

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
<b>Ejecutor 1</b>		
Nombre (s):	Wilmar Armando	
Apellido (s):	Londoño Fajardo	
Código:	20112375063	
E-mail:	<a href="mailto:wilmarlonfa10@hotmail.com">wilmarlonfa10@hotmail.com</a>	
Teléfono fijo:	(57+1) 571 48 17	
Celular:	(57) 312 581 06 97	
<b>Ejecutor 2</b>		
Nombre (s):	Luis Guillermo	
Apellido (s):	Real Quintero	
Código:	20112375029	
E-mail:	<a href="mailto:lgrealq@correo.udistrital.edu.co">lgrealq@correo.udistrital.edu.co</a>	
Teléfono fijo:	(57+1) 567 69 75	
Celular:	(57) 321 252 07 07	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE UTILIZAR UN TURBO COMPRESOR COMO TURBINA HIDRÁULICA EN UNA PICO CENTRAL	
Duración (estimada):	28 semanas	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Proyecto de investigación	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológico local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Conversión de energías y mecánica de fluidos.	
Grupo de Investigación:	GIDEAUD- SEA	
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Mecánica de fluidos, Máquinas Hidráulicas, Formulación y evaluación de proyectos	
INFORMACIÓN PASANTÍA		
Nombre de la empresa:		
Dirección:		
Teléfonos:		
Correo electrónico:		
Página Web:		
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)	Ing. Yisselle Acuña Hereira	
Proyecto de Pasantía: (Tutor) (Vo. Bo.)		
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)		

## TABLA DE CONTENIDO

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DEL PROYECTO DE GRADO .....	4
1.1	CONTEXTO MUNDIAL .....	4
1.2	CONTEXTO NACIONAL .....	5
1.3	CONTEXTO LOCAL.....	6
1.4	PROBLEMA .....	7
2	ESTADO DEL ARTE .....	8
2.1	TIPOS DE TURBINAS .....	9
2.2	BOMBAS TRABAJANDO COMO TURBINAS .....	9
3.	JUSTIFICACIÓN .....	10
4.	OBJETIVOS .....	10
4.1	OBJETIVO GENERAL. ....	10
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
5.	MARCO TEÓRICO.....	11
5.1	CICLO HIDROLÓGICO.....	11
5.2	MÁQUINA HIDRÁULICA.....	12
5.3	CENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	13
5.4	TURBINAS HIDRÁULICAS .....	14
5.5	CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS .....	14
5.6	ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA TURBINA HIDRÁULICA .....	18
6.	METODOLOGÍA.....	19
7.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	21
8.	PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN .....	22
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	24

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Velocidades específicas de las turbinas .....	16
Tabla 2. Cronograma de actividades .....	21
Tabla 3. Recurso Humano .....	22
Tabla 4. Gastos generales asociados al proyecto .....	22
Tabla 5. Otros gastos .....	23
Tabla 6. Estimación de Costos total.....	23

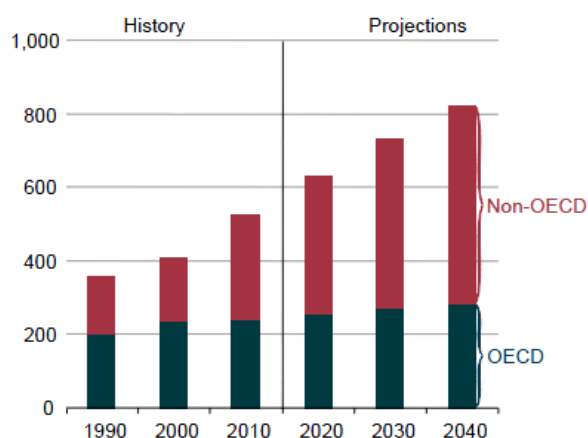
## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Consumo energético mundial del 1990 a 2040 en miles de billones de BTU .....	4
Figura 2. Ciclo hidrológico.....	12
Figura 3. Campos de acción en términos de caudal y salto de microturbinas .....	16
Figura 4. Tipos de turbinas .....	17
Figura 5. Esquema de la variación de la altura de presión.....	17
Figura 6. Superficie de corriente de una turbina radial .....	18

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DEL PROYECTO DE GRADO

### 1.1 CONTEXTO MUNDIAL

Durante el IEO 2013 se determinó que el consumo energético mundial pasará de 524 mil billones de BTU durante 2010 a 630 mil Billones de BTU en 2020 y posteriormente a 820 mil Billones de BTU en 2040, es decir se proyecta un aumento del 56% alrededor de 30 años [figura1]. Es importante resaltar que este crecimiento se hará aproximadamente en un 85 % en los países que hacen parte de la OCDE (**Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)**)<sup>1</sup>, impulsado por el fuerte crecimiento económico y poblacional. Por otro lado en las naciones miembros de OCDE tendrán un crecimiento más lento en el consumo energético y económico por ser naciones más maduras en el ámbito socio económico mundial con proyecciones esperadas de aproximadamente el 17%.



**Figura 1. Consumo energético mundial del 1990 a 2040 en miles de billones de BTU**  
Fuente: International Energy Outlook pag12 [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2013).pdf);

También se ha proyectado que el uso de energías renovables y de energía nuclear aumentara pero no en una proporción considerable para suplir la dependencia de los combustibles fósiles por lo tanto la principal fuente de energía seguirá siendo el petróleo. Pero teniendo en cuenta que la demanda del petróleo estará en constante aumento el precio del mismo también se incrementara y las proyecciones a futuro no son para nada alentadoras en términos de demanda y precio de venta.

El consumo de energía eléctrica ha presentado cambios considerables en cuanto a consumo se refiere mostrando un incremento grande en los últimos años teniendo en cuenta que la demanda energética en los países más industrializados ha llegado a estabilizarse, mientras que en las economías emergentes la demanda sigue creciendo y se proyecta que seguirá creciendo, mientras que en los países menos favorecidos la demanda crecerá pero será baja y seguirán las zonas no interconectadas a la red eléctrica. Hay que tener en cuenta que las principales fuentes de generación eléctrica siguen siendo los combustibles fósiles cuyo efectos ambientales están bien conocidos y causan tanto problemas, la energía nuclear es otra fuente de generación de electricidad pero esta es altamente peligrosa en su manejo trayendo consigo fuertes impactos ambientales como se pudo evidenciar en el terrible terremoto de Japón hace un par de años el cual genero fugas de material radiactivo en la planta de Fukushima, y la otra gran fuente de

<sup>1</sup> International Energy Outlook 2013 [online]. Washington DC, Julio 2013, [ visto 21 septiembre 2013] disponible en [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2013).pdf)

generación de energía eléctrica es por centrales hidroeléctricas la cual usa la energía que el agua tiene acumulada en gran cantidad por medio represas, pero estas también generan un impacto considerable en el ecosistema donde se realiza la presa.

Como solución eficiente que genera poco impacto ambiental y logra llevar energía eléctrica a zonas donde por su geografía es difícil hacer parte del sistema interconectado; se han desarrollado las denominadas pequeñas centrales hidroeléctricas las cuales aprovechan la energía que los ríos llevan en su cauce para poder transformarla en energía eléctrica bajo los mismos principios físicos que rigen a las de gran escala. Este tipo de soluciones no convencionales se han posicionado como una gran solución a la demanda energética sin afectar el entorno, entre los países que están investigando y llevando a cabo este tipo de proyectos están los latinoamericanos por su gran cantidad de este recurso.

