

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE LAS CURVAS DE
VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO, PARA EL
CÁLCULO DE LA ACCIÓN EÓLICA EN EL ESTADO
ANZOÁTEGUI, VENEZUELA**

Realizado por

Genesaret J. Carrasquel

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito para
optar al Título de:

INGENIERO CIVIL

Cantaura, junio de 2024

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE LAS CURVAS DE
VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO, PARA EL
CÁLCULO DE LA ACCIÓN EÓLICA EN EL ESTADO
ANZOÁTEGUI, VENEZUELA**

Prof. Jesús Álvarez

Asesor Académico

Cantaura, junio de 2024

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE LAS CURVAS DE
VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO, PARA EL
CÁLCULO DE LA ACCIÓN EÓLICA EN EL ESTADO
ANZOÁTEGUI, VENEZUELA**

El Jurado hace constar que asignó a esta tesis la calificación de:

APROBADO

Prof. Gabriela Prado
Jurado Principal

Prof. Eber Triana
Jurado Principal

Cantaura, junio de 2024

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado de la universidad de oriente.

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario, para su autorización”.



DEDICATORIA

Con profunda gratitud a mi Dios eterno por ser la fuente inagotable de fuerza en todo este camino, a mis abuelos por su amor y perseverancia.

IN MEMORIAM

En honor a mi tío Omar por su inmenso amor, enseñanzas y paciencia desde mis primeros pasos en la escuela. Aunque ya no estes físicamente conmigo tus recuerdos viven en mí.

AGRADECIMIENTO

Agradezco por encima de todos a mi buen Dios Jehová por guiarme en cada paso y no permitir que desistiera de mi sueño.

A mi amada madre por confiar en mí inclusive en momentos donde ni yo lo hacía, por haberme mostrado el camino de la superación y la confianza en mí misma, sin duda alguna sin ella nada de esto hubiera acontecido.

A mis hermanos por el apoyo incondicional a lo largo de este camino estudiantil.

A mi novio por la paciencia, motivación y amor a lo largo de este trabajo.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



Autor (a): Genesaret Carrasquel
Tutor Académico: Álvarez, Jesús
Año 2024

**ELABORACIÓN DE CURVAS DE VELOCIDAD BÁSICA DE VIENTO DEL
ESTADO ANZOÁTEGUI PARA EL CÁLCULO DE LA ACCIÓN EÓLICA
BAJA LA NORMA COVENIN 2003-89 ACCIONES DE VIENTO
SOBRE LAS EDIFICACIONES**

RESUMEN

El objetivo principal de la investigación fue proponer la actualización de las curvas de velocidades básicas del viento en el estado Anzoátegui, en donde se plantea una investigación del tipo documental, debido a que se obtiene mediante la revisión bibliográfica y las pagina web *Weather Spark*, los datos históricos de la velocidad máxima anual del viento en el estado Anzoátegui desde 1981 hasta el 2022. Con la finalidad de tener información sobre todo el territorio, se obtuvieron los datos de las estaciones ubicadas en Barcelona, Puerto Piritu, Anaco, El Tigre, Pariaguan, Soledad y Clarines con el cual por medio del método de Distribución de Valores Extremos tipo I de Gumbel (1941), se obtuvieron los valores máximos que pudieran generarse en un periodo de retorno de 50 años comprendidos entre 160 a 195km/h y una dirección de 245° en una dirección Sur-Oeste de barlovento, con una desviación de 30° hacia ambos lados. Del mismo modo la investigación, se basó en tipo descriptivo, ya que, una vez obtenido los valores, mediante el programa *ArcGIS V10.5*, se realizaron las curvas de velocidades del viento básicas del estado Anzoátegui, las cuales se compararon con las curvas de velocidades contempladas en la norma COVENIN 2003-89, presentado un desfase en las velocidades de hasta 90km/h.

Palabras claves: Velocidades básicas, velocidad, dirección, Barlovento, Sotavento, Periodo de retorno, Distribución de valores extremos.

ÍNDICE DE GENERAL

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	vii
ÍNDICE DE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I	14
EL PROBLEMA.....	14
1.1 Planteamiento del problema.....	14
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo general.....	16
1.2.2 Objetivos específicos	17
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 Antecedentes.....	18
2.2 Bases teóricas.....	19
2.2.1 Acciones Eólicas	19
2.2.2 Estimación de la velocidad básica del viento a partir de datos climatológicos.....	20
2.2.3 Medición del viento	20
2.2.4 Caracterización de la amenaza.....	22
2.2.5 Circulación de los vientos en Venezuela	23
2.2.6 Velocidad básica del viento	24
2.2.7 Los registros de velocidades de viento	25
2.2.8 Estadística y probabilidades aplicadas al cálculo eólico.....	27
2.2.9 Régimen de vientos en Venezuela	27
2.2.10 Modelos probabilísticos	28
2.2.11 Variaciones del viento con la altura	29
2.2.12 Zonificación eólica con fines de Ingeniería Civil	30

CAPÍTULO III.....	32
MARCO METODOLÓGICO.....	32
3.1 Tipo de Investigación.....	32
3.2 Nivel de Investigación	32
3.3 Técnicas y Herramientas a Utilizar	32
3.3.1 Técnicas	32
3.3.2 Herramientas	33
CAPÍTULO IV.....	34
ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS	34
4.1 Recopilación de los valores históricos de la velocidad y dirección del viento en las últimas tres décadas (1984-2024), en el Estado Anzoátegui	34
4.2 Especificación de las velocidades básicas de diseño a partir de los datos estadísticos del Estado Anzoátegui aplicando el método de valores máximos	41
4.3 Obtención de las variaciones entre los valores de velocidades máximas básicas de diseño obtenidos en el análisis de los datos históricos del Estado Anzoátegui con los de la norma COVENIN 2003-89	44
4.4 Elaboración de curvas de isovelas de velocidad del Estado Anzoátegui mediante el programa ArcGIS 10.5.	45
CAPÍTULO V	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
5.1 Conclusiones.....	48
5.2 Recomendaciones	49
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA.....	50
HOJA DE METADATOS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Velocidad básica del viento “V”, en km/h.	22
Tabla 2. Velocidad máxima anual del viento “V” en Barcelona, en km/h.	37
Tabla 3. Velocidad máxima anual del viento “V” en Puerto Piritu, en km/h.	37
Tabla 4. Velocidad máxima anual del viento “V” en Anaco, en km/h.	38
Tabla 5. Velocidad máxima anual del viento “V” en El Tigre, en km/h.	38
Tabla 6. Velocidad máxima anual del viento “V” en Pariaguan, en km/h.	38
Tabla 7. Velocidad máxima anual del viento “V” en Soledad, en km/h.	39
Tabla 8. Velocidad máxima anual del viento “V” en Clarines, en km/h.	39
Tabla 9. Dirección y ángulo de la velocidad máxima anual en Barcelona.	40
Tabla 10. Dirección y ángulo promedio del viento de las ciudades del estado Anzoátegui.	41
Tabla 11. Valor máximo extremo del viento, de las ciudades del estado Anzoátegui.	43
Tabla 12. Valor máximo extremo del viento, de las ciudades del estado Anzoátegui.	44
Tabla 13. Coordenadas y datos de entrada necesarios para el programa ArcGis.	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación del vector velocidad del viento	21
Figura 2. Representación de las acciones del viento sobre la estructura.....	21
Figura 3. Esquema de circulación del viento general en la atmosfera.	24
Figura 4. Comparación de velocidad básica del viento COVENIN 2003 y OMM.....	25
Figura 5. Mapa de velocidades de viento.....	26
Figura 6. Circulación de vientos en Venezuela.....	28
Figura 7. Efecto del relieve sobre el comportamiento del viento.....	28
Figura 8. Perfiles de velocidad en diferentes secciones de una capa limite.....	30
Figura 9. Perfil del portal Weather Spark sobre datos históricos de la meteorología.	34
Figura 10. Datos promedio sobre la velocidad del viento en el aeropuerto internacional general José Antonio Anzoátegui.	35
Figura 11. Circulación de vientos en el estado Anzoátegui.	35
Figura 12. Velocidades máximas y mínimas de viento durante el año.	36
Figura 13. Velocidades máximas mensual.....	36
Figura 14. Dirección del viento anual.	40
Figura 15. Dirección del viento diaria.....	40
Figura 16. Mapa de isovelas según la magnitud y dirección del viento.	47
Figura 17. Mapa de isovelas según la magnitud y dirección del viento del estado Anzoátegui.	47

INTRODUCCIÓN

Las obras de Ingeniería Civil, con frecuencia, se hallan expuestas a peligros que ponen en riesgo no sólo la inversión económica realizada sino las vidas humanas de los usuarios o de la población cercana; uno de los factores importantes a tomar en cuenta es el viento, ya que el efecto que provoca en las estructuras genera fuerzas resultantes que suponen incrementos en los esfuerzos de los elementos estructurales y no estructurales. Es por ello que, para asegurar que la estructura cumpla con los requisitos mínimos de seguridad se realizan análisis teóricos basados en normas y códigos; asimismo, se realizan análisis experimentales o computacionales que prueban a escala el desempeño de la estructura ante acciones del viento previstas durante su vida útil con un mayor grado de detalle.

Actualmente el efecto en edificios no suele estudiarse a profundidad en el país dado que en zonas sísmicas el sismo tiene mayor repercusión en los elementos estructurales; desafortunadamente, en zonas no sísmicas donde la acción del viento rige, no siempre se dispone de información completa para su diseño. No obstante, el viento tiene la capacidad de generar situaciones que ponen en riesgo las condiciones de estabilidad, debido a que el valor de las velocidades básicas de viento se ha modificado con el paso del tiempo en la medida que más datos se incorporan a los estudios estadísticos y al perfeccionamiento de los métodos de determinación de la misma. Es por ello que se debe estudiar el desempeño de diferentes estructuras ante las acciones de eventos meteorológicos con datos actualizados con el fin de realizar un diseño que cumpla con condiciones de seguridad aceptables.

