

DISEÑO DE UNA TURBINA BANKI PARA LA RECOLECCIÓN DE AGUAS Y
GENERACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PROPIEDAD AGRÍCOLA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
INGENIERÍA MECATRÓNICA. CICLO – II
TECNOLOGÍA EN MECATRÓNICA

DISEÑO DE UNA TURBINA BANKI PARA LA RECOLECCIÓN DE AGUAS Y
GENERACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PROPIEDAD AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

LUISA MARÍA ACEVEDO QUINTERO
JUAN SEBASTIAN LÓPEZ
SEBASTIAN SÁNCHEZ GUEVARA

DIRIGIDO POR:

ING. EDGAR SALAZAR MARIN

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
INGENIERÍA MECATRÓNICA. CICLO – II
TECNOLOGÍA EN MECATRÓNICA

DEDICATORIA

A Dios,

Por darme la fortaleza, la humildad y la determinación de alcanzar todas mis metas, además por permitirme culminar un proceso más de mi vida.

A mis padres,

De quienes he recibido constantemente el apoyo necesario para nunca decaer durante mi proceso de crecimiento personal, espiritual y académico.

Luisa María Acevedo Quintero

DEDICATORIA

A mis padres,

Por darme la oportunidad de adquirir conocimientos nuevos, por expresarme su apoyo que ha sido de vital importancia en los momentos que he sentido desfallecer.

A mi familia,

Por el cariño recibido en cada paso de mi vida, por su apoyo incondicional y por el inmenso amor que de ellos recibo.

A Dios,

Por la oportunidad de vivir y siempre contar con la suerte de que nada me falta.

Sebastián Sánchez Guevara

DEDICATORIA

A mi familia,

Gracias por siempre enseñarme a afrontar los retos con la fortaleza y humildad necesarios.

A mis compañeros,

Por el apoyo, sin ellos no hubiésemos sacado este proyecto adelante.

A Dios,

Por siempre ser el proveedor de tranquilidad en todas las situaciones complicadas.

Juan Sebastian López Giraldo

“Llegara una época en la que nuestros descendiente se asombraran de que ignoramos cosas que para ellos son tan claras...”

- Séneca.

ÍNDICE

1. RESUMEN	15
2. INTRODUCCION	16
3. TURBINA BANKI	18
3.1. HISTORIA DE LA TURBINA BANKI.....	18
..... ¡Error! Marcador no definido.	
3.1.1. LA TURBINA BANKI EN COLOMBIA	19
3.2. DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES DE LA TURBINA.....	21
3.2.1. Rodete.....	21
3.2.2. Distribuidor	21
3.2.3. Carcasa	21
3.2.4. Tubo de aspiración.....	21
3.3. CARACTERISTICAS DE LA TURBINA.....	22
4. NORMAS.....	24
5. PROCESO DE DISEÑO DE LA TURBINA BANKI	26
5.1. LUGAR DE APLICACIÓN.....	26
5.2. CARACTERÍSTICAS DE SELECCIÓN	27
5.3. CALCULOS MATEMATICOS	29
5.3.1. Altura.....	30
5.3.2. Caudal.....	31
5.3.3. Potencia generado por el agua	33
5.3.4. Selección del diámetro y velocidad de giro	34
5.3.5. Conceptos para el diseño de los alabes del rotor	35
5.3.6. Número de álabes del rotor.....	36
5.3.7. Selección del inyector	37
5.3.8. Eficiencias y rendimiento.....	38
5.4. DISEÑO POR COMPUTADORA.....	40

5.4.1. Inyector	40
5.4.2. Álabe	43
5.4.3. Ensamblaje turbina Banki.....	46
6. SISTEMA DE GENERACION DE ENERGÍA.....	49
6.1. GENERACIÓN EN COLOMBIA.....	52
7. SISTEMA DE RECOLECCION.....	53
8. CONCLUSIONES.....	55
8.1. Conclusiones y recomendaciones.....	55
8.1.1. Conclusiones y recomendaciones del modelo matemático.....	56
8.1.2. Comentarios y sugerencias.....	57
9. BIBLIOGRAFIA	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Rueda Hidráulica	19
Figura 2. Partes de una turbina Banki.....	22
Figura 3. Río Otún.....	26
Figura 4. Nacimiento de agua	27
Figura 5. Comportamiento de una turbina con respecto a su caudal.....	28
Figura 6. Comportamiento de los álabes según la presión de trabajo	29
Figura 7. Forma rudimentaria de medir la altura	31
Figura 8. Caudalímetro artesanal.....	32
Figura 9. Factor de fricción para el flujo en tuberías	33
Figura 10. Triángulos de definición del grosor	35
Figura 11. Curvatura de rendimiento.....	39
Figura 12. Ángulo de salida negativo.....	40
Figura 13. Ángulo de salida positivo	41
Figura 14. Curvatura del inyector.....	41
Figura 15. Ensamblaje del inyector.....	42
Figura 16. Ángulo de salida negativo.....	44
Figura 17. Ángulo de salida positivo	44
Figura 18. Curvatura de la turbina	46
Figura 19. Ensamble de la turbina	47
Figura 20. Listado de componentes.....	47
Figura 21. Alternador	50
Figura 22. Generación en Colombia	52
Figura 23. Bomba más turbina Banki.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Turbinas Banki en Colombia.....	20
Tabla 2.Caudal con respecto al tiempo	32
Tabla 3.. Parámetros característicos de diferentes investigaciones.....	37
Tabla 4. Ángulos característicos del rotor (Instituto Nacional de Energía, 1986). ...	37

SIGLAS

PUE	Portal de la Unión Europea
ISA	Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P
SINA	Sistema Nacional Ambiental
EIA	Administración de Información de Energía
CAD	Diseño asistido por computadora
INE	Instituto Nacional de Energía

SIMBOLOGÍA

A_a	Área de admisión al rotor
α	Ángulo entre el vector de la velocidad tangencial y absoluta del fluido.
β	Ángulo entre el vector de la velocidad tangencial y relativa del fluido.
B	Ancho del rotor.
C_1	Velocidad absoluta
C_m	Componente de la velocidad absoluta en dirección mediana.
C	Constante de Torbellino.
D	Diámetro externo del rotor.
D	Diámetro interno del rotor.
e	Espesor de un álabe.
g	Constante gravitatoria.
Q	Caudal
H	Altura bruta
H_n	Altura neta
H_1	Altura neta sobre la turbina
H_2	Altura neta bajo la turbina
H_v	Perdida de altura
h	Altura de la turbina
Z_p	Pérdida de carga.
K_c	Constante de velocidad del inyector.
L_a	Arco de admisión del inyector.

L_A	Longitud de un álabe.
L_{eq}	Longitudes equivalentes
ζ	Ángulo entre la fuerza hidráulica sobre el álabe y la dirección horizontal.
F_r	Frecuencia de giro de la turbina.
N_s	Velocidad específica.
Θ_a	Ángulo de admisión en el inyector.
Θ	Ángulo de la envolvente en un punto cualquiera
R	Radio del rotor.
T_Θ	Radio de curvatura envolvente del inyector.
R_c	Radio de curvatura del inyector.
ω	Velocidad de giro. Velocidad angular
Z	Número de álabes.
η_h	Rendimiento hidráulico
\dot{W}	Potencia
C_v	Coefficiente de velocidad
γ	Peso específico
N_s	Velocidad del sistema
$N_q - N_r$	Velocidad del rotor
$K_i - k_f$	Resistencia o pérdidas por tuberías
Re	Número de Reynolds
ρ	Densidad
f	Factor de fricción
f_s	Frecuencia de sincronismo

ABREVIATURA

[m/s]	Velocidad: metros por segundo
[m]	Radio, Diámetro, Altura: metros
[cm]	Centímetros
[plg]	Pulgadas
[m ³ /s]	Caudal: metro cubico por segundo
[°]	Ángulo
[RPM]	Revoluciones por minuto
[rad/s]	Radianes sobre segundo
[Hp]	Caballos fuerza (Horse Power)
[W]	Watts
[KW]	Kilo Watts
[N/m ³]	Peso específico: Masa por unidad de volumen
[N]	Newton
[s]	Segundos
[L]	Litros
[lb]	Libras
[Km]	Kilómetros
[Kg / m ³]	Densidad

1. RESUMEN

Este proyecto va enfocado en el diseño de prototipos utilizando software como Solidworks con el propósito de utilizar recursos naturales siendo el agua un elemento principal, con el cual se genera energía mecánica para así hacer la conversión a energía eléctrica. De esta manera utilizamos como principio las energías renovables.

El concepto de energías renovables es bastante controversial dado que el agua es un recurso que tarda mucho tiempo en renovarse y adicional a esto inciden algunos factores. Un factor importante es la sobrepoblación, que genera impactos directos, entre estos la contaminación ambiental, consumo energético excesivo y mayor consumo de agua potable. Pero al tomar el concepto de filo de agua en nuestra turbina aplicamos un menor impacto ambiental al cauce del río, aun así generando la suficiente potencia mecánica para el uso del generador. Dando como resultado generación de energía más amigable con el ambiente.

Como resultado a la idea, durante el proceso de elaboración del proyecto se manejan diversos parámetros tanto en la selección del lugar como un ejemplo de aplicación del sistema a diseñar, proporcionando ideas para utilizar energías renovables en la generación de energía y la recolección de agua, para finalmente ser aplicados en propiedades agrícolas.

Esta idea se empleó bajo diversos estándares no solo de diseño, sino de proyección a largo plazo en el desarrollo del prototipo y así ser aplicarlo para cubrir las necesidades que día a día enfrenta un propietario de una finca o hacienda agrícola con las variaciones económicas y climáticas que allí ocurran.

2. INTRODUCCIÓN

Al plantear diversas ideas de cómo utilizar energías renovables y cuál es la más viable o eficiente dependiendo la propiedad o lugar en donde se vaya a implementar, se desarrolló el proyecto de diseño de la turbina Banki.

Desde el inicio de la agricultura, los propietarios de fincas o haciendas han observado dificultades para la producción agrícola, dentro de las principales se encuentra la recolección de agua que sirve para efectuar el riego en los cultivos.

Actualmente los agricultores se encuentran en una encrucijada con el acueducto que surte las fincas en el país, este en su mayoría es proporcionado por el comité de cafeteros de Colombia pues se hace inminente la posibilidad de potabilizar el agua del acueducto para las fincas. Esto arroja como consecuencia que el precio del agua pueda hasta triplicarse, haciendo aún más evidente la necesidad de utilizar el agua de las cañadas, pozos y recolección por lluvia de manera eficiente y a bajo costo además de esto generando el menor impacto ambiental posible abriendo paso a los sistemas auto sostenibles y amigables con el medio.

En el país se han planteado proyectos que pueden ayudar a facilitar algunas de las problemáticas que se presentan en estas propiedades. Dentro de los proyectos planteados se encuentra uno realizado en la ciudad de Medellín, Colombia con la aplicación de turbina Banki¹ y cuya idea es concientizar a las personas sobre su funcionamiento.

No obstante, grandes demostraciones de conocimiento suministrado por diversos investigadores y desarrolladores a lo largo de los años han efectuado diferentes ideas de generar energía poco convencional. Dado esto que desde un principio se plante la filosofía dispuesta por el portal de la unión europea donde dispone el siguiente argumento:

“Todos damos por sentado el suministro de energía. La escasez de combustibles y los cortes de electricidad son sólo raros, aunque oportunos, recordatorios de que la energía es fundamental para el transporte, el calentamiento o la refrigeración de

¹ (Gómez Gómez, y otros, 2008)

nuestros hogares en invierno o verano, y el funcionamiento de nuestras fábricas, explotaciones agrícolas y oficinas. Sin embargo, muchos recursos son infinitos y, además, el consumo de energía es, en general, una fuente de contaminación. El desarrollo sostenible exige utilizar menos combustibles fósiles de forma más inteligente y desarrollar alternativas” - PUE (19)

Sin embargo, se enfrentan a diversas problemáticas en económicas ya que los combustibles fósiles generan grandes inversiones y ganancias para los países desarrollados o potencias mundiales dejando gran parte de los territorios con enormes dificultades para avanzar tecnológicamente o simplemente no llegar a decaer en las bolsa económica que allí se encuentren.