## 1.2 CONTEXTO NACIONAL

Actualmente el desarrollo de una comunidad en actividades domésticas, productivas y comerciales, se ve fuertemente influenciadas por la energía eléctrica, con el propósito de mejorar las condiciones de vida y la necesidad de ser una fuente limpia que cuide y conserve el medio ambiente. Por tal motivo la energía eléctrica es considerada como un componente estratégico para el bienestar y el desarrollo del país.

<sup>2</sup>Para el Banco Mundial, Colombia es el cuarto país con más recursos hídricos con un caudal promedio de 66.440 m<sup>3</sup>/s, equivalente en términos generales a un volumen anual de 2.113 km<sup>3</sup> en un área total de 1.141.748 km<sup>2</sup>, teniendo en la región nororiental los menores volúmenes hídricos y la región Pacífico occidental los volúmenes más altos.

Alrededor de unos dos mil quinientos millones de habitantes en el planeta carecen del servicio de electricidad. En Colombia esta cifra es aproximada a 1 millón de habitantes por encontrarse en zonas de difícil acceso, por motivos geográficos, de seguridad o que financieramente serían inviables por no ser una economía de escala. Esta cifra se aproxima casi al 4% de la población colombiana y que ocuparía alrededor del 66% del territorio nacional, en donde el servicio de energía eléctrica se caracteriza por una baja cobertura, un número de horas reducido, baja confiabilidad y precios altos a usuarios con muy bajos niveles de ingresos. En estas zonas la generación convencional son principalmente plantas diesel con un promedio de 97 MW, pequeñas centrales hidroeléctricas que generan cerca de 5 MW y paneles solares fotovoltaicos que se acercan a los 120 KW.<sup>3</sup> Colombia es uno de los países con mayor número de recursos hídricos en el mundo. En donde la generación hidroeléctrica es y será una de las principales bases del sistema eléctrico nacional, el desarrollo de pequeñas centrales de generación son cada día más importantes en satisfacer la necesidad energética nacional. Debido a los bajos costos relacionados

---

<sup>2</sup>SIERRA VARGAS, Fabio E.; SIERRA ALARCON, Adriana. y GUERRERO FAJARDO, Carlos. Pequeñas y micro centrales hidroeléctricas: Alternativa real de generación. *En*: informador técnico (Colombia), Enero-Diciembre. 2011. Ed no 75. p 73-85. [online]. Bogotá, Noviembre 2011, [visto 10 septiembre 2013] disponible en [http://informadortecnico.senaastin.com/index.php/inf\\_tec/article/view/31](http://informadortecnico.senaastin.com/index.php/inf_tec/article/view/31)

<sup>3</sup> Generación hidráulica, fuente de energía y dínamo para las exportaciones [online]. Bogotá, Marzo 2013, [visto 21 septiembre 2013] disponible en: <http://www.colombiaenergia.com/node/111%20Consultada%20en%20septiembre%20de%202013#sthash.IPpBrviF.dpu>

con la implementación y mantenimiento, así como su eficiencia en condiciones de hidrología favorable, convierten a las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PHC) en una sólida alternativa en relación costo-eficiencia y bajo impacto ambiental. Según el Plan Energético Nacional (PEN) en estas centrales se ha estimado un potencial de 25.000 MW instalables y se han construido 197 PCHs, con una capacidad instalada de hasta 168,2 MW entre más de 150 proyectos. Esta es la tecnología no convencional con mayor participación en el país con casi el 76%.

Esta problemática de las comunidades rurales, apartadas energéticamente, deben ser abordadas de una manera sistemática, en el que se busque evaluar, seleccionar e implementar la mejor alternativa energética, generando propuestas que busquen complementar los sistemas tradicionales y sustituir las fuentes altamente contaminantes o poco eficientes. Que garanticen, soluciones sencillas, con un mínimo impacto ambiental, bajos costos de producción, distribución y en cantidades que satisfagan la creciente demanda energética que se genera con el desarrollo económico e industrial.

### **1.3 CONTEXTO LOCAL**

La universidad como institución educativa, debe incentivar a sus estudiantes a dar soluciones a las problemáticas existentes. Actualmente en la universidad se han creado semilleros, comunidades conformadas por estudiantes y profesores, con el propósito de crear una cultura científica e interdisciplinaria, dividiéndose en diferentes líneas de investigación, entre ellas el grupo GIEAUD (Grupo de investigación de energías alternativas) y SEA (Semillero de energías alternativas), Debido a que la tendencia actual es mejorar y concientizar el uso responsable de energía, para reducir el impacto generado en el planeta, se busca crear proyectos que fortalezcan los avances en el manejo y aprovechamiento de fuentes energéticas alternativas aplicadas a necesidades, y así fortalecer el aprovechamiento de recursos hídricos, el semillero ha incursionado en el desarrollo propuestas de transformación de energía hidroeléctrica, eficientes con bajo impacto ambiental, aportando así al crecimiento y desarrollo de los estudiantes con proyección social, generando ideas energéticas que buscan ser acogidas por la comunidad estudiantil y así fomentar el estudio de nuevas y mejores soluciones a las problemáticas presentes, es allí cuando incursiona en las hidroeléctricas a pequeña escala.

En la actualidad a nivel académico, la facultad no cuenta con las suficientes herramientas, para el estudio y la investigación de estas pico centrales hidráulicas. Es allí cuando se necesita aportar elementos que ayuden al fortalecimiento del medio universitario y promuevan, en el corto, mediano y largo plazo, acciones orientadas a facilitar a los estudiantes la comprensión y entendimiento en la generación de energía hidroeléctrica, y que de esta forma tengan la posibilidad de contrastar los conceptos teóricos con la práctica, facilitando su aprendizaje y motivando a seguir incursionando en esta rama, buscando beneficios que promuevan la innovación en el área de hidráulica y a desarrollar mejores prototipos que satisfagan las necesidades de la sociedad.

Gran cantidad de investigaciones y desarrollos en el sector energético se basan pequeñas centrales hidroeléctricas como las turbinas tipo Pelton y Michell Banki, muy conocidas por su funcionamiento sencillo, pero estos desarrollos tienen sus limitantes y comúnmente son basados en aspectos económicos; si se tiene en cuenta la visión de una implementación en comunidades apartadas del país; por ello es necesario indagar sobre más alternativas, que suplan las necesidades y sirvan como base de estudio y comparación; por ello se propone el desarrollo de una investigación para la generación de energía con elementos diferentes a los tradicionales, como fuente de innovación por parte de la universidad, que proponga evaluar la posibilidad de adaptar otros dispositivos para que cumplan la misma función de transformación de energía y resulten más viables, como sería la posibilidad de utilizar un turbo compresor de algunos automóviles de motores diesel, adaptándolo para que funcione como una turbina hidráulica, de

esta manera se pretende realizar un ejercicio de investigación, teniendo en cuenta y a rasgos generales que la geometría de la turbina de este equipo se asemeja a la geometría de una turbina hidráulica de reacción. Por este motivo se busca ver que tan factible es adaptar el turbo para esta aplicación en el que el medio de impulsión no sean los gases de escape de la combustión sino una caída de agua y ver si cumple la función de generar energía mecánica eficientemente para producir energía eléctrica a bajo costo y de fácil adquisición

#### **1.4 PROBLEMA**

Teniendo en cuenta la importancia de la energía hidroeléctrica en el país y la poca investigación frente a este tema por parte de la universidad y de la carrera de ingeniería mecánica, esto debido a la poca información disponible para el desarrollo de proyectos de este tipo dentro de la institución, además de la inexistencia de equipos que permitan la experimentación y faciliten el entendimiento de este proceso. Por estas razones se ha decidido por medio del semillero de energías alternativas SEA impulsar la investigación y desarrollo de propuestas para el aprovechamiento de este importante recurso en busca de soluciones más amigables con el medio ambiente, de esta manera contribuir primero para el desarrollo y crecimiento académico del proyecto curricular y toda la comunidad académica que hace parte de este, y en segundo lugar promover la continuidad de este tipo de investigaciones para la solución de alternativas que puedan llegar a favorecer a la comunidad, que es el deber de la universidad como institución de educación superior, comprometida con el progreso de país.

