



Ministerio de Educación
 Universidad Tecnológica Nacional
 Rectorado

Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

Informe Final 2019

Título del Proyecto: ESTUDIO DE CONTROL DE PASO DE PALA PARA GENERADOR EÓLICO DE BAJA POTENCIA		Código UTI4726TC
Programa: Energía		
Facultad Regional: Haedo		
Fecha de Inicio: 01/01/2018	Fecha de Finalización: 31/12/2019	Fecha de Prórroga: //

Director: Ruben Domingo Bufanio

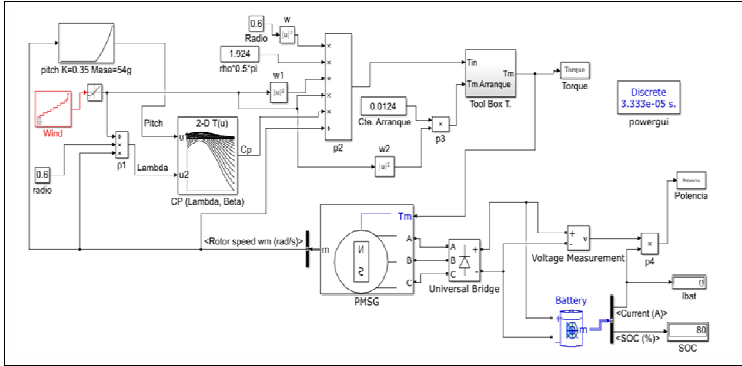
a) **GRADO DE AVANCE:** Porcentaje de ejecución sobre lo programado **100 %**

2. ACTIVIDAD EN INVESTIGACIÓN Y/O DESARROLLO

a) Producción y Desarrollo:

Especificaciones Técnicas de los Desarrollos Realizados (prototipo, equipo, proceso, modelo, patente, etc.)

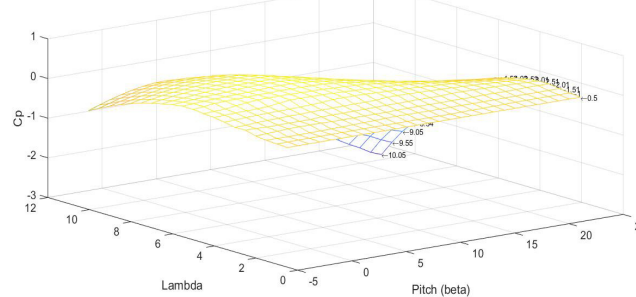
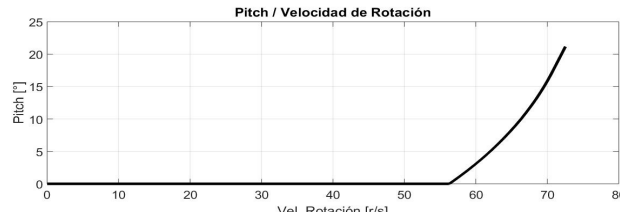
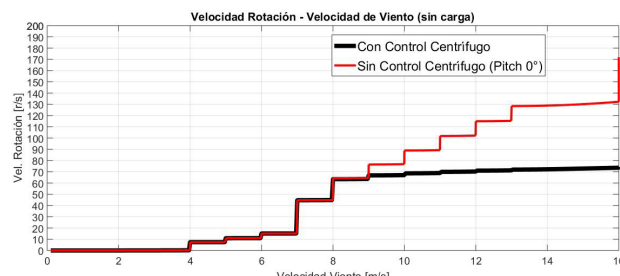
Indicar:

Título	MODELIZACIÓN DINÁMICA DEL SISTEMA ELECTRO PRODUCTOR
Lugar/es donde desarrolla/n el proyecto – Fotos del desarrollo	UTN Facultad Regional Haedo  <p>Modelo de simulación del sistema electro productor</p>

	Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
Firma Director/a	Aclaración	Fecha



Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

	<p style="text-align: center;">Cp (Lambda, Pitch), Blade_Piggott_</p>  <p style="text-align: center;">Gráfica de coeficiente de potencia, Cp, del sistema de palas según geometría propuesta por Piggott.</p> <p>a)</p>  <p>b)</p>  <p>a) Acción control de paso de pala por acción centrífuga en función de la velocidad de rotación, b) Comparación de la acción de control de velocidad / potencia por paso de pala versus sin control respecto de la velocidad del viento.</p>
<p>Institución/es requirente/s</p>	<p>UTN Facultad Regional Haedo</p>
<p>Investigadores/Desarrolladores</p>	<p>Ruben Domingo Bufanio.</p>
<p>Resumen del contenido</p>	<p>En vista de proponer mejoras y observar el comportamiento del sistema aerogenerador frente a diferentes variables de desempeño, se realizó una modelización y posterior simulación del sistema físico del rotor, generador eléctrico y sistema de carga. A continuación, se muestra el modelo gráfico, utilizado en las simulaciones, del comportamiento del rotor Piggott, el cual entrega el coeficiente de potencia “Cp” respecto de “λ” (relación de velocidades en punta de pala) y “β” (paso de pala o pitch). Lo mismo fue realizado, según la ecuación de equilibrio con la respuesta del sistema centrífugo, partiendo de los datos de</p>

	<p>Bufanio Ruben Domingo</p>	<p>07/09/2020</p>
<p>Firma Director/a</p>	<p>Aclaración</p>	<p>Fecha</p>



Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

	masas, constante de resorte y precompresión. Se modeló el generador eléctrico (PMSG) con los datos constructivos de flujo de enlace, constantes de voltaje de línea vs rpm, torque vs amperes, número de pares de polos, con el agregado necesario del momento de inercia total más fricción viscosa (incluido rotor completo), todo lo anterior mostrado junto a un modelo de alimentación de carga a través de puente completo a diodos rectificador.
Resultados obtenidos (cantidad – calidad) en función de los objetivos del proyecto	Se obtuvo como resultado una clara acción reguladora del control centrífugo, según objetivo, con vientos variando entre aproximadamente los 8 m/s y 15 m/s, con comportamiento similar al mostrado en las pruebas de banco de pruebas y túnel de viento.
Proyección de continuidad - transferencias	Este análisis de modelización no solo sirvió a los fines de aprendizaje, si no también, permitió afrontar los posteriores ensayos en banco de prueba y túnel de viento con un mayor conocimiento relacionado con la respuesta del sistema, por tal motivo dichos ensayos pudieron ser realizados con un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles en lo referente a materiales, instrumental y tiempo.
Conclusiones	El estudio permitió analizar el funcionamiento de regulación del control centrífugo con una variación de control de vientos entre 8m/s y 15m/s. Los resultados fueron luego corroborados en ensayo en banco de prueba y túnel de viento.

