

	GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS	Código	FO-SB- 12/v0
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN	Página	1/1

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):
NOMBRE(S): DAVID ALEXANDER **APELLIDOS:** VILLAN CARDENAS
NOMBRE(S): CARLOS EDUARDO **APELLIDOS:** RODRIGUEZ FIGUEROA

FACULTAD: INGENIERIA
PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DIRECTOR:
NOMBRE(S): GLORIA ESMERALDA **APELLIDOS:** SANDOVAL MARTÍNEZ

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN AEROGENERADOR DE EJE HORIZONTAL A ESCALA, CON REGULACIÓN DE POTENCIA MEDIANTE CONTROL PITCH

RESUMEN

El proyecto de investigación tiene como finalidad diseñar y simular un aerogenerador de eje horizontal a escala, con regulación de potencia mediante control pitch. Se implementa una investigación descriptiva, en la cual se examina los pasos a cumplir para el diseño propuesto para luego explicar su funcionamiento. En los resultados se recopila información sobre el diseño mecánico y aerodinámico de un aerogenerador horizontal y se selecciona la estrategia de diseño que se va a implementar. Seguidamente, se realizan los cálculos del sistema de control a implementar. Se hace la simulación del aerogenerador a escala en un software CAD y se diseña la estrategia de control mediante un software gráfico de control, y posteriormente se realiza la interfaz entre estos dos softwares. Por último, se realiza la divulgación del proyecto a los estudiantes y profesores.

PALABRAS CLAVE: Aerogenerador, eje horizontal, regulación de potencia, control pitch.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 163 **PLANOS:** **ILUSTRACIONES:** **CD ROOM:** 1

Elaboró		Revisó		Aprobó	
Equipo Operativo del Proceso		Comité de Calidad		Comité de Calidad	
Fecha	24/10/2014	Fecha	05/12/2014	Fecha	05/12/2014

COPIA NO CONTROLADA

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN AEROGENERADOR DE EJE HORIZONTAL A ESCALA,
CON REGULACIÓN DE POTENCIA MEDIANTE CONTROL PITCH

DAVID ALEXANDER VILLAN CARDENAS
CARLOS EDUARDO RODRIGUEZ FIGUEROA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2017

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN AEROGENERADOR DE EJE HORIZONTAL A ESCALA,
CON REGULACIÓN DE POTENCIA MEDIANTE CONTROL PITCH

DAVID ALEXANDER VILLAN CARDENAS
CARLOS EDUARDO RODRIGUEZ FIGUEROA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:

Ingeniero Electromecánico

Directora:

GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTÍNEZ

Ingeniera Electromecánico

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2017

**FACULTAD DE INGENIERIAS
ACTA DE SUSTENTACIÓN PROYECTO DE GRADO
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

FECHA: 29 de junio de 2017

HORA: 10:00 A.M

LUGAR: SALA 3 DEL CREAD

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TITULO DEL TRABAJO DE GRADO: "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN AEROGENERADOR DE EJE HORIZONTAL A ESCALA, CON REGULACIÓN DE POTENCIA MEDIANTE UN CONTROL PITCH".

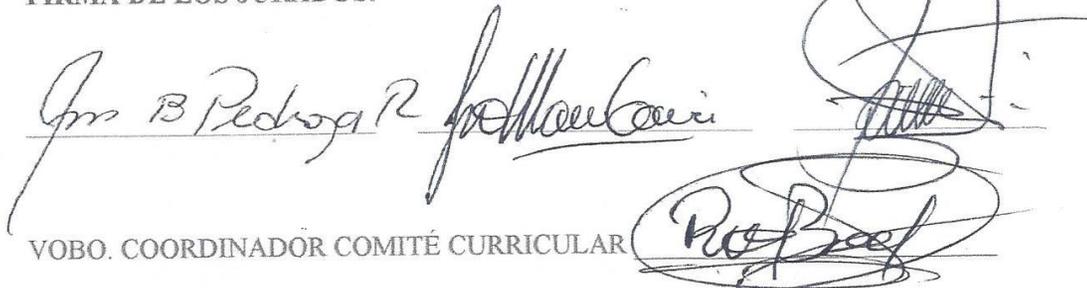
JURADOS: Msc JESUS B. PEDROZA ROJAS,
PhD FRANCISCO E. MORENO GARCIA
Esp. JUAN CARLOS RAMIREZ B