Una de las principales restricciones para el desarrollo de dicho proyecto se enfoca en la turbina misma, ya que al ser un prototipo pequeño, su fabricación se dificulta por su geometría misma, elevando los costos de adquisición; como parte de la posible solución se busca dispositivos ya hechos, cuya geometría sea similar y de esta manera se puede llegar a hacer una adaptación para evaluar el comportamiento de está con respecto a una turbina hidráulica real, como por ejemplo usar una parte de un turbocompresor para hacer la posterior adaptación y evaluación de la capacidad de transformación de energía.

Otra restricción de esto es la poca documentación existente en adaptaciones a otras aplicaciones, por este motivo al establecer un plan de desarrollo y llevar un registro escrito se puede iniciar una documentación de soporte para posibles investigaciones similares o una ampliación del alcance de este mismo proyecto.

En conclusión, para poder dar solución a los problemas propios de fabricar una turbina tradicional es necesario adaptar otro tipo de tecnología para que cumplan con la misma función, todo esto en marco del propósito general del grupo de investigación de generar soluciones energéticas sostenibles para las poblaciones del país, por ello el proceso de evaluación del uso de un turbocompresor busca ofrecer una alternativa como solución técnica y económica a los problemas propios de cada turbina comúnmente usada. Los resultados esperados al finalizar este proyecto no es solo de si es factible o no realizar este tipo de adaptaciones; si no además de compartir y dejar evidenciado el proceso que conlleva la investigación y evaluación de utilizar una tecnología nueva o adaptada, sirviendo como una herramienta de aprendizaje para la expansión y mejoramiento de toda la comunidad universitaria involucrada en este proceso.

## 2 ESTADO DEL ARTE

En el ejercicio de recolección y clasificación de la información relacionada con el tema de investigación y desarrollo al problema propuesto se ha encontrado que la principal fuente de información son las fuentes académicas es decir artículos, trabajos de grado, tesis, informes de investigación, entre otras. Debido a que este tema es de interés de todos y en especial los países que poseen buenas fuentes de recursos hídricos y con zonas donde el servicio de energía eléctrica no está conectado a la red es posible encontrar información relacionada al desarrollo del proyecto, pero hay que aclarar que la mayoría de las investigaciones y desarrollos están enfocados a unos tipos de turbinas y sistemas de generación específicos dejando la oportunidad de innovar en este campo adaptando otras tecnologías.

De las fuentes consultadas se puede concluir que se ha venido desarrollando constantemente dando criterios para la selección de información que se presentan a continuación entre los cuales están, los tipos de turbinas existentes, el desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas, las clases de turbinas frecuentemente utilizadas en este tipo de pequeñas centrales hidroeléctricas, la adaptación de máquinas hidráulicas como turbinas (uso de bombas como turbinas), los estudios de factibilidad para desarrollar un proyecto de este tipo, el impacto social, económico y ambiental que trae consigo la adecuación de estos proyectos en una comunidad, y entre otros como las fuentes escritas que generan el conocimiento básico para poder desarrollar más adelante el proyecto.

Son pocos los autores que han abordado estos temas o cuya información este publicada, ya que la mayor parte de este trabajo se lleva a cabo en las universidades y son temas que se están investigando actualmente, pero se puede destacar resultados interesantes y los campos donde se han enfocado:

- El trabajo de máquinas hidráulicas como turbinas, es decir la adecuación de bombas en especial bombas centrífugas para el uso como turbinas que generan energía eléctrica, esto debido a que las bombas hidráulicas son máquinas de fácil adquisición comercial y tienen gran diversidad en cuanto a tamaños, potencias, etc. Como resultados de estos tipos de investigación se puede decir que es un método muy viable sin decir que se ha logrado implementar en algunos sitios, además de económico y eficiente, resultando una gran alternativa para la satisfacción de ciertas necesidades específicas.
- La investigación y desarrollo de micro y pequeñas centrales hidroeléctricas aprovechando la energía que traen los ríos para evitar la construcción de represas de esta manera generar un menor impacto social y ambiental, utilizando turbinas hidráulicas tipo Pelton y Michell Banki que resultan eficientes para pequeños caudales y alturas.
- La investigación en viabilidad de este tipo de proyectos implementados en comunidades apartadas.

En Latinoamérica los países que más se destacan por este tipo de investigaciones se pueden nombrar Brasil, Perú, Argentina y Colombia que ha tratado de implementar este tipo pero no ha tenido buenos resultados aunque exista una legislación que fomenta el desarrollo e implementación de este tipo de máquinas para suplir las necesidades del país no está cerca de usar toda la capacidad hidráulica que tiene el territorio, se puede decir del artículo Pequeñas y



Micro Centrales Hidroeléctricas: Alternativa Real de Generación Eléctrica<sup>4</sup> que entre otras cosas expone el potencial que tiene el país en cuanto recursos hídricos, también nombra las zonas donde hay presencia de este tipo de tecnología y concluye con los beneficios que estos proyectos generan en las comunidades no interconectadas al sistema nacional de transmisión pero también dice que en los últimos años no se han generado innovaciones o cambios considerables de estos sistemas, es por eso la importancia de buscar nuevas alternativas y propuestas para la implementación de estos sistemas.

## 2.1 TIPOS DE TURBINAS

Para el aprovechamiento de la energía hidráulica se usan diversos tipos de equipos denominados turbinas hidráulicas son mecanismos capaces de transformar la energía potencial y cinética que tiene un cuerpo de agua que fluye a través de esta y la transforma en energía mecánica rotacional que pasa a un generador para producir la energía eléctrica, a gran escala es decir para las grandes centrales hidroeléctricas este tipo de turbinas están bien estudiadas y clasificadas dependiendo de varios factores, dando las bases suficientes para poder tener un buen criterio de selección según la necesidad del proyecto a ejecutar por parte del diseñador, para ello dentro de la documentación existen tablas y archivos que facilitan la este proceso, para la generación de pequeñas cantidades de energía eléctrica se pueden usar estos mismos tipos de turbinas siguiendo su principio físico solo que se hace a una escala reducida por las condiciones mismas del entorno, pero para poder tener criterios de selección que tipo de turbina es la más apropiada en este tipo de aplicaciones la documentación es muy limitada debido a que no se ha hecho la suficiente investigación de como las disminuciones de caudal y altura pueden afectar los equipos en términos de eficiencia y capacidad generadora.

Gran parte de los trabajos desarrollados tienen un enfoque en el estudio de micro centrales con dos tipos de turbinas específicas: de tipo Pelton y tipo Michell Banki, esto debido a que presentan buena eficiencia en bajos caudales y alturas cuando son construidas a escala pequeña, pero también se debe a la simplicidad de su geometría que resulta ser más factible cuando se construye.

