

Caracterización de la dirección y fuerza del viento en el Aeropuerto Internacional “Abel Santamaría” en el periodo 2011-2015



Characterization of the direction and force of the wind in the International Airport "Abel Santamaria" in the period 2011-2015

<http://opn.to/a/YhTDK>

Amanda Maria De Armas-Echevarria ^{1*}, Laura Cremata-Zaldivar ², Laura Pérez-Hernández ³

¹Oficina Principal y de Vigilancia Meteorológica, Empresa Cubana de Navegación Aérea, La Habana, Cuba

²Universidad de La Habana, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Departamento de Meteorología, La Habana, Cuba

³Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería, Concepción, Región del Bío Bío, Chile

RESUMEN: Las aeronaves en la actualidad cuentan con un excelente performance, sin embargo, la meteorología continúa teniendo un notable impacto en la seguridad y eficiencia de los vuelos. Entre las variables más significativas durante las fases de despegue y aterrizaje de una aeronave, se encuentran la dirección y la fuerza del viento. En el Aeropuerto Internacional “Abel Santamaría” de Santa Clara, existe una base de datos climáticos incompleta. Por lo tanto, se requirió hacer un estudio climatológico de estas variables del aeródromo. Para el completamiento de la base de datos se utilizaron dos métodos numéricos: el vecino más cercano y el Radial Basic Function (RBF), obteniéndose mejores resultados con este último. Con la base de datos completa se utilizaron los estadígrafos descriptivos y las rosas del viento para caracterizar esta variable. Se identificó que el viento predominante es del Este en el aeropuerto, alcanzando la velocidad máxima media en el rumbo Estenordeste. El mes de mayo posee la mayor cantidad de valores de fuerza del viento que exceden los 19 km/h del resto del año. De los meses julio a octubre los vientos se caracterizan por ser variables y débiles. Durante el ciclo diurno, existe un máximo de velocidad del viento a las 1600 y un mínimo a las 0700 (horas locales).

Palabras clave: dirección y fuerza del viento, completamiento de base de datos, rosa de los vientos, Aeropuerto Internacional “Abel Santamaría”.

ABSTRACT: Actually, the aircrafts have an excellent performance; however, meteorology continues having an important impact on flight safety and efficiency. During the phases for the takeoff and landing of an aircraft, the wind direction and the wind speed are the most significant meteorological variables among others. There is an incomplete climate database at the Abel Santamaria International Airport in Santa Clara. Therefore, it was necessary to develop a climatological study for those variables at the airport. Two numerical methods were used to complete the database: the nearest neighbor and the Radial Basic Function (RBF), and better results were obtained with the second method. The descriptive statisticians and wind roses were used to characterize this variable using the complete database. It was identified that the predominant wind at the airport is from the East, reaching the maximum speed average from the East Northeast course. The month of May has the highest wind force values exceeding 19 km/h. From July to October, the winds are characterized by variable and weak winds. During the daytime cycle there is a maximum wind speed at 1600 and a minimum at 0700 (local time).

Keywords: wind direction and wind speed, completing database, wind rose, International Airport "Abel Santamaria".

*Autor para correspondencia: Amanda Maria De Armas-Echevarria. E-mail: amydae2012@gmail.com

Recibido: 11/09/2018

Aceptado: 16/01/2019

INTRODUCCIÓN

En el último siglo, la meteorología se ha convertido en una ciencia de gran interés a nivel mundial debido a su alta importancia para el desarrollo y funcionamiento de disímiles actividades. Con el incremento del transporte aéreo y sus avances tecnológicos, la información actualizada del estado del tiempo se ha vuelto un servicio clave para garantizar la seguridad aeronáutica y el buen desarrollo de todas las operaciones. Por esta razón, las observaciones meteorológicas y los estudios climáticos de las variables meteorológicas para un aeropuerto resultan indispensables para la elaboración de los pronósticos de aeródromos.

De entre las principales variables meteorológicas de interés para la aviación, el viento destaca como uno de los factores de mayor relevancia para el correcto desempeño de las aeronaves y con un alto grado de complejidad para su pronóstico debido a sus particularidades muy locales.

Los estudios climatológicos sobre los regímenes y potencial del viento, son temas ampliamente tratados, pero solo unos pocos se han publicado vinculados al sector de la aviación. Para este estudio, fueron consultados los resultados obtenidos por [Viedma en el año 2001](#) sobre el análisis del régimen de viento en el Aeropuerto de Barcelona y algunas investigaciones sobre la climatología de aeropuertos de Costa Rica ([Stolz et al., 2012](#); [MINAE, 2016](#)) donde se analizan todas las variables meteorológicas, pero para esta investigación resultaron de especial significación los análisis de viento.

El clima en los trópicos posee gradientes de temperatura y presión muy débiles, sin embargo, el viento es muy variable tanto en escala temporal como espacial. En Cuba, como parte de la zona tropical, el viento no suele tener velocidades muy elevadas (7km/h) y se considera en continua variación ([Lecha et al., 1994](#)), por ello para la aviación las variables meteorológicas que más influyen en el desempeño de las aeronaves son la dirección y fuerza del viento, fundamentalmente en las operaciones de despegue y aterrizaje.

En Cuba los estudios sobre el tema tienen tres enfoques principales: estudios de procesos sinópticos ([Fernandez et al., 2005](#)), para el aprovechamiento energético ([Planos et al., 2012](#)) y fenómenos extremos en la aviación ([Torres, 2011](#); [Espinosa, 2012](#)). De estos tres trabajos, el de mayor relevancia para esta investigación constituye el análisis de procesos sinópticos, que permiten comprender y explicar, lo más acertadamente posible, las características meteorológicas y el porqué de sus comportamientos en cada período del año.

En el archipiélago cubano uno de los aeropuertos que en la actualidad está tomando mayor importancia es el Aeropuerto Internacional “Abel Santamaría” de Santa Clara. Por su relativa cercanía a La Habana, funciona como aeródromo alterno y muchos de los vuelos son desviados hacia allá, además de que la capital provincial (Santa Clara), es un atractivo turístico por su gran valor histórico.