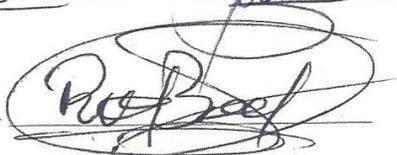
DIRECTOR: Esp. Ing. GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTÍNEZ

APROBADO

<u>NOMBRE DEL ESTUDIANTE:</u>	<u>CÓDIGO</u>	<u>CALIFICACION</u>
DAVID ALEXANDER VILLÁN CÁRDENAS	1090661	4.3
CARLOS EDUARDO RODRÍGUEZ FIGUEROA	1090690	4.3

FIRMA DE LOS JURADOS:



VOBO. COORDINADOR COMITÉ CURRICULAR 

Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag
Teléfono (057)(7) 5776655 - www.ufps.edu.co
oficinadeprensa@ufps.edu.co San José de Cúcuta - Colombia

Creada mediante decreto 020 de 1970

Agradecimientos

A Dios por darnos fortaleza, salud y sabiduría para afrontar los obstáculos presentados en el desarrollo de nuestro proyecto de grado, por esa dedicación y esmero logramos un paso importante para la vida.

A nuestra directora la Esp. Ing. Gloria Esmeralda Sandoval Martínez por creer en nosotros, en asignarnos este proyecto para el grupo de semillero de investigación SIERRE y en acompañarnos a representar este proyecto a nivel regional fuera de la universidad, y demostrarnos que podemos sacar lo mejor de cada uno y superarnos cada día.

A todos los profesores que formaron parte de nuestra educación universitaria, quienes nos brindaron sus conocimientos para poder crecer cada día como futuros profesionales.

Dedicatoria

A mis padres por su cariño, paciencia, amor y apoyo incondicional a lo largo de mis estudios y de la vida, sin ellos no habría podido afrontar todos los retos que tuve a lo largo de la carrera, ya que de ellos aprendí a siempre dar lo mejor de mí.

A mis hermanos, quienes me acogieron y ayudaron a lo largo de esta etapa de mi vida, en ellos encontré un respaldo y un motor para poder continuar y llegar a ser lo que soy ahora.

A mi tía Claudia Isabel Villan quien fue la que me apoyo para comenzar mis estudios profesionales, y quien me enseñó que la vida es de proponernos en salir adelante.

A mis primos Yajaira Salazar y Jorge Quintero, por brindarme su apoyo y alojarme en su hogar durante el transcurso de mi carrera, y a todas las personas de mi querido pueblo que siempre me alentaron en salir adelante.

David Alexander Villán Cárdenas

Este logro va dirigido a mis padres, que me han apoyado incondicionalmente en todo momento, animarme a seguir adelante cada día, ser una persona independiente, transparente, con valores y sobre todo aprender a vivir. Gracias a sus esfuerzos se ha sembrado un gran profesional y una gran persona, los amo.

A mi hermana, con ella aprendí a salir adelante a superar mis expectativas, y ha sido un ejemplo de logro, dedicación y lucha para cumplir con esta meta tan importante en la vida.

Mi familia, motor de mi vida.

Carlos Eduardo Rodríguez Figueroa

Contenido

	pág.
Introducción	18
1. Problema	19
1.1 Titulo	19
1.2 Planteamiento del Problema	19
1.3 Formulación del problema	20
1.4 Objetivos	20
1.4.1 Objetivo general	20
1.4.2 Objetivos específicos	20
1.5 Justificación	21
1.6 Limitaciones	22
2. Marco Referencial	23
2.1 Antecedentes	23
2.2 Marco Teórico	26
2.2.1 Energía eólica	26
2.2.2 Aerogenerador	26
2.2.2.1 Clasificación de los aerogeneradores	27
2.2.2.2 Partes de un aerogenerador	28
2.2.3 Control de potencia.	31
2.2.3.1 Regulación de potencia por cambio de ángulo de paso “Control Pitch”	32
2.2.4 Aerodinámica del aerogenerador	33
2.2.4.1 Palas de un aerogenerador	34
2.2.4.2 Tipo de perfil aerodinámico	34

