



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS” ZACATENCO

“PROPUESTA DE DISEÑO DE UN AEROGENERADOR PARA LA ALIMENTACIÓN DE ESPACIOS PUBLICITARIOS EN VALLE DE MÉXICO”

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELECTRICISTA**

PRESENTAN:

**JOSE FRANCISCO GARCIA DELGADO
JOSE EDUARDO ZAMBRANO VALDÉS**

ASESORES:

**ING. JUAN DANIEL RIVAS MARTÍNEZ
M. EN C. TOMÁS IGNACIO ASIAÍN OLIVARES**



CIUDAD DE MÉXICO, NOVIEMBRE 2022.

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
DEBERA (N) DESARROLLAR C. JOSE FRANCISCO GARCIA DELGADO
C. JOSE EDUARDO ZAMBRANO VALDÉS

“PROPUESTA DE DISEÑO DE UN AEROGENERADOR PARA LA ALIMENTACIÓN DE ESPACIOS PUBLICITARIOS EN VALLE DE MÉXICO”

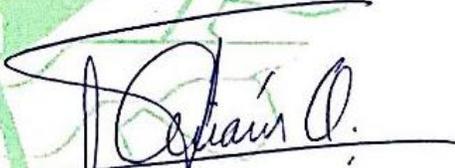
CREAR UNA PROPUESTA DE DISEÑO QUE PERMITA LA INSTALACIÓN DE UN AEROGENERADOR EN ALGUNA VÍA PÚBLICA PRIMARIA DEL VALLE DE MÉXICO, PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE ESPACIOS PÚBLICOS.

- ❖ INTRODUCCIÓN
- ❖ MARCO TEÓRICO
- ❖ MARCO METODOLÓGICO
- ❖ DESARROLLO DEL PROYECTO
- ❖ ESTUDIO ECONÓMICO
- ❖ CONCLUSIONES

CIUDAD DE MÉXICO, A 29 DE NOVIEMBRE DE 2022.

ASESORES


ING. JUAN DANIEL RIVAS MARTÍNEZ


M. EN C. TOMÁS IGNACIO ASIAÍN OLIVARES


ING. BULMARO SANCHEZ HERNANDEZ
JEFE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

P r e s e n t e

Bajo protesta de decir verdad los que suscriben **JOSE FRANCISCO GARCIA DELGADO** y **JOSE EDUARDO ZAMBRANO VALDÉS**, manifestamos ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada "**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN AEROGENERADOR PARA LA ALIMENTACIÓN DE ESPACIOS PUBLICITARIOS EN VALLE DE MÉXICO**", en adelante "**La Tesis**" y de la cual se adjunta copia, *en un impreso y un cd*, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgamos al **Instituto Politécnico Nacional**, en adelante **EI IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales o en cualquier otro medio; *para consulta y apoyo de futuros trabajos relacionados con el tema* de "**La Tesis**" por un periodo de 5 años contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **EI IPN** de su terminación.

En virtud de lo anterior, **EI IPN** deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores de "**La Tesis**".

Adicionalmente, y en nuestra calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de "**La Tesis**", manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por los suscritos respecto de "**La Tesis**", por lo que deslindamos de toda responsabilidad a **EI IPN** en caso de que el contenido de "**La Tesis**" o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumimos las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México., a 03 de febrero de 2023.

Atentamente



C. JOSE FRANCISCO GARCIA DELGADO



C. JOSE EDUARDO ZAMBRANO VALDÉS

ÍNDICE

Introducción	I
Planteamiento del problema	II
Justificación	III
Objetivo general	IV
Objetivos específicos	IV
Alcances y limitaciones	V
Capítulo 1 Marco teórico	1
1.1 Energía eólica	1
1.1.1 Contribución de la energía eólica en México	1
1.1.2 Ventajas y desventajas de la energía eólica	3
1.2 Aerogeneradores y su funcionamiento	4
1.2.1 Partes de un aerogenerador	7
1.2.2 Características de un aerogenerador	8
1.2.3 Tipos de aerogeneradores	9
1.2.3.1 Clasificación por tamaño	9
1.2.3.2 Clasificación por su disposición o forma	9
1.2.4 Concentradores	12
1.2.4.1 Clasificación rápidos y lentos	12
1.2.4.2 Clasificación por su resistencia al viento	13
1.2.4.3 Clasificación por el tipo de generador eléctrico	15
1.2.4.4 Clasificación por la velocidad del giro del rotor	15
1.2.4.5 Clasificación por el tipo de palas	16
1.2.4.6 Clasificación por el número de palas del rotor	16
1.2.5 Impacto ambiental de un aerogenerador	17
1.2.5.1 Formas para evitar el impacto ambiental por el uso de aerogeneradores	17
1.2.6 Aplicaciones de los sistemas eólicos	18
1.2.6.1 Sistemas Aislados	18
1.2.6.2 Sistemas Conectados a la Red	18
1.2.6.3 Sistemas Híbridos	18
1.3 Soportes para turbinas eólicas	19
1.3.1 Torres de Celosía Arriostrada	19
1.3.2 Torre Retenida	20