En el año 2014, en colaboración con el grupo de redes de Empresa Cubana de Aeropuertos y Servicios Aeroportuarios (ECASA) y del Instituto de Meteorología (INSMET), comienzan a desarrollarse programas informáticos para la verificación de los pronósticos meteorológicos que se confeccionan en la Oficina Principal y de Vigilancia Meteorológica (OPVM) para cada aeródromo. Desde su implementación, la verificación de los valores de dirección del viento en el Aeropuerto de Santa Clara, solo se cumplió en el 52% de los casos, mientras que la fuerza del viento en un 77%. El [Instituto de Aeronáutica Civil de Cuba \(IACC\) estableció en el año 2009](#), que el pronóstico del viento debe de tener una precisión mínima (± 9 km/h para la fuerza y 30° para la dirección) en un 80% de los casos, lo cual no se cumple para ninguna de las dos variables.

Con el conocimiento del comportamiento climatológico del viento, se contaría con una herramienta que aumentaría la precisión de los pronósticos en el Aeropuerto Internacional de Santa Clara, debido a que el meteorólogo pronosticador tendría el comportamiento medio del viento en todos los meses del año y bajo diferentes condiciones sinópticas. Por todo lo anteriormente planteado, el objetivo central de esta investigación es caracterizar el comportamiento del viento en el período

2011-2015, en el Aeropuerto internacional “Abel Santamaría” de Villa Clara.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El aeropuerto se encuentra ubicado en la latitud 22° 29' 31" norte y longitud 79° 56' 36" oeste (Figura 1), con una elevación de 103 metros sobre el nivel del mar (msnm) y una pista de aterrizaje identificada como 08/26 y que posee unas dimensiones de 3017 metros de largo por 45 metros de ancho.

Como se observa en la Figura 1, la provincia de Villa Clara cuenta con cinco estaciones meteorológicas: El Yabú, La Piedra, Caibarién, Sagua la Grande y Santo Domingo, las cuales se encuentran a diferentes distancias del aeropuerto (Tabla 1).

Tabla 1. Distancias en kilómetros entre estaciones y el aeropuerto

Estaciones	Distancia (km)
Santo Domingo	38
Sagua la Grande	31
El Yabú	6
La Piedra	43
Caibarién	49

Fuente: Elaborado por la autora

Todos los datos físicos y geográficos que se presentan de las estaciones fueron obtenidos en el Centro del Clima del INSMET mientras que los mapas sinópticos y los Estado General del Tiempo (EGT) fueron proporcionados por el Centro Nacional de Pronósticos del mismo instituto.

Métodos de análisis estadístico

En el Anexo 3 de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), se plantea que se deben utilizar series de datos meteorológicos de al menos 5 años (OACI, 2007) para la realización de los estudios climáticos para la aviación. En el caso del Aeropuerto Internacional Abel Santamaría, su serie de datos climatológicos posee una extensión de 5 años (período 2011-2015), aunque existen grandes vacíos que dificultan la realización de estudios climáticos, principalmente respecto al campo de vientos; por ello es de gran interés para la OPVM completar dicha serie.

La siguiente tabla muestra la proporción de los datos faltantes de cada año en el aeropuerto, donde se observa que existe un considerable número de datos ausentes tanto de dirección como fuerza del viento, lo que hizo necesario hacer un completamiento de dichos valores a

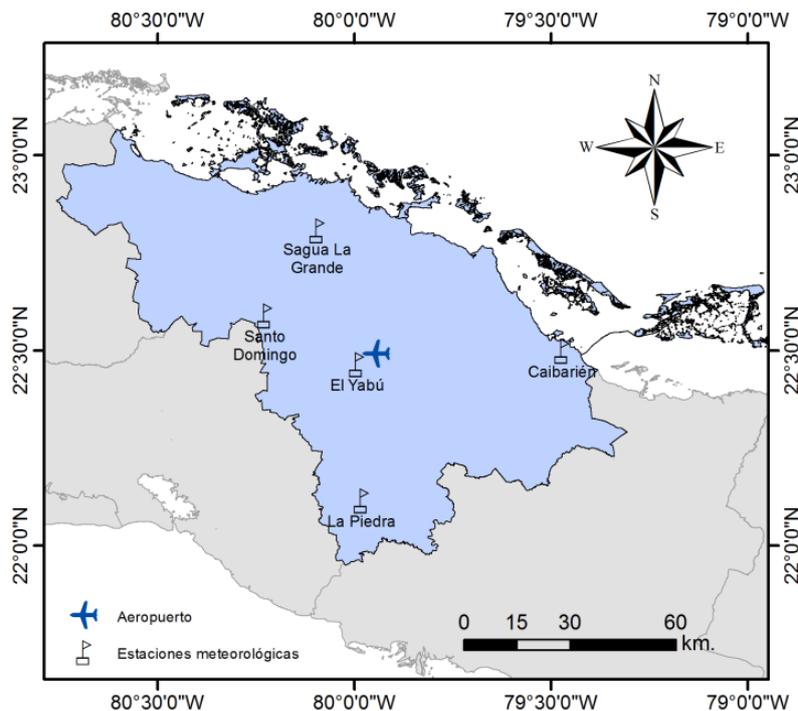


Figura 1. Mapa de Villa Clara con las estaciones meteorológicas y el Aeropuerto Internacional “Abel Santamaría”

Tabla 2. Información sobre los datos faltantes de dirección y fuerza del viento en el aeropuerto

Año	Datos faltantes	
	Cantidad	% del total
2011	1419	49%
2012	1850	63%
2013	2181	75%
2014	1908	65%
2015	34	1%

Fuente: Elaborado por la autora

partir de las estaciones del INSMET cercanas utilizando métodos numéricos de interpolación espacial.

Para mostrar más explícitamente los resultados se utilizan estadígrafos descriptivos (moda, media, mediana) y gráficos de cajas y bigotes (Boxplot).

