

Micro-tornados y trombas marinas en Venezuela

Odalys Sira^a, Nelson Falcón^a, Cristóbal Vega^{*,b}

^aDepartamento de Física, Facultad Experimental de Ciencia y Tecnología (FACYT), Universidad de Carabobo, Barbula, Carabobo, Venezuela

^bInstituto de Matemáticas y Cálculo Aplicado (IMYCA), Facultad de Ingeniería, Barbula, Carabobo, Venezuela

Resumen.-

Este trabajo presenta la síntesis fenomenológica y un modelo estándar de las trombas marinas observadas en el Lago de Valencia, Lago de Maracaibo y en otras regiones de Venezuela, así como los micro-tornados observados en el país, su descripción matemática es determinada en términos del Teorema de Kelvin y de la Ecuación de Helmholtz para fluidos baroclínicos para explicar la vorticidad observada. Además, se aplica técnica de fotometría para la obtención cuantitativa de las magnitudes físicas que intervienen en estos eventos.

Palabras clave: Micro-tornado, Tromba Marina, Mecánica de Fluidos: vorticidad.

Micro-tornadoes and marine whirlwind in Venezuela

Abstract.-

This work presents phenomenological synthesis and a standard model of marine whirlwind observed in the Valencia Lake, Maracaibo Lake and other regions of Venezuela, as well as the micro-tornadoes observed in the country. Its description in terms of the Kelvin Theorem and the Helmholtz Equation for baroclinic fluids allows explaining the observed vorticity. Also, it is applying photometry technique by to obtains the physical magnitudes that take part in these events.

Keywords: Micro-tornadoes, marine whirlwind, Fluid Mechanic: vorticity

Recibido: 23 enero 2010

Aceptado: 29 marzo 2010

1. Introducción

Entre los eventos meteorológicos transitorios que ocurren en la atmósfera terrestre (meteoros) se encuentran los asociados con la circulación cerrada de los fluidos atmosféricos en regiones de inestabilidad local, como son los tornados y las “mangas de agua” o trombas marinas [1], caracterizados por el súbito desplazamiento vertical, en la atmósfera, de masas de aire, agua y/o

partículas de polvo, en trayectorias helicoidales ascendentes descendentes. Los de mayor magnitud se conocen como huracanes y tornados. El estudio de estos eventos atmosféricos conlleva una exhaustiva comprensión de los mecanismos físicos y matemáticos que éstos involucran y el desenvolvimiento que presentan en la atmósfera. Entre ellos los tornados son los meteoros que presentan mayor vorticidad y ráfagas de viento más violentas, que a nivel mundial han generado pérdidas de vidas y cuantiosas pérdidas materiales. De allí que su estudio permita prevenir los efectos negativos para el desenvolvimiento de las actividades humanas. La palabra tornado es el resultado de la alteración del vocablo castellano tronada, que significa “tormenta”. Ésta a su vez proviene del latín tonare, que significa “girar” [2].

Los tornados son torbellinos de aire violento

*Autor para correspondencia

Correos-e: odalys_sira@hotmail.com, (Odalys Sira), nelsonfalconv@gmail.com (Nelson Falcón), vega.cristobal@gmail.com, cvega@uc.edu.ve (Cristóbal Vega)

que gira sobre sí mismo extendiéndose desde la superficie terrestre hasta el nivel de las nubes; se caracterizan por producir los vientos más violentos que hay en la Tierra, los vientos de los tornados pueden alcanzar velocidades de hasta los 400 *km/h* [3]. La mayoría de los tornados se producen en los Estados Unidos de Norte América, asimismo, se originan comúnmente en el sur de Canadá; en Sudamérica en el centro, norte y este de Argentina, Uruguay y el sur de Brasil; centro, sur y este de Asia; el sur de África; en el oeste y el sureste de Australia, en Nueva Zelanda y el noroeste y el centro de Europa, es decir, ocurren entre los 20° y los 50° de latitud con respecto al ecuador tanto al norte como al sur [3]. Los micro-tornados son pequeños tornados que se producen por inestabilidad atmosférica, debido al fuerte calentamiento diurno sobre la superficie terrestre, la velocidad del viento es pequeña comparada con los grandes tornados debido a ciertas cuantificaciones físicas (Aceleración de Coriolis, presión, temperatura), que lo impiden.

