



RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar
DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

Title: Modelado y simulación de pruebas de fatiga en álabes de aerogeneradores de baja potencia.

Authors: RUIZ-NUCAMENDI, Nelson Octavio, ROBLES-OCAMPO, José Billerman, SEVILLA-CAMACHO, Perla Yazmin y MORALES-ALIAS, Luis Alberto.

Editorial label ECORFAN: 607-8695

BCIERMMI Control Number: 2019-251

BCIERMMI Classification (2019): 241019-251

Pages: 17

RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

143 – 50 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

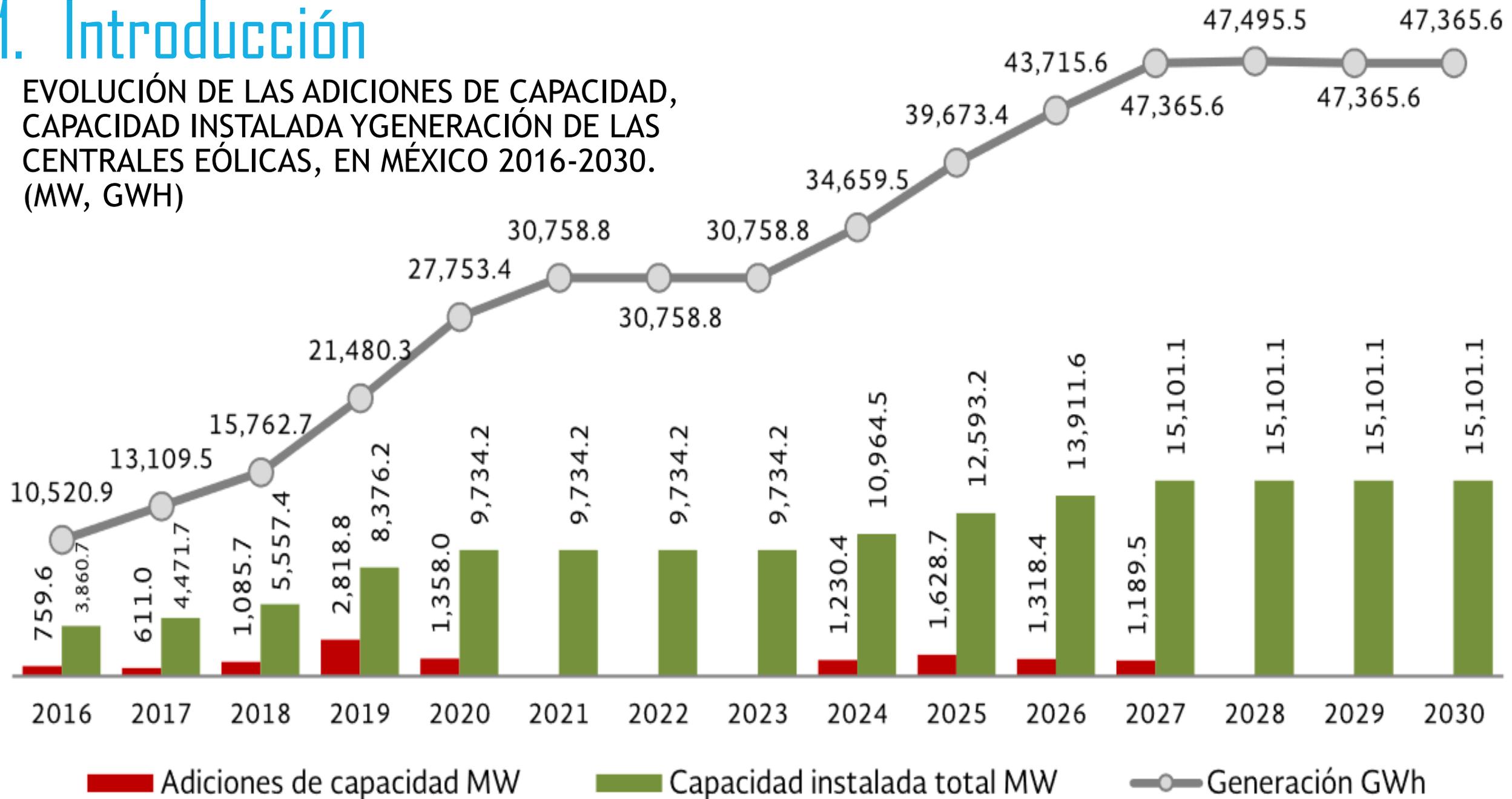
Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

1. Introducción
2. Metodología
3. Resultados
4. Conclusiones
5. Referencias

1. Introducción

EVOLUCIÓN DE LAS ADICIONES DE CAPACIDAD, CAPACIDAD INSTALADA Y GENERACIÓN DE LAS CENTRALES EÓLICAS, EN MÉXICO 2016-2030. (MW, GWH)



