 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE ROTOR PARA TURBINA TIPO MICHELL-BANKI

Jaime Felipe Moreno Mendoza

Tecnología electromecánica

Jorge Andrés sierra del Rio

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

MARZO DE 2019

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

RESUMEN

En este proyecto se describe la fabricación de un rotor para una turbina tipo Michell-Banki, con la cual se busca la generación de energía eléctrica aprovechando pequeños afluentes hídricos de las zonas rurales del país, donde las grandes empresas de energía eléctrica no abastecen las regiones. Se puede pensar que la falta de energía eléctrica por parte de dichas empresas se debe al alto costo de instalación y a que la recuperación de la inversión es muy tardía debido a la baja densidad de población. Si logramos proveer energía eléctrica aprovechando los pequeños afluentes hídricos sin grandes transformaciones que no afecten negativamente el medio ambiente, lograremos mejorar la calidad de vida de las comunidades.

Para la construcción del rotor se tuvieron en cuenta los parámetros de diseño, tales como: el caudal $Q = 20 L/S$, características del fluido, en este caso agua, altura $H = 0.5m$. Con estas condiciones se calculó el diámetro de 200 mm para los discos de rotor, construidos en platina en hierro con un espesor $3/16"$ y bases de acrílico. Los alabes fueron fabricados a partir tubos de hierro negro galvanizado de $2"$ de 2.5mm de espesor y 130mm de longitud, con una longitud de arco de 36.12mm. Se cortaron 28 álabes. Los acoples para sujetar el eje del rotor se fabricaron en prolon, material térmico de alta resistencia mecánica. Los costos en general de los materiales son de \$80,000.

Palabras clave: turbina de flujo cruzado, turbina tipo Michell-Banki, caudal, presión atmosférica,

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

RECONOCIMIENTOS

En primera instancia agradezco a la universidad (ITM) por haberme brindado la oportunidad formarme en mi carrera tecnológica, así como también a diferentes profesores que han participado en mi formación día a día.

Agradezco también a mi asesor de trabajo de grado el ingeniero Jorge Andrés Sierra del Río por haber dado la oportunidad de trabajar con él y aprender de sus conocimientos, también a su equipo de trabajo que siempre me apoyaron.

Para finalizar mis agradecimientos a mi familia por brindarme el apoyo para poder estudiar y amistades que han sido parte del proceso de formación durante la carrera.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
2. MARCO TEÓRICO	8
3. METODOLOGÍA.....	12
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	27
REFERENCIAS	28

ACRÓNIMOS

- ✓ *MB* Michell-Banki
- ✓ *Q* Caudal
- ✓ *H* Altura
- ✓ *mm* Milímetros
- ✓ *m* Metros
- ✓ (n_s) velocidad específica
- ✓ *P* Potencia
- ✓ *Mw* Megavatios

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

1. INTRODUCCIÓN

GENERALIDADES

En el presente informe se describe las actividades desarrolladas para la construcción de un rotor para una turbina tipo Michell-Banki (MB). [1] [2]

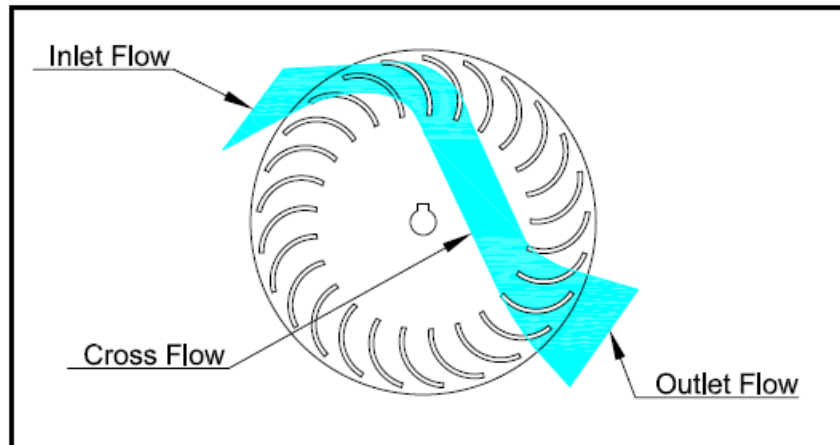
Las zonas apartadas de las grandes ciudades del país no cuentan con energía eléctrica, según un informe de la agencia de noticias el tiempo, más de 1700 poblados de Colombia no cuentan con energía eléctrica permanente sin mencionar cada una de las casas pertenecientes a la zona rural del país [3]. Puedo suponer que las hidroeléctricas que existen en el país no invierten en la expansión de su cobertura eléctrica para las zonas rurales debido a la baja densidad poblacional, lo cual implicaría un largo tiempo de recaudamiento de las altas inversiones que conlleva dicho cubrimiento. En Colombia se cuenta con alrededor de 470,000 viviendas sin servicio de energía eléctrica [4]. Con la elaboración de la turbina MB, buscamos llevar energía a esas zonas teniendo en cuenta los bajos costos de adquisición, podemos decir que será asequible para toda la población, que además de no tener acceso a la energía eléctrica también son poblaciones de bajos recursos económicos. El estudio de la implementación de la turbina MB es el inicio de la viabilidad de un proyecto a gran escala que busque la electrificación de las zonas donde toda esta población sea beneficiada. Además Colombia cuenta con pequeños afluentes de agua que pueden ser aprovechados para la generación de electricidad con la turbina MB [5].