Las trombas marinas al igual que los tornados son torbellinos violentos de aire que gira sobre sí mismo, pero en este caso se extiende desde la superficie del mar hasta el nivel de las nubes. A pesar de que las trombas marinas presentan el mismo proceso de formación que un tornado propiamente dicho, tienen características que lo diferencian de un tornado, la velocidad del viento es más insustancial y suelen formarse en el trópico, son frecuentes al sur de la Florida, en la costa sudeste de los Estados Unidos, y frente a las islas en el mediterráneo. Es decir, en general son más usuales dentro de 100 kilómetros desde la costa que en el mar abierto [4]; aun cuando pueden aparecer, ocasionalmente, sobre lagos y lagunas al interior continental.

Las mangas de agua o trombas marinas se han presentado en Venezuela en el lago de Valencia (Estado Carabobo) y al sur del Lago de Maracaibo, en la Isla de Margarita entre otras regiones. Tanto los Micro-tornados como las trombas marinas han ocurrido en nuestro país [4]; sin embargo no existe ninguna publicación especializada ni reporte científico sobre las ocurrencias de trombas marinas

y microtornados en Venezuela.

Por otro lado, el estudio de estos eventos atmosféricos en nuestro país aborda parámetros físicos relevantes de la atmosfera local venezolana (temperatura, presión, humedad, precipitación, velocidad y dirección del viento, etc.) de tal manera de interpretar su comportamiento mediante modelos matemáticos abstractos que son la herramienta útil para el conocimiento y la predicción de los micro-tornados y trombas marinas acaecidas y posterior por ocurrir en el país.

2. Fenomenología de las Trombas Marinas y Micro-Tornados en Venezuela

La fenomenología de las trombas marinas puede ser comprendida a través de la fenomenología de los tornados como fenómenos generales de vorticidad en un líquido [3]. Si una superficie, suelo o agua, es calentada violentamente, de modo la capa de aire directamente sobre la superficie asciende rápidamente sobre las otras capas de aire más frías de la atmosfera, se produce una circulación vertical o corriente convectiva en la atmosfera. En condiciones normales el fluido atmosférico se comporta barotrópicamente, es decir las isobaras del fluido atmosférico coinciden con las isoesteras o superficies de igual densidad, y en ese caso las corrientes convectivas de aire se mueven en dirección vertical.

Pero en ocasiones, un gran flujo de viento cortante, a nivel de la superficie, ocasiona una inestabilidad, trasladando porciones de aire paralelamente a la superficie. En ese caso, el fluido atmosférico adopta el régimen llamado baroclinico (en el cual las isobaras ya no son paralelas a las isoesteras) y los centros de presión no coinciden con el centro de gravedad de la porción de fluido en movimiento. Resulta que las fuerzas de presión y de gravedad al no ser concurrentes en el mismo punto, ocasionan un torque o torsión en el movimiento del fluido. Así, la corriente convectiva gira al propio tiempo que asciende, generando un movimiento en espiral, y un torbellino sobre la superficie. Si además ocurre que un fuerte viento en las capas superiores traslada las capas de aire directamente por encima de la columna

ascendente, se alarga la trayectoria del ducto o corriente convectiva [5].

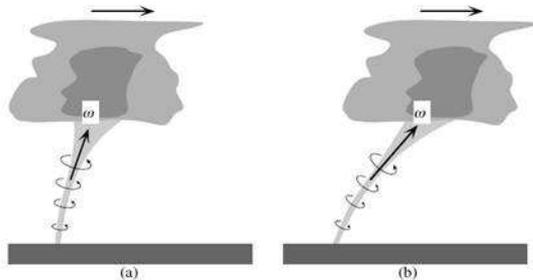


Figura 1: Mecanismo de aumento de la vorticidad en trombas y tornados

Este alargamiento incrementa el giro del torbellino, mejor conocido como vórtice, ese movimiento rotacional súbito es causado por los gradientes de presión y temperatura; y se agota o cesa cuando el aire frío descendente por el centro de la columna o ducto, disminuye el calor de la superficie que creaba la inestabilidad. Al igualarse la temperatura disminuye el gradiente térmico y en consecuencia se equilibran las presiones, cesando el flujo convectivo ascendente, y desaparece el vórtice y sus manifestaciones visibles como tromba marina o micro-tornado. Es claro que, mientras permanezca el vórtice sobre la superficie (suelo, agua), el incremento de giro genera una zona de baja presión al interior del ducto, por el cual es impulsada el agua en dirección contraria a la gravedad, produciendo una corriente ascendente de gotitas que se condensan a medida que ascienden en altitud, mecanismo representado en la Figura 1.

En Venezuela, en la última década, se han reportados con imágenes al menos 9 Micro-tornados y 9 Trombas Marinas. En el Cuadro 1 se presentan tanto las trombas marinas como los micro-tornados acontecidos en el país, así como más adelante se muestran algunas de las imágenes de estos eventos registrados en Venezuela.