2. Metodología

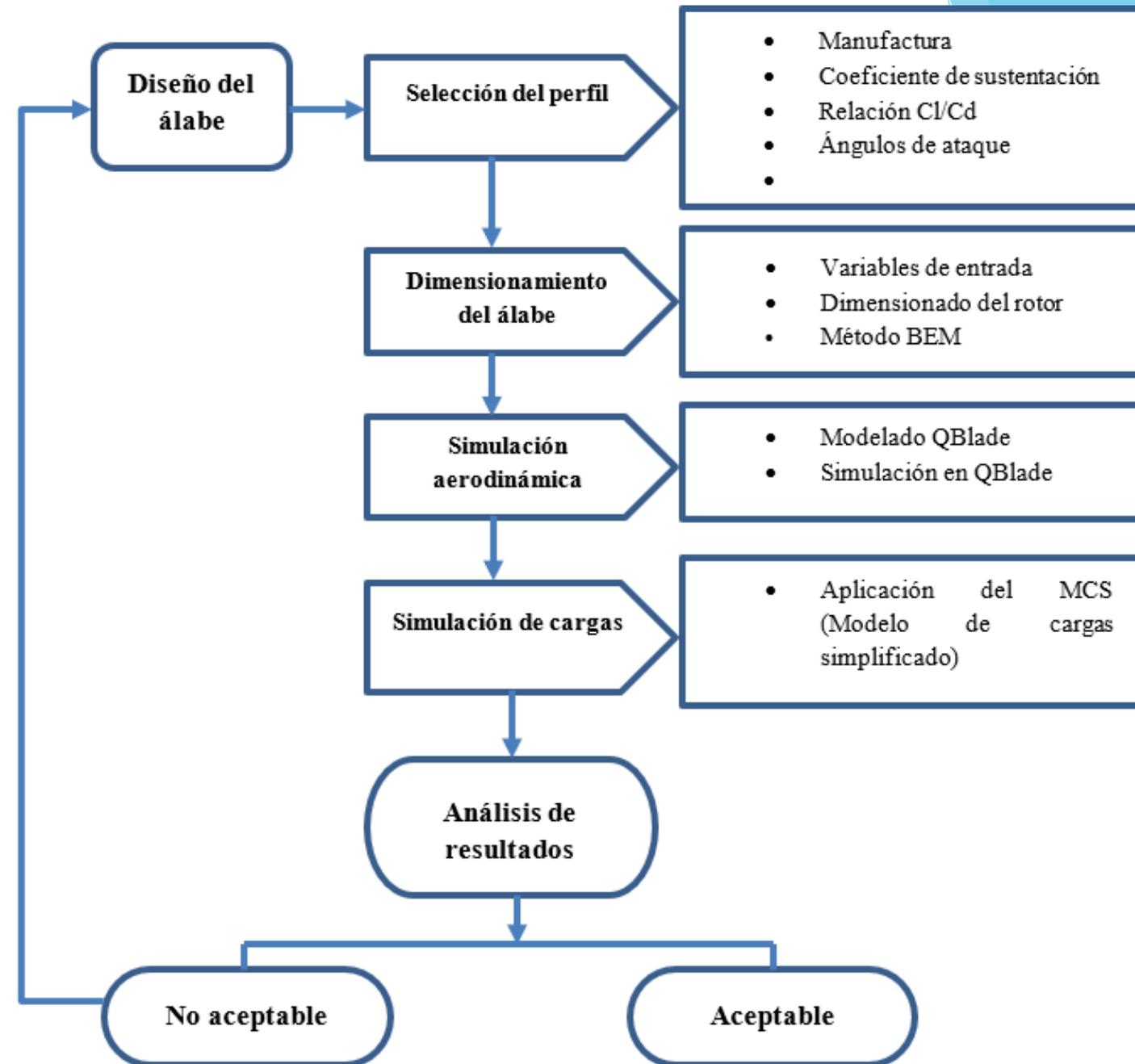


Figura 1. Metodología para el diseño del álabé.

- Manufactura

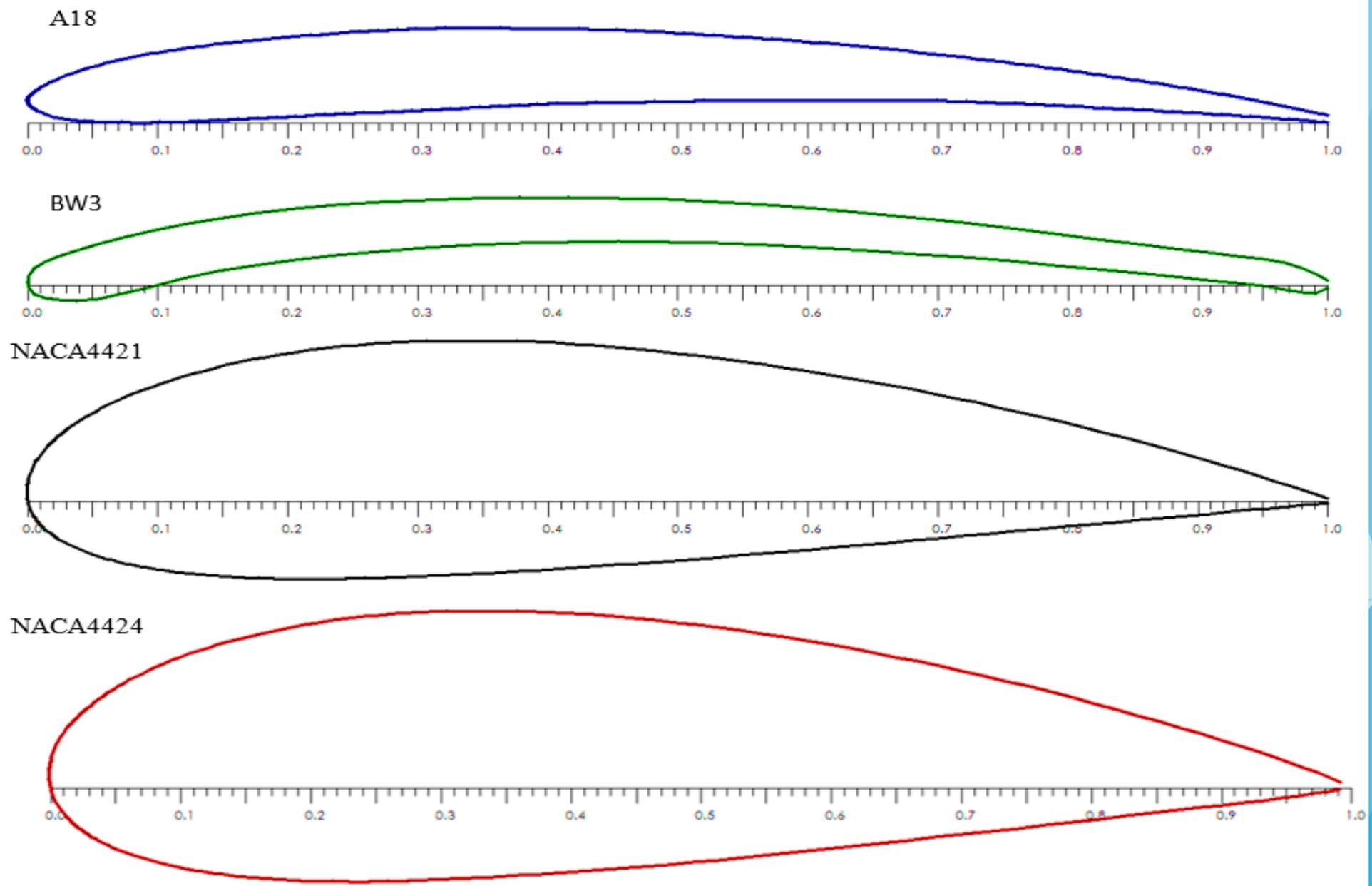
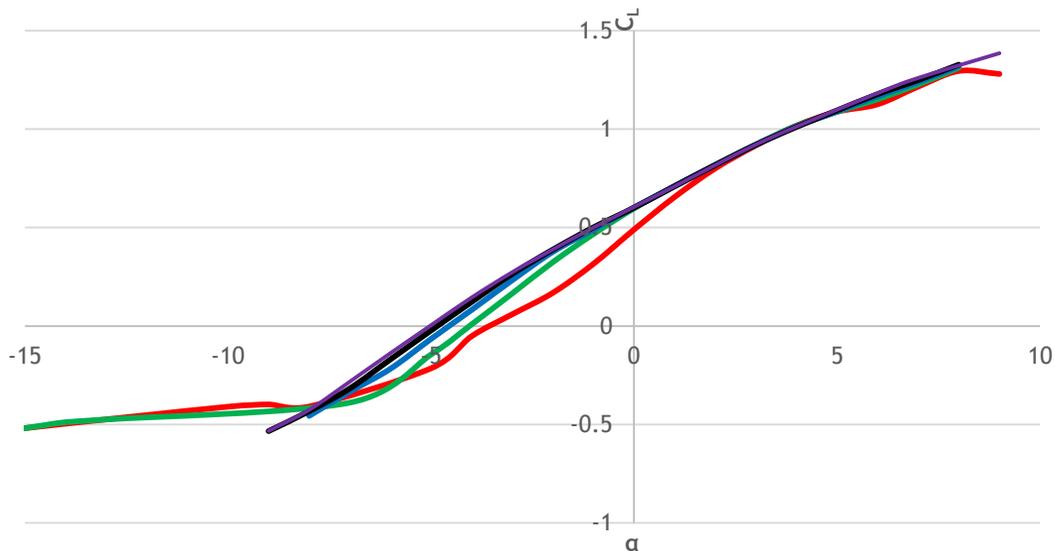


