

Análisis de métodos de vientos extremos para calcular las velocidades básicas

Ingrid Fernández Lorenzo

correo electrónico: ingridfl@civil.cujae.edu.cu

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Artículo Original

Vivian Beatriz Elena Parnás

correo electrónico: vivian@civil.cujae.edu.cu

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Resumen

La determinación de las cargas de viento sobre una edificación es de gran importancia en el diseño estructural. Estas cargas tienen como fundamento la velocidad básica de viento a emplear, la cual se calcula a través del análisis estadístico de valores extremos. Los métodos y factores para determinar esta velocidad básica han sido objeto de investigaciones a lo largo de las últimas cinco décadas, perfeccionando la manera de ajustar estos valores estimados a partir de la incorporación de años de registros, direcciones de viento, tipos de tormentas, etc. En el territorio cubano, donde el viento es la principal acción ecológica a tener en cuenta en el diseño estructural, y considerando que factores como la presencia de un clima mixto pueden introducir variaciones en la estimación de la velocidad extrema por los métodos convencionales, la actualización de esos métodos adquiere significación especial. El artículo, en su primera parte, hace una descripción de los métodos pioneros y de los más actualizados mediante un recorrido histórico, y en una segunda parte plantea el contexto actual de algunas de las normativas de viento para regiones con presencia de huracanes, en contraparte con la normativa cubana vigente. La principal conclusión del análisis bibliográfico es la necesidad de revisar y actualizar las velocidades básicas de viento de la normativa cubana vigente, NC 285:2003.

Palabras claves: velocidad básica, vientos extremos, normas de viento

Recibido: 4 de junio del 2015 Aprobado: 14 de julio del 2016

INTRODUCCIÓN

La valoración de la acción del viento sobre una estructura requiere conocer la magnitud de las velocidades máximas de viento a las que estará expuesta durante su vida útil. El régimen de vientos en una zona específica está en función de las condiciones climáticas de ese emplazamiento, que responde a la descripción estadística de un conjunto de variables meteorológicas tales como: temperatura, presión atmosférica y humedad durante períodos de tiempo. A esa velocidad referida a la localización geográfica de la estructura y que es la que se emplea en el diseño de las mismas se le conoce como velocidad básica de diseño.

El establecimiento de las velocidades básicas de diseño apropiadas, es un elemento crítico en la determinación de

las cargas de diseño para las estructuras. También, por lo general, es la parte más incierta del proceso de diseño de resistencia al viento, y requiere del análisis estadístico de los datos históricos sobre las velocidades del viento registradas. Se trata entonces de obtener una descripción meteorológica lo más completa posible a través de varios instrumentos de medición, con la premisa de que las estadísticas del pasado serán representativas del futuro.

De acuerdo con los códigos de diseño de estructuras ante cargas de viento, las velocidades básicas, usualmente se obtienen mediante mapas de viento que pueden haber sido obtenidos de diversas formas: a partir de velocidades promediadas en 3s, 10 min., o una hora. En el artículo de Yaojun Ge, XinyangJin y Shuyang Cao [1], se comparan

alrededor de 15 normativas donde puede verse la variabilidad o unidad de criterios para definir las cargas de viento sobre las estructuras. Independientemente del criterio nacional adoptado, la determinación de esa velocidad requiere del estudio de la distribución de los valores máximos dentro de la distribución original de velocidades medias estimadas en un periodo de tiempo fijado. Las series de máximos se construyen a partir de los valores superiores que toma la variable velocidad en intervalos fijos de tiempo, para lo cual es necesario separar esos valores de la distribución original de referencia (*parent*, en inglés). La teoría de valores extremos se encarga de este tipo de problemas.

Las estimaciones de los valores máximos de velocidades de viento, a partir de la teoría de valores extremos, se expresan frecuentemente en términos del valor percentil de X_T , es decir, la velocidad promedio de viento máxima que es excedida, una vez cada T años, siendo ese T el periodo de retorno. Esto es frecuente cuando la variable aleatoria es una magnitud relacionada con algún fenómeno natural. Si p es la probabilidad de que una variable x supere un dado valor X en un cierto lapso, el periodo de retorno T representa el número de unidades de tiempo que transcurren en promedio entre dos oportunidades en que la variable supere dicho valor (ecuación 1).

$$p = P(x \geq X) = \frac{1}{T} \quad (1)$$

La probabilidad de excedencia o el período de retorno, se determina a partir de las velocidades máximas registradas en una estación meteorológica durante un periodo de N años suficientemente largo. Por lo general, para la mayoría de los usuarios de los datos de viento, se requieren estimaciones del periodo de retorno de 50 años, sobre la base de 10 o 20 años de observaciones disponibles [2]. El análisis estadístico final, consiste en hallar la función que mejor represente el comportamiento de la variable aleatoria x , para luego asignar a cada valor X una probabilidad o un periodo de recurrencia o retorno.

Por estas razones, con el fin de calcular los percentiles, los datos se ajustan a distribuciones teóricas que han sido objeto de discusión científica desde comienzos de la década del 30 del pasado siglo [2-5] y continúan estando en el punto de mira de los investigadores actuales [6-11]. El objetivo de este trabajo es hacer una revisión bibliográfica que ponga en evidencia la evolución que han tenido los métodos para estimar las velocidades básicas de diseño ante la acción del viento de las estructuras, así como evaluar el grado de introducción de los mismos en algunas normativas de diseño internacionales y en la cubana.

REVISIÓN DE MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE VELOCIDADES EXTREMAS

La necesidad de buscar mayor precisión en la estimación de las velocidades básicas para diseñar

estructuras, ha sido la motivación principal de la evolución de los métodos para la caracterización probabilística de los valores extremos (figura 1). Los primeros métodos que aparecieron (FT-I, II, III y GEV), y que aún continúan aplicándose en dependencia del caso de estudio, se basan en tomar un único valor anual (el máximo) por lo que para ajustar los valores a una distribución conocida se necesita un gran número de años [2]. Esta limitación fue una de las principales impulsoras de la búsqueda de alternativas tales como: la inferencia de los parámetros de la distribución de los valores extremos a partir de los parámetros de la distribución de la población de referencia (PR), obtenidos con un número mínimo de años, o recurrir a la valoración de un mayor número de máximos anuales (métodos POT [3], MIS [2], IMIS [4]). Estas dos alternativas también presentan problemas; la primera tiene la incapacidad de representar adecuadamente el comportamiento de los extremos en climas con presencia de más de un mecanismo meteorológico generador de fuertes vientos, y la segunda implica tomar decisiones, que pueden introducir subjetividades en el proceso, para el acondicionamiento de los valores y garantizar la independencia estadística. Dada esta situación, continúan buscándose alternativas de métodos que eliminen o minimicen la necesidad de garantizar el ajuste a un modelo probabilístico específico o de filtrar los datos iniciales (métodos XIMIS [5], ACER [6]). A la par, han surgido técnicas para tener en cuenta la presencia de climas mixtos y extender los registros iniciales de donde se extraen los extremos, principalmente. En este epígrafe se describe la evolución histórica de esos principales métodos identificados.

