



---

---

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

**Instituto Tecnológico de Veracruz**

**“MODELO DE NEGOCIO PARA LA EVALUACIÓN DE  
BENEFICIOS DE GENERADORES EÓLICOS EN SECTOR  
RESIDENCIAL EN SISTEMA INTERCONECTADO”**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN EFICIENCIA  
ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES**

**PRESENTA:**

**JULIO GUEVARA INFANZÓN**

**ASESOR:**

**DR. IVÁN VALENCIA SALAZAR**

## **RESUMEN**

El presente trabajo se lleva a cabo con la finalidad de presentar información de la factibilidad de implementación sistemas eólicos para la generación eléctrica en el Puerto de Veracruz, para el suministro eléctrico residencial interconectado a la red de la empresa productiva del estado encargada de suministrar energía eléctrica, partiendo desde la caracterización del recurso renovable, la delimitación geográfica, caracterizando la demanda respecto a un año.

En el capítulo 1 se aborda la problemática de la poca o nula información acerca de los beneficios, energéticos, económicos y ambientales que el uso de la generación eólica a pequeña escala puede tener en los usuarios residenciales en sistemas interconectados a la red eléctrica de la empresa subsidiaria del estado Comisión Federal de Electricidad.

En el capítulo 2 se afronta la investigación documental tanto a nivel de antecedentes en cuanto a tesis enfocadas a sistemas eólicos similares y el marco teórico se desarrolla sobre el funcionamiento de los aerogeneradores, su arquitectura y demás componentes del sistema interconectado, como el inversor y regulador de carga.

En el capítulo 3 se delimita la metodología y parámetros a evaluar para el tratamiento de la información generada, como son el tipo de investigación, la hipótesis sobre la viabilidad de desarrollar un modelo de negocio; basado en la simulación de demanda energética del sector residencial y el potencial de generación eólico en la zona urbana del puerto de Veracruz, en un sistema interconectado y los beneficios energéticos, económicos y ambientales.

En el capítulo 4 se realiza la simulación de los escenarios energéticos para cada tipo de servicio residencial, basado en la caracterización de la demanda energética, y el potencial eólico en el puerto, analizando la propuesta de 5 tipos de aerogeneradores de diferente potencia, su costo, beneficio e impacto ambiental en la reducción de CO<sub>2</sub> emitida a la atmosfera, con el uso de esta tecnología.

Los resultados encontrados son alentadores, pues, aunque la inversión inicial es considerable, el Periodo de Retorno de Inversión en algunos casos oscila entre los 5 y 8 años, además de los beneficios energéticos y medio ambientales en la reducción de la emisión de CO<sub>2</sub>.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	2
ÍNDICE.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema .....	6
1.2. Objetivos de la Investigación .....	7
1.2.1. Objetivo General.....	7
1.2.2. Objetivos Específicos.....	7
1.3. Justificación y Delimitación de la Investigación.....	8
1.3.1. Justificación.....	8
1.3.2. Delimitación .....	9
2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	10
2.1. Revisión de Antecedentes .....	10
2.2. Marco Teórico .....	11
2.2.1. El viento .....	11
Causas generales .....	12
Características físicas de los vientos.....	14
Velocidad de los vientos .....	15
Medida del viento .....	15
Tipos de vientos.....	16
Zona de convergencia intertropical.....	17
Zonas de divergencia subtropical .....	18
Zonas de convergencia polar.....	18
Vientos regionales.....	18
Vientos locales.....	18

2.2.2. Potencial Eólico en México.....	19
2.2.3. Aerogeneradores.....	22
Tipos de aerogeneradores.....	22
Aerogeneradores verticales .....	22
Tipos de aerogeneradores verticales .....	22
Aerogeneradores de eje horizontal .....	23
Aerogeneradores sin hélices de Vortex.....	24
Wind Tree.....	24
Partes de un aerogenerador .....	25
Potencia Eólica.....	25
2.2.4. Componentes complementarios para un sistema interconectado .....	26
Regulador de carga .....	27
Inversor .....	28
Medidor bidireccional.....	29
2.2.5. Normativa.....	30
2.2.6. Tarifas .....	32
2.2.7. Impacto ambiental de la energía eléctrica.....	42
3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	43
3.1. Tipo de Investigación.....	43
3.2. Hipótesis y Especificación de Variables.....	44
3.2.1. Hipótesis.....	44
3.2.2. Variable independiente .....	44
3.2.3. Variable dependiente .....	44
3.3. Operacionalización de variables.....	45
3.4. Diseño Técnico.....	46

4. MODELO DE NEGOCIO .....	47
4.1. Recopilación y Análisis de Datos.....	47
4.1.1. Selección del dispositivo de monitoreo ambiental. ....	48
4.1.2. Elección del área a monitoreo .....	49
4.1.3. Ejecución del muestreo de parámetros ambientales .....	50
4.1.4. Evaluación de parámetros ambientales recabados.....	52
4.2. Modelado de los generadores eólicos .....	54
4.2.1. Turbinas eólicas empleadas.....	54
4.2.2. Potencial de generación .....	58
4.2.3. Inversión económica. ....	60
4.3. Caracterizar cada tipo de usuario residencial.....	61
4.4. Escenarios de simulación .....	63
4.4.1. Consumo básico.....	63
4.4.2. Consumo intermedio.....	64
4.4.3. Consumo excedente .....	66
4.4.4. Doméstico de Alto Consumo .....	67
4.5. Análisis de resultados .....	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	71
ÍNDICE DE FIGURAS. ....	76
ÍNDICE DE TABLAS.....	78
Anexo 1 Ley de Transición Energética.....	80
Anexo 2 RESOLUCIÓN Núm. RES/142/2017 .....	121

# 1. INTRODUCCIÓN

En los siguientes puntos se desarrolla la problemática sobre la falta de información acerca de los beneficios que puede otorgar el uso de generación eólica para usuarios residenciales; en un sistema interconectado a la red de suministro de energía eléctrica; dentro de la parte urbana en Veracruz, en cuanto a lo económico, medio ambiental y energético.

## 1.1. Planteamiento y Formulación del Problema

Desde hace varios años, existen diversos estudios que avalan la viabilidad del uso de celdas fotovoltaicas para generación de energías limpias en el sector residencial y comercial en sistemas interconectados; no solo en México (Guerrero, 2010) (Cruz, 2012) y en el resto del mundo como en España (López-Argumedo, 2009).

De igual manera, se tienen estudios del potencial eólico existente en el país (Bnamericas, 2019), enfocándose solo en el uso de estos en parques industriales de generación a gran escala. Sin contemplar el uso de estos vientos para generación distribuida a pequeña escala en un uso residencial o comercial mediante el uso de generadores eólicos.

Existe desconocimiento de parte de los usuarios del servicio de energía eléctrica acerca de los beneficios que se pueden obtener, y poca promoción del uso de este tipo de generación distribuida basada en potencial eólico existente; que actualmente se está desperdiciando.

El usuario residencial desconoce que tipo de aerogenerador puede y debe usar de acuerdo a las características de su carga y consumo, desconoce también si es aplicable a todos los usuarios por igual, carece de información acerca de cuánto se debe invertir y en qué tiempo se recupera la inversión, y si con el uso de aerogeneradores para producir su propia energía eléctrica está ayudando al planeta.

Todas esto nos llevan a realizar esta pregunta:

¿Un modelo de simulación del sector residencial sobre su demanda energética y el potencial de generación eólico, en sistema interconectado, permitirá desarrollar un modelo de negocio?

## **1.2. Objetivos de la Investigación**

En este punto, se realiza el planteamiento del objetivo y las fases que necesitan llevarse a cabo.

### **1.2.1. Objetivo General**

Desarrollar un modelo de negocios para la implementación de generadores eólicos en el sector residencial en un sistema interconectado en el puerto de Veracruz.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar el recurso eólico y la demanda energética en el sector residencial en el puerto de Veracruz.
- Desarrollar un modelo del generador eólico mediante simulación para determinar el impacto en cada tipo de cliente residencial
  - Clientes con consumo en el escalón base.
  - Clientes con consumo en el escalón Intermedio
  - Clientes consumo dentro del escalón excedente
  - Clientes con consumos en tarifa DAC (Domésticas de Alto Consumo).
- Evaluar los beneficios energéticos, económicos y medio ambientales del modelo propuesto en función de cada tipo de usuario.

### **1.3. Justificación y Delimitación de la Investigación**

En este apartado se describe la justificación de la investigación, así también como la delimitación geográfica, temporal y económica de la misma.

#### **1.3.1. Justificación**

Actualmente la normativa en materia de uso de energías limpias o también llamadas energías renovables, permite emplear fuentes generadoras de energía eléctrica particulares para consumo propio, siendo posible el inyectar del excedente de esta generación al Sistema Eléctrico Nacional, cumpliendo con los requisitos legales (Ley de Transición Energética, 2015) y las especificaciones técnicas (Especificaciones técnicas pequeña escala, 2018) que apliquen para tal fin.

El presente trabajo de investigación, brinda conocimiento sobre los posibles beneficios del uso de generadores eólicos como Fuentes de Energía Distribuida (FED) en pequeña escala en sistema interconectado; para usuarios residenciales en Veracruz, a fin de considerarlo para su implementación.

En lo económico, al emplearlo como una estrategia para abatir los costos de la facturación que la empresa subsidiaria del estado CFE realiza por concepto del consumo de energía eléctrica de acuerdo a las tarifas aplicables, generando un ahorro en los clientes.

También aporta beneficios a la sociedad, pues contribuirá a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> al reducir el consumo de energías contaminantes, coadyuvando al cumplimiento de las metas en reducciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) anunciado por el Gobierno de la República “México ha asumido también el compromiso internacional no condicionado para realizar acciones de mitigación que tengan como resultado la reducción del 22% de sus emisiones de GEI al año 2030, lo cual significa una reducción de alrededor de 210 megatoneladas” (Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030, 2015)

Derivado de esta situación, se considera imperativo y viable el realizar un estudio de la “evaluación de beneficios del uso de generadores eólicos en sector residencial en sistema interconectado, como modelo de negocio”.

### **1.3.2. Delimitación**

A continuación se realiza la delimitación de la investigación en los siguientes puntos.

- **Geográfica:** Esta investigación se realiza en la al área que abarca la zona urbana del puerto de Veracruz, Veracruz.
- **Temporal:** El periodo de la presente investigación será comprendido de enero del 2018 a diciembre del 2019.
- **Económica:** La presente investigación implica únicamente simulación, sin incluir la implementación.

## **2. FUNDAMENTO TEÓRICO**

En el presente capítulo se detallan los antecedentes en función de investigaciones ya realizadas a nivel licenciatura y maestría, además de las bases teóricas de los sistemas eólicos, los principios que lo rigen, así como sus componentes y parámetros a tomar en cuenta.

### **2.1. Revisión de Antecedentes**

En el 2012 (Bnamericas, 2019) se realizaron diversos estudios del potencial eólico en el puerto de Alvarado Veracruz, teniendo contemplada la construcción de un parque de generación de energía eléctrica con 20 aerogeneradores de potencia instalada de 40 MW, actualmente, se solicitó una Manifestación de Impacto Ambiental regional para reactivar el proyecto, sin embargo, aun no se ha logrado llevar a cabo.

En el 2013 (Salazar, y otros, 2013) se llevó a cabo un estudio del potencial de energías renovables en el Instituto Tecnológico de Veracruz, proponiendo la instalación de paneles fotovoltaicos y generadores eólicos, a fin de simular el impacto social, económico y ambientales, que se obtendría al generar parte de la energía que se consume en el plantel, obteniendo resultados muy alentadores, sin embargo, no se llevó a cabo la implementación.

En mayo del 2019 (Chicaiza & Domínguez, 2019) se realiza un estudio en la ciudad de Cuenca-Ecuador, para determinar los sectores ideales para la implementación de generación eólica en el área urbana.

Actualmente no existe información adicional acerca de los beneficios energéticos, económicos, ambientales; que el uso del potencial eólico existente, para la generación de energía eléctrica mediante el empleo de aerogeneradores en uso residencial en un sistema interconectado, puedan otorgar en el área urbana de la ciudad de Veracruz, Veracruz.

## **2.2. Marco Teórico**

A continuación, se desarrollan los conceptos de el viento, energía eólica, la generación eólica, sistemas de generación distribuida aislado e interconectado, así como las componentes que lo conforman, los aspectos legales y medio ambientales de los sistemas interconectados al suministro eléctrico, tipos de tarifas y caracterización de la demanda energética.

### **2.2.1. El viento**

El viento es el flujo de gases a gran escala. En la atmósfera terrestre, el viento es el movimiento en masa del aire de acuerdo con las diferencias de presión atmosférica. Günter D. Roth lo define como «la compensación de las diferencias de presión atmosférica entre dos puntos». (Roth, Günter D., 2003)

En meteorología, se denominan los vientos según su fuerza y la dirección desde la que soplan. Los aumentos repentinos de la velocidad del viento durante un tiempo corto reciben el nombre de ráfagas. Los vientos fuertes de duración intermedia (aproximadamente un minuto) se llaman turbonadas. Los vientos de larga duración tienen diversos nombres según su fuerza media como, por ejemplo, brisa, temporal, tormenta, huracán o tifón.

El viento se puede producir en diversas escalas: desde flujos tormentosos que duran decenas de minutos hasta brisas locales generadas por el distinto calentamiento de la superficie terrestre y que duran varias horas, e incluso globales, que son el fruto de la diferencia de absorción de energía solar entre las distintas zonas geo astronómicas de la Tierra.

Las dos causas principales de la circulación atmosférica a gran escala son el calentamiento diferencial de la superficie terrestre según la latitud, la inercia y la fuerza centrífuga producidas por la rotación del planeta. En la zona intertropical, la diferencia de presión atmosférica entre los océanos (masa de aire cálido y húmedo) y los continentes (masa de aire cálido y seco) durante el verano en el hemisferio norte, es decir, entre junio y septiembre, da origen a la formación de vientos estacionales entre el Océano Índico y el continente asiático y las depresiones térmicas en el interior de los continentes, especialmente en Asia y, en menor grado, en América del Norte, entre el Golfo de México y el interior de los Estados Unidos constituyen el motivo de la

circulación monzónica de los vientos, que van durante la época de más calor, a desplazarse hacia el interior impulsar la circulación de monzones.

## **Causas generales**

La gran capa atmosférica es atravesada por las radiaciones solares que calientan el suelo, el cual, a su vez, calienta el aire que lo rodea. Así resulta que este no es calentado directamente por los rayos solares que lo atraviesan sino, en forma indirecta, por el calentamiento del suelo y de las superficies acuáticas. Cuando el aire se calienta, también se dilata, como cualquier gas, es decir, aumenta de volumen, por lo cual asciende hasta que su temperatura se iguala con la del aire circundante o algo más.

A grandes rasgos, las masas de aire van de los trópicos al ecuador, donde logran ascender tanto por su calentamiento al disminuir la latitud; como por la fuerza centrífuga del propio movimiento de rotación terrestre, que da origen a su vez a que el espesor de la atmósfera en la zona ecuatorial sea el mayor en toda la superficie terrestre. Al ascender, se enfrían, y por las altas capas vuelven hacia los trópicos, donde descienden por su mayor peso (aire frío y seco) lo cual explica la presencia de los desiertos subtropicales y la amplitud térmica diaria tan elevada de los desiertos.

La primera descripción científica conocida del viento se debe al físico italiano Evangelista Torricelli: ...los vientos son producidos por diferencias en la temperatura del aire, y por tanto de la densidad, entre dos regiones de la Tierra. ( O'Connor, J. J.; Robertson, , 2002)

Otras fuerzas que mueven el viento o lo afectan son la fuerza del gradiente de presión, el efecto Coriolis, las fuerzas de flotabilidad y de fricción y la configuración del relieve. Cuando entre dos masas de aire adyacentes existe una diferencia de densidad, el aire tiende a fluir desde las regiones de mayor presión a las de menor presión. En un planeta sometido a rotación, este flujo de aire se verá influenciado, acelerado, elevado o transformado por el efecto de Coriolis en cualquier punto de la superficie terrestre.

La creencia de que el efecto de Coriolis no actúa en el ecuador es errónea: lo que sucede es que los vientos van disminuyendo de velocidad a medida que se acercan a la zona de convergencia

intertropical, y esa disminución de velocidad queda automáticamente compensada por una ganancia en altura del aire en toda la zona ecuatorial. A su vez, esa ganancia en altura da origen a la formación de nubes de gran desarrollo vertical y a lluvias intensas y prolongadas, ampliamente repartidas en la zona de convergencia intertropical, en especial en dicha zona ecuatorial. La fricción superficial con el suelo genera irregularidades en estos principios y afecta al régimen de vientos, como por ejemplo el efecto Föhn. (JetStream, 2008)

Globalmente hablando, el factor originador y predominante a gran escala es la diferencia de calentamiento entre unas zonas y otras de acuerdo con determinados factores geográficos y astronómicos, así como por variaciones estacionales o temporales producidas por los movimientos de rotación y traslación del planeta.

Cuando se habla del viento se hace referencia siempre a los vientos en la superficie terrestre hasta cierta altura, que varía según la latitud, el relieve y otros factores. A su vez, este movimiento superficial del aire, denominado viento, tiene una compensación en altura que casi siempre sigue una trayectoria opuesta a la de los verdaderos vientos en la superficie.