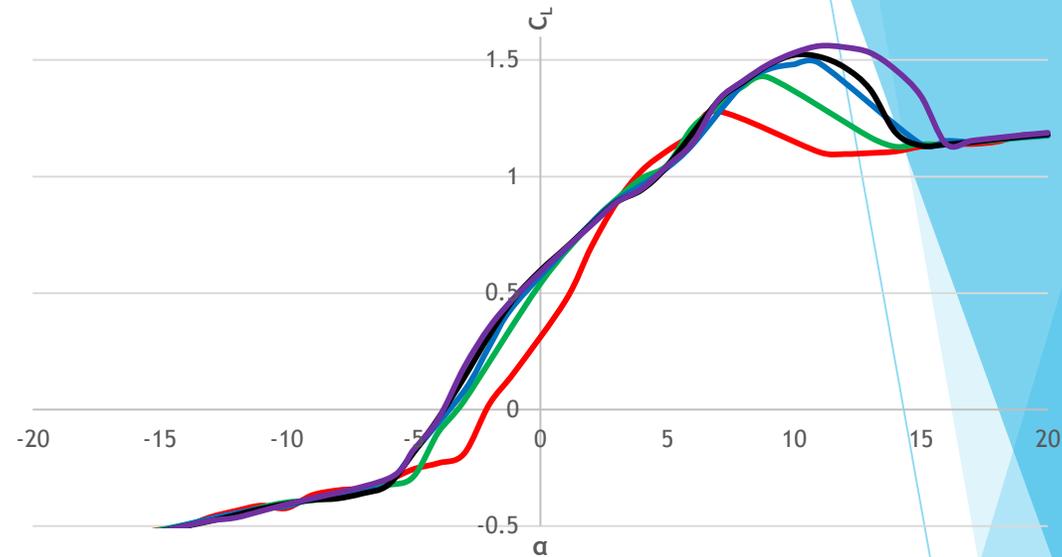
Figura 2. Perfiles seleccionados.