Los micro tornados aparecen en áreas geográficas muy diferentes: costeras (Figura 2), valles aluvionales (Figura 3) e insulares (Figura 4).

Por otra parte, las trombas marinas se han reportado tanto en el Mar Caribe (Figura 6), aguas

Tabla 1: Registros de Micro-tornados y Trombas Marinas en Venezuela

Fecha	Lugar	Evento	Ref.
2002/08/26	Maracaibo	Tromba Marina	[4]
2004/10/27	Guacara	Tromba Marina	[4]
2004/11/	Caracas	Micro-tornado	[4]
2006/03/	Paparo	Micro-tornado	[4]
2006/06/	Morrocoy	Tromba Marina	[4]
2006/07/04	L. de Mrbo	Tromba Marina	[4]
2006/08/06	Barcelona	Tromba Marina	[6]
2007/04/	Lagunilla	Tromba Marina	[6]
2007/08/06	Margarita	Tromba Marina	[4]
2004/10/27	L. de Valencia	Tromba Marina	[4]
2007/10/25	Barcelona	Micro-tornado	[7]
2008/08/14	Caracas	Micro-tornado	[4]
2008/08/22	Margarita	Tromba Marina	[4]
2008/09/03	Supí	Micro-tornado	[7]
2008/08/29	I. La Tortuga	Micro-tornado	[4]
2008/10/31	San Cristóbal	Micro-tornado	[4]
2009/10/14	San Cristóbal	Micro-tornado	[4]
2010/04/24	Chivacoa	Micro-tornado	[4]



Figura 2: Micro-tornado en Barcelona (Edo Anzoategui) [8].

lacustres (Figura 7), como en la confluencia entre ambas: lago de Maracaibo y golfo de Venezuela (Figura 5).



Figura 3: Micro-tornado en Caracas [6].



Figura 4: Micro-tornado en la isla la Tortuga [6].



Figura 5: Tromba Marina en el lago de Maracaibo [7].



Figura 6: Tromba Marina en la Isla de Margarita [7].

3. Vórtices y Fluidos Barotrópicos

A partir de la ecuación de movimiento de un fluido de densidad ρ , sometido a un gradiente de presión, en presencia de la aceleración de gravedad, ∇P , [9], se deduce que la fuerza por unidad de masa, verifica la ecuación de Euler (Ecuación (1))

$$\begin{aligned} \rho \frac{d\vec{u}}{dt} &= -\vec{\nabla}P + \rho \vec{g} \\ \frac{d\vec{u}}{dt} &= \vec{g} - \frac{\vec{\nabla}P}{\rho}, \end{aligned} \quad (1)$$

donde u es la velocidad euleriana del fluido, \vec{g} denota la aceleración de gravedad y P es la presión del fluido.

Para el caso de fluidos barotrópicos y utilizando algebra básica se determina la ecuación de la vorticidad en función de la velocidad angular $\vec{\omega}$, como

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\vec{\omega}}{\rho} \right) = \left(\frac{\vec{\omega}}{\rho} \cdot \vec{\nabla} \right) \vec{u}. \quad (2)$$



Figura 7: Tromba Marina en el Lago de Valencia [7].

La Ecuación (2) se conoce como la Ecuación de Helmholtz para la vorticidad y es también un enunciado de la conservación del momento angular de un elemento de fluido.

Al considerar un circuito material, esto es un circuito que está formado siempre por las mismas partículas y por tanto se mueve con el fluido, si el fluido es barotrópico, isoantrópico y las fuerzas de volumen depende de un potencial, la circulación (Γ) a lo largo de este circuito material se conserva. (Teorema de Kelvin)

$$\frac{D\Gamma}{Dt} = 0 \quad (3)$$

La Ecuación (3) se refiere a la circulación alrededor de una curva cerrada, donde Γ es la circulación, entonces es equivale a afirmar que en un fluido barotropico la fuerza sobre un tubo o conducto de vórtice permanece constante. En efecto, si un elemento de longitud Δl de una línea material que coincide con una línea de vórtice aumenta su longitud, entonces la pequeña sección transversal ΔS del tubo de vórtice debe disminuir de acuerdo con la conservación de la masa, y la magnitud de la vorticidad debe aumentar. Dado que $\omega \Delta S = cte$ y $\Delta S \Delta l \rho = cte$, tanto ω como Δl varían como $1/\Delta S$, en otras palabras, $\omega \sim \rho \Delta l$.