Dado al raciocinio anterior y a las problemáticas enfrentadas día tras día, se dio a la labor de emprender un diseño de una turbina de flujo transversal para así demostrar las variaciones de funcionabilidad en comparación con la comercialización estándar de la turbina Banki, dando como resultado el proyecto presentado a continuación.

3. TURBINA BANKI

3.1. HISTORIA DE LA TURBINA BANKI

Durante el proceso histórico del diseño y fabricación de la turbina de flujo transversal, turbina Banki o turbina Michael-Banki, fue influenciado por tres brillantes ingenieros los cuales le dieron el nombre y fueron quienes definieron el paso a la construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas con el fin de abastecer pequeñas poblaciones de energía eléctrica.

La proyección de esta turbina fue dada por el australiano Anthony Michael, el húngaro Donát Banki y el alemán Fritz Ossberger. Michael obtuvo una patente por su diseño en 1903 y la compañía Weymouth la fabricó durante años. La patente de Ossberger data de 1933, y fabricó dicha turbina desde entonces. A día de hoy la compañía de Ossberger² es el principal fabricante mundial de este tipo de turbinas.

No obstante, en ese descubrimiento de definir con exactitud cuál fue la principal influencia para iniciar con la construcción de una turbina Banki y al encontrar en hechos históricos que fue definida por la rueda hidráulica diseñada en algún momento por Leonardo Da Vinci, Descartes y Galileo, quienes a su vez realizaron diversas investigaciones para definir este tipo de mecanismo y ser proyectado para diversos usos en la actualidad.

Una pequeña demostración de este proceso se puede apreciar en la Figura 1 donde se aprecia diversos usos de la rueda hidráulica que para sus primeros usos solo se utilizó en la trituración del trigo o en el desvío de aguas en barcos de vapor para permitir su desplazamiento.

² Compañía Ossberger. <http://www.ossberger.de/cms/es/compania/>

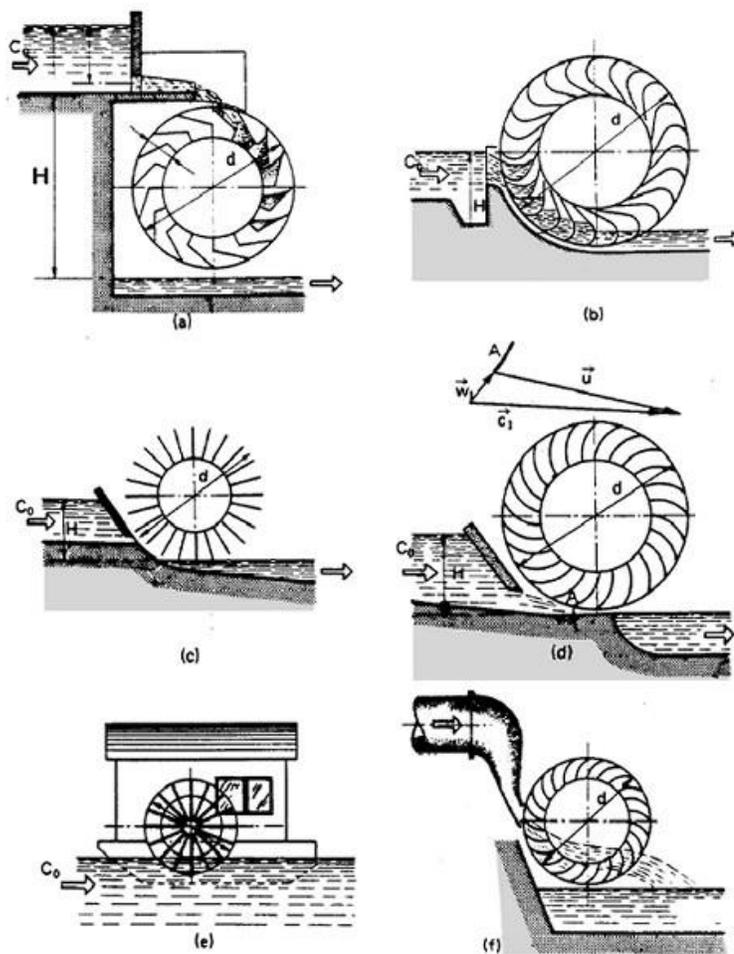


Figura 1. Rueda Hidráulica

3.1.1. LA TURBINA BANKI EN COLOMBIA

Dadas las necesidades energéticas vividas en décadas pasadas en Colombia, el gobierno nacional planteó una serie de recursos y mecanismos para abastecer dicha necesidad, dado esto se proyectaron diversas medidas en cuanto al recurso natural más abundante en el país que es el agua y durante este proceso de descubrimiento de turbinas se planteó el uso de turbina banki pero solo para poblaciones pequeñas donde las grandes centrales aun no pueden llegar.

Los proyectos planteados son poco conocidos pero se puede encontrar ciertos lugares donde han implementado este tipo de turbina y los cuales se enumeran en la Tabla 1, pero un aspecto importante debe ser tenido en cuenta al momento de observar la tabla y es que por medio a las iniciativas de interconexión que se tenían previstas para el año de 1954 y finalmente se consolidaron en ISA en 1971, estos hechos impactaron en la creación de este tipo de proyectos, por lo tanto algunos de ellos fueron abandonados dando como resultado que algunas mini o micro centrales ya no existan.

CENTRAL	LOCALIZACIÓN	CANTIDAD / MARCA	KW	AÑO
PARROQUIA PALERMO	PALERMO, BOYACA	1 / OSSBERGER	15.3	1958
INZA	INZA, CAUCA	1 / OSSBERGER	58.9	1963
PLANTACIÓN MIRAPALM	TUMACO, NARIÑO	1 / OSSBERGER	40.6	1973
PAUCEDONIA	SIERRA NEVADA, MAGDALENA	1 / COLTURBINAS	16	1989
SIERVO ARIAS	SIERRA NEVADA, MAGDALENA	1 / COLTURBINAS	13	1989
MACHOSOLO	SIERRA NEVADA, MAGDALENA	1 / COLTURBINAS	14	1991
LA TAGUA	LA TAGUA, MAGDALENA	1 / COLTURBINAS	10	1991
CARACOLÍ	CARACOLÍ, LA GUAJIRA	1 / COLTURBINAS	60	1994
LÓPEZ DE MICAY	LÓPEZ DE MICAY, CAUCA	2 / ITALIANAS	300	1994
LÓPEZ DE MICAY	LÓPEZ DE MICAY, CAUCA	2 / COLTURBINAS	300	1995
LA REFORMA - EMCALI	CALI, VALLE DEL CAUCA	1 / OSSBERGER	169	1996
ALCALDIA DE SAN JUAN	CARACOLÍ, LA GUAJIRA	1 / COLTURBINAS	30	2000
GUACAMAYAS	SAN VICENTE DEL CAGUÁN, CAQUETA	1 / ALFA I. M.	5	2002
LA URIBE	LA URIBE, META	1 / ALFA I. M.	3	2003
BAHIA CUPICA	BAHIA CUPICA, CHOCÓ	1 / COLTURBINAS	327	2004
HACIENDA PAJONALES S.A.	DEPARTAMENTO DEL TOLIMA	1/ APROTEC	20	SIN DATO
TERMALES DE SANTA ROSA	SANTA ROSA, RISARALDA	1/ APROTEC	50	2005
PUERTO AMOR	SAN VICENTE DEL CAGUÁN, CAQUETA	1 / ALFA I. M.	3	2005
VEREDA LAS JUNATAS	LITORAL PACIFICO VALLECAUCANO	1/ APROTEC	30	SIN DATO
REFUGIO DEL CISNE	PARQUE NATURAL DE LOS NEVADOS	1/ APROTEC	7.5	SIN DATO
EL MOLINO	RESGUARDO INDIGENA PAEZ DE LAMB	1/ APROTEC	10	2000
SAN FRANCISCO	SGUARDO INDIGENA PAEZ DE SAN JO	1/ APROTEC	25	2005

Tabla 1. Turbinas Banki en Colombia

3.2. DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES DE LA TURBINA

La turbina de flujo transversal está compuesta por una carcasa, un rodete, un distribuidor y un tubo de aspiración, cuyo concepto se describirá a continuación además se mostraran su ubicación dentro de la turbina en la figura 2.

3.2.1. RODETE

El rodete constituye la parte esencial de la turbina. Es equipado de álabes, fabricadas de un acero perfilado laminado brillante según un procedimiento bien probado, adaptadas a discos finales en ambos lados, y soldadas según un procedimiento especial. Según sea su tamaño, el rodete puede poseer hasta 37 palas. Las palas curvadas linealmente sólo producen un empuje axial pequeño, por lo que se suprimen los cojinetes de empuje y de collares múltiples con sus respectivos inconvenientes. Tratándose de rodetes de gran anchura, las palas se hallan apoyadas mediante arandelas intermedias. Antes de su montaje final los rodetes son sometidos a un perfecto equilibrado.

3.2.2. DISTRIBUIDOR

El distribuidor se encuentra conformado por dos palas directrices la cuales dividen y dirigen la corriente de agua haciendo que ésta llegue al rodete sin efecto de golpe con independencia de la abertura de entrada. Ambas palas giratorias se hallan perfectamente ajustadas en la carcasa de la turbina.

3.2.3. CARCASA

Las turbinas se encuentran principalmente construidas en acero, por lo tanto son más robustas y resistentes a los golpes, pero a la vez más ligeras que las carcasas de fundición gris.

3.2.4. TUBO DE ASPIRACIÓN

La regulación del agua por medio de las desviaciones son las que permiten el correcto funcionamiento y una gran eficiencia durante su proceso de trabajo, por eso se utilizan los tubos de aspiración para garantizar lo mencionado. No obstante, un tubo de aspiración es imprescindible para caídas medianas y pequeñas.

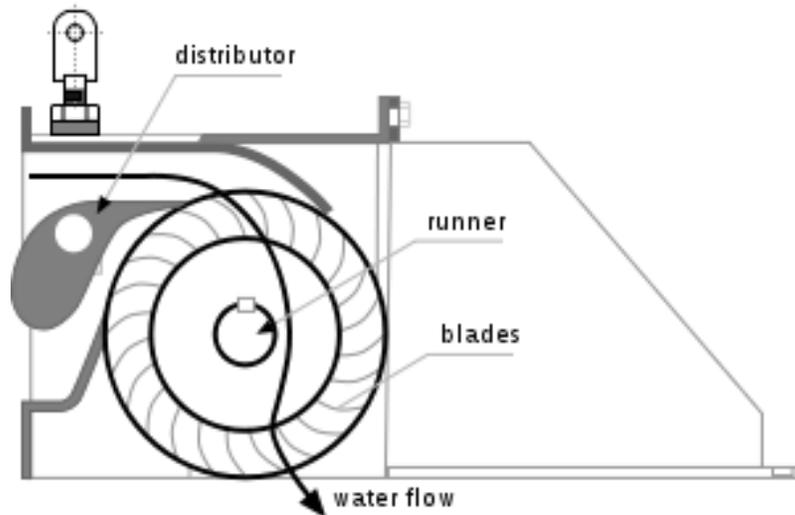


Figura 2. Partes de una turbina Banki

3.3. CARACTERÍSTICAS DE LA TURBINA

Las características de la turbina se denominan de acuerdo a la eficiencia que maneja a lo largo de las pequeñas o micro centrales generadoras, las cuales se definen en las ventajas que estas tienen para el uso de las mismas. Las ventajas denominadas a continuación son seleccionadas de varios documentos dirigidos al diseño de las turbinas banki y donde se mencionan la efectividad y las garantías de uso.

La turbina de flujo transversal tiene una eficiencia máxima menor a comparación de una turbina Kaplan, Francis o Peltón. Sin embargo, tiene una curva de eficiencia plana bajo carga variable, la cual varía de 1/6 de la carga máxima hasta el 100%.

Ya que tiene un precio bajo, y una buena regulación del caudal y la potencia por medio de los alabes ajustables, este tipo de turbinas se utilizan sobre todo en mini y micro hidroeléctricas con rangos de menos 2000 kW y con las cabezas menor de 200 m.