Procesamiento de los datos

Partiendo de las series de datos trihorarios de dirección y fuerza del viento de las estaciones meteorológicas seleccionadas de la provincia Villa Clara, se realizó un procedimiento de ordenamiento y validación de datos, analizando los faltantes de cada estación y los valores extremos y/o anómalos. Así también la selección de los datos trihorarios de la serie del aeropuerto y su correspondiente análisis, mostrando una ausencia de datos de más de un 50%.

Mediante el lenguaje de programación Python se implementó el método Funciones de Base Radial (RBF), donde se obtuvieron los datos faltantes de las series del aeropuerto, y se realizaron comparaciones con la escasa serie de valores reales que se pose en el aeródromo. Igual procedimiento se efectuó con el método del vecino más cercano y se compararon los resultados de ambos métodos con el objetivo de elegir el más exacto.

Vecino más cercano (VMC)

El algoritmo del vecino más próximo fue, en las ciencias de la computación, uno de los primeros algoritmos utilizados para determinar una solución para el problema del viajante (responde a la siguiente pregunta: Dada una lista de ciudades y las distancias entre cada par de ellas, ¿cuál es la ruta más corta posible que visita cada ciudad exactamente una vez y regresa a la ciudad origen?). Este método genera rápidamente

un camino corto, pero generalmente no el ideal ([Blanco, 2013](#)).

Funciones de base radial (RBF)

Las funciones de base radial son de la forma:

$$F(p) = \sum_i C_i R(|p - p_i|) \quad (1)$$

Donde se tiene de base R y cuyos valores dependen únicamente de las distancias de los puntos del dominio y los de referencia p_i ; las constantes C_i son los pesos de las funciones base. ([Velásquez et al, 2009](#))

Según [Colmenares \(2014\)](#), las RBF se usan para generar superficies suaves a partir de un gran número de puntos de datos. Las funciones producen buenos resultados para superficies con una variación suave como la elevación. Sin embargo, las técnicas no son adecuadas cuando se producen cambios grandes de los valores de la superficie en distancias cortas o cuando se sospecha que los datos de la muestra son proclives a los errores de medición o a las incertidumbres.

En el caso de esta investigación se tiene en cuenta que el aeropuerto se encuentra rodeado de un relieve con características muy singulares, que varía desde elevaciones de más de 100m hasta terreno cenagosos, lo cual afecta significativamente el régimen de vientos locales, por lo que a pesar de que a solo 6 km del aeropuerto se encuentre la estación El Yabú, esta posee un régimen de viento totalmente diferente. Para poder tomarla decisión de eliminar la serie de datos de esta estación durante la interpolación, se realizaron pruebas con los resultados obtenidos después de aplicar ambos métodos, los cuales que distaban mucho de los reales. Por lo tanto, con el fin de disminuir los errores de la

interpolación, se elimina su serie de datos climatológicos.

Confección de la rosa de los vientos

El viento que prevalece en un rango de tiempo puede ser representado por medio de una rosa de los vientos, la cual indica el porcentaje de tiempo en el que el viento sopla de diferentes direcciones. La gráfica consiste en utilizar barras o extensiones que van desde el centro de un círculo hacia un punto determinado que ilustra la dirección del viento, la longitud de cada extensión indicará el porcentaje de tiempo en el que el viento se dirigió hacia esa dirección (Ahrens, 1998).

Estas mediciones de dirección del viento pueden presentarse ya sea en forma gráfica o tabular presentando los datos en ocho direcciones primarias y ocho secundarias.

La dirección del viento se puede ilustrar en grados como en una circunferencia con sus 360°. Estas direcciones están representadas por números los cuales varían de acuerdo a las manecillas del reloj iniciando con 360° en el norte, teniendo el este con 90°, el sur con 180° y el oeste con 270°. También existen otras direcciones como Noreste a la que pertenecen los 45° y así obtener los grados correspondientes a las demás direcciones del viento. La calma se expresa como 0° de dirección del viento y 0km/h en la dirección-.

En el caso de los valores reales de dirección y fuerza del viento se realizó una comparación con los obtenidos, debido a que el método RBF arroja solamente valores numéricos en sus resultados, y se tenían 1326 casos donde los valores de

dirección del viento real resultaban ser variables débiles. Para comprobar cuan correcta estaba la interpolación se analizó el valor de velocidad del viento que se obtuvo mediante el RBF en comparación con el que se posee de la serie real del aeródromo donde existían registros de vientos variables débiles (VRB).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar, se realiza una comparación de los resultados obtenidos en el completamiento de datos utilizando los dos métodos de interpolación (VMC y RBF) con respecto a los valores reales de fuerza del viento del aeropuerto, tal como se muestra en la [Figura 2a](#)). El método VMC muestra una mayor frecuencia de valores de fuerza del viento inferiores respecto a los registros originales (desde valores 30km/h menor que el valor real que se posee hasta 20 km/h por encima del mismo); mientras que con el RBF el resultado es más próximo a la serie real (variaciones menores de 10km/h por debajo del valor real y hasta 30 km/h mayores que el mismo). En el caso del RBF, el 91% de las diferencias se concentran entre variaciones menores a 5km/h y hasta 10km/h por encima del valor real; de manera general el método obtiene valores de viento superiores a los reales, pero con mejor precisión que el VMC.

Algo similar ocurre [Figura 2b](#) donde se realiza la misma comparación pero respecto a los valores dirección del viento. Los valores obtenidos con el método RBF coinciden con los reales en un 12,6%, superando a los conseguidos a través del vecino más cercano (7,97%), mientras que las