En 1930, se propuso la distribución Gaussiana para la predicción de las velocidades del viento de diseño a largo plazo, sin embargo, dejó de ser empleada rápidamente [7], al tomar en consideración el trabajo anterior de Fisher y Tippett [8] que mostró que si se elige de la distribución de la población de referencia, un número de n muestras, que responden a los máximos o mínimos valores de la población de referencia, la distribución de esos máximos o mínimos se aproxima a una de las tres formas (FT- I, II, III) que definen en su trabajo.

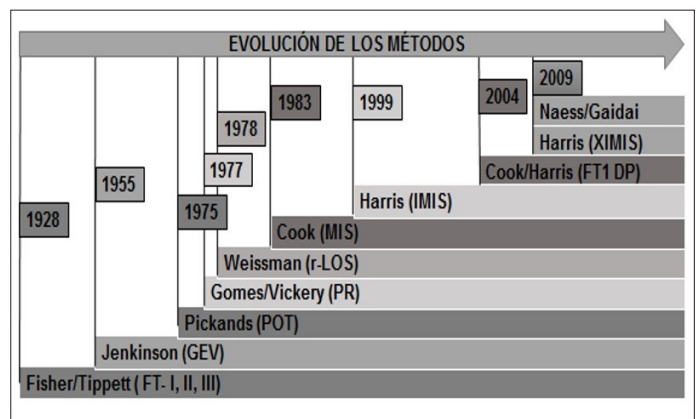


Fig. 1. Evolución histórica de los métodos para la estimación de las velocidades extremas.

En 1936 Von Mises mostró que las tres formas asintóticas (Tipo I, II, III) podían ser reducidas a una forma común, introducida por Jenkinson en 1955, que es ahora la mundialmente conocida Distribución Generalizada de Valores Extremos (GEV, siglas en inglés), que responde a la ecuación matemática (2) [5, 9].

$$F_u(U) = \exp \left\{ - \left[1 - \frac{k(U-u)}{c} \right]^{1/k} \right\} \quad (2)$$

Donde $F_u(U)$ es la función de distribución acumulada de la velocidad máxima del viento, “ k ”, es un factor de forma y “ c ” es un factor de escala. Cuando $k = 0$, la ecuación se corresponde con la distribución de Tipo I, conocida como Gumbel, cuando $k < 0$, la GEV es conocida como Tipo II o de Frechet, y cuando $k > 0$, es la de Tipo III o de Weibull.

La selección del tipo de distribución I, II o III, ha sido objeto de fuertes debates por la comunidad científica. Los ajustes hacia una distribución de Tipo I, han sido preferidos por [2, 10-14], sin embargo, Mayne [15] plantea que este tipo de distribución se ajusta de forma satisfactoria en climas bien comportados (poca variabilidad de eventos que produzcan los extremos) no así en zonas propensas al paso de ciclones tropicales donde deben hacerse otros procesos de acondicionamiento de los datos, principalmente, la separación de los extremos de acuerdo al origen meteorológico de los mismos.

Las series de máximos se construyen a partir de los valores máximos de la variable tomados a intervalos fijos de tiempo, habitualmente un año, lo cual garantiza la existencia de independencia estadística de las observaciones; por tal razón, el tamaño final de la muestra es igual al número de años del registro [16]. El empleo de las distribuciones (Tipo I, II, III) para el ajuste de esas series, es bajo el supuesto de que el número de valores con los que se cuenta para hacer el procesamiento estadístico es suficientemente elevado de manera que se minimicen los errores al asumir un comportamiento asintótico de la distribución de la variable. Esta precisamente es la principal limitación del enfoque, al tener un número restringido de extremos a incluir, un solo valor anual, se necesita contar con gran cantidad de años de registros.

En virtud de las limitaciones descritas de la GEV, la tendencia mundial ha sido buscar alternativas para el ajuste de los extremos. En el trabajo de Palutikof y Brabson [9], se refieren al enfoque que sugieren Gomes y Vickery en 1977 y que emplea posteriormente Milford en 1987 [17], para estimar las velocidades extremas de viento a partir de los parámetros de la distribución de la población completa o de referencia (PR). Para llevar a cabo este método recomiendan un mínimo de dos años de mediciones. El procedimiento consiste en calcular los parámetros de forma y escala de la distribución de Weibull de la población de referencia para cada año por separado, y luego promediar los valores encontrados. Para poder evaluar la variabilidad a largo plazo, esos parámetros

estimados deben ser ajustados por referencia, con la distribución del viento de una estación meteorológica cercana, con registros anemométricos de larga extensión. La dificultad de este método es que no trabaja bien en climas donde mecanismos fuertes, por ejemplo, ciclones, puedan no estar representados, debido a su frecuencia de ocurrencia, en los dos años seleccionados.

Debido a que los errores de muestreo pueden reducirse solo incrementando el tamaño de la muestra, han surgido métodos que utilizan más datos que un máximo anual exclusivo, como por ejemplo, los denominados *Métodos de Excedencias*. Las series de excedencia se construyen extrayendo de la serie original de la población de referencia todos aquellos valores superiores a un umbral fijado, lo que hace que el tamaño de la muestra sea variable al permitir el empleo de más de un valor anual.

Uno de los procedimientos más antiguos de este tipo es el *Método de excesos sobre el umbral* [18], establecido por Pickands en 1975 [3] y que ha sido conocido por su nombre en inglés como: *The peaks over threshold approach (POT)*. Este método plantea que la excedencia de los datos sobre un umbral tiende a ajustarse a una Distribución Generalizada de Pareto (GPD, por las siglas en inglés) y ha sido aplicado en varias investigaciones como principal método o para comparación con otros [16, 18-22]. Su principal limitación es que su aplicación tiene como aspecto subjetivo la variabilidad de valores que se le pueden asignar al umbral utilizado para la creación de la muestra de picos, y la necesidad de garantizar la independencia estadística entre cada uno de los valores involucrados.

Otro método que ha sido utilizado es el *r-LOS*, desarrollado por Weissman en 1978 [18]. Este método selecciona el mayor orden estadístico, r , en una época que generalmente es un año, para estimar los parámetros de la distribución a la que se ajustan, que, por el número pequeño de valores involucrados en comparación con los del método *POT*, proponen sea la de Poisson. Los r , deben ser eventos independientes de acuerdo con la teoría básica de valores extremos; el problema está estrictamente relacionado entonces, con la elección de ese número de elementos involucrados en el análisis. An y Pandey [23], eligieron para su estudio una $r = 5$ (cumpliendo con las recomendaciones de rango óptimo de $3 < r < 7$ propuestas por Tawn en 1988, autor que citan en su estudio), demostrando además, que este método produce resultados en concordancia con aquellos que se obtienen al aplicar el Método de las Tormentas Independientes (MIS, por las siglas en inglés para *Method of Independent Storms*).