La turbina Michell o también conocida como turbina de flujo transversal, o turbina Banki [6] ha tenido un gran impacto en la historia desde su desarrollo por el australiano Anthony Michell, el húngaro Donát Bánki y el alemán Fritz Ossberger [1]. Ha tenido gran impacto en muchas partes del mundo por su fácil diseño y construcción, también porque no requiere altos caudales de agua, solo requiere de un flujo constante y que tenga cierta velocidad.

Como podemos ver en la figura 1, el funcionamiento de esta turbina se basa primero en sus dos partes principales que la componen, el inyector y el rotor, primero el agua llega al rotor por medio de una descarga atmosférica direccionada por el inyector hacia el rotor, generando el movimiento circular del mismo que viene dado por el agua que impacta en los alabes a un ángulo determinado [7]. La energía del agua es transferida al rotor en dos etapas, lo que también da a esta máquina el nombre de turbina de doble efecto, y de las cuales la primera etapa entrega un promedio del 70% de la energía total transferida al rotor y la segunda alrededor del 30% restante [7].

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

Figura 1. Entrada y salida del fluido en la turbina de flujo cruzado [8]



JUSTIFICACIÓN

Debido al gran desarrollo que ha tenido la implementación de la turbina de flujo transversal en el mundo y acá en Latinoamérica, quisimos enfocarnos en la construcción de una de estas, pero teniendo en cuenta, los sectores donde se pueden instalar. La principal mira de este proyecto es generar energía en zonas donde no la hay, teniendo en cuenta que estas zonas se caracterizan por ser de escasos recursos económicos y que no tienen grandes fuentes de agua como ríos y cascadas, pero si cuentan con pequeños afluentes hídricos con los cuales podemos generar energía eléctrica utilizando la turbina MB. En regiones como los llanos orientales, tener alturas para caídas de agua con 1m de desnivel, que es el rango mínimo actual para el funcionamiento de las turbinas MB, es complicado, por tal motivo nuestro trabajo se enfoca en hacer funcionar la turbina con una caída mínima de 0.5m.

En la fabricación de este proyecto se tuvo la oportunidad de aplicar todos los conocimientos técnicos que hemos adquirido en el proceso de formación de la carrera, donde se refuerzan por medio de la práctica durante el desarrollo ganando experiencia en el área.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

Objetivo general

Construir un rotor de una turbina de flujo trasversal tipo Michell-Banki para producción de energía eléctrica en pequeños hídricos de nuestro país.

Objetivos específicos

- Seleccionar adecuadamente los materiales para la construcción del rotor.
- Ejecutar planes y métodos para la fabricación de las piezas.
- Desarrollar el proceso de corte y acabado de cada pieza.
- Mostrar un producto terminado y funcionando.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

2. MARCO TEÓRICO

Funcionamiento y su desarrollo en Colombia

El funcionamiento de la turbina es muy sencillo, el fluido (agua) pasa con una presión determinada por el inyector la presión se debe a la altura de donde venga el fluido, el chorro del agua es controlado por una válvula, la cual permite variar la velocidad, al llegar al rotor choca contra los alabes a un ángulo de ataque determinado por su diseño, esta fuerza de choque hace girar el rotor y a su vez también al generador, que va conectado mediante un eje al rotor, este movimiento se genera a una velocidad determinada, de acuerdo con la demanda de potencia del generador [2] [6] [1] [9]. Se dice que en Colombia las turbinas de flujo cruzado no son muy conocidas, no han tenido un desarrollo notable dentro del país, pero a pesar de todo si hay algunas minis, micro, y picos centrales que han acudido a la implementación de turbinas de tipo Michell-Banki. [2]

