



**31**  
**RAPAL**

REUNIÓN DE ADMINISTRADORES  
DE PROGRAMAS ANTÁRTICOS LATINOAMERICANOS  
ARGENTINA - OCTUBRE 2020

Tipo de Documento: (DI)  
Presentado por: (Colombia)  
Tipo de Sesión: (CACAT)  
Punto de Agenda: (12.b)

## **Implementación de una Turbina Eólica en la Antártida**



**31**  
**RAPAL**

REUNIÓN DE ADMINISTRADORES  
DE PROGRAMAS ANTÁRTICOS LATINOAMERICANOS  
ARGENTINA - OCTUBRE 2020

## **Introducción**

La Fuerza Aérea Colombiana presentó un proyecto a la Comisión Colombiana del Océano en la línea de investigación de aprovechamiento de energías alternativas en la Antártida el cual planteó la “Implementación de una Turbina Eólica” (año 2015). Proyecto desarrollado con el apoyo de la Fuerza Aérea Argentina y Dirección Nacional de Asuntos Antárticos de Argentina, Instituciones con las cuales se gestó el proyecto para la implementación de la primer Turbina Eólica fabricada en Colombia y puesta en funcionamiento en la Antártida en el año 2018-2020.

## **Estudio de campo**

Uno de los principales interrogantes planteados frente a la visión de Colombia en su agenda Antártica de tener una base en la Antártida, fue el de ¿Cómo generar suministro de electricidad en un área remota y que sea amigable con el medio ambiente?, siendo este interrogante de gran importancia ya que una de las metas del Gobierno de Colombia es contar para el año 2025 con una estación científica temporal y hacia el año 2035 contar con una estación permanente donde podrá realizar investigación científica a lo largo del año; que será una base fundamental para los proyectos de investigación científica e innovación tecnológica que se pretendan desarrollar en la Antártica. Teniendo claro esta pregunta en el año 2015, se adelanta la primera expedición a la Antártida con varios objetivos específicos como el de conocer las condiciones logísticas, observar en qué se emplea la electricidad y realizar medición de las corrientes de viento en sitio con el fin todo esto de generar una serie de estrategias de diseño de la Turbina eólica, así como de la logística que requiere llevarla desde Colombia hasta la Antártida.

Se realizó trabajo de campo, donde se verificaron los elementos de consumo eléctrico y dotación eléctrica, encontrando que la base de Marambio emplea tres plantas eléctricas industriales marca CATERPILAR, cada una con capacidad de generación de 410 kW, las cuales se emplean de manera alterna y sincronizada alimentadas por combustible, GAS OÍL o combustible antártico, consumiendo 50 litros de combustible por hora de operación, llegando al costo por barril de 55 galones; incluyendo gastos logísticos oscila sobre los USD\$ 3.000, lo que representa, que la operación con combustibles fósiles sea muy costosa.

Se analizaron las pérdidas de energía que tiene la Base Marambio así: se emplea esta para descongelar los ductos de aguas residuales, las cuales están aisladas con cajas de empaques de tetra pack y recubiertas con resistencias eléctricas. Así mismo se observó que se emplea energía para calentar el tanque que contiene las aguas residuales para mantener vivas las bacterias que la descomponen. En este proceso se puede optimizar el consumo de energía, a través de un aislamiento en poliuretano alrededor del tanque, el cual genera una capa aislante ante el frío.

Una de las primeras actividades más importantes para el diseño de la Turbina Eólica realizada, fue la instalación de una estación meteorológica portátil con el fin de analizar la intensidad de los vientos y registrar las bajas temperaturas para lograr como inicio un estudio básico de cómo se comportaban estos parámetros.