1.3.3 Torre Tubular Auto soportada	20
1.3.4 Torres Híbridas	21
1.4 Condiciones geográficas de la demarcación	21
1.4.1 Patrón histórico de viento en el Valle de México	23
1.4.2 Graficas del flujo de viento promedio anuales dentro de la ZMVM	24
1.4.2.1 Ciudad de México	24
1.4.2.2 Ecatepec de Morelos, Estado de México	25
1.4.2.3 Naucalpan de Juárez, Estado de México	26
1.4.2.4 Tlalnepantla de Baz, Estado de México	27
1.5 Tipos de publicidad y espacios publicitarios	27
1.5.1 Clasificación de publicidad exterior	27
1.5.1.1 Publicidad exterior en espectaculares	28
1.5.1.2 Publicidad exterior en mobiliario urbano	29
1.5.1.3 Publicidad exterior móvil	30
1.5.2 Publicidad DOOH	30
1.5.3 Pantallas digitales utilizadas para la publicidad DOOH	31
1.5.3.1 Para estadios	31
1.5.3.2 Para vía pública y/o exteriores	31
1.5.3.3 Para negocios e inmuebles	33
Capítulo 2 Marco metodológico	34
2.1 Aerogeneradores de eje vertical	34
2.1.1 Rotor Savonius	34
2.1.1.1 Proporciones	35
2.1.1.2 Potencia y velocidad de giro	35
2.1.1.2 Uso	36
2.1.2 Aerogenerador Darrieus	36
2.1.2.1 Proporciones y características	37
2.1.3 Aerogenerador Giromill	37
2.2 Soportes para aerogeneradores verticales	38
2.2.2 Torre de un Solo Poste de Aerogeneradores Aeolos	39
2.2.3 Torre Hidráulica de Aerogeneradores Aeolos	40
2.3 Vías de la ZMVM	40
2.3.1 Circuito Interior Bicentenario	40

2.3.1.1	Recorrido Norte	41
2.3.1.2	Recorrido Poniente	41
2.3.1.3	Recorrido Sur	42
2.3.1.4	Recorrido Oriente	42
2.3.2	Anillo Periférico	42
2.3.2.1	Recorrido Norte	43
2.3.2.2	Recorrido Poniente	44
2.3.2.3	Recorrido Sur	44
2.3.2.4	Recorrido Oriente	44
2.3.3	Circuito Exterior Mexiquense	44
2.3.3.1	Tramo fase 1	45
2.3.3.2	Tramo fase 2	46
2.3.3.3	Tramo fase 3	46
2.4	Publicidad digital en las principales vías de la ZMVM	46
2.4.1	La mejor vialidad para la publicidad	46
2.4.1.1	Periférico Norte, Toreo-Perinorte	46
2.4.1.2	Viaducto, Periférico- Río Churubusco	46
2.4.1.3	Circuito Interior, Aeropuerto-B. Franklin	47
2.4.2	Medios publicitarios que las agencias ofrecen	47
2.4.2.1	Pantallas Digitales Aeropuerto	47
2.4.2.2	Digibilboard	48
2.4.2.3	Digiboard	48
2.4.2.4	Digitop	49
Capítulo 3	Desarrollo del proyecto	50
3.1	Alternativa de aerogeneradores verticales a implementar	50
3.1.1	Smarttwister ST-2000	50
3.1.2	Aerogenerador Vertical Aeolos-V 1KW	53
3.1.3	Turbina eólica de V-AIR, HoYi 200	56
3.2	Comparación y elección del aerogenerador a utilizar	58
3.3	Lugar óptimo para la instalación del aerogenerador	60
3.3.1	Circuito Interior Bicentenario alcaldía Azcapotzalco, CDMX	60
3.3.2	Viaducto Pdte. Miguel Alemán Valdés #87, Cuauhtémoc, CDMX	63
3.4	Pantalla publicitaria a utilizar	67

3.5 Consumo y producción anual de energía	68
3.6 Sistema de conexión eléctrica del aerogenerador	70
3.6.1. Rectificador/Regulador	70
3.6.1.1. Smarttwister RRC RST-3000	71
3.6.2. Inversor	72
3.6.2.1. Inversores Phoenix 3kVA	73
3.6.3. Medidor bidireccional	74
3.7 Cálculo de conductores del circuito	75
3.8 Cálculo de protecciones del circuito	78
3.9 Calculo pararrayos	79
3.9.1 Valoración de riesgo	79
3.9.2 Frecuencia de rayos directos a una estructura.	79
3.9.3 Cálculo de la frecuencia de rayos directos a una estructura.	80
3.9.4 Frecuencia anual permitida de rayos a una estructura.	82
3.9.5 Evaluación de la necesidad de protección	82
3.10 Diseño del sistema externo de protección SEPTE.	83
3.10.1 Método de la esfera rodante.	83
3.10.2 Selección de los pararrayos.	85
3.10.3 Selección de los conductores de bajada.	85
3.11 Sistema de puesta a tierra.	85
3.11.1 Diseño del SPT.	86
3.12 Diseño del SIPTE.	90
3.12.1 Unión equipotencial.	90
3.13. Esquema eléctrico	91
3.14. Diagrama unifilar	92
Capítulo 4 Estudio económico	93
4.1 Permiso para construir en la CDMX	93
4.1.1 Costos	93
4.2 Mantenimiento preventivo y correctivo	93
4.3 Costo de Instalación	94
4.3.1 Costo de obra civil	94
4.3.2 Costo de equipamiento y materiales	95
4.3.3 Costo de instalación eléctrica (mano de obra)	96