Bajo este contexto, el presente estudio pretende en elaborar curvas de velocidades básicas de viento del estado Anzoátegui, ya que la normativa para la cuantificación de acciones de viento sobre estructuras es la de la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) 2003-89 "ACCIONES DEL VIENTO SOBRE LAS EDIFICACIONES", la cual tiene una desactualización de más de 32 años,

generando vulnerabilidad en las edificaciones antes los eventos meteorológicos actuales. El desarrollo de la investigación se realizó por medio de cinco (5) capítulos que se describen brevemente a continuación:

- Capítulo I. El problema: Se enfoca el problema y se procede a describir la contextualización, análisis crítico, formulación del problema, delimitación, objetivos y la justificación. En el que se presenta el planteamiento del problema en donde se aborda los temas relacionados con este trabajo.
- Capítulo II. Marco teórico: Se desarrolla el marco teórico donde se definen varios conceptos referentes al tema, tomando en consideración los criterios de diseño de la normativa (COVENIN) 2003-89 "ACCIONES DEL VIENTO SOBRE LAS EDIFICACIONES" y cálculos de presiones del viento.
- Capítulo III. Marco metodológico: Presenta el marco metodológico, tiene como objetivo abordar los procedimientos de la metodología de la investigación, se desarrolla la operacionalización de variables
- Capítulo IV. Análisis de resultados: Enfoca el procesamiento de la información obtenida, y el análisis e interpretación de resultados. Aquí se obtiene estimaciones de velocidades de viento del estado Anzoátegui y se proyectan a futuro, las mismas que nos ayudarán a elaborar curvas de velocidades básicas de viento y de esta manera poder determinar la velocidad del viento para cualquier punto del estado, dato que será el punto de partida para el cálculo de las presiones de viento, y la respectiva aplicación de la normativa de diseño por viento.
- Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones: Se describe las conclusiones y recomendaciones, constituyen el aporte y sugerencia personal que permita solucionar el problema.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad los diversos avances científicos globales y los constantes cambios en el estado del arte, en la ingeniería y ciencias aplicadas, han causado que se generado que tanto las tecnologías como los procesos de estudio y técnicas aplicadas en Venezuela sean obsoletas, es decir, se crea en un desfase tecnológico en la mayoría de normas o códigos de diseño nacional con respecto a los últimos estudios científicos en todas las áreas del conocimiento, debido a una continua evolución de los procesos de estudio, técnicas de análisis y diseño en la ingeniería.

Esta situación se ve acentuada con la carencia de políticas públicas de las instituciones encargadas en la formulación y la actualización de las normas en el país, como son los ministerios y organismos encargados en la regularización de procesos, así como también el escaso desarrollo de investigaciones a nivel de las universidades y centros de investigación científica, que aporten a la generación de nuevos conocimientos en el campo de la Ingeniería.

Un ejemplo de lo anteriormente descrito, es la normativa para la cuantificación de acciones de viento sobre estructuras de la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) 2003-89 "ACCIONES DEL VIENTO SOBRE LAS EDIFICACIONES", la cual tiene un desfase de información de más de 35 años, por lo que los registros estadísticos meteorológicos utilizados para recrear las curvas de velocidades básicas, se encuentran totalmente obsoletas, ya que el clima ha tenido cambios significativos en las últimas décadas, haciendo que los cálculos de las estructuras en base a las cargas del viento sean diferentes a las reales.

Hay que mencionar, además, que un estudio realizado por Gutiérrez 3 (2006), indicó que la ubicación de Venezuela al norte de América del Sur la coloca dentro del área de formación e influencia de tormentas tropicales (vientos sostenidos de 63 a 199 km/h) y huracanes tropicales (vientos sostenidos de más de 119 km/h), específicamente por encima de los 10° N. Así mismo, expresa que en la Norma COVENIN 2003:86 Acciones de vientos sobre las construcciones se consideró que Venezuela no estaba expuesta a los embates de huracanes, sin embargo, debido al calentamiento de las aguas del Océano Atlántico en la zona de Convergencia intertropical se ha registrado un incremento en el número de tormentas tropicales y huracanes que nacen por debajo del paralelo 10°N, incrementándose por tanto la probabilidad de que afecten al territorio venezolano.

En este sentido, a nivel mundial, las variaciones de la temperatura en las últimas décadas, ha provocado cambios en el clima, lo que, a su vez, ha influido de forma significativa en los patrones meteorológicos globales, particularmente la temperatura y el viento. Por lo que, es necesario plantear, en primera instancia, una comparación entre los valores reales de la velocidad del viento y su dirección reales, con el reflejado en la norma venezolana con el fin de poder resaltar las debilidades, producto de la desactualización, para luego, establecer un diseño de curvas de velocidades básicas de viento, en función a los registros históricos meteorológicos, con la finalidad de que las estructuras puedan dar una respuesta eficiente, ante las cargas ocasionadas por el viento.

Tomando en consideración lo anteriormente expuesto, la presente investigación estará orientada a elaborar las curvas de velocidades básicas y de dirección del viento del estado Anzoátegui, a partir de los datos climatológicos históricos provenientes de las estaciones meteorológicas del estado, analizando estadísticamente los valores desde 1981 hasta la actualidad, permitiendo así, elaborar un mapa de isocurvas mediante el uso del programa ArcGIS V 10.5, aplicado bajo la metodología de los

datos de valores extremos. Obteniendo de esta forma las curvas sobre las cargas del viento del estado Anzoátegui, para el diseño de estructuras altas o muy flexibles, como los puentes colgantes, o de gran superficie lateral, como las bodegas o grandes cubiertas, mejorando de esta forma, su reacción ante dichas cargas.

Lo dicho hasta aquí supone que, el presente trabajo no cuenta con antecedentes actualizados como referentes investigativos, aun así se pueden mencionar a Gutiérrez (1982), fue el autor del mapa de velocidades máximas horarias el cual se encuentra en COVENIN (1986), el cual ha sido actualizado en 2 oportunidades más por CANTV (1982) y Bernal (1983), pero a la reciente fecha el presente trabajo es el único que pretende usar los datos estadísticos históricos hasta la actualidad del Estado Anzoátegui.

En definitiva, la importancia del presente trabajo radica en que los resultados que se obtengan permitirán el uso de velocidades básicas de viento más cercanas a la realidad y así poder definir, las acciones eólicas sobre las edificaciones del estado Anzoátegui de una forma más eficientes, permitiendo así un mejor comportamiento ante los diferentes cambios climáticos actuales. Así mismo, servirá como base de referencia y de consulta, tanto a profesionales como estudiantes de ingeniería civil, para la realización de futuros proyectos relacionados con el área de análisis estructural de edificaciones, donde se tome en cuenta cargas externas aplicadas, así como también ayudar a promoverla la actualización de normas venezolanas

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Proponer una actualización de las curvas de velocidad y dirección del viento para el cálculo de la acción eólica en el estado Anzoátegui, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

- Recopilar los valores históricos de la velocidad y dirección del viento en las últimas tres décadas (1984-2024), en el Estado Anzoátegui.
- Especificar las velocidades básicas de diseño a partir de los datos estadísticos del Estado Anzoátegui aplicando el método de valores máximos.
- Obtener las variaciones entre los valores de velocidades máximas básicas de diseño obtenidos en el análisis de los datos históricos del Estado Anzoátegui con los de la norma COVENIN 2003-89.
- Elaborar curvas de isovelas de velocidad del Estado Anzoátegui mediante el programa ArcGIS 10.5.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Todo proyecto de investigación debe estar respaldado por trabajos que se hayan realizado con anterioridad y se encuentren relacionados con el tema central en torno al cual gira la investigación en cuestión, debido a que mediante el estudio de éstos se puede generar una idea de la forma en la que ha sido tratada anteriormente una problemática similar a la que se planea investigar.

Dentro de ese marco, Muñoz (2017), desarrolló un estudio de velocidades básicas de viento para zonificar Intensidad del Viento en Costa Rica y en Consideraciones de Diseño por Viento para Puentes, en donde da pautas para la corrección de los datos de las estaciones tomando en cuenta la duración del registro, el error de muestreo, los redondeos, la altura del anemómetro, la calidad de los datos y el tipo de terreno, datos que deben ser tomados en consideración, si se busca realizar comparaciones entre estaciones meteorológicas. Esta investigación servirá como referencia y guía para el análisis y corrección de los datos meteorológicos, obtenidos en las diferentes estaciones del estado Anzoátegui.

En el mismo orden de ideas, Agüera et al (2014), presentaron una nueva metodología para elaborar mapas de viento, aplicando nuevos parámetros para la caracterización del comportamiento del viento a pequeña escala espacial y temporal, considerando variaciones horarias y en un radio de 20 kilómetros. Uno de estos parámetros, es el índice de complejidad temporal, que captura las variaciones de la velocidad y de dirección del viento que, cada hora, se dan en un lugar concreto, obteniendo así mapas de viento con información de interés para seleccionar el emplazamiento y mejorar el rendimiento de los parques eólicos. Este trabajo aportara a la presente investigación como patrón de trabajo en la aplicación de la metodología

desarrollada en el mismo y pueda ser replicada o adaptada a la realidad que se desea estudiar.

Continuando con el mismo razonamiento, Giovanni (2014), quien desarrolló un estudio de las acciones del viento sobre las construcciones debido a los efectos de la vorticidad, donde el investigador hizo una revisión y comparación de la metodología aplicada en la norma venezolana COVENIN 2003:86, con la normativa internacional *ASME STS1:2006*, para el análisis de los efectos de von Karman aplicados a las estructuras esbeltas, encontrándose que las normas venezolanas no poseen en su alcance el estudio de la acción de viento dinámico generado por la acción de vórtices. El trabajo realizado por el autor, ayudará a la investigación a establecer una metodología para la comparación de la norma COVENIN con la norma internacional *ASCE* en cuanto a parámetros y diseño.

Por otro lado; tenemos como referente nacional y de gran importancia para la presente investigación, a Gutiérrez (2006), quien presento un trabajo concerniente a tormentas tropicales y vientos huracanados en Venezuela, en donde se dan recomendaciones de uso de velocidades básicas de viento mayores a las indicadas en COVENIN (1989), para las regiones costeras del país, de igual forma, sugiere que se realice un nuevo mapa de velocidades de viento, así como también, se incluyan los efectos de la topografía en las próximas actualizaciones de la norma y el uso comunitario de guía de prevención de riesgos hidrometereológicos. Esta investigación representa, la primera referencia para la comparación y validación de los resultados y datos que serán obtenidos en la presente investigación.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Acciones Eólicas

COVENIN (1988), la define como “el fenómeno que producen cambios en el estado de tensiones o deformaciones en algún elemento de una construcción, acción accidental que produce el aire en movimiento sobre los objetos que se le interponen, y

que consiste, principalmente, en empuje y succiones.” (p. 34). Es decir, son las cargas causadas por el movimiento del aire y que pueden verse influenciadas por varios factores, incluyendo la velocidad y la dirección, la forma y tamaño de la estructura, y el terreno

2.2.2 Estimación de la velocidad básica del viento a partir de datos climatológicos

La estimación de la velocidad, según *ibídem*, a partir de datos climatológicos, puede utilizarse en lugar de las velocidades básicas dadas en el mapa de la figura 1 o en la tabla 1, siempre y cuando satisfagan los siguientes requisitos:

- Procedimientos aceptables de análisis estadísticos de valores extremos para procesar datos.
- Consideración adecuada de la duración de los registros, el tiempo promedio de medición, la altura del anemómetro sobre el nivel del terreno, la calidad de los datos y el tipo de exposición del terreno.

En ningún caso la velocidad básica del viento será menor de 70km/h.

2.2.3 Medición del viento

Según Villarrubia (2012), establece que, “para entender los mapas de velocidades como para realizar las mediciones del viento, es necesario conocer que la velocidad del viento se mida de manera vectorial, siendo una magnitud que cambia continuamente en forma aleatoria tanto en modulo como en dirección y sentido” (p. 46), bajo este contexto, se toma en cuenta para la medición, los parámetros de la velocidad y la dirección del viento de forma vectorial como se muestra en la figura 1, resaltando que la velocidad del viento se mide con un anemómetro y la dirección con una veleta y que los sensores han de situarse en lugares despejados, sin obstáculos en los alrededores a una altura estándar de medición de 10 m sobre el suelo.