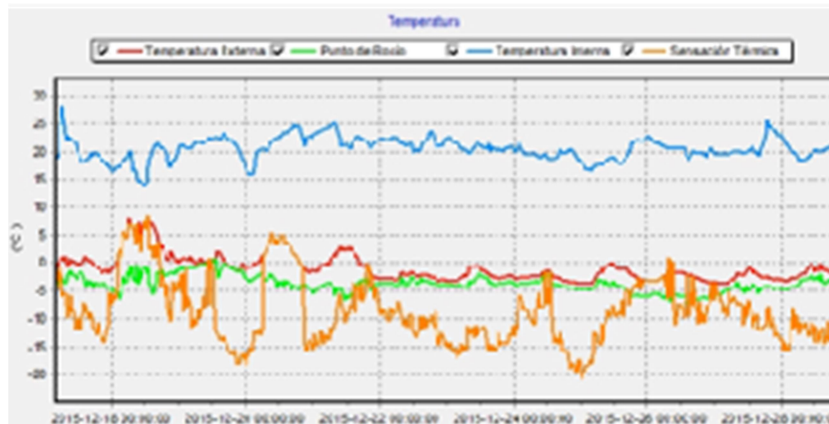
31  
RAPAL

REUNIÓN DE ADMINISTRADORES  
DE PROGRAMAS ANTÁRTICOS LATINOAMERICANOS  
ARGENTINA - OCTUBRE 2020



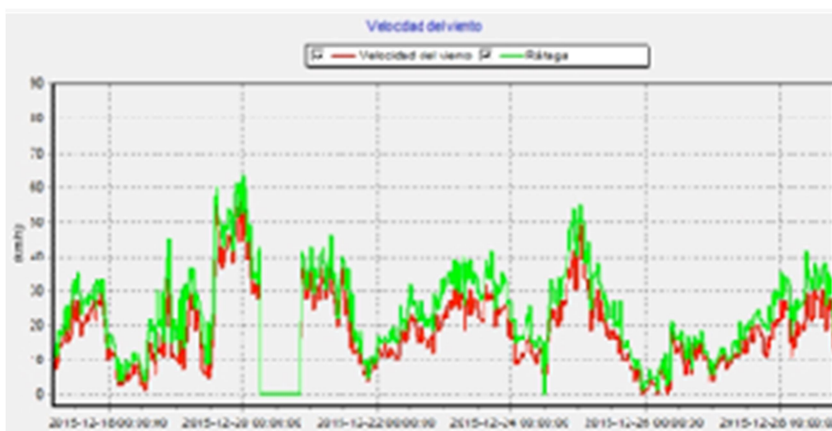
**Fotografía 1.** Estación Meteorológica Colombiana instalada en base MARAMBIO Fuerza Aérea Argentina año 2015. Autor CT.JIMENEZ FAC.

Durante el periodo de análisis de los parámetros meteorológicos se obtuvo como resultado temperaturas máximas de  $-21^{\circ}\text{C}$  tomado este parámetro en un periodo de quince días



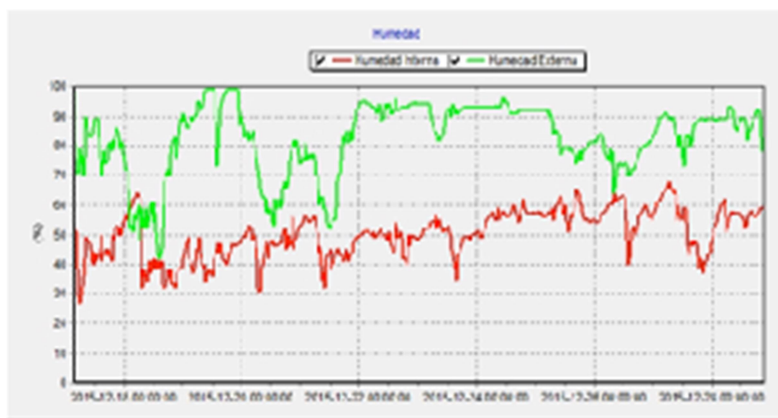
**Fotografía 2.** Estación Meteorológica Colombiana instalada en Base MARAMBIO Fuerza Aérea Argentina Gráfica de Temperatura máxima.  $-21^{\circ}\text{C}$  y mínima  $8^{\circ}\text{C}$  sensación térmica línea color naranja. Año 2015. Autor CT.JIMENEZ FAC.

Se analizó la gráfica de velocidad del viento obteniendo como resultado una velocidad máxima de  $65\text{Km/h}$ .



**Fotografía 3.** Gráfica de velocidad del viento máximo 65Km/h y mínimo 1Km/h. año 2015. Autor CT.JIMENEZ FAC.

De acuerdo con las mediciones de humedad se obtiene un porcentaje del 90% debido a que casi siempre está nevando, este parámetro se tomó durante 15 días de la expedición.