4. Metodología

Como quiera que los microtornados y trombas marinas requieren de condiciones locales especialísimas, deben ocurrir simultáneamente dos

fenómenos independientes: fluctuaciones locales de las isobaras respecto a las isoesteras, y una vorticidad local, debida al flujo cortante de aire paralelo a la superficie. Al cesar cualquiera de ambas condiciones desaparece la inestabilidad y el fluido atmosférico alcanza nuevamente el equilibrio.

En Venezuela, la vorticidad atmosférica no se incrementa por el efecto de la rotación del planeta, puesto que la aceleración de Coriolis es casi nula para latitudes inferiores a los doce grados y por otro lado el clima tropical y orografía no permite vientos con las velocidades enormes de las zonas medias de EEUU. De allí que los Tornados en Venezuela tengan una extensión muy localizada, del orden de las decenas de metros cuadrados, en estritus sensus se tratan de microtornados. Por igual razón la duración de tales inestabilidades de vórtice, en Venezuela, es apenas entre 15 y 120 minutos. Luego es muy poco probable la ocurrencia de tales fenómenos y su registro sólo se ha visto incrementado en los últimos años por la popularización de las cámaras fotográficas y la expansión urbana. Así, la totalidad de los registros existentes se deben a imágenes captadas en forma amateurs por personal y equipo no especializado. Sin embargo, la fotometría y el análisis digital de imágenes permite extraer información sobre los órdenes de magnitud de las variables físicas de estos fenómenos, que plantear investigaciones ulteriores.

La fotometría se define como medidas con fotografías, es decir, extraer por medio de la fotografía de un objeto sus dimensiones reales[10]. Esta técnica es muy utilizada en arquitectura, arqueología, construcciones navales y aeronáuticas, entre otras disciplinas.

El sistema de medida basado en fotometría es aceptable, con una precisión muy elevada al encontrarse por debajo del 5 %. Se aplica técnica de fotometría para la obtención cuantitativa de las magnitudes físicas, tomando en cuenta, que en áreas como astrofísica o geología se consideran aceptables errores relativos inferiores al 20 %, toda vez que los fenómenos objeto de estudios no son reproducibles en el laboratorio bajo condiciones controladas. Tal es el caso de la Trombas Marinas

y de los microtornados, cuyas dimensiones y eventualidad de ocurrencia no permite, a la vera de los medios disponibles hoy, una reproducción y observación controlada.

5. Resultados y Discisión

Las técnicas fotométricas descritas en la Sección 4 fueron aplicadas a dos imágenes:

Imagen 1 Tromba marina en el Lago de Maracaibo (ver Figura 5).

Imagen 2 Micro-tornado en la Isla la Tortuga (ver Figura 4).

5.1. Imagen 1

Después de corregir las imperfecciones que presentaba la fotografía que capta la Tromba Marina ocurrida en Maracaibo (Edo Zulia), el 4 de Julio del 2006 (ver Cuadro 1), se inició al cálculo de las medidas reales. Para el cálculo de las distancias reales de la tromba marina se tomó como referencia un barco petrolero como una cota inferior y el puente sobre el lago de Maracaibo "Rafael Urdaneta" como la cota superior.

El barco petrolero tiene un ancho medio de 120 m y una altura media de 30 m [11], el puente sobre el lago de Maracaibo tiene 135 tramos de los cuales, 2 miden 235 m y los demás 62 m, la altura sobre el nivel del lago es de 45 m [12] (ver Figura 8).

En la Figura 9, se aproximaron varios puntos a lo largo de la tromba marina y se comparo con el ancho medio del barco (medidas mínimas) y 2 tramos del puente que equivalen a 124 m (medidas máximas), tomando los valores medios entre estas medidas para aproximar las distancias reales de la tromba marina.

En la Figura 10, indica la variación del ducto con respecto a la altura de la nube cumulonimbus. A partir de estas medidas se observa que el ducto de la tromba marina no es constante a lo largo de la altura, de 0 a 120 m, el ducto es de 79 m siendo la máxima medida que alcanza el ducto, esto se debe, por que en la parte inferior de la tromba marina es donde se encuentra la zona spray, donde las masas de agua se elevan alcanzando esta altura y este