2.2.4.3 Terminología empleada en los perfiles. Según Alejandro Carantoña en el diseño de palas es necesario mantener claro una serie de conceptos	35
2.2.5 Teoría del disco actuador	36
2.2.5.1 Coeficiente de velocidad inducida axial	40
2.2.5.2 Coeficiente de empuje	40
2.2.5.3 Coeficiente de potencia	41
2.2.5.4 Limite de Betz	42
2.2.6 Teoría del disco actuador con estela giratoria	44
2.2.6.1 Coeficiente de velocidad angular inducida	45
2.2.6.2 Velocidad específica del rotor eólico	45
2.2.6.3 Coeficiente de potencia	47
2.2.7 Teoría del elemento de Pala	48
2.2.7.1 Fuerza de sustentación	48
2.2.7.2 Fuerza de arrastre	49
2.2.7.3 Coeficientes aerodinámicos	50
2.2.7.4 Geometría de fuerzas	52
2.2.8 Método BEM (Blade Element Momentum)	55
2.2.8.1 Función Método BEM.	57
2.2.8.2 Correcciones método BEM	58
2.2.8.3 Rotor muy cargado	61
2.2.9 Diseño mecánico	61
2.2.9.1 Etapas Multiplicadoras	61
2.2.9.2 Diseño de engranajes	64
2.2.9.3 Conceptos básicos y fórmulas para diseñar engranajes rectos	65

2.2.9.4 Conceptos básicos y fórmulas para diseñar engranajes helicoidales	66
2.2.10 Software de simulación	67
2.3 Marco Conceptual	68
2.4 Marco Contextual	69
2.5 Marco Legal	69
2.5.1 AGMA (American Gears Manufacturers Association)	69
3. Diseño Metodológico	70
3.1 Tipo de Investigación	70
3.2 Población	70
3.3 Fases del Proyecto	70
3.3.1 Recopilar información	70
3.3.2 Selección de la estrategia de diseño	70
3.3.3 Diseño mecánico	71
3.3.4 Montaje del diseño mecánico en un software grafico CAD	71
3.3.5 Diseño de la estrategia de control	71
3.3.6 Interfaz entre los dos software gráficos	72
3.3.7 Pruebas	72
3.3.8 Socialización del proyecto	72
4. Desarrollo del Proyecto	73
4.1 Cálculos de las Palas del Aerogenerador	73
4.2 Cálculo de las Etapas Multiplicadoras	82
4.2.1 Sistema de engranajes planetario	82
4.2.1.1 Cálculos geométricos de engranajes rectos	83
4.2.1.2 Cálculo de esfuerzos y selección de material del sistema planetario de	

engranajes rectos	89
4.2.2 Caja multiplicadora de engranajes helicoidales	103
4.2.2.1 Cálculos geométricos de engranajes helicoidales	104
4.2.2.2 Cálculos de esfuerzos en engranajes helicoidales	106
4.3 Cálculos del Tornillo sin fin	117
4.4 Diseño y Montaje en el Software Grafico SolidWorks	122
4.4.1 Montaje de las palas del aerogenerador	122
4.4.2 Montaje del sistema Pitch	126
4.4.3 Montaje del rotor completo	133
4.4.4 Montaje del sistema planetario	136
4.4.5 Montaje de la caja multiplicadora	143
4.4.6 Ensamblaje de todos los componentes del Aerogenerador	146
4.5 Cotización de la Impresión de las Piezas Mecánicas del Aerogenerador	147
4.6 Interfaz Entre los Software SolidWorks y LabVIEW	150
4.7 Socialización del Proyecto	155
5. Conclusiones	158
6. Recomendaciones	160
Referencias Bibliográficas	161