**Fotografía 4.** Gráfica de humedad externa max. 90% y mínima del 45% líneas color verde y rojas humedad interna. Año 2015. Autor CT.JIMENEZ FAC.

El agua que se emplea para el consumo de la base se extrae de una laguna mediante una bomba de agua que va conectada a un tanque y este es arrastrado por un tractor, el agua del lago es retenida por una barrera de tierra y se emplean unos tubos sellados con combustible en su parte interior, que cuando el combustible se enfría en la parte superior este recorre hacia la parte inferior y mantiene congeladas las paredes del lago.

Durante el invierno se emplea gas para derretir nieve con el fin de utilizar esta para el consumo incrementando ya sea el consumo de gas o electricidad.

Se pudo observar que para la construcción de cualquier estructura en la Antártida esta se hace por



**31  
RAPAL**

REUNIÓN DE ADMINISTRADORES  
DE PROGRAMAS ANTÁRTICOS LATINOAMERICANOS  
ARGENTINA - OCTUBRE 2020

encima de 1,20 metros ya que cuando hay ventiscas la nieve pasa a través de la estructura, es decir, por encima y por debajo sin formar lo que se denomina sombra de nieve; además, es muy importante resaltar que no se emplea concreto para fundir bases, sino agua y tierra ya que la característica de composición del suelo es permafrost. Es decir, una mezcla de tierra con hielo la cual es blanda en el verano y en el invierno es tan dura que toca taladrar para abrir un agujero.

### **Fase de implementación de la turbina Eólica en la Antártica**

La actividad principal del proyecto en la tercera expedición consistió en implementar el prototipo de turbina Eólica FAC-EOLX-001 desarrollándose en el año 2018 donde también se efectuaron los siguientes objetivos específicos: • Realizar anclajes en el permafrost. • Realizar mediciones de temperatura. • Realizar mediciones de voltaje de la Turbina. • Realizar mediciones de velocidad del viento. • Realizar mediciones de temperatura exterior. Todos estos, con el fin de evaluar el rendimiento de la Turbina Eólica en sitio.

La etapa de planificación del envío fue crucial para el cumplimiento del objetivo macro del proyecto, siendo un desafío por ser algo desconocido y nuevo para la FAC. Alrededor de un mes tardó la llegada a la base Antártica de Marambio, reto logístico para el investigador que gracias a su amplio conocimiento en Logística y siendo especialista y a su vez apoyado por la FAC (Jefatura de Operaciones Logísticas-DICEX) y Fuerza Aérea Argentina (Dirección Logística Antártica), se logró el destino final de la carga de 220 Kg que contenía la primer Turbina Eólica de Colombia con destino al continente blanco.

Para la instalación de la turbina fue necesario buscar un anclaje tipo viga enterrada para brindar un anclaje seguro a la Turbina Eólica, así como también se buscó alrededor de ésta cuatro puntos de anclajes para los vientos ya que el trabajo que conlleva realizar las bases puede llegar a durar hasta un mes, teniendo en cuenta que la composición del suelo es de tipo permafrost, una mezcla de tierra con hielo que se compactan a través de los años y es más duro que el concreto; afortunadamente se encontraron puntos de sujeción para los anclajes, pero, no obstante, tocó realizar las adaptaciones de la base principal y extender la longitud de los cables tensores, trabajo que llevó alrededor de dos semanas ya que tocó hacer una reingeniería lo más ágil posible y tomar medidas para acoplar todo perfectamente.

Posteriormente, se tomaron imágenes térmicas con el fin de verificar la temperatura del cabezote de la misma, ya que allí es donde se encuentran los equipos con el que funciona como el generador eléctrico.