Título	ANÁLISIS DE CONDICIÓN DE EQUILIBRIO DE MOMENTOS
Lugar/es donde desarrolla/n el proyecto – Fotos del desarrollo	UTN Facultad Regional Haedo
	<p>El diagrama ilustra un sistema de control centrífugo. Un rotor con momento de inercia I_m y una carga m están conectados por un eje. Se muestra la fuerza centrífuga f_c actuando sobre la carga. El rotor está soportado por un eje con un resorte de constante k y una precompresión f_r. El sistema gira con una velocidad angular ω. Se indican distancias L, l_r, f_s y f_r. El ángulo de inclinación del eje se denota como α.</p>

	Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
Firma Director/a	Aclaración	Fecha



	Esquema del sistema centrífugo analizado
Institución/es requirente/s	UTN Facultad Regional Haedo
Investigadores/Desarrolladores	Alejandro Blas de Villafior
Resumen del contenido	Poder definir los parámetros de los principales componentes del sistema centrífugo como ser: masas actuantes, constante elástica y precompresión del resorte, brazos de palanca y su posterior dimensionamiento.
Resultados obtenidos (cantidad – calidad) en función de los objetivos del proyecto	<p>Mediante un análisis para la condición de equilibrio de momentos, se obtuvo la siguiente ecuación donde se relaciona en forma teórica, la velocidad angular del rotor del aerogenerador, en función del ángulo de paso de palas, la constante del resorte, las masas centrífugas y de los parámetros constructivos del sistema de control.</p> $\omega = \sqrt{\frac{l_C \times K \times [\Delta l_{r(ini)} + l_C \times \text{sen}(2\alpha)]}{3 \times m \times l_m \times [r + r' \times \cos(\alpha) + l_m \times \text{sen}(\alpha)]}}$ <p>Dónde:</p> <p>ω : Velocidad angular del rotor [rad / s] α : Ángulo de paso de pala [°] m : Masa centrífuga asociada a cada pala [kg] r : Distancia entre el eje del rotor y el eje de cada pala [m] r' : Distancia entre el eje de cada pala y el centro del brazo de montaje de la masa centrífuga correspondiente [m] K : Constante elástica del resorte [N / m] l_m : Distancia del centro del eje de cada pala y el centro de gravedad de la masa centrífuga correspondiente [m] l_C : Distancia entre el centro del eje de cada pala y el actuador del sincronizador correspondiente [m] $\Delta l_{r(ini)}$: Precarga del resorte [m]</p>
Proyección de continuidad – transferencias	<p>Este estudio se completó alcanzando los objetivos propuestos en el PID.</p> <p>En función de los resultados obtenidos en los ensayos realizados posteriormente, demuestra ser un método válido de cálculo para aplicaciones sobre estudios similares.</p>
Conclusiones	El estudio permitió definir los parámetros de los principales componentes del sistema centrífugo como ser: masas actuantes, constante elástica y precompresión del resorte, brazos de palanca y su posterior dimensionamiento.
Título	FABRICACIÓN DEL CONTROL DE PASO DE PALA CENTRÍFUGO
Lugar/es donde desarrolla/n el proyecto – Fotos del desarrollo	UTN Facultad Regional Haedo.

	Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
Firma Director/a	Aclaración	Fecha



Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado

Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos



Semi armado de piezas mecanizadas del control de paso de pala centrífugo



Despiece de cañoneras del control de paso de pala centrífugo

	Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
Firma Director/a	Aclaración	Fecha



Ministerio de Educación
 Universidad Tecnológica Nacional
 Rectorado

Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos



Montaje de control de paso de pala centrífugo

Institución/es requirente/s	UTN Facultad Regional Haedo.
Investigadores/Desarrolladores	Javier Rubido, Carlos Stortoni.
Resumen del contenido	A partir del estudio de las características electromecánicas del generador y las características aerodinámicas de las palas utilizadas, se determinó una estrategia de control; luego en función de dicha estrategia se determinaron los parámetros

	Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
Firma Director/a	Aclaración	Fecha



**Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado**

Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

	constructivos principales del control de paso de pala centrífugo, procediendo a la fabricación de todas las piezas necesarias para su implementación.
Resultados obtenidos (cantidad – calidad) en función de los objetivos del proyecto	Se tuvo especial cuidado en utilizar cojinetes de bolas radiales y axiales, según corresponda, en todos los mecanismos giratorios y de desplazamiento implementados, logrando de esta forma minimizar los efectos de rozamientos no tenidos en cuenta en el modelo planteado anteriormente según PID ENUTNHA1899.
Proyección de continuidad – transferencias	Esta etapa concluyó con la fabricación, ensamble y montaje de todas las piezas necesarias para la implementación del sistema de control centrífugo propuesto.
Conclusiones	Se logró minimizar notablemente los efectos de rozamientos no tenidos en cuenta en el modelo planteado anteriormente según PID ENUTNHA1899.

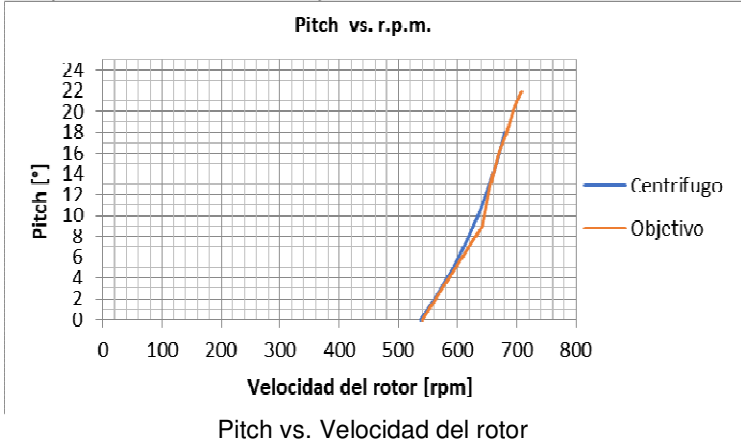
Título	IMPLEMENTACIÓN DE BANCO DE PRUEBAS	
Lugar/es donde desarrolla/n el proyecto – Fotos del desarrollo	UTN Facultad Regional Haedo 	
	Banco de pruebas	
Institución/es requirente/s	UTN Facultad Regional Haedo.	
Investigadores/Desarrolladores	Alejandro Blas de Villafior, Ramiro Marcos Bracco, Javier Rubido, Carlos Stortoni.	
Resumen del contenido	La necesidad de realizar pruebas que permitan ajustar y comprobar la respuesta del sistema de control de paso de palas centrífugo, según la estrategia de control planteada, previas a los	