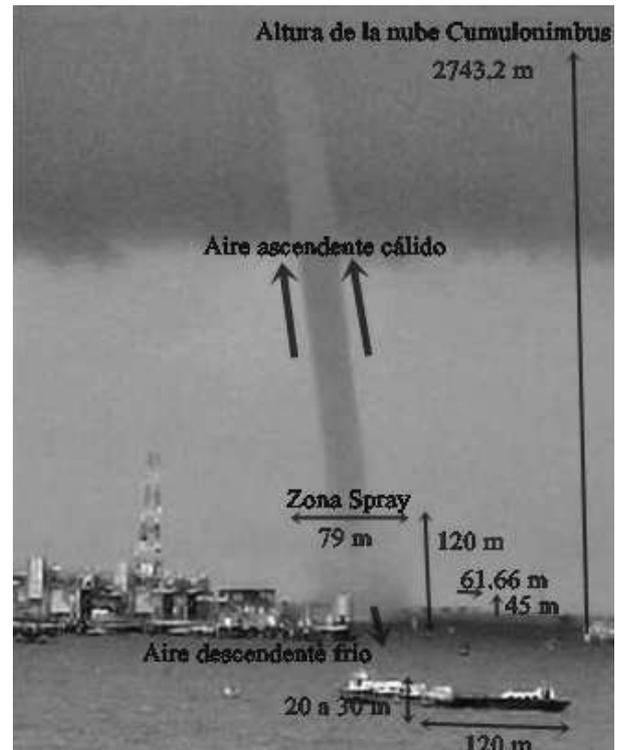


Figura 8: Fotometría aplicada a la fotografía.

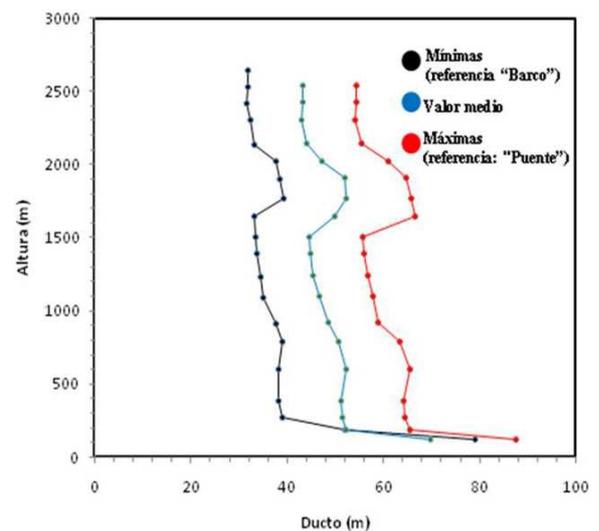


Figura 9: Variación del ducto con respecto a la altura.

máximo grosor en el ducto, después de los 200 a los 2600 m se observa perfectamente el tubo de condensación, la variación del ducto a esta altura disminuye y aumenta en el orden de los 43 a 52 m, teniendo un ancho medio en el ducto de 46 m.

Se visualiza que la trayectoria del flujo ascen-

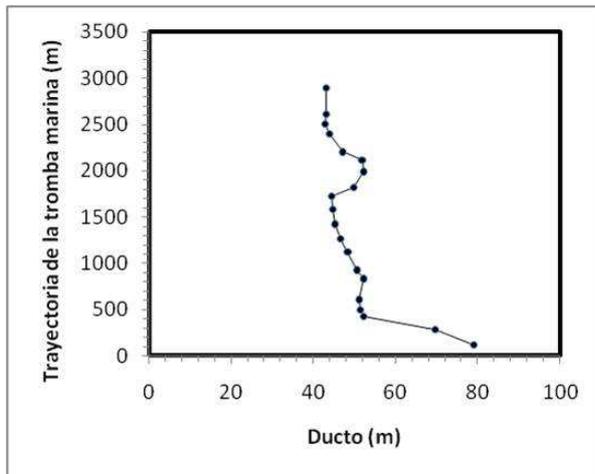


Figura 10: Variación del ducto con respecto a la trayectoria vertical de la tromba marina.

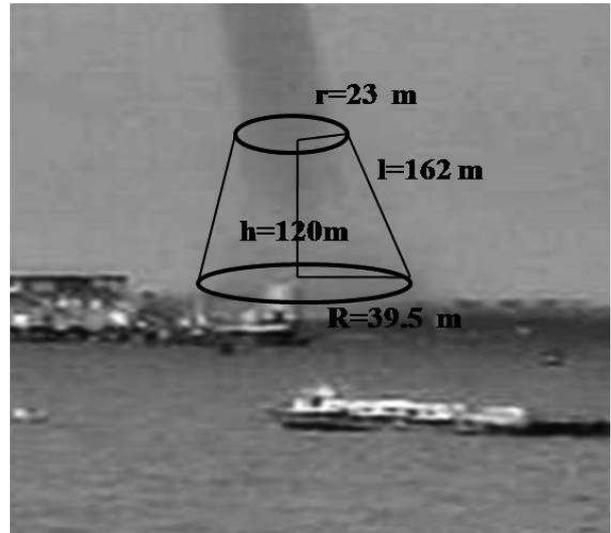


Figura 11: Simetría cónica.

