	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		VERSIÓN	02
			FECHA	03/04/2017
			PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca	Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR:

NOMBRE(S): ISRAEL **APELLIDOS:** CALDERÓN GONZÁLEZ

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): JESÚS BETHSAID **APELLIDOS:** PEDROZA ROJAS

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): MODELO MATEMÁTICO Y SIMULACIÓN DE UN AEROGENERADOR SIN ASPAS.

RESUMEN

En este trabajo de investigación, la interacción fluido-estructura de ocho diferentes componentes aerodinámicos de un aerogenerador sin aspas fue analizada. Para esto se formuló un modelo matemático, el cual posteriormente fue implementado mediante el software MATLAB, adicionalmente, se realizó una simulación 3D por medio de un acoplamiento de los módulos Transient Structural (estructural) y Fluent (CFD) del software ANSYS. Los componentes aerodinámicos están inmersos en un flujo de aire con un número de Reynolds igual a 9.6×10^4 , condición basada en el viento promedio a 3 m de altura en el aeropuerto internacional Camilo Daza de la ciudad de Cúcuta. En el modelo matemático, para la discretización de las ecuaciones de Navier-Stokes, las cuales son las ecuaciones gobernantes de la mecánica de fluidos, se hizo uso del método de volúmenes finitos y el esquema de diferencias finitas. La validación tanto del modelo matemático como de la simulación realizada en ANSYS, se realizó a través de la comparación de parámetros adimensionales, obtenidos en trabajos de investigación experimentales realizados, previamente, por otros autores.

PALABRAS CLAVE: aerogenerador sin aspas, modelo matemático, simulación 3D, CFD.

PÁGINAS: 151 **PLANOS:** **ILUSTRACIONES:** **CD ROM:** 1

MODELO MATEMÁTICO Y SIMULACIÓN DE UN AEROGENERADOR SIN ASPAS

ISRAEL CALDERÓN GONZÁLEZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2020

MODELO MATEMÁTICO Y SIMULACIÓN DE UN AEROGENERADOR SIN ASPAS

ISRAEL CALDERÓN GONZÁLEZ

Trabajo de grado en la modalidad investigación presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Mecánico

DIRECTOR

JESÚS BETHSAID PEDROZA ROJAS

INGENIERO MECÁNICO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2020

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: CÚCUTA, 20 DE OCTUBRE DE 2020 **HORA:** 8:00 AM

LUGAR: CONFERENCIA VIRTUAL POR MEDIO DE GOOGLE MEET

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA MECÁNICA

TÍTULO DEL PROYECTO: "MODELO MATEMÁTICO Y SIMULACIÓN DE UN AEROGENERADOR SIN ASPAS"

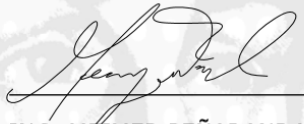
JURADOS: ING. MEIMER PEÑARANDA CARRILLO
ING. FAUSTINO MORENO GAMBOA

DIRECTOR: ING. JESÚS BETHSAID PEDROZA ROJAS

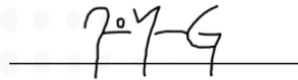
Nombre del estudiante	Código	Calificación	
		Letra	Número
ISRAEL CALDERÓN GONZÁLEZ	1121261	CINCO, CERO	5,0

LAUREADA

FIRMA DE LOS JURADOS



ING. MEIMER PEÑARANDA C.



ING. FAUSTINO MORENO G.

Vo.Bo 
GONZALO DE LA CRUZ ROMERO GARCIA
Coordinador Comité
Curricular

Dedicado a Dios y a mi madre Efigenia González.

Agradecimientos

A mi madre por su apoyo y amor incondicional, sus consejos y palabras de aliento me guían y reconfortan en los momentos difíciles de mi vida.

A todos los profesores que hicieron parte de este proceso de formación, en especial a los ingenieros Jesús Bethsaid Pedroza Rojas y Luis Emilio Vera Duarte, por su dirección y acompañamiento en el desarrollo de este proyecto de grado.

A todos los compañeros con los cuales compartí largas jornadas de estudio y tertulias, especialmente, a Christian Jhoel Molina Botello y Giancarlos Sepúlveda Solano por su paciencia para comprender mi lenguaje de señas deletreado, en esos momentos cuando no me era posible expresarme por medio de palabras.

Contenido

	pág.
Introducción	22
1. Descripción del problema	24
1.1 Título	24
1.2 Planteamiento del problema	24
1.3 Formulación del problema	24
1.4 Justificación	25
1.5 Objetivos	25
1.5.1 Objetivo general	25
1.5.2 Objetivos específicos	25
1.6 Limitaciones y delimitaciones	26
1.6.1 Limitaciones	26
1.6.2 Delimitaciones	26
1.7 Alcances	26
2. Marco referencial	27
2.1 Antecedentes	27
2.2 Marco teórico y conceptual	28
2.2.1 Mecánica de fluidos	28
2.2.2 Fluido	28
2.2.3 Propiedades de los fluidos	28
2.2.4 Número de Reynolds	31
2.2.5 Presión	31
2.2.6 Clasificación de los fluidos según su viscosidad	31