**31**  
**RAPAL**

REUNIÓN DE ADMINISTRADORES  
DE PROGRAMAS ANTÁRTICOS LATINOAMERICANOS  
ARGENTINA - OCTUBRE 2020

**Imagen 1.** Imagen Térmica FLIR -50°C cabezote Turbina Eólica. Año 2018 Autor CT.JIMENEZ FAC.

De la misma manera durante la campaña Antártica 2018, se estuvieron realizando labores a campo abierto para la instalación de la Turbina Eólica:

- Chequeo visual en terreno del anclaje principal y cuatro de apoyo en suelo permafrost.
- Toma de medidas de distancia de separación anclajes de apoyo.
- Sujeción del anclaje principal a la viga enterrada en el permafrost.
- Sujeción cables en puntos de apoyo enterrados en permafrost.
- Hizaje del generador con el grupo de trabajo.
- Armado del sistema de palas.
- Instalación del timón de cola.
- Instalación de cableado.
- Pruebas de dirección de cola.
- Pruebas de generación eléctrica.

### **Resultados preliminares de la implementación de la turbina.**

Como resultados preliminares se logró:

- Instalar la primer Turbina Eólica de Colombia y fabricada en Colombia en la Antártida.
- Instalación de la primera estación de meteorología de Colombia.
- La turbina Eólica soportó vientos de 120 km/h y temperaturas de -50°C.
- Aportar la generación de energía limpia a un calefactor.
- Recoger datos de velocidad de viento y bajas temperaturas con la estación de meteorología portátil.
- Aprender a realizar anclajes en suelo permafrost.
- Aprender a realizar el despliegue Logístico de una Base.
- Aprender de comportamiento de la electricidad a bajas temperaturas.

A raíz del excelente desempeño del proyecto se espera un financiamiento más grande con miras a lograr implementar esta energía Eólica en un refugio temporal para diez personas en el cual todos los electrodomésticos estén diseñados para la red energética sustentable y de esta manera hacer la primera implementación de un refugio temporal para prueba. Además, se puede implementar de manera híbrida la energía solar y así hacer un refugio totalmente autosustentable.

### **Fase de evaluación e inspección de la Turbina Eólica Implementada en la Antártida**

En colaboración con la Fuerza Aérea Argentina y Dirección Nacional de Asuntos Antárticos de Argentina y con el patrocinio de la Fuerza Aérea Colombiana y la Comisión Colombiana del Océano se gestó el proyecto para la implementación de la primera Turbina Eólica fabricada en Colombia y puesta en funcionamiento en la Antártida Argentina en la Base Científica Marambio en el año 2019 con el propósito de evaluar el desempeño en un ambiente extremo del mundo y con el fin de poder vislumbrar hacia futuro una estación científica temporal de Colombia en este continente y contribuir a la ciencia mundial. Ahora bien, después de ya dos años de ser instalada se procede a realizar la verificación del prototipo donde se explican los pormenores de su desempeño en el continente blanco con el fin de retroalimentar con nuevo conocimiento para mejorar el próximo prototipo. Por consiguiente, se explican a continuación los trabajos realizados a esta Turbina Eólica.



Se efectuaron pruebas no destructivas a las hélices de la Turbina Eólica donde se desacoplaron las tres palas, tal como aparecen en la fotografía, denotándose a primera vista, mediante inspección visual directa (VT), corrosión granular severa en las platinas sujetadores de cada pala, así como en los tornillos.

Se efectuó inspección por la técnica de ultrasonido (UT) a (03) palas de la turbina eólica, prestando principal atención en el borde de ataque, borde de salida y la unión pala - turbina, durante la inspección no se evidenciaron indicaciones relevantes como grietas, deslaminaciones, pérdida de material por erosión, por lo cual es satisfactorio el desempeño de estas durante los dos años de funcionamiento.

Se efectuó inspección por la técnica de inspección visual directa (VT) y partículas magnéticas (MT), a los (03) soportes de las palas. Durante la inspección se evidenció corrosión por erosión en toda la superficie, pérdida de recubrimiento anticorrosivo por erosión; durante la inspección NO se evidenciaron (grietas) prestando principal atención en los agujeros que alojan los tornillos. Así mismo se realizó inspección por la técnica de partículas magnéticas (MT) a los (18) tornillos que une las palas a la Turbina. Durante la inspección se evidenció corrosión granular por erosión en la parte de la cabeza del tornillo y en la parte de la sujeción de la tuerca (áreas expuestas al ambiente), durante la inspección NO se evidenció indicaciones de (grietas o estrés por ciclaje)



**Fotografía 5.** Inspección empleando la técnica de inspección visual detallada en los pernos de Turbina Eólica año 2020. Autor CT. JIMENEZ FAC.