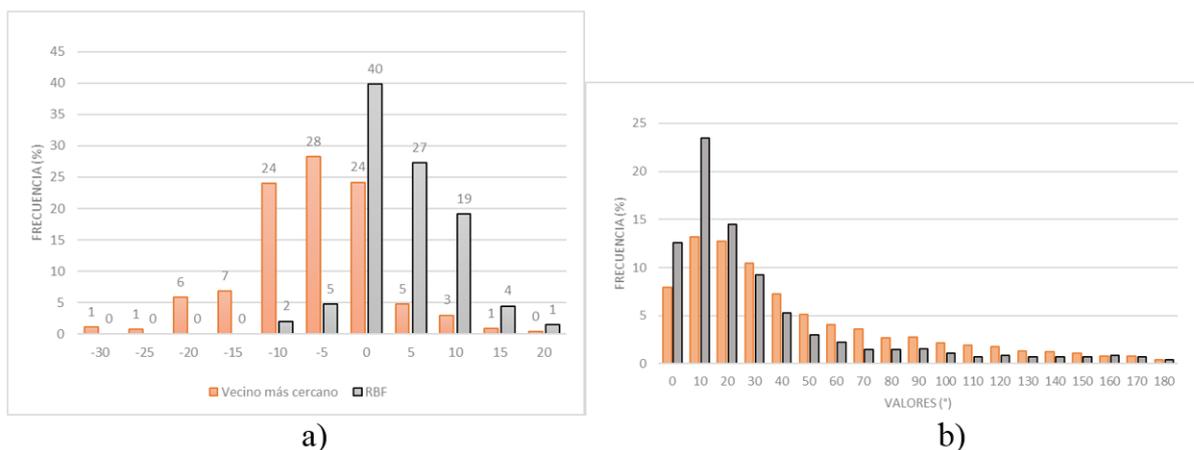


Figura 2. Comparación de las diferencias de los métodos y los valores reales en el período 2011-2015 a) fuerza del viento b) dirección del viento

diferencias de 10° a 30° entre los valores reales y los obtenidos mediante el RBF constituyen el 78,1% del total

En el caso de los VRB se obtiene que 1322 casos o sea el 99,7%, se encuentran en el rango de velocidad del viento de 0 a 9 km/h, lo cual demuestra la fidelidad de los valores obtenidos mediante la interpolación del método RBF.

Teniendo la serie de datos completa mediante el método RBF, se analiza nuevamente la fidelidad del método, obteniendo los coeficientes de correlación, que para la fuerza del viento es de 0.8 y para la dirección de 0.7. Partiendo de estos resultados, se puede afirmar que los datos calculados se aproximan a los datos reales con un nivel de confianza del 95%.

Caracterización del viento

En la rosa de los vientos (Figura 3) para el Aeropuerto Internacional “Abel Santamaría” durante el período 2011-2015 se observa que el viento predominante es de dirección Este, distribuido entre el I y II cuadrante, y una velocidad media de 7 km/h. La velocidad media máxima alcanzada es de 13 km/h con un rumbo ENE. En estudios anteriores en la provincia de Villa Clara los resultados obtenidos de la dirección del viento predominante hacia el Este son coincidentes (Lecha, 1977).

Al realizar el análisis por año se obtuvieron resultados muy similares con algunas variaciones principalmente en la intensidad (Figura 4). En el año 2011 la dirección de viento se mantuvo con rumbo Este principalmente, con

aproximadamente un 10% de vientos variables débiles y una velocidad máxima media de 15 km/h en dirección Este Nordeste, como indica la Figura 4a. Durante el año 2013 aumentó la frecuencia del viento predominante del Este, siendo de aproximadamente un 35% (Figura 4c), la frecuencia más significativa en todo el período de estudio. Pero el año 2015 (Figura 4d) ocurre una mayor distribución de las direcciones del viento, donde varía desde el Nordeste hasta el Este Sudeste. Existe casi un 20% de vientos variables débiles, siendo el año 2015 el que mayor cantidad registra.

Después de realizado el análisis por años resulta necesario analizar la marcha anual de la dirección y la fuerza del viento (Figura 5) para conocer el comportamiento medio de estas magnitudes. En la mayoría de los meses el rumbo predominante es el Este, variando desde el Nordeste hasta el Sudeste, destacándose el trimestre noviembre - diciembre - enero, donde los rumbos predominantes varían solamente desde el Nordeste hasta el Este.

El mes de septiembre posee la mayor cantidad de los rumbos del viento con componente Sur y un gran número de registros con vientos variables débiles, siendo los mayores de todos los meses del año.

En el caso de la fuerza del viento (Figura 6) se destaca el mes de enero, el cual es muy similar al bimestre noviembre y diciembre, el 60% de los valores oscilando entre 4 y 13km/h como ocurre también en el análisis de dirección del viento.

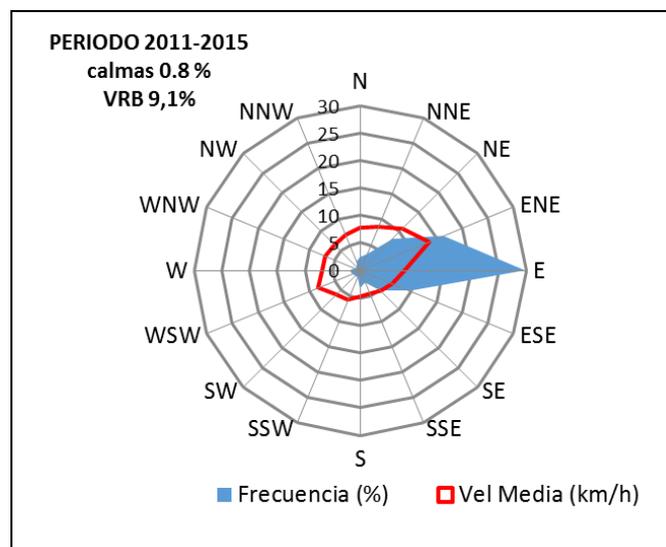


Figura 3. Rosa de los vientos del Aeropuerto Internacional “Abel Santamaría”, 2011-2015