## 2.2 BOMBAS TRABAJANDO COMO TURBINAS

Una de las posibles soluciones más investigadas y desarrolladas para el aprovechamiento del recurso hídrico para generación de energía eléctrica partiendo de otros equipos diferentes a las turbomáquinas, Audisio, Marchegiani y Kurtz<sup>5</sup> han investigado y experimentado en esta metodología haciendo una comparación teórica y evaluando estos resultados con la puesta a marcha de un banco de pruebas, para la evaluación teórica evaluaron los triángulos de velocidades e hicieron curvas de este conjunto trabajando como turbina, llegando a conclusiones contundentes de que el rendimiento de esta máquina funcionando como turbina es mejor al que ellos esperaban, esto es un buen punto de partida para el proyecto ya que también se pretende adaptar una máquina de flujo que tiene otra utilidad para la generación de energía, teniendo como posibilidad obtener resultados no esperados pero que pueden ser viables para la solución de

---

<sup>4</sup> SIERRA VARGAS, Fabio E.; SIERRA ALARCON, Adriana. y GUERRERO FAJARDO, Carlos. Pequeñas y micro centrales hidroeléctricas: Alternativa real de generación. En: informador técnico (Colombia), Enero-Diciembre. 2011. Ed no 75. p 73-85. [online]. Bogotá, Noviembre 2011, [visto 10 septiembre 2013] disponible en [http://informadortecnico.senaastin.com/index.php/inf\\_tec/article/view/31](http://informadortecnico.senaastin.com/index.php/inf_tec/article/view/31).

<sup>5</sup> AUDISIO, Orlando Aníbal; MARCHEGIANI, Ariel Ricardo; KURTZ, Victor Hugo. Bombas centrifugas operando como turbinas hidráulicas (1º PARTE). En: Revista PCH Notícias & SHP NEWS. Enero-Marzo. 2012. Ed no 52. p 26-31. [online]. [visto 7 de noviembre 2013] disponible en: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/arquivos/artigos/hidro-hydro-52-pag26a31.pdf>

necesidades, para ello se debe partir de relaciones empíricas el cual para el caso de la propuesta actual no existen datos por lo tanto es indispensable la construcción del prototipo y la posterior toma de datos para poder evaluar su rendimiento de esta manera obtener una conclusión más cercana a la realidad.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

En la formación del profesional egresado de la universidad Distrital hay una amplia especialidad de la tecnología vinculada a los procesos de transformación de la energía del flujo, es de gran valor durante la etapa de formación de los futuros profesionales, proporcionarles conocimientos suficientes para afianzar sus estudios teóricos, mediante prácticas de laboratorio, incrementando la eficiencia en su desenvolvimiento profesional y a la vez dotar a las instalaciones de herramientas para el análisis teórico, experimental y la combinación de ambas para plasmar en realidad las innumerables aplicaciones de las maquinas hidráulicas.

El futuro profesional de ingeniería debe tener el conocimiento y el criterio, para conocer el funcionamiento de un dispositivo y que posibilidad hay de poder adaptarlo a otra aplicación, dentro de este proyecto se busca proporcionar alternativas que suplan la necesidad de generar energía eléctrica, que cumpla el mismo propósito de una turbina hidráulica, pero que sea comercialmente más accesible y a un menor costo.

Se decide adaptar un turbo compresor por su funcionamiento similar a la de una turbina hidráulica, en el que se utiliza la energía del fluido para convertirlo en movimiento rotatorio de un eje, energía mecánica que sea aprovechada para adaptarlo a un generador.

Al realizar este proyecto se pretende crear un incentivo para la construcción en nuevos proyectos de este tipo, para el crecimiento de la carrera y el reconocimiento de la universidad como fuente de innovación y solución a problemáticas que el país tiene; cuando se habla del fomento al interior de la universidad es porque se propone dejar una serie de lineamientos y observaciones obtenidas a lo largo de la evaluación.

Con el estudio de este prototipo, se pretende en gran medida que dé a conocer su funcionamiento, eficiencia y limitaciones; que permitan establecer aplicaciones a las demandas energéticas que así lo requieran. Simulando el funcionamiento real de las turbinas con utilización del principio de semejanza al escalar el tamaño de estas, con el fin de aportar a la universidad para el apropiamiento de tecnología y poder cumplir con la labor social que como institución debe cumplir.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1 OBJETIVO GENERAL.**

Evaluar la factibilidad de utilizar un turbo compresor como turbina hidráulica para la generación de energía eléctrica en una pico-central hidráulica.

#### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un proceso de selección de turbo compresores y escoger el más apropiado para la adaptación como turbina hidráulica.
- Efectuar las adaptaciones y modificaciones necesarias al turbo para su funcionamiento como turbina hidráulica.

- Diseñar y construir un banco de pruebas adecuado para realizar pruebas al turbo compresor.
- Comparar el rendimiento del turbo compresor funcionando como turbina, con el rendimiento teórico de una turbina hidráulica en ese mismo rango de operación.
- Hacer un análisis de costos de fabricación y comparar con el costo de una turbina tradicional

## 5. MARCO TEÓRICO

<sup>6</sup> La energía hidroeléctrica es electricidad generada aprovechando la energía del agua en movimiento. La lluvia o el agua de deshielo, provenientes normalmente de colinas y montañas, crean arroyos y ríos que desembocan en el océano. La energía que generan esas corrientes de agua puede ser considerable y ampliamente utilizada. Se produce por el almacenamiento de agua en embalses y lagos a gran altitud. Si en un momento dado el agua se desplaza a un nivel inferior de altura, esta energía almacenada se transforma en energía cinética y luego en energía eléctrica al pasar por una central hidroeléctrica. Algunas ventajas de la energía hidráulica: es una fuente de energía verde, que no produce residuales y es fácil de almacenar. El agua almacenada en los embalses situados en la altura permite la regulación del flujo de los ríos. Algunas desventajas: construir centrales hidroeléctricas es un proceso largo y caro y que además requiere de grandes redes de cables de alimentación eléctrica. Los embalses también significan la pérdida de grandes áreas de suelo productivo y la fauna debido a la inundación de su hábitat. También causan una disminución en el flujo de los ríos y arroyos por debajo de la presa y pueden alterar la calidad de las aguas.

La energía hidráulica es una energía renovable, prácticamente gratuita y limpia. En la producción de electricidad sustituye a los combustibles de origen fósil y nuclear con todos los problemas de eliminación de desechos que traen consigo.

### 5.1 CICLO HIDROLÓGICO

Se denomina ciclo hidrológico al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea.

<sup>7</sup> El sol dirige el ciclo calentando el agua de los océanos. Parte de esta agua se evapora en vapor de agua. El hielo y la nieve pueden sublimar directamente en vapor de agua. Las corrientes de aire ascendentes toman el vapor de la atmósfera, junto con el agua de evapotranspiración, que es el agua procedente de las plantas y la evaporación del suelo. El vapor se eleva en el aire, donde las temperaturas más frías hacen que se condense en nubes. Las corrientes de aire mueven las nubes alrededor del globo. Las partículas de las nubes chocan, crecen y caen del cielo como precipitación. Algunas caen como precipitaciones de nieve y pueden acumularse como casquetes polares y glaciares, que almacenan el agua congelada durante miles de años. En climas más cálidos, los bloques de nieve a menudo se descongelan y se derriten cuando llega la primavera, y el agua derretida fluye por la tierra. La mayor parte de la precipitación cae sobre los océanos o la tierra, donde, debido a la gravedad, fluye sobre la superficie. Una parte de ese agua entra en los ríos a través de valles en el paisaje, y la corriente mueve el agua hacia los océanos. El agua

---

<sup>6</sup> Twenergy » Energía » Energía hidráulica [online]. Bogotá, 2013, [ visto 24 septiembre 2013] disponible en <http://twenergy.com/energia-hidraulica>

<sup>7</sup> Ciclo hidrológico [online]. [ visto 28 septiembre 2013] disponible en <http://www.ciclohidrologico.com/>

filtrada pasa a las aguas subterráneas, que se acumulan y son almacenadas como agua dulce en lagos. No toda el agua fluye por los ríos. La mayor parte de ella empapa la tierra como infiltración. Un poco de agua se infiltra profundamente en la tierra y rellena acuíferos (roca subsuperficial saturada), que almacenan cantidades enormes de agua dulce durante períodos largos del tiempo. Algunas infiltraciones permanecen cerca de la superficie de la tierra y pueden emerger, acabando como agua superficial. Algunas aguas subterráneas encuentran grietas en la tierra y emergen. Con el tiempo, el agua sigue fluyendo, para entrar de nuevo en el océano, donde el ciclo se renueva.

