



CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA DEL VIENTO EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL "JUAN GUALBERTO GÓMEZ" EN EL PERIODO 2012-2020

CLIMATOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE WIND AT THE "JUAN GUALBERTO GÓMEZ" INTERNATIONAL AIRPORT IN THE PERIOD 2012-2020

 BEATRIZ VALDÉS DÍAZ,  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: beatrizvaldesdiaz9@gmail.com

Palabras claves:

Seguridad aérea
climatología
dirección del viento
velocidad del viento
pronósticos meteorológicos

Resumen

La caracterización climatológica de las variables meteorológicas constituye una herramienta de gran importancia para los pronosticadores. En el caso particular de la dirección y la velocidad del viento, variables de gran importancia en la toma de decisiones durante el vuelo, tener una herramienta de este tipo ayudaría a una mejora sustancial del pronóstico para lograr una mayor seguridad en las operaciones aéreas. El objetivo de la investigación es caracterizar el comportamiento del viento en el Aeropuerto Internacional "Juan Gualberto Gómez" de Varadero, en el período 2012-2020. Para ello se confeccionaron las rosas del viento del periodo de estudio, mensuales y horarias y se realizó un análisis de la marcha diaria. Se identificó que durante el periodo de estudio los vientos de componente este fueron los más frecuentes, con una velocidad media de 12 km/h; las direcciones del viento a partir del mes de septiembre hasta mayo del próximo año variaron desde el este-nordeste hasta el sur-sudeste para imponerse en junio vientos más frecuentes de componentes que oscilaron entre el este-sudeste y el sur-sudeste. El mes de septiembre tuvo la mayor cantidad de vientos variables débiles, mientras que las calmas fueron poco frecuentes durante todos los meses. Con respecto a la marcha diaria, la velocidad del viento aumentó gradualmente, hasta las 4 pm con componentes entre el este y el sur-sudeste.

Key words:

Air safety
weather
wind direction
wind speed
weather forecasts

Abstract

The climatological characterization of meteorological variables is a very important tool for forecasters. In the particular case of wind direction and speed, variables of great importance in decision-making during flight, having a tool of this type would help to substantially improve the forecast for greater safety in flight. The objective of the research is to characterize the behavior of the wind in the period 2012-2020, at the "Juan Gualberto Gómez" International Airport in Varadero. For this, the wind roses for the period 2012-2020, monthly and hourly, were made and an analysis of the daily march was carried out. It was identified that during the study period the east component winds were the most frequent, with an average speed of 12 km / h; wind directions from september to may of next year varied from east-northeast to south-southeast to prevail in June with more frequent component winds that ranged from east-southeast and south-southeast. The month of september had the highest number of weak variable winds, while calms were infrequent during all months. With respect to the daily march, the wind speed increased gradually, until 4 pm with components between the east and the south-southeast.

Introducción

Los momentos más críticos durante los vuelos de las aeronaves son las operaciones de aterrizaje y de despegue, donde es más proclive la ocurrencia de accidentes. Con el objetivo de hacerlas más efectivas, se elaboran pronósticos meteorológicos de aeródromos. La velocidad y la dirección del viento son las variables más difíciles de pronosticar y las menos efectivas en la evaluación del mismo.

Una de las herramientas en las que el meteorólogo aeronáutico se apoya para hacer más efectivo su pronóstico es en la caracterización climatológica de las variables meteorológicas. Esta misma, en el caso particular de la dirección y la velocidad del viento contribuye a mejorar la toma de decisiones sobre la conducción de un vuelo y reduce los costos de las líneas aéreas, por cancelación o demora de un vuelo. Además, facilita información necesaria para la planificación operacional de los vuelos y la protección de los equipos aeronáuticos y sus servicios.