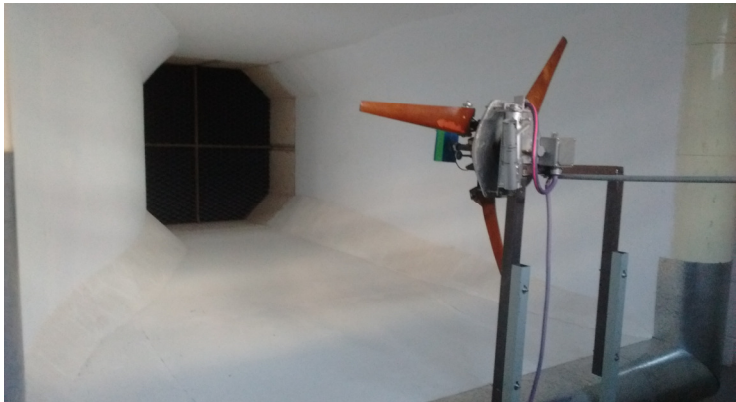
	Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
Firma Director/a	Aclaración	Fecha



Ministerio de Educación
 Universidad Tecnológica Nacional
 Rectorado

Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

	ensayos en el túnel de viento, hizo necesaria la implementación de un banco de prueba, en el cual una vez montado el aerogenerador, permitiera por medio de una transmisión a correa, conectada a un motor trifásico de jaula de ardilla de potencia adecuada y asociado a un variador electrónico de velocidad, realizar los ensayos y ajustes previos.
Resultados obtenidos (cantidad – calidad) en función de los objetivos del proyecto	En las siguientes curvas se muestran los resultados finales de los ensayos y ajustes efectuados en el banco de pruebas comparados con la curva objetivo. 
Proyección de continuidad – transferencias	Se construyo un banco de prueba en función de las necesidades para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en el estudio.
Conclusiones	Permitió un ajuste correcto de la respuesta del sistema de control centrífugo según la estrategia de control y la curva objetivo propuesta.

Título	PRUEBAS EN TÚNEL DE VIENTO
Lugar/es donde desarrolla/n el proyecto – Fotos del desarrollo	UTN Facultad Regional Haedo  Montaje del aerogenerador en la boca del túnel de viento
Institución/es requirente/s	UTN Facultad Regional Haedo
Investigadores/Desarrolladores	Ruben Domingo Bufanio, Alejandro Blas de Villafior, Ramiro

	Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
Firma Director/a	Aclaración	Fecha



Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

	Marcos Bracco, Javier Rubido, Carlos Stortoni.																																				
Resumen del contenido	Finalizados los ensayos y pruebas en el banco de prueba, se procedió a realizar ensayos con viento, disponiéndose, según se muestra, del montaje necesario en la boca del túnel de viento con que cuenta la facultad.																																				
Resultados obtenidos (cantidad – calidad) en función de los objetivos del proyecto	<p>Gracias a dicha posibilidad pudieron hacerse una gran cantidad de pruebas donde se combinaron distintas velocidades de viento con diferentes tipos de cargas conectadas al generador, tanto de carácter resistivas como carga de baterías en forma separadas y simultáneas; siendo analizadas cada una con y sin la acción del control centrífugo.</p> <p>A continuación, se muestran dos curvas de respuesta, una con y otra sin la acción del sistema de control de paso de pala centrífugo implementado, donde se puede apreciar la acción de dicho control.</p> <div data-bbox="662 737 1396 1098" data-label="Figure"> <table border="1"> <caption>Velocidad del rotor vs. Velocidad de viento</caption> <thead> <tr> <th>Velocidad del viento [m/s]</th> <th>Velocidad rotor [rpm] - Sin control</th> <th>Velocidad rotor [rpm] - Con control</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>7.0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>7.5</td><td>450</td><td>450</td></tr> <tr><td>8.0</td><td>500</td><td>500</td></tr> <tr><td>8.5</td><td>550</td><td>550</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>600</td><td>600</td></tr> <tr><td>9.5</td><td>650</td><td>600</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>700</td><td>600</td></tr> <tr><td>10.5</td><td>-</td><td>600</td></tr> <tr><td>11.0</td><td>-</td><td>600</td></tr> <tr><td>11.5</td><td>-</td><td>600</td></tr> <tr><td>12.0</td><td>-</td><td>600</td></tr> </tbody> </table> </div>	Velocidad del viento [m/s]	Velocidad rotor [rpm] - Sin control	Velocidad rotor [rpm] - Con control	7.0	0	0	7.5	450	450	8.0	500	500	8.5	550	550	9.0	600	600	9.5	650	600	10.0	700	600	10.5	-	600	11.0	-	600	11.5	-	600	12.0	-	600
Velocidad del viento [m/s]	Velocidad rotor [rpm] - Sin control	Velocidad rotor [rpm] - Con control																																			
7.0	0	0																																			
7.5	450	450																																			
8.0	500	500																																			
8.5	550	550																																			
9.0	600	600																																			
9.5	650	600																																			
10.0	700	600																																			
10.5	-	600																																			
11.0	-	600																																			
11.5	-	600																																			
12.0	-	600																																			
Proyección de continuidad – transferencias	<p>Con el objeto de mejorar la capacidad de producción energética del aerogenerador se sugieren las siguientes acciones a futuro:</p> <ul style="list-style-type: none"> Realizar estudios para que el control de paso de pala centrífugo tenga también incidencia en el momento del arranque del aerogenerador para que dicho arranque se produzca a bajas velocidades de viento. En función de la evolución de la tecnología de impresión 3D y la posibilidad de que la misma sea cada vez más accesible, se considera conveniente realizar un estudio sobre la posibilidad de reemplazar las palas originales, las cuales debido a su necesaria simplicidad de fabricación no poseen la geometría más adecuada para la aplicación; por un diseño específicamente desarrollado el cual mantenga las condiciones de fácil implementación y repetibilidad a bajo costo. 																																				
Conclusiones	Los resultados obtenidos nos permiten suponer que el sistema de control propuesto es eficiente a los fines planteados en los objetivos del PID si bien dicha suposición falta ser respaldada con pruebas de campo.																																				