Dado lo anterior, los criterios para definir las ventajas sobre las turbinas en general, son conocidos comercialmente solo para grandes centrales hidroeléctricas, pero a continuación se presentan las pertenecientes a la turbina Banki o turbina de flujo transversal en donde por medio de ellas se asegura su óptima eficiencia.

- La velocidad de giro puede ser seleccionada en un amplio rango.
- El diámetro de la turbina no depende necesariamente del caudal.
- Se alcanza un aceptable nivel de rendimiento con pequeñas turbinas.
- Adecuada en la producción de electricidad no vigilada.
- Fácil de limpiar, por lo que no conserva residuos en los corredores o alabes de flujo.

4. NORMAS

Colombia maneja ciertas leyes impuestas por el gobierno nacional y las cuales son aplicadas en todo proyecto ya sea industrial, agrícola, ganadero, minero o de generación de energía. Dado que el proceso de funcionamiento de la turbina requiere un recurso renovable que en este caso es el agua, se deben tener ciertas normas impuestas por LA CARDER, para permitir su utilización.

Estas normas son determinadas según el uso o disposición que se le dé al agua, ya que se va a manejar como recurso de generación esta no será contaminada, pero se si se hace una proyección en la construcción de un prototipo se deben utilizar los siguientes decretos o normativas para que permitan el uso de este recurso renovable.

Las normas a implementar son las siguientes.

- LEY 373 DE 1997
Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. (9)
- DECRETO 4742 DE 2005
Por el cual se modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas (Modifica sólo el artículo 12 del Decreto 155 de 2004).(10)
- RESOLUCIÓN CARDER 567 DE 1997
Por la cual se reglamenta el Aprovechamiento de las aguas en el territorio de jurisdicción de la CARDER y se determinan medidas para su protección.
- RESOLUCIÓN 1280 DE 2006 DEL MAVDT
Términos de referencia EIA – construcción y operación de centrales hidroeléctricas generadoras (Deroga la Resolución 673/97).
- LEY 99 DEL 22 DE DICIEMBRE DE 1993

Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones (Artículos 31 numeral 5, 70, 107, 108, 109, 110 y 111). (11)

- **DECRETO 2811 DE 1974**
Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Artículo 86 y ss). (12)
- **LEY 99 DEL 22 DE DICIEMBRE DE 1993**
Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental -SINA- y se dictan otras disposiciones.
- **LEY 810 DE 13 DE JUNIO DE 2003**
Por medio de la cual se modifica la Ley 388 de 1997 en materia de sanciones urbanísticas y algunas actuaciones de los curadores urbanos y se dictan otras disposiciones.

5. PROCESO DE DISEÑO DE LA TURBINA BANKI

5.1. LUGAR DE APLICACIÓN

Durante el proceso de búsqueda de un lugar posible de aplicación, además de determinar ciertas mediciones características a la hora de escoger la mejor variable para la selección del tamaño adecuado según el caudal y los requerimientos específicos para un óptimo funcionamiento de una turbina banki, se seleccionaron dos posibles lugares para definir las características especiales.

Dentro de los lugares a escoger se tomaron la medida de dos fuentes hídricas una de un río ubicado en la propiedad “La Clamuchita” situada en la vereda la Bananera km 7 vía corregimiento de la Florida (Figura 3), la otra medición se realizó en un nacimiento a los alrededores de la finca agrícola “Villa Mercedes” localizada en la vereda Alegrías del corregimiento de Altagracia (Figura 4), ambas en Pereira – Risaralda.



Figura 3. Río Otún Vereda la Bananera.



Figura 4. Nacimiento de agua

5.2. CARACTERÍSTICAS DE SELECCIÓN

La estructura de selección se hace por medio a los resultados obtenidos del caudal y la cabeza del lugar donde se hace la medición, pero además la opción para el desarrollo de la implementación son necesarios algunos criterios ya definidos por medio de gráficas y tablas que se denominaran a continuación según la caracterización que se disponga.

En la figura 5, se puede evidenciar como es el comportamiento de cada turbina existente para generación por medio de centrales hídricas.

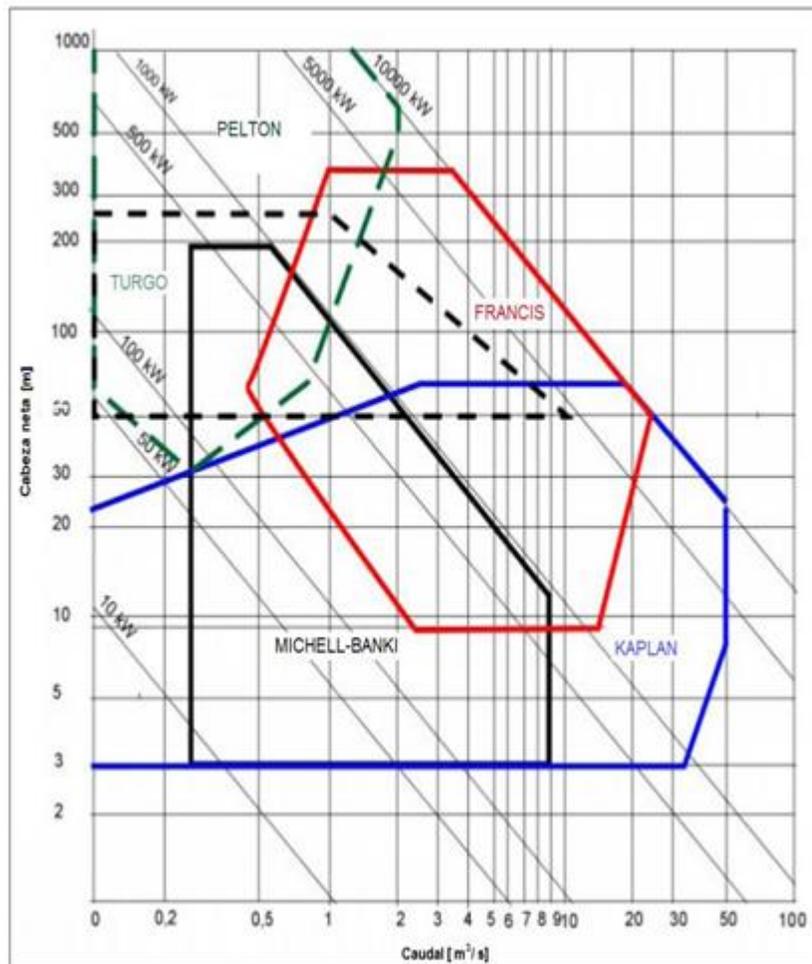


Figura 5. Comportamiento de una turbina con respecto a su caudal

Además, bajo otros criterios de selección se tiene el comportamiento de los álabes del rotor según las presiones que maneja, el cual se verá evidenciado en la figura 6.

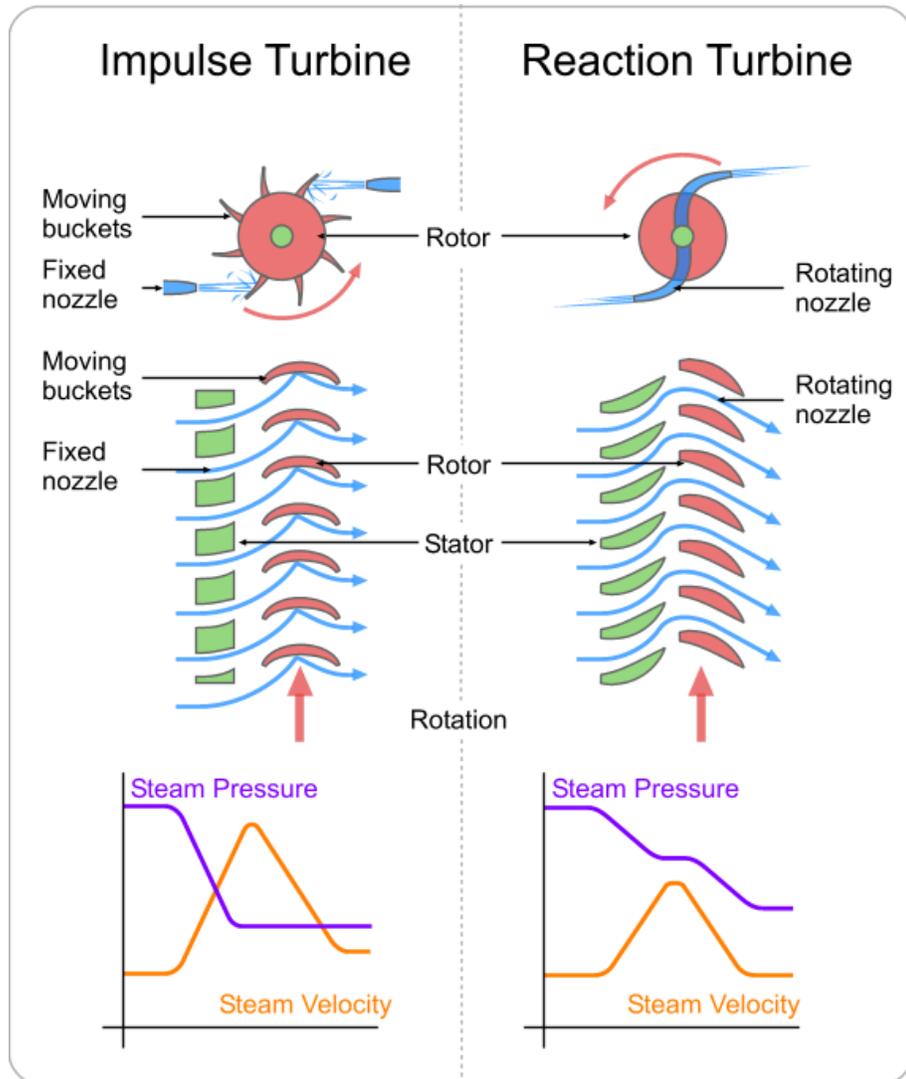


Figura 6. Comportamiento de los álabes según la presión de trabajo

5.3. CALCULOS MATEMATICOS

Los procesos de diseño están dados por gráficas y tablas ya constituidas por largos procesos de investigación, de allí se toman las variables adecuadas para ser implementadas en la propiedad a concepto.

No obstante, al hacerse las mediciones respectivas para saber que prototipo usar se tomaron en cuenta algunas ecuaciones matemáticas que ayudan para este proceso de selección.

De cierto modo, se descubrió que este tiempo de turbina puede trabajar a menores rangos (altura y caudal), permitiendo transformar algunos conceptos recogidos en la investigación realizada durante la elaboración del diseño y dando a conocer nuevos criterios, los cuales serán a conocer en los siguientes numerales que corresponden al capítulo 5.

Los rangos generales de operación de esta turbina son los siguientes:

Altura (H) 1m → H 100m

Caudal (Q) 0, 02 m³/s → 7 m³/s

Velocidad específica 30 Ns 210 o 23 Nq 70

Velocidad de giro 40 a 200 RPM

Potencia generada 1 a 100 KW

5.3.1. ALTURA

La altura que se manejó en la cabecera para permitir descubrir la potencia generada en la entrada de la turbina es de 500 m, ya que es desde el punto máximo ya sea del nacimiento o del agua de lluvia recolectada en tanques que se encuentra a esa distancia.

No obstante, la altura que se considera para colocar el inyector con referencia a la caída de agua o cascada es de 0,5 m, pero adicional a este concepto, se adjuntaran las alturas comunes y las ecuaciones matemáticas manejadas durante el proceso de diseño y construcción de una turbina de flujo transversal.

Para definir el diseño se usan las ecuaciones para determinar la altura bruta y la altura neta, cuya denominación se encuentra de la siguientes formas y adicional esto una medición tradicional mostrada en la figura 7.