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

Figura 2. centrales hidroeléctricas que han implementado turbinas Michell-Banki [2]

Central	Localización	# / Marca	kW	Año
Parroquia Palermo	Palermo, Boyacá	1 Ossberger ^a	15.3	1958
Inza	Inza, Cauca	1 Ossberger ^a	58.9	1963
Plantación Mirapalm	Tumaco, Nariño	1 Ossberger ^a	40.6	1973
Paucedonia	Sierra Nevada, Magdalena	1 Colturbinas ^b	16	1989
Siervo Arias	Sierra Nevada, Magdalena	1 Colturbinas ^b	13	1989
Machosolo	Sierra Nevada, Magdalena	1 Colturbinas ^b	14	1991
La Tagua	La Tagua, Magdalena	1 Colturbinas ^c	10	1991
Caracolí	Caracolí, Guajira	1 Colturbinas ^b	60	1994
López de Micay	López de Micay, Cauca	2 Italianas ^d	300	1995
López de Micay	López de Micay, Cauca	2 Colturbinas ^c	300	1995
La Reforma - Emcali	Cali, Valle	1 Ossberger ^e	169	1996
Alcaldía de San Juan	Caracolí, Guajira	1 Colturbinas ^c	30	2000
Guacamayas	San Vicente del Caguán, Caquetá	1 Alfa I. M. ^f	5	2002
La Uribe	La Uribe, Meta	1 Alfa I.M. ^f	3	2003
Bahía Cupica	Bahía Cupica, Chocó	1 Colturbinas ^c	327	2004
Hacienda Pajonales S.A.	Departamento del Tolima	1 Aprotéc ^g	20	Sin dato
Termales de Santa Rosa	Santa Rosa, Risaralda	1 Aprotéc ^g	50	2005
Puerto Amor	San Vicente del Caguán, Caquetá	1 Alfa I.M. ^f	3	2005
Vereda Las Juntas	Litoral Pacifico Vallecaucano	1 Aprotéc ^g	30	Sin dato
Refugio del Cisne	Parque Natural de los Nevados	1 Aprotéc ^g	7.5	Sin dato
El Molino	Resguardo Indígena Paez de Lame	1 Aprotéc ^g	10	2000
San Francisco	Resguardo Indígena Paez de San José	1 Aprotéc ^g	25	2005

a (Ossberger, Sin fecha); b (Núñez, 1993); c (Colturbinas, 2007); d (Silva, 2008); e (Slogsnat et al., 1996);

Para la fabricación de una turbina tipo Michell-Banki o también llamada turbina de flujo transversal, se deben de tener en cuenta una serie condiciones en el momento de su diseño, para más claridad le presentaremos algunas generalidades para tenerlas en cuenta. [6]

Rangos de operación

Rangos de operación de la turbina tipo Michel-Banki [2]

Altura (H) = $1\text{m} \leq H \leq 100\text{m}$

Caudal (Q) = $0.2 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 7 \text{ m}^3/\text{s}$

Potencia (P) = $P \leq 1\text{Mw}$

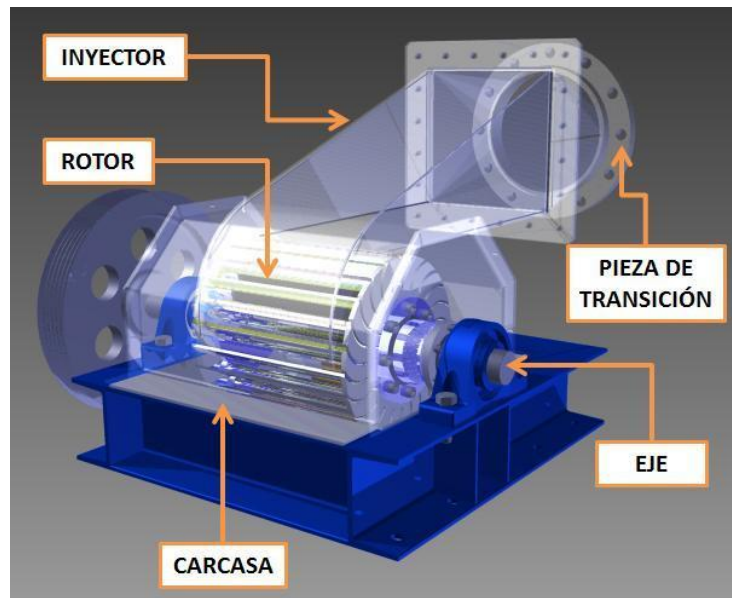
Velocidades específicas(n_s) = $30 \leq n_s \leq 180$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