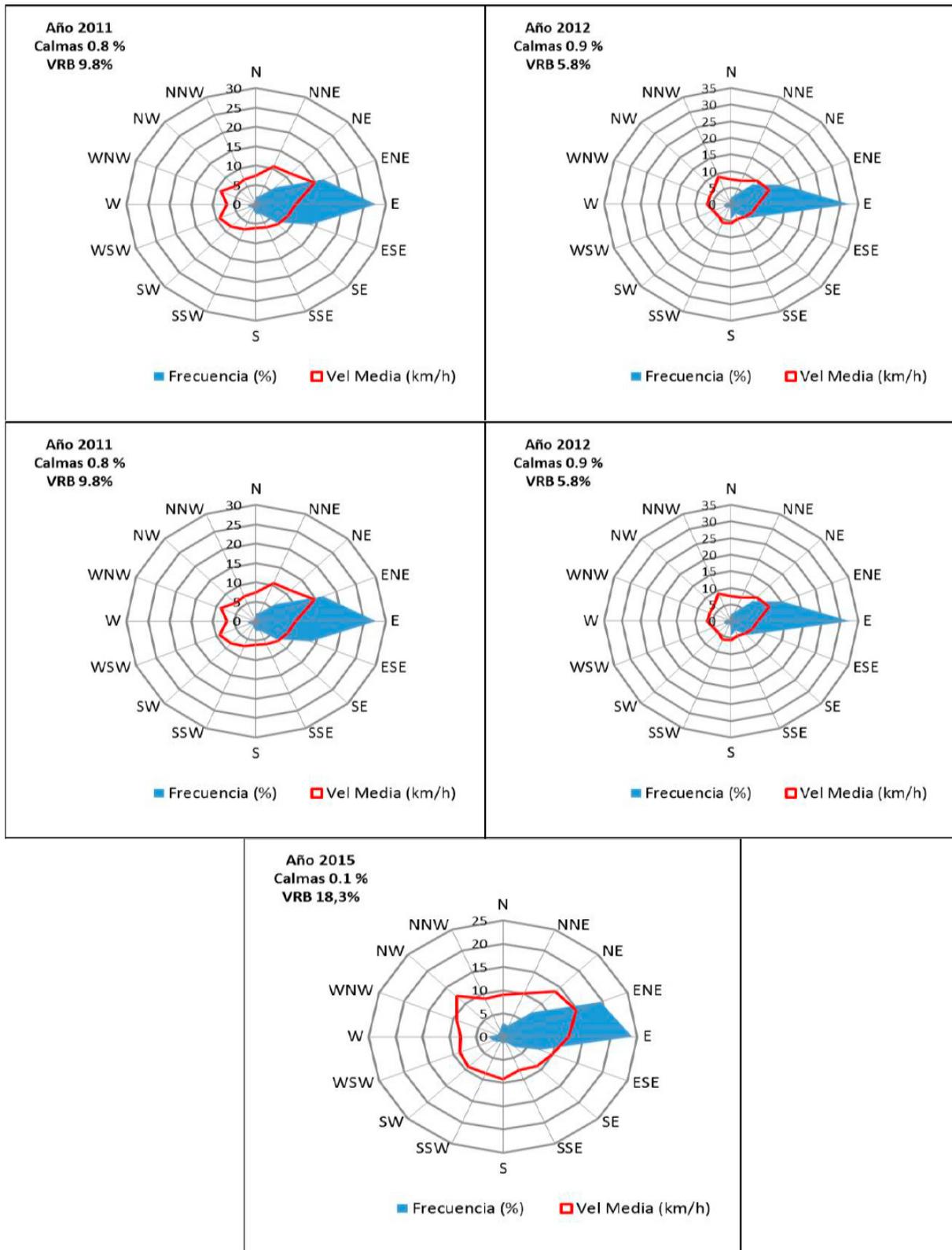


Figura 4. Rosas de los vientos por años a)2011 b)2012 c)2013 d)2014 y e)2015

En el mes de mayo se encontraron los mayores valores de velocidad, sobrepasando los 19km/h lo que representa el 11,7%. Por otro lado, el mes de septiembre se muestra con menores valores de

velocidad, no sobrepasando los 9 km/h, excepto un 2% que sobrepasan los 19km/h.

Los datos extremos de la serie incluyen valores de la fuerza del viento entre 28 y 37 km/h, lo que representa el 2.2% de la misma. De ellos el 58%