Así, una depresión, un ciclón o un área de baja presión en la superficie producida por el calentamiento superficial del aire obliga al aire caliente a ascender y da origen a una zona de alta presión en altura donde el aire frío y seco desciende hacia las zonas desde donde procedía el aire en la superficie: de esta manera se forman los cumulonimbos, tornados, huracanes, frentes y otros fenómenos meteorológicos (Viento, 2019).

Una compensación en altura a la dirección de los vientos son las corrientes en chorro que se producen a gran altura y a gran velocidad. La extraordinaria velocidad de estas corrientes en altura (unos 250 km/h) en sentido aproximado oeste – este se debe a la escasa densidad del aire a la altura donde se producen. En efecto, estos vientos compensan a los vientos alisios que se dirigen superficialmente entre Europa y América del Sur a través del Atlántico y también entre Asia y América del Norte en la misma dirección y con las mismas características. Como estas corrientes en chorro tienen una altura similar a la que usan los aviones en sus vuelos trasatlánticos, la diferencia entre el vuelo en un sentido o en otro puede ser de un par de horas o más en los trayectos largos. Por otra parte, las grandes velocidades de estas corrientes, que a

baja altura podrían ser catastróficas para los aviones, a más de 10 km de altura no resultan tan problemáticas por la escasa densidad del aire.

Los vientos se definen también como un sistema que utiliza la atmósfera para alcanzar el equilibrio mecánico de fuerzas, lo que permite descomponer y analizar las características de este. Es muy habitual simplificar las ecuaciones de movimiento atmosféricas mediante distintas componentes de vientos que, sumados, dan lugar al viento existente. La componente del viento geostrófico es el resultado de realizar el equilibrio entre la fuerza de Coriolis y la fuerza del gradiente de presión. Este viento fluye perpendicular a las isobaras, y se puede decir que los efectos de la fricción en latitudes medias son despreciables para las capas altas de la atmósfera. El viento térmico es un viento que diferencia dos niveles que solo existen en una atmósfera con gradientes de temperatura horizontales o baroclinia. El viento del gradiente es similar al geostrófico pero también incluye el equilibrio de la fuerza centrífuga. (Viento, 2019)

## **Características físicas de los vientos**

El estudio sistemático de las características del viento es muy importante para:

- Dimensionar estructuras de edificios como silos, grandes galpones, edificaciones elevadas, etc.
- Diseñar campos de generación eólica de energía eléctrica.
- Diseñar protección de márgenes en embalses y los taludes de montante en las presas.

La medición de la velocidad y dirección del viento se efectúa con instrumentos registradores llamados anemómetros, que disponen de dos sensores: uno para medir la velocidad y otro para medir la dirección del viento. Las mediciones se registran en anemógrafos.

Para que las mediciones sean comparables con las mediciones efectuadas en otros lugares del planeta, las torres con los sensores de velocidad y dirección deben obedecer a normativas estrictas dictadas por la OMM – Organización Meteorológica Mundial. (Viento, 2019)

## **Velocidad de los vientos**

El instrumento más antiguo para conocer la dirección de los vientos es la veleta que, con la ayuda de la rosa de los vientos, define la procedencia de los vientos, es decir, la dirección desde donde soplan. La manga de viento utilizada en los aeropuertos suele ser bastante grande y visible para poder ser observada desde los aviones tanto en el despegue como, en especial, en el aterrizaje.

La velocidad, esto es la rapidez y dirección de los vientos se mide con el anemómetro, que suele registrar dicha dirección y rapidez a lo largo del tiempo. La intensidad del viento se ordena según su rapidez utilizando la escala de Beaufort. Esta escala se divide en varios tramos según sus efectos o daños causados, desde el aire en calma hasta los huracanes de categoría 5 y los tornados.

El récord de mayor velocidad del viento en la superficie terrestre lo tiene el Monte Washington en Nuevo Hampshire (Estados Unidos), con 231 millas por hora, es decir, 372 km/h, registrado en la tarde del 12 de abril de 1934. (Viento, 2019)

La causa de esta rapidez tan grande del viento está en la configuración local del relieve, que forma una especie de ensilladura de norte a sur que fuerza al viento del oeste a concentrarse en el paso como si fuera un embudo. Es importante señalar que esta enorme rapidez solo se alcanza en una especie de tobera poco extendida, siendo mucho menor a una corta distancia de este punto. Todas las cordilleras del planeta tienen puntos similares, donde los vientos soplan con fuerza por la existencia de abras, pasos, collados o ensilladuras donde se concentra y acelera el paso del viento. En Venezuela, la carretera trasandina pasa por una ensilladura de este tipo entre la cuenca del río Mocotíes y la depresión del Táchira y que tiene el nombre muy apropiado de Páramo Zumbador por la fuerza del viento.

## **Medida del viento**

La dirección del viento es el punto cardinal desde el que se origina este y se mide con la veleta. Por ejemplo, el viento del norte viene, obviamente, desde el norte y se dirige hacia el sur. En los aeropuertos se usan las mangas de viento para indicar la dirección del viento y estimar la

velocidad a partir del ángulo que forma la manga con el suelo. Las veletas tienen indicadas en la parte inferior las direcciones de los vientos con los puntos cardinales y los puntos intermedios, conformando así lo que se conoce como rosa de los vientos, que se emplean con una brújula en los mecanismos de navegación de las embarcaciones desde hace muchos siglos. La velocidad del viento se mide con anemómetros, de forma directa mediante unas palas rotativas o indirectamente mediante diferencias de presión o de velocidad de transmisión de ultrasonidos. Otro tipo de anemómetro es el tubo pitot que determina la velocidad del viento a partir de la diferencia de presión de un tubo sometido a presión dinámica y otro a la presión atmosférica (Viento, 2019).

## **Tipos de vientos**

De acuerdo con la escala o dimensión del recorrido de los vientos tenemos tres tipos de vientos: los vientos planetarios, los vientos regionales y los locales, aunque hay algunos tipos, como los monzones, que son más difíciles de determinar y que ocupan variantes dentro de esta simple clasificación.

Los vientos globales, constantes o planetarios, se generan principalmente como consecuencia del movimiento de rotación terrestre, que origina un desigual calentamiento de la atmósfera por la insolación y proceden de centros de acción dispuestos en franjas latitudinales de altas y bajas presiones, es decir, de anticiclones y depresiones. Estos cinturones se disponen aproximadamente en las latitudes ecuatoriales, subtropicales y polares (círculos polares) y se encargan de transportar una cantidad de energía realmente enorme. Estos vientos son conocidos como alisios en las latitudes intertropicales y vientos del oeste en las zonas templadas.

Otro tipo de viento planetario es el monzón que afecta a Asia y el océano Índico y se genera por las diferencias estacionales de temperatura entre los continentes y el mar. Existen algunos autores que incluyen a los monzones como vientos estacionales ya que se producen, en sentido inverso, en el verano y el invierno. Durante el verano, el continente (en este caso, Asia) se calienta más que el Océano Índico, por lo que se produce una zona de baja presión continental, que atrae los vientos cálidos y húmedos del océano Índico, que dan origen a precipitaciones muy intensas porque la cordillera del Himalaya y otras constituye una barrera a dichos vientos y

obliga al aire a ascender, produciéndose lluvias orográficas. Durante el invierno, por el contrario, el océano se encuentra más caliente que el continente, por lo tanto, los monzones se desplazan del continente hacia el Océano Índico adonde llevan cielos sin nubes y aire seco, por la escasa cantidad de humedad de las tierras continentales. También se presentan monzones en el Medio Oeste de los Estados Unidos, pero sus efectos no son tan violentos como en Asia, ya que no existen cordilleras tan elevadas como el Himalaya que incrementen la lluviosidad con su efecto orográfico (lluvia orográfica) (Viento, 2019).

### **Zona de convergencia intertropical**

La zona de convergencia intertropical es un cinturón de bajas presiones (Strahler señala que este cinturón tiene una presión ligeramente por debajo de lo normal, por lo común entre 1009 y 1013 milibares (mb) y está determinada por el movimiento de rotación terrestre el cual genera lo que se conoce como abultamiento ecuatorial terrestre, mucho más notorio, por la diferente densidad, en los océanos que en los continentes y aún más notorio en la atmósfera que en los océanos. En el diagrama de la circulación planetaria de los vientos puede verse ese mayor abultamiento de la atmósfera en la zona ecuatorial. Es por ello que el espesor de la atmósfera es mucho mayor en la zona intertropical, mientras que en las zonas polares es mucho más delgada.

Es muy importante tener en cuenta que cuando hablamos de convergencia intertropical nos estamos refiriendo a los vientos en superficie ya que, a bastante altura, lo que existe es una divergencia de los vientos. Esta idea se podría considerar como una proposición general: a cada zona de baja presión en la superficie terrestre corresponde una zona anticiclónica en altura. La zona de baja presión a nivel del suelo es de escasas dimensiones, donde los vientos giran y se elevan de manera anti horaria, mientras que a cierta altura se forma una zona de alta presión mucho más extendida, lo que nos da una forma de embudo con la copa casi plana, con o sin ojo de tormenta y de manera asimétrica, cuyo movimiento giratorio cesa cuando la presión atmosférica en la superficie se hace más homogénea y la columna de aire cálido cesa en su ascenso. Se habla entonces de un proceso de oclusión o de un frente ocluido.

## **Zonas de divergencia subtropical**

Son zonas de subsidencia de aire frío procedente de grandes alturas en la zona de convergencia intertropical, es decir, de la franja ecuatorial, y que dan origen, a su vez, a los vientos alisios, que se regresan hacia el ecuador a baja altura, y a los vientos del oeste, que van incrementando su velocidad a medida que aumentan también de latitud.

## **Zonas de convergencia polar**

Son zonas de baja presión que atraen a los vientos provenientes de las latitudes subtropicales. Estos vientos traen masas de aire más cálidas y húmedas, humedad que van perdiendo por condensación (lluvias, rocío y escarcha) a medida que van encontrando aire más frío con el aumento de la latitud. Esta humedad relativa es la que abastece de hielo por escarcha los casquetes polares de Groenlandia y la Antártida.

## **Vientos regionales**

Son determinados por la distribución de tierras y mares, así como por los grandes relieves continentales. Los monzones también pueden considerarse como vientos regionales, aunque su duración en el tiempo y su alternabilidad estacional los convierten más bien en vientos planetarios.

## **Vientos locales**

Como los demás tipos de vientos, los vientos locales presentan un desplazamiento del aire desde zonas de alta presión a zonas de baja presión, determinando los vientos dominantes y los vientos reinantes de un área más o menos amplia. Aun así, hay que tener en cuenta numerosos factores locales que influyen o determinan los caracteres de intensidad y periodicidad de los movimientos del aire. Estos factores, difíciles de simplificar por su multiplicidad, son los que permiten hablar de vientos locales, los cuales son en muchos lugares más importantes que los de carácter general. Estos tipos de vientos son los siguientes:

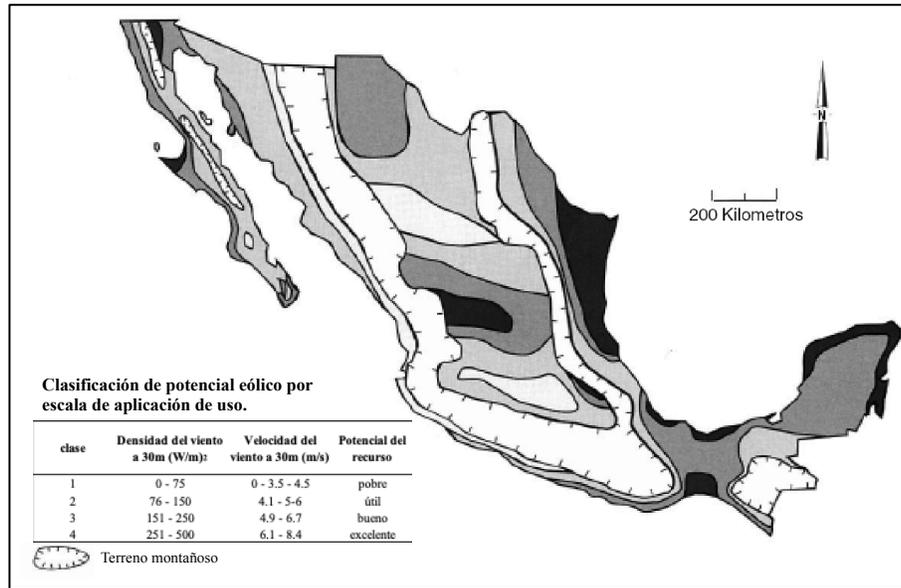
- **Brisas marina y terrestre.**
- **Brisa de valle.**
- **Brisa de montaña.**
- **Viento catabático.** Vientos que descienden desde las alturas hasta el fondo de los valles producido por el deslizamiento al ras de suelo del aire frío y denso desde los elementos del relieve más altos. Aparecen de forma continuada en los grandes glaciares, adquiriendo enormes proporciones en la capa de hielo de Groenlandia y de la Antártida, donde soplan a velocidades continuas que superan los 200 km/h motivado por la ausencia de obstáculos que frenen su aceleración.
- **Viento anabático.** Vientos que ascienden desde las zonas más bajas hacia las más altas a medida que el sol calienta el relieve. (Viento, 2019)

Es importante mencionar que los vientos locales son justamente el tipo de viento que se emplea en el presente estudio, mediante su observación, medición y caracterización.

### **2.2.2. Potencial Eólico en México**

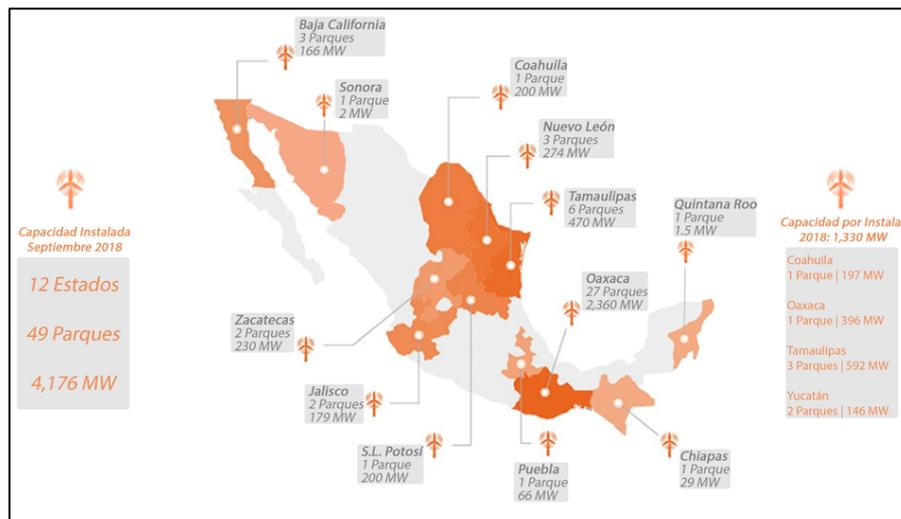
A septiembre del 2018, México cuenta con 49 complejos de energía eólica que producen 4,176 megawatts (MW) de electricidad; el primer parque eólico inaugurado en el país fue la “Venta I” ubicado en el Istmo de Tehuantepec en 1994 con capacidad de 1.57 MW.

En la figura 2.1 se muestra mapa del recurso eólico en México de acuerdo a la escala de aplicación de uso.



**Figura 2.1 Mapa del recurso eólico en México de acuerdo a la escala de aplicación de uso. (Ruedas, Camacho, Guzmán, & Hernández, 2013)**

La capacidad de generación eólica en México al 2018 (Bnamericas, 2019), mostrada en la figura 2.2, por los parques eólico en operación, se incrementará a más de 12.8 GW para 2020.

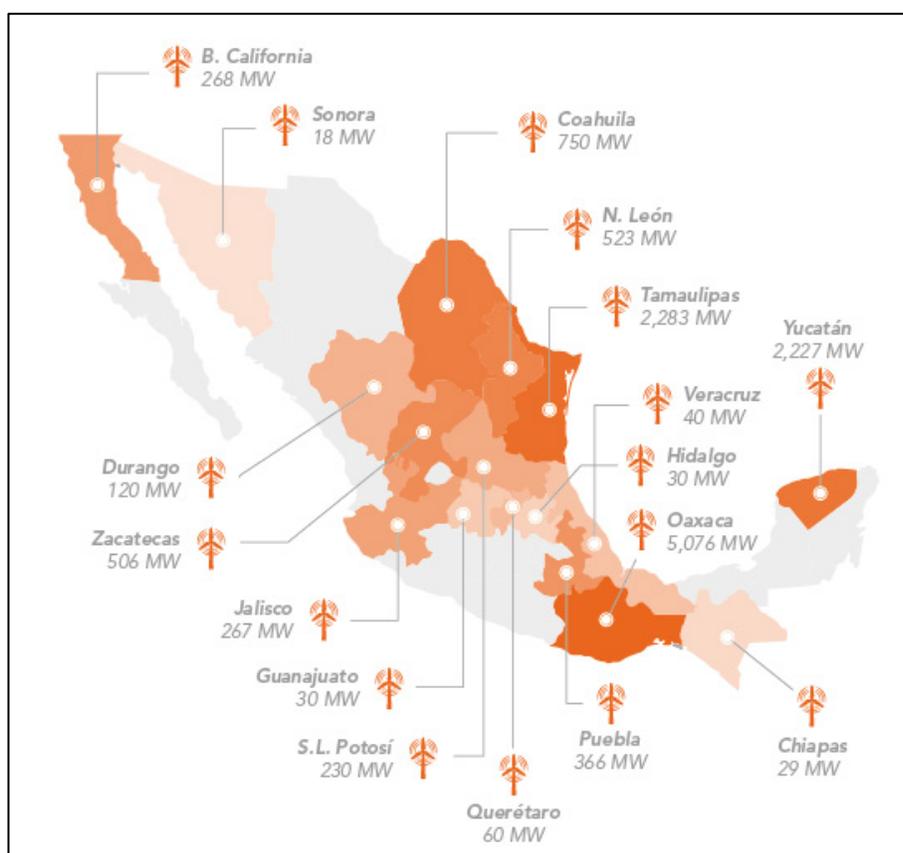


**Figura 2.2 Parques eólicos en operación a septiembre del 2018 (Bnamericas, 2019)**

Mientras que el número de estados con parques instalados pasará de los actuales 9 a 17, según cifras publicadas por la Asociación Mexicana de Energía Eólica (Bnamericas, 2019).