El MIS es otro de los métodos para la obtención de valores extremos que puede ser catalogado dentro de los de excedencias; fue desarrollado por Cook en 1983 [2] y ha sido elegido por otros autores [24, 25] para implementar en el análisis de los extremos. El procedimiento que propone aumenta el número de extremos disponibles para el análisis, al tiempo que garantiza su independencia

mediante la extracción de todos los valores de la velocidad del viento que responden a tormentas independientes en las series de tiempo. Luego en este conjunto de datos se realizan búsquedas para encontrar cruces sobre o bajo un umbral fijado de la misma forma que se procede en el POT (en el caso del trabajo de Cook [2], se fijó de 5 m/s), definiendo de esta manera el inicio o fin de un período de calmas. Entre cada cruce se puede decir que existe una tormenta, que será independiente de los eventos anteriores y posteriores por la intervención de las calmas. Luego se seleccionan los valores más altos de cada tormenta y se transforman en presiones dinámicas para lograr una convergencia más rápida a una distribución asintótica de Tipo I.

Harris en 1999 [4] realizó mejoras al MIS en orden de reducir los errores sistemáticos introducidos por los estimadores de los máximos anuales de velocidades y por el procedimiento para ajustar los valores a una distribución asintótica de Tipo I dándole como nombre IMIS (*Improved Method of Independent Storms*); sin embargo, el mismo autor reconoce que su propuesta no puede ser aplicada en caso de muestras que contengan un gran número de extremos por lo que en un trabajo posterior [5], propone el XIMIS (*Extended Improved Method of Independent Storms*). Este último plantea que es adecuado para todo tipo de clima eólico, y que además puede ser aplicado no solamente para las tormentas estadísticamente independientes, sino también a los máximos diarios; todo ello posible gracias a la introducción de nuevas estrategias de ploteo usadas para modelar la distribución de la variable aleatoria [5]. Luego de este proceso, las velocidades de diseño pueden ser obtenidas por medio de una regresión matemática, sin asumir un modelo probabilístico específico.

Otro de los enfoques alternativos para el ajuste de los extremos fue propuesto por Cook y Harris [26, 27] y ha sido denominado *FT1 distribución penúltima* (FT1 DP). Este método se deriva del enfoque clásico de las distribuciones asintóticas garantizándose un mejor ajuste cuando los extremos provienen de la cola de una distribución de la población de referencia de tipo Weibull, de donde se extraen los parámetros (escala y forma) para modificar la distribución asintótica Tipo I mediante la expresión (3).

$$F_v(U) = \exp\left\{-\exp\left[-a^k(U^k - u^k)\right]\right\} \text{ con } a = \frac{1}{c} \quad (3)$$

Uno de los más modernos métodos de estimación basado en la introducción de un rango promedio de excedencia condicional fue propuesto por Naess y Gaidai [6] y posteriormente usado por Karpa y Naess [28] conocido como ACER (siglas en inglés de *Average Conditional Exceedance Rate Method*). Este método es menos restrictivo que aquellos basados en la teoría asintótica. Tiene la capacidad de captar el comportamiento subasintótico de la serie de valores, lo que es importante para la precisión de la predicción de los extremos. Una de sus principales ventajas es que no necesita requerimientos

de independencia estadística de la muestra, por lo que no hay que realizar procesos de acondicionamiento inicial de la muestra. Este enfoque presenta una restricción: tiene que ser empleado para los casos donde la distribución de Gumbel sería la distribución asintótica extrema a la que se ajustarían los datos apropiadamente. De acuerdo con estudios realizados por esos autores, basados en datos de estaciones meteorológicas y simulación numérica de series de viento, este método es más consistente y preciso en la estimación de los valores extremos que otros métodos tales como el POT y la GEV.

ESTRATEGIAS DE ACONDICIONAMIENTO O EXTENSIÓN DE LAS SERIES DE EXTREMOS

En conjunción con la evolución de los métodos, han aparecido algunas alternativas para el acondicionamiento de las series de extremos o la extensión de las mismas. El objetivo de estas técnicas es producir modelos que se acerquen en lo posible, al comportamiento estadístico del viento climático, siendo capaces de representar la existencia de diferentes eventos meteorológicos generadores de vientos máximos con la menor cantidad de años de registro posible.

Acondicionamiento

Las predicciones de la velocidad de viento extremo se hacen normalmente de un análisis de todo el conjunto de extremos en el sitio; pero puede ser útil tener en cuenta los datos establecidos por la direccionalidad o estacionalidad [9] para lograr una mejor caracterización estadística, en dependencia del tipo de estudio que se esté realizando. Si varios mecanismos meteorológicos: sistemas extra-tropicales de bajas presiones, tormentas descendentes (*thunderstorms*, en inglés), huracanes, tornados, etc., pueden presentarse en un mismo territorio y son los responsables de los valores extremos, o sea, un clima mixto, y si esos eventos no se presentasen convenientemente separados por temporada o dirección, dado que en una misma estación climática y/o dirección predominante del viento pudieran coexistir más de un tipo de mecanismo, entonces sería necesario hacer una partición sobre la base de los propios eventos meteorológicos. La partición permitiría que el análisis se centrara en un único mecanismo a la vez, para posteriormente combinar las probabilidades de ocurrencia. Si se hiciese el análisis con el conjunto de datos mezclados, en dependencia de las características climáticas de cada sitio, se podrían introducir errores de estimación en el ajuste de los valores mediante alguno de los métodos de extremos establecidos. Esto es debido a que cada tipo de mecanismo meteorológico subyacente presenta características climáticas particulares de formación, con períodos de recurrencia diferentes y velocidades máximas distintas, por lo que si en el número de años que se tiene para el análisis hay mayor presencia de un tipo de mecanismo que de otro, o no se tuvo en

cuenta algún evento por tener velocidades inferiores que los demás de diferente origen, se estaría falseando el ajuste.

En cuanto a la separación de los datos por sectores direccionales un trabajo de referencia es el de Moriarty y Templeton en 1983 [29]. Estos autores clasificaron las velocidades máximas de ráfagas por seis sectores direccionales y realizaron análisis individuales de tipo Gumbel por cada uno. Cook en 1982 [2] también realizó un análisis direccional aplicando el MIS como método de obtención de las velocidades extremas, encontrando que no se lograron variaciones significativas en comparación con el análisis sin tener en cuenta la dirección de ataque del viento.