● Coeficiente de sustentación

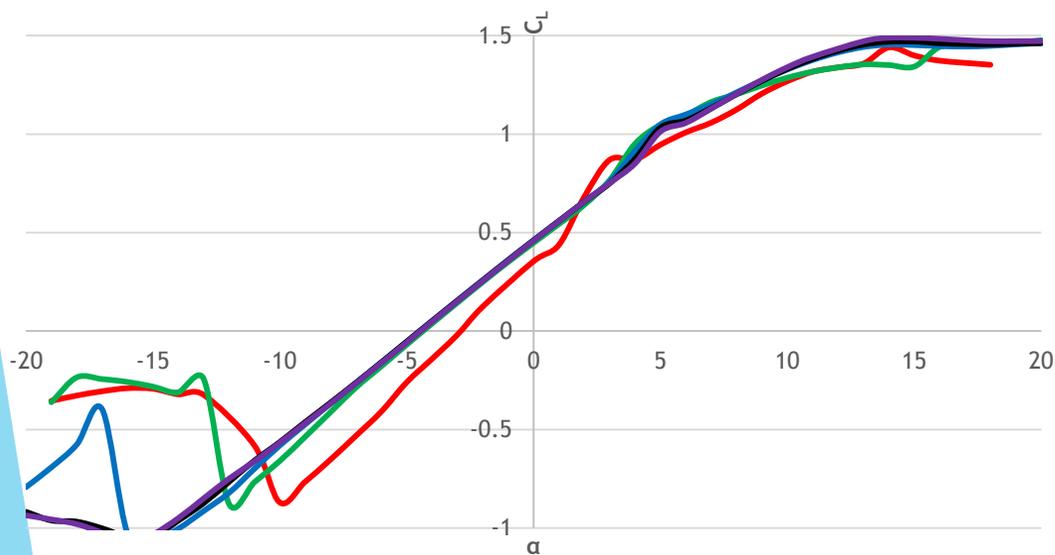
A18



BW3



NACA 4421



NACA 4424

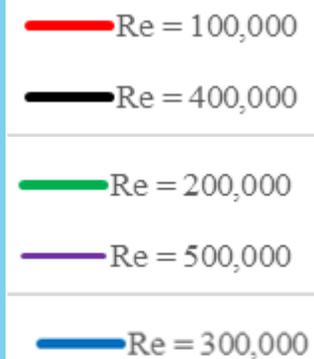
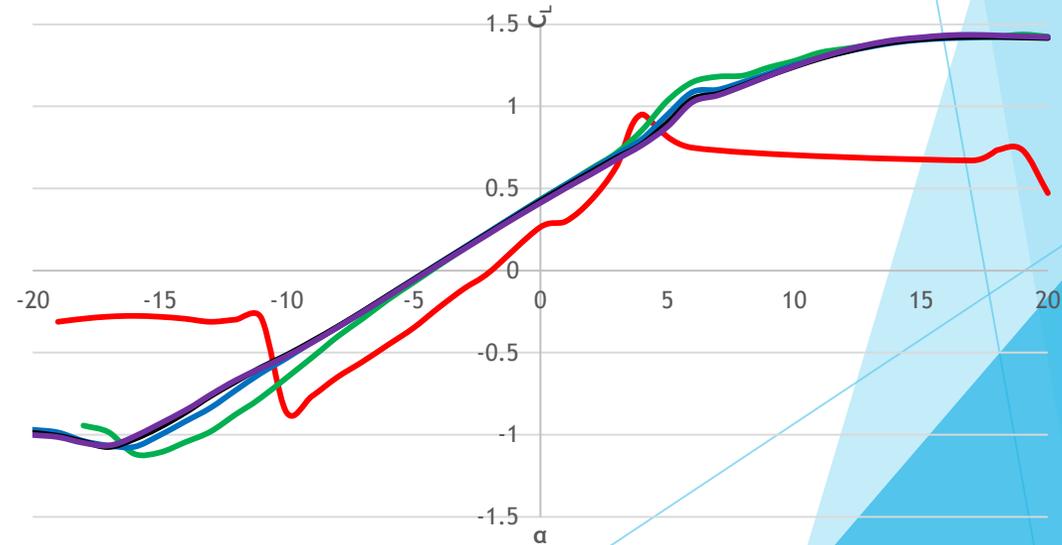
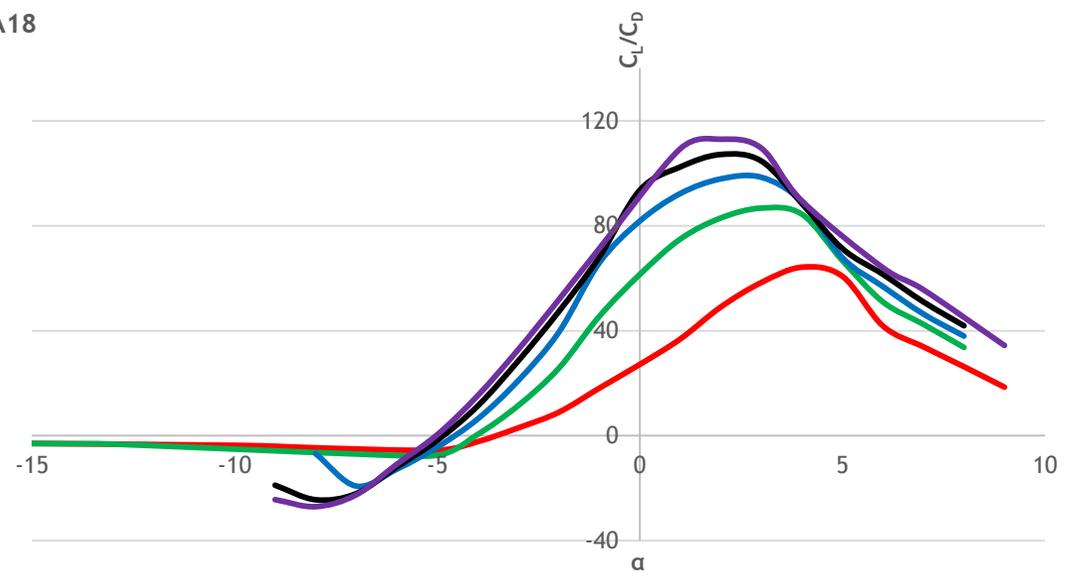


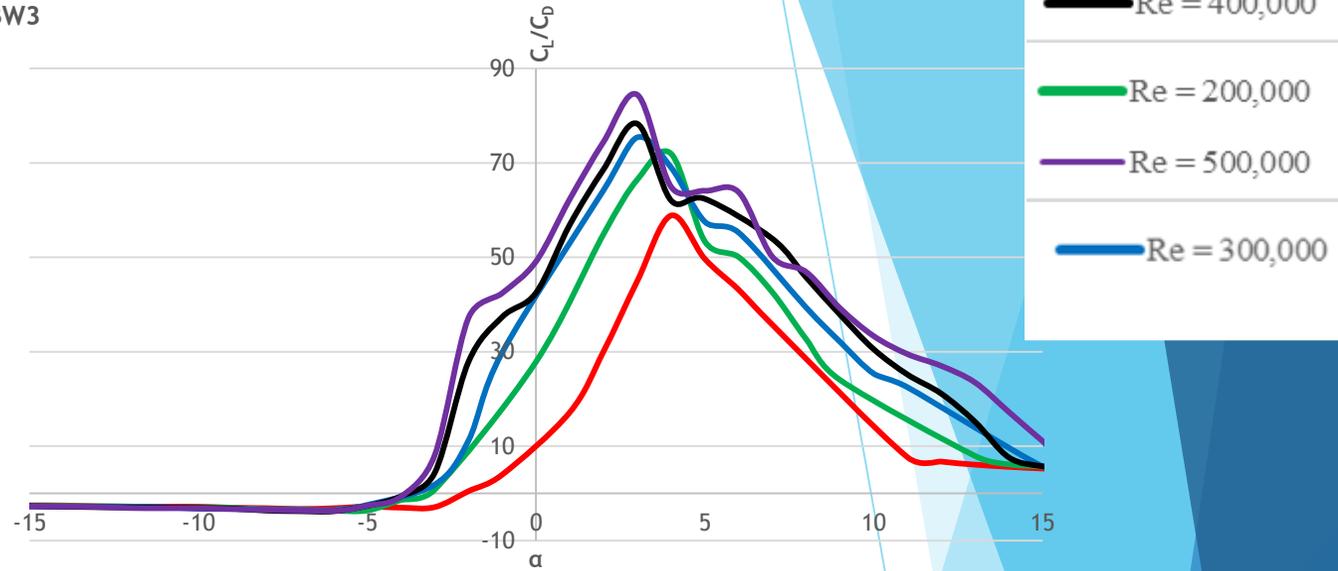
Figura 3. Curvas del C_L de los perfiles aerodinámicos (X. Tang, X. H. (2015)).