dente de la tromba marina no es una línea recta, notando que se inclina desde la superficie del lago hasta el nivel de las nubes, siendo la trayectoria de la tromba mucho más alta que la altura de la nube de tormenta por que la velocidad del viento es diferente en la base (Zona de “Spray”) y en la cima (zona de embudo) en la tromba marina. La altura la nube cumulonimbus es de 2743 m (9000 pies) y la trayectoria media de la tromba marina es de 2950 m (9700 pies). La Figura 10 representa la variación del ducto de la tromba marina con respecto a la trayectoria inclinada de la tromba marina, notándose que pasa los 2743 m de la altura de la nube. Por lo tanto se comprueba que la altura de la tromba marina es mayor que la altura de la nube Cumulonimbus penetrando el flujo dentro de ella.

Al considerar la zona Spray simetría axial a un cono (ver Figura 11), y el tubo de condensación tiene simetría cilíndrica (ver Figura 12) se obtiene el área y volumen de la tromba marina.

La zona de spray a partir de su ducto máximo (diámetro) es el radio mayor, el radio menor es determinado por el valor del ducto medio del tubo de condensación, a una altura h es de 120 m de la cual se obtuvo a partir de la altura de la nube de tormenta, la altura se logró a partir de la inclinación que presenta la trayectoria de la tromba marina.

Con los datos de la Figura 11, obtenemos el área

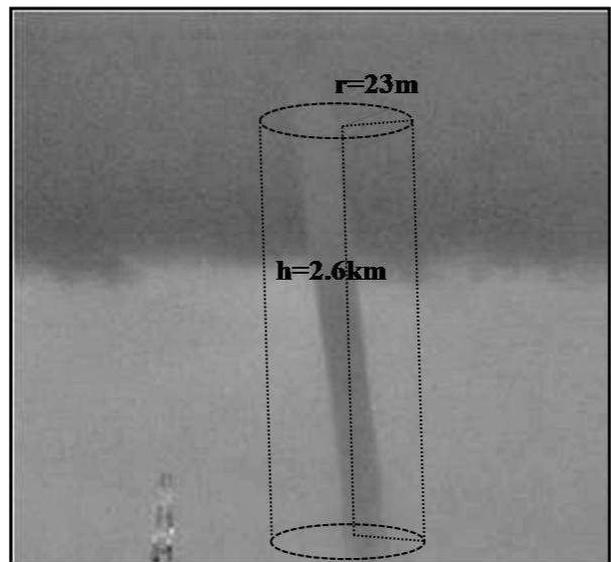


Figura 12: Simetría cilíndrica.

de la zona de “Spray” es del orden $3,8 \times 10^4$ metros cuadrados y su volumen es del orden $3,8 \times 10^9$ litros.

El tubo de condensación tiene simetría cilíndrica por lo cual la altura del cilindro es la altura de la nube cumulonimbus menos la altura de la zona spray, y el radio se obtuvo a partir del ancho media del ducto.

Como la longitud a considerar para el ducto es la altura media de la nube menos la altura de la zona spray, se tiene un área efectiva de metros

cuadrados y un volumen del orden de litros, es fácil, estimar que la fuerza de sustentación de un metro lineal de ducto es del orden de 17 Mega Newton.

5.2. Imagen 2

A partir del video que muestra el micro-tornado ocurrido en la Isla la Tortuga, del cual fue obtenida la Figura 4 (ver Cuadro 1), se extrae los órdenes de magnitud de la velocidad angular, velocidad lineal, periodo y frecuencia.

5.2.1. Velocidad del viento

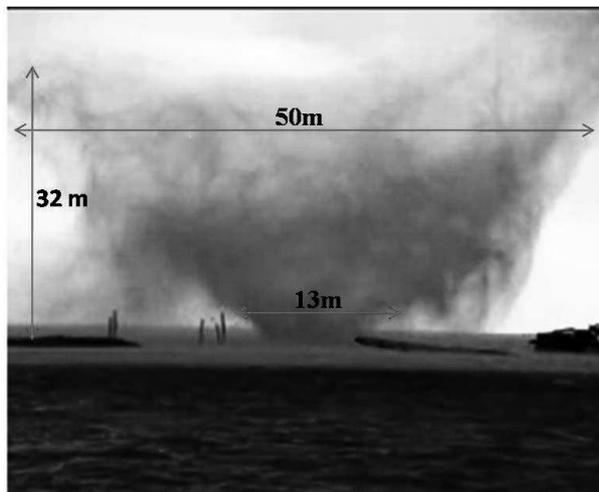


Figura 13: Medidas del micro-tornado.