Altura bruta

$$H = Z1 - Z2 + \left(\sum k_i + \sum k_f * \frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g}$$

$$H = H_n + H_v + h$$

$$H = L * \text{sen} (\Theta)$$

Altura neta

$$H_n = H_1 + H_2$$

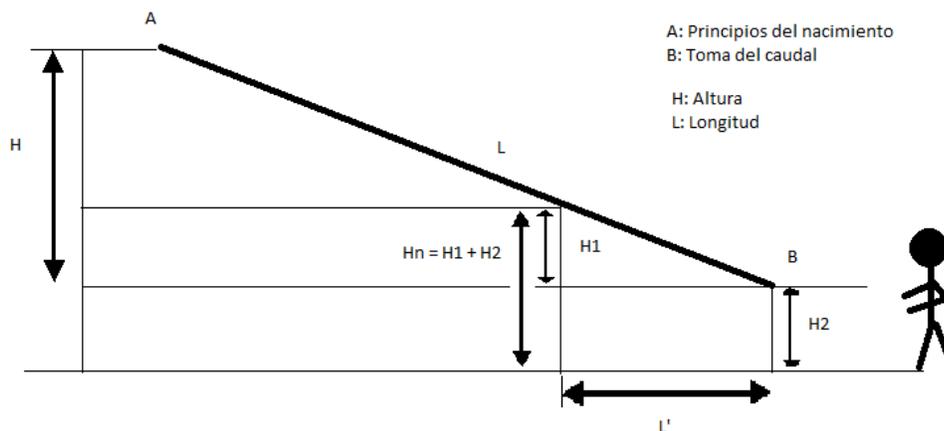


Figura 7. Forma rudimentaria de medir la altura

5.3.2. CAUDAL

Dado los lugares seleccionados para medir el caudal, se tomó como referencia el caudal del río Otún que es alrededor de 0.9 a 1 L/s según la ubicación de este. Adicional a esto se recolectó una segunda muestra en el nacimiento de la segunda propiedad y se determinó los siguientes rangos de caudal dependiendo del tiempo (Tabla 2).

De cierto modo, se implementaron elementos rudimentarios para medir dicho caudal, los cuales se pueden observar en la figura 8, sumándole a esto una botella con la medida de un litro.

TIEMPO (S)	CAUDAL (L)	CAUDAL (m ³)
12	0,08333333	8,33333E-05
9	0,11111111	0,000111111
16	0,0625	0,0000625
20	0,05	0,00005
21	0,04761905	4,7619E-05
22	0,04545455	4,54545E-05
10	0,1	0,0001
8	0,125	0,000125
7	0,14285714	0,000142857

Tabla 2. Caudal con respecto al tiempo

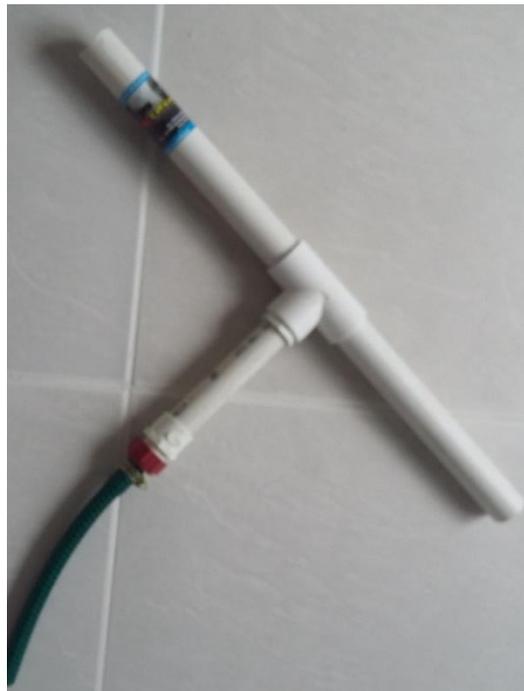


Figura 8. Caudalimetro artesanal

Para determinar el caudal se puede implementar la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{1 L}{\text{Tiempo}}$$

5.3.3. POTENCIA GENERADO POR EL AGUA

Por lo general, al determinar los rangos de altura y caudal a la cual se trabaja, se plantea como objetivo hallar la potencia del agua. Esta potencia se garantiza por medio del número de Reynolds, el peso específico fricción en la tubería (Figura 9).

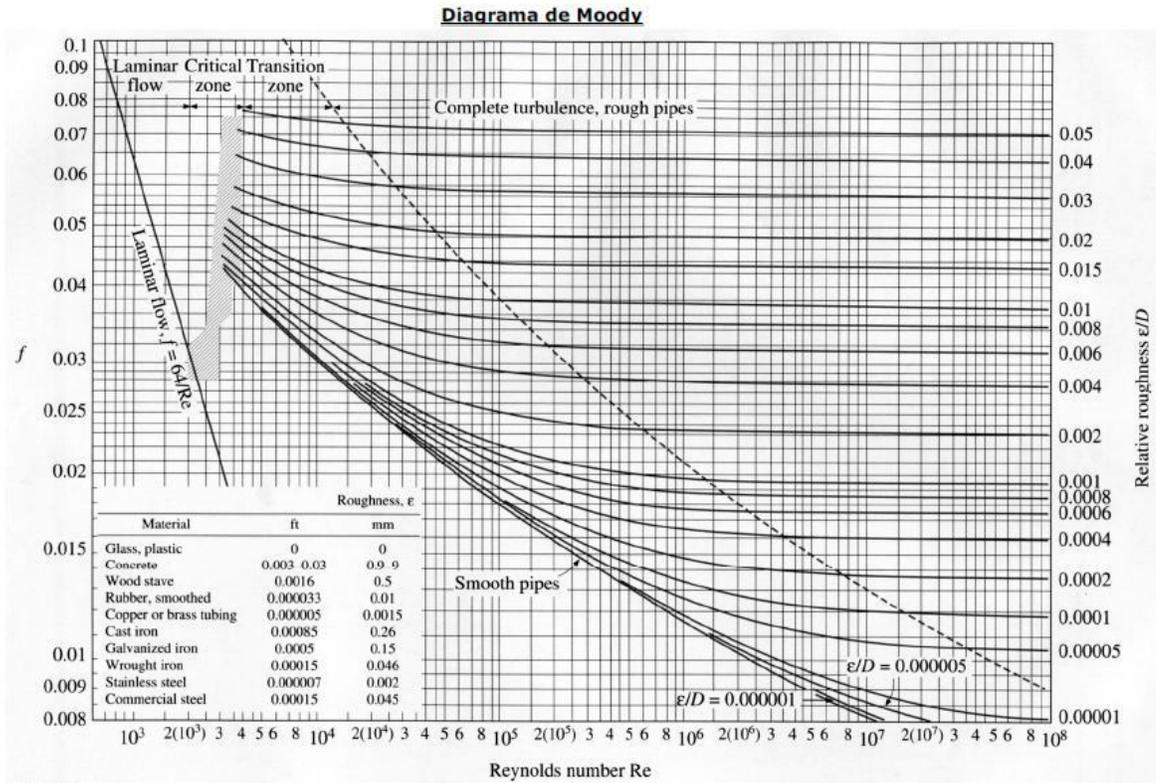


Figura 9. Factor de fricción para el flujo en tuberías

Partiendo del número de Reynolds o el factor de fricción para tubería lisa se puede determinar el peso específico y eso se orienta de la siguiente manera, obteniendo la potencia que ejerce el caudal sobre la turbina.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = VD / \nu$$

$$\dot{W} = \gamma * H * Q; \text{ Potencia del caudal}$$

5.3.4. SELECCIÓN DEL DIÁMETRO Y VELOCIDAD DE GIRO

De acuerdo a las consultas realizadas el diámetro no depende del caudal, ya que esta turbina puede trabajar dentro de un amplio rango de velocidades, determinando en primera instancia el diámetro.

Muchos diseñadores afirman que para pequeñas generaciones el diámetro común utilizado va desde los 200 mm a los 500 mm, lo que la hace fácil de definir y de estandarizar una medida.

Algunos factores a tener presente son los siguientes:

- Al reducir el diámetro del rotor se reduce el rendimiento hidráulico.
- Se debe tener en cuenta al momento de hacer la selección del diámetro el grado de simplicidad si esta va a ser fabricada.
- El diámetro y el inyector deben de llevar una igualdad en medidas para no provocar fuertes saltos o perturbaciones en el caudal.

Al haber determinado el diámetro se procede a obtener la velocidad del rotor

$$N_q = 40.62 K_c * \sqrt{Hn}/D$$

Donde:

$$K_c = \frac{2}{\Delta p * \rho * V^2}$$

$$\Delta p = \frac{1}{2} K_c \rho r^2$$

$$\Delta p = f \frac{V^2}{2g} \frac{L_{eq}}{D}$$

5.3.5. CONCEPTOS PARA EL DISEÑO DE LOS ALABES DEL ROTOR

Para la selección del ángulo de los álabes se debe tener en cuenta la proporcionalidad del diámetro del rotor para seleccionar la cantidad de álabes a implementar, por tal motivo se determina el ancho del rotor y la capacidad a la que se quiere llegar estos estándares ya son establecidos y se manejan en todas las circunstancias de diseño.

Un factor importante son los parámetros de funcionalidad H y Q, y se relaciona la selección del grosor del rotor con los parámetros seleccionados, además de la aplicación de triángulos y la relación de Pascal como se muestra en la figura 10, incluyendo consigo algunas ecuaciones matemáticas para así determinar lo requerido.

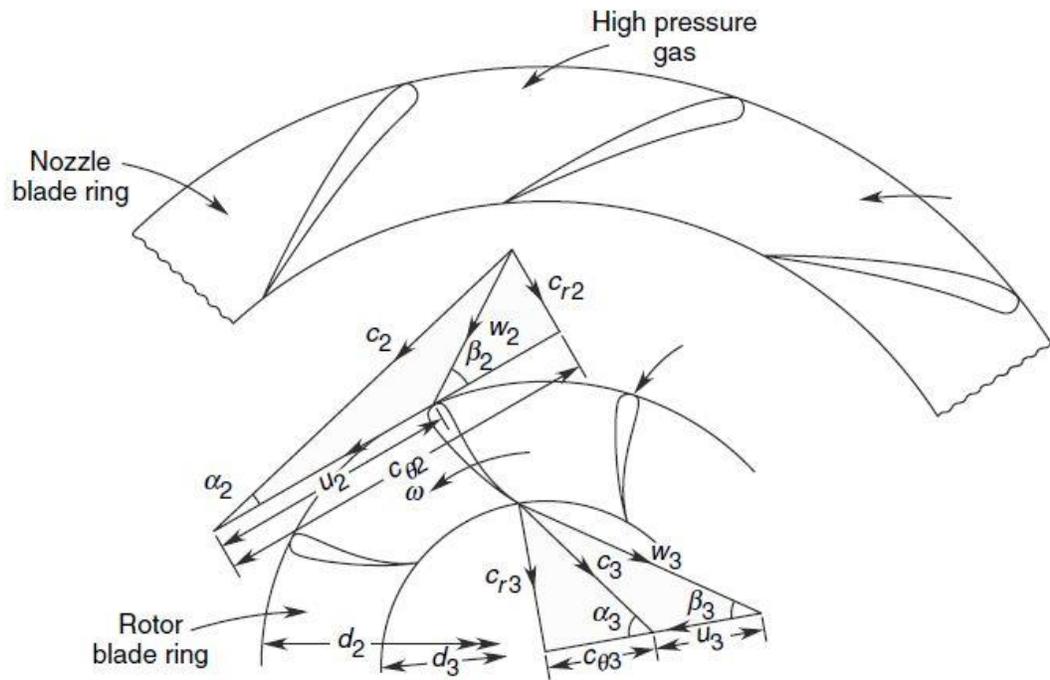


Figura 10. Triángulos de definición del grosor

Como se sabe el área de admisión se encuentra dada por:

$$A_a = \frac{Q}{C_{m1}}$$

$$A_a = B * p_z * Z_a$$

Adicional a esto se tienen las ecuaciones para el paso

$$p_z = \frac{\pi * D}{z}$$

Y así se define el número de álabes necesarios, además de eso adicionándole el coeficiente para determinar la cantidad necesaria.

El coeficiente X_z se encuentra entre los rangos de 0,05 y 0,35 y se define

$$X_z = \frac{Z_a}{z}$$

5.3.6. NÚMERO DE ÁLABES DEL ROTOR

La selección del número de álabes se realizará con base al diámetro y las condiciones de funcionamiento que se desean obtener en la turbina, es decir, altura y caudal. Se deberá tener en cuenta que un reducido número de álabes provocará pulsaciones en la generación de la potencia, y un número elevado producirá una aceleración del flujo con el consiguiente aumento de las pérdidas y el efecto de reja.

Según algunas investigaciones se tienen un promedio de cantidad de álabes a utilizar, este rango se encuentra comprendido entre 24 y 30.