Si bien Oaxaca mantiene el liderazgo con 27 parques eólicos, otros estados podrían convertirse en importantes generadores en los próximos tres años gracias a los proyectos seleccionados en las licitaciones nacionales de energía eléctrica de marzo y septiembre y los que resulten ganadores en la tercera subasta programada para noviembre.

También influirá el mayor número de empresas privadas que recurren a contratos de suministro con gestores de proyectos eólicos. Lo cual se ilustra en la figura 2.3 donde se muestra el mapa del crecimiento proyectado en cuanto a la generación eólica para el año 2020 en México (Bnamericas, 2019).



**Figura 2.3. Mapa de generación eólica proyectada al año 2020 en México. (Bnamericas, 2019)**

La energía eólica en México (Bnamericas, 2019), ofrece un excelente potencial para los inversionistas extranjeros, aseguró el año pasado el director general del Banco Nacional de Comercio Exterior (Bancomext) de México.

### 2.2.3. Aerogeneradores

Un aerogenerador es una maquina eléctrica que funciona convirtiendo la energía cinética del viento en energía mecánica y a través de una turbina eólica en energía eléctrica.

#### Tipos de aerogeneradores

De acuerdo a la orientación del cuerpo del generador, los aerogeneradores se clasifican en:

- aerogenerador vertical
- aerogenerador de eje horizontal

#### Aerogeneradores verticales

- **no necesitan mecanismo de orientación** y lo que sería el generador eléctrico se puede encontrar situado en el suelo.
- Su **producción energética es menor** y tiene algunos pequeños hándicaps como que necesita ser motorizado para que se le pueda poner en marcha.

#### Tipos de aerogeneradores verticales

- ▶ Tipo Savonius. Este se caracteriza por estar **formado por dos semicírculos** desplazados horizontalmente a una determinada distancia, a través de la cual se desplaza el aire, por lo que desarrolla poca potencia, mostrado en la figura 2.4



Figura 2.4. Aerogenerador Savonius (msm, 2018)

- ▶ Giromil. Destaca por tener un **conjunto de palas verticales unidas** con dos barras en el eje vertical y ofrece un rango de suministro energético de 10 a 20 kW. Mostrado en la figura 2.5



**Figura 2.5 Aerogenerador Giromil (éolienne verticale Ropatec 3KW, 2019)**

- ▶ Darrieus. Formado **por dos o tres palas biconvexas** unidas al eje vertical por la parte inferior y superior, permite aprovechar el viento dentro de una banda ancha de velocidades. El inconveniente que posee es que no se encienden por si solos y necesitan un rotor Savonius. Mostrado en la figura 2.6



**Figura 2.6 Aerogenerador Darrieus (Aerogenerador Darrieus, 2019)**

## **Aerogeneradores de eje horizontal**

Básicamente es una máquina rotacional en el que el movimiento se produce por la energía cinética del viento cuando este actúa sobre un rotor que normalmente dispone de tres palas. El movimiento rotacional producido es transmitido y multiplicado mediante un multiplicador de velocidad hasta un generador que es el que se encarga de producir la energía eléctrica. Figura 2.7



**Figura 2.7 Aerogenerador de eje horizontal (Aerogeneradores, 2019)**

### **Aerogeneradores sin hélices de Vortex**

Su tecnología funciona de tal manera que **utiliza la deformación producida por la vibración** que es provocada por el viento al entrar en resonancia en un cilindro vertical semirrígido y anclado en el terreno. Figura 2.8



**Figura 2.8 Aerogenerador sin hélices de Vortex (Aerogeneradores, 2019)**

La parte principal de Vortex, lo que es el cilindro, se ha fabricado con materiales piezoeléctricos y fibra de vidrio o de carbono, y se genera energía eléctrica por la deformación de estos materiales.

### **Wind Tree**

Compuesto por 72 hojas artificiales. Como las mostradas en la figura 2.9, Cada una de ellas es una turbina vertical con una forma cónica y tiene una pequeña masa que puede llegar a generar energía con ligera brisa de 2 metros por segundo.

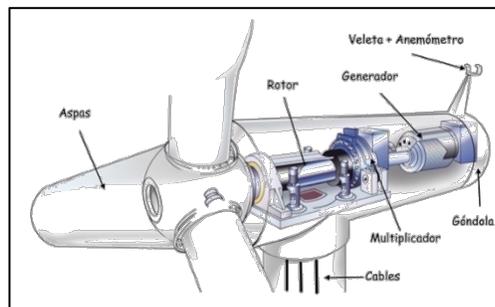


**Figura 2.9 Hojas artificiales del Aerogenerador Wind tree (Aerogeneradores, 2019)**

Esto le permite generar energía durante 280 días en el año y su producción total es de 3.1 kW con 72 turbinas funcionando. 11 metros de altura y 8 metros de diámetro, el Wind Tree se acerca al tamaño de un árbol real por lo que puede encajar perfectamente en ese espacio urbano.

## **Partes de un aerogenerador**

Los aerogeneradores en su conjunto pueden llegar a medir hasta 200 metros de altura y 20 toneladas de peso. Su estructura y sus componentes son complejos y están fabricados para optimizar al máximo la generación de energía a partir de la velocidad del viento. Mostrados en la figura 2.10



**Figura 2.10 Partes de un aerogenerador. (Aerogeneradores, 2019)**

## **Potencia Eólica**

Para evaluar la potencia de un aerogenerador se puede utilizar el concepto clásico, de que la potencia corresponde a al trabajo realizado por unidad de tiempo. Por equilibrio de energía se obtiene que:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Trabajo}}{t} = \frac{E_k}{t} = \frac{\frac{1}{2}(mV^2)}{t}$$

Se sabe que la masa (m) del aire corresponde a la densidad multiplicado por volumen. Por lo tanto, en un tiempo t se tiene que:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Trabajo}}{t} = \frac{\frac{1}{2}((\rho AVt)V^2)}{t} = \frac{1}{2}(\rho AV^3)$$

Es decir que la potencia de una turbina depende directamente de la velocidad del aire al cubo.

#### Rendimiento de un aerogenerador

El rendimiento de los aerogeneradores varía considerablemente ya que depende de las condiciones del terreno, la velocidad del viento, así como de los modelos de los aerogeneradores. Ninguna máquina eólica puede convertir toda la energía cinética del viento en energía mecánica rotacional. Este límite se ve disminuido por varios elementos que conllevan distintas pérdidas en el proceso de conversión de la energía eólica en energía eléctrico. Figura 2.11

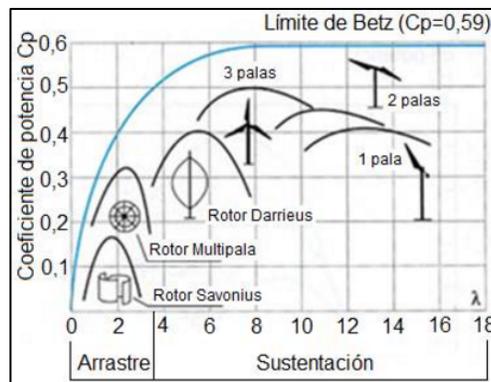


Figura 2.11 Curvas de coeficiente de potencial de diferentes aerogeneradores. (Caracterización del recurso eólico, 2017)

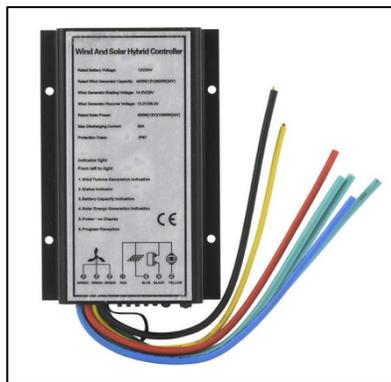
#### 2.2.4. Componentes complementarios para un sistema interconectado

Debido a la forma en que esta constituido el sistema interconectado, es necesaria la inteccion de otros componentes en el, como son:

## Regulador de carga

La regulación y el control son imprescindibles en una instalación eólica; la corriente alterna trifásica producida por el aerogenerador se rectifica para obtener corriente continua y de este modo poderla almacenar en los acumuladores. Además de controlar la energía suministrada para que en ningún momento se sobrecargue, protegiendo así al acumulador al resto del equipo y a la instalación.

El generador produce corriente alterna trifásica que varía en tensión y en frecuencia con la velocidad del viento y por lo tanto no es apto para consumo directo. El regulador (figura 2.12) rectifica esta corriente para convertirla en corriente continua compatible con los acumuladores y controla cuanta energía se suministra al acumulador para evitar su sobrecarga. Cuando la batería está cargada, el regulador de carga desconecta el generador de la batería y se conectan las resistencias de carga para que frenen el sistema, si la velocidad del viento es elevada.



**Figura 2.12 Controlador de carga para generación eólica o solar. (Amazon, 2019)**

Ocasionalmente dispone de una pantalla de cristal líquido en la que muestra todos los datos sobre el estado del sistema (potencia generada, energía generada, tensión del acumulador, temperatura ambiente, etcétera) y permite realizar cargas de igualación manuales y automáticas. Las consignas de fábrica corresponden a acumuladores estacionarios de plomo-ácido. (Scribd Inc, 2019)

Las etapas de las que consta el regulador para aerogenerador son las siguientes:

1. Entrada
2. Relés de Potencia
3. Rectificación
4. Tarjetas de control
5. Salida, medida de tensión en la batería y medida de corriente.

## **Inversor**

Un inversor es un dispositivo que transforma la señal de voltaje de entrada de corriente continua a una tensión simétrica de salida (senoidal, cuadrada o triangular) de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador.

Un inversor simple analógico consta de una bobina y un interruptor, el cual se utiliza para interrumpir la corriente y colapsar el campo magnético de la bobina generando una onda pulsante inversa. Esta onda pulsante inversa es variable en el tiempo y puede inducir corriente.

Un inversor simple digital consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual se utiliza para interrumpir la corriente entrante y generar una onda rectangular, que alimenta a un transformador que suaviza su forma, haciéndola parecer un poco más una onda senoidal y produciendo la tensión de salida necesaria. La forma de onda de salida de la tensión de un inversor ideal debería ser sinusoidal. Una buena técnica para lograr esto es utilizar la técnica de PWM logrando que la componente principal senoidal sea mucho más grande que las armónicas superiores.

Los inversores más modernos han comenzado a utilizar formas más avanzadas de transistores o dispositivos similares, como los tiristores, los triac , IGBT y MOSFETS.

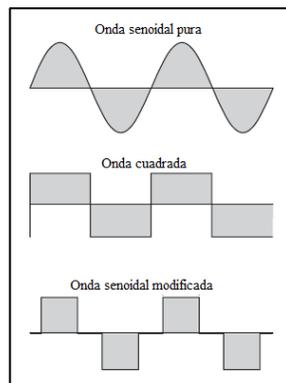
Los inversores más eficientes utilizan varios filtros electrónicos para tratar de llegar a una onda que simule razonablemente a una onda senoidal en la entrada del transformador, en vez de depender de éste para suavizar la onda.

Se pueden clasificar en general en dos tipos:

- 1) inversores monofásicos
- 2) inversores trifásicos.

Se pueden utilizar condensadores e inductores para suavizar el flujo de corriente desde y hacia el transformador.

Además, es posible producir una llamada “onda senoidal modificada”, la cual se genera a partir de tres puntos: uno positivo, uno negativo y uno de tierra. Una circuitería lógica se encarga de activar los transistores de manera que se alternen adecuadamente. Los inversores de onda senoidal modificada (figura 2.13) pueden causar que ciertas cargas, como motores, por ejemplo; operen de manera menos eficiente.



**Figura 2.13 Onda Senoidal pura, onda cuadrada y onda modificada típica de un inversor de CD a CA (Inversor "electrónica", 2019)**

Los inversores más avanzados utilizan la modulación por ancho de pulsos con una frecuencia portadora mucho más alta para aproximarse más a la onda seno o modulaciones por vectores de espacio mejorando la distorsión armónica de salida. También se puede predistorsionar la onda para mejorar el factor de potencia ( $\cos \Phi$ ) (Inversor "electrónica", 2019).

## Medidor bidireccional

Equipo de medición digital bidireccional para facturación, programado para registrar la energía entregada y recibida por CFE. Figura 2.14 (Especificaciones técnicas pequeña escala, 2018)

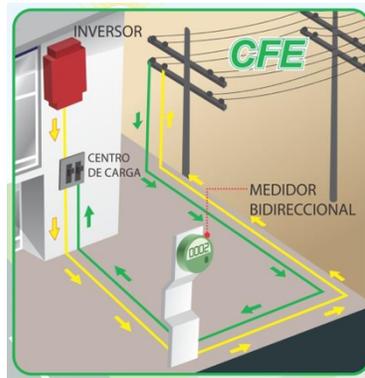


Figura 2.14 Esquema de conexión de medidor bidireccional. (Medidor bidireccional, 2019)

## 2.2.5. Normativa

En este apartado se mencionan los requerimientos normativos que intervienen y le aplican al presente estudio.

### Ley de transición energética

El 24 de diciembre del 2015 se expide la “**Ley de Transición Energética**” (Anexo 1) con objeto regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos (Ley de Transición Energética, 2015).

### Contratación de servicios Fotovoltaicos

De acuerdo en lo expuesto en su apartado de “**Energía Renovable**”, de la Contratación de servicios fotovoltaicos, en su primer párrafo cita: *“ahora puedes instalar en tu domicilio o negocio, tu propia Central Eléctrica de Generación Distribuida y Generación Limpia Distribuida menor a 0.5 MW y realizar un contrato de interconexión con CFE Suministrador de Servicios Básicos”* (Contratación de Servicios Fotovoltaicos, 2018).

## Especificaciones técnicas pequeña escala

Como se describe en las especificaciones técnicas para la interconexión de fuentes distribuidas de generación en pequeña escala (Especificaciones técnicas pequeña escala, 2018) es decir con tensiones menores a 1 kV y que la potencia de la fuente generadora no sea mayor de 10 kW si se instala en un servicio residencial o de 30 kW si se instala en un servicio comercial, la empresa productiva del estado CFE/Distribución como entidad administradora de las líneas de distribución, tiene facultad para otorgar un punto de interconexión al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) si se cumplen con los siguientes requisitos generales.

- Regulación de Tensión.
- Sincronía.
- Dispositivos de protección adecuados.
- Voltaje.
- Frecuencia.

El diagrama esquemático de la conexiones de una fuente de energía distribuida se muestra en la figura 2.15

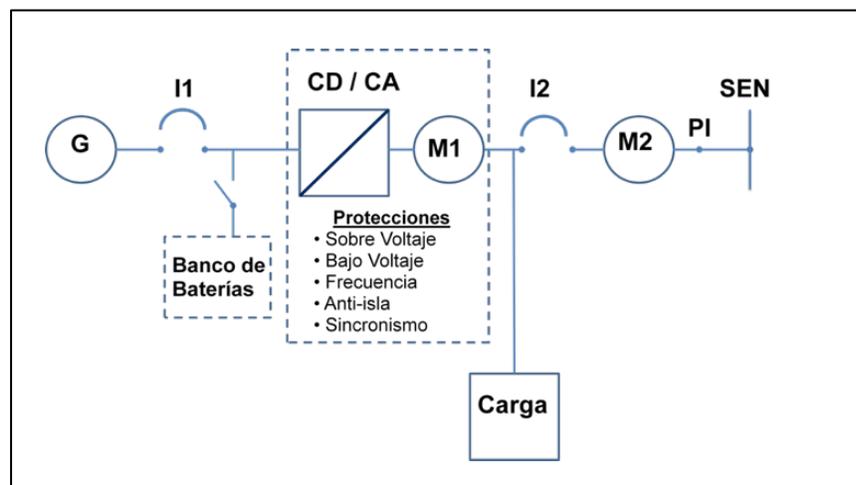


Figura 2.15. Diagrama esquemático de conexiones de una fuente de energía distribuida. (Especificaciones técnicas pequeña escala, 2018)

## **Resolución número. RES/142/2017**

El 7 de marzo de 2017, se expide la resolución número. RES/142/2017 (Anexo 2) de la Comisión Reguladora de Energía, por la que expide las disposiciones administrativas de carácter general, los modelos de contrato, la metodología de cálculo de contraprestación y las especificaciones técnicas generales, aplicables a las centrales eléctricas de generación distribuida y generación limpia distribuida, misma que se publica en el diario Oficial de la Federación, y cita:

*“Metodología de cálculo de contraprestación que aplicará el Suministrador de Servicios Básicos por la energía que ofrezcan los Generadores Exentos.”* (RESOLUCIÓN Núm. RES/142/2017, 2017)

### **2.2.6. Tarifas**

La legislación vigente establece que la Comisión Reguladora de Energía (CRE) es quien determina la metodología del cálculo de las tarifas para el suministro básico (Artículo 139 de la Ley de la Industria Eléctrica). A partir del 1 de diciembre de 2017 existe en nuestro país una nueva estructura y regiones tarifarias a nivel nacional.

