

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN .....	2
1.1. ANTECEDENTES .....	2
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1 Objetivo general .....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5. RESULTADOS ESPERADOS .....	4
1.6. METODOLOGÍA.....	4
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO .....	12
2.1 ENERGIA EOLICA.....	7
2.1.1 Origen del viento .....	7
2.1.1.1 Macro-escala .....	7
2.2.1.1 Meso-escala.....	8
2.2.1.2 Micro-escala.....	9
2.1.2 Recurso eólico .....	10
2.1.2.1 Medición del viento.....	12
2.1.2.2 Instrumento de medición: Anemómetro.....	13
2.1.2.3 Rosa de los vientos.....	13
2.1.2.4 Curva de distribución de frecuencias de velocidades.....	14
2.1.3 Potencia eólica disponible .....	15
2.1.4 Potencia eólica aprovechable .....	17
2.2 AEROGENERADORES.....	18
2.2.1 Principio de funcionamiento.....	19
2.2.2 Turbinas de eje horizontal .....	21

2.2.3	Turbinas de eje vertical.....	22
2.2.3.1	Rotor Savonius .....	22
2.2.3.2	Rotor Darrieus .....	23
2.2.3.3	Rotor Lenz.....	23
2.3	COMPONENTES DE UNA RED DE AUTOGENERACIÓN HÍBRIDA.....	24
2.3.1	Modulo fotovoltaico .....	25
2.3.2	Regulador de carga .....	25
2.3.3	Acumuladores de energía .....	25
2.3.4	Inversor .....	26
2.3.5	Rendimiento global de la instalación.....	26
CAPITULO 3. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA.....		28
3.1	EVALUACIÓN DEL RECURSO EÓLICO .....	29
3.1.1	Características del sitio.....	29
3.1.2	Distribución de frecuencias para el año completo.....	30
3.1.3	Rosa del viento .....	31
3.1.4	Ciclos de velocidades medias .....	32
3.1.5	Corrección de altura.....	34
3.1.6	Influencia del relieve del terreno .....	34
3.2	DISEÑO CONCEPTUAL .....	35
3.2.1	Modelo 3D.....	37
3.2.2	Potencia nominal .....	39
3.2.3	Diseño de aspas .....	41
3.2.3.1	Cantidad de aspas.....	41
3.2.3.2	Dimensiones .....	42
3.2.4	Generador eléctrico.....	44
3.2.5	Altura de torre.....	45
3.2.6	Velocidad nominal y relación de transmisión .....	46
3.3	DISEÑO MECANICO .....	48
3.3.1	Criterios de diseño.....	48
3.3.2	Factor de seguridad.....	48
3.3.3	Cargas críticas.....	50

3.3.3.1	Fuerzas aerodinámicas. ....	50
3.3.3.2	Peso de aspas .....	51
3.3.3.3	Peso total aerogenerador .....	52
3.3.4	Condiciones de esfuerzo .....	53
3.3.4.1	Pilar .....	54
3.3.4.2	Estructura del rotor .....	55
3.3.4.3	Soporte generador .....	56
3.3.4.4	Eje.....	57
3.3.4.5	Aspas .....	58
3.3.4.6	Caja de transmisión .....	60
3.3.5	Selección de componentes comerciales.....	61
3.3.5.1	Soportes y rodamientos montados.....	61
3.3.5.2	Regulador de carga.....	62
3.3.5.3	Conductores.....	62
3.3.5.4	Baterías.....	63
3.3.5.5	Alternador.....	63
3.4	FABRICACION .....	28
3.4.1	Pilar.....	28
3.4.2	Aspas .....	29
3.4.3	Estructura del rotor .....	29
3.4.4	Caja de transmisión .....	30
3.4.5	Ensamblaje .....	31
CAPITULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS .....		28
4.1	Recolección de datos .....	29
4.2	Relación entre velocidad de rotación y velocidad de viento .....	30
4.3	Velocidad de Punta de Aspa (TSR).....	30
4.4	COSTOS.....	32
4.5	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO .....	32
4.6	RECOMENDACIONES PARA LA INTEGRACION AL SISTEMA ELECTRICO	
	33	
CONCLUSIONES.....		28