Partes de una turbina

La turbina está compuesta por un inyector que es el encargado de direccionar el fluido hacia los alabes, tenemos también el rotor el genera el movimiento circular que es transmitido por un eje hacia el generador eléctrico y por último la carcasa que protege toda la turbina evitando filtraciones [10]. Este conjunto de piezas forma como tal la turbina de flujo cruzado.

Figura 3. Partes principales de una turbina Michell Banki [11]



Diámetro del rotor

El diámetro de la turbina no depende necesariamente del caudal (Q), algunos investigadores han llegado a la conclusión de que para pequeños aprovechamientos los diámetros utilizados están entre 200 a 500 mm. Se debe tener en cuenta que si el rodete es muy grande la velocidad serán menores también se debe mantener una proporcionalidad entre el diámetro y el ancho de la turbina para evitar perturbaciones en la vena de fluido [6]. Existen unas tablas que nos pueden ayudar para seleccionar el ancho del rotor que

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

necesitamos, que es calculando el valor de Q/\sqrt{H} , donde Q es el caudal y H la altura de caída del fluido. En la siguiente tabla veremos según los resultados así mismo el diámetro [12].

Tabla 1 selección de diámetro del rotor [6]

Q/\sqrt{H}	Diámetro del rotor (mm)
0,02236 - 0,04743	200
0,04743 - 0,07906	300
0,07906 - 0,11068	400
0,07906 – 0,15812	500

Igualmente, el diseño del inyector y la carcasa viene dados a unas condiciones que se dan desde un principio en el diseño de la turbina, también el número de alabes van relacionado con el caudal y la altura, estos estándares viene dados de muchos estudios que sean realizado respecto al tema durante mucho tiempo atrás por tal razón ya se tienen estandarizados las condiciones de estos por el ejemplo el número de alabes que debe llevar el rotor dependiendo su diámetro [6] [12].

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

3. METODOLOGÍA

La construcción de la turbina debe estar basada en unas condiciones iniciales como caudal (Q) altura (H) y potencia (P) requerida. El trabajo consiste en la construcción de una de sus partes más importantes, el rotor, donde vamos a partir de unos parámetros que fueron dados, después de haber realizado un previo estudio sobre las condiciones que se va a operar la turbina tipo MB. Cabe aclarar que no hace parte de este trabajo realizar los cálculos correspondientes de las cantidades y los tamaños de las piezas que componen el rotor. Nos limitamos únicamente a seguir las instrucciones, realizar cortes a la medida y detalles de ensamblaje y acabado.

Capítulo 1. Parámetros de construcción

En la tabla 1 se presentan los Parámetros que recibimos para la construcción del rotor.

Tabla 2 medidas y cantidades como parámetros de construcción del rotor

Variable	Valor	unidades
Diámetro exterior	200	mm
Cantidad de alabes	28	unid
Longitud del alabe	130	mm
Longitud de arco del alabe	36.12	mm
Radio interior	30	mm
Espesor del alabe	2.5	mm
Angulo de perfilado	56	Grados

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

Capítulo 2. Fabricación de los alabes

2.1. Selección de material

Para la fabricación de estos alabes se buscaron varias alternativas las cuales fueron evaluadas para escoger la mejor alternativa que hiciera más fácil su construcción, teniendo en cuenta costos y resistencia de los materiales. De acuerdo a los parámetros dados se procedió a que los alabes podían ser sacados de un tubo en acero al carbono comercial, ya que este cumplía con las especificaciones necesarias.

Entre las otras opciones estaba, tener una platina de una materia resistente que nos cumpliera con las condiciones de trabajo, cortar las piezas con respectivas medidas y luego darles una curvatura de manera que nos diera el ángulo que necesitábamos, para realizar este proceso de curvatura se necesita una dobladora muy acorde a lo que se necesitaba, debido a que las piezas eran muy pequeñas y complicaban un poco el proceso.

Por esta razón fue mejor seleccionar un tubo comercial en el mercado ahorrándonos este procedimiento y costos.

En la tabla 3 veremos las especificaciones del tubo seleccionado.