Recibido: 27 de mayo de 2022

Aceptado: 28 de julio de 2022

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License CCBY-NC (4.0) internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



En lo referido a la climatología de la dirección y la velocidad del viento, específicamente para aeropuertos, internacionalmente, se destaca el trabajo de (Muñoz, 2001), donde se realiza un análisis del régimen de viento en el Aeropuerto de Barcelona, así como también el de (Stolz España, et al., 2012), en uno de los aeropuertos de Costa Rica, donde se realiza un estudio de todas las variables meteorológicas, incluida el viento.

En el caso de Cuba, (De Armas Echevarría, et al., 2019) realiza la caracterización climatológica de la dirección y velocidad del viento en el Aeropuerto Internacional “Abel Santamaría” en el periodo 2011-2015. Nacionalmente no se cuenta con una caracterización climatológica del viento para los demás aeropuertos del país, incluido el Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez” de Varadero (MUVR¹) uno de los más importantes de Cuba. 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 Varadero, debido a que el meteorólogo pronosticador tendría el comportamiento medio mensual y la marcha diaria del viento.

Por otro lado, este trabajo aportaría una metodología de investigación que puede ser útil a futuros investigadores para la climatología de los demás aeropuertos del país. Por todo lo anterior, el objetivo central de esta investigación es caracterizar el comportamiento del viento en el Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez” de Varadero, en el período 2012-2020.

Materiales y métodos

El Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez” con aeródromo MUVR (figura 1), según la nomenclatura de

la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) se localiza entre los 23° 02'04" de latitud norte y los 81° 26'07" de longitud oeste, en la provincia de Matanzas. Este se ubica a 22 kilómetros, al suroeste de la localidad de Varadero, aproximadamente a 5 kilómetros de la costa norte y a 64 metros sobre el nivel del mar. En esta área se manifiestan dos grandes tipos de relieve: de llanuras alrededor de aeródromo y relieve de alturas al sur y sudeste del mismo, pero en general, no existen grandes grupos orográficos que obstaculicen el flujo del aire. Esta condición posibilita que el viento de origen marino, tanto de componente norte como de sur, pueda penetrar tierra adentro sin dificultad, lo que trae como consecuencia que hacia el centro del territorio se establezca una zona o línea de convergencia de las circulaciones locales.

En la costa norte, la influencia local de la brisa y los alisios se refuerzan, lo que provoca una penetración mayor en esa costa. La orografía es el factor de transformación más importante del régimen normal de vientos locales, que es del primer cuadrante por su cercanía a la costa norte, con una velocidad predominante entre 13 y 16 km/h (Martínez Boza, et al., 2015).

Para la presente investigación se escogió como región de estudio el Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez” porque juega un papel importante en el área, debido a su condición de aeropuerto alternativo para el desvío de los vuelos hacia el Aeropuerto Internacional “José Martí”, y alterno en ruta para las aeronaves que vuelan sobre la región donde se localiza el mismo. Además, el lugar donde se ubica, en este caso Varadero, posee un gran valor económico para el país, porque constituye un gran atractivo turístico por su riqueza natural.

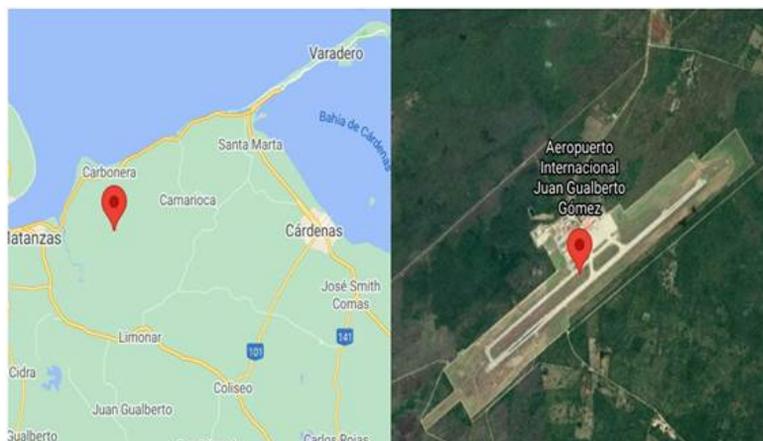


Figura 1. Localización del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez” de Varadero. Fuente: <http://www.earth.google.com>.