REFERENCIAS {Bibliography}.....28

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Cinturones de viento globales. Fuente: ck12.org .....	8
Ilustración 2. Vientos de montaña. Fuente: A. Creus Sole, Aerogeneradores. Barcelona: Cano Pina, 2014. ....	
Ilustración 3. Efecto de una colina. Fuente: Cucó Pardillos, S. (2017). Manual de energía eólica: desarrollo de proyectos e instalaciones. ....	10
Ilustración 4. Efecto de casa aislada. Fuente: Cucó Pardillos, S. (2017). Manual de energía eólica: desarrollo de proyectos e instalaciones. ....	10
Ilustración 5. Mapa del recurso eólico con variable velocidad media 10 m. Fuente: Explorador de recurso eólico MinEnergía. 2018.....	12
Ilustración 6. Tabla de mediciones de viento. Fuente: Elaboración propia.....	13
Ilustración 7. Rosa de la velocidad de viento a 15 metros. Fuente: Explorador de recurso eólico MinEnergía. 2018. ....	14
Ilustración 8. Distribución de frecuencia de la velocidad de viento a 15 metros para 1 año. Fuente: Explorador de recurso eólico MinEnergía 2018.....	15
Ilustración 9. Límite de Betz. Fuente: J. González Velasco, Energías renovables. Barcelona: Editorial Reverté, 2015.....	18
Ilustración 10. Acción dinámica del viento sobre un perfil alar. Fuente: Domínguez, A. B. (2010). Aerogeneradores eólicos de baja potencia. Segunda Parte.....	19
Ilustración 11. Fuerzas resultantes de sustentación y arrastre. Fuente: Domínguez, A. B. (2010). Aerogeneradores eólicos de baja potencia. Segunda Parte.....	20
Ilustración 12. Despegues de líneas de corriente en perfil de aspa. Fuente: S. Cucó Pardillos, Manual de energía eólica: desarrollo de proyectos e instalaciones. ....	20
Ilustración 13. Turbina tipo Savonius. Fuente: academia-e.unavarra.es. 2013 .....	22
Ilustración 14. Rotores Darrieus. Fuente: Portail des energies renoivables. Ecosources. ....	23
Ilustración 15. Rotor Lenz. Elaboración propia. ....	23
Ilustración 16. Sistema híbrido de generación. Fuente: Sistemas eólicos pequeños para generación de electricidad. Departamento de energía EEUU. 2001 .....	24
Ilustración 17. Características principales del sitio seleccionado. Fuente: Informe de viento. Explorador de recurso eólico Minergia. 2018 .....	29
Ilustración 18. Ubicación del sitio seleccionado. Fuente: Informe de viento. Explorador de recurso eólico Minergia. 2018.....	30
<i>Ilustración 19. Rosa del viento. Fuente: Informe de viento. Explorador de recurso eólico Minergia. 2018. ....</i>	<i>31</i>
Ilustración 20. Ciclo anual de velocidades media. Fuente: Informe de viento. Explorador de recurso eólico Minergia. 2018.....	32
Ilustración 21. Ciclo diario de velocidades medias. Fuente: Informe de viento. Explorador de recurso eólico Minergia. 2018.....	33
Ilustración 22. Ensamble Aerogenerador Lenz en Inventor 3D. Fuente: Elaboracion propia...37	

Ilustración 23. Interior caja de transmisión aerogenerador Lenz en Inventor 3D. Fuente: Elaboración propia.....	38
Ilustración 24. Frigobar 98 lt LFB-90N. Fuente:www.falabella.com .....	39
Ilustración 25. Ensamble Aspas en Inventor 3D. Fuente: Elaboracion propia .....	
Ilustración 26. Vista superior aspa. Fuente: Elaboración propia.....	43
Ilustración 27. Vista superior rotor. Fuente: Elaboración propia. ....	43
Ilustración 28. Perfil vertical medio. Fuente: Informe de viento. Explorador de recurso eólico Minergia. 2018. ....	46
Ilustración 29. Coeficiente de potencia vs. Velocidad específica. Fuente: Estudio de eficiencia energética de cuatro diseños de rotores eólicos a eje vertical y de arrastre diferencial. ....	47
Ilustración 30. Simulación CDF para carga frontal aspa 0°. Fuente: Elaboración propia.....	51
Ilustración 31. Propiedades generales de un aspa en iproperties Autodesk Inventor. Fuente: Elaboración propia.....	52
Ilustración 32. Propiedades generales del aerogenerador en iproperties Autodesk Inventor. Fuente: Elaboración propia.....	53
Ilustración 33. Pilar. Fuente: Elaboración propia. ....	28
Ilustración 34. Aspas. Fuente: Elaboración propia. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Ilustración 35. Captura de video para registro de velocidades. Fuente: Elaboración propia. ...	29
Ilustración 36. Grafica Velocidad del viento vs. Velocidad rotacional. Fuente: Elaboración propia. ....	30
Ilustración 37. Grafica velocidad del viento vs. TSR. Fuente: Elaboración propia. ....	31

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa entre cantidades de aspas para rotor. Fuente: elaboración propia.....	21
Tabla 2. Distribución de frecuencias y potencia disponible. Fuente: Elaboración propia. ....	30
Tabla 3. Energía anual generada (W). Fuente: Elaboración propia.....	40
Tabla 4. Resumen de resultados pilar. Fuente: Informe analisis de tension Autodesk Inventor. .....	55
Tabla 5. Resumen de resultados Estructura rotor. Fuente: Informe análisis de tensión Autodesk Inventor.....	56
Tabla 6. Resumen de resultados Soporte generador. Fuente: Informe análisis de tensión Autodesk Inventor. ....	57