Tabla 3. Especificaciones del tubo

Tubería estructural redonda Acabado Negro y Galvanizado				
Diámetro nominal (pulg)	Diámetro externo (pulg)	Diámetro externo (mm)	Espesor (mm)	Peso teórico (kg/m)
2	2.36	60	2.5	3.55

Este tipo de tubería es utilizada para el transporte de agua en las industrias y además cuenta con un material como el acero negro y galvanizado que la hace resistente a la corrosión, la curvatura y espesor del tubo nos da con la medida requerida, con este tipo de tubería nos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

evitamos los dobles de los alabes ya teniendo seleccionado el material se procedió a cortar la secciones y darles su determinado acabado.

2.2. Materiales y herramientas

Tabla 4 Materiales para construcción de los alabes

Materiales	Cantidad (m)	Precio
Tubo cerramiento Galvanizado 2pg x 2.49mm x 6m	1	\$ 20,000

Para el siguiente paso el corte de los alabes, les mostraremos a continuación las herramientas utilizadas para tal proceso.

Tabla 5 Herramienta utilizada en la elaboración de los alabes.

Herramientas	Tipo
Tronzadora	Segueta R1410-5
Calibrador	Pie de Rey
Flexómetro	Cinta
Pulidora	4-1/2"
Disco de corte	4-1/2"
Fresadora	Horizontal
Fresa plana vertical	K-2 TIAIN-10.0mm

Capítulo 3. Procedimiento de corte

3.1 Corte se las secciones de tubo

Se procedió a cortar las secciones del tubo, cada sección es de 130 mm de longitud, en total se cortan siete secciones de las cuales sacaremos cuatro alabes por cada sección, dando el total de los 28 alabes que necesitamos para el rotor.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

Las secciones de tubo fueron cortadas en la tronadora de segueta, este proceso también se puede llevar a cabo de manera manual con segueta de mano, si no se cuenta con este tipo de máquina que lo que hace es agilizar el proceso. Las secciones de tubo fueron cortadas con una tolerancia de 3 milímetros. La tronadora utilizada para el corte de las secciones se muestra en la siguiente figura.

figura 4. máquina utilizada para los cortes de cada sección del tubo



3.2 Corte de los alabes

Para sacar cada alabe de la sección de tubo se hizo manual mediante la pulidora, utilizando una plantilla de madera que fue hecha con las medidas adecuadas para marcar los cortes de cada alabe.

Cada sección de tubo después de ser trazada fue colocada en una prensa manual de tornillo de manera quedase totalmente fija, para después con la pulidora fuera cortada por la línea trazada en el tubo, al terminar cada corte se aflojaba la prensa y se giraba la pieza de manera que diera para realizar el siguiente corte así sucesivamente hasta sacar las cuatro piezas de cada sección de tubo. Este proceso tomaba aproximadamente de 15 a 20 minutos por cada sección de tubo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

En la siguiente imagen podemos ver el montaje realizado para realizar los cortes de cada alabe como se puede apreciar es un procedimiento muy sencillo de realizar teniendo en cuenta todos los protocolos de seguridad.

figura 5. corte manual de alabes usando segueta y prensa de tornillo



Capítulo 4. Rectificado en la fresadora

Para hacer este proceso en la fresadora fue necesario realizar un montaje de manera que el alabe quedase totalmente a nivel con la mesa de trabajo de la máquina, se utiliza una prensa manual la cual se asegura a la mesa de trabajo para allí sujetar la pieza. Para elaborar el montaje para ubicar los alabes se utilizó material como prolon, este material nos permite ser moldeado con facilidad y a su vez nos da la resistencia que necesitamos, a la pieza de prolon se le hizo un tipo de canal donde se ubicó la curvatura del alabe y se asegura por dos tornillos con arandelas a sus extremos, finalmente con la ayuda de un nivel se coloca el alabe de manera paralela al plano de la máquina, y se asegura con los tornillos quedando fijo y listo para su respectivo acabado. En la siguiente imagen se verá la pieza montada.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

figura 6. Pieza de prolon usada para el montaje y ratificado de los alabes



4.1 Puesta a punto de la fresadora

Con la ayuda de un comparador de caratula y un nivel se alinea el huesillo de la fresadora con la prensa, para así lograr que el acabado de los bordes del alabe queden totalmente alineado.

Después de alinear la prensa se hace el montaje de la herramienta de corte la cual es una fresa plana de 10 milímetros y se dan las revoluciones adecuadas a la maquina según el material que este caso se trabajó a 2300 rpm siendo la adecuada para este material, estas revoluciones fueron dadas por el laboratorista.