Un trabajo más reciente sobre esta temática es el de Kasperski en 2007 [30], el cual propone que la probabilidad de exceder determinada velocidad de viento en un sector específico, ϕ , es obtenida mediante la expresión (4):

$$p(v > v_{ref} : \phi) = p(v > v_{ref}) \cdot f_{ref}(\phi)$$

donde:

$p(v > v_{ref})$: Probabilidad de excedencia basada en el ensamblaje completo de los extremos.

$f_{ref}(\phi)$: Frecuencia relativa de los extremos en el sector seleccionado.

La separación por estaciones climáticas ha sido también empleada para estimar los extremos en climas mixtos. La estacionalidad se usa para describir una variación en una estación, dentro de la mezcla de los mecanismos meteorológicos subyacentes y sus correspondientes distribuciones de velocidad del viento [9]. En este enfoque se realiza un modelo de ajuste separado para cada temporada basado en alguno de los métodos de extremos existentes (GEV, POT, MIS). De acuerdo con Cook [24], el MIS [2], es adecuado para realizar esta separación estacional.

Los estudios sobre el tratamiento de los extremos en climas mixtos por separación de acuerdo con el tipo de mecanismo generador del extremo, tienen como exponente inicial el trabajo de Gomes y Vickery de 1978 [31]. Basado en ese trabajo pionero, otros autores [11, 21, 30, 32-34] han hecho uso y ajustado la metodología de separación y acondicionamiento; sin embargo, el concepto sigue siendo el mismo: filtrar los datos de acuerdo con el tipo de evento, obtener su probabilidad individual y luego combinar mediante la regla de multiplicación los análisis individuales y hallar la probabilidad conjunta.

Los estudios iniciales de Gomes y Vickery [31], así como textos más recientes [22, 35, 36] plantean que los modelos de vientos extremos basados en conjuntos de datos mezclados de diferentes orígenes, tienden a producir resultados incorrectos o poco conservadores.

Estas distribuciones resultantes han sido usualmente confundidas con la distribución de Frechet o Tipo II.

Extensión de las series

Por razones estadísticas y meteorológicas, mientras mayor sea la serie de datos de velocidad de viento disponible, mayor será la precisión con la cual se determinen los valores extremos. A pesar del debate que ha existido desde la década de los años 30 del pasado siglo, sobre cuál de los métodos de valores extremos es más eficiente para la distribución de los vientos máximos anuales, la comunidad científica coincide en que la cantidad de observaciones reales con frecuencia no tiene la longitud suficiente como para garantizar la satisfactoria caracterización estadística; por lo que han surgido alternativas para extender las series de datos de viento.

Una de las estrategias que han sido empleadas es conocida como la técnica de las *Súperestaciones*, introducida por Peterka en 1992 [37]. Fue implementada para un conjunto de mediciones de diferentes anemómetros del medio oeste de los Estados Unidos, con el objetivo de reducir los errores muestrales asociados generalmente a registros cortos. Peterka conformó un equivalente a 924 años en una sola estación, provenientes de 29 estaciones individuales, y luego realizó un ajuste de los datos a una distribución de Gumbel o Tipo I. Este tipo de enfoque puede ser realizado cuando se tienen estaciones meteorológicas en regiones con características climatológicas homogéneas. Torrielli [38] hace uso de esta técnica en la combinación de datos de tres estaciones de Italia para estimar los parámetros de la distribución de la población de referencia de velocidades medias, con resultados satisfactorios en comparación con los enfoques tradicionales. Simiu [39] plantea que se debe prestar especial atención a la caracterización del clima de la región de la súperestación, debiéndose satisfacer que: las estaciones componentes de la súperestación deben ser comparables en términos micro y macro-meteorológicos, los datos de cada estación componente deben ser mutuamente independientes y una estación no debe ser empleada como componente en más de una *súperestación*.

Otra de las técnicas reconocidas para la extensión, es la generación de datos sintéticos a partir de registros cortos que permitan inferir y extrapolar las características estadísticas a la nueva serie ampliada. La simulación numérica por diversas técnicas es empleada en estos casos. El principal objetivo del análisis de las series temporales simuladas es desarrollar modelos que permitan ofrecer una descripción adecuada de un fenómeno continuo en el tiempo a partir de los datos discretos de cierta muestra (producto de las restricciones inherentes al método de recolección de los datos). Los componentes de esa muestra, pueden ser definidos como variables aleatorias recopiladas en determinado tiempo, por lo que usualmente se refiere a este fenómeno

como proceso estocástico. Esta idea distingue a las series temporales de la estadística clásica que asume la completa independencia del tiempo [40].

En el artículo de Kareem del 2008 [41], se puso en evidencia que en las últimas décadas ha existido un notable progreso de las técnicas de simulación de procesos gaussianos (aquellos relacionados con la simulación de la componente turbulenta del viento, que sigue una distribución de probabilidad Normal), y que no ha sido de igual forma para aquellos procesos no-gaussianos (por ejemplo la simulación de la componente media del viento); no obstante, existen varios trabajos que versan sobre la temática [18, 38, 42-49]. Con la necesidad de estimar las velocidades extremas de sitios escogidos para la instalación de parques eólicos de los cuales normalmente se tienen menos de 5 años de registros, se ha visto incrementado particularmente, el empleo de la simulación de series sintéticas de velocidades medias para realizar los posteriores análisis energéticos o extremos [50-53].

TRATAMIENTO NORMATIVO DE LAS VELOCIDADES BÁSICAS. NORMA CUBANA

Las normativas de cálculo de estructuras ante la acción del viento de forma general no ofrecen mucha información sobre el método de extremos aplicado para la determinación de sus velocidades o presiones básicas. De acuerdo con el estudio de Yaojun Ge, Xinyang Jin y Shuyang Cao [1], la distribución de Gumbel para un período de retorno de 50 años es el enfoque más asistido por las normativas. A esta misma conclusión se puede arribar con el estudio que hace Holmes en su libro *Wind Load of Structures* [3] de diferentes normativas, siendo Gumbel la distribución que predomina, seguida de la de Frechet. La norma canadiense, NBCC [54], es una de las que hace uso de esta metodología. En su actualización del año 2010, propuso una división regional exhaustiva aumentando en 500 estaciones de superficie el análisis estadístico desarrollado, en comparación con la versión antecesora, dando lugar a una pormenorizada caracterización zonal de los extremos. En comparación con el código que derogó, vigente desde 1961, aumentó además la cantidad de años a procesar. En la primera versión se tuvieron en cuenta entre 10 y 22 años (dependiendo de la estación), con fecha final en 1950, mientras que en la actualización hasta el 2010, se tomaron estaciones con 58 años de registros.

En la normativa internacional para el cálculo de la acción del viento sobre las estructuras, ISO 4354 del 2009 [55], se asevera también que muchos de los códigos vigentes están basados en los métodos que utilizan un único valor anual; sin embargo, plantea que este enfoque es válido para regiones con climas simples, y que puede contener datos irrelevantes o rechazar otros que son de validez en aquellos climas donde coexisten varios mecanismos generadores de los extremos. Por ello se propone para

esos casos, el acondicionamiento de los datos de acuerdo con los tipos de tormentas, tal como fue planteado por Gomes y Vickery en 1978 [31].