2.2.7	Clasificación de los fluidos según su régimen	32
2.2.7.1	Flujo permanente y flujo variable	32
2.2.7.2	Flujo uniforme y no uniforme	32
2.2.7.3	Régimen laminar y turbulento	33
2.2.8	Ecuaciones de Navier-Stokes	34
2.2.8.1	Ecuación de conservación de la masa o continuidad	35
2.2.8.2	Ecuación de conservación de momento lineal	35
2.2.9	Aerodinámica	35
2.2.10	Vórtice	36
2.2.11	Calle de remolinos o calle de vórtices de von Kármán	36
2.2.12	Energía eólica	36
2.2.13	Aerogenerador	36
2.2.14	Ley de inducción electromagnética de Faraday	37
2.2.15	Ley de Lenz	38
2.2.16	Generador eléctrico	39
2.2.16.1	Generador de corriente alterna (CA)	39
2.2.16.2	Generador de corriente continua (CD)	40
2.2.17	Método numérico	40
2.2.18	Modelo matemático	40
2.2.19	Modelo de turbulencia	41
2.2.19.1	DNS (Direct Numerical Simulation, simulación numérica directa) de flujos turbulentos	41
2.2.19.2	Aproximaciones de flujos turbulentos	42

2.2.20 Métodos de discretización espacial de las derivadas	43
2.2.21 Software a utilizar	44
2.2.21.1 MATLAB-Simulink®	44
2.2.21.2 ANSYS®	44
2.3 Marco legal	45
2.3.1 Acuerdo 069 de 1997 del estatuto estudiantil de la UFPS	45
2.3.2 Resolución No. 108 de 26 de Junio de 2013 Consejo Académico de la UFPS	45
2.3.3 Norma técnica colombiana NTC 5725 aerogeneradores. Requisitos de diseño para aerogeneradores pequeños	45
2.3.4 Ley 1715 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional	45
3. Metodología	46
3.1 Tipo de investigación	46
3.2 Objetivo N°1	46
3.2.1 Actividad	46
3.2.2 Metodología	46
3.3 Objetivo N°2	46
3.3.1 Actividad	46
3.3.2 Metodología	47
3.4 Objetivo N°3	47
3.4.1 Actividad N°1	47
3.4.2 Actividad N°2	47
3.4.3 Actividad N°3	47

3.4.4 Metodología	47
3.5 Objetivo N°4	48
3.5.1 Actividad N°1	48
3.5.2 Metodología	48
3.6 Objetivo N°5	48
3.6.1 Actividad	48
3.6.2 Metodología	48
4. Desarrollo de la investigación	49
4.1 Parámetros establecidos para componente aerodinámico del aerogenerador	49
4.1.1 Propiedades físicas y geométricas	49
4.2 Sistema de generación eléctrico	52
4.2.1 Sistema de generación eléctrico (piezoeléctrico)	52
4.2.2 Sistema de generación eléctrico (alternador)	53
4.3 Modelo matemático para el aerogenerador	55
4.3.1 Ecuaciones gobernantes	55
4.3.1.1 Método de interacción fluido-estructura	56
4.3.1.2 Método de proyección	57
4.3.2 Dominio computacional	59
4.3.3 Creación de malla	59
4.3.4 Discretización de las ecuaciones gobernantes	61
4.3.4.1 Discretización temporal	61
4.3.4.2 Discretización espacial	62
4.3.5 Cálculo de la rigidez estructural	67

4.4 Implementación del modelo matemático seleccionado del aerogenerador mediante el software Matlab	72
4.4.1 Modelo para llevar las variables obtenidas en 2D a 3D	72
4.4.1.1 Diámetros a simular para conformar las geometrías cilindro-cónicas	73
4.4.2 Constantes de rigidez para cada diámetro de la sección cónica	76
4.4.3 Fuerzas resultantes para cada componente aerodinámico	79
4.4.4 Mallado	80
4.4.4.1 Contorno de geometría circular simulada en 2D	80
4.4.5 Sistema eléctrico	87
4.4.5.1 Constantes de resorte magnético	88
4.4.5.2 Esquemas de simulación del sistema eléctrico en Simulink	. 99
4.5 Simulación de componente aerodinámico por medio del software ANSYS	103
4.5.1 Dominio computacional	103
4.5.2 Condiciones de frontera y tiempo de cómputo	103
4.5.3 Mallado	104
4.5.3.1 Creación de malla para el módulo CFD (Fluent)	105
4.5.3.2 Creación de malla para el módulo estructural (Transient Structural)	107
4.5.4 Métodos de solución y modelo de turbulencia	109
5. Resultados	114
5.1 Implementación de modelo matemático en Matlab	114
5.2 Simulación de componente aerodinámico en ANSYS	116
5.3 Generación eléctrica	122
5.3.1 Generación eléctrica del componente cilindro-cónico 3 simulado en Matlab	122

5.3.2 Generación eléctrica del componente cilindro-cónico 3 simulado en ANSYS	125
6. Conclusiones	132
7. Divulgación científica	134
7.1 Evento científico: XIV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica	134
7.2 Evento científico: VI Semana Internacional de Ciencia Tecnología e Innovación	134
Recomendaciones	135
Referencias	136
Anexos	142