Figure 1. Location of the "Juan Gualberto Gómez" International Airport of Varadero. Source: <http://www.earth.google.com>.

¹Código de designación de aeropuertos, definido por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)

Métodos de análisis estadístico empleado para el estudio del variable viento

En el Anexo 3 de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), se planteó que se deben utilizar series de datos meteorológicos de al menos 5 años (OACI, 2013) para la realización de los estudios climáticos para la aviación.

Dicho anexo, se utilizó en la presente investigación, para realizar la caracterización climatológica del viento en el Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez”. Se seleccionó como periodo de estudio los años comprendidos entre 2012 y 2020. La **Tabla 1** muestra la proporción de los datos faltantes de cada año en el aeropuerto.

Tabla 1. Información sobre los datos faltantes de dirección y velocidad del viento en el aeropuerto.

Table 1. Information on the missing data on wind direction and speed at the airport.

Año	Datos faltantes	
2012	370	4.2%
2013	804	9.2%
2014	2824	32.2%
2015	90	1.0%
2016	61	0.7%
2017	191	2.2%
2018	910	10.4%
2019	55	0.6%
2020	172	2.0%
Total	5477	6.9%

La **tabla 1** muestra la cantidad de datos faltantes en el periodo 2012-2020. Se contó con datos suficientes tanto de dirección como velocidad del viento para realizar la caracterización climatológica, con 93.1% de datos disponibles. El año 2014 fue el que contó con la mayor cantidad de datos faltantes, debido a problemas que se produjo durante el proceso de guardado en la Base de Datos, teniendo 67.8% de los datos disponibles.

Se trabajó con un periodo de 9 años (2012-2020) que fue mayor al menor periodo actual recomendado para el cálculo de las normales climatológicas (IACC, 2013). A continuación, se presenta un análisis de los principales estadígrafos descriptivos.

Confección de la rosa de los vientos

El viento que prevaleció en un rango de tiempo pudo ser representado por medio de una rosa de los vientos, la cual indicó el porcentaje de tiempo en el que el viento sopló de diferentes rumbos. La gráfica consistió en utilizar barras o

extensiones que fueron desde el centro de un círculo hacia un punto determinado que ilustró la dirección del viento, la longitud de cada extensión indicó el porcentaje de tiempo en el que el viento se dirigió hacia esa dirección (Ahrens, 1998). Los datos se presentaron en ocho direcciones primarias y ocho secundarias (**Tabla 2**).

Tabla 2. Direcciones

Table 2. Wind directions

<i>Primarias</i>	<i>Secundarias</i>
N (norte)	NNE (nor noreste)
S (sur)	ENE (este noreste)
E (este)	ESE (este sudeste)
O (oeste)	SSE (sud sudeste)
NE (nordeste)	SSO (sud sudoeste)
NO (noroeste)	OSO (oeste sudoeste)
SE (sudeste)	ONO (oeste noroeste)
SO (sudoeste)	NNO (nor noroeste)

Por otro lado, la velocidad del viento se dividió en rangos que se pudieron dar en varias unidades, que fueron desde millas por hora a metros por segundo. También se pudieron registrar periodos con velocidad cero, los cuales se reportaron como calmas y periodos con condiciones de viento ligero (menos de 6 km/h) o tormentas, que se reportaron como “VRB”.

Resultados

Análisis del comportamiento del viento en el período 2012-2020

En la **figura 2** se muestra la rosa de los vientos, con los 16 rumbos, donde se observa que el viento predominante está distribuido entre el I y II cuadrantes, siendo así la dirección del viento más frecuente del este con una velocidad media de 12 km/h. Las direcciones más frecuentes oscilaron entre el este-nordeste al sur-sudeste y alcanzaron la máxima velocidad media en el rumbo norte-nordeste al este-nordeste de 18 km/h.