Tabla 2: Datos estimados para determinar la velocidad del viento del micro-tornado.

Ancho del Vórtice	=	50 m
Altura del Vórtice	=	32 m
Pie del Micro-tornado	=	13 m

La velocidad del viento se logró midiendo el tiempo en que desplazó 10 veces el ancho del vórtice a una altura de 32 m, es decir, cada paso que recorre el micro-tornado, se desplaza un diámetro de su vórtice Figura 13, los valores de medidas están en el Cuadro 2. La estadística para determinar el tiempo medio de estas mediciones está en el Cuadro 3. En el Cuadro 3 observamos

Tabla 3: Medición del tiempo para la velocidad del viento.

Promedio	6,03 s
Desviación Estándar	0,0675
Coefficiente de Variación	1,1193 %
Mínimo	5,9 s
Máximo	6,1 s
Rango	0,2 s
Sesgo Estandarizado	-0,5598
Curtosis Estandarizada	-0,1826

que los errores de medición tienen distribución $\mathcal{N}(6,03 \text{ s}, 0,0675)$.

Para 10 vueltas completas al ducto de la tromba marina, se obtiene un desplazamiento de 500 metros lineales, que equivalen, según el resultado del Cuadro 3 a una rapidez de desplazamiento del orden de 151 km/h.

5.2.2. Velocidad angular



Figura 14: Micro-tornado dando una vuelta completa.

Para la velocidad angular se mide el tiempo en el que el micro-tornado da una vuelta completa, es decir, que recorre 360° equivalente a $2\pi \text{ rad}$ (ver Figura 14). Mediante el video se puede detectar el movimiento giratorio que experimenta el micro-tornado, tomando como referencia una nube de polvo dando un giro y midiendo su tiempo de recorrido.

La velocidad angular es aproximadamente $250 \text{ rad/s} \pm 10\%$. Con un periodo del orden de los 0,024 s y con una frecuencia del orden de los 42 Hertz.

5.2.3. La trayectoria media del micro-tornado

Un análisis de la variación que presenta el ducto con respecto a la altura de la nube cumulonimbus

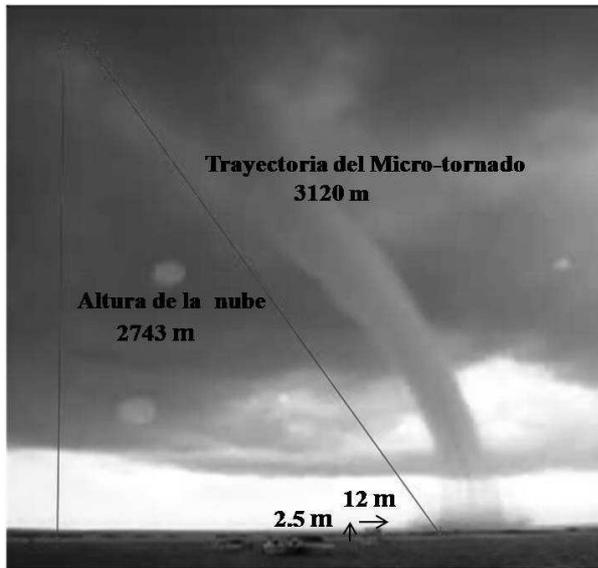


Figura 15: Trayectoria del Micro-tornado.

y la trayectoria que lleva el micro-tornado a esta altura es realizado por fotometría en forma similar a los análisis anteriores. Para este análisis de la trayectoria media se tomó como referencia las dimensiones de una casa playera, 12 m de largo y 2,5 m de de alto (ver Figura 15).

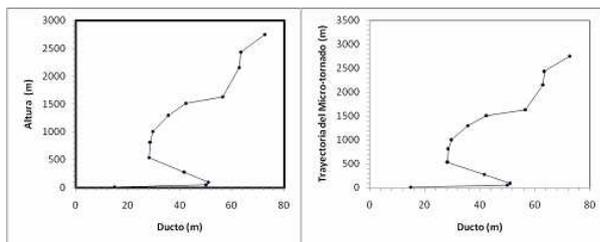


Figura 16: Izquierda: Variación del ducto con respecto a la altura de la nube cumulonimbus. Derecha: Variación del ducto con respecto a la trayectoria del micro-tornado.

La Figura 16 (izquierda) muestra el incremento del ducto a partir de 3 m hasta los 51 m, a esta altura se encuentra el vórtice. Disminuye hasta 27 m luego desde los 78 a los 2500 m de altura, el micro-tornado va aumentando el ducto a medida que se incrementa la altura llegando a un máximo de 71 m, a diferencia de la tromba marina que decrece y crece continuamente a lo largo de la altura, el ancho del micro-tornado aumenta seguidamente a lo largo de la altura.