4.4 Costo Total del proyecto	96
4.4.1 Beneficios fiscales	97
4.4.2 Recuperación de la inversión	98
Capítulo 5 Conclusiones	102
Referencias	103
Glosario	106
Anexos	108
Ficha técnica del Aerogenerador Smarttwister ST-2000	108
Tabla de protección IP	111
Ficha técnica del Aerogenerador Aeolos 1KW	112
Ficha técnica del Aerogenerador HoYi 200	113
Límite de ruido máximo permisible, NOM-081-SEMARNAT-1994	114
Ficha técnica del Rectificador/Regulador Smarttwister RRC RST-3000	115
Ficha técnica del Inversor Phoenix Inverter 3000 VA / 120 V	117
Ficha técnica de la pantalla publicitaria	119
Tabla de frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre estructuras comunes	120

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.1 Central eólica sureste II	2
Figura 1.2 Central eólica Oaxaca I	2
Figura 1.3 Capacidad de generación eléctrica total y eólica	3
Figura 1.4 Aerogeneradores	5
Figura 1.5 Partes del aerogenerador	8
Figura 1.6 Aerogeneradores de eje horizontal (sotavento y barlovento)	10
Figura 1.7 Aerogeneradores de eje horizontal (tripala, bipala y monopala)	11
Figura 1.8 Aerogeneradores multipala de eje horizontal	11
Figura 1.9 Aerogeneradores de eje vertical (Savonius, Darrieus)	12
Figura 1.10 Curva característica de distintos aerogeneradores	13
Figura 1.11 Curva de turbulencia de distintos aerogeneradores	15
Figura 1.12 Ejemplo de sistema híbrido	19
Figura 1.13 Torre de celosía arriostrada	20
Figura 1.14 Torre retenida	20
Figura 1.15 Torre tubular auto soportada	21
Figura 1.16 Torre híbrida	21
Figura 1.17 Fista fisiográfica del Valle de México	22
Figura 1.18 Serie de tiempo del promedio diario de velocidad de viento	23
Figura 1.19 Campo promedio del flujo de viento	24
Figura 1.20 Velocidad promedio del viento en la ciudad de México	25
Figura 1.21 Velocidad promedio del viento en Ecatepec	26
Figura 1.22 Velocidad promedio del viento en Naucalpan de Juárez	26
Figura 1.23 Velocidad promedio del viento en Tlalnepantla de Baz	27
Figura 1.24. Ejemplo de espectacular en azotea.	28
Figura 1.25 Ejemplo de publicidad en parabuses	30
Figura 1.26 Publicidad exterior	30
Figura 1.27 Ejemplo de publicidad DOOH	31
Figura 1.28 Simulación de pantalla LBS Stadium	31
Figura 1.29 Simulación de pantalla LBE DOOH	32
Figura 1.30 Simulación de pantalla LBS DOOH	32
Figura 1.31 Simulación de pantalla LBH	33
Figura 2.1 Rotor Savonius	35
Figura 2.2 Funcionamiento de una turbina Savonius	35

Figura 2.3 Aerogenerador savonius en vía primaria	36
Figura 2.4 Aerogenerador darrieus	37
Figura 2.5 Aerogenerador giromill	38
Figura 2.6 Torre de mástil tensado aeolos	39
Figura 2.7 Torre de un solo poste aeolos	39
Figura 2.8 Mapa del circuito interior mexicano	41
Figura 2.9 Mapa del anillo periférico	43
Figura 2.10 Mapa del circuito exterior mexiquense	45
Figura 2.11 Animación de publicidad de agencia rentable	47
Figura 2.12 Pantallas digitales aeropuerto	47
Figura 2.13 Digibilboard	48
Figura 2.14 Digiboard	49
Figura 2.15 Digitop	49
Figura 3.1 Aerogenerador smarttwister st-2000	50
Figura 3.2 Curva de potencia del aerogenerador smarttwister st-2000	51
Figura 3.3 Smarttwister st-2000 aplicado en centros comerciales	52
Figura 3.4 Aerogenerador vertical aeolos-v 1 kw	53
Figura 3.5 Curva de potencia del aerogenerador aeolos-v 1 kw	54
Figura 3.6 Aplicacion del aerogenerador aeolos-v 1 kw	55
Figura 3.7 Aerogenerador hoyi 200	56
Figura 3.8 Curva de potencia del aerogenerador hoyi 200	57
Figura 3.9 Aplicacion del aerogenerador hoyi 200	57
Figura 3.10 Comparativa de la potencia del st-2000 con la compatencia mas dirteca	59
Figura 3.11 Comparativa de precio en euros del st-2000 con la compatencia mas dirteca	60
Figura 3.12 Av. Rio consulado no. 656	61
Figura 3.13 Camellon entre av. Rio consulado no. 656 y paseo de las palmas	61
Figura 3.14 Espacios publicitarios cerca de av. Rio consulado no. 656	62
Figura 3.15 Velocidad promedio del viento en la alcaldía azcapotzalco	62
Figura 3.16 Viaducto pdte. Miguel alemán no. 87, visto desde el cruce av. Monterrey	63
Figura 3.17 Viaducto pdte. Miguel alemán no. 87, visto desde la lateral dirección aeropuerto	63
Figura 3.18 Viaducto pdte. Miguel alemán no. 87, visto desde la lateral dirección tacubaya	64
Figura 3.19 Velocidad promedio del viento en la alcaldía cuauhtémoc	65
Figura 3.20 Paso a desnivel viaducto pdte. Miguel alemán cruce av. Monterrey dirección tacubaya	65