Por otro lado, el ejecutivo Federal, a través de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) determinó un mecanismo de fijación de tarifas de suministro básico distinto al de la CRE con el que garantizó que las tarifas domésticas, agrícolas con estímulo y acuícolas no tuvieran modificaciones en su forma de determinación. (Tarifas, 2019)

### **Esquema tarifario vigente de tipo doméstico.**

En este apartado encontrarás información detallada sobre la naturaleza de las tarifas domésticas, su regulación y cuotas aplicables.

- **Tarifa 1**

Servicio doméstico.

### **Aplicación**

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda.

Estos servicios sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa de uso general.

### **Cuotas aplicables**

Se realiza un cargo en forma escalonada con un costo específico por mes en función de la cantidad de kWh de que se trate, esto queda explicado de mejor manera en la tabla 2.1, para el mes de enero de 2019.

**Tabla 2.1 Costo escalonado de kWh mes de enero tarifa 1. (Elaboración propia)**

<b>Consumo</b>	<b>Costo (\$)</b>	<b>Cantidad de kWh</b>
básico	0.796	por cada uno de los primeros 75 kWh.
intermedio	0.960	por cada uno de los siguientes 65 kWh.
excedente	2.813	por cada kWh adicional a los anteriores.

### **Mínimo mensual**

El equivalente a 25 (veinticinco) 33ilowatts-hora. (Esquema tarifario vigente Hogar, 2018)

- **Para las tarifas 1A, 1B, 1C, 1D, 1E y 1F.**

Lo siguientes aspectos aplican a las diferentes tarifas vigentes en para usuarios residenciales.

### **Aplicación**

Estas tarifas se aplicarán a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano según sea el caso como mínimo. Estos servicios sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa de uso general.

Se considerará que una localidad alcanza la temperatura media mínima en verano, cuando alcance el límite indicado durante tres o más años de los últimos cinco de que se disponga de la información correspondiente. Se considerará que durante un año alcanzó el límite indicado cuando registre la temperatura media mensual durante dos meses consecutivos o más, según los reportes elaborados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (Esquema tarifario vigente Hogar, 2018)

### **Mínimo mensual**

El equivalente a 25 (veinticinco) kilowatts-hora de cada tarifa en cuestión.

### **Temporada de verano**

El verano es el periodo que comprende los seis meses consecutivos más cálidos del año, los cuales serán fijados por el suministrador, definido en la Ley de la Industria Eléctrica, de acuerdo con las citadas observaciones termométricas que expida la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (Esquema tarifario vigente Hogar, 2018)

- **Tarifa 1A**

Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 25 grados Centígrados (°C).

**Cuotas aplicables**

Se aplicarán los siguientes cargos por la energía consumida en función de la temporada del año, para el mes de enero queda como se muestra en la tabla 2.2

**Tabla 2.2 Costo escalonado de kWh mes de enero tarifa 1A. (Elaboración propia)**

<b>Consumo</b>	<b>Costo (\$)</b>	<b>Cantidad de kWh</b>
básico	0.796	por cada uno de los primeros 75 kWh.
intermedio	0.960	por cada uno de los siguientes 75 kWh.
excedente	2.813	por cada kWh adicional a los anteriores.

- **Tarifa 1B**

Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 28 °C.

**Cuotas aplicables**

Se aplicarán los siguientes cargos por la energía consumida en función de la temporada del año, para el mes de enero queda como se muestra en la tabla 2.3

**Tabla 2.3 Costo escalonado de kWh mes de enero tarifa 1B. (Elaboración propia)**

<b>Consumo</b>	<b>Costo (\$)</b>	<b>Cantidad de kWh</b>
básico	0.796	por cada uno de los primeros 75 kWh.
intermedio	0.960	por cada uno de los siguientes 100 kWh.
excedente	2.813	por cada kWh adicional a los anteriores.

- **Tarifa 1C**

Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 30 °C.

**Cuotas aplicables**

Se aplicarán los siguientes cargos por la energía consumida en función de la temporada del año, para el mes de enero se muestra en la tabla 2.4

**Tabla 2.4 Costo escalonado de kWh mes de enero tarifa 1C. (Elaboración propia)**

<b>Consumo</b>	<b>Costo (\$)</b>	<b>Cantidad de kWh</b>
básico	0.796	por cada uno de los primeros 75 kWh.
intermedio	0.960	por cada uno de los siguientes 100 kWh.
excedente	2.813	por cada kWh adicional a los anteriores.

- **Tarifa 1D**

Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 31 °C.

**Cuotas aplicables**

Se aplicarán los siguientes cargos por la energía consumida en función de la temporada del año, para el mes de enero se muestra en la tabla 2.5

**Tabla 2.5 Costo escalonado de kWh mes de enero tarifa 1D. (Elaboración propia)**

<b>Consumo</b>	<b>Costo (\$)</b>	<b>Cantidad de kWh</b>
básico	0.796	por cada uno de los primeros 75 kWh.
intermedio	0.960	por cada uno de los siguientes 125 kWh.
excedente	2.813	por cada kWh adicional a los anteriores.

- **Tarifa 1E**

Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 32 °C.

**Cuotas aplicables**

Se aplicarán los siguientes cargos por la energía consumida en función de la temporada del año, para el mes de enero semuestra en la tabla 2.6

**Tabla 2.6 Costo escalonado de kWh mes de enero tarifa 1E. (Elaboración propia)**

<b>Consumo</b>	<b>Costo (\$)</b>	<b>Cantidad de kWh</b>
básico	0.796	por cada uno de los primeros 75 kWh.
intermedio	0.960	por cada uno de los siguientes 125 kWh.
excedente	2.813	por cada kWh adicional a los anteriores.

- **Tarifa 1F**

Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 33 °C.

**Cuotas aplicables**

Se aplicarán los siguientes cargos por la energía consumida en función de la temporada del año, para el mes de enero se muestra en la tabla 2.7

**Tabla 2.7 Costo escalonado de kWh mes de enero tarifa 1F. (Elaboración propia)**

<b>Consumo</b>	<b>Costo (\$)</b>	<b>Cantidad de kWh</b>
básico	0.796	por cada uno de los primeros 75 kWh.
intermedio	0.960	por cada uno de los siguientes 125 kWh.
excedente	2.813	por cada kWh adicional a los anteriores.

- **Tarifa DAC**

Servicio **Doméstico de Alto Consumo**

**Aplicación**

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, considerada de alto consumo o que por las características del servicio así se requiera.

**Alto Consumo**

Se considera que un servicio es de alto consumo cuando registra un consumo mensual promedio superior al límite de alto consumo definido para su localidad.

**Consumo mensual promedio**

El consumo mensual promedio registrado por el usuario se determinará con el promedio móvil del consumo durante los últimos 12 meses.

Cuando el Consumo Mensual Promedio del usuario sea superior al Límite de Alto Consumo se le reclasificará a la Tarifa Doméstica de Alto Consumo.

**Límite de alto consumo**

El límite de alto consumo se define para cada localidad en función de la tarifa en la que se encuentre clasificada, de acuerdo a la tabla 2.8

**Tabla 2.8 Límite de kWh tope por mes en tarifa normal. (Elaboración propia)**

Tarifa	Límite de kWh por mes
1	250
1A	300
1B	400
1C	850
1D	1,000
1E	2,000
1F	2,500

### **Depósito en garantía**

El Depósito de Garantía deberá cubrir el importe establecido en la tarifa de servicio doméstico correspondiente a la localidad.

### **Suministro en media tensión y tarifa horaria**

Los usuarios podrán ser suministrados en media tensión con la tarifa horaria correspondiente. (Esquema tarifario vigente Hogar, 2018)

### **Temporada de verano**

El verano es el periodo que comprende los seis meses consecutivos más cálidos del año, los cuales serán fijados por el suministrador de acuerdo con los reportes elaborados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y que se detallan para cada una de las tarifas en el presente Acuerdo.

## Cuotas aplicables

Las cuotas aplicables de la tarifa DAC se muestran en la tabla 2.9

**Tabla 2.9 Cuotas aplicable a tarifa DAC (Elaboración propia)**

Región	Cargo fijo \$/mes	Cargo por energía consumida (\$/kWh)	
		Temporada de verano	Temporada fuera de verano
Baja California	107.58	5.32	4.56
Baja California Sur	107.58	5.79	4.56

Región	Cargo fijo \$/mes	Cargo por energía consumida (\$/kWh)
Central	107.58	5.47
Noroeste	107.58	5.12
Norte y Noreste	107.58	4.99
Sur y Peninsular	107.58	5.07

## Mínimo mensual

El cargo fijo, más el equivalente de 25 kWh.

## Consumo mensual promedio menor al nivel de alto consumo

Cuando el usuario mantenga un Consumo Mensual Promedio inferior al Límite de Alto Consumo fijado para su localidad, el suministrador aplicará la Tarifa de Servicio Doméstico correspondiente.

A continuación, se muestra un comparativo de la cantidad de kWh en cada escalón (básico, intermedio y excedente) así como el precio de cada uno de ellos; estos costos son del mes de enero en las diferentes tarifas, también muestra los kWh promedio mensual en un año móvil; para cambiar a tarifa DAC. (Tabla 2.10)

**Tabla 2.10 Comparativo de límites y costos de kWh por tarifa doméstica y tarifa DAC.**  
(Elaboración propia)

Tarifa	1		1A		1B		1C	
temperatura media mínima en verano	25°C		28°C		30°C			
costo en enero	kWh	\$	kWh	\$	kWh	\$	kWh	\$
Consumo básico	del 1 al 75	0.796						
Consumo intermedio	del 76 al 140	0.960	del 76 al 150	0.960	del 76 al 175	0.960	del 76 al 175	0.960
Consumo excedente	del 141	2.813	del 151	2.813	del 176	2.813	del 176	2.813
límite de kWh promedio mensual para cambiar en tarifa DAC	250		300		400		850	

Tarifa	1D		1E		1F	
temperatura media mínima en verano	31°C		32°C		33°C	
costo en enero	kWh	\$	kWh	\$	kWh	\$
Consumo básico	del 1 al 75	0.796	del 1 al 75	0.796	del 1 al 75	0.796
Consumo intermedio	del 76 al 200	0.960	del 76 al 200	0.960	del 76 al 200	0.960
Consumo excedente	del 201	2.813	del 201	2.813	del 201	2.813
límite de kWh promedio mensual para cambiar en tarifa DAC	1000		2000		2500	

### **2.2.7. Impacto ambiental de la energía eléctrica**

De acuerdo con la Comisión Reguladora de Energía, en su documento Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional cita:

“De conformidad con el artículo 12 del Reglamento de la Ley de Transición Energética, y habiendo recibido e incorporado las observaciones realizadas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales a la metodología para el cálculo del Factor de Emisión y su aplicación, se comunica a los Establecimientos Sujetos a Reporte, que el factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional, correspondiente al año 2018, es:

**0.527 tCO<sub>2</sub>e / MWh**

Dicho factor se podrá emplear para fines del reporte al Registro Nacional de Emisiones tomando en cuenta que este factor considera la generación de las centrales eléctricas que entregan energía a la red eléctrica nacional, de acuerdo a lo estipulado en la fracción XLIV del artículo 3 de la Ley de la Industria Eléctrica.” (Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional, 2019)

Es decir que por cada kWh generado mediante energías renovables, como lo es la eólica, se dejan de emitir 0.527 Kg de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

De acuerdo al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México emitió 683 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente (MtCO<sub>2</sub>e) de gases efecto invernadero (GEI) en el 2015, de los cuales el 64% correspondieron al consumo de combustibles fósiles, lo que significa 437 MtCO<sub>2</sub>e (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2019) .

### **3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA**

En este capítulo se identifica el tipo de investigación, la hipótesis en el diseño del sistema eólico interconectado a la red, las variables y los parámetros para manejarlas.

#### **3.1. Tipo de Investigación**

La investigación es de tipo aplicada, debido a que se emplean los conocimientos que existen en referencia a los sistemas eólicos.

En cuanto a su clasificación, se trata de una investigación mixta, ya que, en ella, se lleva a cabo investigación documental a través de diversos medios escritos y electrónicos, así como investigación de campo al llevar a cabo la caracterización del potencial eólico y la demanda energética.

Respecto a la clasificación por tendencia, esta investigación es de tipo cuantitativa, debido a que las variables como lo son el potencial eólico, la energía (generada y consumida) y los costos, son numéricas, tangibles y medibles.

Y por último respecto a su análisis y alcance de resultados, la presente investigación es correlacional; al analizar la relación entre las variables de costos, emisión y consumo.

## **3.2. Hipótesis y Especificación de Variables**

en este apartado se describe la hipótesis, la variable independiente y la variable dependiente.

### **3.2.1. Hipótesis.**

Un modelo de simulación del sector residencial sobre su demanda energética y el potencial de generación eólico, en sistema interconectado, permitirá desarrollar un modelo de negocio.

### **3.2.2. Variable independiente**

La variable dependiente de la investigación es el “sistema eólico”.

### **3.2.3. Variable dependiente**

Las variables dependientes son:

- Impacto económico.
- Impacto ambiental.

### 3.3. Operacionalización de variables

La operacionalización de las variables se expresa de la siguiente manera.

**Tabla 3.1 Operacionalización de Variables Independientes y Dependientes. (Elaboración propia)**

Variables	Variable Independiente		Variable Dependiente	
	"Sistema eólico"		"Impacto ambiental"	"Impacto económico"
Definición conceptual	Conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el viento y la convierten en energía eléctrica.		Son las emisiones de CO <sub>2</sub> que provocan el efecto de invernadero.	El monto monetario de la factura eléctrica.
Definición operacional	Potencial eólico	Energía	Emisiones de CO <sub>2</sub>	pesos
Indicador	m/s	kWh	tCO <sub>2</sub>	\$
índices	3	N.A.	N.A.	N.A.

### **3.4. Diseño Técnico**

Con la finalidad de comprobar la hipótesis anteriormente planteada, se desarrolla la caracterización del recurso eólico disponible en la Ciudad de Veracruz, Veracruz; los datos para esta caracterización serán proporcionados por una estación meteorológica seleccionada, adquirida e instalada para este fin, cruzando los datos con otras estaciones conectadas a las redes de estaciones meteorológicas como Weathercloud y Weather underground y el Servicio Meteorológico Nacional.

Posteriormente se analizan las características de diseño de diferentes tipos de turbinas eólicas de eje vertical y horizontal que puedan ser utilizadas en este proyecto, que ofrezcan los mejores beneficios en función del perfil eólico existente, obteniendo la ecuación matemática de cada una de las curvas de generación de las turbinas seleccionadas con el fin de elaborar una simulación de funcionamiento.

Se realiza la caracterización de la demanda energética del sector residencial en la zona urbana de la ciudad de Veracruz, Veracruz, de acuerdo al tipo de consumo que tienen, básico, intermedio, excedente o DAC, logrando con esto, saber que impacto tendrá en cada segmento y para cual de ellos se obtiene el beneficio mayor.

Al final, se ingresan en el simulador; el perfil eólico obtenido en el área de estudio, las curvas de generación en función de los tipos de turbina seleccionadas para obtener el máximo aprovechamiento del recurso eólico y la característica de las demandas energéticas de cada tipo de servicio, donde se analiza cada escenario energético, evaluando los beneficios exegéticos, económicos y ambientales de cada uno de los modelos.

## 4. MODELO DE NEGOCIO

En este capítulo se describen los diferentes elementos necesarios para lograr los datos y analizar si es factible llegar al modelo de negocio, desde la obtención de los datos para caracterizar el perfil eólico, analizar los diferentes aerogeneradores y seleccionar el adecuado al caso de estudio, caracterizar el perfil de carga de acuerdo a la demanda energética de los diferentes tipos de usuarios residenciales y simular los diferentes escenarios para llegar a la comprobación de la hipótesis, esto se ilustra en la figura 4.1



Figura 4.1 Elementos que intervienen en el modelo de negocio (Elaboración propia)

### 4.1. Recopilación y Análisis de Datos

En esta sección se recopilan y analizan los datos para obtener la caracterización del perfil eólico en la zona urbana del puerto de Veracruz, obtener la ecuación matemática a partir de la curva

de generación de los diferentes generadores eólicos y desarrollar los perfiles de demanda energética de los tipos de usuario doméstico a fin de comprobar o rechazar la hipótesis.