Relación sustentación y arrastre

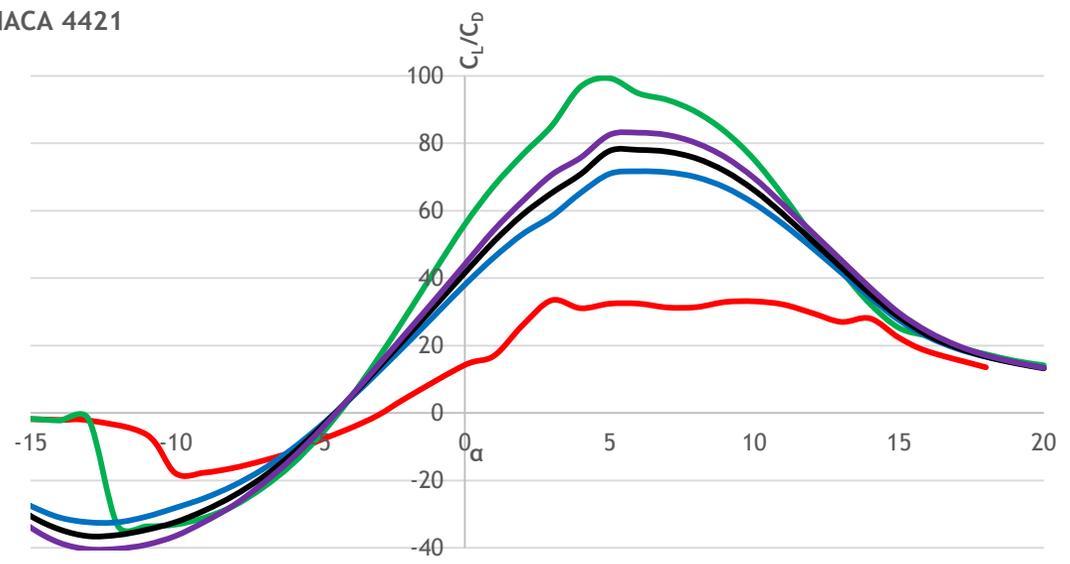
A18



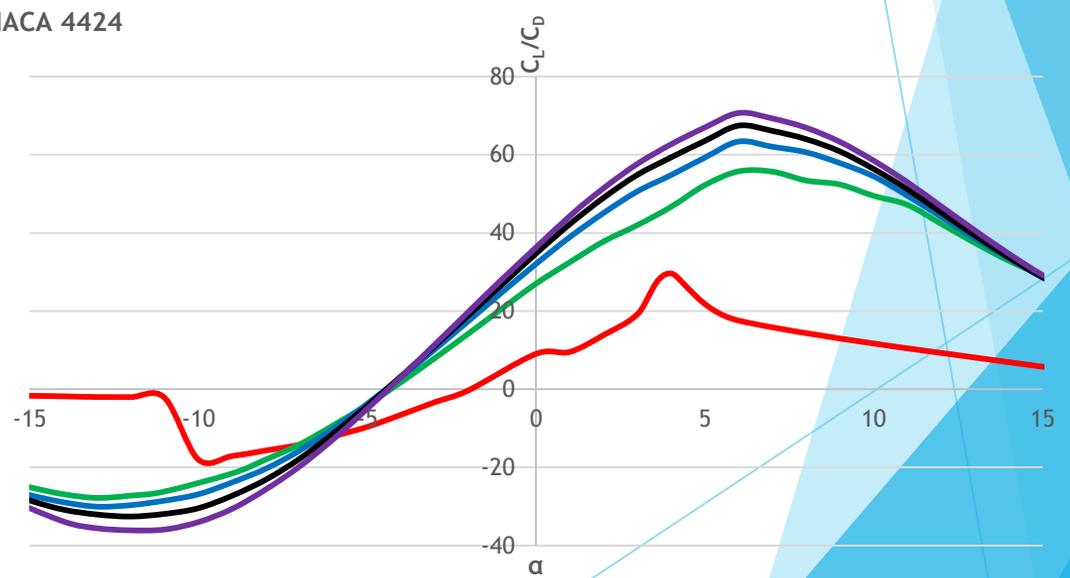
BW3



NACA 4421



NACA 4424



- Re = 100,000
- Re = 200,000
- Re = 300,000
- Re = 400,000
- Re = 500,000

Figura 4. Curvas C_L/C_D de los perfiles aerodinámicos (Pavón, G. V. 2019).

• Método BEM (Blade Element Momentum)

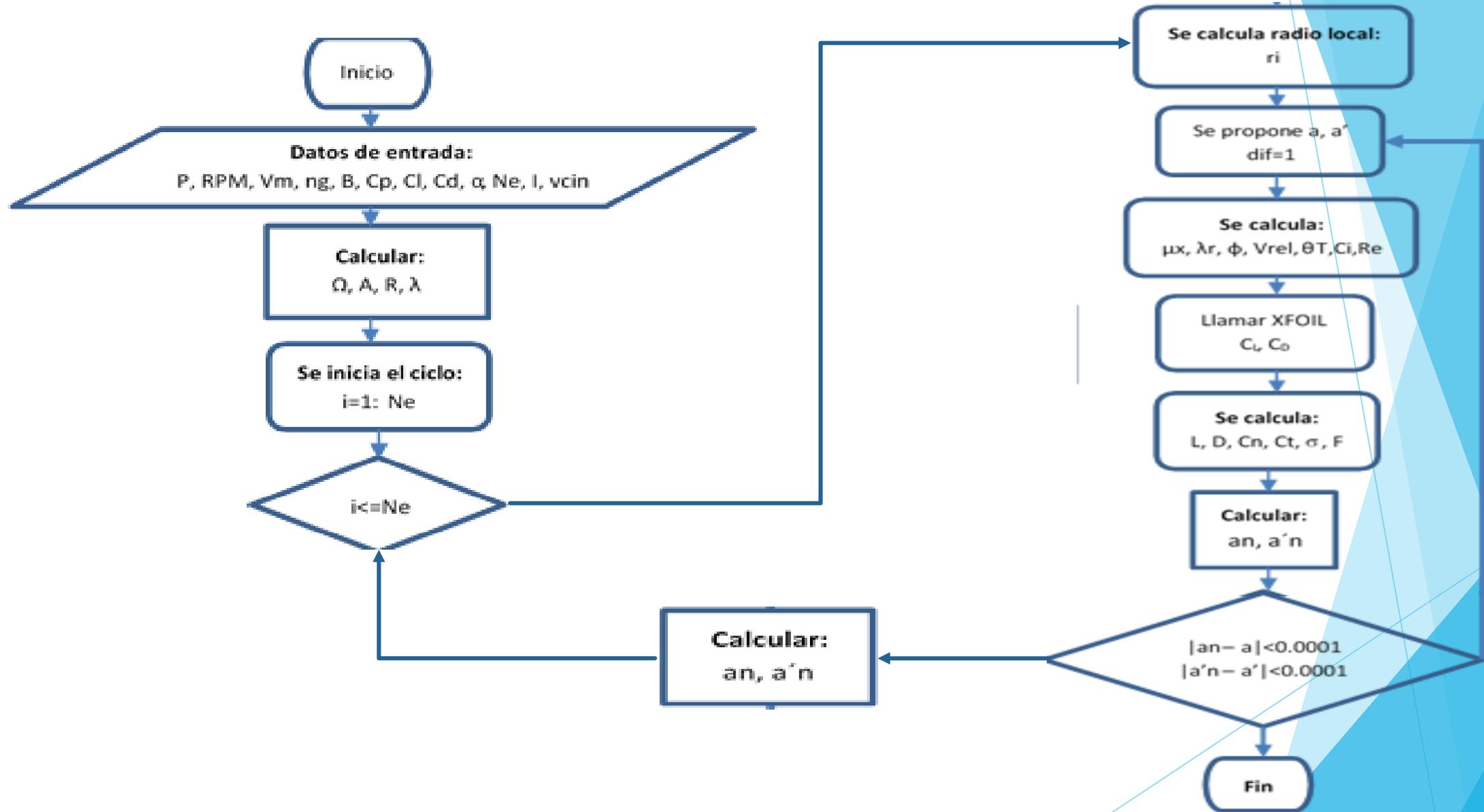


Figura 5. Diagrama de flujo propuesto para la aplicación del método BEM.

