



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS



**AUTORES:**

**NOMBRES:** RONALD YORDANO **APELLIDOS:** COLMENARES RODRÍGUEZ

**NOMBRES:** JESÚS ALBEIRO **APELLIDOS:** FLÓREZ GARCÍA

**FACULTAD:** INGENIERÍA

**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**DIRECTORA:** GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTÍNEZ

**TITULO DE LA TESIS:** DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA DE UN BANCO DE PRUEBAS DE TURBINAS DE ACCIÓN CON SU PROTOTIPO PELTON PARA LOS LABORATORIOS DEL DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER UBICADA EN LA CIUDAD DE CÚCUTA - NORTE DE SANTANDER.

**RESUMEN:**

La aplicación de este proyecto tiene como fin diseñar y construir un banco de pruebas para turbinas de acción con su prototipo Pelton, y así visualizar y comprender el principio de funcionamiento de una PCH, que aprovecha la energía hidráulica, para posteriormente convertirla en energía eléctrica.

La metodología empleada se basó en:

Recopilación bibliográfica sobre turbinas Pelton en la actualidad que nos permite asegurar la ejecución de este proyecto. El diseño y construcción nos permite determinar el óptimo rendimiento práctico de la turbina. La construcción se basó en las fases de proyectos de ingeniería, como lo son ingeniería conceptual, ingeniería básica e ingeniería de detalle.

**CARACTERÍSTICAS:**

**PAGINAS:** 190 **PLANOS:** 7 **ILUSTRACIONES:** 166 **CD-ROM:** 1

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA DE UN BANCO DE PRUEBAS DE  
TURBINAS DE ACCIÓN CON SU PROTOTIPO PELTON PARA LOS  
LABORATORIOS DEL DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA  
DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER UBICADA EN LA  
CIUDAD DE CÚCUTA - NORTE DE SANTANDER.**

**RONALD YORDANO COLMENARES RODRÍGUEZ**

**JESÚS ALBEIRO FLÓREZ GARCÍA**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**SAN JOSÉ DE CÚCUTA**

**2014**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA DE UN BANCO DE PRUEBAS DE  
TURBINAS DE ACCIÓN CON SU PROTOTIPO PELTON PARA LOS  
LABORATORIOS DEL DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA  
DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER UBICADA EN LA  
CIUDAD DE CÚCUTA - NORTE DE SANTANDER.**

***RONALD YORDANO COLMENARES RODRÍGUEZ***

***JESÚS ALBEIRO FLÓREZ GARCÍA***

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electromecánico

Directora:

***GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTÍNEZ***

**Especialista Ingeniero Electromecánico**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**SAN JOSÉ DE CÚCUTA**

**2014**



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

## ACTA DE SUSTENTACION DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: 13 NOVIEMBRE DE 2014

HORA: 2:00PM

LUGAR: SALA JUNTAS DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA ELECTROMECANICA

TITULO DE LA TESIS: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE TURBINAS DE ACCIÓN CON SU PROTOTIPO PELTON PARA LOS LABORATORIOS DEL DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER.

JURADOS: IE. Msc. JOSE ARMANDO BECERRA VARGAS  
IE. Ph.D. FRANCISCO ERNESTO MORENO GARCIA

DIRECTOR: IEM. Esp. GLORIA ESMERALDA SANDOVAL

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO NUMERO	CALIFICACIÓN	
		LETRA	LETRA
RONALD YORDANO COLMENARES RODRIGUEZ	1090341	4.4 CUATRO	CUATRO
JESUS ALBEIRO FLOREZ GARCIA	1090324	4.4 CUATRO	CUATRO

## APROBADA

FIRMA DE LOS JURADOS:

\_\_\_\_\_  
JOSE ARMANDO BECERRA VARGAS

\_\_\_\_\_  
FRANCISCO ERNESTO MORENO GARCIA

Vo. Bo.

\_\_\_\_\_  
ING. FRANCISCO ERNESTO MORENO G.  
Coordinador Comité Curricular

Jessica l.



## **Dedicatoria**

Mi tesis la dedico con todo amor y cariño:

A Dios, por darme la vida y regalarme a mi familia tan maravillosa.