El desbaste de la pieza se hizo a 90° con respecto al plano, logrando así un perfilado con un ángulo de 56°, este ángulo es el de ataque de agua en el alabe disminuyendo la resistencia y aumentando la eficiencia del rotor.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

Capítulo 5. Elaboración de los discos del rotor

La elaboración del rotor se con uno de sus lados en acrílico y el otro de metal.

Los materiales fueron comprados en chatarrería para su economía, las especificaciones del material se encuentran a continuación.

Tabla 6 Materiales utilizados para elaboración de los discos

Materiales	Dimensiones
Platina de hierro	Ø200mm espesor 3/16"

Capítulo 6. Procedimiento

6.1 Refrentado

El material para la platina se consiguió en chatarrería, para más economía, igual el de acrílico, las piezas se compraron cortadas con un diámetro aproximado a los 200 milímetros del rotor para después ser ajustado a su medida exacta.

La platina fue montada en el torno convencional el cual nos permitió realizar el terminado de una manera precisa y pulida, para este montaje se perfora en su centro para allí poder ajustar cierto tornillo el cual nos va a permitir más fácil el montaje en la copa, hay que tener muy claro el tipo de tornillo para así mismo la perforación sea hecha de la medida dada, después de poner a punto de operación la pieza iniciamos el refrentado hasta llevarla hasta el diámetro requerido, esto es hecho mediante un buril de refrentado corriente. En la siguiente imagen se puede apreciar el montaje.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

figura 7. Cilindrado de la platina en el torno convencional



6.2 Perforación

Las perforaciones fueron realizadas en el torno CNC, también se pueden realizar manualmente con un taladro si no se cuenta con una máquina de este tipo (CNC). Primero se partió haciendo el modelo del disco en SolidWorks donde se le dan distribución de 28 perforaciones de 3/16" de pulgada las cuales nos permiten sujetar los alabes mediante un punto de soldadura por la parte de afuera, lo que nos permite que el rotor quede totalmente limpio por dentro sin puntos de soldadura ni tornillos que nos generen turbulencias en el fluido, al momento de la operación de la turbina, el disco también lleva adicional las perforaciones donde van los acoples que sujetarán el rotor, se recomienda la distribución de seis tornillos para más rigidez del rotor y evitar desajustes en el momento de la operación. A continuación, veremos las imágenes del disco montado en la máquina y la programación de los agujeros.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

figura 8. imagen del momento de programación de los agujeros en el torno CNC

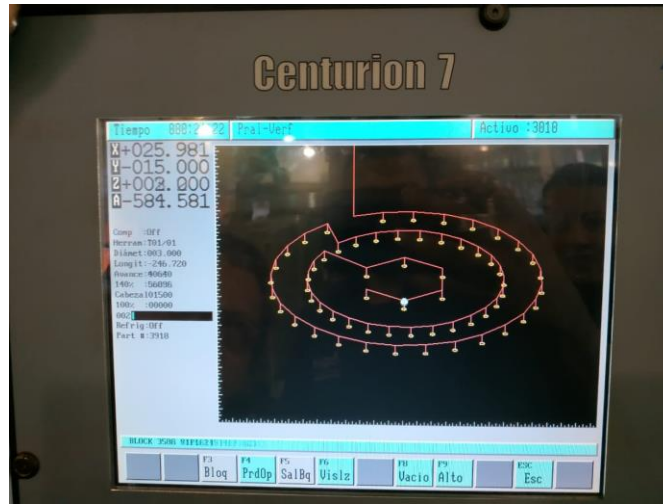


figura 9. Proceso de perforación en la platina con el torno CNC



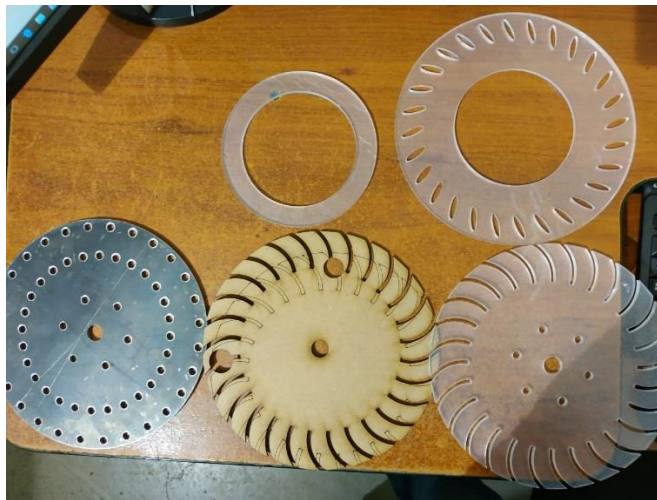
De igual manera los discos de acrílico fueron diseñados en SolidWorks y programados en la máquina de laser que está en laboratorio de máquinas del ITM donde posteriormente fueron cortados, se hicieron dos disco uno con perforaciones de la medida del alabe de forma que encajaran y se realiza una adicional en otro material en este caso de madera