Se efectuó inspección no destructiva por la técnica de inspección visual directa (VT), utilizando lente de aumento de 10X, limpieza con SKC-S (cleaner) a toda la estructura de anclaje de la turbina eólica durante la inspección se evidencia corrosión granular en un 40% de toda la estructura, pérdida de recubrimiento anticorrosivo (pintura) en un 40% de la estructura, NO se encontraron indicaciones como (grietas, entalles o pérdida de material por corrosión).

Se efectuó inspección por la técnica de tintas penetrantes (PT) al tubo de anclaje de la Turbina Eólica, realizando limpieza de la zona a inspeccionar con (SKC-S) tiempo de penetrado 30 minutos, con penetrante (ZL-27A), tiempo de revelado 15 minutos con revelador (SKD-S2), durante la inspección efectuada se evidencio oxidación en toda el área de inspección, NO se encontraron indicaciones relevantes como (grietas, pérdida de material o entalladuras).

Debido a la gran cantidad de concentración de corrosión por exfoliación, por la pérdida de recubrimiento anticorrosivo, se realizó Blend Out (trabajo mecánico) con herramienta motorizada y disco abrasivo, con el fin de retirar la mayor cantidad de corrosión posible y dejar expuesta el material base, una vez



**31**  
**RAPAL**

REUNIÓN DE ADMINISTRADORES  
DE PROGRAMAS ANTÁRTICOS LATINOAMERICANOS  
ARGENTINA - OCTUBRE 2020

teniendo el elemento a inspeccionar listo se procedió a efectuar inspección preliminar por la técnica de inspección visual (VT) con lente de aumento de 10X, durante la inspección no se evidenciaron indicaciones relevantes tales como (grietas, entalles mecánicos, deformaciones).

Se efectuó inspección por la técnica de partículas magnéticas a los (04) agujeros que soportan los tensores (vientos) de la base de la Turbina Eólica, durante la inspección se evidenciaron deformación en los agujeros (ovalización), entalle mecánico debido a la tensión ejercida de los por los fuertes vientos antárticos, No se evidencio indicaciones relevantes tales como (grietas).

Debido a la falla generada en el rodamiento principal y como consecuencia de este, el eje principal de la Turbina Eólica se descentró, provocando un mal funcionamiento, trabajando sobre el soporte frontal, el cual sufrió daños como pérdida de material entalles mecánicos y ovalización.

Se efectúa inspección no destructiva por la técnica de inspección visual directa (VT). Durante la inspección se evidencian (03) indicaciones de grietas en el área de sujeción de la Turbina Eólico. Durante la inspección a la soldadura entre la base de la turbina eólico y la plataforma de anclaje no se evidenciaron indicaciones relevantes; los pernos de sujeción presentan corrosión galvánica por la disimilitud de materiales entre la plataforma de anclaje y los pernos, los cuales perdieron su recubrimiento galvánico en un 60%.

Durante la inspección por la técnica de inspección visual directa (VT) se evidencio 01 indicación tipo grieta de aproximadamente 30 milímetros de longitud con pérdida de material en el plato de sujeción principal el cual estaba soldado a una placa metálica de un calibre de 5mm en la Antártida Base Marambio.

Con base en las predicciones de meteorología de viento de la Base Marambio en la Antártida y las cuales estuvieron a prueba en in situ por la Turbina Eólica "FAC-X-001" implementada desde el mes de marzo del año 2018 hasta inicios del 2020 demostraron que el prototipo instalado soporto los inviernos de alrededor de 61 Km/h como lo ilustra la gráfica de vientos históricos de la Base.

En la fase de Inspección se verificaron todos los componentes que componen la Turbina Eólica con el fin de evaluar su desempeño de funcionamiento mecánico ya que esta sufrió daños estructurales en sus componentes internos lo cual limitó la investigación en lo referente a este punto, imposibilitando los objetivos específicos de la toma de RPM o temperatura en su desempeño.

