.aspx>

http://www.unesa.net/unesa/html/sabereinvestigar/esquemas/imagenes_centrales/hidroelectrica.gif

https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_de_flujo_transversal

https://es.wikipedia.org/wiki/Energía_geotérmica

<http://www.consumer.es/web/es/bricolaje/electricidad/2004/04/15/98601.php>

https://www.solidworks.com/sw/docs/Student_WB_2011_ESP.pdf

<http://www.formacionprofesional.info/manuales-y-tutoriales-gratis-de-solidworks/>