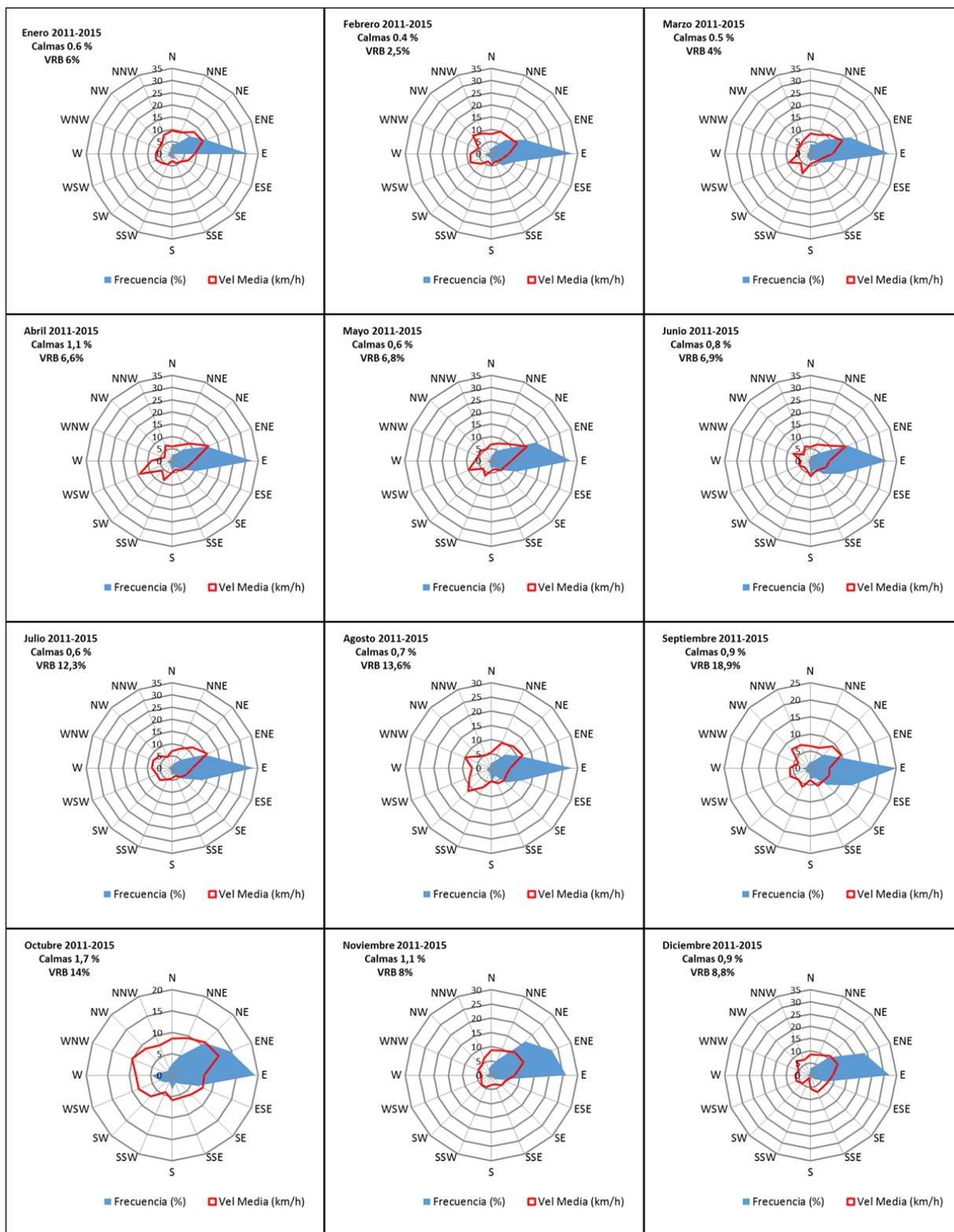


Figura 5. Marcha anual de la dirección del viento.

de los casos corresponde a días donde existía una fuerte influencia anticiclónica, teniendo registro de valores de velocidad del viento en el aeropuerto de 32km/h.

Los frentes fríos representan el 16% de los valores extremos de la serie, existiendo casos

donde se alcanzaron valores de 35km/h, debido a que existen frentes fríos que se desplazan desde el occidente de Cuba hasta la región central, para luego disiparse en su extremo sur sobre la región oriental, manteniendo una fuerte componente

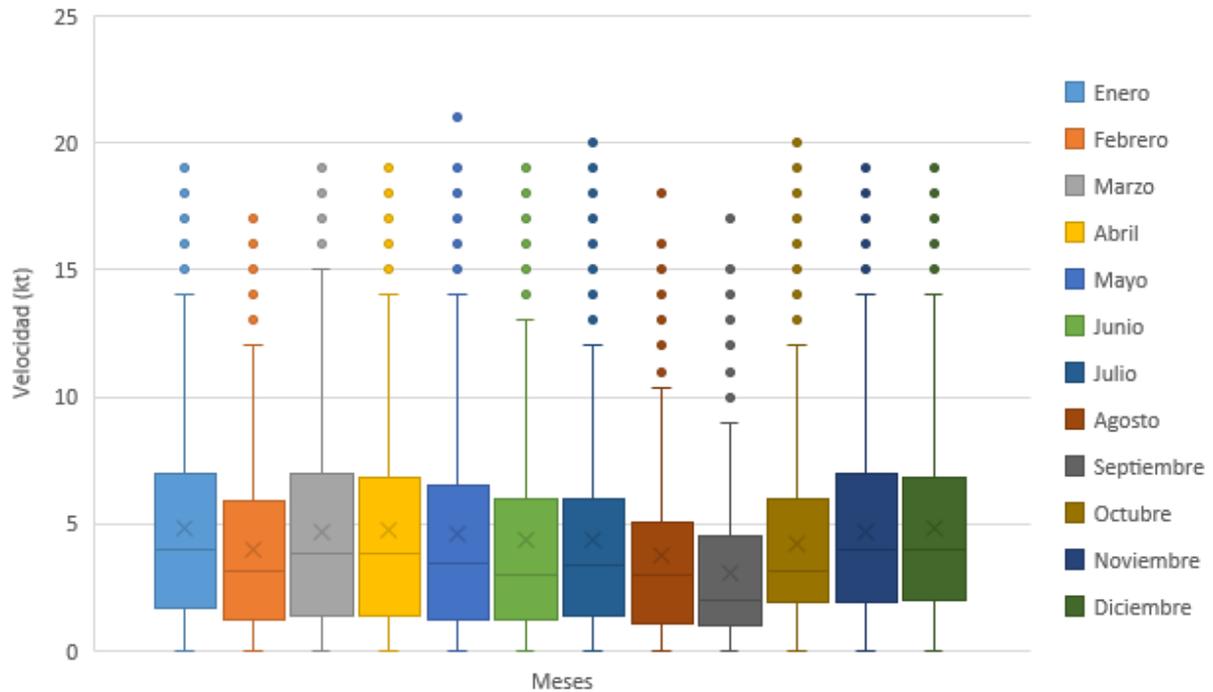


Figura 6. Marcha anual de la fuerza del viento

Norte de los vientos y un aumento de su intensidad a su paso.

En el caso de los ciclones tropicales, estos representan solo el 14% de los valores extremos de velocidad del viento, pero constituyen los más notables, registrando datos que oscilan entre los 33 y 37 km/h. Cabe aclarar que estos sistemas ciclónicos no afectaron directamente sobre el aeródromo, pero sí tuvieron alguna influencia sobre el comportamiento medio del viento. En el período 2011-2015, los dos ciclones que más alteraron la serie de valores de fuerza del viento fueron el Huracán Irene y el Huracán Sandy, alcanzando valores de 33 y 37 km/h respectivamente.

En último lugar las hondonadas y los centros de bajas presiones, que representan el 12% de los valores extremos, donde destacan valores de 35km/h. Por lo general esta situación sinóptica muestra persistencia durante todo el día resultando alta la probabilidad de lluvias en gran parte del país, con vientos del Sudeste al Sur, sobre todo en la región central.