Figura 3.21 Paso a desnivel viaducto pdte. Miguel alemán cruce av. Monterrey dirección aeropuerto	66
Figura 3.22 Tipo led smd-hd	68
Figura 3.23 Conexion de un aerogenerador aislado a la red	70
Figura 3.24 Regulador pwm de sistema hibrido	71
Figura 3.25 Smarttwister rrc rst-3000	72
Figura 3.26 Inversor phoenix inverter	74
Figura 3.27 Modelos de contraprestación	75
Figura 3.28 Secciones de la instalación del proyecto	75
Figura 3.29 Caída de tensión en el tramo 1	76
Figura 3.30 Tabla 310-15(b)(16) de la nom-001-sede-2012 utilización	77
Figura 3.31 Artículo 240-6. Capacidades estandarizadas de fusibles e interruptores automáticos	78
Figura 3.32 Proyecto en viaducto pdte. Miguel alemán	80
Figura 3.33 Proyecto en circuito interior	80
Figura 3.34 Obtención del dato de densidad de rayos a tierra	81
Figura 3.35 Aplicación del método de la esfera rodante para definir la altura y posición de las terminales aéreas de intercepción de rayo	84
Figura 3.36 Vista planta de los arreglos típicos para formar el electrodo de puesta a tierra	86
Figura 3.37 Vista de planta del spt recomendado para áreas de congregación de personas	87
Figura 3.38 Vista lateral de enterramiento de los electrodos de puesta a tierra verticales y horizontales	87
Figura 3.39 Diagrama de conexión de los electrodos de puesta a tierra mediante una trayectoria cerrada	88

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1.1. Clasificación de aerogeneradores IEC. _____	14
Tabla 1.2. Clasificación de acuerdo con la medida. _____	29
Tabla 3.1. Características generales del Aerogenerador Smarttwister ST-2000. _____	51
Tabla 3.2. Especificaciones para Aerogenerador Aeolos 1 KW. _____	53
Tabla 3.3. Especificaciones para Aerogenerador HoYi 200. _____	56
Tabla 3.4. Cuadro comparativo de las características más importantes a considerar del aerogenerador. _____	58
Tabla 3.5. Valores del exponente de Hellmann en función de la rugosidad del terreno. _____	66
Tabla 3.6. Consumo esperado de la pantalla publicitaria. _____	68
Tabla 3.7. Producción Energética Estimada Anual del ST-2000. _____	69
Tabla 3.8. Latitud y longitud de las ubicaciones propuestas para la instalación del aerogenerador. _____	81
Tabla 3.9. Dimensiones del proyecto a instalar. _____	82
Tabla 3.10. Altura de las terminales aérea verticales de acuerdo con el nivel de protección para el método de la esfera rodante. _____	84
Tabla 3.11 Dimensiones mínimas de los conductores de bajada _____	85
Tabla 3.12 Material y dimensiones nominales de los electrodos de puesta a tierra. _____	89
Tabla 4.1. Costo del equipo y materiales a utilizar. _____	95
Tabla 4.2. Costo de instalación eléctrica. _____	96
Tabla 4.3. Costo total del proyecto. _____	97
Tabla 4.4. Costo de la energía conectado a la red de CFE y ahorro anual por zona. _____	98
Tabla 4.5. Costo del KW/h por zona. _____	99
Tabla 4.6. Recuperación de la inversión en la Alcaldía Azcapotzalco. _____	99
Tabla 4.7. Dedución anual correspondiente al costo de equipos y materiales. _____	100
Tabla 4.8. Recuperación de la inversión en la Alcaldía Cuauhtémoc. _____	100

Introducción

En la presente investigación, se estipula toda la información que se debe tomar en cuenta para poder crear una propuesta en la instalación de un aerogenerador dentro de la ZMVM, que permita la alimentación eléctrica de espacios publicitarios, mismos que estén situados en las principales vías públicas primarias de la demarcación. Dicho proyecto se propone a partir de la necesidad de aprovechar el recurso eólico en esta zona, el cual prácticamente es nulo, debido a la gran urbanización de la zona y por consecuencia el poco espacio disponible para instalar parques eólicos.

Partiendo desde lo principal, sobre lo que es la energía eólica y cómo se está aprovechando o aplicando en el país, incluyendo una recopilación de datos sobre los flujos de viento presentes en la zona metropolitana del Valle de México, para de esta forma, definir cuál es la mejor locación en la que se puede instalar una turbina eólica.

Se indica el principio de funcionamiento de un aerogenerador, así como las partes que lo conforman, diseño, tipos y la aplicación de estos, profundizando sobre el tipo de aerogenerador que se utilizará para el desarrollo de este trabajo, que son los aerogeneradores de eje vertical. Realizando una comparación de diferentes marcas y tipos de aerogeneradores, se determina cual es más apto para instalar cumpliendo con las características indispensables para su funcionamiento, integrando un apartado donde se indica el impacto ambiental que los aerogeneradores pueden llegar a provocar en su instalación y la forma correcta en que se puede minimizar este daño.

Este trabajo muestra información de las tres principales vías que se tienen el Valle de México y los respectivos tramos en los que las agencias publicitarias han determinado cómo mejores lugares estratégicos para colocar publicidad digital. Se realiza una estimación del consumo de energía que tienen las pantallas digitales más usadas, mismo que se utiliza para calcular una relación entre la producción de energía del aerogenerador y el consumo antes mencionado.

Para finalizar, se desarrolla un estudio económico para determinar la viabilidad de esta propuesta e indicar, las diferencias económicas de esta alternativa en la generación de energía, en comparación a la forma tradicional, así como, desglosar el costo total del proyecto y analizar el tiempo de recuperación de la inversión de este.