Rosas de los vientos mensuales 2012-2020

En la **Figura 3** se muestra el análisis de la marcha anual de la dirección del viento. Los rumbos durante todo el año variaron desde el norte hasta el sur. Los que predominaron durante los primeros meses del año hasta mayo fueron aquellos de componentes que oscilaron entre el este-nordeste y el sur-sudeste. A partir de junio y hasta septiembre las direcciones del viento más frecuentes fueron

²Variable

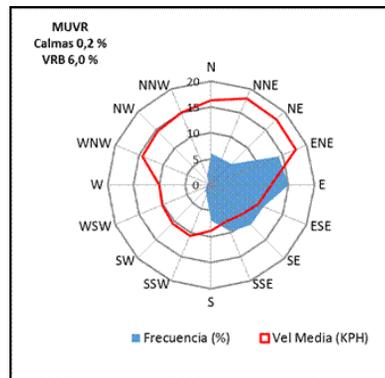


Figura 2. Rosa de los vientos correspondiente al período 2012-2020.

Figure 2. Wind rose corresponding to the period 2012-2020.

desde el este-sudeste hasta el sur-sudeste, para luego imponerse vientos con rumbos desde el este-nordeste al este. Las velocidades medias máximas se presentaron en rumbos desde el norte-nordeste hasta el este-nordeste, exceptuando el mes de enero, el cual presentó una velocidad media máxima del oeste-noroeste con 21 km/h.

El mes de junio tuvo la mayor cantidad de direcciones del viento de componente sur y el mes de septiembre el mayor número de registros con vientos variables débiles. Las calmas fueron pocos frecuentes durante todo el año con un porcentaje mayor en los meses de junio, septiembre y octubre, de solo 0.3%.

Marcha diaria de la dirección del viento

Se realizó un análisis detallado de las rosas de los vientos para cada hora local del día (Figura 4), que constituye una herramienta para el pronóstico meteorológico de la velocidad y dirección del viento. Al hacer este análisis fueron confeccionadas las rosas de los vientos de manera trihoraria. Se observó durante las primeras horas de la mañana un rumbo del viento predominante del este-nordeste. Mientras que avanzó la mañana el viento comenzó a girarse hacia el este. Durante las primeras horas de la tarde hasta las primeras de la noche los rumbos predominantes pertenecieron al segundo cuadrante y oscilaron entre el este y el sur-sudeste. En la madrugada se incrementaron aquellos entre el norte y el este-nordeste y disminuyeron los vientos variables débiles. Las mayores velocidades medias durante todos los horarios tuvieron direcciones desde el norte hasta el este-nordeste. Estas fueron mayores en las horas comprendidas entre las 10 pm y 12 am. A medida que avanzó la mañana los vientos comenzaron a aumentar su intensidad y a disminuir los casos de variables débiles.

Marcha diaria de la velocidad del viento

Entre los factores que determinaron la intensidad del viento se encontraron el gradiente de temperatura y el de presión, por lo tanto, al amanecer las temperaturas fueron

menores, pero en la medida que avanzó el día, el calentamiento diurno aumentó la actividad convectiva, y con ello aumentó gradualmente la velocidad del viento (Figura 5) y se obtuvo una velocidad máxima aproximadamente a las 4 pm.

Mientras que en la madrugada los procesos convectivos tendieron a disminuir y existieron mayores condiciones de estabilidad, por lo que generalmente la velocidad del viento disminuyó, registrando un mínimo a las 7 am. Esto es de vital importancia ya que la mayor cantidad de operaciones aéreas se realizan en horarios diurnos.

Valores extremos de la serie

Los valores extremos de la serie incluyen los registros con velocidades del viento mayores a 35 km/h, las cuales fueron registradas 361 veces durante todo el periodo de estudio, representando el 0.5% de la serie. A continuación, aparecen los fondos sinópticos asociados a las tres velocidades de vientos más representativas encontradas en la serie.