Resulta además de gran interés para la aviación el conocimiento de la dirección y fuerza del viento en todos los horarios del día por lo que se realiza un análisis de las rosas de los vientos confeccionadas según los horarios locales(Figura 7) en los que se realizan las mediciones trihorarias. Se observó que exceptuando las 1600 y las 1900 hora local, donde el rumbo predominante es el Este Nordeste, en el resto de los horarios la dirección es de componente Este mayoritariamente. Pero en el caso de las mayores velocidades del viento se mantiene cuando el rumbo es Este - Nordeste.

Entre los factores que determinan la intensidad del viento se encuentran el gradiente de temperatura y el de presión, por lo tanto, al amanecer las temperaturas son menores, pero en la medida que avanza el día, el calentamiento diurno aumenta la actividad convectiva, y con ello aumenta gradualmente la velocidad del viento (Figura 8), obteniendo una velocidad máxima aproximadamente a las 4pm.

Mientras que en la madrugada los procesos convectivos tienden a disminuir y existen mayores condiciones de estabilidad, por lo que

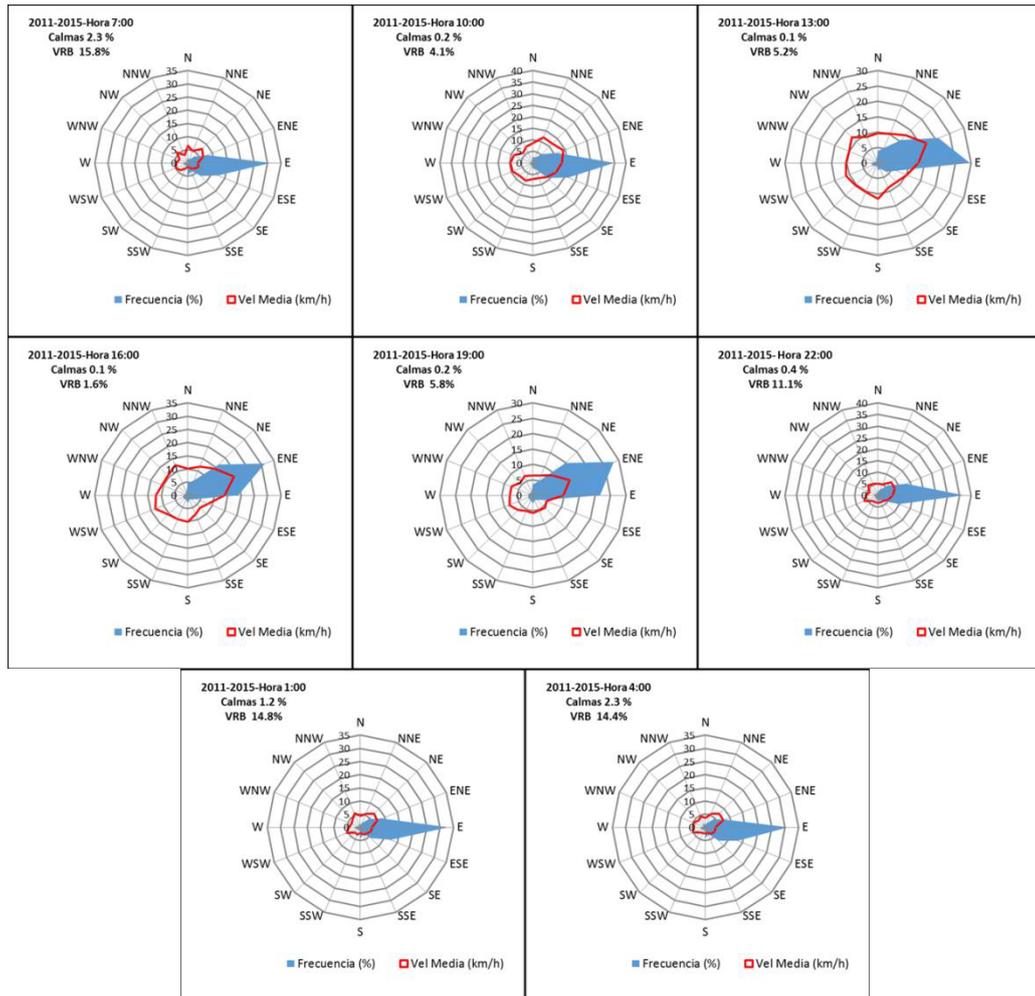


Figura 7. Rosas de viento por horario local

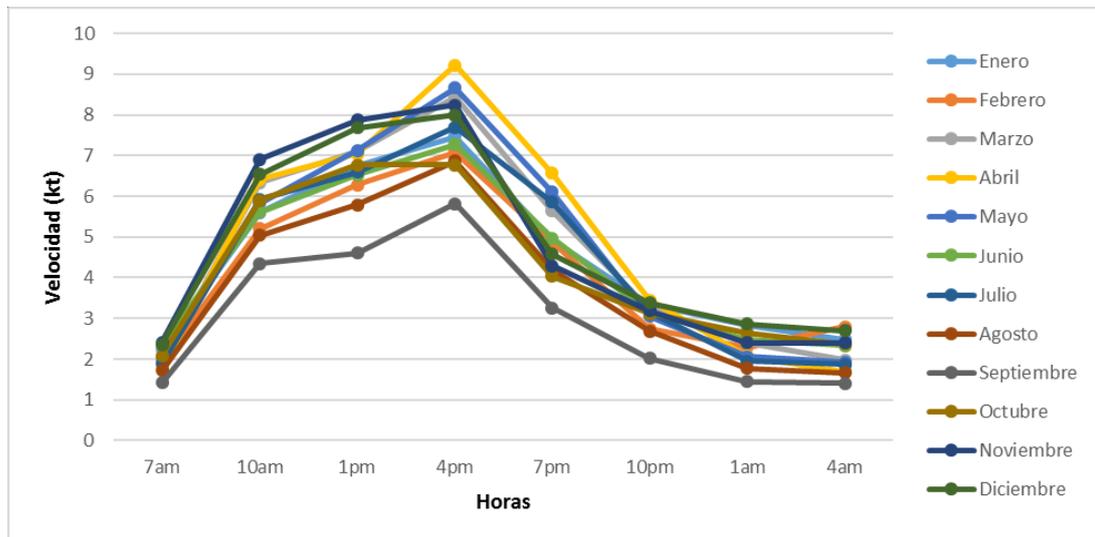


Figura 8. Marcha diaria de la velocidad del viento

generalmente la velocidad del viento disminuye, registrando un mínimo a las 7am. Esto es de vital importancia ya que la mayor cantidad de

operaciones aéreas se realizan en horarios diurnos.