Planteamiento del problema

El Valle de la Ciudad de México tiene un escaso aprovechamiento de los flujos de viento que se encuentran dentro de la demarcación y/o alrededores, recurso que se puede utilizar para la generación de energía eléctrica, por lo cual, surge la necesidad de diseñar la instalación de un aerogenerador para aprovechar dicha energía y dirigirla para la alimentación eléctrica de sectores específicos de la ciudad.

Este proyecto está enfocado en alimentación eléctrica de pantallas digitales publicitarias, que se encuentran en espacios destinados para este fin en diferentes puntos de las principales vías del Valle de México. Utilizando una metodología teórica del tipo análisis histórico y lógico, permitirá que este trabajo retome estadísticas de dichos flujos de viento para determinar la ubicación de la instalación de un aerogenerador que brinde una solución a la problemática presentada anteriormente.

Es importante tener en cuenta las normatividades que se deben respetar para la creación de dicha propuesta, desde las normas aplicables para los circuitos eléctricos, así como, los permisos necesarios para poder llevar a cabo un tipo de instalación de estas características.



Justificación

Actualmente a nivel internacional se están buscando nuevas formas de producir energía eléctrica con el fin de reducir el impacto ambiental que se ha venido agravando con el paso de los años, en México no es la excepción puesto que en los últimos años se han abierto las puertas a las energías renovables, pero a una escala baja a comparación de las formas tradicionales de generación.

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) cuenta con una posición geográfica en donde por tener en su mayor área zonas montañosas, es propicio a tener flujos de viento constantes, pero por ser una zona sumamente poblada no hay forma de construir un parque eólico que permita la distribución de electricidad a los hogares de las demarcaciones existentes.

Es por esta razón, que la importancia de este trabajo radica en estudiar y analizar la forma diseñar la instalación de un aerogenerador en algún punto de la ZMVM, para de esta forma demostrar que es posible aprovechar este tipo de energía en zonas urbanas, y así, poder alimentar los sectores específicos de la zona metropolitana como en es el caso de los espacios publicitarios.



Objetivo general

Crear una propuesta de diseño que permita la instalación de un aerogenerador en alguna vía pública primaria del Valle de México, para la alimentación eléctrica de espacios publicitarios.

Objetivos específicos

- Analizar los flujos de viento que se presentan en la ZMVM y determinar el lugar más adecuado para instalar el aerogenerador.
- Evaluar los tipos de aerogeneradores que se encuentran disponibles en el mercado para seleccionar el que mejor se adapte a la infraestructura urbana del Valle de México.
- Investigar las diferentes formas de publicidad exterior digital y definir cuál es la más viable para suministrarle la energía del aerogenerador.

Alcances y limitaciones

Una empresa norteamericana dedicada al diseño, fabricación y comercialización de aerogeneradores ha instalado el mayor parque eólico sobre cubierta integrado en un edificio en EEUU. Se trata de una instalación de 18 turbinas, de eje vertical sobre cubierta en el edificio de la Fundación Oklahoma Medical Research (OMRF).

La apuesta por este parque eólico es parte de la estrategia de sostenibilidad OMRF para producir energía cero emisiones en su nueva sede. La instalación está totalmente integrada en el diseño del edificio y los aerogeneradores omni-direccionales están adaptados a las condiciones del sitio y orientados de manera que puedan recoger la mayor parte del viento, tanto del norte como sur del edificio.

Actualmente a nivel nacional no se cuenta con algún aerogenerador de eje vertical de baja potencia que brinde energía a sectores específicos del país (industrial, comercial, residencial), por lo tanto, esta investigación no cuenta con algún antecedente para la realización de este proyecto y estará sujeto a la inversión privada para llevarlo a cabo.

De manera que este trabajo tiene como propósito diseñar una propuesta que sea viable tanto en el aspecto técnico como en el económico esperando se pueda implementar cuando las certificaciones y regulaciones dentro de la CDMX así lo permitan. Sin embargo, esta tesis puede tomarse como referencia para la realización de futuros proyectos de aerogeneradores urbanos de baja potencia.

Siendo así, esta investigación se convierte en un referente para el diseño de la instalación de un sistema eólico de este tipo, que represente un ahorro económico para la empresa o institución que decida efectuarlo.

Se realiza una estimación del costo total del proyecto, así como del tiempo de recuperación de la inversión para que se conozca la información económica necesaria que ayudara a tener un panorama más amplio de los beneficios de este proyecto.

El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) advierte que el sector de la construcción necesita reducir el uso de energía en los edificios en un 60% en todo el mundo antes de 2050 para poder afrontar los objetivos fijados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático para frenar el cambio climático global.

Capítulo 1 Marco teórico

En este primer capítulo se abordará de forma general los conceptos de energía eólica, así como, el funcionamiento, tipos, clasificación de los aerogeneradores, impacto ambiental y ventajas y desventajas de su uso. También se presentarán los registros más recientes de los flujos de viento que se presentan en la demarcación del Valle de México y por último los diferentes tipos de publicidad digital que podemos encontrar en zonas urbanas.

1.1 Energía eólica

La energía eólica se ha convertido en una fuente de generación de electricidad clave para el cambio del modelo energético, más limpio y sostenible. La mejora de la tecnología permite que algunos campos eólicos produzcan energía eléctrica tan barata como lo hace el carbón o las centrales atómicas.