La velocidad más elevada registrada fue de 50km/h, el 27 de enero de 2016, fecha correspondiente al periodo poco lluvioso. Como se observa en la Figura 6, ese día existía la influencia de la circulación de centros de altas y bajas presiones sobre área y un marcado gradiente bórico sobre la mitad occidental de Cuba, incentivado por la circulación de bajas extratropicales en el golfo de México (sures).

En la figura 7 se observa la influencia anticiclónica sobre Cuba y mares adyacentes, mientras que sobre la península de la Florida y el este del golfo de México se extiende un sistema frontal, el cual impulsó sobre a región de estudio vientos de 48 km/h el 17 de abril de 2015 a las 18Z.

Con registro de 46 km/h se encontró el día 26 de agosto de 2012 a las 00Z (figura 8), momento en el cual el Huracán Isaac alcanzó categoría 1 y azotó toda la costa norte de Cuba, imponiendo esa velocidad de viento sobre el aeródromo de Varadero.

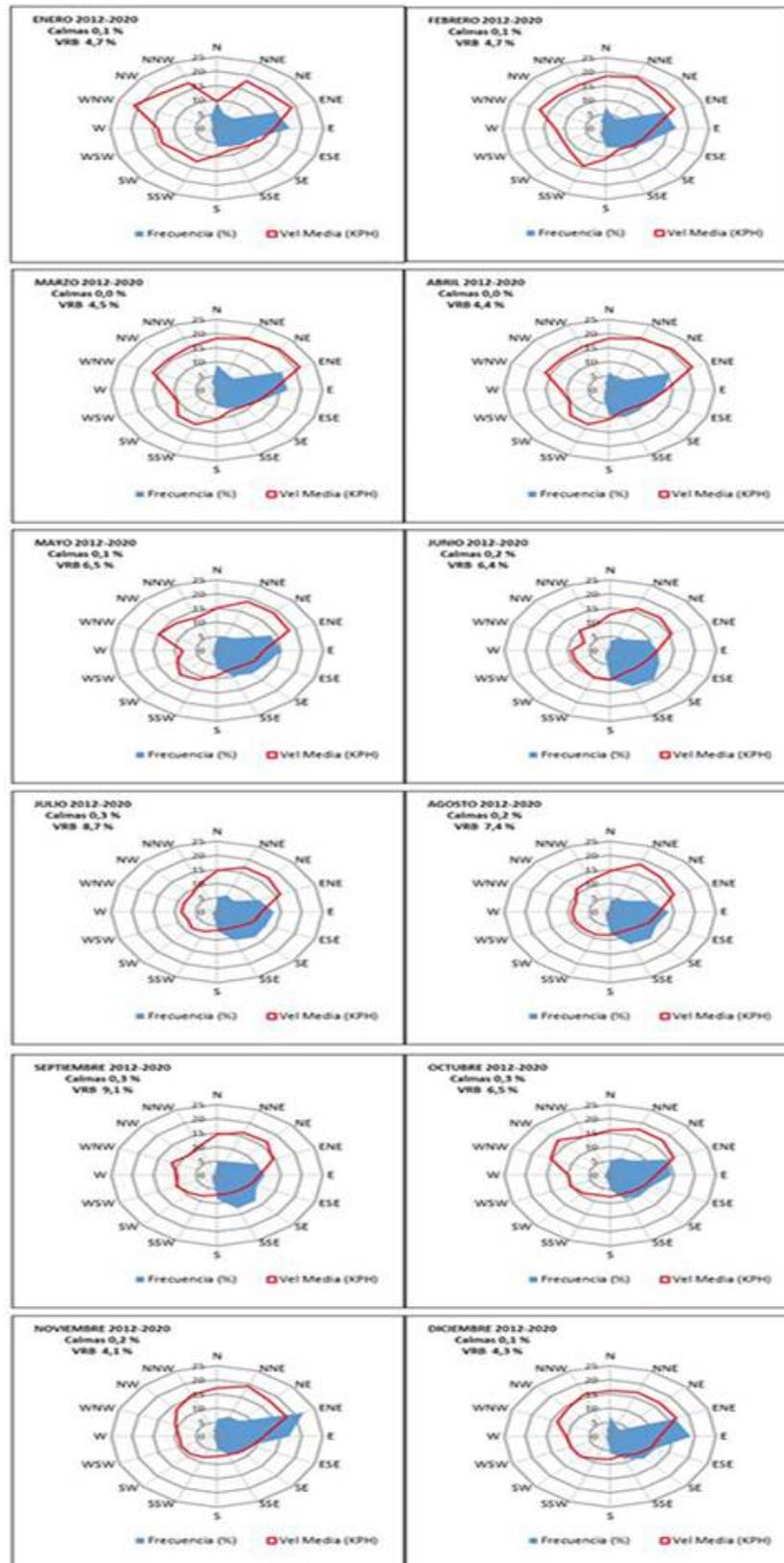


Figura 3. Rosas de los vientos mensuales.

Figure 3. Monthly wind roses.