La ejecución de la investigación se realizó mediante pruebas no destructivas destacando la inspección visual detallada por los hallazgos visibles principalmente, así como también se emplearon corrientes Eddy y ultrasonido, con el fin de buscar fallas en los componentes estructurales no visibles fácilmente.

#### **Los hallazgos evidenciados fueron:**

- Fallo de un rodamiento del eje principal por ausencia de lubricación y vibración excesiva por el peso del Hub de palas.
- Rompimiento de un soporte interno de todos los mecanismos debido a la alta vibración.
- Tren de engranajes deformado por la falla del rodamiento del eje de la Turbina.
- Desacople del engranaje del alternador por la alta vibración.
- Desgaste de todos los engranajes por erosión debido al polvo Antártico.
- Corrosión en el 90% de la Turbina eólica por el ambiente salino.





**31**  
**RAPAL**

REUNIÓN DE ADMINISTRADORES  
DE PROGRAMAS ANTÁRTICOS LATINOAMERICANOS  
ARGENTINA - OCTUBRE 2020

## Conclusiones

A raíz de los hallazgos encontrados se puede mejorar el diseño de la Turbina Eólica, pero, de igual manera, se debe resaltar que este prototipo cumplió de manera sobresaliente las características de desempeño mecánico en este ambiente de condiciones extremas.

Para aumentar su desempeño es necesario mejorar los materiales ferrosos y diseñar rodamientos de mayor capacidad de pes, así como realizar el sellamiento por ambas caras para mantener las características de lubricación y la implementación de un sistema de sobre velocidad para la protección de la Turbina en caso de viento excesivo

Con base en estas conclusiones, para futuras fases de ejecución, se esperará diseñar un modelo de Turbina Eólica mejorado, el cual va a tener un mayor desempeño para la futura implementación de Base de Colombia en la Antártida con el cual generará la electricidad suficiente para las labores de investigación de los futuros investigadores, así como de dar cumplimiento al protocolo de Madrid siendo una Base Científica amigable con el medio ambiente. Eventualmente se espera tener la oportunidad de probar un refugio temporal para cuatro investigadores con el fin de probar la segunda versión mejorada de la Turbina Eólica y tener una idea más concreta de cómo va a ser la futura Base.

## Bibliografía.

- Agencias. (25 de febrero de 2009). El deshielo de los polos afecta a la vida humana, animal y vegetal. Recuperado el 19 de noviembre de 2017, de EcoDiario.es: <http://ecodiario.economista.es/medio-ambiente/noticias/1059765/02/09/La-nieve-y-el-hielo-disminuyen-en-ambos-polos-por-el-cambio-climatico.html>
- Ambientes y Soluciones. (2017). KIT de energía solar 320 watts hora x día prediseñado. Recuperado el 18 de febrero de 2018, de [https://www.ambientesoluciones.com/sitio/productos\\_mo.php?it=1413](https://www.ambientesoluciones.com/sitio/productos_mo.php?it=1413)
- Ammonit. (s.f.). ¿Qué es la energía eólica? Recuperado el 20 de febrero de 2018, de <http://www.ammonit.com/es/informacion-eolica/energia-eolica>
- Armada Nacional de Colombia. (s.f.). Programa Antártico Colombiano. Recuperado el 20 de noviembre de 2017, de [www.armada.mil.co](http://www.armada.mil.co)
- Comisión Colombiana del Océano. (2016). Programa Antártico Colombiano. Recuperado el 18 de noviembre de 2017, de [www.cco.gov.co](http://www.cco.gov.co)
- Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación. (enero de 2016). Programa Antártico Colombiano. Recuperado el 18 de noviembre de 2017, de [Colciencias: www.colciencias.gov.co](http://www.colciencias.gov.co)
- Departamento de Energías Renovables FAA. (2016). Generador Eólico FAA. Recuperado el 19 de noviembre de 2017, de <http://energiasrenovablesantartida.faa.mil.ar/index.php/Home/agradecimientos>
- Ecología Constructores. (s.f.). «¿Qué es un sistema solar fotovoltaica? Recuperado el 20 de febrero de 2018, de <http://ecologicaconstructores.com/index.php/eco-blog/101-que-es-un-sistema-solar-fotovoltaico>
- Erenovable. (21 de julio de 2015). Cómo funciona un aerogenerador o turbina eólica