Clase II SWT Norma IEC 61400-2

Descripción	Simbología	Valores	Unidad
Potencia nominal del aerogenerador	P_{nom}	5000	W
Velocidad medio	V_m	7.5	m/s
Velocidad de diseño	V_d	10.5	m/s
Coeficiente de potencia	C_p	0.4	[-]
Densidad del aire	ρ	1.225	kg/m ³
Eficiencia del aerogenerador	η_g	0.8	[-]
Eficiencia de la caja multiplicadora	η_i	0.95	[-]
Área de barrido	A_T	23.200	m ²
Radio total	R_T	2.717	m
No. de elementos del álabe	N_e	10	[-]
Colocación del 1er perfil	l	0.408	m
Número de aspas	B	3	[-]
Viscosidad cinemática	ν	1.551E-05	m ² /s
Perfil aerodinámico			

Tabla 1. Variables de entrada para el dimensionado del rotor (International Electrotechnical Commission, 2013).

• Simulación Aerodinámica

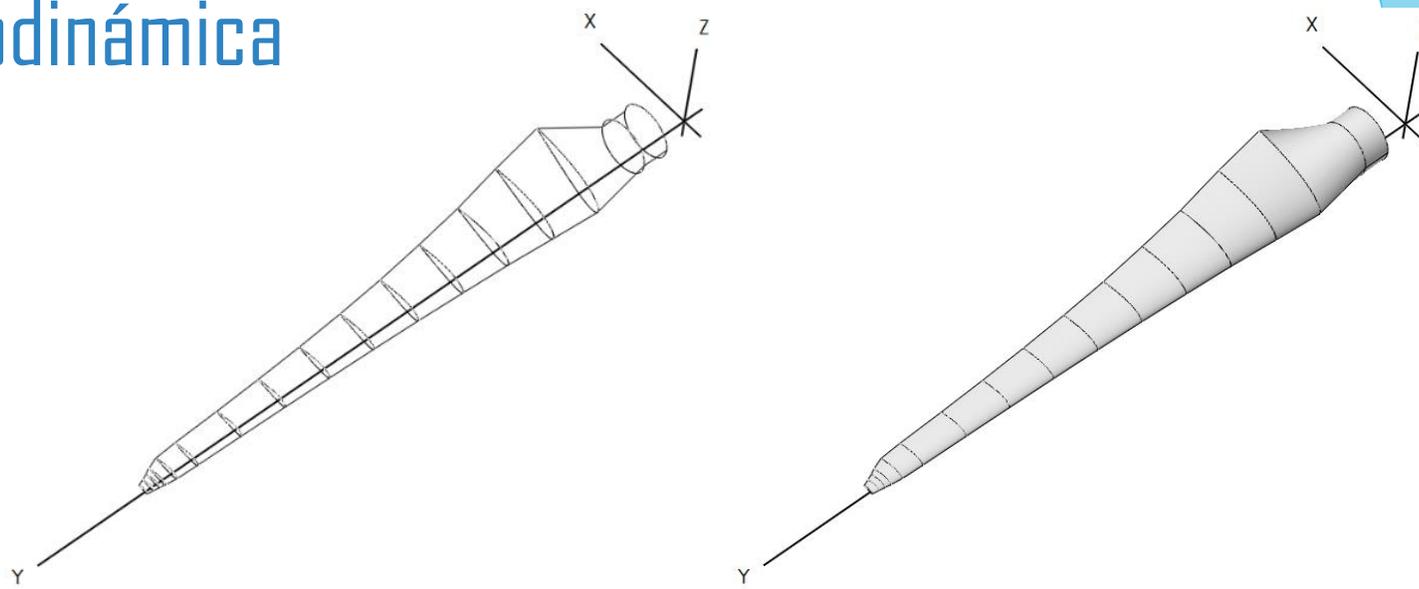


Figura 6. Modelado del álabe en QBlade.

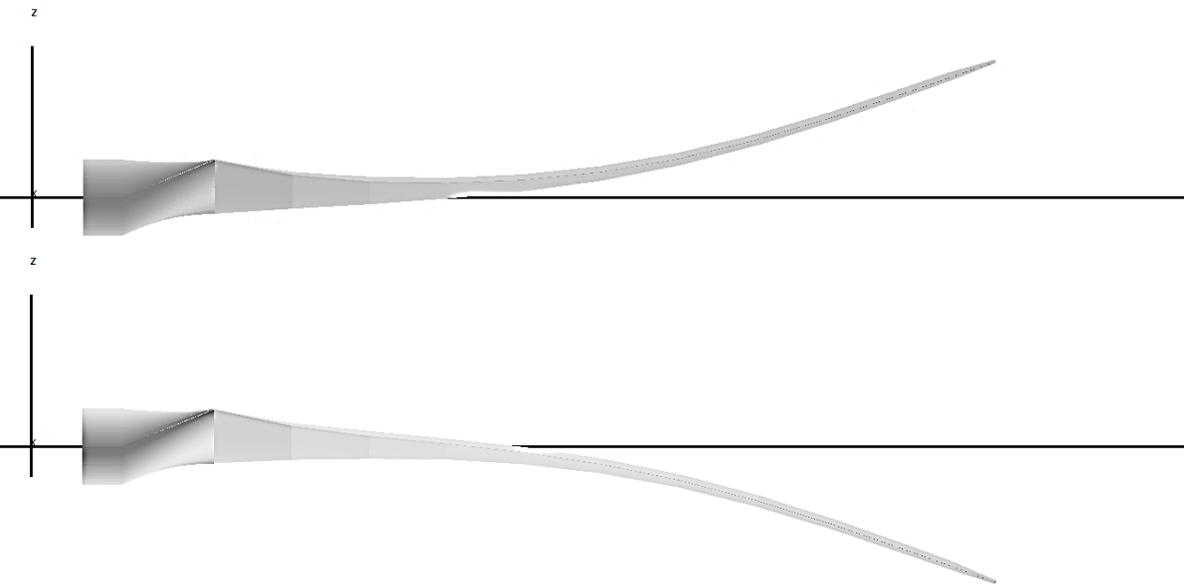


Figura 7. Modelado del álabe en QBlade.