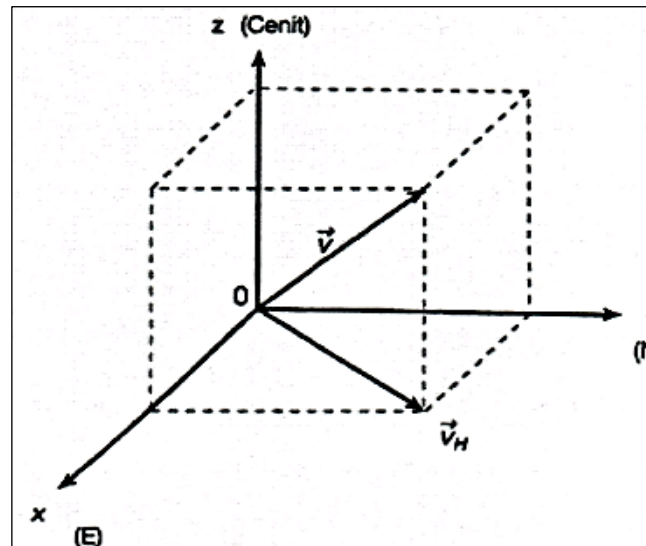


Figura 1. Representación del vector velocidad del viento
Fuente: Villarrubia (2012). Editado por el autor.

Los aparatos de medida registran generalmente solo el módulo y la dirección de la componente en el plano horizontal, ya que solo se toma en cuenta la velocidad y la dirección donde sopla, ya que los componentes del viento a considerar, dependen del tipo de estructura en estudio, tal como se muestra en la figura 2.

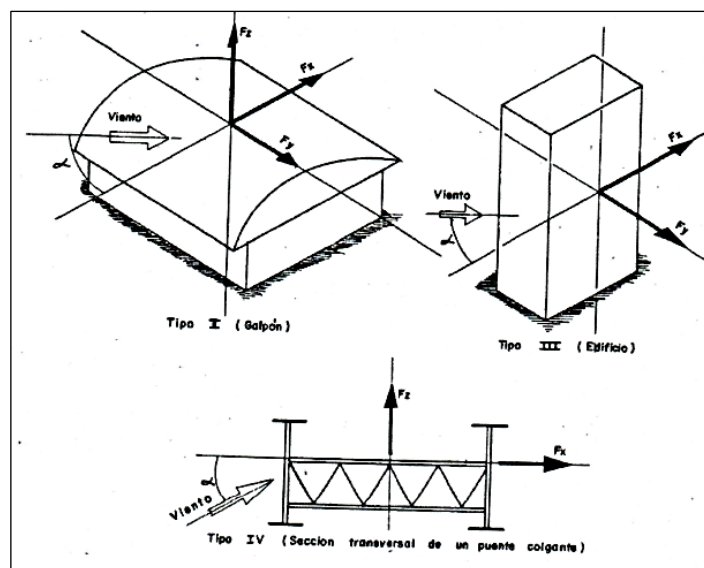


Figura 2. Representación de las acciones del viento sobre la estructura.
Fuente: Villarrubia (2012). Editado por el autor.

Por convención, la dirección del viento es la dirección desde donde sopla llamada barlovento, y hacia dónde se dirige, se denomina sotavento. Así mismo, el Angulo de dirección se puede identificar de varias formas, todas ellas basadas en diferentes divisiones del horizonte circular en 360°. Es por ello que el viento, tiene como particularidad su gran variabilidad en la velocidad y dirección, por lo que las magnitudes son expresadas para un periodo largo, en función de su velocidad media, es decir, se promedian las velocidades correspondientes en dicho periodo.

2.2.4 Caracterización de la amenaza

Para poder comparar normas de viento, internacionalmente se ha normalizado la velocidad que tiene una probabilidad $p(m)$ de ser excedida por lo menos una vez en un periodo de m años y que corresponde a promedios de velocidad de 10 m sobre un terreno con unas determinadas características (tipo de exposición) que afectan la variación de la velocidad del viento con la altura.

Tabla 1. Velocidad básica del viento “V”, en km/h.

Localidad	Viento	Localidad	Viento
ANZOATEGUI		LARA	
Barcelona	95	Barquisimeto	100
APURE		MÉRIDA	
Guasdalito	87	Mérida	70
San Fernando	85	MONAGAS	
ARAGUA		Maturín	102
Colonia Tovar	70	NUEVA ESPARTA	
Maracay	72	Porlamar	70
		PORTUGUESA	
BOLIVAR		Acarigua	70
Ciudad Bolívar	77	Guanare	70
Sta. Elena de Uairen	74	SUCRE	
		Cumana	79
Tumeremo	80	Guiría	83
CARABOBO			
Localidad	Viento	Localidad	Viento

Morón	70	TACHIRA	
Puerto Cabello	70	Colon	70
DISTRITO FEDERAL		La Grita	70
Caracas	78	San Antonio	83
La Orchila	76	TERRITORIO	FEDERAL
		AMAZONAS	
Maiquetía	93	Puerto Ayacucho	83
FALCON		ZULIA	
Coro	75	Maracaibo	96
GUARICO		La cañada	103
Carrizal	73	Mene Grande	81

Fuente: COVENIN (1989).

2.2.5 Circulación de los vientos en Venezuela

En la meteorología, el aire es convergente o divergente, en donde las áreas de vientos convergentes cerca de la superficie están asociadas con ascensos del aire y enfriamiento; mientras que las áreas divergentes, con ascensos del aire y calentamiento. En la figura 3 se puede observar que Venezuela se encuentra en la zona de calmas ecuatoriales o de convergencia intertropical, entre 0° y 16° Norte, perturbado por el movimiento planetario, afectado así mismo por la carga energética solar. es decir que, se encuentra afectada por los vientos que se desplazan de Este a Oeste, superpuestas por las corrientes básicas de los vientos alisos, que pueden convertirse en depresiones tropicales y desarrollarse posteriormente en tormentas tropicales.

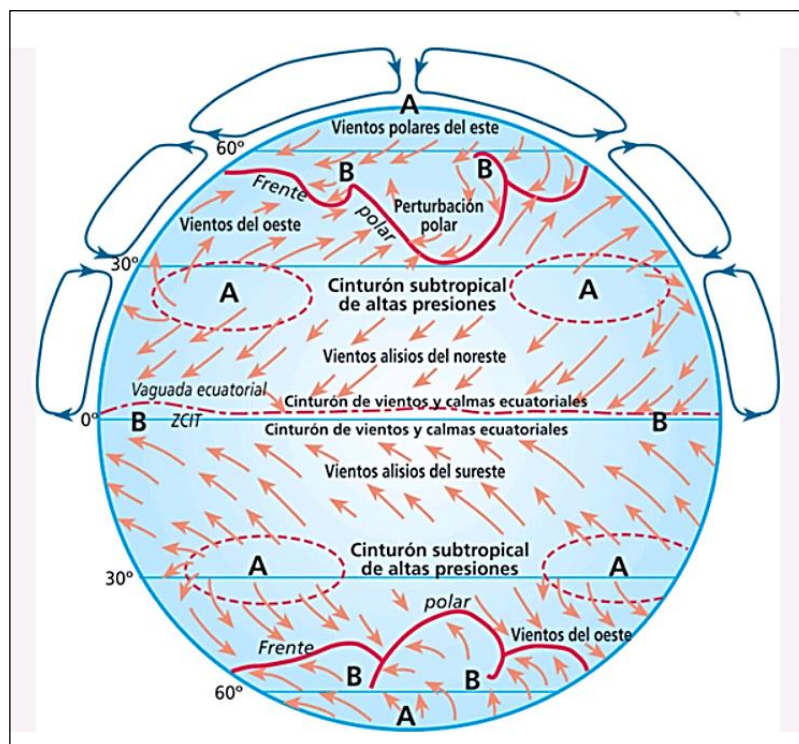


Figura 3. Esquema de circulación del viento general en la atmósfera.
Fuente: Gutiérrez (2008).

2.2.6 Velocidad básica del viento

Las velocidades del viento utilizadas en el análisis estructural, están normalizadas en cuanto: periodo de medición de velocidad del viento, la altura de referencia respecto al terreno, las características de rugosidad del terreno y la probabilidad de ocurrencia. Explica Pardillo (2017), que la velocidad normalizada se denomina velocidad básica del viento, el cual, toma en cuenta los coeficientes y variables por el cual va a ser afectado.

Es importante resaltar que, el cambio más importante introducido en las nuevas normas de viento, es el periodo de medición, y tiene su origen en la estandarización de la instrumentación y procedimientos de medición por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). En la imagen 4, se muestra comparativamente la diferencia del

registro de periodo de medición de la OMM, con las normas COVENIN 2003, a partir de 1995 en adelante.

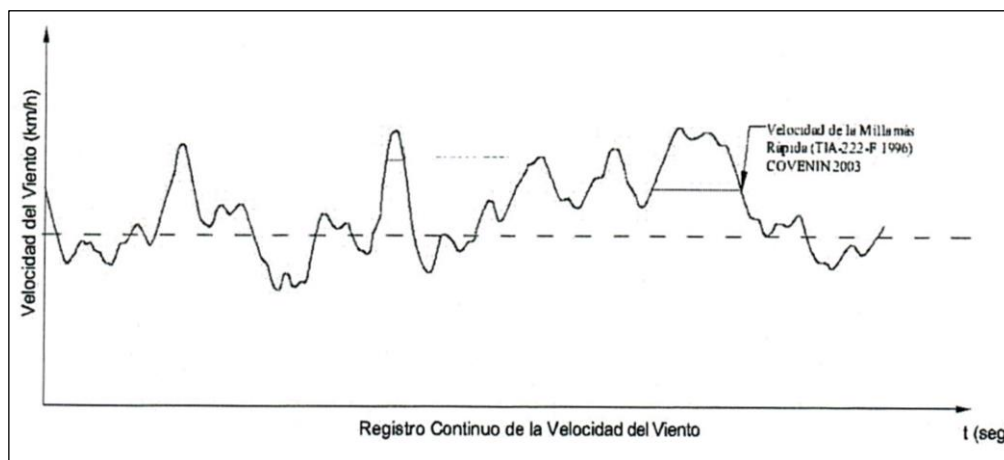


Figura 4. Comparación de velocidad básica del viento COVENIN 2003 y OMM.
Fuente: Pardillo (2017). Editado por el autor.

El mapa y la tabla de velocidades del viento de la norma COVENIN 2003, está elaborado con velocidades de viento medidas a 10m sobre un terreno Tipo C, asociado a un periodo de retorno de 50 años. Adicionalmente, las velocidades de la norma, están basados en la denominada velocidad de milla de viento más rápida, empleada por la norma ANSI A58-1 de 1982, razón por la cual se recurrió a un tiempo patrón de recorrido de 0,74 segundos para poder conciliar con los procedimientos de la norma ANSI. Es por ello que, el mapa no incluye tormentas tropicales y huracanes que han afectado al territorio venezolano.