La mayoría de los países que se encuentran ubicados geográficamente en las zonas planetarias que presentan amenaza de ocurrencia de huracanes, (figura 2), han adoptado en sus normativas de cálculo [56-60] ante los efectos del viento consideraciones especiales para la obtención de las velocidades básicas. Esas consideraciones responden a las particularidades de los regímenes de clima de cada sitio, pero tienen en común la diferenciación del análisis estadístico para tomar en cuenta el aumento considerable de las velocidades, que generan este tipo de evento meteorológico. Las normas que se recogen a continuación, son de países que se encuentra en esas áreas geográficas.

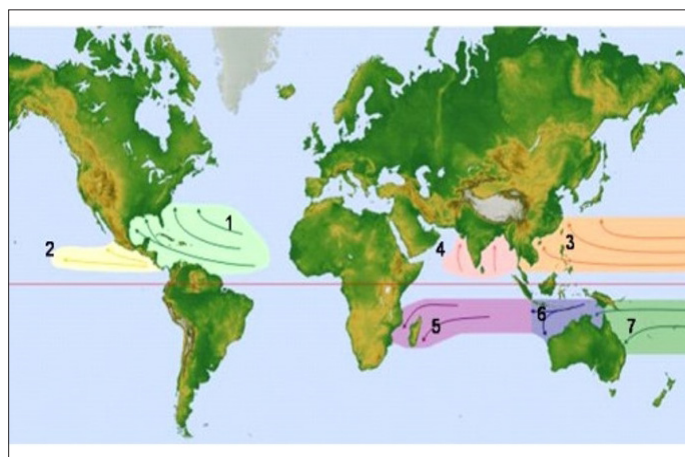


Fig. 2. Zonas geográficas de formación de huracanes: 1. Cuenca Atlántico; 2, 3. Noroeste de la Cuenca Pacífico; 4. Norte del océano Índico; 5. Suroeste del océano Índico; 6. Suroeste de la Cuenca indo/australiana, 7; Cuenca australiana/suroeste del Pacífico.

En la normativa para Australia y Nueva Zelanda, AS/NZS1170.2-2011 [56], territorios de climas mixtos, se hace distinción en un mapa de viento entre las regiones propensas a ser afectadas por ciclones y las que no lo son. Para cada caso ofrece un modelo de estimación de la velocidad básica aunque no precisa por cuál de los métodos explicados con anterioridad fueron obtenidos; no obstante, se observa la intencionalidad de diferenciar o separar el análisis en función del clima dominante en la localización de estudio. Este mismo enfoque se sustenta en la normativa estadounidense, ASCE7-2010 [57]. Ese código plantea tres mapas de velocidades básicas, obtenidos a partir de una regionalización del territorio de EUA en función de tres categorías de riesgo de acuerdo con los análisis estadísticos desarrollados. Para las regiones propensas a la ocurrencia de ciclones pueden utilizarse los datos de esos mapas; sin embargo, permite el tratamiento específico de un emplazamiento mediante las técnicas de simulación actualizadas para extender

los registros originales, siempre que se respeten los requerimientos de la estadística de extremos que se especifica en la norma.

En el ACS del 2003 [58], código del Caribe, región que también es propensa a la ocurrencia de huracanes pero donde coexisten otros mecanismos meteorológicos generadores de extremos, se enuncia el enfoque de separación de los extremos de la misma forma en que aparece descrito en el ASCE7-2010 [57]. El ACS, es el código vigente utilizado por aquellos países caribeños en donde no hay una normativa específica; en el mismo, a pesar de la mención a la particularidad del análisis de los extremos en las regiones ciclónicas, la información es somera.

En estudio de Tamura [59], publicado antes de que se presentara la versión vigente de la norma japonesa AIJ-RLB de 2004, especifica que en esa normativa las velocidades básicas que se establecen en su mapa de viento fueron obtenidas mediante un análisis que tuvo en cuenta la separación de los tifones (huracanes) de aquellos otros eventos meteorológicos sinópticos. Declara que el ajuste de los vientos provenientes de los tifones se hizo de una manera más exacta mediante la simulación numérica aplicando la técnica de Monte Carlo, mientras que para el ajuste de los vientos sinópticos se utilizaron solamente los datos de las estaciones meteorológicas de superficie existentes en los distintos territorios. Posterior al análisis individual se combinaron ambas probabilidades.

La normativa de la India IWC de 2012 [60] presenta un enfoque diferente con relación a la toma en consideración del incremento de las velocidades básicas debido a los huracanes. Para el diseño común (zonas sin amenaza de huracán) las velocidades básicas están planteadas de acuerdo con un mapa de vientos. Posteriormente estas velocidades se incrementan por un factor que tiene en cuenta la importancia de la estructura para regiones donde sí hay ocurrencia de huracanes, que puede tomar el valor máximo de 1,3. En el texto de la norma no se referencia ni especifica cómo fueron obtenidos el mapa o el factor.

Cuba, como parte de los países incluidos en la región del Caribe, tiene un clima mixto. De acuerdo con Vega *et al.* [61] en el territorio nacional los principales sistemas que originan los vientos máximos son: los sistemas extratropicales, los sistemas frontales, las tormentas locales severas, los organismos ciclónicos tropicales o subtropicales y las altas presiones, siendo los sistemas extratropicales, las tormentas locales severas y los organismos ciclónicos los de mayor generación de extremos. Cada uno de estos eventos tiene características energéticas diferentes, por lo tanto, también probabilidades de ocurrencia y períodos de retorno diferentes.

A diferencia de muchas de las islas caribeñas, Cuba cuenta con una normativa específica, la NC 285:2003 [62]. Esta

normativa tiene sus antecedentes en la NYRCO (Normas y reglamentos de la construcción) del año 1973, en 1978 aparece como NC (Norma Cubana) por primera vez con el código de NC 053-04, y a partir de ese momento ha sufrido actualizaciones en 1983, 1990 y 2003 (versión vigente) [63].

La NC 285:2003, divide al país en tres regiones (Occidente, Centro y Oriente) para las cuales brinda un valor de presión básica del viento, calculado a partir de la velocidad básica promedio en 10 min., para un periodo de recurrencia de 50 años. La normativa en sí, no manifiesta ninguna información sobre cuál fue el método de extremos empleado para la obtención de las presiones básicas, sin embargo, en la tesis doctoral de Llanes Burón [64] se fundamenta que en la norma de 1983 las presiones básicas fueron obtenidas de un ajuste de las velocidades mediante la distribución asintótica de Tipo II, o Frechet. En las normas sucesoras, 1990 y 2003 se actualizaron los valores sumando años al análisis a través de la misma metodología [63]. En ninguno de estos códigos antecesores ni en el vigente se plantea que fueron diferenciados los vientos de acuerdo con su origen, lo que en virtud de la bibliografía especializada en la temática [11, 21, 30, 32-34] tiende a producir resultados incorrectos tales como confundir la distribución más aproximada a los datos reales con la distribución de Frechet.