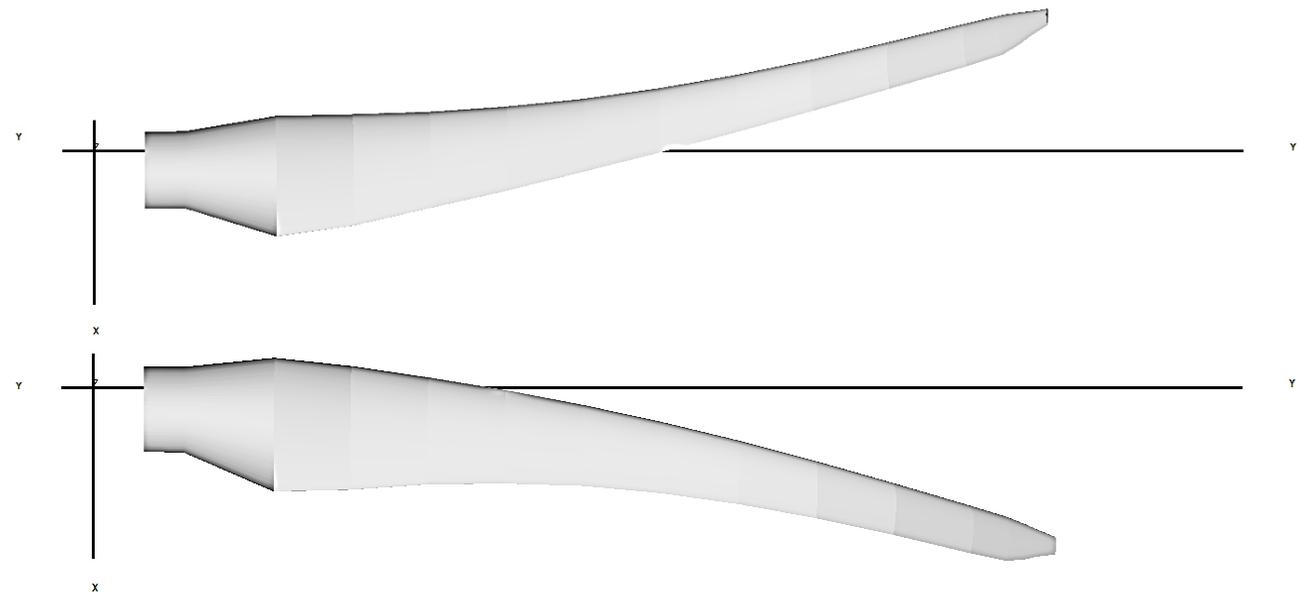


Figura 8. Modelado del álabe en QBlade.

3. Resultados

Criterios de evaluación	Perfil			
	A18	BW3	NACA4421	NACA4424
I. Manufactura	2	1	3	4
I. Coeficiente de sustentación	1	4	3	2
I. Relación C_L/C_D	4	3	2	1
I. Ángulos de ataque estables	2	3	4	1
Promedio	2.25	2.75	3	2

Tabla 2. Criterios para la selección del perfil aerodinámico (Martínez, J. 2007).

Elemeto	L	D	Cn	Ct	σ	a	a'
1	58.295	0.847	0.882	0.543	0.589	0.311	0.215
2	86.875	1.235	0.949	0.398	0.297	0.306	0.088
3	115.295	1.631	0.979	0.306	0.172	0.302	0.047
4	154.463	1.829	1.028	0.239	0.116	0.343	0.031
5	186.192	2.200	1.036	0.198	0.080	0.343	0.021
6	217.840	2.572	1.041	0.168	0.058	0.343	0.015
7	247.904	2.928	1.045	0.145	0.044	0.343	0.011
8	270.364	3.219	1.048	0.128	0.034	0.343	0.009
9	261.636	3.252	1.056	0.113	0.023	0.344	0.007
10	279.775	3.514	1.060	0.102	0.019	0.345	0.006

Tabla 3. Fuerzas aerodinámicas del álabe.