2.2.7 Los registros de velocidades de viento

Los registros de velocidades y la comparación de mapas de vientos, así como, la elaboración de los mismos, según *Ibídem*, debe tomar en cuenta las características de los datos empleados en su elaboración. Hasta 1995 las normas norteamericanas ASCE 7 utilizaban la velocidad de una milla de viento (*fastest mile wind speed*) o tiempo patrón de recorrido del viento. Las implicaciones al cambiar a la velocidad de ráfaga de tres segundos (*3-second gust speed*) se pueden apreciar más claramente en la

versión de la referida norma más actualizada. Por otro lado, la norma COVENIN adopto, en promedio, un tiempo patrón de recorrido de viento de 74 segundos, como se puede observar en la figura 5.

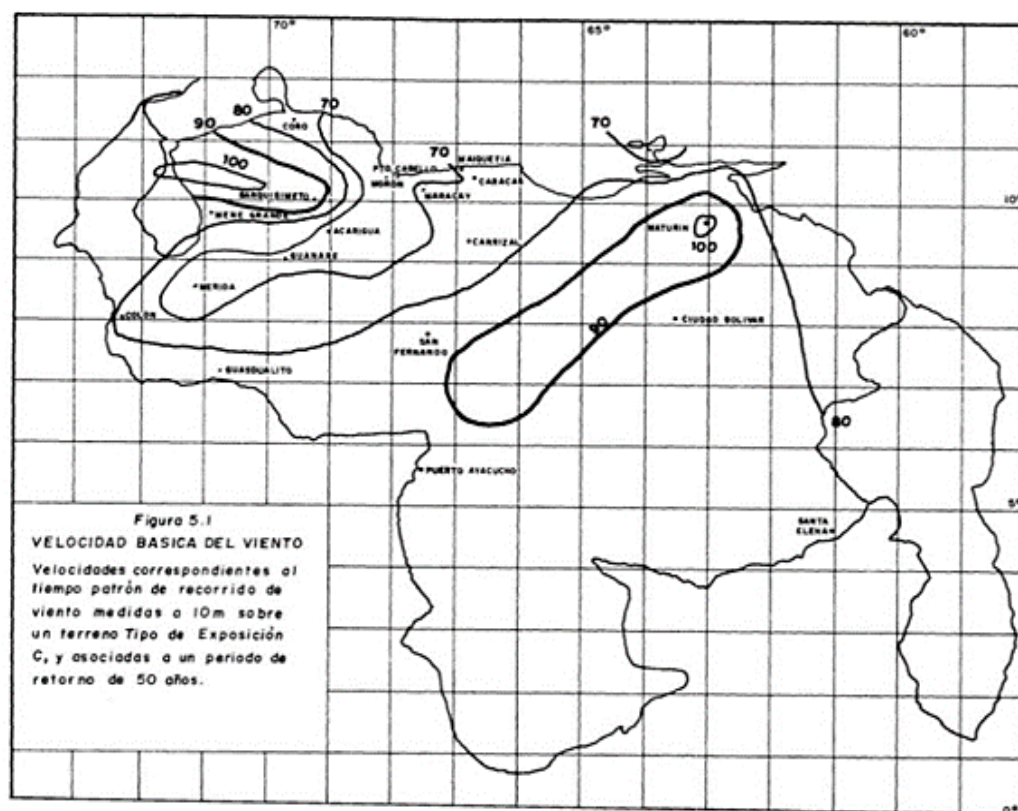


Figura 5. Mapa de velocidades de viento.
Fuente: COVENIN (1989). Editado por el autor.

Se debe agregar que, de acuerdo con la Asociación Internacional de Ingeniería de Viento, (*IAWE*, siglas en ingles), los registros de viento deben haber sido obtenidos usando los mismos tipos de instrumentos o instrumentos con las mismas características de respuesta dinámica sobre el mismo tipo de exposición y a la misma altura, durante un período suficientemente largo, preferiblemente de 30-40 años. El origen de los datos utilizados para confeccionar el mapa de la norma COVENIN, proviene en su mayoría de las estaciones de la fuerza Aérea.

Hay que mencionar, además que la observación del viento se hace 10 minutos antes de cada hora, y la velocidad máxima del viento se refiere a la ráfaga positiva máxima en 24 horas. El tiempo de respuesta de los anemógrafos universales es de 10 segundos. Se reportan las velocidades media y máxima, así como la dirección prevaleciente del viento y la dirección de la máxima. En las planillas de uso interno en la estación se anota el recorrido del viento en 24 horas. La velocidad media horaria se toma registrada en un lapso de 10 minutos. De la banda del anemógrafo se toma la velocidad máxima diaria, la dirección y la hora de ocurrencia.

2.2.8 Estadística y probabilidades aplicadas al cálculo eólico

El análisis del perfil de velocidades en el tiempo, y como afecta a la ley de distribución, se trata con métodos estadísticos y su estudio tiene un enfoque totalmente empírico, debido a las grandes variaciones que este puede llegar a tener en un muy corto plazo (entre uno a diez minutos). Es por ello que para un análisis de medición del viento (velocidad y dirección), debe ser como mínimo de un año, y a distintas alturas (10, 25 y 50m), que, a su vez, deben analizarse conjuntamente con el comportamiento del viento de la zona, a partir de series históricas de medidas procedentes de estaciones meteorológicas próximas.

La Organización Meteorológica Mundial, recomienda series de 30 años de medidas para disponer de datos con suficiente nivel de confianza. Cuando no sea posible y cuanta más corta sea la serie, mayor énfasis en el cálculo debe tenerse durante su cálculo.

2.2.9 Régimen de vientos en Venezuela

Como se pudo definir en la imagen 1, en el territorio venezolano predominan los alisos de NE, vientos de la escala planetaria que soplan desde las altas presiones subtropicales hacia la vaguada ecuatorial con dirección NE. En la figura 6, se presenta el régimen que gobierna los vientos alisios en Venezuela, modificados por el relieve,

afectando la velocidad y dirección de los vientos, ya que se encauzan los flujos primarios, generando circulaciones locales como se indica en la figura 7.

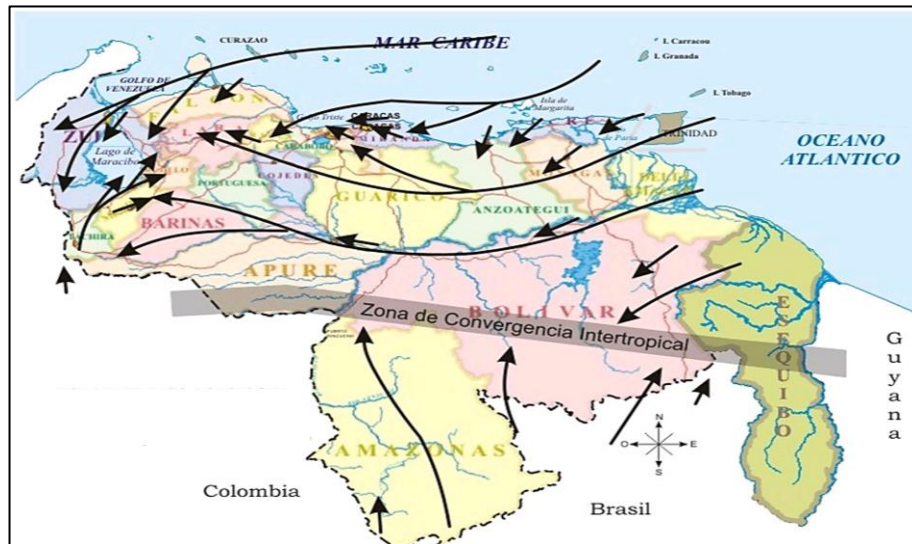


Figura 6. Circulación de vientos en Venezuela.
Fuente: Gutiérrez (2008). Editado por el autor.

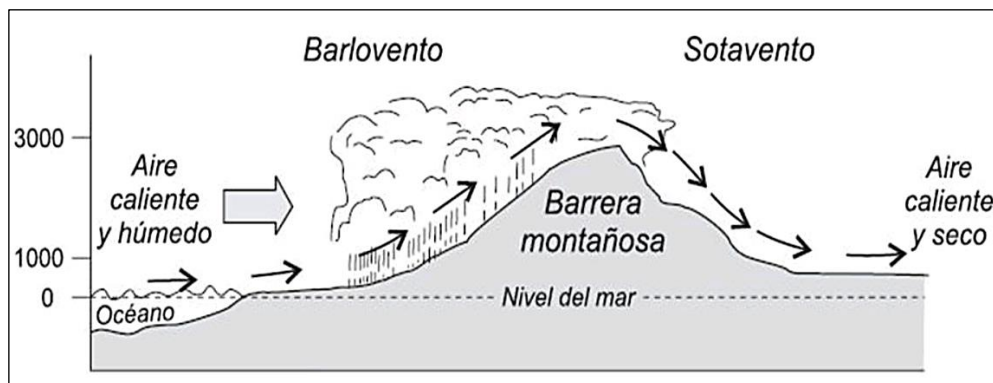


Figura 7. Efecto del relieve sobre el comportamiento del viento.
Fuente: Gutiérrez (2008). Editado por el autor.

2.2.10 Modelos probabilísticos

Un problema largamente debatido en la literatura especializada es cuál es la distribución de probabilidades más adecuada para reflejar las características del viento en una determinada estación. Unos de los problemas reconocidos es que la

incertidumbre es proporcional a la velocidad V^2 en lugar de V , lo cual se corrige usando los valores de la función de Distribución Acumulativa por encima de 0.90.

Más aún, hasta el año de 1980, los mapas de viento de las normas ASCE se elaboraban con los resultados de una Distribución de Valores Extremos Tipo II (Frechet). A partir de esa fecha se adopta una Distribución de Valores Extremos tipo I (Gumbel), utilizada también en la norma COVENIN 2003-82. La Asociación internacional de ingeniería de Viento (IAWE- de sus siglas en ingles), ha adoptado oficialmente la función conocida como Distribución Generalizada de Valores Extremos (DGVE), porque permite incorporar como parámetro adicional, el factor de forma “ k ” para modelar la mayoría de las distribuciones utilizadas

Por otra parte, para cada estación meteorológica debe estudiarse cuál es la mejor distribución., como la distribución de probabilidades de velocidades de vientos en zonas propensas a ser afectadas por huracanes y tormentas tropicales obedece al Tipo III (Weibull) a diferencia del Tipo I (Gumbel) para el resto de las zonas, por lo que se debe establecer este factor con la finalidad de asegurar la misma probabilidad de excedencia. Estas discrepancias son las que han conducido a proponer el uso de una Distribución Tipo III (Weibull reversa) como la más adecuada para la elaboración de los mapas de la Norma ASCE.

Para la caracterización del viento se usa la ley de densidad de probabilidad de Weibull, que permite modelar la distribución de la velocidad del viento, es decir, predecir con una aproximación razonable, el comportamiento de la velocidad del viento a lo largo de un cierto periodo de tiempo, por lo general un año.