A mi hijo, que viene en camino y lo esperamos con mucho amor.

A mi madre Belén Rodríguez Santos, por ser tan comprensiva conmigo y por ser el ángel en mi vida.

A mi padre Angelmiro Colmenares Chacón, por enseñarme tantas cosas buenas y apoyarme siempre.

A mi esposa Lisbeth Vega Urbina, quien me ha apoyado incondicionalmente y me ha dado su cariño y su amor.

A mis hermanos Christian y Angelmiro Jr., a ellos les deseo lo mejor del mundo para sus vidas.

A mis familiares y amigos especialmente a Jesús Flórez García por ser una persona ejemplar.

**Ronald**

## **Dedicatoria**

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién me ha guiado por el buen camino, por darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia y a mis amigos por su gran apoyo.

A mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mi novia por su apoyo incondicional.

Y a todas esas personas que me dieron su apoyo para poder culminar este gran logro en mi vida, a todos ellos muchas gracias.

**Jesús**

## **Agradecimientos**

A la ingeniera Gloria Esmeralda Sandoval Martínez que a través de su conocimiento nos apoyó incondicionalmente.

A los docentes por transmitirnos sus conocimientos científicos y experimentales, para dar inicio una nueva etapa profesional en la vida y contribuir al mejoramiento del desarrollo tecnológico que rige en la sociedad.

A los familiares y amigos quienes de una u otra manera nos apoyaron en esta etapa.

## Tabla de contenido

1	Introducción	1
1.1	Título	2
1.2	Planteamiento del problema	3
1.3	Justificación	4
1.3.1	Beneficios ambientales	4
1.3.2	Beneficios científicos	4
1.3.3	Beneficios económicos	5
1.3.4	Beneficios educativos (autores)	5
1.3.5	Beneficios institucionales	5
1.3.6	Beneficios sociales	5
1.3.7	Beneficios tecnológicos	5
1.4	Objetivos	6
1.4.1	Objetivo general.	6
1.4.2	Objetivos específicos.	6
1.5	Alcances	7
2	Antecedentes	8
2.1	Estado del arte	8
3	Marco contextual.	15
4	Marco teórico	16
4.1	Banco de pruebas	16
4.2	Turbina	17
4.3	Turbinas hidráulicas	19
4.3.1	Turbinas de reacción	19
4.3.1.1	Turbina Francis	20
4.3.1.2	Turbina Hélice	21
4.3.1.3	Turbina Kaplan	22
4.3.2	Turbinas de acción	22
4.3.2.1	Turbina Pelton	22
4.3.2.2	Turbina Turgo	23
4.3.2.2.1	Teoría del funcionamiento	24
4.4	Energías renovables.	25

4.4.1	Energía hidráulica	25
4.4.2	Energía hidroeléctrica	26
4.5	Central hidroeléctrica	27
4.5.1	Clasificación de las centrales hidráulicas	28
4.5.2	Conversión de energía hidráulica en eléctrica	28
4.5.3	Pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)	29
4.5.3.1	Tipos de PCH	29
4.5.3.1.1	Ventajas de la energía hidroeléctrica a pequeña escala	31
4.5.3.1.2	Desventajas de la energía hidroeléctrica a pequeña escala	31
4.5.3.2	Azud	32
4.5.3.3	Presas	33
4.5.3.4	Aliviaderos, compuertas y válvulas	34
4.5.3.5	Canales, túneles y tuberías	34
4.5.3.6	Tubería forzada	34
4.5.4	Generador	35
4.6	SolidWorks	36
4.7	Impresora 3D	37
4.7.1	Impresión por inyección	38
4.7.1.1	Materiales de impresión	39
4.7.2	Impresión 3D de Polímero PLA	39
5	Marco legal	41
6	Diseño metodológico	42
6.1	Tipo de investigación	42
6.2	Actividades y metodología	42
7	Ingeniería conceptual	44
7.1	Bomba hidráulica	44
7.2	Alternador	45
7.3	Chumacera	46
7.3.1	Rodamiento	47
7.4	Eje	48
7.5	Polea	48
7.6	Correa de transmisión	49
7.7	Accesorios de tubería hidráulica	50
7.7.1	Bridas	50
7.7.2	Codos	50