#### **4.1.1. Selección del dispositivo de monitoreo ambiental.**

El monitoreo ambiental consiste en la recogida de datos ambientales y de la actividad, ya sean anteriores (Monitorización de la situación inicial), o posteriores a la implementación de la actividad (monitoreo de conformidad y de impactos), para tal fin, existen dispositivos de monitoreo móviles o fijos, en los dispositivos móviles, se realiza la toma de muestras en forma manual en periodos específicos, esto hace tardado y requiere la presencia de alguien encargado de realizar la toma de las variables.

Los dispositivos de monitoreo fijos, o estaciones meteorológicas, realizan la toma de estas variables en forma automática, almacenando dicha información y/o enviándola a redes de monitoreo, donde son compartidas con otros miembros de la red.

Para este estudio, se eligió la estación meteorológica Ventus W83 (Figura 4.2) pues, además de contar con sensores para muestrear la temperatura interna y externa, humedad interna y externa, cantidad de lluvia, velocidad y dirección del viento, presión del aire, y nivel de rayos Ultra violeta, es posible realizar este monitoreo a distancia a través del uso de red inalámbrica, con actualización de datos en intervalos de 16 segundos y nos brinda acceso a redes de monitoreo como son Weather Underground, weather cloud y Weather Observation Website, mismas que se emplearon para obtener datos históricos de otras estaciones meteorológicas para compararlas y buscar si existe alguna relación entre los valores actuales de nuestra estación y las adyacentes para lograr con esto modelar un perfil histórico en el punto de estudio.



Figura 4.2 Estación meteorológica Ventus W830. (Estaciones meteorológicas, 2019)

#### 4.1.2. Elección del área a monitoreo

Debido a la delimitación del presente trabajo de investigación, el cual esta enfocado a la parte urbana de la ciudad y puerto de Veracruz, es necesario que el dispositivo de monitoreo ambiental o estación meteorológica seleccionada, dadas sus características, se instale en un lugar seguro, que en sus cercanía cuente con un transmisor de red inalámbrica (wifi) a fin de que sea enviada la información a las redes de monitoreo, por lo cual, se eligió instalarlo en el área donde se tiene instalado el aerogenerador dentro del Instituto Tecnológico de Veracruz, frente al Laboratorio de Eléctrica y Electrónica. (Figura 4.3)



Figura 4.3 Lugar designado como área de monitoreo del potencial eólico. (google maps, 2019)

### 4.1.3. Ejecución del muestreo de parámetros ambientales

Como se mencionó anteriormente, los vientos locales presentan un desplazamiento del aire desde zonas de alta presión a zonas de baja presión, determinando los vientos dominantes y los vientos reinantes de un área más o menos amplia; siendo necesario tener en cuenta numerosos factores locales que influyen o determinan los caracteres de intensidad y periodicidad de los movimientos del aire, motivo por el cual es necesario medirlos para formar un perfil característico en el área de estudio, que para el presente trabajo se trata del área urbana de la ciudad y puerto de Veracruz y compararlo con otras fuentes.

Actualmente se cuenta con datos de la estación meteorológica instalada el día 7 de noviembre del 2018, manteniendo monitoreo y descarga de los valores de velocidad y dirección del viento en el punto de estudio, (Tabla 4.1).

**Tabla 4.1 Información de la estación meteorológica instalada en el Laboratorio Eléctrica-Electrónica (Weather Underground, 2018)**

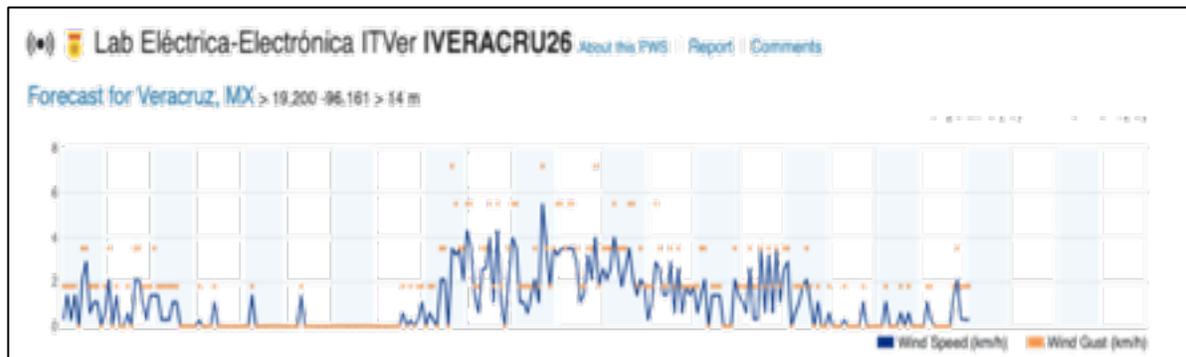
Weather History Table											<a href="#">Download</a>
Dec 1, 2018											
Time	Temperature	Dew Point	Humidity	Wind	Speed	Gust	Pressure	Precip. Rate.	Precip. Accum.	UV	Solar
12:04 AM	25.1 °C	21.2 °C	79 %	SSW	0.3 kph	1.8 kph	1009.4 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
12:09 AM	25.1 °C	21.2 °C	79 %	SSW	1.4 kph	1.8 kph	1009.4 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
12:14 AM	25 °C	21.2 °C	79 %	South	0.3 kph	1.8 kph	1009.4 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
12:19 AM	24.9 °C	21.2 °C	80 %	SSW	1.4 kph	1.8 kph	1009.4 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
12:24 AM	24.8 °C	21.1 °C	80 %	South	0 kph	0 kph	1009.4 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
12:29 AM	24.7 °C	21 °C	80 %	SSW	2.1 kph	3.5 kph	1009 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
12:34 AM	24.7 °C	21 °C	80 %	South	2.9 kph	3.5 kph	1009 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
12:39 AM	24.6 °C	21.1 °C	81 %	SSW	0.6 kph	1.8 kph	1009.4 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
12:44 AM	24.5 °C	21 °C	81 %	SSW	1.1 kph	1.8 kph	1009 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
12:49 AM	24.5 °C	21 °C	81 %	SSW	1.1 kph	1.8 kph	1009 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
12:54 AM	24.4 °C	20.9 °C	81 %	SSW	0 kph	0 kph	1009 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
12:59 AM	24.4 °C	20.9 °C	81 %	SSW	0.6 kph	1.8 kph	1009 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
1:04 AM	24.3 °C	21 °C	82 %	SW	2.1 kph	3.5 kph	1009 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
1:09 AM	24.2 °C	20.9 °C	82 %	SSW	0 kph	0 kph	1009 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
1:14 AM	24.2 °C	20.9 °C	82 %	SSW	1.4 kph	1.8 kph	1009 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
1:19 AM	24.1 °C	20.8 °C	82 %	SSW	0 kph	0 kph	1009 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
1:24 AM	24 °C	21 °C	83 %	South	0 kph	0 kph	1009 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²
1:29 AM	24 °C	21 °C	83 %	South	0.6 kph	1.8 kph	1009 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m²

Mediante redes de estaciones meteorológicas como Weathercloud y Weather underground se han conseguido datos históricos de un año atrás, de puntos de estudio ubicados en 2 caminos y Punta tiburón los que se exportan a Excel (Tabla 4.2).

**Tabla 4.2 Valores de muestreo del potencial eólico en estación meteorológica Punta tiburón. (Weather Underground, 2018)**

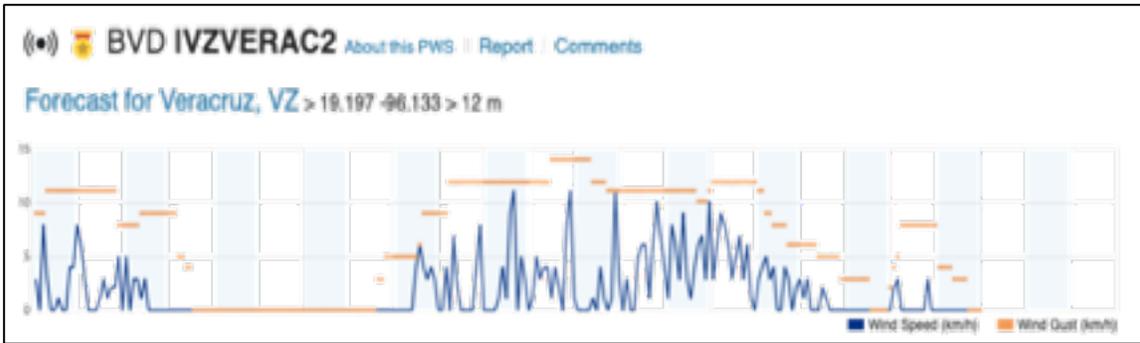
Time	Temperature	Dew Point	Humidity	Wind	Speed	Gust	Pressure	Precip. Rate.	Precip. Accur.	UV	Solar
12:02 a. m.	16.3 °C	12.8 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.8 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
12:08 a. m.	16.2 °C	12.8 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.8 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
12:14 a. m.	16.2 °C	12.7 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.8 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
12:20 a. m.	16.1 °C	12.7 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.8 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
12:26 a. m.	16.1 °C	12.6 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.8 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
12:32 a. m.	16 °C	12.6 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.8 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
12:38 a. m.	15.9 °C	12.5 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.5 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
12:44 a. m.	15.9 °C	12.4 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.5 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
12:50 a. m.	15.8 °C	12.4 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.5 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
12:56 a. m.	15.8 °C	12.3 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.5 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
1:02 a. m.	15.7 °C	12.3 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.5 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
1:08 a. m.	15.7 °C	12.2 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.5 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
1:14 a. m.	15.6 °C	12.1 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.5 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
1:20 a. m.	15.5 °C	12.1 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.5 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
1:26 a. m.	15.4 °C	12 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.5 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
1:32 a. m.	15.4 °C	11.9 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.5 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
1:38 a. m.	15.3 °C	11.8 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.5 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
1:44 a. m.	15.3 °C	11.8 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.2 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
1:50 a. m.	15.2 °C	11.7 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.2 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>
1:56 a. m.	15.1 °C	11.7 °C	80 %	NE	0 kph	11.3 kph	1018.2 hPa	0 mm	0 mm	0	0 w/m <sup>2</sup>

Se comparan los valores del Servicio Meteorológico Nacional y los de la estación meteorológica instalada en el Laboratorio Eléctrica-Electrónica (Figura 4.4)



**Figura 4.4 Representación gráfica de las velocidades del viento en la estación meteorológica del Laboratorio Eléctrica-Electrónica. (Weather Underground, 2018)**

A fin de poder analizar si existe alguna correlación en el comportamiento del potencial eólico entre ellas, así como su estacionalidad (Figura 4.5).

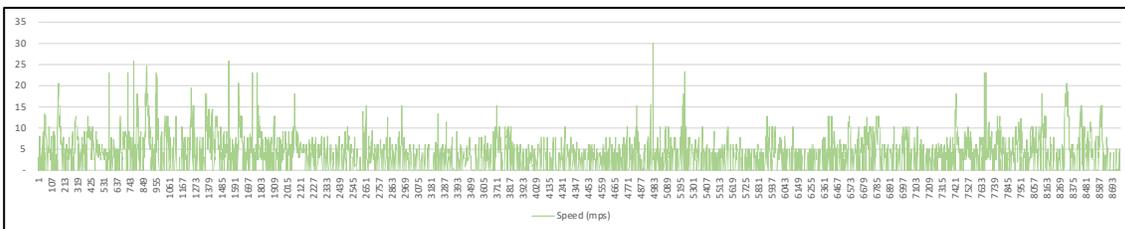


**Figura 4.5 Representación gráfica de las velocidades del viento en la estación meteorológica de 2 caminos. (Weather Underground, 2018)**

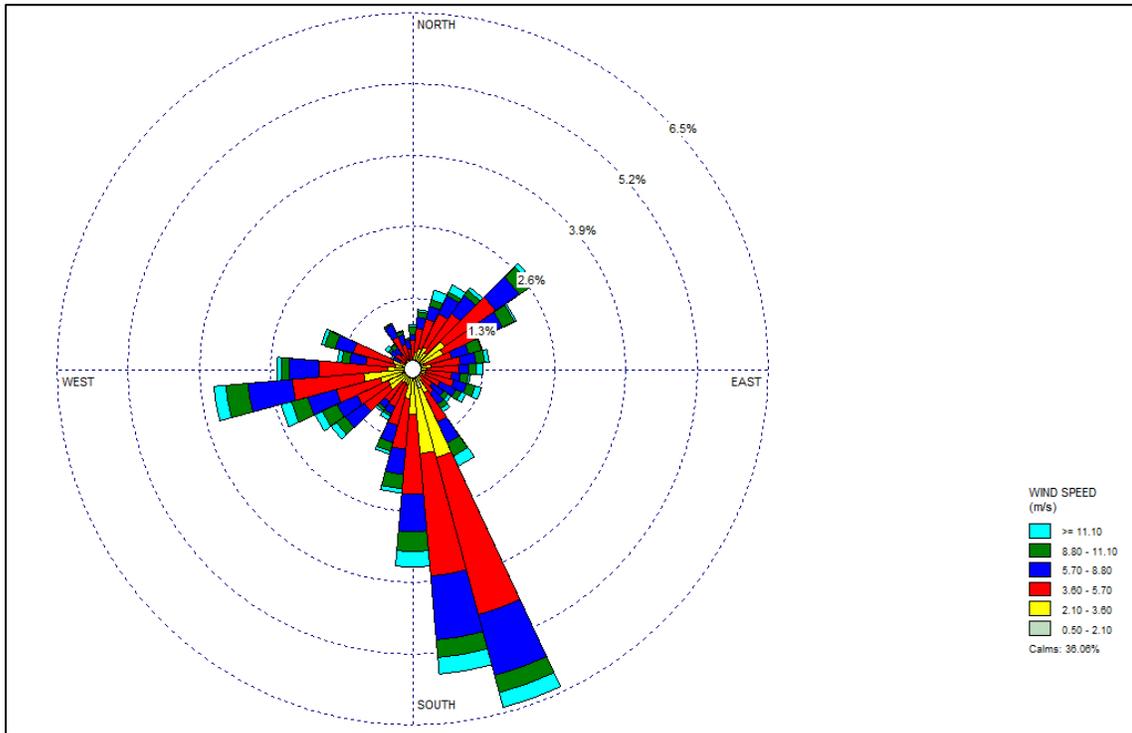
Se analiza la información de las diferentes estaciones meteorológicas que se encuentran en la red de monitoreo a fin de encontrar correlación entre las velocidades y direcciones del viento de cada una.

#### 4.1.4. Evaluación de parámetros ambientales recabados.

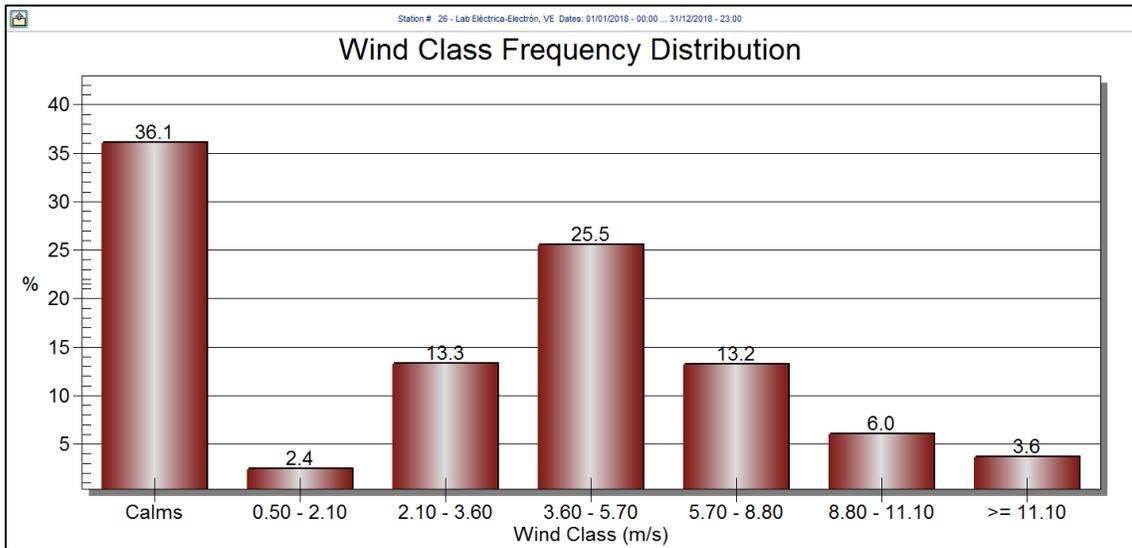
Se analizó la información recabada por la estación meteorológica del Laboratorio Eléctrica-Electrónica, las estaciones de 2 caminos, Punta tiburón y el servicio meteorológico Nacional a fin de terminar el perfil del potencial eólico en el punto elegido para el caso de estudio (figura 4.6, 4.7 y 4.8), quedando de la siguiente manera:



**Figura 4.6 Gráfica de comportamiento del potencial eólico. (Elaboración propia)**



**Figura 4.7 Modelo de la rosa de los datos recabados de la estación meteorológica Ventus W830. (Elaboración propia)**



**Figura 4.8 Gráfica de Distribución de frecuencias de clases de viento en el período de estudio. (Elaboración propia)**

## **4.2. Modelado de los generadores eólicos**

De los tipos de generadores eólicos, se eligen los que son considerados mas adecuados para el estudio particular, una vez seleccionados, empleando las hojas de datos y especificaciones técnicas se realiza el modelado matemático de la ecuación característica de generación respecto al potencial eólico, así como el valor que tendrá la inversión económica.