La energía eólica es la energía que se obtiene del viento. Se trata de un tipo de energía cinética producida por el efecto de las corrientes de aire. Esta energía la podemos convertir en electricidad a través de un generador eléctrico. Es una energía renovable, limpia, que no contamina y que ayuda a reemplazar la energía producida a través de los combustibles fósiles.
[1]

1.1.1 Contribución de la energía eólica en México

En México se cuenta con un potencial eólico incuestionable. Si bien sólo se ha comenzado a explotar en años recientes, el sector muestra ya un alto dinamismo y competitividad. Prueba de ello son los más de 1,900 MW en operación, en producción independiente y autoabastecimiento, como los más de 5,000 MW en distintos niveles de desarrollo.

En producción independiente, se tiene proyectos como Oaxaca I-IV y Sureste II los cuales muestran que la tecnología eólica es una solución eficaz para proveer de energía a los suministradores de servicios básicos mediante procesos de subastas de largo plazo, a un precio competitivo.

En autoabastecimiento, la apuesta por la energía eólica de más de 200 empresas de múltiples sectores, incluyendo gran industria, son un claro ejemplo de que esta tecnología deberá continuar siendo una solución competitiva para los usuarios calificados en el nuevo esquema.

El recurso eólico en México es competitivo, como lo demuestran los numerosos proyectos llevados a cabo por el sector privado en la modalidad de autoabastecimiento, así como por la CFE bajo la modalidad de productor independiente de energía.

A través del contraste de múltiples metodologías, se ha cuantificado el potencial eólico técnico y económicamente competitivo, definiendo un objetivo de instalación de 12,000 MW

para el año 2020. El alto volumen de recurso aprovechable indica que México es un país dotado con un gran potencial para el uso de energía eólica. Ver Figura 1.1 y 1.2. ^[2]



Figura 1.1 Central eólica Sureste II

Fuente: WIKIPEDIA. Inauguración de central eólicas Sureste I, Fase II



Figura 1.2 Central eólica Oaxaca I

Fuente: Grupo Cobra. Parque eólico Oaxaca I

Cerca de 7,000 MW de este potencial se encuentran ya en operación o en fase de desarrollo, principalmente a través de dos modalidades de generación: la producción independiente de energía y el autoabastecimiento.

La energía eólica es una opción necesaria para la articulación de una política energética sustentable y diversificada, que permita cumplir con los objetivos establecidos en la Ley.

Hasta el momento, en México se han invertido 13,000 millones de dólares en la capacidad eólica actual, que representa un poco más del 8% de la instalación eléctrica nacional. Al concluir la administración pasada, y dado el potencial del viento en regiones como Tamaulipas y Oaxaca, entre otros, se esperaba superar el 10% de la capacidad instalada al 2024, pero los arreglos que se obtuvieron como exceso de socios de auto abasto o exención del pago de transmisión por considerarse energía renovable, han llevado a que la CFE tenga pérdidas al otorgar apoyos a privados que intervienen en el sector, lo que ha provocado los desacuerdos y modificaciones legales que hoy se desahogan en el poder judicial. Ver la Figura 1.3. siguiente.

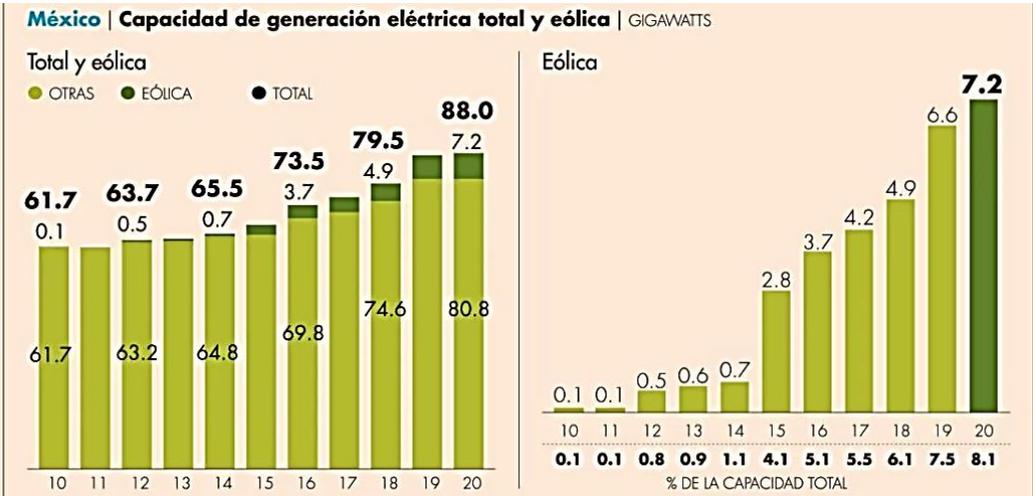


Figura 1.3 Capacidad de generación eléctrica total y eólica

Fuente: SENER, PROSPECTIVA 2018-2032; SENER SE; AMDEE

En la Figura 1.3 se muestran dos gráficos en las cuales se puede observar el crecimiento de la instalación de la energía eólica. ^[3]

1.1.2 Ventajas y desventajas de la energía eólica

Entre las ventajas de la energía eólica se destaca uno de los beneficios más notables de su uso es que es una fuente de energía renovable, no contaminante, autóctona e inagotable. Además, supone una reducción en el uso de combustibles fósiles contribuyendo de esta manera al desarrollo sostenible. Éstos son algunos de sus principales beneficios:

- a) Es una energía renovable y limpia. Tiene su origen en procesos atmosféricos debidos a la radiación solar, por lo que es un recurso natural renovable que no produce emisiones atmosféricas ni contaminantes.
- b) La energía eólica es autóctona. Está disponible en casi todo el planeta, por lo tanto, fomenta la riqueza y la generación de empleo local.