2.2.11 Variaciones del viento con la altura

Villarrubia (2012), explica que los “principales factores que influyen sobre la variación de la velocidad del viento con la altura son la turbulencia de origen mecánico y las de origen térmico” (p. 36). Las primeras son causadas por las irregularidades de

la superficie del terreno, estas pueden ser orografía, relieve, obstáculos y rugosidad, y las segundas por el gradiente vertical de temperatura del aire que provoca las corrientes conectivas en sentido vertical.

Esto quiere decir, que, en las capas próximas al suelo, la velocidad del viento disminuye, produciéndose un efecto de corte o cizallamiento del viento, mientras que a medida que nos separamos del terreno, los efectos de rozamiento del mismo disminuyen y en consecuencia la velocidad del viento tiende a aumentar, debido a ello se tiene un gradiente o variación de la velocidad con la altura y se habla de un perfil vertical de velocidad del viento como se puede observar en la figura 8.

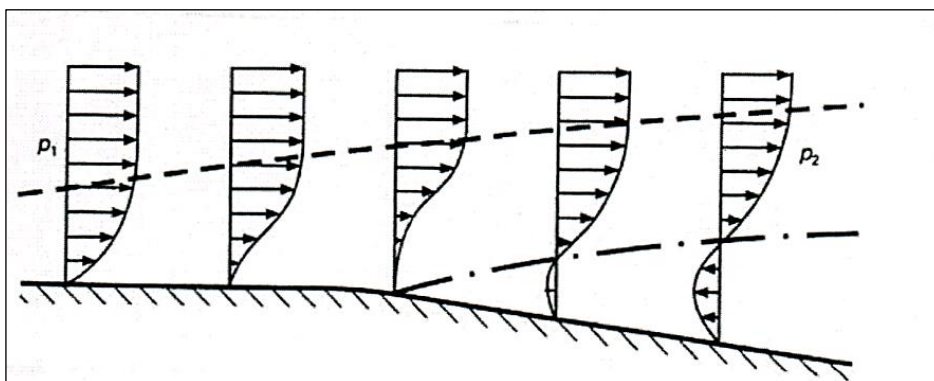


Figura 8. Perfiles de velocidad en diferentes secciones de una capa límite.
Fuente: Villarrubia (2012). Editado por el autor.

2.2.12 Zonificación eólica con fines de Ingeniería Civil

Con la intención de elaborar un mapa de zonificación eólica, Gutiérrez (1983) presentó una tabla con las velocidades de las estaciones FAV 1951-1970, y sus correspondientes parámetros resultantes de una Distribución de Valores Extremos Tipo I. El mapa que figura en la Norma COVENIN 2003-1982 guarda semejanza con el mapa de velocidades máximas horarias preparado por Álvarez Bernal para Atlas Climatológico de Venezuela de 1983, con las velocidades no normalizadas para la altura patrón, para el lapso 1960/1982, según datos de la fuerza Aérea. En el 2003, la Asociación de Estados del Caribe recomendó la elaboración de un mapa de

velocidades de viento para toda la región del Gran Caribe y su revisión periódica cada cinco años con un máximo de diez años, el cual es de particular importancia para Venezuela porque se aprovecharía toda la investigación que sobre tormentas tropicales y huracanes se cuenta para esta zona geográfica.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

El proyecto atendió a un tipo de investigación documental, donde Arias (2012), explica que “es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales” (p. 27), es decir, se ubicó en primera instancia por medio de la revisión bibliográfica, los datos históricos de las velocidades máximas anuales del viento desde el año 1981 hasta el 2022, del estado Anzoátegui; para luego, establecer los valores máximos de las velocidades básica de viento mediante el uso de métodos estadísticos ya existentes, en comparación con la norma nacional (COVENIN) 2003-89.

3.2 Nivel de Investigación

El proyecto se basó en un tipo de investigación descriptiva, donde Arias (2012), explica que “La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento.” (p. 24). Por lo que, queda sustentado el tipo de investigación, ya que se recolectó información sobre las velocidades del viento del estado Anzoátegui, con la finalidad de describir su comportamiento durante los últimos 41, mediante el diseño de curvas de velocidades básicas generadas con el *Software ArcGIS V 10.5*

3.3 Técnicas y Herramientas a Utilizar

3.3.1 Técnicas

Las técnicas de redacción de datos según Arias (2012), “son las distintas formas o maneras por medio de las cuales podemos obtener la información necesaria para el desarrollo de un proyecto” (p. 16). Las utilizadas por la investigación podemos mencionar:

- **Revisión documental:** Mediante esta técnica se consultó manuales, informes y trabajos de grado como antecedentes para la presente investigación, así como textos relacionados con los métodos de construcción y la normativa vigente (COVENIN) 2003-89, aplicable a esta investigación. De igual forma, se obtuvo información de importancia centrada en registros de valores históricos de la velocidad y dirección del viento en el estado Anzoátegui.
- **Análisis comparativo de resultados:** A través de esta técnica se organizó, analizó, comparó y explicó los datos cuantitativos obtenidos en la revisión bibliográfica, mediante el método de valores extremos máximos. Los datos obtenidos permitieron mediante el programa *ArcGIS V 10.5*, la realización de las curvas de isovelas de velocidad del estado Anzoátegui, las cuales fueron comparadas con las contempladas en la COVENIN 2003-89.

3.3.2 Herramientas

- Computadora.
- Impresora.
- Herramientas de oficina: Tales como papel, lápiz, bolígrafo, etc.
- *Software:* Permitirá transcribir, guardar, corregir y presentar en digital toda la información recolectada, así como también permitirá la utilización de programas como *Microsoft WORD*. Del mismo modo, se utilizará el programa *ArcGIS V 10.5*, aplicado bajo la metodología de los datos eventos extremos, para la elaboración un mapa de isocurvas.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

4.1 Recopilación de los valores históricos de la velocidad y dirección del viento en las últimas tres décadas (1984-2024), en el Estado Anzoátegui

Para obtener el comportamiento característico de los vientos en la zona, fue necesario determinar los lugares que presentaban la topografía adecuada, así como también la ubicación de un instrumento de medición de los vientos. Para la toma de muestra de los datos se utilizó la zona NorOeste del estado Anzoátegui, específicamente en el Aeropuerto Internacional General José Antonio Anzoátegui, en la ciudad de Barcelona, ya que cuenta con registros históricos de velocidades de los vientos y su dirección, a partir del año 1970, cuya base de datos puede ser observada en el portal web *Weather Spark* (como se muestra en la figura 9), el cual es una página de previsión meteorológica, con informes gráficos mensuales, diarios y por hora del tiempo promedio donde se pueden observar las máximas y mínimas temperaturas diarias, lluvia, nubes, viento, etc, (ver figura 10).



Figura 9. Perfil del portal Weather Spark sobre datos históricos de la meteorología.
Fuente: Weather Spark.com (2024).

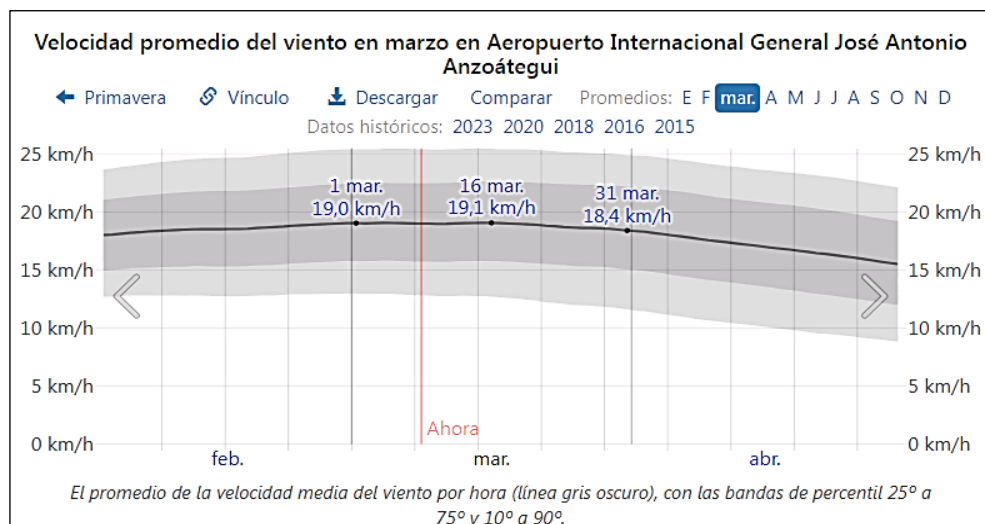


Figura 10. Datos promedio sobre la velocidad del viento en el aeropuerto internacional general José Antonio Anzoátegui.

Fuente: Weather Spark.com (2024).

Es importante resaltar que, el sitio de estudio utilizado para la toma de muestras de velocidades, y con el uso de la imagen 6, presenta una zona donde converge con mayor influencia los vientos del Mar Caribe y el Océano Atlántico. Dichos vientos van en dirección NorOeste – SurEste, como se muestra en la figura 11. Ahora bien, según el portal *Weather Spark*, que, con el uso de los registros de medición realizados por el Aeropuerto Internacional General José Antonio Anzoátegui, han establecido un resumen de las mediciones en base a una desviación estándar mensual en cada año medido a partir de 1970, en donde se utilizara los datos de las velocidades máximas medias en cada año, partir de 1981 hasta la fecha presente.



Figura 11. Circulación de vientos en el estado Anzoátegui.

Fuente: Gutiérrez (2008). Editado por el autor.

La ventaja que ofrece el portal *Weather Spark*, es permite visualizar las fuertes velocidades del viento de manera gráfica (ver figura 12), permitiendo acceder de manera fácil a la velocidad máxima producida en el año, como se observa en la figura 13, el cual es el dato histórico para dicho año. Posteriormente se anotaron las mediciones máximas de cada año según las gráficas, para el cálculo estadístico de una magnitud futura a 50 años como se muestra en la tabla 2.

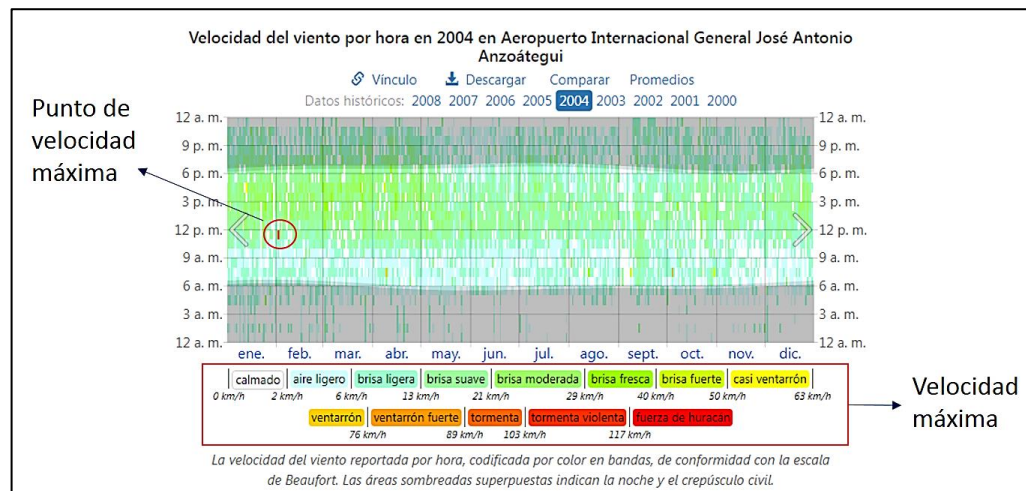


Figura 12. Velocidades máximas y mínimas de viento durante el año.
Fuente: Weather Spark.com (2024). Editado por el autor.