CONCLUSIONES

El método de interpolación espacial Radial Basic Function (RBF) ofrece una mejor aproximación a los valores reales de dirección y fuerza del viento en el Aeropuerto Internacional "Abel Santamaría" de Santa Clara.

La componente predominante del viento es del Este con una intensidad media anual de 7km/h, variando hacia el Noreste durante el período de noviembre a febrero, coincidiendo con los meses invernales y presencia de sistemas frontales. La velocidad media máxima se alcanza hacia el Este Nordeste con una media de 15km/h.

Durante los meses de julio a octubre los valores de vientos débiles son superiores al 12%, destacándose el mes de septiembre donde los registros son mayores, correspondiendo este comportamiento a la débil influencia anticiclónica en la temporada.

En la marcha diaria del viento, los mínimos de velocidad se observan a las 0700 (4km/h) y los máximos a las 1600 hora local (15km/h), mostrando la relación con el gradiente de temperatura y presión, así como con el aumento de actividad convectiva en la tarde y la estabilidad atmosférica durante la madrugada.

REFERENCIAS

- AHRENS, C. D. Essentials Of Meteorology: an invitation to the atmosphere. Segunda. ed. [S.I.]: Wadsworth Publishing Company, 1998. ISBN ISBN 0-534-53766-9. Acceso em: 2 Marzo 2017.
- BLANCO, J. D. T. Mate Discretas, 2013. Disponivel em: Disponivel em: <http://matediscretasjoaquin.webnode.es/trabajos/unidad-3-relaciones-y-grafos/-tarea-definicion-del-vecino-mas-proximo/> . Acceso em: 15 Enero 2017.
- COLMENARES, G. Función de base Radial. In: COLMENARES, G. Redes Neuronales. [S.I.]: [s.n.], 2014. p. 84-95. Acceso em: 18 Marzo 2017.
- ESPINOSA, T. Comportamiento de la cizalladura del viento a bajo nivel en el Aeropuerto Internacional "Antonio Maceo" de Santiago de Cuba. La Habana: Trabajo de Diploma, 2012. Acceso em: 25 Marzo 2017.
- FERNADEZ. Catálogo de Procesos Sinópticos del Archipiélago Cubano en el período 1979-1993. Cienfuegos: INSMET, 2005. 21-115 p. ISBN ISBN 959-02-0355-8. Acceso em: 2 Mayo 2017.
- IACC. Manuales Aeoráuticos Cubanos. Quinta. ed. [S.I.]: [s.n.], 2009. 121 p. Acceso em: 20 Diciembre 2016.
- IACC. Regulaciones Aeronáuticas Cubanas. Sexta. ed. [S.I.]: Instituto de la Aeronáutica Civil Cubana, 2013. 121 p. Acceso em: 18 Febrero 2017.
- LECHA, L. Guia Climática de Las Villas. Sana Clara: Academia de Ciencias, 1977. 10-14 p. Acceso em: 14 Marzo 2017.
- LECHA, L. B.; PAZ, L. R.; LAPINEL, B. El clima en Cuba. La Habana: Academia, 1994. 83-90 p. ISBN 958-02-006-0. Acceso em: 30 Enero 2017.
- LEÓN, D. Estudio de la marcha interanual del viento con vista a la prospección eólica en tres lugares diferentes de Cuba. La Habana: Trabajo de Diploma, 2010. Acceso em: 18 Marzo 2017.
- MINAE. Climatología Aeronáutica Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. Instituto Meteorológico Nacional. San José. 2016.
- OACI. Anexo 3: Servicio Meteorológico para la navegación aérea internacional. Decimosexta. ed. [S.I.]: [s.n.], 2007. p. pp. 8-1. ISBN 92-9194-935-3. Acceso em: 18 mayo 2018.
- PLANOS, E. O.; AL, E. Atlas Climático de Cuba. [S.I.]: INSMET, 2012.
- STOLZ, W.; ROJAS, J. Climatología Aeronáutica (2000-2010). San José. 2012.
- TORRES, S. Estudio de fenómenos reductores de la visibilidad y viento cruzado en el Aeropuerto Internacional "José Martí". La Habana: Trabajo de Diploma, 2011. Acceso em: 8 Abril 2017.
- VELÁSQUEZ, A. E. J.; ORTIZ, F. A. P.; BOULANGER, P. Alinación virtual de

modelos deformables usando Funciones de Base Radial. *Entre Ciencia e Ingeniería*, v. 3, n. 6, p. 21-32, 30 Noviembre 2009. ISSN 1909-8367. Acceso em: 14 Noviembre 2016.

VIEDMA, M. Análisis del régimen de vientos en el Aeropuerto de Barcelona. *Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje*, n. 7-8, p. 213-231, 2001. ISSN 1129-7136. Disponible em: Disponible em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/251291.pdf>. Acceso em: 16 Febrero 2017.

WILKS, D. S. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Tercera. ed. California: Elsevier Inc., v. 100, 2011. ISBN 978-0-12-385022-5. Acceso em: 10 Febrero 2017.

Amanda Maria De Armas-Echevarria. Oficina Principal y de Vigilancia Meteorológica, Empresa Cubana de Navegación Aérea, Ave. Panamericana y Final, Edificio ATC. Boyeros, La Habana, Cuba. E-mail: amydae2012@gmail.com

Laura Cremata-Zaldivar. Universidad de La Habana, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Departamento de Meteorología, Ave. Salvador Allende y Luaces, La Habana, Cuba. E-mail: cremata@instec.cu

Laura Pérez-Hernández. Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería, Concepción, Región del Bío Bío, Chile. E-mail: lauraperezhdez@gmail.com

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)