Las investigaciones realizadas por medio de prototipos se encuentran integradas en la tabla 3.

REFERENCIA	AÑO	UBICACIÓN	D / d	D / B	z	Nh
YOKOHAMA	1985	JAPÓN	0.66	4.25	26	80.60
VIGM	1986	CCCP	0.63	3.00	24	78.00
GANZ	1984	HUNGRIA	0.66	1.00	30	75.00
ALABAMA	1983	USA	0.66	0.25	20	75.00
RESITA	1983	RUMANIA	0.66	1.28	24	73.00
KTU	1987	TRAZBON, TURKIA	0.54	0.81	24	71.30
OREGON	1949	USA	0.66	1.09	20	68.00
VDI	1981	ETIOPIA	0.67	3.26	36	66.00
LOS ANDES	1973	COLOMBIA	0.62	1.87	37	60.60
ODTU	1985	ANKARA, TURKIA	0.83	1.44	30	55.50

Tabla 3.. Parámetros característicos de diferentes investigaciones

Bajo estos parámetros el INE determino los ángulos característicos planteados para los alabes según el diámetro del rotor, los cuales se observan en la tabla 4.

Diámetro del rotor (mm)	ϕ (°)	θ (°)
200	15.50	74.50
300	20.00	70.00
400	17.00	73.00
500	14.60	75.40

Tabla 4. Ángulos característicos del rotor (Instituto Nacional de Energía, 1986).

5.3.7. SELECCIÓN DEL INYECTOR

El inyector de la turbina banki es el segundo componente más importante de la máquina dado a que junto con el rotor influyen en la eficiencia total de la turbina. El comportamiento de esta parte se encarga de dirigir el agua hacia el rotor, a través de una sección denominada arco de admisión que cubre una determinada cantidad de álabes. (17)

El inyector posee una sección transversal de forma rectangular, compuesta principalmente de dos caras laterales rectas y una cara superior envolvente, que guía el flujo y que permite descargar el flujo sobre todo el ancho del rotor. En la actualidad existen varias propuestas para diseñar el inyector, diferenciadas fundamentalmente por el ángulo de admisión y, si posee o no un órgano regulador.

Las recomendaciones para el diseño de nuestra turbina es utilizar un inyector sin regulación, dado a que se diseña a partir de una curva elíptica siguiendo las

teorías de vórtice libre. Esto un mejor ingreso del agua, permitiendo que su ángulo tenga una variante constante.

5.3.8. EFICIENCIAS Y RENDIMIENTO

5.3.8.1. LA CURVA DE RENDIMIENTO DE LA TFC

Al observar las curvaturas de rendimiento una característica muy particular en este tipo de turbina es la forma aplanada de su curva. Esto se logra dividiendo el inyector y el rodete en dos secciones que podrían ser en proporción 1/3, 2/3 o la totalidad como se observa en la figura 11.

De tal manera que con caudales muy pequeños, una sección de la turbina se cierra para permitir que el caudal se concentre y poder generar el perfil de velocidad adecuado al a entrada del rodete.

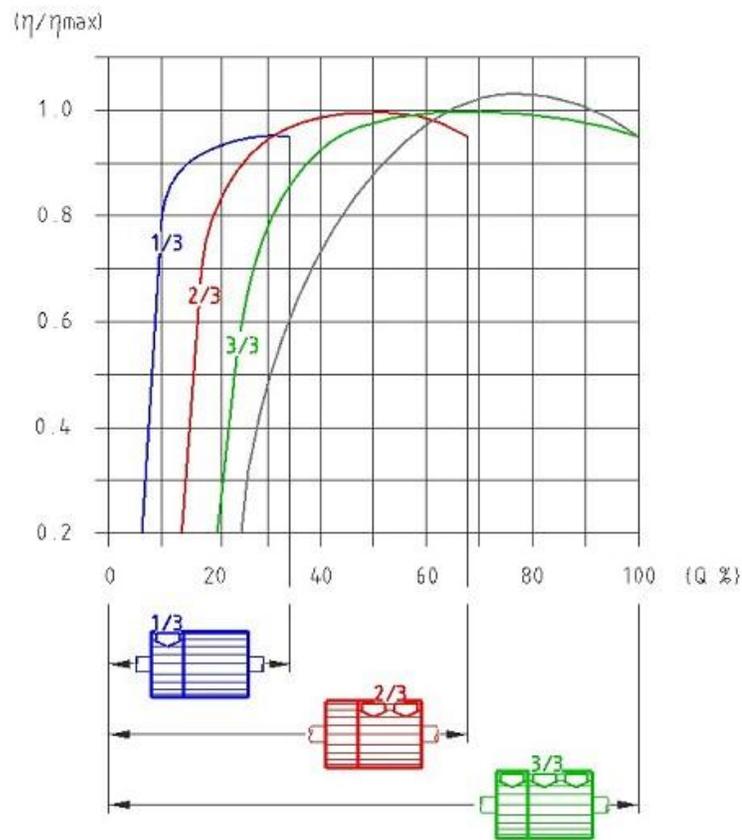


Figura 11. Curvatura de rendimiento

En cuanto a la eficiencia de denomina de acuerdo a la sección de interés ya sea una eficiencia total, una hídrica, una eléctrica o una mecánica, estas eficiencias se pueden determinar de la siguiente forma.

$$\eta_{50\%} = \frac{\dot{W}_{\text{electrica}}}{\gamma * Q * H}$$

$$\eta_{\text{Hidrica}} = \frac{T * \omega}{\gamma * Q * H}$$

$$\eta_{\text{electrica}} = \frac{\dot{W}_{\text{electrica}}}{T * \omega}$$

$$\dot{W}_{\text{mecanica}} = T * \omega$$

$$\dot{W}_{\text{electrica}} = T * \omega * \eta_{\text{electrica}}$$

5.4. DISEÑO POR COMPUTADORA

En contenido correspondiente al presente ítem, se podrá apreciar el diseño por computadora de la turbina Banki, bajo los parámetros que se han evidenciado a lo largo del proceso de diseño.

Dentro de cada numeración se encontrara el dibujo, el ensamble, la curvatura a la que se encuentra sometida y las propiedades de masa.

5.4.1. INYECTOR

En la figura 12 y 13 se puede evidenciar los ángulos de salida positivos como negativos proyectados en la curvatura.

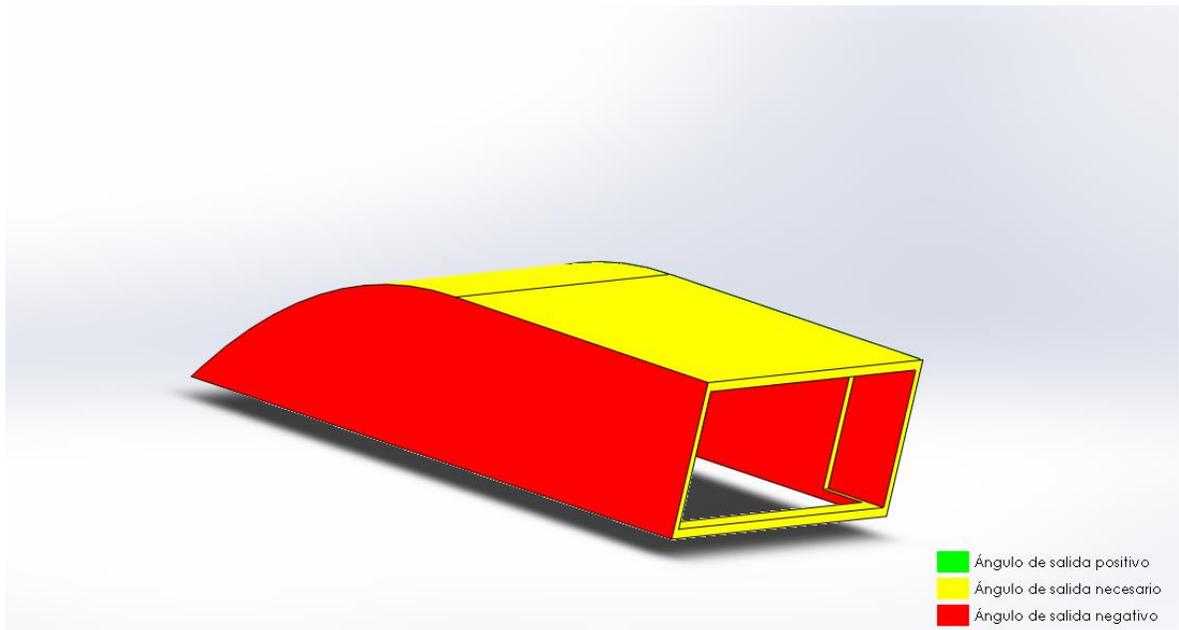


Figura 12. Ángulo de salida negativo

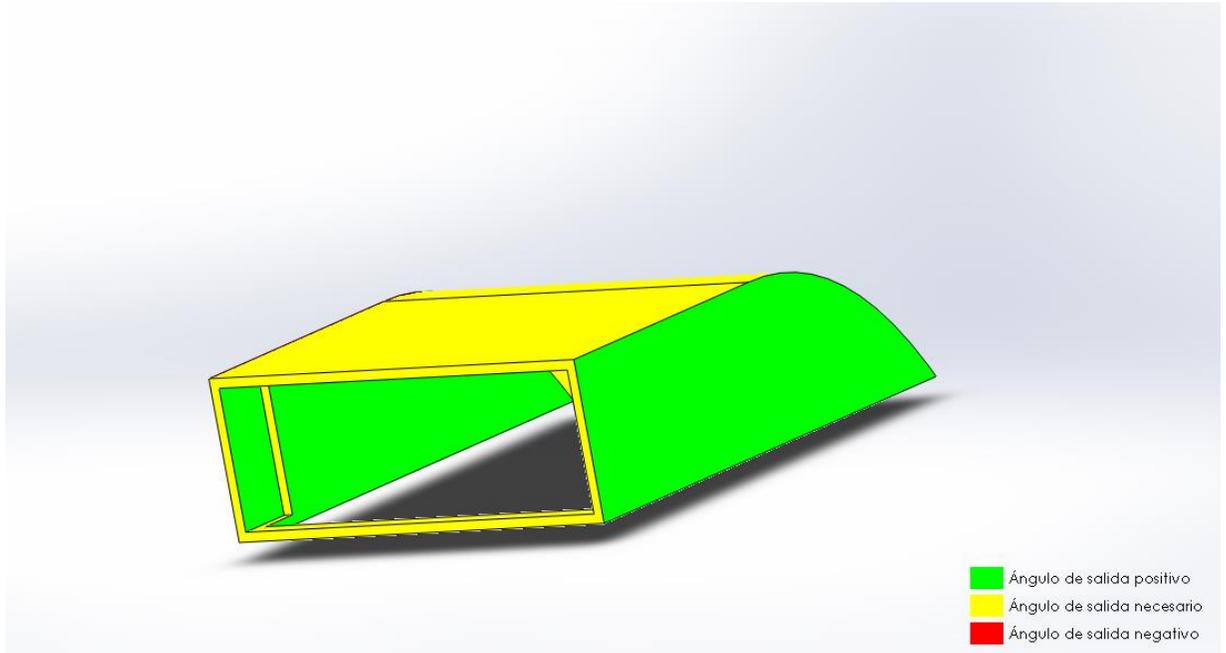


Figura 13. Ángulo de salida positivo

En las figuras 14 y 15 la curvatura ejercida por el ángulo de inclinación necesario y el ensamblaje, además de las propiedades físicas del inyector.