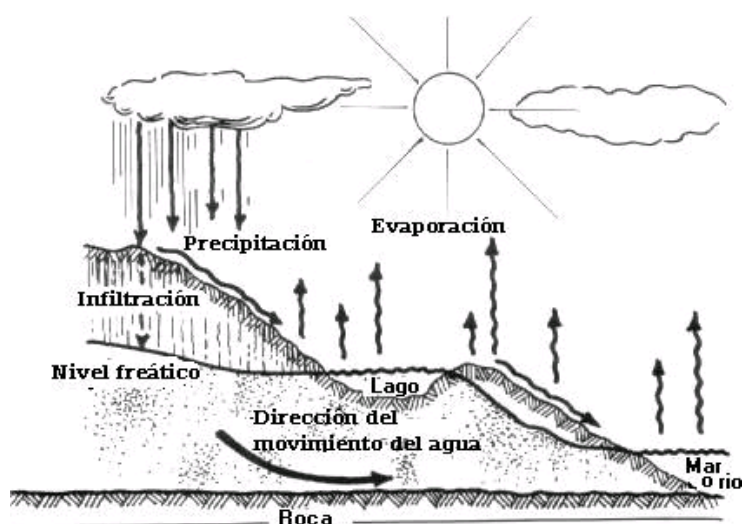


Figura 2. Ciclo hidrológico

Fuente: Elementos de Ecología, El Ciclo del Agua, <http://www.jmarcano.com/nociones/ciclo1.html>

## 5.2 MÁQUINA HIDRÁULICA.

La máquina hidráulica es un dispositivo cuya función es convertir energía hidráulica en energía mecánica; pueden ser motrices (turbinas), o generatrices (bombas), modificando la energía total de la vena fluida que las atraviesa. Esta se produce cuando, el agua intercambia energía con un dispositivo mecánico de revolución que gira alrededor de su eje de simetría; éste mecanismo lleva una o varias ruedas, (rodetes o rotores), provistas de álabes, de forma que entre ellos existen unos espacios libres o canales, por los que circula el agua. Por lo tanto la máquina hidráulica permite una transferencia energética, entre un fluido y un rotor.

<sup>8</sup>Una primera clasificación de las turbo máquinas hidráulicas, (de fluido incompresible), se puede hacer con arreglo a la función que desempeñan, en la forma siguiente:

a) Turbo máquinas motrices, que recogen la energía cedida por el fluido que las atraviesa, y la transforman en mecánica, pudiendo ser de dos tipos: dinámicas o cinéticas, turbinas y ruedas hidráulicas estáticas o de presión, celulares (paletas), de engranajes, helicoidales, etc.

b) Turbo máquinas generatrices, que aumentan la energía del fluido que las atraviesa bajo forma potencial, (aumento de presión), o cinética; la energía mecánica que consumen es suministrada por un motor, pudiendo ser:

<sup>8</sup> Turbinas hidráulicas, [on line]. [ visto 05 octubre 2013] disponible en [http://www.ing.una.py/pdf\\_material\\_apoyo/turbinas-hidraulicas.pdf](http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/turbinas-hidraulicas.pdf)

c) Bombas de álabes, entre las que se encuentran las bombas centrífugas y axiales hélices marinas, cuyo principio es diferente a las anteriores; proporcionan un empuje sobre la carena de un buque.

d) Turbo máquinas reversibles, tanto generatrices como motrices, que ejecutan una serie de funciones que quedan aseguradas, mediante un rotor específico. Siendo las más importantes: grupos turbina-bomba, utilizados en centrales eléctricas de acumulación por bombeo, grupos Bulbo, utilizados en la explotación de pequeños saltos y centrales mareomotrices.

e) Grupos de transmisión o acoplamiento, que son una combinación de máquinas motrices y generatrices, es decir, un acoplamiento (bomba-turbina), alimentadas en circuito cerrado por un fluido, en general aceite; a este grupo pertenecen los cambiadores de par. ([http://www.sitenordeste.com/mecanica/maquina\\_hidraulica.htm](http://www.sitenordeste.com/mecanica/maquina_hidraulica.htm))

Esto establece que la selección de máquinas para la producción de energía eléctrica está en función del aspecto técnico y de las características que más se ajusten al entorno, el costo, la logística y necesidad.

### 5.3 CENTRAL HIDROELÉCTRICA.

En una central hidroeléctrica se utiliza energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. Su evolución está fundamentada en el principio de la utilización de los antiguos molinos que aprovechaban la corriente de los ríos para mover una rueda.

La principal función de estas centrales es aprovechar la energía potencial gravitatoria que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como salto geodésico.

El agua en su caída entre dos niveles del cauce se hace pasar por una turbina hidráulica la cual transmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica. Por lo que, una central hidroeléctrica, en definitiva, es una instalación diseñada para aprovechar la energía que se genera mediante el movimiento del agua y transformarla en energía eléctrica.

Esto se logra construyendo represas o diques con saltos de agua, por lo general modificando algún curso de agua existente. Es habitual que, con la construcción de una central hidroeléctrica, se inunden terrenos enormes y se alteren los ecosistemas acuáticos.

Las PCH o pequeñas centrales hidroeléctricas son sistemas de generación con capacidad hasta de 10 MW que a partir de la energía del flujo de agua, sin necesidad de grandes represamientos, abastecen pequeños asentamientos humanos y tiene implementaciones en casi todo el mundo.

<sup>9</sup>La importancia de las pequeñas centrales hidroeléctricas, en la actualidad a nivel de; pico, micro y mini hidroeléctricas, surgen como alternativa de generación de energía eléctrica en las zonas rurales donde no llega una red de suministro de energía eléctrica, además del posible beneficio económico a su gran valor social y ecológico.