7.7.2.1	Tipos	50
7.7.3	Válvula de pie	51
7.8	Tanque	52
7.9	Turbina Pelton	53
7.9.1	Selección de turbinas	53
7.9.2	Elementos de una turbina Pelton	54
7.9.2.1	Rodete	54
7.9.2.2	Rueda Motriz	54
7.9.2.3	Álabes	55
7.9.2.4	Distribuidor	56
7.9.2.5	Cámara de distribución	56
7.9.2.6	Inyector	56
7.9.2.7	Carcasa	57
7.9.3	Estructura de turbina Pelton	58
7.9.4	Característica operativa de la turbina	59
7.10	Diseño mecánico de la turbina	60
7.10.1	Números característicos de velocidades $n_q$ y $n_s$	60
7.10.2	Triangulo de velocidades	61
7.10.2.1	Velocidad absoluta $C_1$	62
7.10.3	Diámetro Pelton de la turbina	63
7.10.4	Velocidades en las palas o alabes	64
7.10.5	Polígono de velocidades	65
7.11	Dimensionamiento de cucharas Pelton en función del diámetro del chorro	67
7.11.1	Forma de la pala o alabe	69
7.11.2	Diametro del rodete	72
7.11.3	Altura teórica	72
7.11.4	Eficiencia teórica	72
7.11.5	Potencia hidráulica	72
7.11.6	Fuerza del Chorro	73
8	Ingeniería básica	74
8.1	Cálculos	74
8.2	Diseño mecánico del rodete Pelton para el banco de pruebas	75
8.2.1	Diseño hidráulico mecánico	75
8.2.1.1	Velocidad absoluta $C_1$	75
8.2.1.2	Velocidad absoluta $U_1$	76

8.2.2	Diámetro Pelton de la turbina	76
8.2.3	Velocidades en las palas o alabes	77
8.2.4	Altura teórica	79
8.3	Dimensionamiento de cucharas Pelton en función del diámetro del chorro	80
8.3.1	Determinación del número de álabes	82
8.4	Sistema de abastecimiento	83
9	Ingeniería de detalle	84
9.1	CAD en SolidWorks y fabricación del rodete Pelton	84
9.2	CAD del disco Pelton hecho en SolidWorks 2013	92
9.3	Impresión 3d de los alabes y el disco	106
9.3.1	Impresora utilizada	106
9.3.1.1	Impresora Wanhao duplicador 4X 3D en Negro Caso de doble Extrusora	106
9.3.2	Material: biopolímero PLA	106
9.3.2.1	Características	106
9.4	Alabe con dimensiones iniciales del diseño	107
9.5	Impresión del diseño corregido del alabe	108
9.6	Proceso de unión o ensamble de los álabes al disco	112
9.6.1	Adecuación de la saliente del alabe	112
9.7	Ensamble del rodete Pelton	113
9.8	Construcción de la estructura base del banco	114
9.9	Eje de la turbina Pelton	116
9.9.1	Proceso de roscado de la punta del eje	116
9.10	Rodamientos	117
9.11	Electrobomba hidráulica	118
9.11.1	Características	119
9.12	Accesorios y tubería	120
9.13	Construcción del tanque de almacenamiento	120
9.14	Tubería en la succión de la bomba	121
9.15	Tubería en la descarga de la bomba	123
9.16	Inyector	124
9.17	Carcasa	126
9.18	Sistema de transmisión	127
9.19	Generador	128
9.20	Narrativa del proceso de conversión de energía	129
9.21	Método de los elementos finitos (MEF)	130

9.22	Calculo de la fuerza del chorro, utilizada en la simulación	130
9.23	Procedimiento para mostrar el esfuerzo de von Mises y la deformación en el álabe Pelton diseñado en SolidWorks.	131
10	Resultados	139
11	Presupuesto	163
11.1	Recursos humanos	163
11.2	Recursos materiales	163
11.3	Recursos en equipos	164
11.4	Recursos institucionales	164
11.5	Recursos administrativos	164
11.6	Recursos financieros	165
12	Conclusiones	168
13	Recomendaciones	170
14	Trabajos a futuro	171
15	Referencias bibliográficas	172