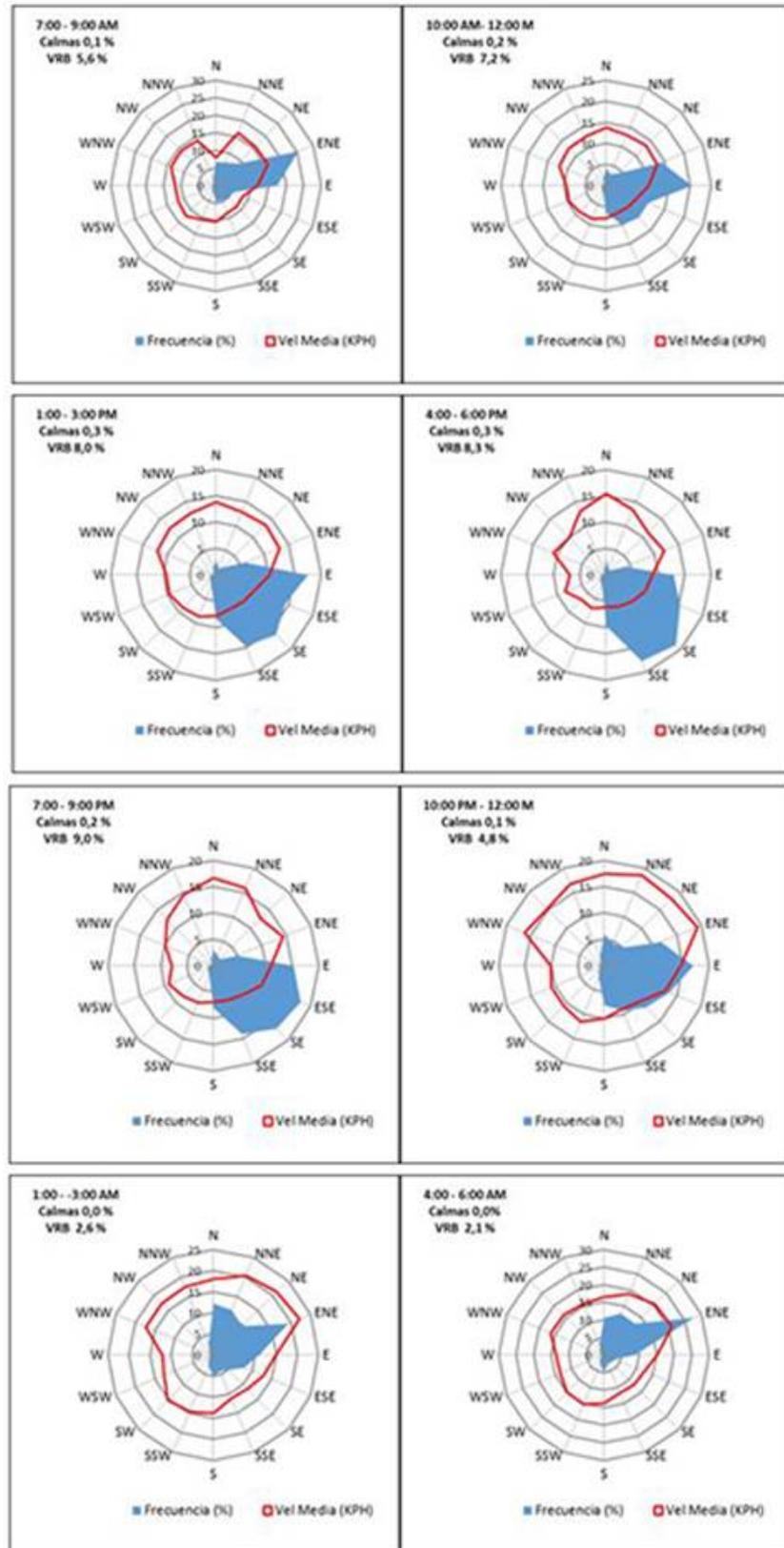


Figura 4. Rosas de los vientos trihorarias

Figura 4. Three-hour wind roses

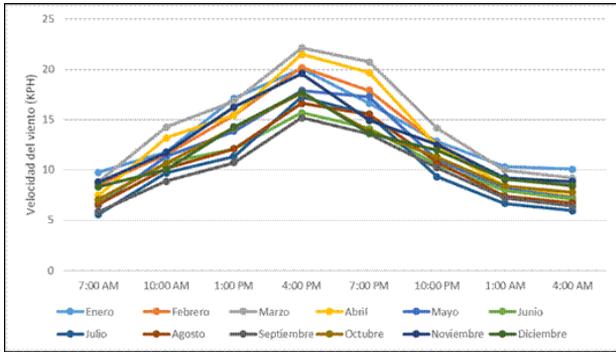


Figura 5. Marcha diaria de la velocidad del viento.

Figure 5. Daily march of wind speed.

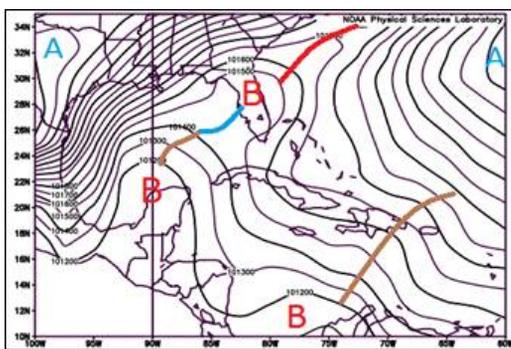


Figura 6. Mapa de presión media a nivel medio del mar (Pa) para el día 27/1/2016 a las 18Z. Fuente: NCEP/NCAR Reanalysis

Figure 6. Mean pressure map at mean sea level (Pa) for 1/27/2016 at 18Z. Source: NCEP/NCAR Reanalysis

Conclusiones

1. Durante el periodo 2012-2020 los vientos de componente este fueron los más frecuentes con una velocidad media de 12 km/h.
2. Las direcciones del viento más frecuentes a partir del mes de septiembre hasta mayo del próximo año variaron desde el este-nordeste hasta el sur-sudeste para imponerse en junio vientos más frecuentes de componentes desde el este-sudeste hasta el sur-sudeste.
3. El mes de septiembre tuvo la mayor cantidad de vientos variables débiles, mientras que las calmas fueron poco frecuentes durante todos los meses.
4. Con respecto a la marcha diaria, la velocidad del viento aumentó gradualmente, obteniendo valores máximos aproximadamente a las 4 pm con componentes desde el este hasta el sur-sudeste.
5. Los valores extremos de la velocidad del viento en la serie se debieron a la influencia de bajas extratropicales en el golfo de México, sistemas frontales y huracanes.