CONCLUSIONES

Del análisis de las referencias históricas, las que iniciaron la teoría extrema, así como los trabajos más actualizados en la temática puede concluirse que:

- Aunque la aplicación de los métodos de análisis de extremos que contemplan un único valor anual y se basan en la convergencia asintótica de los valores hacia una de las tres distribuciones de la Generalizada de Valores Extremos (Gumbel, Frechet o Weibull) no implica la necesidad de filtrar los datos para garantizar la independencia estadística mediante métodos que introducen subjetividad al análisis, existen errores sistemáticos dado que los registros, de forma general, no son lo suficientemente largos. Este método no es recomendable en regiones con climas mixtos donde en años consecutivos los extremos pueden deberse a mecanismos meteorológicos diferentes.
- Dentro de las distribuciones asintóticas la Tipo I, o de Gumbel, es la que ha sido preferida por varios autores [2, 10-14] para condicionar el ajuste de los valores de viento extremo aplicando técnicas como el tratamiento de la presión, en lugar de la velocidad para acelerar la convergencia de los datos.
- Los métodos como: r-LOS, POT, MIS tienen la ventaja de permitir seleccionar más puntos de una serie de datos, con la superioridad de que los errores

sistemáticos deben ser inferiores a los obtenidos de un análisis de máximos anuales realizado en el mismo conjunto de datos. Sin embargo, se requiere la toma de decisiones por parte del usuario para poner en práctica estos métodos como por ejemplo: elegir el umbral o la distancia de separación entre máximos, lo que introduce subjetividad al análisis.

- Para climas donde los máximos provienen de más de un tipo de fenómeno atmosférico, se debe realizar una partición de los datos de viento, ya sea de acuerdo con la estación del año, la magnitud del evento atmosférico (gran escala o pequeña escala), o al tipo de mecanismo meteorológico en específico. Se recomienda de acuerdo con varias fuentes [11, 21, 30, 32-34] aplicar la teoría inicial de Gomes y Vickery [31] o las mejoras a la misma que proponen principalmente Choi y Tanurdjaja [32].
- La simulación como técnica de extensión de las series de datos, de acuerdo con la cantidad de trabajos actualizados que la proponen con resultados satisfactorios, merece ser evaluada para los casos donde se cuente con pocos años para realizar cualquiera de los análisis extremos más conocidos.
- Del estudio de la evolución de los métodos para la obtención de las velocidades básicas partiendo de los extremos, así como de la consulta con normativas de referencia internacional en regiones con características climáticas semejantes a las cubanas, se deriva la necesidad de profundizar en el estudio de las velocidades básicas de viento en Cuba.

REFERENCIAS

1. **YAOJUN, Ge; XINYANG, Jin; CAO, S.** "Comparison of APEC wind loading codification and revision of Chinese National Code". In Proceedings of 6th workshop on regional harmonization of wind loading and wind environmental specifications in Asia-Pacific economies, Korea, 2010.
2. **COOK, N.J.** "Towards better estimation of extreme winds". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1982, vol 9, núm. 3, pp. 295-323. ISSN: 0167-6105. Disponible en: doi:10.1016/0167-6105(82)90021-6.
3. **PICKANDS, J.** "Statistical inference using extreme order statistics". *The Annals of Statistics*. 1975, vol. 3, núm. 1, pp. 119-131. ISSN: 0090-5364.
4. **HARRIS, R. I.** "Improvements to the Method of Independent Storms". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1999, vol. 80, núm.1-2, pp. 1-30. ISSN: 0167-6105. Disponible en: doi:10.1016/S0167-6105(98)00123-8.
5. **HARRIS, R. I.** "XIMIS, a penultimate extreme value method suitable for all types of wind climate". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2009, vol. 97, núm. 5-6, pp. 271-286. ISSN: 0167-6105. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2009.06.011>.
6. **NAESS, A.; GAIDAI, O.** "Estimation of extreme values from sampled time series". *Structural Safety*. 2009, vol. 31, núm. 4, pp. 325-334. ISSN: 0167-4730. Disponible en: doi:10.1016/j.strusafe.2008.06.021.
7. **HOLMES, Jhon D.** *Wind loading of structures*. second edition, 2007, Taylor & Francis, e-Library, 420 pp. ISBN: 0-415-40946-2.
8. **FISHER, R. A.; TIPPETT, L.H.C.** "Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest members of a sample". In Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, 1928, vol. 24, pp. 180-190.
9. **PALUTIKOF, J.P. et al.** "A review of methods to calculate extreme wind speeds". *Meteorol. Appl.*, 1999, vol. 6, pp. 119-132. ISSN 1469-8080. Disponible en: doi:10.1017/S1350482799001103.
10. **COOK, N.J.; PRIOR, M. J.** "Extreme wind climate of the United Kingdom". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1987, vol. 26, pp. 371-389. ISSN: 0167-6105.
11. **COOK, N.J.; HARRIS, R. Ian; WHITING, R.** "Extreme wind speeds in mixed climates revisited". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2003, vol. 91, núm.3, pp. 403-422. ISSN: 0167-6105. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-6105\(02\)00397-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-6105(02)00397-5).
12. **HARRIS, R. I.** "Extreme value analysis of epoch maxima—convergence, and choice of asymptote". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2004, vol. 92, núm. 11, pp. 897-918. ISSN: 0167-6105. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2004.05.003>.
13. **CHIODI, R.; RICCIARDELLI, F.** "Three issues concerning the statistics of mean and extreme wind speeds". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2014, vol. 125, núm. 0, pp. 156-167. ISSN: 0167-6105. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2013.12.009>.
14. **YAO, Z.; XIAO, J.; JIANG, F.** "Characteristics of daily extreme-wind gusts along the Lanxin Railway in Xinjiang, China". *Aeolian Research*. 2012, vol. 6, pp. 31-40. ISSN: 1875-9637. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aeolia.2012.07.002>.
15. **MAYNE, J. R.** "The estimation of extreme winds". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1979, vol. 5, núm. 1-2, pp. 109-137. ISSN: 0167-6105. Disponible en: doi:10.1016/0167-6105(79)90027-8.
16. **UDRÍZAR LEZCANO, M. S.; DE BÓRTOLI, M. E.; MARIGHETTI, J. O.** "Análisis de métodos de determinación de vientos extremos". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, AVERMA*,

- Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*. 2011, vol. 15, pp. 06.31-06.38. ISSN:0329-5184.
17. **MILFORD, R. V.** "Annual maximum wind speeds from parent distribution function". *Journal of Wind Engineering and Aerodynamics*. 1987, vol. 25, pp. 163-178. ISSN: 0167-6105. Disponible en: doi:10.1016/0167-6105(87)90014-6.
 18. **TORRIELLI, A.; REPETTO, M.P.; SOLARI, G.** "Extreme wind speeds from long-term synthetic records". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2013, vol. 115, núm. 0, pp. 22-38. ISSN: 0167-6105. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2012.12.008>
 19. **SIMIU, E.; HECKERT, N. A.** "Extreme wind distribution tails: A peak over threshold approach". *Journal of Structural Engineering*. 1996, vol. 122, pp. 539-547. ISSN: 0733-9445. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1996\)122:5\(539\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1996)122:5(539)).
 20. **HOLMES, J. D.** "Effective static load distributions in wind engineering". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2002, vol. 90, pp. 91-109. ISSN: 0167-6105. Disponible en: doi:10.1016/S0167-6105(01)00164-7.
 21. **KRUGER, A.C.; RETIEF, J. V.; GOLIGER, A. M.** "Strong winds in South Africa: Part 1 Application of estimation methods". *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*. 2013, vol. 55, pp. 29-45. ISSN:1021-2019. Disponible en: http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-20192013000200005&nrm=iso
 22. **LOMBARDO, F. T.; MAIN, J. A.; SIMIU, E.** "Automated extraction and classification of thunderstorm and non-thunderstorm wind data for extreme-value analysis". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2009, vol. 97, núm. 3-4, pp. 120-131. ISSN: 0167-6105. Disponible en: doi:10.1016/j.jweia.2009.03.001.
 23. **AN, Y.; PANDEY, M. D.** "A comparison of methods of extreme wind speed estimation". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2005, vol. 93, núm. 7, pp. 535-545. ISSN: 0167-6105. Disponible en: doi:10.1016/j.jweia.2005.05.003.
 24. **COOK, N. J.** "Note on directional and seasonal assessment of extreme winds for design". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1983, vol. 12, núm. 3, pp. 365-372. ISSN: 0167-6105. Disponible en: doi:10.1016/0167-6105(83)90057-0.
 25. **LASSIG, J. L.; PALESE, C.; APCARIAN, A.** "Vientos Extremos en la provincia de Neuquén". *Meteorológica*. 2011, vol. 36, núm. 2, pp. 83-93. ISSN 1850-468X. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-468X2011000200003.
 26. **COOK, N. J.; HARRIS, R. I.** "Exact and general FT1 penultimate distributions of extreme wind speeds drawn from tail-equivalent Weibull parents". *Structural Safety*. 2004, vol. 26, núm. 4, pp. 391-420. ISSN: 0167-4730. Disponible en: doi:10.1016/j.strusafe.2004.01.002.
 27. **COOK, N. J.; HARRIS, R. I.** "Postscript to Exact and general FT1 penultimate distributions of extreme wind speeds drawn from tail-equivalent Weibull parents". *Structural Safety*. 2008, vol. 30, núm.1, pp. 1-10. ISSN: 0167-4730. Disponible en: doi:10.1016/j.strusafe.2006.04.001.
 28. **KARPA, O.; NAESS, A.** "Extreme value statistics of wind speed data by the ACER method". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2013, vol. 112, núm. 0, pp. 1-10. ISSN:0167-6105. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2012.10.001>.
 29. **MORIARTY, W. W.; TEMPLETON, J. I.** "On the estimation of extreme wind gusts by direction sector". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1983, vol. 13, núm. 1-3, pp. 127-138. ISSN: 0167-6105. Disponible en: doi:10.1016/0167-6105(83)90135-6.
 30. **KASPERSKI, M.** "Design wind loads for a low-rise building taking into account directional effects". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2007, vol. 95, núm. 9-11, pp. 1125-1144. ISSN:0167.6105. Disponible en: doi:10.1016/j.jweia.2007.01.019.
 31. **GOMES, L.; VICKERY, B. J.** "Extreme wind speeds in mixed wind climates". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1978, vol. 2, p. 13. ISSN: Disponible en: doi:10.1016/0167-6105(78)90018-1.
 32. **CHOI, E. C. C.; TANURDJAJA, A.** "Extreme wind studies in Singapore. An area with mixed weather system". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2002, vol. 90, núm. 12-15, pp. 1611-1630. ISSN: 0167-6105. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-6105\(02\)00274-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-6105(02)00274-X).
 33. **CHOI, E. C. C.** "Extreme wind characteristics over Singapore – an area in the equatorial belt". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1999, vol. 83, núm. 1-3, pp. 61-69. ISSN: 0167-6105. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-6105\(99\)00061-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-6105(99)00061-6).
 34. **COOK, N. J.** "Confidence limits for extreme wind speeds in mixed climates". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2004, vol. 92, núm. 1, pp. 41-51. ISSN:0167-6105. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2003.09.037>.
 35. **TAMURA, Y.; KAREEM, A.** *Advanced Structural Wind Engineering*. Japan, 2013, Springer, p. 410. ISBN: 978-4-431-54337-4 (eBook).
 36. **HOLMES, J.; CRAIG, M.; MIKITUUK, M.** "Extreme wind climatology of North Dakota – an example of storm type separation using ASOS 1-minute data". In 11th Americas Conference on Wind Engineering, 2009, San Juan, Puerto Rico.
 37. **PETERKA, J. A.** "Improved extreme wind prediction for the United States". *Journal of Wind Engineering*