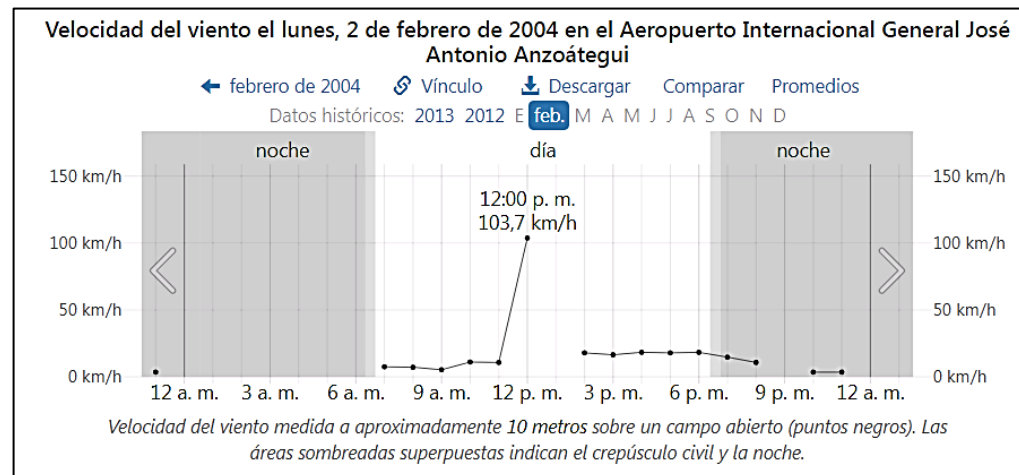


Figura 13. Velocidades máximas mensual.
Fuente: Weather Spark.com (2024).

Tabla 2. Velocidad máxima anual del viento “V” en Barcelona, en km/h.

Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)
1981	73.3	1991	79.2	2001	70.8	2011	72.2	2021	64.5
1982	60.8	1992	75.6	2002	68.5	2012	65.5	2022	72.2
1983	60.5	1993	80.5	2003	60.8	2013	60.8	2023	79.2
1984	70.8	1994	79.2	2004	103,7	2014	75.7	2024	81.4
1985	70.5	1995	70.5	2005	67.5	2015	70.8		
1986	72	1996	69.9	2006	68.4	2016	74.4		
1987	68.5	1997	74.4	2007	65.4	2017	70.5		
1988	75.5	1998	79.2	2008	68.8	2018	74.2		
1989	80.5	1999	82.8	2009	65.4	2019	85.5		
1990	72.2	2000	74.2	2010	68.8	2020	82.8		

Fuente: El autor (2024).

Para establecer el cálculo del estado Anzoátegui, se continuó con el mismo procedimiento en los demás puntos del estado con los que se cuenta con una estación de medición, para el cual se obtuvieron los datos históricos de las velocidades máximas anuales de Puerto Piritu, Anaco, El Tigre, Pariaguan, Soledad y Clarines, según las tablas 3 a la 8.

Tabla 3. Velocidad máxima anual del viento “V” en Puerto Piritu, en km/h.

Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)
1981	94,4	1991	92,8	2001	94,8	2011	86,1	2021	92,8
1982	81,3	1992	99,8	2002	91,4	2012	81,4	2022	99,8
1983	89,1	1993	96,2	2003	89,1	2013	96,3	2023	89,5
1984	80,8	1994	101,1	2004	81,4	2014	91,4	2024	94,5
1985	91,4	1995	99,8	2005	90,4	2015	95		
1986	91,1	1996	91,1	2006	88,1	2016	91,1		
1987	92,6	1997	90,5	2007	89	2017	94,8		
1988	89,1	1998	95	2008	86	2018	106,1		
1989	96,1	1999	99,8	2009	89,4	2019	103,4		
1990	101,1	2000	103,4	2010	92,8	2020	85,1		

Fuente: El autor (2024).

Tabla 4. Velocidad máxima anual del viento “V” en Anaco, en km/h.

Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)
1981	67.9	1991	66.3	2001	68.3	2011	59.8	2021	66.3
1982	54.8	1992	73.3	2002	64.9	2012	54.6	2022	73.3
1983	62.9	1993	69.7	2003	62.6	2013	69.8	2023	65.5
1984	54.6	1994	74.6	2004	54.9	2014	64.9	2024	71.4
1985	64.9	1995	73.3	2005	63.8	2015	68.5		
1986	64.9	1996	64.6	2006	61.6	2016	64.6		
1987	66.1	1997	64.2	2007	62.5	2017	68.3		
1988	62.6	1998	68.5	2008	59.5	2018	79.6		
1989	69.8	1999	73.5	2009	62.9	2019	76.9		
1990	74.6	2000	76.9	2010	66.3	2020	58.6		

Fuente: El autor (2024).

Tabla 5. Velocidad máxima anual del viento “V” en El Tigre, en km/h.

Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)
1981	66.2	1991	64.6	2001	68.8	2011	64.6	2021	56.9
1982	53.8	1992	71.6	2002	66.5	2012	57.8	2022	64.6
1983	61.2	1993	68	2003	63.2	2013	53.2	2023	60.5
1984	52.9	1994	72.8	2004	60.9	2014	68.1	2024	68.7
1985	63.2	1995	71.6	2005	53.2	2015	63.2		
1986	62.9	1996	62.9	2006	62.2	2016	66.8		
1987	64.4	1997	62.3	2007	59.8	2017	62.9		
1988	60.9	1998	66.8	2008	60.8	2018	66.5		
1989	67.9	1999	71.6	2009	57.8	2019	77.9		
1990	72.8	2000	75.2	2010	61.2	2020	75.2		

Fuente: El autor (2024).

Tabla 6. Velocidad máxima anual del viento “V” en Pariaguan, en km/h.

Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)
1981	71.7	1991	70,1	2001	72,1	2011	63,4	2021	70,1
1982	58.8	1992	77,1	2002	68,7	2012	58,7	2022	77,1
1983	66.7	1993	73,5	2003	66,4	2013	73,6	2023	84.6
1984	58.4	1994	78,4	2004	58,7	2014	68,7	2024	79.5
1985	68.9	1995	77,1	2005	67,7	2015	72,3		
1986	68.4	1996	68,4	2006	65,4	2016	68,4		
1987	69.9	1997	67,8	2007	66,3	2017	72,1		
1988	66.5	1998	72,3	2008	63,3	2018	83,4		
1989	73.4	1999	77,1	2009	66,7	2019	80,7		
1990	78.4	2000	80,7	2010	70,1	2020	62,4		

Fuente: El autor (2024).

Tabla 7. Velocidad máxima anual del viento “V” en Soledad, en km/h.

Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)
1981	58.5	1991	56.9	2001	58.9	2011	50.2	2021	49.2
1982	45.5	1992	63.7	2002	55.6	2012	45.5	2022	56.8
1983	53.5	1993	60.3	2003	53.2	2013	60.4	2023	55.8
1984	45.2	1994	65.2	2004	45.6	2014	55.5	2024	62.9
1985	55.6	1995	63.9	2005	54.5	2015	59.1		
1986	55.2	1996	55.2	2006	52.2	2016	55.2		
1987	56.7	1997	54.6	2007	53.1	2017	58.9		
1988	53.2	1998	59.1	2008	50.1	2018	70.2		
1989	60.2	1999	63.9	2009	53.5	2019	70.2		
1990	65.4	2000	67.7	2010	56.9	2020	67.5		

Fuente: El autor (2024).

Tabla 8. Velocidad máxima anual del viento “V” en Clarines, en km/h.

Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)	Año	V (km/h)
1981	84,1	1991	82,5	2001	84,5	2011	75,8	2021	82,5
1982	71	1992	89,5	2002	81,1	2012	71,1	2022	89,5
1983	78,8	1993	85,9	2003	78,8	2013	86	2023	79,7
1984	70,5	1994	90,8	2004	71,1	2014	81,1	2024	86,3
1985	81,1	1995	89,5	2005	80,1	2015	84,7		
1986	80,8	1996	80,8	2006	77,8	2016	80,8		
1987	82,3	1997	80,2	2007	78,7	2017	84,5		
1988	78,8	1998	84,7	2008	75,7	2018	95,8		
1989	85,8	1999	89,5	2009	79,1	2019	93,1		
1990	90,8	2000	93,1	2010	82,5	2020	74,8		

Fuente: El autor (2024).

Del mismo modo, como se observa en la figura 14 y 15, se establecen las direcciones del vector viento de cada una de las ciudades, siguiendo el sentido de los puntos cardinales para la descripción del sotavento (dirección hacia donde sopla el viento), tomando como fecha de estudio, la fecha donde ocurrió la velocidad máxima del viento de cada año (ver tabla 9); posteriormente, para el cálculo del ángulo, se tomó el promedio de cada una de las medidas.

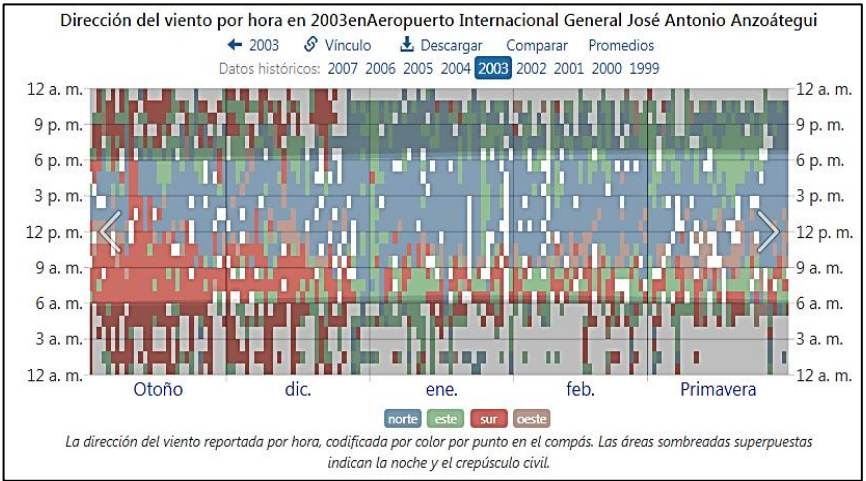


Figura 14. Dirección del viendo anual.
Fuente: Weather Spark.com. Editado por el autor

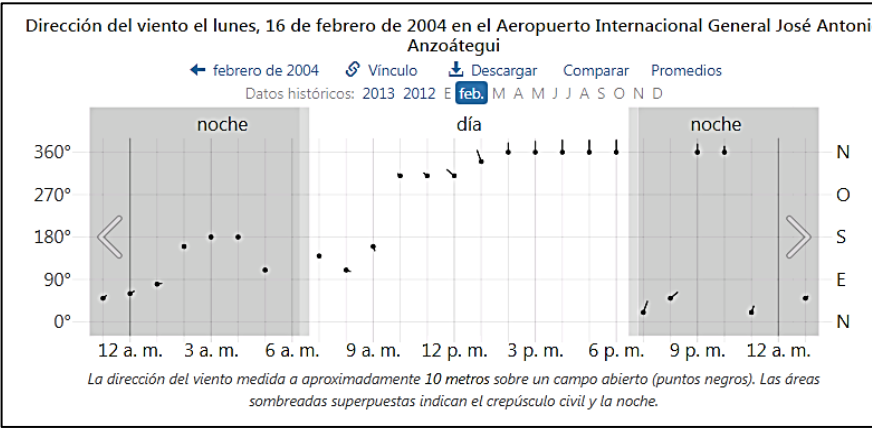


Figura 15. Dirección del viendo diaria.
Fuente: Weather Spark.com. Editado por el autor

Tabla 9. Dirección y ángulo de la velocidad máxima anual en Barcelona.

