

ÍNDICE

	página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes y motivación	2
1.2. Descripción del problema	3
1.3. Soluciones propuestas	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Alcances y limitaciones	4
1.6. Metodologías y herramientas utilizadas	5
1.7. Resultados esperados	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Consideraciones históricas	7
2.1.1. El viento	7
2.2. Tipos de generadores	10
2.2.1. Turbinas eólicas de eje horizontal	10
2.2.2. Turbina eólica de eje vertical.	12
2.3. NACA	14
2.3.1. Geometría del perfil alar	15
2.3.2. Nomenclatura	17
2.4. Aerodinámica	17
2.4.1. Sustentación y arrastre	17
2.4.2. Pérdida de sustentación o <i>Stall</i>	20
2.4.3. Velocidades en el perfil	21
2.4.4. Velocidad aparente del viento	22
2.4.5. Variación del ángulo de ataque	23
2.4.6. Modo de arranque	23
2.5. Consideraciones mecánicas del aerogenerador	24
2.5.1. Diámetro mínimo de eje	24
2.5.2. Fatiga	26

2.5.3.	Pandeo	27
2.5.4.	Razón de aspecto del Rotor	28
2.5.5.	Solidez	29
2.6.	Modelo teórico del problema a solucionar	29
2.6.1.	La energía del viento	29
2.6.2.	Área de barrido	32
2.6.3.	La desviación del viento	33
2.6.4.	Ley de Betz	33
2.6.5.	Rendimiento de las turbinas eólicas	36
2.6.6.	Potencia a satisfacer	37
3.	MEDICIONES DE VIENTO	40
3.1.	Mediciones	41
3.1.1.	Anemómetro	41
3.1.2.	Altura y distancia desde el eje de la calzada	42
3.1.3.	Espectro de velocidades de viento	43
3.1.4.	Viento propio del lugar	44
3.1.5.	Velocidad nominal y velocidad crítica	45
3.1.6.	Restricciones	46
3.1.7.	Mejoras en toma de datos	47
4.	DISEÑO CONCEPTUAL	48
4.1.	Modelo	50
4.1.1.	Turbina eólica 3D	50
4.1.2.	Elementos	51
4.2.	Diseño Mecánico	52
4.2.1.	Potencia nominal	52
4.2.2.	Dimensiones de la turbina y modelación de un álabe	54
4.2.3.	Alabe de la turbina	55
4.2.4.	Fuerzas aerodinámicas	60
4.2.5.	Sistema de arranque	65
4.2.6.	Estimación de cargas	65
4.2.7.	Estimación fuerzas normales y tangenciales	68
4.2.8.	Eje	72

4.2.9. Rodamientos	73
4.2.10. Fundaciones	75
4.3. Análisis mediante elementos finitos	77
4.3.1. Metodología elementos finitos	77
4.3.2. Parámetros para el mallado	79
4.3.3. Eje	82
4.3.4. Brazos	86
4.3.5. Soporte rodamiento	92
4.3.6. Base	96
4.4. Diseño eléctrico	99
4.4.1. Alternador	99
4.4.2. Banco de baterías	100
4.4.3. Regulador	101
4.4.4. Cargador	102
4.4.5. Inversor	103
4.4.6. Cableado	104
4.4.7. Protecciones	105
4.4.8. Caja eléctrica o Armario	105
5. EVALUACIÓN ECONÓMICA	106
5.1. Costeo materiales	107
5.2. Costo procesos de mecanizado	107
5.3. Costos elementos eléctricos	107
5.4. Ingresos	108
5.5. Depreciación y vida útil	109
5.6. Sensibilización del proyecto	110
5.7. VAN y TIR	112
5.8. Análisis y alternativas	113
5.9. Proyecciones valor energía	114
Conclusiones	116
Bibliografía	118
Apéndice	122

Apéndice	122
A. Cálculos	123
A.1. Estudio aerodinámico	123
A.1.1. Sistema de arranque	123
A.2. Diseño alternador	128
A.3. Calculo diámetro mínimo de eje	132
A.3.1. Pandeo	132
A.3.2. Flexión	133
A.3.3. Fatiga	135
A.4. Diámetro base	139
A.5. Brazo (Barra rectangular)	142
A.6. Rodamientos	143
A.7. Pernos	145
A.7.1. Modelo	147
A.7.2. Corte	148
A.7.3. Aplastamiento	148
A.7.4. Flexión	149
A.8. Escala de Beaufort de la Fuerza de los Vientos	150
A.8.1. Rosa de los vientos	150
B. Planos, Eléctrico y Mecánico	152
C. Datos Evaluación económica	153
C.1. Costos Materiales	154
C.2. Tablas luminaria	155
D. Códigos	156