Un criterio utilizado para agrupar pequeños proyectos hidroeléctricos es el de la potencia de generación:

- Pico-Centrales Hidroeléctricas: hasta 5 kW
- Micro-Centrales Hidroeléctricas: de 5 a 100 kW
- Mini-Centrales Hidroeléctricas: de 100 a 1000 kW

---

<sup>9</sup> Manual de mini y micro centrales hidráulicas [on line]. [ visto 12 octubre 2013] disponible en <http://reca-corp.com/files/57897371.pdf>

- Grandes Centrales Hidroeléctricas: Su potencia supera los 5000 KW

#### 5.4 TURBINAS HIDRÁULICAS

Las turbomáquinas son aquellas máquinas de fluido en las cuales el intercambio de energía es debido a la variación del momento cinético del fluido al pasar por los conductos de un órgano que se mueve con movimiento de rotación, dotado de alabes o paletas, que se denomina rotor. Una corriente continua de fluido a través del rotor con el que intercambian su energía caracteriza a estas máquinas. Con más precisión se puede decir que una turbomáquina es aquella máquina de fluido cuyo funcionamiento se basa en la ecuación de

Euler o ecuación fundamental de las turbomáquinas. Según el sentido de la transmisión de la energía las turbomáquinas se clasifican en motoras y generadoras. En las turbomáquinas motoras el fluido cede energía al rodete, y en las turbinas generadoras el rodete cede energía al fluido. En las primeras la energía del fluido disminuye en su paso por la máquina; en las segundas aumenta. La turbina hidráulica es una turbomáquina motora ya que toma energía del fluido en movimiento para convertirla en energía mecánica que es utilizada para impulsar generadores eléctricos o algún otro dispositivo.

#### 5.5 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS

La turbina hidráulica es la encargada de transformar la energía mecánica en energía eléctrica, por esto es de vital importancia saber elegir la turbina adecuada para cada sistema hidroeléctrico.

<sup>10</sup>Las turbinas se pueden clasificar de varias maneras estas son:

1. Según la dirección en que entra el agua:
  - Turbinas axiales: el agua entra en el rodete en la dirección del eje.
  - Turbinas radiales: el agua entra en sentido radial, no obstante el agua puede salir en cualquier dirección.
2. De acuerdo al modo de obrar del agua:
  - Turbinas de chorro o de acción simple o directa.
  - Turbinas de sobrepresión o de reacción.
3. Según la dirección del eje:
  - Horizontales.
  - Verticales.

Las turbinas hidráulicas también pueden clasificarse en dos grandes grupos, turbinas de acción y turbinas de reacción. Las turbinas de acción son aquellas en las cuales el agua impacta en el álabe de la turbina a presión atmosférica; en este caso el agua es dirigida hacia los álabes a través de un eyector, que convierte la energía potencia del agua en energía mecánica a través de cambios de sección.

En las turbinas a reacción el agua llega a los álabes de la turbina a una presión superior a la presión atmosférica, pero también a una velocidad alta, es decir, su ingreso conlleva la introducción de energía cinética y energía potencial, que son transformadas por la turbina en energía mecánica y rotación.

<sup>11</sup>Las turbinas hidráulicas, según el grado de reacción, se clasifican en dos grupos: turbinas de acción y turbinas de reacción. El grado de reacción de una turbomáquina se refiere al modo como trabaja el rodete. Así, por ejemplo, en una bomba se debe distinguir la altura de presión que da la bomba y la altura de presión que da el rodete de la bomba,  $H_p$ . La primera normalmente es mayor

<sup>10</sup> Manual de mini y micro centrales hidráulicas [on line]. [ visto 12 octubre 2013] disponible en <http://reca-corp.com/files/57897371.pdf>

<sup>11</sup> Manual de mini y micro centrales hidráulicas [on line]. [ visto 12 octubre 2013] disponible en <http://reca-corp.com/files/57897371.pdf>

que  $H_p$  porque la bomba tiene además de un rodete un sistema difusor que transforma la energía dinámica que da el rodete,  $H_p$  en energía de presión, que sumada a la energía de presión del rodete constituye la energía de presión que da toda la bomba. Análogamente sucede en una turbina. Por tanto el grado de reacción está dado por:

Grado de reacción teórico

$$\sigma = \frac{H_p}{H_u}$$

Es decir, el cociente de la altura que absorbe el rodete en forma de presión por la altura total que absorbe el rodete.

Siendo siempre  $H_u$  positivo:

- Si  $H_p < 0$ , el grado de reacción es negativo;
- Si  $H_p = 0$ , el grado de reacción es 0;
- Si  $0 < H_p < H_u$  el grado de reacción está comprendido entre 0 y 1, que es el caso normal;
- Si  $H_p > H_u$ , el grado de reacción es mayor que 1.

Las máquinas en que el grado de reacción es igual a cero se llaman de acción. Las turbinas de acción constituyen la clase importante de las turbinas Pelton. Si el rodete absorbe la mitad de su energía en forma de presión y la otra mitad en energía dinámica, el grado de reacción es igual a  $\frac{1}{2}$ .

El grado de reacción se define como:

$$G_R = \frac{E(\text{estatica})}{E}$$

Siendo  $E$  la energía transferida a la turbina.

Uno de los principales criterios que se deben manejar a la hora de seleccionar el tipo de turbina a utilizar en una central, es la velocidad específica ( $N_s$ ) cuyo valor exacto se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$N_s = \frac{n_e}{h} \sqrt{\frac{N}{\sqrt{h}}} = \frac{n_e \sqrt{N}}{h^{3/4}}$$

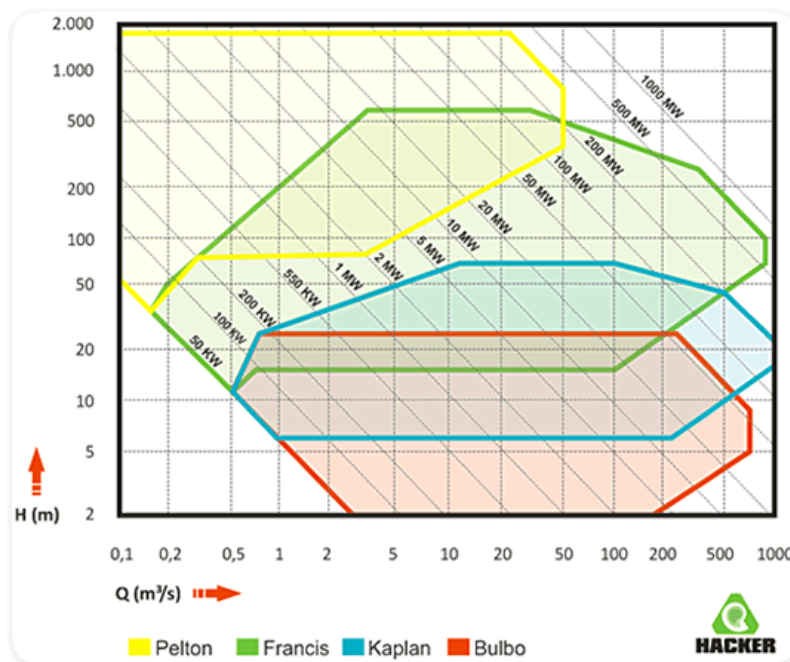
Dónde:

**$n_e$**  son revoluciones por minuto,  **$N$**  es la potencia del eje o potencia al freno y  **$h$**  es la altura neta o altura del salto. Estos son los valores para el rendimiento máximo.