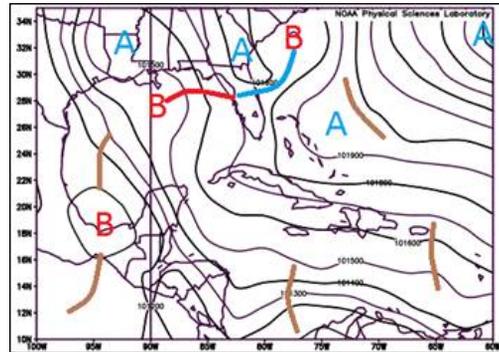


Figura 7. Mapa de presión media a nivel medio del mar (Pa) para el día 17/4/2015 a las 18Z. Fuente: NCEP/NCAR Reanalysis

Figure 7. Map of mean pressure at mean sea level (Pa) for the day 4/17/2015 at 18Z. Source: NCEP/NCAR Reanalysis

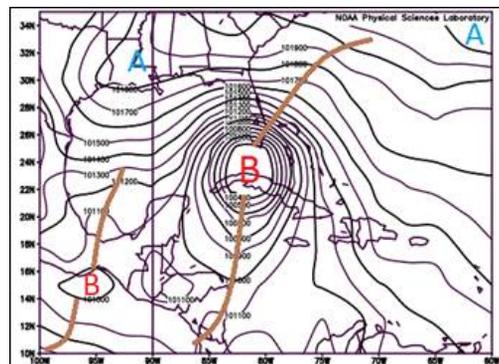


Figura 8. Mapa de presión media a nivel medio del mar (Pa) para el día 26/8/2012 a las 18Z. Fuente: NCEP/NCAR Reanalysis

Figure 8. Map of average pressure at mean sea level (Pa) for the day 8/26/2012 at 18Z. Source: NCEP/NCAR Reanalysis

Bibliografía

- Ahrens, C. D., 1998. *Essentials Of Meteorology: an invitation to the atmosphere*. Segunda ed. s.l. Wadsworth Publishing Company.
- De Armas Echevarria, A. M., Cremata Zaldívar, L. & Pérez Hernández, L., 2019. Caracterización de la dirección y fuerza del viento en el Aeropuerto Internacional “Abel Santamaría” en el periodo 2011-2015. *Revista Cubana de Meteorología*, 25(2), pp. 139-150.
- IACC, 2013. *Regulaciones Aeronáuticas Cubanas*. Sexta ed. s.l. Instituto de la Aeronáutica Civil Cubana.
- Martínez Boza, A. L., Ayón Alfonso, J. & Solares Miranda, A., 2015. *Estudio del comportamiento de la niebla en el Aeropuerto Internacional "Juan Gualberto Gómez" de la provincia de Matanzas en el periodo 2007-2013*, La Habana: INSTEC.
- Muñoz, M. V., 2001. Análisis del régimen de vientos en el Aeropuerto de Barcelona. *Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje*, Issue 7-8, pp. 213-231.

OACI. Anexo 3: Servicio Meteorológico para la navegación aérea internacional. Decimosexta. ed. [S.l.]: [s.n.], 2007. p. pp. 8-1. ISBN 92-9194-935-3. Acceso: 18 mayo 2018.

Stolz España, W., Rojas Ureña, J. & Chinchilla R., G., 2012. *Climatología aeronáutica (2000-2010) en el Aeropuerto Internacional Tobías Bolaños Palma*. s.l.:Instituto Meteorológico Nacional.

Conflicto de intereses: Los autores no declaran conflictos de intereses.

Contribución de autores: **Análisis formal, conceptualización e investigación.** Amanda Maria De Armas Echevarria: **Metodología.** Beatriz Valdés Díaz: **Redacción de la primera edición.** Beatriz Valdés Díaz y Amanda Maria De Armas Echevarria.