### **4.2.1. Turbinas eólicas empleadas**

Dentro de los puntos a considerar en la elección de los modelos de aerogeneradores a emplear en el estudio, están que:

- Una fuente de energía distribuida que es interconectada al sistema eléctrico nacional con tensiones menores a 1 kV y en potencias menores o iguales a 30 kW (Especificaciones técnicas pequeña escala, 2018).
- En el área a realizar el estudio, se emplea la tarifa 1C por lo que el valor del consumo promedio mensual en un año móvil para cambiar a tarifa Doméstica de Alto Consumo es de 850 kWh.
- De acuerdo a estudios realizados en el departamento de Planeación de la empresa productiva del estado CFE Zona de Distribución Veracruz, la carga promedio de los usuarios residenciales en zona urbana esta entre 0.9 y 2 kW de demanda.

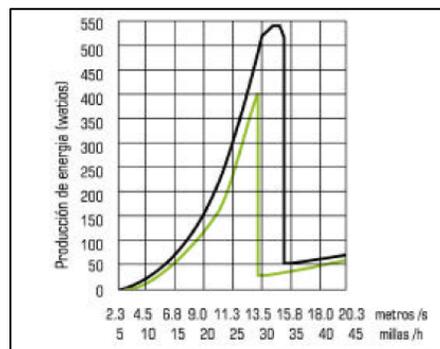
De estas consideraciones y después de revisar las características técnicas de diversos aerogeneradores, se determina, que los mas adecuados para este estudio son de eje vertical tipo Darrieus, pues la simplicidad en su montaje y la capacidad de generación a bajas velocidades de viento, aun cuando la generación es menor que los de eje horizontal tripala, de este tipo de aerogeneradores se utiliza el modelo instalado actualmente en el Laboratorio de Eléctrica Electrónica, a fin de comparar los beneficios que se obtienen empleándolo en el esquema de

sistema doméstico interconectado por los diferentes tipos de usuarios, los modelos de aerogeneradores seleccionados son los siguientes:

- Air X (Instalado en el Laboratorio de Eléctrica y Electrónica)
- Bitegui 300
- Bitegui 700
- Bitegui 1500

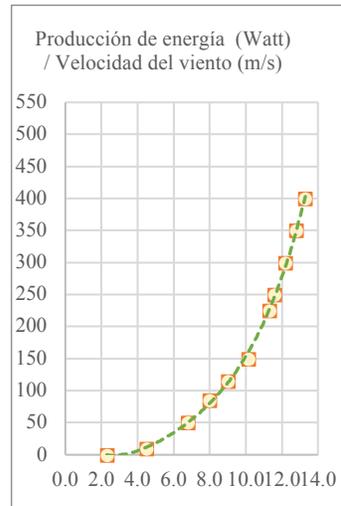
### **Obtención de la curva característica de generación.**

Partiendo de la hoja de datos de especificaciones técnicas (figura 4.9), se emplea la curva característica del comportamiento de la potencia eléctrica generada (Watt) con respecto al potencial eólico (m/s), del generador eólico que se encuentra instalado frente al Laboratorio de Eléctrica Electrónica (Air X), a fin de obtener su ecuación característica de generación.



**Figura 4.9 Curva característica “Produccion de Energía (Watts / Velocidad (m/s))” del aerogenerador AirX. (Manual del usuario Air X, 2018)**

Dado que la velocidad de encendido del aerogenerador Air X es de 3 m/s, y la velocidad de carga es de 12.5 m/s, se emplea la primera parte de la curva característica del comportamiento de la potencia eléctrica generada (Watt) con respecto al potencial eólico (m/s) (figura 4.10), obteniendo la primera parte de la ecuación característica de generación.

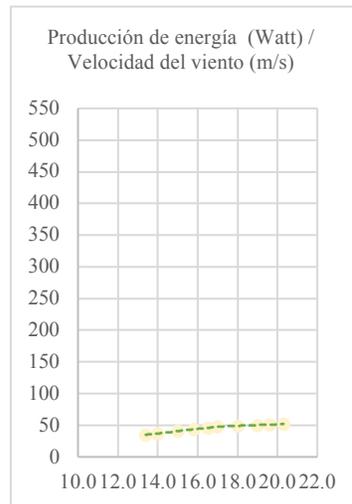


**Figura 4.10 Primer parte de la curva del aerogenerador AirX (Elaboración propia)**

Para  $3 < x \leq 12.5$

$$y = 0.0374x^4 - 0.8523x^3 + 9.3294x^2 - 33.897x + 37.485$$

Dado que la velocidad de carga del aerogenerador Air X es de 12.5 m/s, y la velocidad de control de reducción de velocidad es de 22 m/s, se utiliza la segunda parte de la curva característica del comportamiento de la potencia eléctrica generada (Watt) con respecto al potencial eólico (m/s) (figura 4.11), obteniendo la segunda parte de la ecuación característica de generación.



**Figura 4.11 Segunda parte de la curva del aerogenerador AirX. (Elaboración propia)**

para  $12.5 < x \leq 15.6$

$$y = 0.0225x^4 - 1.5282x^3 + 38.297x^2 - 417.77x + 1706.8$$

de igual manera se realiza para los otros aerogeneradores seleccionados en el estudio, quedando de la siguiente manera:

### **Bitgui 300**

para  $3 < x \leq 15.0$

$$y = -0.0005x^5 - 0.0331x^4 + 1.6842x^3 - 20.736x^2 + 108.66x - 180.64$$

### **Bitgui 700**

para  $3 < x \leq 10.0$

$$y = 0.0396x^6 - 1.2701x^5 + 15.857x^4 - 96.126x^3 + 294.52x^2 - 387.99x + 176.68$$

para  $10 < x \leq 13.0$

$$y = 3.1373x^3 - 109.33x^2 + 1280.9x - 4218$$

### **Bitgui 1500**

para  $3 < x \leq 12.0$

$$y = -0.2308x^5 + 8.0128x^4 - 104.66x^3 + 653.33x^2 - 1866.4x + 1952.7$$

Estas expresiones matemáticas resultantes, junto con las condicionantes de velocidades de trabajo, carga y reducción de velocidad, se ingresan en un sistema de calculo, a fin de establecer los valores de Potencia Generada (Watts) en función del potencial eólico (m/s).

## 4.2.2. Potencial de generación

Mediante los datos obtenidos del potencial eólico en el área de estudio y las ecuaciones características de los aerogeneradores, se realiza el modelado matemático a fin de determinar el potencial de generación.

Se realiza el modelado de la generación de energía eléctrica en función del perfil eólico en los aerogeneradores para el caso de estudio (figura 4.12, 4.13, 4.14y 4.15), quedando de la siguiente manera:

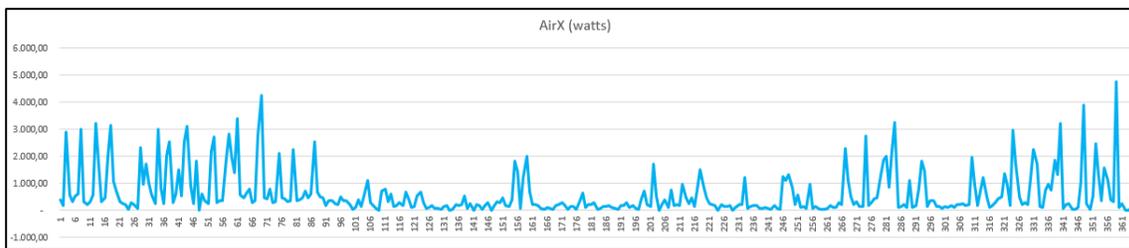


Figura 4.12 Gráfica de los kW producidos por el aerogenerador AirX. (Elaboración propia)

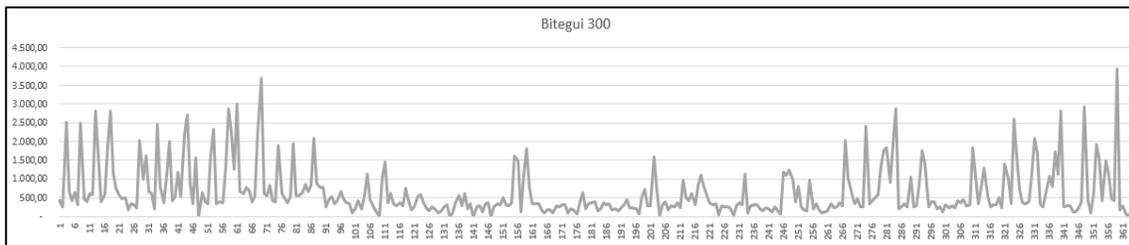


Figura 4.13 Gráfica de los kW producidos por el aerogenerador Bitegui 300. (Elaboración propia)

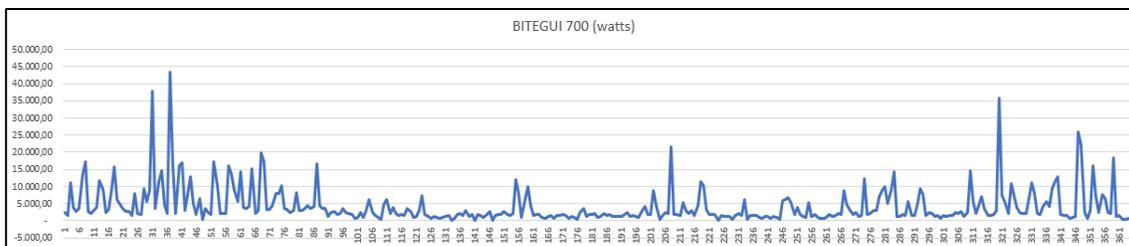
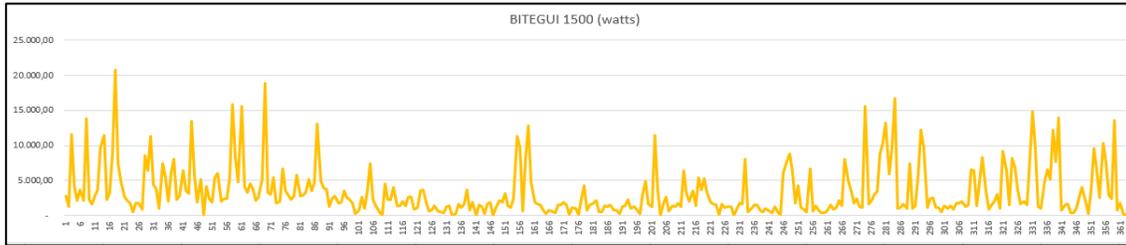


Figura 4.14 Gráfica de los kW producidos por el aerogenerador Bitegui 700. (Elaboración propia)



**Figura 4.15** Gráfica de los kW producidos por el aerogenerador Bitegui 1500. (Elaboración propia)

Una vez obtenido el potencial de generación de acuerdo a los diferentes aerogeneradores del estudio, se observa que los meses de mayor generación eléctrica por el comportamiento del potencial eólico son de octubre a marzo.

Empleando una herramienta informática, se simula la generación eólica en función del perfil eólico obtenido en el punto de estudio en cada una de las ecuaciones de los diferentes aerogeneradores, para los periodos de facturación del caso de estudio, donde tenemos los siguientes valores energía generada, junto con el porcentaje de aprovechamiento de cada aerogenerador y los kg de dióxido de carbono que se evitarían arrojar a la atmósfera empleando estos aerogeneradores, lo cual se muestra en la tabla 4.3

**Tabla 4.3** Generación eólica en función del perfil eólico en el punto de estudio (Elaboración propia)

Periodo de facturación	Generación (kWh)			
	Air X	Bitegui 300	Bitegui 700	Bitegui 1500
13-dic-17 09-feb-18	59	55	272	274
09-feb-18 11-abr-18	58	58	279	272
11-abr-18 12-jun-18	21	26	138	143
12-jun-18 12-ago-18	17	21	116	111
12-ago-18 11-oct-18	33	36	191	202
11-oct-18 09-dic-18	40	43	227	237
generacion Total	228	239	1224	1239
% aprovechamiento	6%	9%	20%	9%
kg de CO <sub>2</sub>	88	92	471	477

### 4.2.3. Inversión económica.

Dado que el diámetro del rotor de los aerogeneradores elegidos para el estudio oscila entre 1 y 3 metros en el caso de los Darrieus y el diámetro de las palas del horizontal (Air X) es de 1.2 metros, con un peso que va desde 10 kg del Air X, 26 kg para el Bitegui 300, 60 kg del Bitegi 700 y los 380kg del Bitegui 1500, por lo que es necesario contar con un sistema de montaje adecuado para cada ellos, debido a esto, es importante considerar el costo de adquisición del aerogenerador y el de montaje y conexión.

Aun cuando actualmente no existe gran demanda de estos sistemas de generación de energía eléctrica en la modalidad de sistema interconectado en servicio residencial, se realiza una investigación del mercado, a fin de determinar cuales son los costos de montaje de los mismo, encontrando que los precios por este rubro se encuentran entre los \$10,000.00 y \$20,000.00 M.N. dependiendo de las condiciones del lugar a instalar, la altura necesaria y el tipo de aerogenerador del que se trate.

Los costos de los aerogeneradores se encuentran en la tabla 4.4

**Tabla 4.4 Costo de adquisicion de los aerogeneradores seleccionados para el estudio (Elaboración propia)**

<b>Equipo</b>	<b>Potencia</b>	<b>Costo</b>
Air X	400 W	\$7,000 M.N.
Bitegui 300	300 W	\$6,000 M.N.
Bitegui 700	700 W	\$10,000 M.N.
Bitegui 1500	1500 W	\$16,000 M.N.

### 4.3. Caracterizar cada tipo de usuario residencial

En esta sección se procede a caracterizar la demanda energética en el sector residencial en el puerto de Veracruz, para cada tipo de cliente, de acuerdo a las tarifas vigentes, los cuales se consideran de la siguiente manera:

- **Clientes con consumo en el escalón base.**
- **Clientes con consumo en el escalón Intermedio**
- **Clientes con consumo dentro del escalón excedente**
- **Clientes con consumos en tarifa DAC.**

De acuerdo a los datos obtenidos de la Empresa Subsidiaria de Estado CFE, en la ciudad y puerto de Veracruz se tienen 140,903 clientes en tarifa doméstica, mismos que, de acuerdo a lo estipulado en la sección de tarifas, se encuentran en la tarifa conocida como 1C, en la cual, la cantidad de kWh de cada uno de los escalones de consumo mensual se muestra en la tabla 4.5

**Tabla 4.5 Cantidad tope de kWh mensuales por escalón en la tarifa 1C (Elaboración propia)**

mes	Consumo básico	Consumo intermedio bajo	Consumo intermedio alto	Consumo excedente
enero	75	100		
febrero	75	100		
marzo	75	100		
abril	150	150	150	
mayo	150	150	150	
junio	150	150	150	
julio	150	150	150	
agosto	150	150	150	
septiembre	150	150	150	
octubre	75	100		
noviembre	75	100		
diciembre	75	100		

Dado que estos límites de kWh en cada tipo de consumo son mensuales, por lo que este valor deberá tomarse al doble, pues los periodos de facturación son considerados de 60 días, por lo que, si se habla de un servicio con consumo básico, entre los meses de enero y febrero, tendría un consumo menor o igual a 150 kWh, tomando los 75 kWh de cada mes. Al hablar de un servicio con consumo intermedio, se tomarían los 75 kWh del consumo básico más los 100 kWh del consumo intermedio de enero más los propios de febrero, es decir, el servicio tendría un consumo entre 151 kWh y 350 kWh bimestrales. Para un servicio con consumo excedente en el mismo periodo, se considera que el consumo estaría entre los 351 kWh y los 1700 kWh bimestrales, ya que es la cantidad tope promedio en un año móvil para pasar a la tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC).

Dentro del ámbito de la CFE, existe Empresa Subsidiaria del Estado Distribución, misma que se encuentra organizada en Divisiones, y es la División de Distribución Oriente quien tiene a su cargo la Zona Veracruz, donde geográficamente las agencias Norte y Alcocer, atienden dichos usuarios, cuya distribución se plasma en la Tabla 4.6

**Tabla 4.6 Clientes por tipo de consumo (Elaboración propia)**

<b>Demanda energética</b>	<b>Clientes</b>	<b>%</b>
Consumo básico	38,884	27.60
Consumo intermedio	8,198	5.82
Consumo excedente	93,663	66.47
Domestico Alto Consumo DAC	158	0.11
<b>Total</b>	<b>140,903</b>	<b>100.00</b>

Al analizar la demanda energética de los diferentes usuarios, se encuentra que los consumos de energía eléctrica en los hogares se incrementan del mes de mayo y no descienden hasta finales de octubre o inicios de noviembre.

#### 4.4. Escenarios de simulación

Se realiza la simulación de la demanda energética para cada tipo de cliente (consumo básico, intermedio, excedente y DAC), analizando como lo afecta cada tipo de generador en función del perfil eólico obtenido, como se menciona en la tabla 4.3 Generación eólica en función del perfil eólico en el punto de estudio, misma que se muestra en la página 59, a fin de encontrar los beneficios energéticos y económicos.