La velocidad específica  $N_s$  es el número de revoluciones que daría una turbina semejante a la que se trata de buscar y que entrega una potencia de un caballo, al ser instalada en un salto de altura unitaria. Esta velocidad específica, rige el estudio comparativo de la velocidad de las turbinas, y es la base para su clasificación. Se emplea en la elección de la turbina más adecuada, para un caudal y altura conocidos, en los anteproyectos de instalaciones hidráulicas, consiguiendo una normalización en la construcción de rodetes de turbinas. Los valores de esta velocidad específica para los actuales tipos de turbinas que hoy en día se construyen con mayor frecuencia (Pelton, Francis, Hélices y Kaplan) figuran en el siguiente cuadro:

**Tabla 1. Velocidades específicas de las turbinas**

<i>Velocidad específica <math>N_s</math></i>	<i>Tipo de Turbina</i>
De 5 a 30	Pelton con un inyector
De 30 a 50	Pelton con varios inyectores
De 50 a 100	Francis lenta
De 100 a 200	Francis normal
De 200 a 300	Francis rápida
De 300 a 500	Francis doble gemela rápida o express
Más de 500	Kaplan o hélice



**Figura 3. Campos de acción en términos de caudal y salto de micro y mini turbinas hidráulicas**

Fuente: [http://www.hacker.ind.br/esp/produtos\\_turbinas\\_hidraulicas.php](http://www.hacker.ind.br/esp/produtos_turbinas_hidraulicas.php)





Figura 4. Tipos de turbinas

Fuente: [http://www.hacker.ind.br/esp/productos\\_turbinas\\_hidraulicas.php](http://www.hacker.ind.br/esp/productos_turbinas_hidraulicas.php)

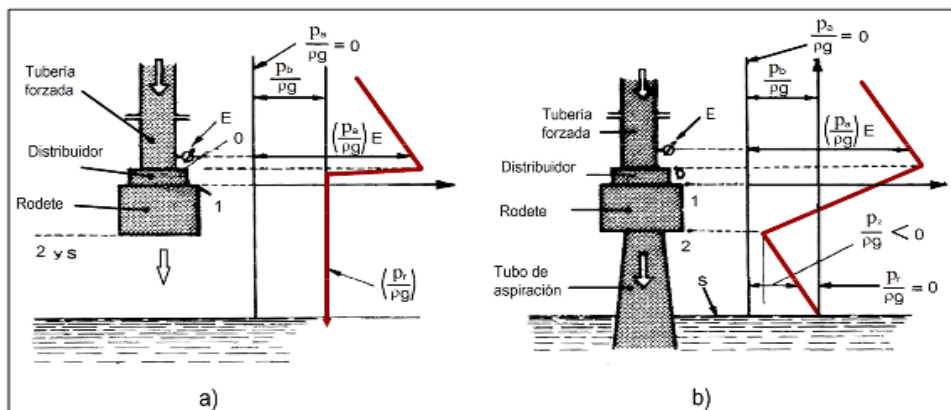


Figura 5. Esquema de la variación de la altura de presión: a) en las turbinas de acción; b) en reacción

Fuente: Mataix, 2009.

Dónde:

- $E$  Entrada a la turbina
- $O$  Entrada en el distribuidor
- $1$  Entrada en el rotor
- $2$  Salida del rotor
- $S$  Salida de la turbina
- $P_a$  Presión absoluta
- $P_b$  Presión barométrica
- $P_r$  Presión relativa

Si el grado de reacción es 0, la turbina se llama de acción. Si el grado de reacción es distinto de 0, la turbina se llama de reacción.

El grado de reacción de una turbina ET se define así;

$$ET = \text{altura de presión absorbida por el rodete} / \text{altura total absorbida por el rodete}$$

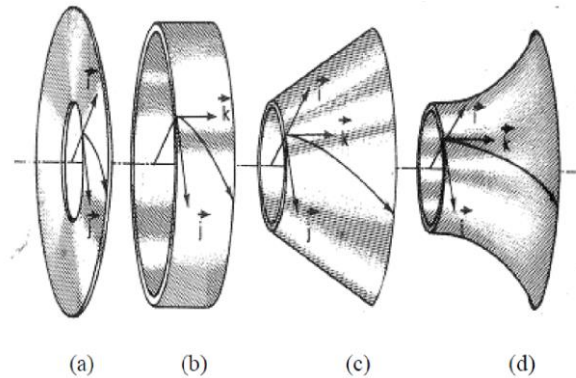
El rodete, en el que tiene lugar el intercambio de energía mecánica y de fluido es el órgano principal de una turbina hidráulica. Consta de un cierto número de paletas o alabes, que dividen el espacio total ocupado por el mismo en conductos iguales, por donde circula el fluido de trabajo, que llena total (máquinas de admisión total) o parcialmente (máquinas de admisión parcial) el rodete experimentando una variación de su momento cinético.

Según la dirección del flujo en el rodete las turbomáquinas hidráulicas se clasifican en radiales, axiales y diagonales.

En las turbomáquinas radiales toda partícula de flujo recorre en el rodete una trayectoria situada en un plano transversal al eje de las turbomáquinas.

En las turbomáquinas axiales toda la partícula de fluido recorre en el rodete una trayectoria situada en un cilindro coaxial con el eje de la máquina.

En las turbomáquinas diagonales toda partícula de fluido recorre en el rodete una trayectoria situada en una superficie cónica o en una superficie cualquiera de revolución no desarrollable.



**Figura 6. Superficie de corriente; a) de una turbina radial; b) de una turbina axial; c) de una turbina diagonal cónica; d) de una turbina diagonal.**  
Fuente: Mataix, 2009.

## 5.6 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA TURBINA HIDRÁULICA

<sup>12</sup>Una turbina hidráulica elemental o monocelular tiene, básicamente, una serie de alabes fijos (distribuidor) y otra de alabes móviles (rueda, rodete o rotor). La asociación de un órgano fijo y una rueda móvil constituye una célula.

Una turbomáquina monocelular se compone de tres órganos diferentes que el fluido atraviesa en orden, los cuales son: distribuidor, rodete y difusor.

El distribuidor y el difusor (tubo de aspiración) forman parte del estator de la máquina, es decir, son órganos fijos. Así como el rodete está siempre presente, el distribuidor y el difusor pueden ser, en determinadas turbinas, inexistentes.

El distribuidor es un órgano fijo cuya función es dirigir el agua desde la sección de entrada de la máquina hacia la entrada del rodete, distribuyéndola alrededor del mismo (en el caso de turbinas de admisión total) o a una parte (caso de turbinas de admisión parcial), es decir, permite regular el agua que entra a la turbina, desde cerrar el paso totalmente (caudal cero) hasta lograr el caudal máximo. Es también un órgano que transforma la energía de presión en energía cinética.

En las turbinas helico-centrípetas y en las axiales esta precedido de una cámara espiral (voluta) que conduce el agua desde la sección de entrada, asegurando un reparto equitativo de la misma en la superficie de entrada del distribuidor.

El rodete es el elemento esencial de la turbina. Está provisto de alabes en los que tiene lugar la transformación de la energía cinética y potencial del agua en energía mecánica que pasa por medio de un acople directo o indirecto al generador, para transformarla en energía eléctrica.

- Tipos de Generadores empleados en Sistemas de Picogeneración

Dentro de la Picogeneración hidráulica existen los siguientes tipos de generadores:

<sup>12</sup> Manual de mini y micro centrales hidráulicas [on line]. [ visto 12 octubre 2013] disponible en <http://reca-corp.com/files/57897371.pdf>

- Generadores Síncrono, 2f, 3f, 60 Hz, CA, 110V / 220 V
- Generadores de Inducción o asíncrono, 2f, 3f, 60 Hz , CA, 110V / 220 V
- Generador Automotriz CC 12V / 24 V / 48V.

- Generador Síncrono

13El generador síncrono es la máquina de uso prioritario en las unidades de generación. Con el tiempo ha tenido una gran evolución en su análisis, magnitud de potencia, y métodos de enfriamiento; sin embargo la estructura básica sigue siendo la misma que fue introducida en el siglo pasado (8)

El generador síncrono tiene el bobinado de campo excitado por corriente CD y la tensión desarrollada de la armadura es alterna, de ahí que también se denomina alternador.