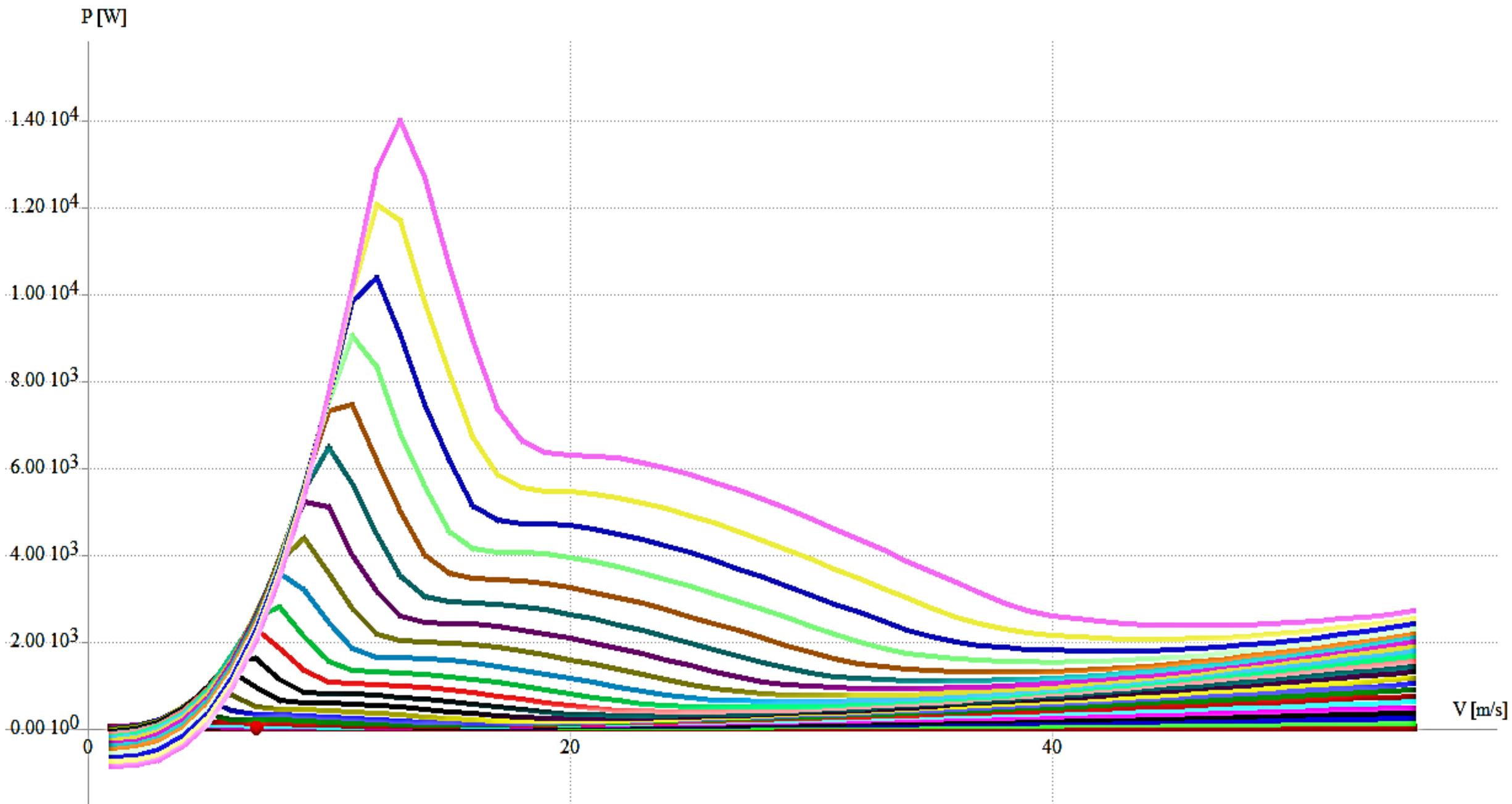


Figura 9. Curvas de potencia en relación a la velocidad del viento.

Cargas del Modelo de cálculo simplificado

Caso de carga A - Cargas de fatiga en las aspas y el eje del rotor

Ecuación	Descripción	Valores	Unidad	Simbología
Cargas en el aspa				
IEC 21	Fuerza centrífuga en la raíz de la pala (eje z)	21421.6626	N	ΔF_{zB}
IEC 22	Momento de flexión de la raíz de edgewise (eje x)	505.9568	Nm	ΔM_{xB}
IEC 23	Momento de flexión de la raíz al flapwise (eje y)	698.4127	Nm	ΔM_{yB}
Cargas en el eje				
IEC 24	Empuje en el eje (eje x)	1142.8571	Nm	$\Delta F_{x-shaft}$
IEC 25	Momento del eje alrededor del eje x	383.8990	Nm	$\Delta M_{x-shaft}$
IEC 26	Momento del eje	876.9695	Nm	ΔM_{shaft}

Tabla 4-a. Casos de carga de acuerdo a la norma IEC61400(International Electrotechnical Commission, 2014).

Caso de carga D -Empuje máximo en el eje

Ecuación	Descripción	Valores	Unidad	Simbología
IEC 32	Empuje máximo en el eje	4547.4860	N	$F_{x-shaft}$

Caso de carga E - Rotación máxima del viento

Ecuación	Descripción	Valores	Unidad	Simbología
IEC 33	Fuerza centrífuga en la raíz de la pala (eje z)	15423.597 1	N	F_{zB}
IEC 33'	Momento de flexión en el eje	368.1600	Nm	M_{shaft}

Caso de carga F - Corto en la conexión de carga

Ecuación	Descripción	Valores	Unidad	Simbología
IEC 34	Momento de flexión en el eje	690.1027	Nm	$M_{x-shaft}$
IEC 35	Momento de flexión de la raíz de edgewise (eje x)	425.5041	Nm	M_{xB}

Tabla 4-b. Casos de carga de acuerdo a la norma IEC61400.

Caso de carga H - Carga extrema del viento

Ecuación	Descripción	Valores	Unidad	Simbología
IEC 38,39	Momento de flexión de la raíz flapwise (eje y)	4846.1754	Nm	M_{yB}
IEC 40, 41	Empuje máximo en el eje	10573.4736	N	$F_{x-shaft}$
IEC 43	Fuerza de empuje en el aspa	4699.321594	N	F_{Blade}
IEC 43	Fuerza de empuje en la torre	9879.6029	N	$F_{Nacelle}$
IEC 43	Fuerza de empuje en la nacelle	25503.1582	N	F_{Tower}

Caso de carga I - Carga de viento estacionado, máxima exposición

Ecuación	Descripción	Valores SLM	Unidad	Simbología
IEC 44	Cargar del aspa	2397.6131	N	F_{Blade}
IEC 44	Cargar nacelle	13011.8154	N	$F_{Nacelle}$
IEC 44	Carga de la torre	5040.6137	N	F_{Tower}

Tabla 4-c. Casos de carga de acuerdo a la norma IEC61400.

4. Conclusiones

- La metodología para la selección de perfiles aerodinámicos a través de los criterios establecidos, es aceptable.
- El dimensionado del álabes con los resultados obtenidos del método BEM, es eficiente.
- Los resultados que se obtienen en Qblade de la simulación aerodinámica garantiza que el modelo es apto para un aerogenerador de 5kW de potencia nominal.
- La aplicación del modelo de carga simplificado (MCS), permite obtener las fuerzas y momentos máximos que actúan en el modelo del álabes.
- La fuerza centrífuga en la raíz del álabes, es el valor máximo de fatiga.
- Con los resultados presentados en el trabajo, se concluye que el modelo de álabes cumple con la eficiencia aerodinámica y con el límite de daño por fatiga, por lo tanto garantiza su buen funcionamiento.

5. Referencias

- **Carantoña, O. (2009).** Análisis del comportamiento aerodinámico de perfiles empleados en aerogeneradores de baja potencia. Fuentes Alternas de Energía y Generación Distribuida.
- **International Electrotechnical Commission. (2013).** IEC 61400-2 Wind turbines-Part 2: Small wind turbines. Switzerland.
- **International Electrotechnical Commission. (2014).** IEC 61400-2 Wind turbines-Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades. Switzerland.
- **Martínez, J. (2007).** Diseño, Manufactura y Caracterización Experimental de Aspas y Controlador de Carga Resistiva para una Turbina de Viento Bergey BWC XLI-Edición única. Tecnológico de Monterrey.
- **Pavón, G. V. (2019).** Modelación de respuesta aerodinámica para aspas con stall pasivo- Tesis de Maestría. Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca: Universidad del Istmo.
- **X. Tang, X. H. (2015).** A Direct Approach of Design Optimization for Small Horizontal Axis Wind Turbine Blades. Procedia CIRP, vol. 36, 12-16.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)