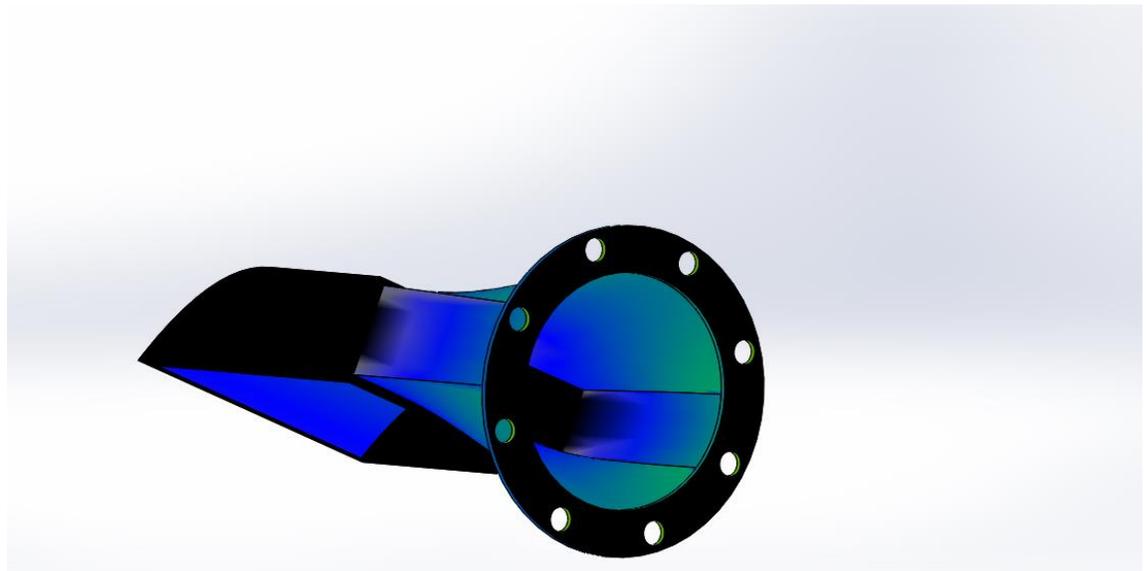


Figura 14. Curvatura del inyector

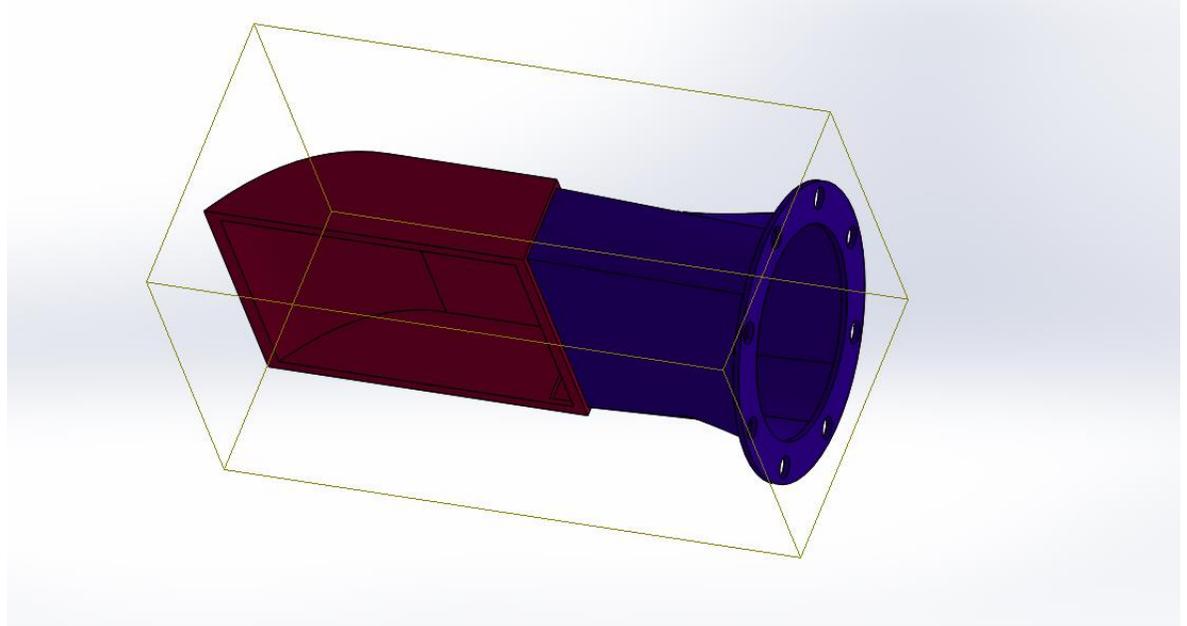


Figura 15. Ensamblaje del inyector

5.4.1.1. PROPIEDADES DE MASA DEL INYECTOR

Configuración: Predeterminado

Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Masa = 2169.03 gramos

Volumen = 2169033.32 milímetros cúbicos

Área de superficie = 491661.51 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)

X = 57.58

Y = 23.47

Z = -0.03

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medido desde el centro de masa.

$$I_x = (1.00, -0.02, -0.00)$$

$$I_y = (-0.00, -0.00, -1.00)$$

$$I_z = (0.02, 1.00, -0.00)$$

$$P_x = 15651542.30$$

$$P_y = 49804678.04$$

$$P_z = 57452060.66$$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$L_{xx} = 15667893.71 \quad L_{xy} = -826539.77 \quad L_{xz} = -7125.14$$

$$L_{yx} = -826539.77 \quad L_{yy} = 57435710.73 \quad L_{yz} = 192.80$$

$$L_{zx} = -7125.14 \quad L_{zy} = 192.80 \quad L_{zz} = 49804676.55$$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$I_{xx} = 16863064.60 \quad I_{xy} = 2104966.98 \quad I_{xz} = -10595.02$$

$$I_{yx} = 2104966.98 \quad I_{yy} = 64626101.65 \quad I_{yz} = -1221.87$$

$$I_{zx} = -10595.02 \quad I_{zy} = -1221.87 \quad I_{zz} = 58190235.00$$

5.4.2. ÁLABE

En la figura 16 y 17 se puede evidenciar los ángulos de salida positivos como negativos proyectados en la curvatura.

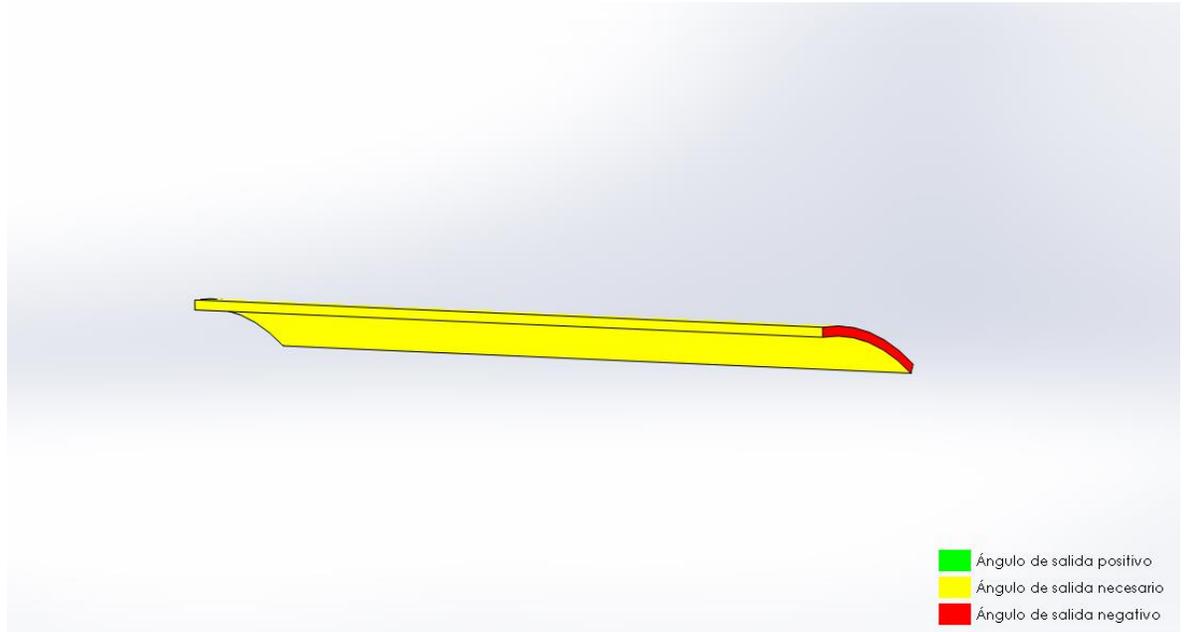


Figura 16. Ángulo de salida negativo

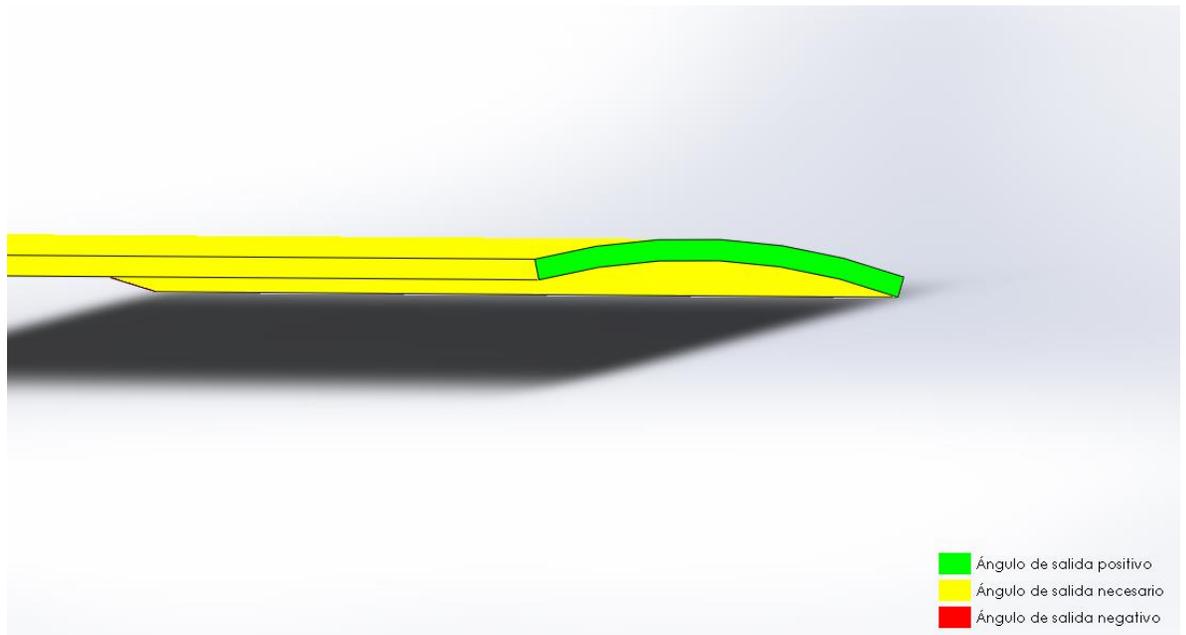


Figura 17. Ángulo de salida positivo

5.4.2.1. PROPIEDADES DE MASA DEL ÁLABE

Configuración: Predeterminado

Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico

Masa = 38.11 gramos

Volumen = 38108.53 milímetros cúbicos

Área de superficie = 27037.20 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)

X = 29.25

Y = 106.74

Z = 106.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medido desde el centro de masa.

$I_x = (0.00, 0.00, 1.00)$

$P_x = 11323.44$

$I_y = (0.96, -0.26, 0.00)$

$P_y = 142810.90$

$I_z = (0.26, 0.96, 0.00)$

$P_z = 153970.84$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$L_{xx} = 143590.57$ $L_{xy} = -2844.86$ $L_{xz} = 0.00$

$L_{yx} = -2844.86$ $L_{yy} = 153191.17$ $L_{yz} = 0.00$

$L_{zx} = 0.00$ $L_{zy} = 0.00$ $L_{zz} = 11323.44$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 1005961.68$ $I_{xy} = 116149.28$ $I_{xz} = 118169.60$

$I_{yx} = 116149.28$ $I_{yy} = 613990.62$ $I_{yz} = 431175.13$

$I_{zx} = 118169.60$ $I_{zy} = 431175.13$ $I_{zz} = 478119.14$

5.4.3. ENSAMBLAJE TURBINA BANKI

En las figuras 18, 19 y 20 se puede evidenciar la curvatura ejercida por el ángulo de inclinación necesario, el ensamblaje y los elementos utilizados, además de las propiedades físicas de la turbina.