Año	Dirección	Año	Dirección	Año	Dirección	Año	Dirección	Año	Dirección
1981	SO 205°	1991	SO 210°	2001	SO 205°	2011	SO 215°	2021	SO 215°
1982	SO 210°	1992	SO 205°	2002	SO 210°	2012	SO 225°	2022	SO 205°
1983	SO 205°	1993	SO 205°	2003	SO 215°	2013	SO 225°	2023	SO 219°
1984	SO 198°	1994	SO 220°	2004	SO 215°	2014	SO 205°	2024	SO 220°
1985	SO 204°	1995	SO 215°	2005	SO 215°	2015	SO 200°		
1986	SO 210°	1996	SO 220°	2006	SO 220°	2016	SO 205°		
1987	SO 205°	1997	SO 215°	2007	SO 225°	2017	SO 195°		
1988	SO 205°	1998	SO 230°	2008	SO 230°	2018	SO 220°		
1989	SO 220°	1999	SO 225°	2009	SO 240°	2019	SO 225°		
1990	SO 230°	2000	SO 220°	2010	SO 225°	2020	SO 220°		

Fuente: El autor (2024). (SO = dirección Sur-Oeste).

Los vientos mantienen una dirección de 245° y con una desviación de 30° hacia ambos lados según los datos históricos, es decir, que pueden llegar con una dirección desde 175° hasta 215° en el 85% de los muestreos realizados, este factor de inclinación es importante para poder definir en qué punto será más vulnerable y afectará el viento la estructura. En la tabla 10 se observa la dirección y ángulo del viento promedio según los datos históricos de cada una de las ciudades del estado Anzoátegui, tomadas como puntos de medición.

Tabla 10. Dirección y ángulo promedio del viento de las ciudades del estado Anzoátegui.

Ciudad	Dirección	Angulo (grados)
BARCELONA	Sur-Oeste	214°
SOLEDAD	Oeste	275°
EL TIGRE	Oeste	268°
ANACO	Sur-Oeste	235°
PARIAGUAN	Oeste	266°
PIRITU	Sur-Oeste	223°
CLARINES	Oeste	261°

Fuente: El autor (2024).

4.2 Especificación de las velocidades básicas de diseño a partir de los datos estadísticos del Estado Anzoátegui aplicando el método de valores máximos

El cálculo de la velocidad máxima de diseño es elaborado mediante la aplicación de métodos estadísticos, de los cuales, los más utilizados son el método Gráfico, método de Gumbel y método Log-Pearson Tipo III. Para fines del cálculo estadístico se realizó por el método de Distribución de Valores Extremos tipo I (Gumbel), utilizada en la norma COVENIN 2003-82, para un periodo de 50 años, a partir de 42 muestras en la tabla 2.

La distribución de valores extremos, formulada por Gumbel (1941), es una distribución logarítmica normal, para lo cual, el valor extremo o valor máximo X se obtiene mediante la ecuación 1 de análisis de frecuencia, a partir de los datos de la

media y desviación estándar. Para dichas muestras y con la facilidad del programa *Microsoft Excel*, se obtuvieron los datos de la media (71,4 km/h) y la desviación estándar (39,01 km/h).

$$X_t = \mu + \alpha Y_r \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

X_t = es la magnitud máxima o valor máximo extremo.

μ = desviación típica de una muestra de datos.

α = distribución de Gumbel.

Y_r = Variable reducida en función del periodo de retorno.

Para el cálculo valor extremo, se tiene primero que:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6} \times S}{\pi} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

S = es la desviación estándar.

$$\alpha = \frac{\sqrt{6} \times 39,01 \text{ km/h}}{\pi} = 30,4186$$

Posteriormente se calcula:

$$\mu = \dot{x} - 0,5772 \alpha \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

$\dot{x}$ = es la media.

$$\mu = 71,4 \text{ km/h} - 0,5772 (30,4186) = 53,842$$

Por último, se realiza el cálculo para una magnitud X_t específica, según la variable reducida Y_r en función del periodo de retorno T , en este caso 50 años, mediante la siguiente ecuación:

$$Y_r = -\ln\left(\ln\frac{T}{T-1}\right) \quad \text{Ec. 4}$$

$$Y_r = -\ln\left(\ln\frac{50}{50-1}\right)$$

$$Y_r = 3,901$$

Despejamos finalmente en la ecuación 1, para obtener el valor máximo extremo que puede tener el viento en 50 años.

$$X_t = 53,842 + (30,4186 \times 3,901)$$

$$X_t = 172,53 \text{ km/h}$$

De esa forma queda especificada la velocidad máxima que puede alcanzar el viento en un periodo de 50 años, el cual dicho dato nos permite ayudar a los requerimientos necesarios para el cálculo de la carga del viento, y así determinar el diseño y la construcción de edificios que sean mucho más seguros y resistentes. Del mismo modo, se aplica el cálculo estadístico para las demás ciudades objetos de estudio, con la finalidad de obtener las velocidades máximas que se generan dentro del estado Anzoátegui, tal y como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Valor máximo extremo del viento, de las ciudades del estado Anzoátegui.

Ciudad	Valor máximo extremo X_t (km/h)
BARCELONA	172,53
SOLEDAD	157,28
EL TIGRE	164,95
ANACO	166,63
PARIAGUAN	170,43
PIRITU	193,79
CLARINES	183,49

Fuente: El autor (2024).

4.3 Obtención de las variaciones entre los valores de velocidades máximas básicas de diseño obtenidos en el análisis de los datos históricos del Estado Anzoátegui con los de la norma COVENIN 2003-89

Una vez recopilados los datos históricos de las velocidades máximas por año, en las localidades de Barcelona, Soledad, El Tigre, Anaco, Pariaguan, Piritu y Clarines, definido por 42 datos cada uno respectivamente, se pudo establecer las características generales del estado Anzoátegui con respecto a la velocidad máxima del viento en un periodo de retorno de 50 años. En donde, tales datos obtenidos, en comparación con la norma COVENIN 2003:1987, presentan un desfase superior en cuanto al mapa de velocidades de viento de la figura 8, donde se establece que, para el estado Anzoátegui se debe calcular la carga del viento sobre las estructuras con una velocidad básica de 95 km/h.

En resumen, la norma presenta limitaciones en cuanto a las velocidades básicas de diseño, con un margen de hasta el doble del valor mínimo establecido (ver tabla 12), debido a que no se tiene incorporado los efectos de las tormentas y huracanes tropicales que han afectado y pueden volver a afectar el territorio nacional. Es importante resaltar que, debido a que la zonificación eólica es incompleta debido a la falta de estaciones de mediciones, para algunas localidades del estado Anzoátegui y del país, es necesario interpolar gráficamente en un mapa de velocidades actualizado.

Tabla 12. Valor máximo extremo del viento, de las ciudades del estado Anzoátegui.

Ciudad	Valor máximo extremo Xt (km/h)	Velocidad básica del viento COVENIN 2003:1987	Diferencia (km/h)
BARCELONA	172,53	95 km/h	77,53
SOLEDAD	157,28		62,28
EL TIGRE	164,95		69,95
ANACO	166,63		71,63
PARIAGUAN	170,43		75,43
PIRITU	193,79		98,79
CLARINES	183,49		88,49

Fuente: El autor (2024).

4.4 Elaboración de curvas de isovelas de velocidad del Estado Anzoátegui mediante el programa ArcGIS 10.5.

Para el diseño de las isovelas de velocidad se utilizó el *software ArcGis* en su versión 10.5, ya que es un programa eficaz y confiable, que permite trabajar con información geográfica que puede ser aplicada para realizar un mapeo virtual basados en datos estadísticos de información específica sobre una variable, a fin de visualizarlos en 2D y 3D. Para el desarrollo del mapa de viento fue necesaria la introducción de datos específicos definidos de forma estadística para lograr la simulación, iniciando con el uso de la información geográfica de las estaciones (coordenadas UTM), en conjunto con las variables a graficar, en la tabla 13, se visualiza a detalle la información de entrada usada por el programa.

Es importante resaltar que las coordenadas utilizadas están basadas en el sistema geodésico WGS84 (*World Geodetic System* 1984 por sus siglas en inglés), ya que es el único sistema de referencia de coordenadas geográficas mundial utilizado hoy en día que permite localizar cualquier punto de la tierra sin necesitar otro de referencia, es decir, es el datum estándar por defecto para coordenadas en los dispositivos GPS comerciales.

Tabla 13. Coordenadas y datos de entrada necesarios para el programa ArcGis.

Estación	UTMX	UTMY	DIRECCION	VELOCIDAD
BARCELONA	10,13322	-64,70000	214	172,53
SOLEDAD	8,01111	-72,24674	275	157,28
EL TIGRE	8,8875	-64,24528	268	164,95
ANACO	9,43889	-64,47278	235	166,63
PARIAGUAN	8,81667	-64,73322	266	170,43
PIRITU	10,0613	-65,04207	223	193,79
CLARINES	7,46278	-68,30806	261	183,49

Fuente: El autor (2024)

Una vez definido los datos geográficos y variables del mapa (velocidad y dirección del viento), se procedió a graficar con el programa las isovelas, dando como resultado un mapa que contiene de forma gráfica la velocidad y dirección del viento actual, el cual, toma en cuenta el valor máximo que puede ocurrir en el estado Anzoátegui según la ubicación dentro del estado. Los comandos utilizados para el diseño son los siguientes:

- AddData.
- Kriging.
- Create Fishnet.
- Extrac Multi Value Points.
- Graduated Symbols.
- ESRI Cartography.
- Contour.

De forma general, se obtuvieron velocidades máximas de 190 km/h, mantienen una dirección de 245° y con una desviación de 30° hacia ambos lados como se observa en la figura 16. Es importante resaltar que, en el anexo A, se ubica un manual de uso para el diseño de mapas de vientos por medio del programa ArcGIS en su versión 10.5, el cual contempla información básica, los comandos y el procedimiento de ingreso y análisis de datos.