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

para que nos sirva de guía para soldar los alabes en el disco metálico para garantizar el ángulo del alabe.

Se corta otro disco del mismo diámetro de acrílico y con un agujeros ovalados al tope (figura 8) que quedase de forma de tapa para cada alabe y pódelos soldar. La siguiente imagen nos ilustra mejor el proceso.

figura 10. Discos de hierro, metal, y acrílico que se utilizaron en el ensamble del rotor



Capítulo 7. Montaje

7.1 Procedimiento

Por último, ya teniendo todas las piezas listas se pasó a ensamblar el rotor. primero se hizo el ensamble provisional ajustando todas las piezas con ayuda de los discos que se cortaron de madera y mediante un eje roscado que sujeta cada extremo del rotor, esto se hizo con el objetivo de garantizar que cada alabe quedara en su sitio y que al momento de ser soldados no se movieran, de esta forma se mantuvo el ángulo de inclinación de cada uno de ellos. A continuación, veremos en la imagen el rotor listo para soldar.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

figura 11. Ensamblaje del rotor con sus discos de madera como formaletas para ser soldado



En la imagen se puede apreciar el rotor con parte de sus alabes ensamblados mediante las formaletas de madera que se fabricaron, al quedar todos los alabes listos en su puesto para después ser soldado.

Figura 12. Rotor soldado a la parte del disco metálico y pintado



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

El siguiente paso fue ubicar el disco de acrílico en la otra cara del rotor, cada alabe encajo un su guía del disco, con ayuda de un pegamento se figaron los discos para ya dar por terminado el rotor dándole rigidez y resistencia que se requiere para su óptimo funcionamiento.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Corte de las secciones de tubo

El método de corte utilizado en los alabes, usando la tronzadora nos permitió lograr en menor tiempo el corte de las secciones del tubo, así mismo mantener un ángulo de corte aproximadamente igual para todas las piezas, sin embargo fue necesario recurrir a la tolerancia que se optó dejar para cada corte debido a la inexactitud, lo cual nos permitió mantenernos siempre por encima de la medida requerida, para que en el momento de montarlas a la fresadora donde hicimos el rectificado de cada pieza, nos garantizara que cada corte fuese corregido y quedara totalmente plano.

Si estos cortes se hicieran de manera manual igualmente no habría ningún inconveniente, solo se tomaría un poco más de tiempo, porque también se necesitaría dejar una tolerancia justa para realizar el acabado final ya que resulta muy difícil tanto manual como en la tronzadora mantener un corte perfecto.

Corte y rectificado de los alabes

La plantilla utilizada para la marcación se hizo de madera de manera que envolvieran el tubo y se pudieran marcar la línea de corte de cada sección de los alabes. Esto sirvió para que todos de los alabes quedaran de la misma dimensión y llevar mas acabo la tarea en menor tiempo.

Al realizar los procesos con pulidora manualmente nos dio como resultados cortes inexactos en las piezas por eso fue necesario llevar las piezas a una maquina como fue la fresadora en este caso, la que nos permitió rectificar cada corte y asimismo darle los ángulos requeridos que nos pedían en el diseño, quedando todas las piezas iguales.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

Elaboración Discos del rotor

Los discos pares el rotor no fueron realizados en metal y acrílico para que la parte de acrílico nos permitiera visualizar el comportamiento del fluido en momento de la operación para observar con claridad los diferentes fenómenos y poder tomar evidencias y sacar conclusiones siendo esta turbina un producto de laboratorio.

Los materiales al ser comprados en chatarrería nos ahorraron costos en el proyecto, porque si se hubiesen sido comprados en otros lugares como fabricas o ferreterías los costos serían más altos y además venden por mayor. Por ejemplo, un tubo de seis metros de los cuales no se utilizan si no máximo dos metros.