La Figura 16 (derecha) muestra que la trayectoria vertical del micro-tornado es mayor que la altura de la nube. La trayectoria media del micro-tornado tomando de referencia la altura de la nube es de 3120 m (10236 pies) (ver Figura 15).

6. Conclusiones

La ocurrencia de microtornados y trombas marinas en Venezuela, se deben al mismo proceso que los meteoros similares de otras latitudes: el estiramiento de los tubos vorticosos debido al movimiento del fluido atmosférico, que intensifica la vorticidad local.

Al estirar la longitud Δl en la ecuación del Teorema de Kelvin se incrementa la vorticidad y con ella la disminución de presión que permite el ascenso del flujo de agua por el ducto (Trombas Marinas) o el flujo de aire caliente (micro-tornados).

No se observa zonas privilegiadas para la ocurrencia de inestabilidades de vorticidad. En Venezuela, aparecen tanto en la zona costera, como en Los Andes así como regiones intermedias. Ocurren preferentemente durante la estación húmeda entre Julio y Octubre, pero incluso se han reportado en otras fechas. La fotometría de los eventos registrados en Venezuela muestran que la trayectoria del flujo ascendente de la tromba marina crece y decrece con la altura, mientras La trayectoria del flujo descendente del micro-tornado aumenta monótonamente con la altitud.

El error relativo cometido en cada medición de las diferentes medidas varía es menor que 4,91 %. Teniendo en cuenta que en el mundo de la astrofísica y la geología se consideran que los errores relativos en las medidas inferiores son al 20 % y 30 % y se consideran aceptables, por lo cuál, se puede concluir que el sistema de medida basado en fotometría es aceptable, con una precisión muy elevada al encontrarse por debajo del 5 %.

La anchura media de las trombas marinas en nuestro país es casi el doble que las reportadas en zonas mediterráneas como las reportadas por Reno y Blustein en las Islas Baleares y la velocidad angular en también significativamente

menor en un factor dos, en consecuencia todos los micro-tornados en Venezuela son de categoría F1 de la escala Fujita–Pearson mientras que la trombas marinas no exceden la escala F0, a diferencia de las trombas marinas interoceánicas y mediterráneas que pueden alcanzar valores de F3 y F4.

Referencias

- [1] Nelson Falcón and Cristóbal Vega. *Meteorología y Física Atmosférica*. Ed. APUC, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, 2007.
- [2] Frederick C. Mish. *Merriam Webster's Collegiate Dictionary*. Merriam–Webster, Incorporated, 1993.
- [3] N. O. Reno and H. Blustein. A simple theory for waterspouts. *J. Atmosph. Sc.*, 58, 2001.
- [4] Nelson Falcón. Mangas de agua y trombas marinas. In Cristóbal Vega, editor, *Memorias del II Coloquio Nacional de Meteorología y Ciencias Atmosférica*, Valencia, Venezuela, 2009. Ed. APUC, Universidad de Carabobo.
- [5] R. Wakimoto and J. Lew. Observations of a florida waterspout wea. *Forecasting*, 8:412–423, 1993.
- [6] SkyscraperCity. Trombas marinas en venezuela. Nota de prensa, SkyscraperCity, [http://www.skyscrapercity.com/\(05-12-2009\)](http://www.skyscrapercity.com/(05-12-2009)), 2009.
- [7] SkyscraperCity. Microtornados en venezuela. Nota de prensa, Skyscraper City, [http://www.skyscrapercity.com/\(30-11-2009\)](http://www.skyscrapercity.com/(30-11-2009)), 2009.
- [8] ORH. Trombas marinas. Reporte técnico, Organización de Rescate Humboldt, [http://www.rescate.com/trom2\(12-02-2010\)](http://www.rescate.com/trom2(12-02-2010)), 2010.
- [9] Nelson Falcón. *Dinámica de Fluidos y Fenómenos de Transporte*. Ed. APUC, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, 2008.
- [10] S. López. *Fotometría*. Reverte, Madrid, España, 1980.
- [11] José González. Clasificación de buques modernos. Informe técnico, Pluton Petroleo, [http://www.tiposdebarcos.plutonpetrolero.com\(03/04/10\)](http://www.tiposdebarcos.plutonpetrolero.com(03/04/10)), 2010.
- [12] Antonio Sarcos-Portillo and Hildrun Garcia-Legl. Análisis estructural de la pila 24 del puente rafael urdaneta bajo el efecto de choque de un carguero. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. [online]*, 26(1):56–62, abril 2003.