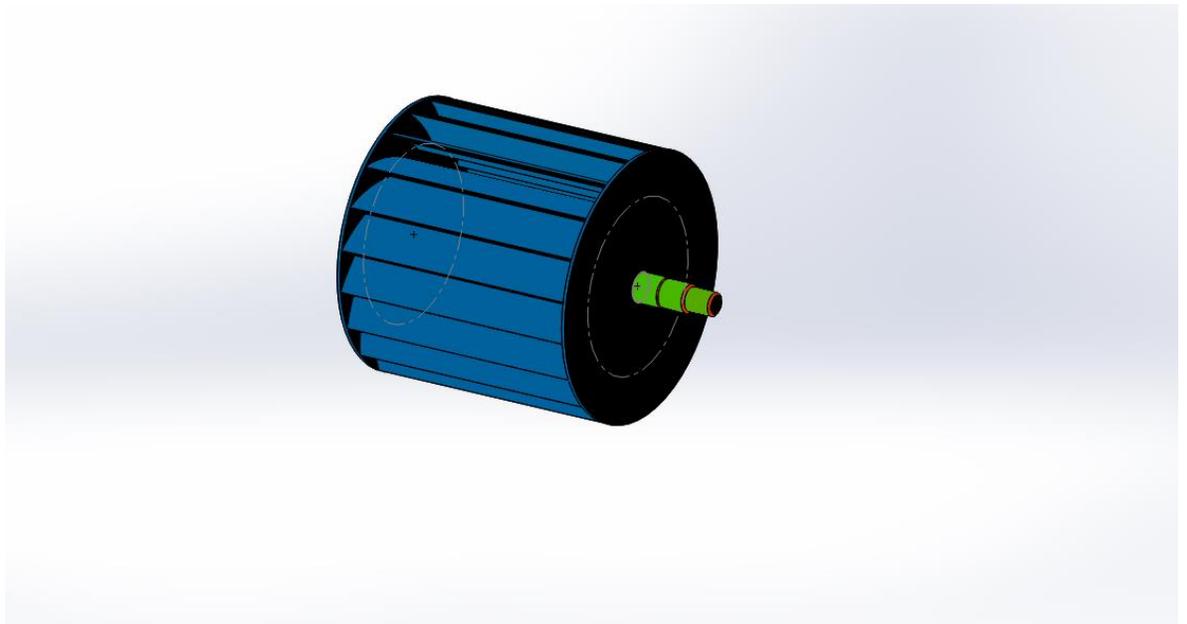


Figura 18. Curvatura de la turbina

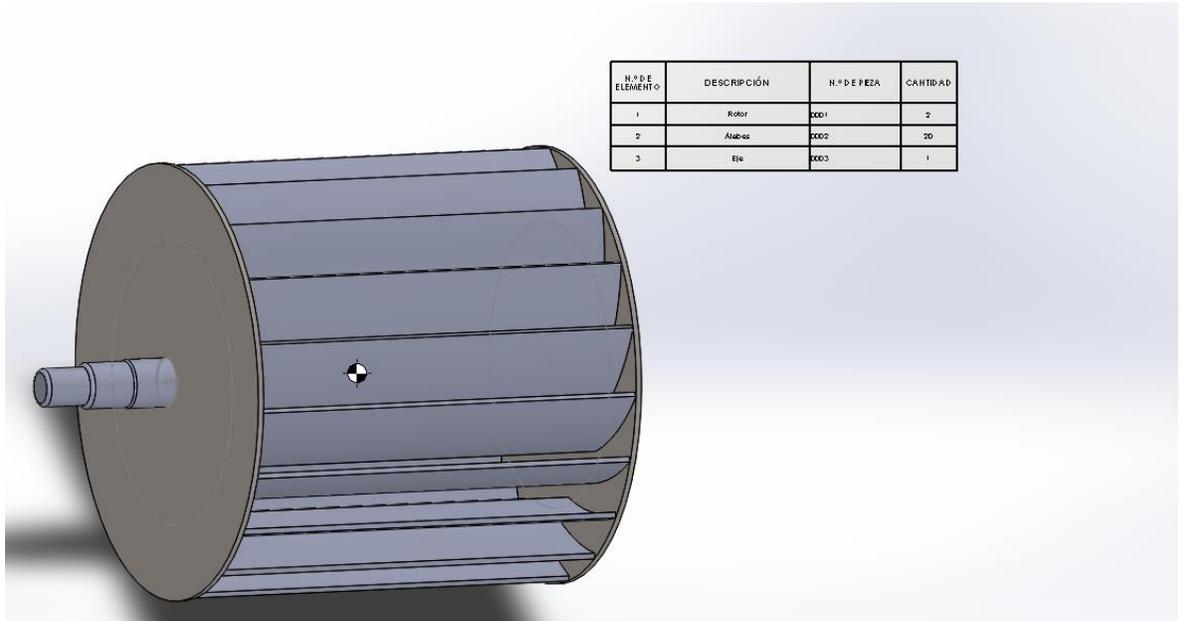


Figura 19. Ensamble de la turbina

	A	B	C	D
	N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1				
2	1	Rotor	0001	2
3	2	Álabes	0002	20
4	3	Eje	0003	1

Figura 20. Listado de componentes

5.4.3.1. PROPIEDADES DE MASA DE LA TURBINA BANKI

Configuración: Predeterminado

Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Masa = 2788.63 gramos

Masa de soldadura total = 0.00 gramos

Volumen = 1158099.76 milímetros cúbicos

Área de superficie = 731246.50 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)

X = -17.78

Y = -3.52

Z = 108.14

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medido desde el centro de masa.

$I_x = (0.00, 0.00, 1.00)$

$P_x = 18901042.83$

$I_y = (0.00, -1.00, 0.00)$

$P_y = 35213705.54$

$I_z = (1.00, 0.00, 0.00)$

$P_z = 35213705.54$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$L_{xx} = 35213705.54$ $L_{xy} = 0.00$ $L_{xz} = 0.00$

$L_{yx} = 0.00$ $L_{yy} = 35213705.54$ $L_{yz} = 0.00$

$L_{zx} = 0.00$ $L_{zy} = 0.00$ $L_{zz} = 18901042.83$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 67859596.04$ $I_{xy} = 174445.56$ $I_{xz} = -5361338.95$

$I_{yx} = 174445.56$ $I_{yy} = 68706479.51$ $I_{yz} = -1061098.33$

$I_{zx} = -5361338.95$ $I_{zy} = -1061098.33$ $I_{zz} = 19816977.66$

6. SISTEMA DE GENERACION DE ENERGÍA

La generación de energía por medio de recursos naturales y renovables es una de las principales ideas generadas en la actualidad y cuya función es beneficiar al medio ambiente, muchas empresas importantes en el mundo, tratan de emprender y hacer grandes inversiones para poder generar energía de una manera más eficiente y utilizando recursos naturales como el agua, el aire o la radiación del sol.

De cierto modo la generación de energía es producida por la acción de un movimiento mecánico o la reacción química de algunos componentes (paneles solares) que al pasar por un generador o la recolección de energía solar fotovoltaica generan energía eléctrica.

Algunas empresas reconocidas mundialmente son Celsia y Generación de Energía.

Para el sistema diseñado se requiere de un generador capaz de soportar 2000 RPM o superiores y para esto una idea con facilidad en el mercado es el uso de un alternador (figura 21), ya que este permite generar voltajes en dc para así alimentar una bomba durante el proceso de recolección (descrito en el próximo numeral), permitiendo bombear el agua para así ser utilizada en las propiedades agrícolas.



Figura 21. Alternador

No obstante, dentro de los criterios de diseño del generador se deben tener los siguientes parámetros, ya que a partir de esos se puede modelar el generador ideal para así obtener una correcta selección a la hora de diseñar o modificar los modelos matemáticos o mecánicos.

Por tanto, los parámetros a desarrollar son los tipos de velocidades, la relación de máquinas asíncronas y síncronas y las potencias manejadas.

Para determinar la velocidad síncrona o de sincronismo se deben de tener en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$\eta_s = \frac{60 f_s}{\text{pares de polos}}$$

$$\eta_s = \frac{120 f_s}{\text{Número de polos}}$$

Adicional a esto se determina la velocidad de rotación de la siguiente forma:

$$\eta_r = \frac{60 f_r}{\text{pares de polos}} = \frac{120 f_s}{\text{Número de polos}}$$

De esta forma se determina la potencia:

$$W = \eta \frac{2\pi}{60}$$

Un deslizamiento, cuyo rango se encuentra entre $0 < S < 10$

$$S = \frac{\eta_s - \eta_r}{\eta_s}$$

$$\% S = \frac{\eta_s - \eta_r}{\eta_s} * 100$$

Al determinar lo anterior se puede dar resultado a las ecuaciones fundamentales de las máquinas de rotación en general, en donde:

$$Potencia = Torque * \omega$$

$$Torque = Fuerza * radio$$

Con un factor de potencia igual a:

$$C = \frac{Q_c}{\omega * v^2}$$

En conjunto con lo anterior y para el caso de selección del generador perteneciente al proyecto, se seleccionó un generador síncrono donde cuya relación de velocidades se encuentra referenciado de la forma que η_s y η_r sean iguales.

6.1. GENERACIÓN EN COLOMBIA

Colombia, se encuentra en unos de los principales generadores de energía por medio de centrales hídricas dado a su ubicación geográfica y por sus reservas hídricas, dentro de estas centrales se encuentran ubicadas principalmente a lo largo del Rio Magdalena.

Además, Colombia se ha convertido en uno de los países más demandantes energéticamente por lo tanto los largos avances desde 1963 con la creación de centrales generadoras para abastecer esta necesidad, en la figura 22 mostrada a continuación se determina las regiones con más demanda en el país.

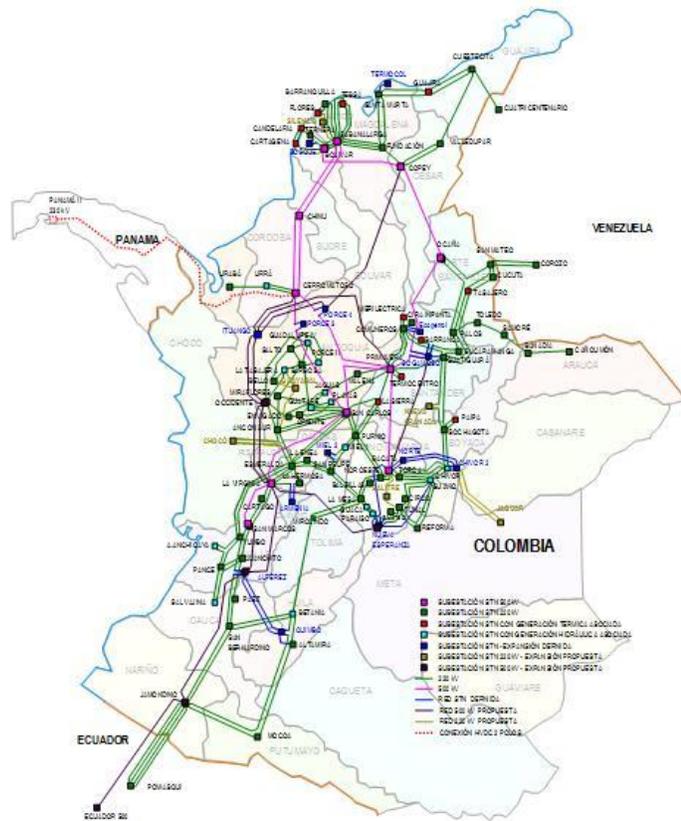


Figura 22. Generación en Colombia

7. SISTEMA DE RECOLECCION

El método de recolección no propuesto para el diseño de este proyecto, sino como una posible función de la turbina banki en una propiedad agrícola o ganadera para el aprovechamiento parcial de las aguas de lluvia por medio de diversos procesos de purificación.

Dentro de las propuestas de utilización se encuentra el sistema de riego para cultivos explicado a continuación con los diversos procesos existentes.

Al mantener la línea de este uso propuesto, los sistemas de riego son usados comúnmente para producciones agrícolas y cuya función es conducir agua, nutrientes y minerales para el crecimiento adecuado de los cultivos. Estos sistemas son siempre liderados por riego con aspersores o por goteo pero existen otros sistemas los cuales se mencionan a continuación.