- and Industrial Aerodynamics. 1992, vol. 41, núm. 1-3, pp. 533-541. ISSN:0167-6105. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/0167-6105\(92\)90459-N](http://dx.doi.org/10.1016/0167-6105(92)90459-N).
- 38. TORRIELLI, A.** "Long term simulation and reliability analysis of structures subjected to the wind action". Advisor: Prof. Giovanni Solari, Dr. Maria Pia Repetto. PhD. Thesis, Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio, Università degli Studi di Genova, Italia, 2011.
- 39. SIMIU, E.** *Design of Buildings for Wind*. 2nd. edition, 2011, John Wiley & Sons, Inc. p. 352. ISBN: 978-0-470-46492-2.
- 40. SHUMWAY, R. H.; STOFFER, D. S.** *Time Series Analysis and Its Applications*. 3th. edition, 2011, Springer Texts in Statistics, p. 506. ISBN: 978-1-4419-7864-6.
- 41. KAREEM, A.** "Numerical simulation of wind effects: A probabilistic perspective". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2008, vol. 96, núm. 10-11, pp. 1472-1497. ISSN: 0167-6105. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2008.02.048>.
- 42. MASTERS, J. F.; GURLEY, K.** "Non-Gaussian Simulation: Cumulative Distribution Function Map-Based Spectral Correction". *Journal of Engineering Mechanics*. 2003, vol. 129, núm. 12, pp. 1418-1428. ISSN:0733-9399. Disponible en: [doi:10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2003\)129:12\(1418\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2003)129:12(1418)).
- 43. MASTERS, F. J.** "Modeling and Simulation Of Ground-Level Tropical Cyclone Winds". Doctoral dissertation, University of Florida, Florida, EUA, 2004.
- 44. HARRIS, R. I.** "A simulation method for the macro-meteorological wind speed and the implications for extreme value analysis". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2014, vol. 125, núm. 0, pp. 146-155. ISSN: 0167-6105. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2013.12.003>.
- 45. CHENG, E. D. H.; CHIU, A. N. L.** "Extreme winds generated from short records in a tropical cyclone-prone region". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1988, vol. 28, núm. 1-3, pp. 69-78. ISSN:0167-6105. Disponible en: [doi:10.1016/0167-6105\(88\)90103-1](https://doi.org/10.1016/0167-6105(88)90103-1).
- 46. CHENG, E. D. H.; CHIU, A. N. L.** "Short-Record' Based Extreme Wind Simulation". *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. 1994, vol. 99, núm. 4, pp. 7. ISSN:1044-677X. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.6028/jres.099.037>.
- 47. GEORGIU, P. N.; DAVENPORT, A. G.; VICKERY, B. J.** "Design wind speeds in regions dominated by tropical cyclones". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1983, vol. 13, núm. 1-3, pp. 139-152. ISSN: 0167-6105. Disponible en: [doi:10.1016/B978-0-444-42340-5.50019-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42340-5.50019-1).
- 48. DELAUNAY, D.** "Extreme wind speed distributions for tropical cyclones". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1988, vol. 28, núm.1-3, pp. 61-68. ISSN: 0167-6105. Disponible en: [doi:10.1016/0167-6105\(88\)90102-X](https://doi.org/10.1016/0167-6105(88)90102-X).
- 49. MATSUI, M.; ISHIHARA, T.; HIBI, K.** "Directional characteristics of probability distribution of extreme wind speeds by typhoon simulation". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2002, vol. 90, núm. 12-15, pp. 1541-1553. ISSN: 0167-6105. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-6105\(02\)00269-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-6105(02)00269-6).
- 50. DING, J. M.** "Extreme Response and Fatigue Damage Analysis of Wind Excited Structures Considering Non-Gaussian Load Effects". Doctoral dissertation, in Department of Civil and Environmental Engineering, Texas Tech University, Texas, USA, 2014.
- 51. PETRINI, F.** "A probabilistic approach to Performance-Based Wind Engineering (PBWE)". Advisor: Prof. Franco Bontempi, Prof. Giuliano Augusti. PhD. Thesis, in Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università degli Studi di Roma La Sapienza; Roma, Italia, 2009.
- 52. ANASTASIADIS, G.; MCSHARRY, P. E.** "Extreme value analysis for estimating 50 year return wind speeds from reanalysis data". *Wind Energy*. 2013, vol. 17, núm. 8, pp. 1231-1245. ISSN:1099-1824. Disponible en: [10.1002/we.1630](https://doi.org/10.1002/we.1630).
- 53. TURNER, R. et. al.** "Creating Synthetic Wind Speed Time Series for 15 New Zealand Wind Farms". *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2011, vol. 50, núm. 12, pp. 2394-2409. ISSN:1558-8424. Disponible en: [10.1175/2011jamc2668.1](https://doi.org/10.1175/2011jamc2668.1).
- 54. NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA.** "National Building Code of Canada, Volume 2". NBCC, pp. 76, Canada, 2010.
- 55. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.** "Wind action on structures". ISO 4354. Geneva, Switzerland, 2008.
- 56. AUSTRALIAN/NEW ZELAND STANDART.** "Structural Design actions, Part 2: Wind Actions". AS/NZS1170.2-2011, pp. 98. Australia, New Zeland, 2011.
- 57. AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS.** "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures". ASCE7-10, p. 658, United States of America, 2010.
- 58. ASSOCIATION OF CARIBBEAN STATES.** "Model building code for wind loads". ACS, p. 97, Association of Caribbean States, 2003.
- 59. TAMURA, Y.** "Wind resistant design of tall buildings in Japan". In Proceedings of 11th International Conference on Wind Engineering, United States of America, 2003.
- 60. INDIAN WIND CODE.** "IS: 875 (Part 3): Wind Loads on Buildings and Structures-Proposed draft & Commentary. Document No: IITK GSDMA-Wind 02-V 50". IWC, p.105, India. 2012.

61. **VEGA GONZÁLEZ, R. et. al.** "Actualización de la modelación estadística del régimen de velocidad máxima del viento en la región occidental de Cuba". *Revista Cubana de Meteorología*. 1999, vol. 6, núm. 1, pp. 11-14. ISSN: 0-864-151-X.
62. **OFICINA DE NORMALIZACIÓN.** "Carga de viento. Método de cálculo". NC-285, p. 67, La Habana, Cuba, 2003.
63. **BLANCO HEREDIA, R.C.; LLANES BURÓN, C.** "Es la Norma Cubana NC 285:2003, pertinente para las cargas de viento que se desarrollan en la actualidad". *Revista de Arquitectura e Ingeniería*. 2011, vol. 5, núm. 1, pp. ISSN: 1990-8830.
64. **LLANES BURÓN, C.** "Wind effects in building analysis". Advisor: Prof. Vladimir Kristek. PhD. Thesis, in Faculty of Civil Engineering, Technical University of Prague-CVUT, Prague, 1985.

AUTORES

Ingrid Fernández Lorenzo

Ingeniera Civil, Máster en Reducción de Desastres, Profesora Asistente, Departamento de Estructuras, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Vivian Beatriz Elena Parnás

Ingeniera Civil, Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular, Departamento de Estructuras, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Analysis of Extreme Winds Methods for Calculate Basic Velocities

Abstract

Determination of wind loads has a special significance on structural design. These loads have as a basic point the wind basic velocity obtained through a statistic analysis of extreme values. Methods and mainly factors to estimate this basic velocity have been the objective of many investigations along the last 5 decades, with an improvement of estimated values by including years of data, wind directions, types of wind sources, etc. At Cuban territory, where the wind action is the main load to be considered in most of civil constructions, and since the factor of mixed climate could introduce variations on wind extreme velocity estimations the actualization of conventional methods has an special significance. This article describes methods in estimation of wind basic velocities and their evolution through the last decades. At the same time, a review of the applications of methods in some of the most relevant standards and wind codes for hurricanes zones is made and compared with the cuban code of wind action on structures. The main conclusion achieved is the requirement of actualization of cuban code NC 285:2003 according the most recent developments on this field.

Key words: basic velocity, extreme winds, wind codes