- c) Es adaptable a casi cualquier espacio. Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, como zonas desérticas y además puede convivir con otros usuarios del suelo, como el cultivo o la ganadería.
- d) Cuenta con una rápida instalación. No requiere de minería ni transformación de combustibles. Además, se puede instalar aerogeneradores a distintas alturas para lograr una producción estable.
- e) Permite la auto alimentación de viviendas. Su utilización combinada con energía solar fotovoltaica permita la auto alimentación de viviendas, evitando la necesidad de conectarse a redes de suministro.
- f) Se considera una energía barata. Es una energía de bajo coste cuyo precio se mantiene bastante estable, por lo que puede competir en rentabilidad con las fuentes energéticas tradicionales, además de ser una fuente de ahorro.

Entre las desventajas de la energía eólica debemos señalar que uno de los mayores inconvenientes de su uso es la planificación de obtención de energía debido a la aleatoriedad del viento.

- a) Falta de seguridad en la existencia de viento. Este motivo impide que la energía eólica se use como única fuente de energía eléctrica. Sin embargo, esto podría solucionarse utilizando dispositivos de almacenamiento de energía eólica.
- b) La velocidad no puede exceder un límite. Si la velocidad del viento es superior al máximo que puede soportar la turbina, causa daños en el eje y la producción se ve disminuida, por lo que se requieren sistemas de control para desconectar.
- c) Es preciso construir líneas de alta tensión. Para distribuir la energía eléctrica desde los parques eólicos, es necesario construir líneas de alta tensión capaces de conducir el máximo de la electricidad generada.
- d) Implica un impacto medioambiental. La instalación de parques eólicos causa daños y muertes de aves, murciélagos y supone un impacto visual sobre los parajes naturales. Los nuevos diseños de aerogeneradores están cambiando esta tendencia.
- e) Dificultad en la planificación de obtención de energía. La aleatoriedad del viento plantea serios problemas, pese a que los últimos avances meteorológicos para la previsión del viento han mejorado mucho la situación. ^[4]

1.2 Aerogeneradores y su funcionamiento

Un aerogenerador es un dispositivo capaz de convertir la energía cinética del viento en energía mecánica, lo que finalmente se convertiría en energía eléctrica.

El funcionamiento es sencillo: el viento crea una fuerza giratoria al transcurrir por las aspas, que rotan el eje del que parten, ubicado en una parte del aerogenerador denominada góndola. Ese eje o buje está comunicado con una caja de cambios que aumenta la rapidez de rotación del eje y da energía al generador, al que está conectada. El generador se vale de campos magnéticos y transforma la energía rotacional en eléctrica. El último paso antes de llegar a

las redes de distribución es pasar por un transformador que adecue la cantidad de energía, ya que el voltaje creado es excesivo para ellas.

Los aerogeneradores comienzan a captar la fuerza del viento a partir de que éste sople a más de 3-4 m/s (aunque actualmente con los nuevos diseños, se ha reducido este parámetro) y consiguen producir una potencia máxima de 15 m/s. Si hay inclemencias meteorológicas, en concreto si hay una velocidad media de más de 25 m/s, están automatizados para desconectarse. Además, en la góndola hay unos aparatos encargados de medir la velocidad y la dirección del viento con el objetivo de optimizar la máxima obtención de energía eólica. Ver Figura 1.4. ^[5]



Figura 1.4 Aerogeneradores

Fuente: Inge expert

La producción de energía aprovechando la energía cinética del viento es lo que denominamos energía eólica. Con un aerogenerador aprovechamos la diferencia de velocidades del viento entre la entrada y salida.

Es importante señalar que la velocidad del viento varía con la altura y depende fundamentalmente la naturaleza del terreno sobre el cual se desplazan las masas de aire.

La variación de la velocidad puede representarse mediante la siguiente expresión.

$$\frac{V_1}{V_2} = \left[\frac{h_1}{h_2} \right]^\alpha \quad (1.1)$$

Donde $V_1 < V_2$ representan las velocidades del viento a las alturas $h_1 < h_2$, respectivamente.

El exponente α caracteriza al terreno, pudiendo variar entre 0.08 y 0.40.

La energía máxima teórica que puede ser extraída de una masa de aire en movimiento está dado por la expresión.

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1.2)$$

Donde:

E_c = energía cinética [J/s].

m = flujo de aire [Kg/s].

v = Velocidad del viento [m/s].

Si suponemos un área de captación A perpendicular a la dirección del viento, el flujo del aire circulante que la atraviesa será:

$$m = \delta Av \quad (1.3)$$

Siendo δ la densidad del aire [Kg/m³]

A esta energía se le denomina potencia meteorológica y se expresa en W/m².

Como la velocidad del viento después de atravesar la superficie de captación no es nula, la potencia dada por la expresión anterior no será totalmente aprovechable.

Betz demostró que la máxima energía recuperable, con un aerogenerador ideal es igual a 16/27 (>>60%) de la energía total. Tomando en cuenta que ningún rotor es ideal, para caracterizarlo es necesario conocer su eficiencia y rendimiento η . La potencia obtenible por unidad de área de rotor, medida en W/m², puede expresarse como:

$$P_m = \frac{1}{2} \eta \delta v^3 \quad (1.4)$$

Y la potencia total para el área descrita por las palas al girar, $A = \frac{\pi D^2}{4}$ en W/m² queda como:

$$P_m = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \eta \delta v^3 \quad (1.5)$$

Donde:

D y R = diámetro y radio del rotor expresado en metros.