- Riego con difusores
- Riego subterráneo
- Riego con cintas de exudación
- Riego con microaspersores
- Riego con manguera
- Riego con regadera
- Macetas de autorriego
- Riego por surcos (por ejemplo, el huerto)
- Riego a manta (por ejemplo, inundando un ariete)

Adicional a lo anterior, una propuesta para la fusión de una turbina más una bomba se encuentra en un diseño de explicación de máquinas hidráulicas pero no implementado en Colombia hasta la fecha. Este diseño es posible se aplicado al momento de reutilizar este recurso hídrico y es de un margen considerable de adaptación con el relieve de muchas propiedades agrícolas principalmente en la región andina donde se encuentran la mayor concentración de recursos hídricos.

El ejemplo de esta idea de recolección se puede apreciar en la figura 23 y cumple con las siguientes características de funcionalidad:

- Se pueden construir con material y tecnología de bajo costo en talleres mecánicos.
- Aprovechan manantiales, ríos o corrientes de agua con caudales de 30 a 1500 litros por segundo.
- Funcionan con saltos "H" de 2 a 25 m.
- Bombeo hasta un máximo de 60 m y 70 l/s o producen electricidad en potencias de hasta 60 kW con un rendimiento del 55%.

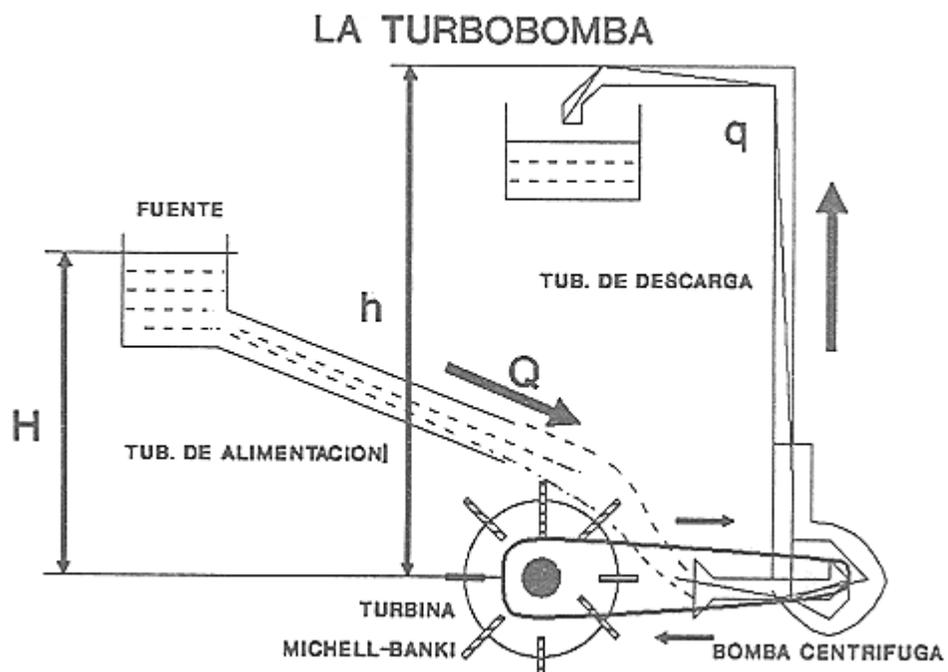


Figura 23. Bomba más turbina Banki

8. CONCLUSIONES

8.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La producción energética es una constante de consumo que además de variable es un insumo esencial para el sostenimiento de cualquier sociedad. Esta se encuentra presente en todos los bienes y servicios presentes, convirtiéndose así en una de las principales necesidades a cubrir. La búsqueda constante para suplir esta necesidad ha determinado grandes descubrimientos de formas alternativas, los cuales día tras días sorprenden más y formar acuerdos en lugares inhóspitos para así llegar a zonas remotas donde este recurso se encuentra en su mayoría nulo.

Estos lugares que no solo es en territorios lejanos sino que a simple vista como lo es en Colombia, ha generado grandes dificultades para impulsar el país a grandes avances. Por eso, en la actualidad se encuentra en grandes expectativas el diseño y desarrollo de turbinas para los pequeños aprovechamientos hídricos y de los cuales se llegue a transformar eficazmente toda la energía mecánica acumulada durante estos procesos de generación. Bajo este contexto, el proyecto que fue planteado durante todo el documento lleva el nombre de *“DISEÑO DE UNA TURBINA BANKI PARA LA RECOLECCIÓN DE AGUAS Y GENERACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PROPIEDAD AGRÍCOLA”* en donde se presenta un modelo matemático y de diseño asistido, además de pequeños ejemplos de utilización.

Con el uso de los métodos matemáticos y diseño asistido, es posible, analizar las diferentes alternativas de diseño y optimización, antes de fabricar una turbina o un modelo a escala reducida para ensayar físicamente. Estos modelos nos permiten acceder a información importante y necesaria para lograr un mejor entendimiento de los fenómenos de fluidos y dinámicos que ocurren durante el funcionamiento de cada componente de la turbina que se ira a diseñar.

8.1.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL MODELO MATEMÁTICO

En el modelo matemático se permite determinar las diferentes variaciones de entrada y de salida de una turbina de flujo transversal, esto se encuentra bajo el reconocimiento e identificación de las ecuaciones adecuadas, ya que la web dispone diversos cálculos que en parte contienen gran parte de la funcionalidad, pero no necesarias para este proceso de diseño, ya que las demás sirven para la fabricación de un modelo físico que para este proyecto no fue el caso.

La forma de hacer la evaluación del comportamiento se inició por el caudal y la altura, dado a que se buscaron diferentes lugares de aplicación y como los integrantes del desarrollo de este proyecto poseemos fincas en su mayoría agrícolas, se determinó tomar las muestras en estos lugares y determinar una franja característica para así continuar definiendo los demás parámetros.

La determinación para diseñar la turbina bajo los mismos parámetros manejados en rangos ya concebidos, se dio a que durante el proceso y bajo demostración en las bibliografías que actualmente se encuentran se determina que el diámetro para pequeños caudales debe ser el mínimo requerido y dado a que se tomaron alturas y caudales mínimos se optó por diseñar una turbina bajo conceptos y fichas técnicas ya existentes.

Las gráficas, tablas e imágenes mostradas durante el proceso de la elaboración del documento se encuentran referenciadas en la bibliografía, además que en su mayoría son fuente propia, debido a los cambios realizados en los diversos rangos para el desarrollo matemático del diseño de la turbina Banki o de flujo transversal.

Debido al poco enfoque que se tuvo durante la realización del proyecto, se recomienda cubrir las falencias manejadas y realizar nuevos estudios para así afirmar o transformar diversos criterios existentes o de alguna manera ya existentes en este proyecto.

De cierto modo se recomienda enfocar el diseño por computadora a un cambio en el inyector dado que este puede presentar grandes saltos por tener una curvatura demasiado pequeña, además se sugiere investigar un poco más sobre los ángulos

de diseño e instalación de los álabes para así dar validez a lo planteado en la Tabla 4 y actualizar la información disponible.

De acuerdo al cuerpo principal del proyecto en construcción, no se encuentra el diseño por computadora en su máxima expresión, ya que solo se quería evidenciar los avances del diseño y reservar las demás estructura de cada uno de los componentes bajo criterio de consulta externa y preservación a los derechos de autor, dado que es un modelo similar al convencional pero presenta modificaciones reservadas para los diseñadores.

8.1.2. COMENTARIOS Y SUGERENCIAS

La generación de energía por medio de recursos renovables es una de las paradas actuales que la humanidad debe aprovechar y disponer de ella siempre y cuando se conserve el ambiente para que estas perduren, en el caso de las reservas hídricas.

Dentro de las ventajas descubiertas, se generó una sobre el uso de las pequeñas centrales hidroeléctricas, las cuales pueden llegar a ayudar a poblaciones y propiedades donde un suministro de energía eléctrica es variable o no se encuentra, permitiendo que las autoridades se empapen del tema y promuevan el uso de las mismas para aquellas localidades necesitadas, generando índices elevados en cuanto a rentabilidad de la producción y consumo del mismo recurso además de mejorar la calidad de vida.

Con esta proyección se pretende aportar en la búsqueda de soluciones energéticas limpias mostrando que se pueden desarrollar máquinas hidráulicas con mayor eficiencia, fáciles de construir y operar que pueda ser accesible a las comunidades que hoy en día las necesitan para ser aplicadas en diversos momentos de su trabajo o vida cotidiana, dado al enfoque inicial al abastecimiento de las propiedades agrícolas y demostrar que se puede hacer de una forma totalmente sostenible, económica y confiable.

9. BIBLIOGRAFÍA

[1]. CÓRDOBA, Roberto. Breve historia de las turbinas hidráulicas. [En línea] [Citado el: 20 de Marzo de 2013.]. Disponible en Web:

<http://www.uca.edu.sv/deptos/ccnn/dlc/pdf/turbinas.pdf>.

[2]. DR. ALCANTARA MONTES, Samuel y PALACIOS MONTUFAR, Cándido. 2011. Diseño y construcción de un prototipo de turbina para generación de energía eléctrica en una microplanta. [En línea] 14 de Abril de 2011. [Citado el: 15 de Marzo de 2013.]. Disponible en Web:

<http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/13407>.

[3]. GÓMEZ GÓMEZ, Jorge Iván, PALACIOS HIGUITA, Edison Andrés y PAREDES GUTIÉRREZ, Cesar Alfonso. 2008. La turbina Michell-Banki y su presencia en Colombia. Medellín: s.n., 2008.

[4]. Prácticas-ITDG, Soluciones. Ficha Técnica Turbina Banki. [En línea] [Citado el 18 de Septiembre de 2012.]. Disponible en Web:

<http://www.solucionespracticas.org.pe/fichastecnicas/pdf/Fichatecnica2-Turbina%20michell%20bankL.pdf>.

[5]. CARDONA, Álvaro. El régimen jurídico de las aguas en Colombia. [En línea] [Citado el: 6 de mayo de 2013]. Disponible en Web: www.engr.colostate.edu/.../Colombia/Colombia/.../25%20REGIMENJUR...doc.

[6]. Colombia. Ley 143 de 1994, Del Congreso de Colombia. Decreto, 1994.

[7]. Colombia. Ley 1541 de 1978. Decreto Nacional, 28 de julio de 1978. Artículos 288.

[8]. Constitución Política. Código Civil. Artículos 677 a 684 y 891 a 896. Colombia.

[9]. CARDER. Recurso hídrico. *Ley 373 de 1997*. Nivel nacional : Diario Oficial No. 43.058 del 11 de junio de 1997., 6 de Junio de 1997.

- [10]. CARDER. Recurso Hídrico. *Decreto 4742 de 2005*. Nivel nacional : Diario Oficial 46153 de enero 16 de 2006, 2005.
- [11]. CARDER. Recurso hídrico. Nivel nacional : s.n., 2011.
- [12]. CARDER. Código nacional de recursos renovables. *Decreto 2811 de 1974*. Nivel nacional : Diario Oficial No. 34243., 1974.
- [13]. Mapa de Colombia. [En línea] <https://jmirez.wordpress.com/2011/05/05/j245-un-breve-estudio-y-resumen-del-sistema-electrico-y-consumo-de-electricidad-en-colombia/> .
- [14]. Ventajas de una turbina Banki. [En línea] http://docsetools.com/articulos-utiles/article_121798.html .
- [15]. Recolección de aguas. [En línea] <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt051-a.html> .
- [16]. AVALLONE, Eugene A y BAUMEISTER III, Theodore. *MARKS. Manual del ingeniero mecanico. 9° Edición*. México : MCGRAW-HILL, 1999.
- [17]. GÓNGORA Valdivia, Carlos Alberto. *Micro Turbinas para pequeños aprovechamientos hidroelectricos. Turbina Michell-Banki*. Argentina : s.n., 2012.
- [18]. CEPIS. Bombeo de agua con energía no convencional. [En línea] <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt051-a.html>.
- [19]. RUIZ, Valeriano. *El reto energetico. Opciones de futuro para la energia*. España : ALMUZARA, 2006.
- [20]. Instituto Nacional de Energía, INE. 1986. Estandarización de Turbinas Tipo Michell-Banki. Ecuador .
- [21]. SOLIDWORKS. 2013. SolidWorks.com. [En línea] Dassault Systemes. <http://www.solidworks.es/>
- [22]. Osserberg.com. 2013. Osserberg.com. www.ossberger.de. [En línea]. <http://www.ossberger.de/cms/es/hydro/la-turbina-ossberger/>.