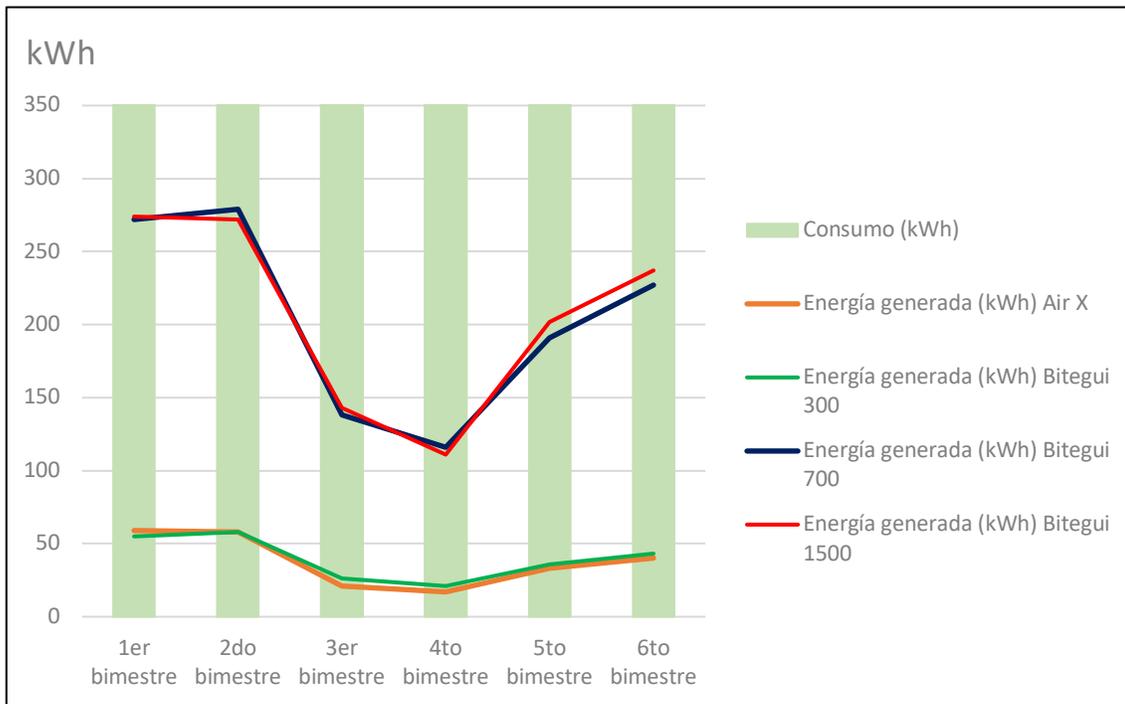
##### 4.4.1. Consumo básico

Considerando los datos de la tabla 4.7 como la demanda energética típica de un usuario en tarifa 1C en consumo básico, de acuerdo con la cantidad tope de kWh de la Tabla 4.5 de la página 61, tenemos un monto de facturación de la energía a pagar de la siguiente manera:

**Tabla 4.7 Servicio en Consumo básico (Elaboración propia)**

Periodo Facturado		Energía (kWh)	Facturación (\$)
13-dic-17	09-feb-18	150	138
09-feb-18	11-abr-18	150	121
11-abr-18	12-jun-18	300	243
12-jun-18	12-ago-18	300	243
12-ago-18	11-oct-18	300	243
11-oct-18	09-dic-18	150	138

Se simula la generación distribuida en esquema interconectado para servicios con Consumo básico por bimestre, mostrado en la figura 4.16



**Figura 4.16 Energía consumida y generada para servicios con Consumo básico. (Elaboración propia)**

a fin de analizar el ahorro en la energía generada respecto a la consumida, considerando el costo de la inversión y el Punto de Retorno de Inversión. Tabla 4.8

**Tabla 4.8 Compartivo de ahorro, inversión y PRI en Consumo básico (Elaboración propia)**

Aerogenerador	Ahorro Anual (\$)	Inversión (\$)	PRI (años)
Air X	185	17,000	92
Bitegui 300	193	16,000	83
Bitegui 700	1,023	20,000	20
Bitegui 1500	1,126	26,000	23

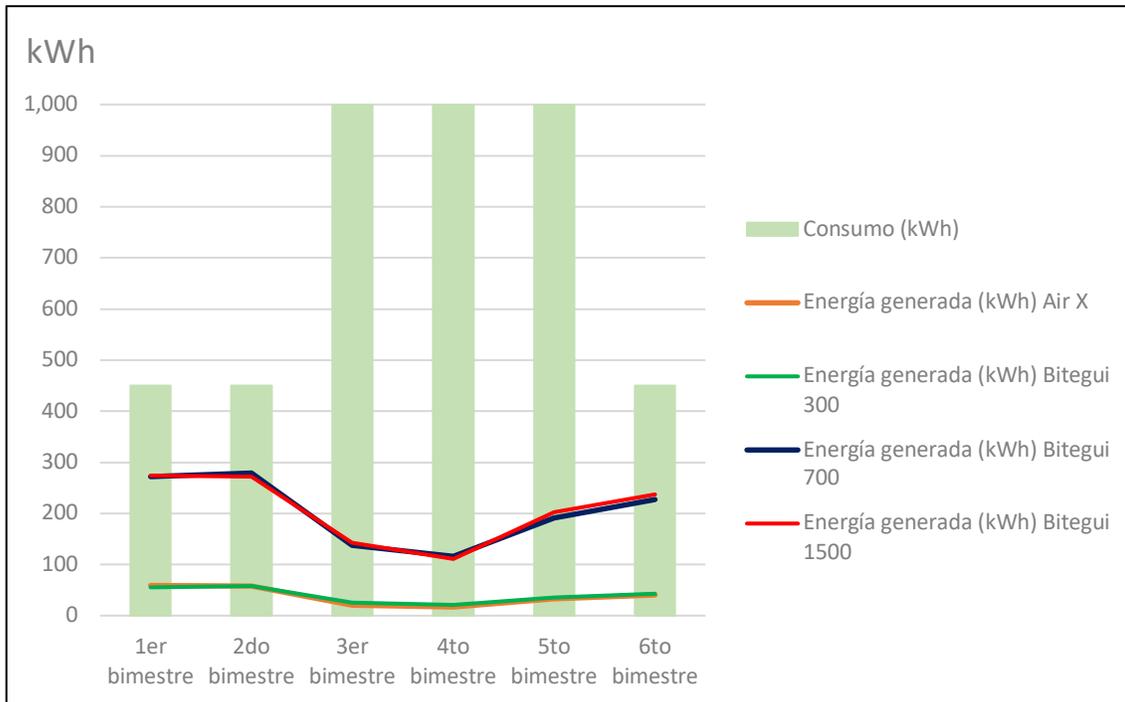
#### 4.4.2. Consumo intermedio

Considerando los datos de la tabla 4.9 como la demanda energética típica de un usuario en tarifa 1C en consumo intermedio, de acuerdo con la cantidad tope de kWh de la Tabla 4.5 que se muestra en la página 61, tenemos un monto de facturación a pagar de la siguiente manera:

**Tabla 4.9 Servicio en Consumo intermedio (Elaboración propia)**

Periodo Facturado		Energía (kWh)	Facturación (\$)
13-dic-17	09-feb-18	350	360
09-feb-18	11-abr-18	350	312
11-abr-18	12-jun-18	900	894
12-jun-18	12-ago-18	900	894
12-ago-18	11-oct-18	900	894
11-oct-18	09-dic-18	350	360

Se realiza el mismo procedimiento, restando la energía generada por los diferentes aerogeneradores a la energía consumida por bimestre a un usuario con consumo intermedio, figura 4.17



**Figura 4.17 Energía consumida y generada para consumo intermedio. (Elaboración propia)**

a fin de obtener el ahorro anual en la energía generada, considerando el costo de la inversión y el Punto de Retorno de Inversión del servicio en Consumo intermedio. Tabla 4.10

**Tabla 4.10 Compartivo de ahorro, inversión y PRI en Consumo intermedio (Elaboración propia)**

<b>Aerogenerador</b>	<b>Ahorro Anual (\$)</b>	<b>Inversion (\$)</b>	<b>PRI (años)</b>
Air X	260	17,000	65
Bitegui 300	257	16,000	62
Bitegui 700	1,354	20,000	15
Bitegui 1500	1,372	26,000	19

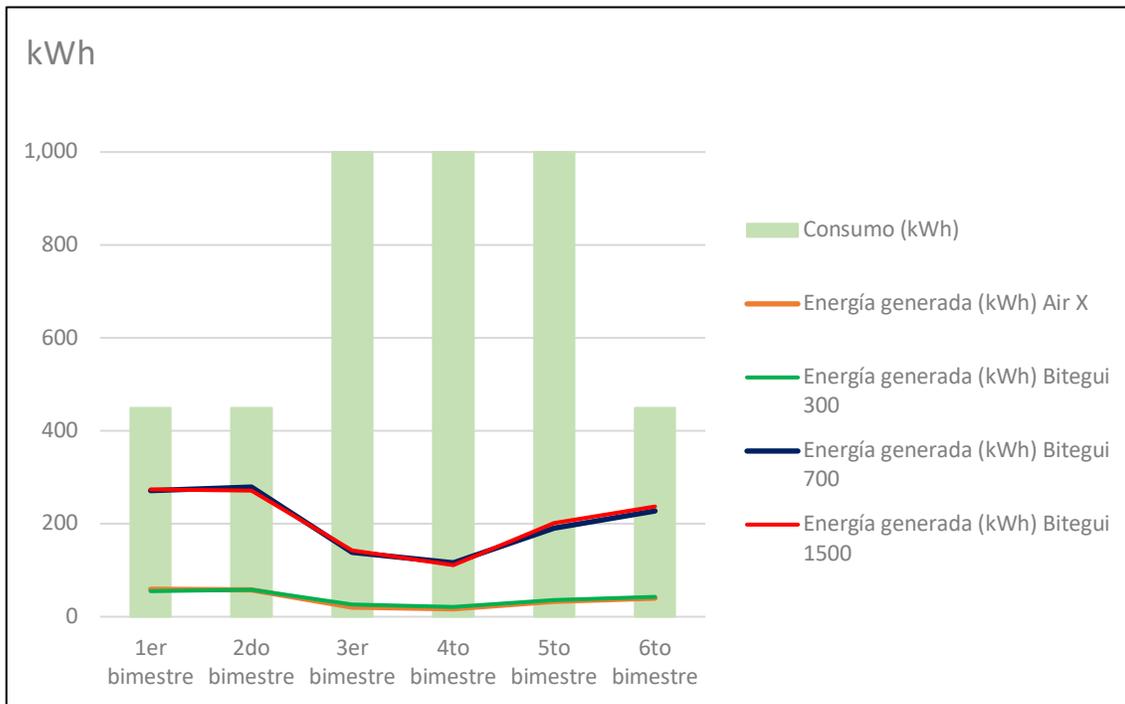
#### 4.4.3. Consumo excedente

Considerando los datos de la tabla 4.11 como la demanda energética típica de un usuario en tarifa 1C en Consumo excedente, de acuerdo con la cantidad tope de kWh de la Tabla 4.5 de la página 61, tenemos un monto de facturación a pagar de la siguiente manera:

**Tabla 4.11 Servicio en Consumo excedente (Elaboración propia)**

<b>Periodo Facturado</b>		<b>Energía (kWh)</b>	<b>Facturación (\$)</b>
13-dic-17	09-feb-18	450	685
09-feb-18	11-abr-18	450	637
11-abr-18	12-jun-18	1,000	1,219
12-jun-18	12-ago-18	1,000	1,219
12-ago-18	11-oct-18	1,000	1,219
11-oct-18	09-dic-18	450	685

Se realiza la simulacion para obtener a energia generada en comparacion con la consumida por bimestre para un usuario en consumo excedente, figura 4.18



**Figura 4.18 Energía consumida y generada para consumo excedente. (Elaboración propia)**

para obtener el ahorro anual debido a la energía generada, considerando el costo de la inversión y el Punto de Retorno de Inversión del servicio en Consumo excedente. Tabla 4.12

**Tabla 4.12 Comparativo de ahorro, inversión y PRI en Consumo excedente (Elaboración propia)**

<b>Aerogenerador</b>	<b>Ahorro Anual (\$)</b>	<b>Inversión (\$)</b>	<b>PRI (años)</b>
Air X	740	17,000	23
Bitegui 300	764	16,000	21
Bitegui 700	2,657	20,000	8
Bitegui 1500	2,678	26,000	10

#### 4.4.4. Doméstico de Alto Consumo

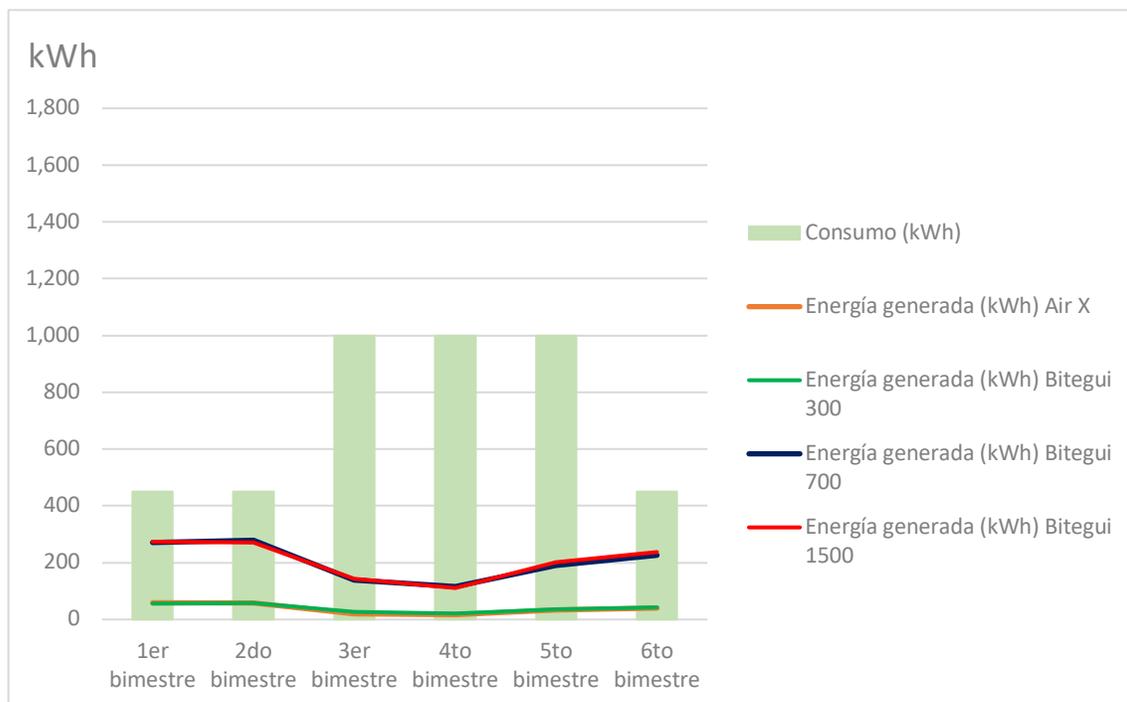
Considerando los datos de la tabla 4.13 como la demanda energética típica de un usuario tarifa 1C que se encuentra considerado como servicio Doméstico de Alto Consumo (DAC), de acuerdo

con la cantidad tope de kWh de la Tabla 4.5 de la página 61, tenemos un monto de facturación a pagar de la siguiente manera:

**Tabla 4.13 Servicio en tarifa DAC (Elaboración propia)**

Periodo Facturado		Energía (kWh)	Facturación (\$)
13-dic-17	09-feb-18	1,700	5,526
09-feb-18	11-abr-18	1,700	5,526
11-abr-18	12-jun-18	1,700	5,526
12-jun-18	12-ago-18	1,700	5,526
12-ago-18	11-oct-18	1,700	5,526
11-oct-18	09-dic-18	1,700	5,526

Se realiza la simulación de la energía producida por cada aerogenerador en sistema interconectado por bimestre a fin de descontar la energía generada a la consumida, a un usuario en tarifa DAC, figura 4.19



**Figura 4.19 Energía consumida y generada para usuarios en tarifa DAC. (Elaboración propia)**

para obtener el ahorro anual en la energía generada, considerando el costo de la inversión y el Punto de Retorno de Inversión del servicio en Consumo excedente. Tabla 4.14

**Tabla 4.14 Compartivo de ahorro, inversión y PRI en tarifa DAC (Elaboración propia)**

<b>Aerogenerador</b>	<b>Ahorro Anual (\$)</b>	<b>Inversión (\$)</b>	<b>PRI (años)</b>
Air X	741	17,000	23
Bitegui 300	776	16,000	21
Bitegui 700	3,978	20,000	5
Bitegui 1500	4,027	26,000	6

#### **4.5. Análisis de resultados**

Observando que aun cuando no es el que mas energía eléctrica genera, es el aerogenerador Bitegui 700, el que logra los mejores beneficios energéticos en función del potencial eólico característico en el trabajo de investigación, con un 20% de aprovechamiento, en comparación del 9% y 6% de los otros modelos empleados en el estudio comparativo.

En el caso de los beneficios ambientales, es el aerogenerador Bitegui 1500 el que nos permite ahorrar 6 kg menos de CO<sub>2</sub> en comparación contra el Bitegui 700, que es el que siguiente en la reducción de emisiones.