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
2.1. Molino persa.	7
2.2. Transmisión de linterna y rueda catalina, para ejes perpendiculares. . .	8
2.3. Primer aerogenerador, Lacour.	9
2.4. Turbina tipo Savonius	13
2.5. Tipos turbinas eólicas	14
2.6. Aerogenerador tipo windside	15
2.7. Esquema geometría del perfil alar.	15
2.8. Nomenclatura perfiles alares, Familia de 4 dígitos	17
2.9. Fuerzas presentes en el álabe de una turbina	18
2.10. C_S vs ángulo de ataque para un número de Reynolds de 160.000 . . .	19
2.11. Pérdida o Stall	20
2.12. Fuerzas en un perfil alar	21
2.13. Velocidades y fuerzas en el perfil alar.	22
2.14. Variación de ángulo de ataque con respecto al ángulo azimutal de giro. .	24
2.15. Área de barrido, aerogeneradores de eje horizontal.	32
2.16. Tubo de corriente de aire.	33
2.17. Curva de eficiencia de Betz	35
2.18. Comparación C_p vs TSR	37
2.19. Foco Luminaria.	38
3.1. Gráfico velocidades máximas registradas de camiones/buses en movi- miento	43
3.2. Espectro de velocidades de viento para buses y camiones.	44
4.1. Simulación Aerogenerador en 3D mediante Inventor	50
4.2. Simulación partes 3D	51
4.3. Proceso diseño NACA0018	58
4.4. Álabe perfil NACA 0018	59
4.5. Resultados fuerzas aerodinámicas para TSR = 1	62
4.6. Resultados fuerzas aerodinámicas para TSR = 2	63
4.7. Resultados fuerzas aerodinámicas para TSR = 1	64

4.8. Estimación de cargas rotor	66
4.9. Propiedades del álabe	68
4.10. Propiedades de Inercia, entorno <i>iproperties</i>	69
4.11. DCL Flexión, carga axial y torsión	73
4.12. Simulación sistema de arranque tipo Savonius y eje fijo en 3D	74
4.13. Fundación, NTN y NF	76
4.14. Algunos tipos de análisis realizables mediante el Software Ansys	78
4.15. Discretización eje fijo	80
4.16. Simetria de los elementos para la figura 4.15	81
4.17. Análisis ortogonal para la figura 4.15	82
4.18. Resultados para la figura 4.15	83
4.19. Slice Material eje fijo	84
4.20. Shell Element y mallado eje	85
4.21. Calidad mallado eje	86
4.22. Resultados simulación Eje fijo	87
4.23. Calidad mallado brazo	89
4.24. Cargas y apoyos del brazo	90
4.25. Resultados simulación brazo	91
4.26. Cargas soporte rodamiento	92
4.27. Calidad mallado unión entre el rodamiento y los álabes	93
4.28. Cargas y apoyos para el soporte entre el rodamiento y el brazo	94
4.29. Resultados simulación cargas en unión entre rodamiento y las aspas	95
4.30. Resultados simulación cargas en unión entre rodamiento y las aspas	96
4.31. Calidad mallado base	97
4.32. Resultados simulación base	98
4.33. Bateria Kaise 100 Ah 12 V	101
4.34. Regulador RS-15,	102
4.35. Cargador Victron CENTAUR	103
4.36. Phoenix 180 a 12 V	104
5.1. Proyección valor energía	109
5.2. Valores para un escenario favorable	110
5.3. Valores para un escenario intermedio	111
5.4. Valores para un escenario desfavorable	111

5.5. Proyección energía 2021	115
A.1. Parámetros de un rotor Savonius	126
A.2. Ubicación polos imanes	128
A.3. Polaridad de la fem	129
A.4. Espira e imán	129
A.5. Boceto imanes y bobinas	131
A.6. DCL pandeo basico	132
A.7. DCL Flexión, carga axial y torsión	134
A.8. Factor de concentraciones de tensiones teórico	137
A.9. Diagrama de Goodman	139
A.10.DCL Base	141
A.11.DCL brazo en flexión	142
A.12.DCL Rodamientos	144
A.13.Placa para pernos	146
A.14.Fuerzas, fuerzas primarias (f') y fuerzas secundarias (τ)	147
A.15.Rosa de los vientos mes de Febrero a 5 m	151

ÍNDICE DE TABLAS

	página
3.1. Velocidades de viento Cúrico estaciones	45
4.1. Valores de C_p para turbinas eólicas.	52
4.2. Potencia de elementos	53
4.3. Densidad del aire a presión atmosférica estándar	54
4.4. Datos de entrada para los 4 casos a analizar	57
4.5. Datos perfil NACA0018	57
4.6. Resumen de datos iniciales para diseñar	58
4.7. Tipos de fibra de vidrio más comunes	59
4.8. Características cobre esmaltado	66
4.9. Datos para fuerza normal y tangencial	71
4.10. Designación Rodamientos necesarios para la estructura SKF	75
4.11. Relación entre calibre AWG y sección transversal del cable	104
4.12. Temperaturas equipos	105
5.1. Costos procesos y mano de obra	107
5.2. Costos elementos eléctricos	107
5.3. Valor kW/h según tarifas	108
5.4. Datos INE [kW/h] en los últimos 6 años	109
5.5. VAN	112
5.6. Reducción de contaminantes por sustitución de combustible fósiles	114
A.1. Parámetros A y B	136
A.2. Factor de carga	136
A.3. Rodamientos	145
A.4. Escala de Beaufort	150
C.1. Valores materias primas	154
C.2. Clase de Alumbrado para las Vías de Tráfico Vehicular con Separación entre Usuarios	155
C.3. Luminancias de Vías de Tráfico Vehicular con Separación entre Usuarios	155