Perforación

Se escogió hacerse por la máquina de control computarizado ya que se contaba con esta en el taller y nos hacía más sencillo el proceso, y nos evitaba el proceso de marcación de la pieza y distribución de los agujeros que tomaría un poco más de tiempo si se hiciera manual. Además, no da una mayor precisión en todas las perforaciones.

También es viable realizar este proceso con taladro manual y obtener buenos resultados en caso de que no se cuente con una maquina de control computarizado, siempre y cuando se realice el proceso de manera curiosa y ordenada sin alterar los parámetros del diseño.

Resultado final.

Con todo este proceso dimos por terminado el rotor, obteniendo unos resultados muy favorables ya que se cumplieron los requisitos de diseño, el manejo de herramientas y todo el proceso salió muy acorde a lo que se esperaba. En la siguiente figura ya podemos observar el resultado final del proyecto don vemos la turbina tipo Michel-Banki completada con el rotor y sus demás partes.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

Figura 13. turbina tipo Michell-Banki terminada



	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- De acuerdo con lo señalado y los resultados obtenidos en el trabajo podemos concluir sobre las ventajas que tiene la instalación de una turbina tipo Michell-Banki, gracias a facilidad de construcción y bajos costos.
- Es importante realizar un buen estudio previo para tener éxito en el proyecto.
- Realizar la construcción del diseño, nos permite desarrollar habilidades prácticas como: métodos de medición, corte, manejo de herramientas y maquinaria como tornos, taladros entre otras.
- La fabricación de este tipo de turbina ayuda a su desarrollo en el país, mostrando las garantías y beneficios que presta.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

REFERENCIAS

- [1] B. T. T. K. N. Supriya Koirala, «Analysis of the Flow Condition in a Cross Flow Turbine,» *Conferencia Internacional sobre el Desarrollo de la Tecnología de Energías Renovables (ICDRET)*, p. 4, 2014.
- [2] E. A. P. H. C. A. P. G. Jorge Iván Gómez Gómez, «La turbina MICHELL-BANKI y sus presencia en colombia,» *Avances en Recursos hidrahúlicos*, nº 17, p. 34 a 42, 2008.
- [3] EL TIEMPO, «eltiempo.com,» El Tiempo, 25 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-lugares-que-aun-viven-sin-energia-electrica-en-colombia-325892>.
- [4] J. S. v., «El espectador,» Jorge Sáenz v, 7 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.elespectador.com/economia/en-penumbras-25-millones-de-colombianos-no-tienen-energia-electrica-articulo-706892>. [Último acceso: 13 Febrero 2019].
- [5] E. universal, «El universal,» Ricardo José Lozano, 08 Abril 2011. [En línea]. Available: <https://www.eluniversal.com.co/ambiente/colombia-uno-de-los-mas-ricos-en-recursos-hidricos-18471-FPEU96564>. [Último acceso: 02 Marzo 2019].
- [6] L. R. C. P. M. F. C. R. L. Edgar Paz Pérez, «METODOLOGÍA DE DISEÑO HIDRÁULICO Y MECÁNICO DE UNA TURBINA,» de *8º CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA*, Guaratinguetá, 2007.
- [7] H. O. A. Ulku, «The effect of inlet nozzle and runner geometry on the efficiency of radially loaded cross-flow turbines,» *Cairo International Symposium On Renewable Energy*, El Cairo, 1988..
- [8] J. D. P. Restrepo, «Study of the Effect of the Geometrical Parameters of the Runner and Operation Conditions on Performance and Flow Characteristics in a Cross Flow Turbine,» Medellín, 2014.
- [9] V. V. V. K. G. a. B. Shashi Chichkhede, «A simulation based study of flow velocities across cross flow,» *Procedia Technology*, nº 974 – 981, p. 8, 2014.
- [10] V. S. ,. C. A. A. C. T. T. M. Sinagra, «Cross-Flow turbine design for variable operating conditions,» *Procedia Engineering*, nº 9, p. 1539 – 1548, 2014.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

- [11] R. E. Z. BONILLA, «DISEÑO DE UN GRUPO HIDROENERGÉTICO CON UNA TURBINA MICHELL-BANKI DE 40 kw,» Lima, 2012.
- [12] O. O. J. RODRIGO, «“ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE TURBINAS MICHELL BANKI DE HASTA 1 Mw.”,» RIOBAMBA – ECUADOR, 2010.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2019-03-07

FIRMA ESTUDIANTES 

FIRMA ASESOR Jorge Sierra

FECHA ENTREGA: 08-03-2019

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES ___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____