La frecuencia de la tensión de salida es la sincrónica, la forma de onda puede tomarse como senoidal y por acomodo de las bobinas de armadura dará lugar a una o más fases.

La velocidad de giro de la máquina, permanece invariable y origina en la corriente alterna la frecuencia síncrona normalizada. Las frecuencias normalizadas son 50 Hz y 60 Hz., las velocidades sincrónicas deducibles de la frecuencia f y el número de polos p de la máquina.

$$n_s (RPM) = \frac{120 * f(Hz)}{p}$$

## 6. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la metodología se desarrollara una fase previa de documentación en la cual el objetivo principal es conocer el estado actual de este tipo de tecnología en el país y que otras instituciones han desarrollado proyectos similares de esta manera poder un punto de partida, en caso contrario la búsqueda se enfocara a nivel Latinoamérica para ello se usara el internet como fuente principal de recolección, luego de tener una profundización considerable en el tema se tendrá en cuenta que para el desarrollo este proyecto se asume una metodología la cual cumplirá con varias etapas:

- 1) Recolección de toda la bibliografía básica sobre el tema: se realiza una búsqueda extensa de bibliografía y de referencias sobre los temas que permiten contener de manera amplia y suficiente los temas de interés para el desarrollo del trabajo. En esta etapa se realiza la identificación clara y precisa de cada fuente a partir de datos incluidos en la publicación o en la base de datos de donde proviene.
- 2) Lectura rápida del material: Se hace una selección de la documentación definitiva que servirá de referente conceptual y se escogen los archivos más importantes, para ubicar ideas, reconocer el terreno e identificar los argumentos de mayor calidad después de una indagación bibliográfica.
- 3) Organización definitiva de la información: Con el material que se tiene se realiza una organización de la información para saber si faltan datos esenciales, se hace de acuerdo con el último esquema de trabajo, ya cuando esté organizada se puede enumerar por categorías para no alterar cualquier orden preestablecido.

<sup>13</sup> Manual de mini y micro centrales hidráulicas [on line]. [ visto 12 octubre 2013] disponible en <http://reca-corp.com/files/57897371.pdf>

- 4) Se hace un proceso de preselección del turbo compresor a utilizar definiendo que ventajas y desventajas tiene cada uno de ellos en el posterior proceso de fabricación del banco de pruebas, teniendo en cuenta todas las variables involucradas en el proceso de diseño.
- 5) Se iniciara con la etapa de cálculos para el diseño y/o selección elementos involucrados para la fabricación del banco. Esta etapa involucra todo lo relacionado con el diseño para una posterior fabricación.
- 6) Se procederá a definir qué elementos de la máquina deben ser fabricados y cuales comprados para hacer su cotización y adquisición.
- 7) Se inicia la fabricación del banco, tomando evidencias para posterior uso.
- 8) Terminada la fabricación se procede a hacer pruebas y tomar mediciones de todas las variables involucradas incluyendo las de salida.
- 9) Redacción del trabajo (Redacción final): Una vez terminado el borrador se procede a la redacción final. El objetivo es claro, comunicar con la mayor claridad y coherencia posible, los resultados, comprobaciones o reflexiones logradas a través del proceso de investigación.
- 10) Informar los resultados obtenidos e incentivar a la continuación de la investigación tomando como punto de partida lo ya realizado.

## 7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 2. Cronograma de actividades

		Cronograma							
FASE	ACTIVIDAD	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8
<b>Fase Inicial</b>	Búsqueda de información relacionada con el tema.	■	■						
<b>Fase de Sistematización</b>	Selección de la documentación definitiva que servirá de referente conceptual y se escogen los archivos más importantes, para la fabricación de la picocentral hidráulica	■	■						
	Organización definitiva de la información		■	■					
	Cotización de materiales a adquirir			■	■				
<b>Fase de Diseño</b>	Cálculos para el diseño y/o selección elementos involucrados para la fabricación del banco.		■	■					
	Selección de elementos para la fabricación del banco		■	■					
	Recalcular diseño con los elementos seleccionados			■	■				
<b>Fase de análisis</b>	Adquisición y Ensamble preliminar			■	■				
	Identificar de fallas y corrección			■	■				
	Pruebas				■	■			
<b>Fase de organización de la información</b>	Toma de datos				■	■			
	Revisión de los resultados					■	■		
	Organización definitiva de los resultados.						■	■	
<b>Fase final</b>	Pruebas y análisis finales.							■	■
	Redacción final del trabajo.								■

## 8. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

Tabla 3. Recurso Humano

Mano de obra					
Descripción	Cantidad de personas	Dedicación semanal	Tiempo Total	Valor Hora	Costo personal
	Número	Horas	Horas	Pesos	Pesos
Autores del proyecto	2	8	224	\$ 3.400	\$ 1.523.200
Director o tutor (interno)	1	2	56	0	\$ 0
Director o tutor (externo)					
Apoyo técnico					
Apoyo administrativo					
Asesor					
Carga Prestacional	51,30%				\$ 781.402
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 2.304.602</b>

Tabla 4. Gastos generales asociados al proyecto

Gastos Generales asociados al proyecto				
Generales	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Total
Materiales Requeridos	Global	1	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000
Dotación de seguridad	Global	1	\$ 70.000	\$ 70.000
Herramientas	Global	1	\$ 180.000	\$ 180.000
Alquiler de herramientas	Global	1	\$ 160.000	\$ 160.000
Subcontratos	Global	1	\$ 350.000	\$ 350.000
Consumibles	Global	1	\$ 200.000	\$ 200.000
Trasportes	Global	1	\$ 260.000	\$ 260.000
Otros	Global	1	\$ 80.000	\$ 80.000
Subtotal				\$ 2.500.000
Imprevistos	10%	1	\$ 250.000	\$ 250.000
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 2.750.000</b>

**Tabla 5. Otros gastos**

<b>Otros gastos Asociados al proyecto</b>				
<b>Generales</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Total</b>
<b>Fotocopias</b>	Hoja	280	\$ 50	\$ 14.000
<b>Impresión documentos</b>	Hoja	200	\$ 100	\$ 20.000
<b>Trasportes</b>	Unidad	26	\$ 1.450	\$ 37.700
<b>Llamadas</b>	Minuto	50	\$ 150	\$ 7.500
<b>Suministros de oficina</b>	kW/h	560	\$ 350	\$ 196.000
<b>Varios</b>	Global	1	\$ 80.000	\$ 80.000
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 355.200</b>

**Tabla 6. Estimación de Costos total**

<b>Estimación de Costos Total</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Valor unitario</b>
Materiales	\$ 1.200.000
Insumos	\$ 1.257.500
Mano de Obra	\$ 2.304.602
Transporte	\$ 297.700
Subcontratos	\$ 350.000
<b>Total</b>	<b>\$ 5.409.802</b>

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

- 1) ORTIZ, R. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Bogotá: McGraw-Hill, 2001.
- 2) RIOFRÍO, P. Micro Hidroenergía. Riobamba: Docucentro, 2007.
- 3) MATAIX, C. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. 2da.ed. México: Editorial del Castillo, 1982.
- 4) MOTT, R. Mecánica de fluidos. 4ta.ed. México: Prentice Hall Hispanoamérica S.A, 1994.
- 5) ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA (OLADE). Lineamientos Generales para el Desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 4ta.ed. Quito: OLADE, 1981.
- 6) CÓRDOBA, M. Formulación y Evaluación de Proyectos. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2006