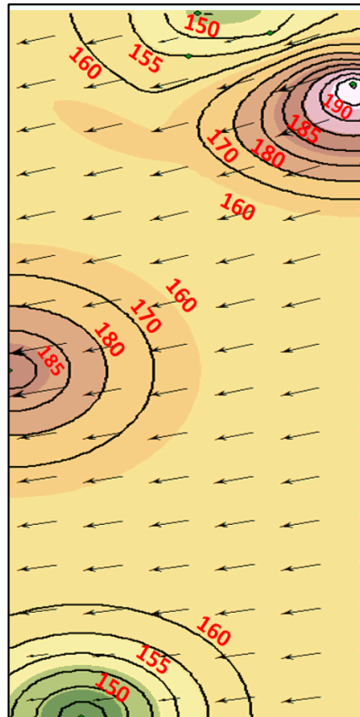


Figura 16. Mapa de isovelas según la magnitud y dirección del viento.
Fuente: El autor (2024)

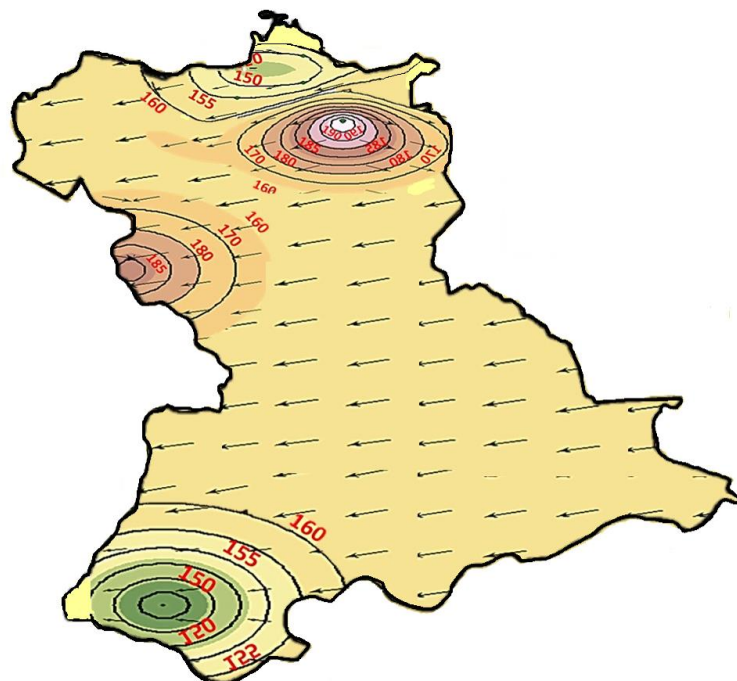


Figura 17. Mapa de isovelas según la magnitud y dirección del viento del estado Anzoátegui.
Fuente: El autor (2024)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Por medio de la página web Weather Spark, se obtuvieron las velocidades máximas y sus direcciones del estado Anzoátegui en los últimos 50 años, teniendo como resultado, las velocidades máximas de las ciudades de Barcelona, Puerto Piritu, Anaco, El Tigre, Pariaguan, Soledad y Clarines a partir de 1981 hasta el año 2024. Del mismo modo, se obtuvo la dirección de dichas velocidades, las cuales mantienen una dirección de 245° hacia el Sur-Oeste de barlovento, con una desviación de 30° en ambos lados según los datos históricos.
- A partir de los datos históricos, se calculó la velocidad máxima que estos pueden alcanzar en un periodo de retorno de 50 años, con el uso del método estadístico de Distribución de Valores Extremos tipo I (Gumbel 1941), se obtuvo que para dicha base de datos de las ciudades del estado Anzoátegui, esta puede alcanzar velocidades máximas de 195 km/h.
- La norma COVENIN 2003-82, presenta limitaciones en cuanto a las velocidades de diseño, ya que muestra un desfase de al menos 100km/h, en comparación con los datos obtenidos por medio de la Distribución de Valores Extremos tipo I. Es importante resaltar que el resultado de esta comparación es debido a que, en la norma venezolana, actualmente no se tiene incorporado los efectos de las tormentas y huracanes tropicales que han afectado y pueden volver a afectar el territorio nacional, por lo que las gráficas de velocidades de diseño.
- Una vez definido las velocidades máximas de cada ciudad se realizó un mapa de isovelas actualizado de las velocidades y dirección del viento en el estado Anzoátegui con el uso del programa ArcGIS 10.5. obteniendo de esta forma el mapeo de la información obtenida en los objetivos anteriores, según las coordenadas geográficas de cada punto de registro.

5.2 Recomendaciones

- Seleccionar otras páginas web o sistemas tecnológicos referentes al registro histórico climatológico de Venezuela, a fin de comparar y verificar los registros obtenidos por la página web *Weather Spark*.
- Ubicar equipos tecnológicos que registren las velocidades y direcciones del viento en las ciudades del estado Anzoátegui en las que no se cuenta con alguno, a fin de poder iniciar un registro histórico climatológico.
- Proponer una actualización de la norma COVENIN 2003-82, en cuanto al mapa de velocidades de diseño, el cual no incorpora datos históricos desde 1982, en donde se han registrado nuevas tormentas y huracanes durante las últimas décadas.
- Realizar un estudio más exhaustivo sobre los demás estados de Venezuela, con la finalidad de poder actualizar un mapa de isovelas de velocidades de diseño a nivel nacional con los datos de las últimas décadas.
- Usar *softwares* de computación para el registro y almacenamiento de datos climatológicos, ya que dan como desarrollo, un ahorro considerable de tiempo en el manejo de información

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

- Agüera, A., González, J., Palomares, J., Sierra, J. (2014). 'Testing new parameters for wind complexity assessment from ASCAT measurements'. *IEEE Geoscience and Remote sensing letters*. Doi:10.1109/LGRS.2014.2367576
- Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica*. Caracas: Espíteme.
- ASCE (2016). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. 7-2016. Virginia: ASCE.
- Bernal, A. (1983). *Atlas Climatológico de Venezuela de 1983*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- CANTV (1982). *Normas y Especificaciones para Torres y Estructuras de Soporte de Antenas de Transmisión*. Caracas: CANTV.
- COVENIN (1986). *Acciones del Viento sobre las Construcciones 2003-86*. Caracas: MINDUR.
- COVENIN (1988). *Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones 2002-88*. Caracas: MINDUR.
- Gutierrez, A. (1983). *Acciones del viento sobre las construcciones*. Revista COVENIN, Julio-Diciembre, (pp 57). Caracas: COVENIN.
- Gutierrez, A. (2006). *Tormentas tropicales y vientos huracanados en Venezuela. Ingeniería Forense y Estudios de Sitio, Vol. I, Cap. I, (pp15-30)*. Caracas: Consulibris.
- Gutierrez, A. (2008). *Propuesta para la actualización de la norma COVENIN 2003:1987 "ACCIONES EOLICAS DEL VIENTO SOBRE LAS CONSTRUCCIONES"*. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.
- Gutierrez, A. (2011). *Acciones del viento sobre las construcciones. Cuadernos Informativos No. 20*. Caracas: Fondo Editorial Sidetur.
- Iawe (2007). *I Jornada Nacional de la Investigación en la Edificación*. 05-27, Madrid, España.
- INIFIED (2015). *NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA ESTUDIO, PROYECTOS, CONSTRUCCIONES E INSTALACIONES (Volumen 4)*. Ciudad de México, México.

- Muñoz, J. (2017). *DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD BÁSICA DEL VIENTO. Uso para Zonificar Intensidad del Viento en Costa Rica y en Consideraciones de Diseño por Viento para Puente. Programa de Ingeniería Estructural, N° 3, Volumen 2, Año 2017.*
- Muñoz, R. (1998): *Metodología de la investigación contable*. México D.F: Trillas.
- Pardillo, S. (2017). *Manual de energía eólica. Desarrollo de proyectos e instalaciones*. Editorial: UPV. Maracaibo, Venezuela.
- Sánchez, J. (2001). *Metodología de la Investigación*. Mexico D.F.:Let Learn.
- UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL LIBERTADOR. (2002). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. Caracas: FEDUPEL.
- Villarrubia, M. (2012). *Ingeniería de la energía eólica*. Editorial: MARCOMBO. Madrid, España.

HOJA DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE LAS CURVAS DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO, PARA EL CÁLCULO DE LA ACCIÓN EÓLICA EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código ORCID / e-mail	
Genesaret J. Carrasquel	ORCID	CI: 24.610.991
	e-mail	Genesaretcarrasquel29816@gmail.com
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Velocidades básicas
velocidad
dirección
Barlovento
Sotavento
Periodo de retorno
Distribución de valores extremos.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Civil

Resumen (abstract):

RESUMEN

El objetivo principal de la investigación fue proponer la actualización de las curvas de velocidades básicas del viento en el estado Anzoátegui, en donde se plantea una investigación del tipo documental, debido a que se obtiene mediante la revisión bibliográfica y las pagina web Weather Spark, los datos históricos de la velocidad máxima anual del viento en el estado Anzoátegui desde 1981 hasta el 2022. Con la finalidad de tener información sobre todo el territorio, se obtuvieron los datos de las estaciones ubicadas en Barcelona, Puerto Piritu, Anaco, El Tigre, Pariaguan, Soledad y Clarines con el cual por medio del método de Distribución de Valores Extremos tipo I de Gumbel (1941), se obtuvieron los valores máximos que pudieran generarse en un periodo de retorno de 50 años comprendidos entre 160 a 195km/h y una dirección de 245° en una dirección Sur-Oeste de barlovento, con una desviación de 30° hacia ambos lados. Del mismo modo la investigación, se basó en tipo descriptivo, ya que, una vez obtenido los valores, mediante el programa ArcGIS V10.5, se realizaron las curvas de velocidades del viento básicas del estado Anzoátegui, las cuales se compararon con las curvas de velocidades contempladas en la norma COVENIN 2003-89, presentado un desfase en las velocidades de hasta 90km/h.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código ORCID / e-mail										
Prof. Jesús Álvarez	ROL										
		CA		AS	X	TU		JU			
	ORCID	C.I: 4.510.362									
	e-mail	Sainca40@yahoo.com									
Prof. Gabriela Prado	ROL										
		CA		AS		TU		JU	X		
	ORCID	CI: 18.594.213									
	e-mail	gabrielaprado_2010@hotmail.com									
Prof. Eber Triana	ROL										
		CA		AS		TU		JU	X		
	ORCID	C.I: 25.567.388									
	e-mail	eber.triana2@gmail.com									
	e-mail										

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2024	06	26

Lenguaje: SPA

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
AECTTG_ GJC2024

Alcance:

Espacial: UNIVERSAL

Temporal: INTEMPORAL

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero Civil

Nivel Asociado con el Trabajo:

Pregrado

Área de Estudio:

Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Extensión Cantaura

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

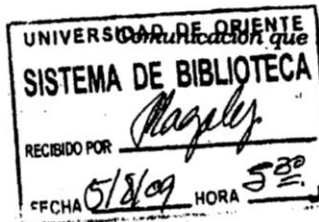
Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.



Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CUNPEL
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/marija

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.



Genesaret J. Carrasquel

AUTOR



Prof. Jesús Álvarez

TUTOR