Después de analizar los valores arrojados por las simulaciones, se observa que el comportamiento del aerogenerador Bitegui 700 es el que mas se adapta al perfil eólico característico en el punto de estudio, logrando un PRI de 5 años en el caso de los servicios en tarifa DAC y de 8 años en los servicios en Consumo excedente.

Como se menciona en la sección 4.3 existen 140,903 clientes de los cuales 93,663 están considerados dentro del consumo excedente, si de estos servicios, se implementa en el 10%, tomando como base los beneficios económicos del caso de estudio, se obtiene un ahorro global anual de \$24,885,462 M.N. y una reducción de 4,411,386 kg de CO<sub>2</sub> en emisiones por generación de energía en el mismo periodo.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El esquema de los sistemas de generación interconectados, contemplan que el periodo de generación será anual y después de este tiempo la compañía suministradora de energía (*CFE*) considerará la energía eléctrica generada a un costo marginal, siendo este un año móvil, no realizando el corte con el termino del año calendario.

Dado que los meses de mayor consumo energético son de mayo a octubre, pero los meses de mayor generación eléctrica por el comportamiento del potencial eólico son de octubre a marzo, se considera una estrategia para obtener los mejores beneficios energéticos y económicos, el iniciar el contrato de generación en este esquema interconectado en octubre, a fin de que se acumule la energía generada de los meses de mayor generación y se compense con los de mayor consumo, favoreciendo así en los meses que menos se genere.

Para los servicios que se encuentra en Consumo básico y Consumo intermedio, se considera poco viable el contemplar este tipo de modelos, debido a que el tiempo de retorno de la inversión es muy largo, lo que lo convierte en algo no viable como modelo de negocio para ellos.

Sin embargo, para los servicios con Consumo excedente y tarifa DAC, el empleo de esta tecnología se vislumbra como una oportunidad valiosa como pilar de un modelo de negocio.

## BIBLIOGRAFÍA

- La energía Eólica en México. (2015). *Gobierno de la República*. Obtenido de <https://www.gob.mx/>:  
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/31621/eolico.pdf>
- Caracterización del recurso eólico. (2017). *conocimiento eólico*. Obtenido de <http://conocimientoeolico.blogspot.com/>:  
<http://conocimientoeolico.blogspot.com/2017/04/caracterizacion-del-recurso-eolico-2.html>
- Ley de Transición Energética. (2015). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx): [dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5421295&fecha=24/12/2015](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5421295&fecha=24/12/2015)
- Ley para el aprovechamiento de Energías Renovables y el financiamiento de la Transición Energética. (07 de junio de 2013). <http://www.cre.gob.mx/>. Obtenido de Comisión Reguladora de Energía: <http://www.cre.gob.mx/documento/3870.pdf>
- Chicaiza, W. M., & Domínguez, E. M. (2019). *Determinación de sectores ideales para la implementación de generación eólica en el área urbana de la ciudad de Cuenca utilizando técnicas multiesenario*. Cuenca - Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Comisión Federal de Electricidad. (2018). *wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org>:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Comisi3n\\_Federal\\_de\\_Electricidad](https://es.wikipedia.org/wiki/Comisi3n_Federal_de_Electricidad)
- Compromisos de mitigaci3n y adaptaci3n ante el cambio clim3tico para el periodo 2020-2030. (2015). *Gobierno de la Rep3blica*. Obtenido de <https://www.gob.mx/>:  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/39248/2015\\_indc\\_esp.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/39248/2015_indc_esp.pdf)
- Contrataci3n de Servicios Fotovoltaicos. (2018). *Comisi3n Federal de Electricidad*. Obtenido de <https://www.cfe.mx/>:  
<https://www.cfe.mx/Casa/InformacionCliente/Pages/Contrataci3n-de-servicios-Fotovoltaicos.aspx>

- Cruz, O. G. (Abril de 2012). Tesis. *Estudio Técnico-Económico para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en tiendas de conveniencia*. México, D.F., México: Instituto Politécnico Nacional.
- López-Argumedo, E. S. (Diciembre de 2009). Tesis. *Estudio técnico-económico de una instalación solar fotovoltaica conectada a red de 5KW*. Leganés, Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid.
- O'Connor, J. J.; Robertson, . (2002). *MacTutor History of Mathematics and Science*.
- Aerogenerador Darrieus. (2019). *wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/>:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador\\_Darrieus](https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador_Darrieus)
- Aerogeneradores. (2019). *renovables verdes*. Obtenido de <https://www.renovablesverdes.com/>:  
<https://www.renovablesverdes.com/aerogeneradores-verticales/>
- Amazon. (2019). *Controlador-Generado*. Obtenido de <https://www.amazon.com.mx/>:  
<https://www.amazon.com.mx/Controlador-Generador-h%C3%ADbrido-turbinas-e%C3%B3licas/dp/B07VRVF1GV>
- Bnamericas. (2019). Obtenido de <https://www.bnamericas.com/>:  
<https://www.bnamericas.com/es/reportajes/energiaelectrica/que-estados-mexicanos-produciran-mas-energia-eolica>
- Borges, J. M. (diciembre de 2013). Tesis. *Implementacion de paneles solares en casa habitacion*. México, D.F., México: Instituto Politécnico Nacional.
- Elaboración propia. (s.f.). Guevara I, Julio. Veracruz, Veracruz, México.
- éolienne verticale Ropatec 3KW. (2019). *electrosun.fr*. Obtenido de <http://electrosun.fr/>:  
<http://electrosun.fr/eolien-eolienne-energie-renouvelable-vente-distributeur-hybride-solaire%20moins%20cher-3kw-%C3%A9olienne%203000W>
- Especificaciones técnicas pequeña escala. (2018). *Comisión Federal de Electricidad*. Obtenido de <https://www.cfe.mx/>:  
[https://www.cfe.mx/negocio/Información%20al%20Cliente/Documents/Desarrollo\\_Su\\_sustainable/Energia\\_renovable/EspecificacionestécnicasPequeñaEscala.pdf](https://www.cfe.mx/negocio/Información%20al%20Cliente/Documents/Desarrollo_Su_sustainable/Energia_renovable/EspecificacionestécnicasPequeñaEscala.pdf)

Esquema tarifario vigente Hogar. (2018). *Comisión Federal de Electricidad*. Obtenido de <https://app.cfe.mx/>:  
<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Casa.aspx>

*Estaciones meteorológicas*. (2019). Obtenido de <https://estaciones-meteorologicas.eu>:  
<https://estaciones-meteorologicas.eu/estacion-meteorologica-profesional-hacer-negocios/>

Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional. (2019). *Comisión Reguladora de Energía*. Obtenido de <https://www.gob.mx/>: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>

*google maps*. (2019). Obtenido de <https://www.google.com.mx/maps/>:  
<https://www.google.com.mx/maps/@19.2003646,-96.1610558,156m/data=!3m1!1e3?hl=es-419>

Guerrero, J. O. (2010). Tesis. *Estudio técnico- económico en la incorporación de fuentes de generación distribuida a la red eléctrica*. México, D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2019). *Gobierno de México*. Obtenido de <https://www.gob.mx/>: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>

Inversor "electrónica". (2019). *Wikipwdia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/>:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor\\_\(electr%C3%B3nica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_(electr%C3%B3nica))

JetStream. (2008). *National Weather Service*. Obtenido de Southern Region Headquarters: [/synoptic/wind.htm «Origin of Wind»](#)

(2018). *Manual del usuario Air X*.

Medidor bidireccional. (2019). *solarby*. Obtenido de <https://www.solarby.mx/>:  
<https://www.solarby.mx/fullscreen-page/comp-jjwmcn3l/8d14cb11-d52c-4757-b544-e86d79473239/3/%3Fi%3D3%26p%3Dc1dmp%26s%3Dstyle-jjwmcmqy>

México expande su huella eólica. (2016). *bnamericas*. Obtenido de [www.bnamericas.com/](http://www.bnamericas.com/):  
<https://www.bnamericas.com/es/noticias/mexico-expande-su-huella-eolica>

- msm. (2018). *Mediterráneo Señales Marítimas*. Obtenido de <https://mesemar.com/>:  
<https://mesemar.com/sistemas-de-alimentacion/aerogeneradores/windside/>
- Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. (2019). *Diario Oficial de la Federacion*. Obtenido de [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx):  
[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019)
- RESOLUCIÓN Núm. RES/142/2017. (2017). *Diario Oficial de la Federacion*. Obtenido de <http://www.dof.gob.mx/>:  
[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5474790&fecha=07/03/2017](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5474790&fecha=07/03/2017)
- Rocha, Lydia. (2011). *¿De dónde viene el nombre de Energía Eólica?* Obtenido de <https://blogs.imf-formacion.com/>:  
<https://blogs.imf-formacion.com/blog/corporativo/ade/%c2%bfde-donde-viene-el-nombre-de-energia-eolica/>
- Roth, Günter D. (2003). *eteorología. Formaciones nubosas y otros fenómenos meteorológicos. Situaciones meteorológicas generales. Pronósticos del tiempo*. Barcelona: Ediciones Omega.
- Ruedas, F. B., Camacho, C. Á., Guzmán, G. R., & Hernández, M. R. (2013). *Study for Wind Generation and CO2 Emission Reduction Applied to Street Lighting – Zacatecas, México*. Obtenido de <https://www.intechopen.com/>:  
<https://www.intechopen.com/books/modeling-and-control-aspects-of-wind-power-systems/study-for-wind-generation-and-co2-emission-reduction-applied-to-street-lighting-zacatecas-me-xico>
- Scribd Inc. (2019). *Operacion del regulador*. Obtenido de <https://es.scribd.com/>:  
<https://es.scribd.com/document/382291439/Operacion-Del-Regulador>
- Salazar, I. V., López, E. P., Arboleda, C. B., Sánchez, G. D., Pelaez, L. P., Soza, J. M., & Montano, R. R. (2013). ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE VERACRUZ. *1er Foro Multidisciplinario de Investigación*, 1-6.

Tarifas. (2019). *Comisión Federal de Electricidad*. Obtenido de [www.cfe.mx](http://www.cfe.mx):  
<https://www.cfe.mx/tarifas/Pages/Tarifas.aspx>

Viento. (2019). *wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/>:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Viento#cite\\_note-2](https://es.wikipedia.org/wiki/Viento#cite_note-2)

*Weather Underground*. (2018). Obtenido de <https://www.wunderground.com/>:  
<https://www.wunderground.com/dashboard/pws/IVERACRU26/table/2019-11-25/2019-11-25/daily>

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 2.1 Mapa del recurso eólico en México de acuerdo a la escala de aplicación de uso. (Ruedas, Camacho, Guzmán, & Hernández, 2013) .....	20
Figura 2.2 Parques eólicos en operación a septiembre del 2018 (Bnamericas, 2019).....	20
Figura 2.3. Mapa de generación eólica proyectada al año 2020 en México. (Bnamericas, 2019).....	21
Figura 2.4. Aerogenerador Savonius (msm, 2018) .....	22
Figura 2.5 Aerogenerador Giromil (éolienne verticale Ropatec 3KW, 2019) .....	23
Figura 2.6 Aerogenerador Darrieus (Aerogenerador Darrieus, 2019).....	23
Figura 2.7 Aerogenerador de eje horizontal (Aerogeneradores, 2019) .....	24
Figura 2.8 Aerogenerador sin hélices de Vortex (Aerogeneradores, 2019) .....	24
Figura 2.9 Hojas artificiales del Aerogenerador Wind tree (Aerogeneradores, 2019).....	25
Figura 2.10 Partes de un aerogenerador. (Aerogeneradores, 2019) .....	25
Figura 2.11 Curvas de coeficiente de potencial de diferentes aerogeneradores. (Caracterización del recurso eólico, 2017).....	26
Figura 2.12 Controlador de carga para generación eólica o solar. (Amazon, 2019).....	27
Figura 2.13 Onda Senoidal pura, onda cuadrada y onda modificada típica de un inversor de CD a CA (Inversor "electrónica", 2019).....	29
Figura 2.14 Esquema de conexión de medidor bidireccional. (Medidor bidireccional, 2019).....	30
Figura 2.15. Diagrama esquemático de conexiones de una fuente de energía distribuida. (Especificaciones técnicas pequeña escala, 2018) .....	31
Figura 4.1 Elementos que intervienen en el modelo de negocio (Elaboración propia) ....	47
Figura 4.2 Estación meteorológica Ventus W830. (Estaciones meteorológicas, 2019).....	49
Figura 4.3 Lugar designado como área de monitoreo del potencial eólico. (google maps, 2019).....	49
Figura 4.4 Representación gráfica de las velocidades del viento en la estación meteorológica del Laboratorio Eléctrica-Electrónica. (Weather Underground, 2018) ....	51
Figura 4.5 Representación gráfica de las velocidades del viento en la estación meteorológica de 2 caminos. (Weather Underground, 2018).....	52

<b>Figura 4.6 Gráfica de comportamiento del potencial eólico. (Elaboración propia).....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 4.7 Modelo de la rosa de los datos recabados de la estación meteorológica Ventus W830. (Elaboración propia).....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 4.8 Gráfica de Distribución de frecuencias de clases de viento en el período de estudio. (Elaboración propia).....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 4.9 Curva característica “Produccion de Energía (Watts / Velocidad (m/s))” del aerogenerador AirX. (Manual del usuario Air X, 2018).....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 4.10 Primer parte de la curva del aerogenerador AirX (Elaboración propia).....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 4.11 Segunda parte de la curva del aerogenerador AirX. (Elaboración propia) ..</b>	<b>56</b>
<b>Figura 4.12 Gráfica de los kW producidos por el aerogenerador AirX. (Elaboración propia).....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 4.13 Gráfica de los kW producidos por el aerogenerador Bitegui 300. (Elaboración propia) .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 4.14 Gráfica de los kW producidos por el aerogenerador Bitegui 700. (Elaboración propia) .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 4.15 Gráfica de los kW producidos por el aerogenerador Bitegui 1500. (Elaboración propia) .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 4.16 Energía consumida y generada para servicios con Consumo básico. (Elaboración propia) .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 4.17 Energía consumida y generada para consumo intermedio. (Elaboración propia).....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 4.18 Energía consumida y generada para consumo excedente. (Elaboración propia).....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 4.19 Energía consumida y generada para usuarios en tarifa DAC. (Elaboración propia).....</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2.1 Costo escalonado de kWh mes de enero tarifa 1. (Elaboración propia).....	33
Tabla 2.2 Costo escalonado de kWh mes de enero tarifa 1A. (Elaboración propia).....	35
Tabla 2.3 Costo escalonado de kWh mes de enero tarifa 1B. (Elaboración propia).....	35
Tabla 2.4 Costo escalonado de kWh mes de enero tarifa 1C. (Elaboración propia).....	36
Tabla 2.5 Costo escalonado de kWh mes de enero tarifa 1D. (Elaboración propia).....	36
Tabla 2.6 Costo escalonado de kWh mes de enero tarifa 1E. (Elaboración propia).....	37
Tabla 2.7 Costo escalonado de kWh mes de enero tarifa 1F. (Elaboración propia) .....	37
Tabla 2.8 Límite de kWh tope por mes en tarifa normal. (Elaboración propia) .....	38
Tabla 2.9 Cuotas aplicable a tarifa DAC (Elaboración propia) .....	40
Tabla 2.10 Comparativo de limites y costos de kWh por tarifa doméstica y tarifa DAC. (Elaboración propia) .....	41
Tabla 3.1 Operacionalización de Variables Independientes y Dependientes. (Elaboración propia).....	45
Tabla 4.1 Información de la estación meteorológica instalada en el Laboratorio Eléctrica-Electrónica (Weather Underground, 2018) .....	50
Tabla 4.2 Valores de muestreo del potencial eólico en estación meteorológica Punta tiburón. (Weather Underground, 2018).....	51
Tabla 4.3 Generación eólica en función del perfil eólico en el punto de estudio (Elaboración propia) .....	59
Tabla 4.4 Costo de adquisicion de los aerogeneradores seleccionados para el estudio (Elaboración propia) .....	60
Tabla 4.5 Cantidad tope de kWh mensuales por escalón en la tarifa 1C (Elaboración propia).....	61
Tabla 4.6 Clientes por tipo de consumo (Elaboración propia) .....	62
Tabla 4.7 Servicio en Consumo básico (Elaboración propia) .....	63
Tabla 4.8 Compartivo de ahorro, inversión y PRI en Consumo básico (Elaboración propia).....	64
Tabla 4.9 Servicio en Consumo intermedio (Elaboración propia) .....	65

**Tabla 4.10 Compartivo de ahorro, inversión y PRI en Consumo intermedio (Elaboración propia)..... 66**

**Tabla 4.11 Servicio en Consumo excedente (Elaboración propia) ..... 66**

**Tabla 4.12 Compartivo de ahorro, inversión y PRI en Consumo excedente (Elaboración propia)..... 67**

**Tabla 4.13 Servicio en tarifa DAC (Elaboración propia)..... 68**

**Tabla 4.14 Compartivo de ahorro, inversión y PRI en tarifa DAC (Elaboración propia) ..... 69**

## **Anexo 1 Ley de Transición Energética.**

**Anexo 2 RESOLUCIÓN Núm. RES/142/2017**