Título	ESTUDIO DE LAS CARGAS EN EVENTOS DE FURLING Y DEL
--------	---

	Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
Firma Director/a	Aclaración	Fecha



Ministerio de Educación
 Universidad Tecnológica Nacional
 Rectorado

Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

<p>Lugar/es donde desarrolla/n el proyecto – Fotos del desarrollo</p>	<p>EFFECTO DEL MISMO EN LA VIDA DE LAS PALAS</p> <p>UTN-FRH</p> <div data-bbox="662 384 1393 892"> </div> <p data-bbox="706 898 1356 955"><i>Figura 1: Banco de ensayos para el estudio del generador Piggot de 700 W</i></p> <div data-bbox="662 1003 1393 1528"> </div> <p data-bbox="690 1533 1372 1701"><i>Figura 2: Curva de Potencia aerodinámica (azul) y Potencia eléctrica (amarillo) en función de la velocidad del viento. La segunda se obtiene como el producto de la curva azul y la eficiencia total (que es el valor de la eficiencia de potencia al eje a potencia eléctrica en los bornes del rectificador estando el mismo a corta distancia).</i></p>
---	---

	<p>Bufanio Ruben Domingo</p>	<p>07/09/2020</p>
<p>Firma Director/a</p>	<p>Aclaración</p>	<p>Fecha</p>



Ministerio de Educación
 Universidad Tecnológica Nacional
 Rectorado

Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

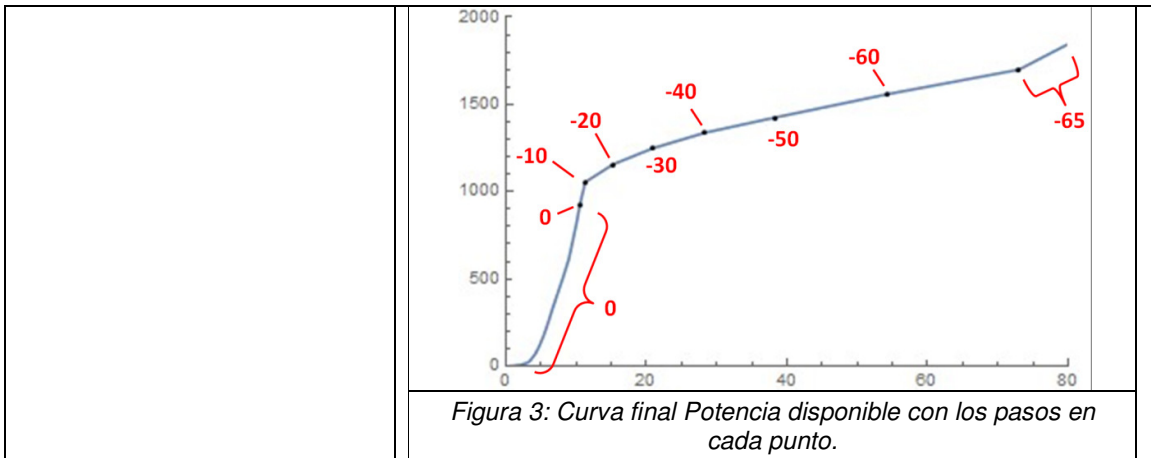


Figura 3: Curva final Potencia disponible con los pasos en cada punto.

Institución/es requirente/s	GESE (UTN-FRH)
Investigadores/Desarrolladores	Mariano Flores, Rubén Bufanio, Alejandro Blas de Villafior.
Resumen del contenido	<p>El estudio parte de la comparación y evaluación de las cargas para un rotor Piggot 2,4m y un rotor basado en el mismo pero con cambio de paso en sus palas. El primero, limita su potencia con el sistema furling, de amplio uso en turbinas de viento pequeñas (llamadas de aquí en más SWT) y el segundo basaría su regulación de potencia en el uso del cambio de paso.</p> <p>Como primera etapa del estudio, se debió obtener una curva Torque resistente vs velocidad de rotación del generador, para así poder compatibilizar la misma con el estudio aerodinámico. Dada la falta de referencias que brinden luz sobre el asunto, el GESE decidió realizar su propio ensayo de torque resistente en un generador Piggot (Figura 1). Los resultados se presentan en la figura 4.</p> <p>Luego se prosiguió con el cálculo de las cargas debidas a la acción del furling del rotor Piggot original. Para esto se desarrolló un modelo en el programa Qblade y un algoritmo que compatibiliza los resultados del ensayo de torque resistente con los datos aerodinámicos del Qblade. El resultado es una familia de curvas de las cuales se presenta una en la figura 2.</p> <p>El mismo planteo se realiza para el diseño con cambio de paso, consiguiéndose una familia de curvas similar, ejemplificadas por la curva de la figura 3.</p> <p>A raíz de estas familias de curvas, se procede al cálculo de las cargas aerodinámicas por error de guiñada (yaw error) para ambos casos, resumidas en la figura 5 y figura 6.</p> <p>La significancia de las cargas calculadas fue luego valorada y se sumó además el cálculo de las cargas debido a la velocidad de guiñada, las cuales tienen una significancia elevada en un evento de furling. Para esto, se utilizó el modelo de cargas simplificadas propuesto por la IEC 61400-2.</p> <p>Por último, se hizo un breve avance en el estudio de la vida de las palas para el caso de furling. Se calcularon la hipotética cantidad de eventos de furling, los ciclos de carga debido a los mismos y el daño según la regla de Miner vinculado a la acción de furling en un aerogenerador localizado en la Patagonia, finalizando con la</p>

	Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
Firma Director/a	Aclaración	Fecha



Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

	<p>comparación de la diferencia de daño total si se estudia la vida de las palas utilizando el modelo de cargas simplificadas de IEC 61400-2.</p>																					
<p>Resultados obtenidos (cantidad – calidad) en función de los objetivos del proyecto</p>	<p>Para comenzar, se tuvieron resultados de valor al ensayar el generador de diseño Piggot, ya que es un paso imprescindible para un modelizado completo del aerogenerador. El resultado es una familia de curvas de las cuales se ejemplifican 2 en la figura 4.</p> <div data-bbox="662 604 1401 1144" style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <caption>Approximate data points from Figure 4</caption> <thead> <tr> <th>RPM del generador</th> <th>Potencia [W]</th> <th>Torque [Nm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>200</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>250</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>300</td><td>100</td><td>100</td></tr> <tr><td>350</td><td>800</td><td>25</td></tr> <tr><td>400</td><td>1400</td><td>35</td></tr> </tbody> </table> </div> <p><i>Figura 4: Potencia al Eje y Torque vs RPM. En ensayo fue realizado manteniendo el voltaje de baterías en el rango de 25,2 V +/-5%.</i></p> <p>Se obtuvieron las cargas máximas aerodinámicas para varios errores de guiñada para ambos rotores. Las mismas se resumen en las figuras 5 y 6. Estas figuras muestran que las cargas más fuertes en el rotor fijo se dan en la dirección de aleteo de la pala, siendo el valor más alto 52,42 Nm. En el caso del rotor con cambio de paso, se deben evaluar la significancia de las cargas calculadas basándonos en la posibilidad de aparición de casos de yaw de 30 grados con vientos más elevados que 20 ms. Esto resulta en que si asumimos valores de viento hasta 20 ms en conjunto con error de guiñada de 30 grados las cargas en cambio de paso son a lo sumo iguales o menores a las del rotor fijo.</p>	RPM del generador	Potencia [W]	Torque [Nm]	100	0	0	200	0	0	250	10	10	300	100	100	350	800	25	400	1400	35
RPM del generador	Potencia [W]	Torque [Nm]																				
100	0	0																				
200	0	0																				
250	10	10																				
300	100	100																				
350	800	25																				
400	1400	35																				

	<p>Bufanio Ruben Domingo</p>	<p>07/09/2020</p>
<p>Firma Director/a</p>	<p>Aclaración</p>	<p>Fecha</p>



Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

Angulo de Yaw	Momento máximo de aleteo en raíz [Nm]	Momento mínimo de aleteo en raíz [Nm]	Relación de tensiones R	Periodo [s]
0	47,60	47,60	1,000	NA
30	52,42	35,74	0,682	0,17
60	41,23	21,18	0,514	0,17

Angulo de Yaw	Momento máximo de leadlag en raíz [Nm]	Momento mínimo de leadlag en raíz [Nm]	Relación de tensiones R	Periodo [s]
0	10,21	10,21	1,000	NA
30	9,87	7,59	0,769	0,17
60	4,24	2,03	0,479	0,17

Figura 5: Resumen de los valores de las cargas aerodinámicas para el rotor fijo. Notese que el periodo de las mismas es el mismo que el periodo del rotor. El máximo y el mínimo de estas cargas se da con la pala en la parte más alta de recorrido (0 grados) y en la parte más baja del mismo (180 grados).

Tipo de carga	Potencia [W]	RPM [rps]	Paso [grad]	Velocidad [m/s]	Torque [Nm]	Thrust [N]	Out plane Root Bending mom. [Nm] (Eje sec)				In plane Root Bending mom. [Nm] (Eje sec)			
							max	min	R	Periodo [s]	max	min	R	Periodo [s]
Equilibrio de torque a paso 0	932	350	0	9,2	25,5	153,5	43,8	NA	NA	NA	8,5	NA	NA	NA
Equilibrio de torque a paso -10	1046	360	-10	10,7	27,75	121	32	NA	NA	NA	9,3	NA	NA	NA
Equilibrio de torque a paso -20	1179	370	-20	15	30,5	97	22,5	NA	NA	NA	10,2	NA	NA	NA
Equilibrio de torque a paso -30	1260	380	-30	20,65	31,4	82	16	NA	NA	NA	10,5	NA	NA	NA
Equilibrio de torque a paso -40	1333	390	-40	28	32,7	76	14	NA	NA	NA	10,9	NA	NA	NA
Equilibrio de torque a paso -50	1388	400	-50	38,28	33,2	74	12	NA	NA	NA	11,1	NA	NA	NA
Equilibrio de torque a paso -60	1551	415	-60	56,05	35,75	80	14,5	NA	NA	NA	11,9	NA	NA	NA
Equilibrio de torque a paso -65	1710	430	-65	70,6	38	99	19,5	NA	NA	NA	12,7	NA	NA	NA
Yaw 30 grados a paso 0 sin equilibrio de torque	788	350	0	9,2	21,2	146	49	35	0,714	0,171	8,4	6,4	0,762	0,171
Yaw 30 grados a paso -10 sin equilibrio de torque	687	360	-10	10,7	18,25	92,5	27	23	0,852	0,167	7,5	4,5	0,600	0,167
Yaw 30 grados a paso -20 sin equilibrio de torque	474	370	-20	15	12,6	55	17	7	0,412	0,162	9	-1	-0,111	0,162
Yaw 30 grados a paso -30 sin equilibrio de torque	153	380	-30	20,65	5,25	45	15	-2	-0,133	0,158	12,5	-10	-0,800	0,158
Yaw 30 grados a paso -40 sin equilibrio de torque	-102	390	-40	28	-0,5	61	17	-10	-0,588	0,154	22	-23	-1,045	0,154
Yaw 30 grados a paso -50 sin equilibrio de torque	-63	400	-50	38,28	-5	115	20	-22	-1,100	0,150	45	-50	-1,111	0,150
Yaw 30 grados a paso -60 sin equilibrio de torque	446	415	-60	56,05	6	265	30	-40	-1,333	0,145	115	-111	-0,965	0,145
Yaw 30 grados a paso -65 sin equilibrio de torque	823	430	-65	70,6	30	445	35	-47	-1,343	0,140	192	-178	-0,927	0,140

Figura 6: Resumen de las cargas de flexión en raíz de pala para el aerogenerador con cambio de paso.

Con respecto a las cargas calculadas haciendo uso del modelo de IEC, se llega a la conclusión que un evento de furling genera cargas similares a las del caso B debido a la velocidad de guiñada. Esta carga resulta de un valor de 73,76 Nm en la dirección de aleteo, siendo la carga más alta del cálculo. Se concluye que esta carga será la más alta tanto para el rotor fijo como para el que cuenta con cambio de paso.

	Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
Firma Director/a	Aclaración	Fecha



Ministerio de Educación
 Universidad Tecnológica Nacional
 Rectorado

Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

	<p>Por último, el estudio de fatiga de la pala para el caso de furling, se desarrolló basado en cuantos eventos de furling sucederían en un año de operación es un sitio de la Patagonia. De aquí surge que el daño según la regla de Miner es de 0.00382773 por año, cuando el daño total anual por el modelo IEC es de 0.0265287. Esto indica que el furling podría aportar el 14% del daño total, aunque los resultados de esta evaluación son iniciales, requieren de validación y estudios mas profundos ya que son extremadamente dependientes de varios factores, entre ellos las curvas SN utilizadas.</p>
<p>Proyección de continuidad – transferencias</p>	<p>El proyecto abre un abanico de posibilidades de exploración, entre ellos varios vinculados al estudio de fatiga, a la validación y obtención de información a través de evaluaciones en campo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudios y ensayos de fatiga sobre madera de cedro y otras para altos ciclos de carga. • Confección de modelos aeroelásticos para SWT con sistemas furling. Estudio de la respuesta dinámica del SWT. Aplicación de histogramas de vientos reales y generados al modelo. Validación del modelo con datos reales de un SWT. • Instalación de un SWT instrumentalizado para la evaluación de parámetros como potencia, torque, azimut, guiñada y velocidad de guiñada, acción de furling, cargas en torre y cargas en palas. Generación de espectro de cargas anual para un SWT con furling. • Estudio de cargas sobre palas durante eventos de furling. Medición de cargas a través de strain gauges. Generación y validación de modelos de cargas.
<p>Conclusiones</p>	<p>Se ha evaluado las cargas máximas debidas al furling. Estas están vinculadas a las cargas de yaw rate, que a su vez se prestan a ser las máximas cargas de todos los casos de cargas. Las cargas aerodinámicas tienen un papel muy secundario y fueron despreciadas en todo el trabajo. Como es de esperarse, las cargas en los eventos del furling quedan bien dentro del diseño del SWT utilizando la norma IEC 61400-2.</p> <p>En cuanto a la evaluación de la vida útil de una pala, hay varios puntos a resaltar. Una evaluación correcta de las cargas es central para obtener buenos resultados. Se debería partir de un modelo aeroelástico validado o de mediciones de cargas y ciclos para un periodo lo suficientemente largo. Luego obtener los bins de cargas/ciclos y comparar el conjunto con una curva S-N.</p> <p>Las curvas S-N son en sí otro punto crítico de este tipo de evaluaciones. No solo se debe encontrar la curva del material exacto en estudio, sino además tener curvas para todos los bins de cargas existentes, ya que en esos bins hay cargas de amplitudes similares, pero de tensión media diferente. Las curvas antedichas normalmente se realizan para un valor o pocos valores de relaciones entre tensión media y máxima (factor R), y por lo general se utiliza el factor 0,1. Para este trabajo se ha dejado de lado el efecto de la carga estática y solo se trabajó con cargas cíclicas a R=0,1. Debemos mencionar en este apartado la gran dificultad para encontrar datos con el suficiente nivel de confianza para generar curvas para alta cantidad de ciclos. Eso es esencial en estas evaluaciones porque muchos bins de cargas</p>

	<p>Bufanio Ruben Domingo</p>	<p>07/09/2020</p>
<p>Firma Director/a</p>	<p>Aclaración</p>	<p>Fecha</p>



Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado

Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

	<p>tienen tensiones muy bajas y están fuera del alcance de los trabajos sobre fatiga en madera. Podría ser conveniente otro tipo de evaluación de fatiga para este tipo de materiales, descartando la regla de Miner.</p> <p>Por último, dada la poca información respecto a los valores asociados al accionamiento del sistema furling hace complicada la evaluación de este punto. Aunque hay información respecto de la dinámica del furling, no se encontraron datos del periodo de las oscilaciones del sistema respecto al yaw cuando se supera la velocidad de acción de furling. Un estudio de campo o una simulación aeroelástica podrían dar detalle a si existe este fenómeno de oscilación, su periodo, y sus yaw rates. A partir de esa información se podría evaluar en mejor medida un efecto del furling en el espectro de carga y finalmente en la vida útil de la pala.</p>
--	---

	<p>Bufanio Ruben Domingo</p>	<p>07/09/2020</p>
<p>Firma Director/a</p>	<p>Aclaración</p>	<p>Fecha</p>



Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado

Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

b) Producción en Investigación:

Libros	
Autor/autores	
Título del libro	
Editorial	
Edición: Nacional o Internacional	
Código ISBN	
Año	
Lugar de publicación	
Número de ejemplares	
Palabras clave	

Libros	
Autor/autores	
Título del libro	
Editorial	
Edición: Nacional o Internacional	
Código ISBN	
Año	
Lugar de publicación	
Número de ejemplares	
Palabras clave	

Capítulos de libros	
Autor/autores	
Capítulo/s	
Título del libro	
Editorial	
Compilador (si lo hubiere)	
Edición: Nacional o Internacional	
Código ISBN/ Año	
Lugar de publicación	
Número de ejemplares	

		Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
	Firma Director/a	Aclaración	Fecha



**Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado**

Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

Palabras clave	
----------------	--

Capítulos de libros	
Autor/autores	
Capítulo/s	
Título del libro	
Editorial	
Compilador (si lo hubiere)	
Edición: Nacional o Internacional	
Código ISBN/ Año	
Lugar de publicación	
Número de ejemplares	
Palabras clave	

Revistas	
Autor/autores	
Título del artículo	
Nombre de la Revista	
Fecha de Publicación	
Con/Sin referato	
Ámbito de la publicació	
Código ISSN	
Palabras clave	

Revistas	
Autor/autores	
Título del artículo	
Nombre de la Revista	
Fecha de Publicación	
Con/Sin referato	
Ámbito de la publicació	
Código ISSN	
Palabras clave	

Difusión en Congresos, Simposios, reuniones científicas, conferencias	
Título del trabajo	ESTUDIO DE CONTROL DE PASO DE PALA PARA GENERADOR EÓLICO DE BAJA POTENCIA, UTI4726TC
Institución organizadora	CYTED PROGRAMA IBEROAMERICANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO.
Nombre del evento	

		Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
	Firma Director/a	Aclaración	Fecha



Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado

Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

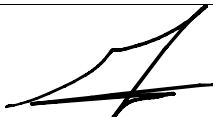
Carácter	Internacional
Fecha	24 y 25 de octubre de 2018
Lugar	CEDER-CIEMAT, ciudad de Soria, España
Autores de la presentación	Alejandro Blas de Villaflor, Ruben Domingo Bufanio, Ramiro Marcos Bracco, Javier Rubido, Mariano Flores; Carlos Stortoni
Publicado en actas, memorias – (páginas)	16 páginas.
Con/Sin referato	Si
Año	2018
Comité científico	Dr. Mario Ogara, INTI (Argentina), Dr. Javier Domínguez CIEMAT (España), Dr. Jorge Islas UNAM/IER (México).
Institución	CEDER-CIEMAT. CYTED PROGRAMA IBEROAMERICANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO.
Palabras clave	eólica, pala, control, perfiles, aerodinámica, túnel

Difusión en Congresos, Simposios, reuniones científicas, conferencias

Título del trabajo	ESTUDIO DE CONTROL DE PASO DE PALA PARA GENERADOR EÓLICO DE BAJA POTENCIA, UTI4726TC.
Institución organizadora	UTN Facultad Regional Tucumán, Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado del Rectorado de la UTN, Programa de Energía de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado del Rectorado de la UTN.
Nombre del evento	VII Seminario Nacional de Energía y su Uso Eficiente
Carácter	Nacional
Fecha	15 y 16 de noviembre de 2018
Lugar	UTN Facultad Regional Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina.
Autores de la presentación	Alejandro Blas de Villaflor, Ruben Domingo Bufanio, Ramiro Marcos Bracco, Javier Rubido, Mariano Flores; Carlos Stortoni
Publicado en actas, memorias – (páginas)	Del seminario, 18 páginas.
Con/Sin referato	Con referato.
Año	2018
Comité científico	Comité organizador.
Institución	UTN Facultad Regional Tucumán, Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado del Rectorado de la UTN, Programa de Energía de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado del Rectorado de la UTN.
Palabras clave	eólica, pala, control, perfiles, aerodinámica, túnel

Difusión en Congresos, Simposios, reuniones científicas, conferencias

Título del trabajo	ESTUDIO DE CONTROL DE PASO DE PALA PARA GENERADOR EÓLICO DE BAJA POTENCIA, UTI4726TC.
Institución organizadora	Grupos de Investigación y de Extensión de la Universidad

	Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
Firma Director/a	Aclaración	Fecha




Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado

Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

	Tecnológica Nacional junto a Empresas del Sector Eléctrico
Nombre del evento	IIIº CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA (IIIº CITTIE 2019) VIIIº SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA Y SU USO EFICIENTE (VIIIº SeNE 2019)
Carácter	Nacional
Fecha	13 y 14 de setiembre de 2019
Lugar	Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata
Autores de la presentación	Alejandro Blas de Villaflor, Ruben Domingo Bufanio, Ramiro Marcos Bracco, Javier Rubido, Mariano Flores; Carlos Stortoni
Publicado en actas, memorias – (páginas)	Del congreso y del seminario, 18 páginas.
Con/Sin referato	Con referato.
Año	2019
Comité científico	Comité organizador.
Institución	Grupos de Investigación y de Extensión de la Universidad Tecnológica Nacional, FRLP, junto a Empresas del Sector Eléctrico
Palabras clave	eólica, pala, control, perfiles, aerodinámica, túnel

La documentación probatoria de lo declarado se incorporará a un CD/DVD para ser enviada acompañando al Informe Final presentado.

	Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
Firma Director/a	Aclaración	Fecha



c) **Tesistas:**

Apellido y Nombre	Ramiro Marcos Bracco
Tipo de tesis	Magister
Título	CARACTERIZACION DE TURBINA EOLICA DE EJE HORIZONTAL DE BAJA POTENCIA FABRICADA MEDIANTE EL METODO DE IMPRESIÓN 3D
Director	Dr. Pablo Caron
Fecha de inicio	01/08/2019
Fecha de finalización	--/------
Calificación	Actualmente en curso

d) **Becarios:**

Apellido y Nombre	Carlos Stortoni
Tipo de beca	Estudiantil (Ingeniería Mecánica)
Fecha de inicio	01/07/2015
Fecha de finalización	Continúa

3. **GESTIÓN DEL PROYECTO (Para ser informado por el Director)**

Tareas Desarrolladas:

Si tuvo dificultades en el desarrollo de las tareas previstas en este proyecto de investigación le agradeceremos que indique:

Problemas de ejecución del presupuesto	Más allá de los problemas económicos producto principalmente de los procesos inflacionarios acaecidos, no se transformaron en impedimento para poder llevar a cabo las tareas programadas, gracias al apoyo de las autoridades de la UTN FRH que siempre respaldaron la iniciativa de este desarrollo experimental.
Problemas con los integrantes	El esfuerzo y dedicación puestas en juego por todos los integrantes del proyecto fue decisivo en el desarrollo del presente trabajo.
Especificar otros	Se contó con la inestimable colaboración de toda la comunidad educativa de la FRH y en especial la prestada por el laboratorio de aeronáutica y fluidos quienes pusieron a disposición del proyecto todas las instalaciones e instrumental necesarios.
Monto del financiamiento recibido durante el desarrollo del proyecto	Año 2018: \$ 33.000,00 Año 2019: \$ 35.000,00
Porcentaje de metas cumplidas respecto a los objetivos propuestos en el proyecto acreditado	90%
Agentes facilitadores (si los hubiere)	El grupo GESE FRH en su conjunto, en especial por el esfuerzo y profesionalismo de todos sus integrantes. Quiero poner en valor la destacada coordinación de su director el Ing. Alejandro de

	Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
Firma Director/a	Aclaración	Fecha



Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado

Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

	<p>Villafior, sin la cual, sumado su experiencia y conocimiento, hubiese sido imposible llevar a buen término este trabajo. Por otro lado la inestimable colaboración de las autoridades y comunidad educativa de la UTN FRH.</p>
--	---

	<p>Bufanio Ruben Domingo</p>	<p>07/09/2020</p>
<p>Firma Director/a</p>	<p>Aclaración</p>	<p>Fecha</p>



Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado

Proyectos UTN sin incorporación al Programa de Incentivos

Evaluación de los integrantes:

Nómina del personal que interviene en el proyecto		
Nº	Apellido y Nombre	Evaluación Director (*)
1	Alejandro Blas de Villaflor	Satisfactorio
2	Ramiro Marcos Bracco	Satisfactorio
3	Javier Rubido	Satisfactorio
4	Mariano Gastón Flores	Satisfactorio
5	Carlos Stortoni	Satisfactorio
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

Nota: El Director es responsable de la asignación de tareas del proyecto por lo que se sugiere revisar si corresponden a cada investigador las tareas informadas.

	Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
Firma Director/a	Aclaración	Fecha



Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Simulación por computadora de la acción reguladora del control centrífugo, según objetivo, con vientos variando entre 8 m/s y 15 m/s mediante la modelización dinámica del sistema electro productor.
- Se planteó un análisis del control centrífugo para la condición de equilibrio de momentos que permitió relacionar en forma teórica, la velocidad angular del rotor del aerogenerador, en función de las fuerzas centrífugas actuantes sobre las masas, ángulo de paso de palas, la constante del resorte y los parámetros constructivos del sistema, lo cual permitió el cálculo y dimensionamiento de los elementos involucrados para lograr los objetivos propuestos.
- En base a los estudios previos se procedió a la fabricación, armado y montaje en el aerogenerador de todos los elementos necesarios para la implementación del sistema de control centrífugo para lo cual se tuvo especial cuidado en utilizar cojinetes de bolas radiales y axiales, según corresponda, en todos los mecanismos giratorios y de desplazamiento implementados, logrando de esta forma minimizar los efectos de rozamientos no tenidos en cuenta en el modelo planteado anteriormente según PID ENUTNHA1899.
- Por medio de ensayos en banco de pruebas del control centrífugo fabricado y en base a los análisis teóricos y de simulación anteriores, se logró ajustar la respuesta del sistema según la estrategia de control planteada.
- Los ensayos en túnel de viento permitieron realizar una gran cantidad de pruebas donde se combinaron distintas velocidades de viento con diferentes tipos de cargas conectadas al generador, tanto de carácter resistivas como carga de baterías en forma separadas y simultáneas, dichas pruebas a su vez fueron analizadas cada una con y sin la acción del control centrífugo permitiendo comprobar la eficacia del sistema propuesto.
- Se obtuvo mediante ensayos en banco de pruebas, la curva Torque resistente vs velocidad de rotación del generador de tipo Piggot utilizado, para distintas condiciones de carga, con el fin de poder compatibilizar la misma con el estudio aerodinámico.
- Se calcularon cargas debidas a la acción del furling del rotor Piggot original a través de modelo desarrollado en el programa Qblade y por medio de un algoritmo que permitió compatibilizar los resultados del ensayo de torque resistente con los datos aerodinámicos del programa Qblade para distintos estados de carga.
- El mismo proceso fue implementado para analizar el sistema del rotor con control de potencia centrífugo por cambio de paso de palas.
- En base a los ensayos y cálculos anteriores, se procedió al cálculo de las cargas aerodinámicas por error de guiñada (yaw error) para ambos casos.
- La significancia de las cargas calculadas fue luego valorada y se sumó además el cálculo de las cargas debido a la velocidad de guiñada, las cuales tienen una significancia elevada en un evento de furling. Para esto, se utilizó el modelo de cargas simplificadas propuesto por la IEC 61400-2.
- Se avanzó en el estudio de tiempo de vida de las palas para un rotor con control de potencia por furling. Para lo cual se realizó una estimación de la cantidad de eventos de furling, los ciclos de carga debido a los mismos y se determinó el daño según la regla de Miner vinculado a la acción de furling en un aerogenerador localizado en la Patagonia.
- Se compararon los resultados obtenidos con los que resultan de la aplicación del modelo simplificado de cargas según la norma IEC 61400-2 (caso A), finalizando con la comparación de la diferencia de daño total.

Conclusiones

	Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
Firma Director/a	Aclaración	Fecha



En cuanto a la implementación del control de paso de pala para generador eólico de baja potencia cabe destacar que se logró mediante las pruebas en túnel de viento una muy buena respuesta según la estrategia de control planteada y también respecto a la modelización dinámica del sistema electro productor y al análisis de condición de equilibrio de momentos efectuados previamente, por lo cual se considera importante y necesario plantear para un futuro cercano los siguientes estudios:

- Comparación de los resultados obtenidos en túnel de viento con los que se obtendrían bajo condiciones normales de funcionamiento.
- Diseño e implementación de un sistema de control de paso de palas para generador de baja potencia para un rotor con disposición de palas radiales.
- Estudiar la posibilidad que el control de paso de pala centrífugo tenga también incidencia en el momento del arranque del aerogenerador para que dicho arranque se produzca a bajas velocidades de viento y así aumentar la producción energética.
- En función de la evolución de la tecnología de impresión 3D y la posibilidad de que la misma sea cada vez más accesible, se considera conveniente realizar un estudio sobre la posibilidad de reemplazar las palas originales, las cuales debido a su necesaria simplicidad de fabricación no poseen la geometría más adecuada para la aplicación; por un diseño específicamente desarrollado, el cual mejore la eficiencia de las mismas manteniendo las condiciones de sencilla implementación y bajo costo sumándole la posibilidad de fácil repetibilidad.
- Estudios y ensayos de fatiga sobre madera de cedro y otras para altos ciclos de carga.
- Confección de modelos aeroelásticos para SWT con sistemas furling. Estudio de la respuesta dinámica del SWT. Aplicación de histogramas de vientos reales y generados al modelo. Validación del modelo con datos reales de un SWT.
- Instalación de un SWT instrumentalizado para la evaluación de parámetros como potencia, torque, azimut, guiñada y velocidad de guiñada, acción de furling, cargas en torre y cargas en palas. Generación de espectro de cargas anual para un SWT con furling.
- Estudio de cargas sobre palas durante eventos de furling. Medición de cargas a través de strain gauges. Generación y validación de modelos de cargas.

		Bufanio Ruben Domingo	07/09/2020
	Firma Director/a	Aclaración	Fecha