La densidad media del aire es de 1,25 kg/m³, valor que multiplicado por $\pi/4$ da aproximadamente 1. Por lo tanto, se puede expresar la potencia obtenible de una máquina eólica, tomando el diámetro en metros y la velocidad en m/s, como:

$$p \approx \frac{1}{2} \eta v^3 \quad (1.6)$$

El rendimiento η depende del tipo de máquina y de las condiciones de operación.

1.2.1 Partes de un aerogenerador

Los componentes de un aerogenerador son:

1. El rotor: es la parte de la máquina que transforma la energía del viento en energía mecánica. Aumentando el diámetro de las palas, se puede aumentar la superficie de la captación de viento y la potencia proporcionada por la máquina.
2. El multiplicador: es un conjunto de engranajes que transforman la baja velocidad a la que gira el rotor (entre 14 y 30 vueltas por minuto) a una velocidad más elevada, que se comunica con el eje que hace girar el generador.
3. El generador: transforma la energía mecánica procedente del rotor de la máquina en energía eléctrica. Esta energía se volcará a la red eléctrica o será usada por algún centro de consumo anexo a la instalación
4. La góndola: es el conjunto de bastidor y carcasa del aerogenerador. El bastidor es una pieza sobre la que se acoplan los elementos mecánicos principales (el rotor, el multiplicador, el generador) del aerogenerador y que está situada sobre la torre. Este bastidor está protegido por una carcasa, generalmente de fibra de vidrio y poliéster, reforzada con perfiles de acero inoxidable.
5. Las palas: son los elementos del aerogenerador encargados de captar energía cinética del viento. Es uno de los componentes más críticos de la máquina, ya que, en palas de gran longitud, que permiten un mejor aprovechamiento de la energía, las altas velocidades que se consiguen en los extremos llevan al límite la resistencia de los materiales con que están fabricados (normalmente, fibra de vidrio y poliéster).
6. Buje: es el elemento de unión entre las palas y el sistema de rotación, ya que está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador.
7. Torre: es la encargada de soportar la góndola y el rotor. Cuanta más alta sea la torre mayor cantidad de energía podrá obtenerse, ya que la velocidad del viento aumenta con la altura respecto al nivel de suelo.
8. Cimentación: plataforma de alta resistencia sobre la cual se dispone el conjunto del aerogenerador.
9. Cono o nariz: es la cubierta metálica con forma cónica que se encara al viento, y lo desvía hacia el tren motor. Debe tener la forma aerodinámica adecuada para impedir la formación de turbulencias.
10. Eje de baja velocidad: es el encargado de conectar el buje del rotor con la multiplicadora y transmitir la energía captada por las palas.
11. Eje de alta velocidad: es el encargado del accionamiento del generador eléctrico.
12. Sistema de orientación: este sistema como función orientar el rotor de forma que quede colocado de forma perpendicular a la dirección del viento y así presente siempre la mayor superficie de captación.
13. Anemómetro: se trata de un medidor que forma parte del aerogenerador para medir la velocidad del viento.

14. Veleta: es el instrumento que se utiliza para medir la dirección del viento.
15. Sistema hidráulico: proporciona la potencia hidráulica para los accionamientos del aerogenerador, es decir; a las palas. Ver Figura 1.5. ^[6]

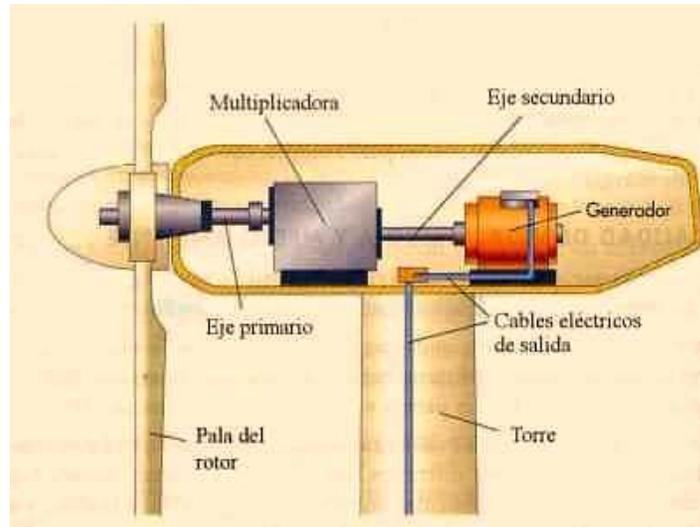


Figura 1.5 Partes del aerogenerador

Fuente: Equipo de Redacción PartesDel.com.

1.2.2 Características de un aerogenerador

1. **Multiplicación:** el rotor (conjunto de tres palas engarzadas en el buje) hace girar un eje lento conectado a una multiplicadora que eleva la velocidad de giro desde unas 13 a unos 1500 rpm.
2. **Orientación automática:** el aerogenerador se orienta automáticamente para aprovechar al máximo la energía cinética del viento, a partir de los datos registrados por la veleta y anemómetro que incorpora en la parte superior. La barquilla gira sobre una corona situada al final de la torre.
3. **Generación:** la multiplicadora, a través del eje rápido, transfiere su energía al generador acoplado, que produce electricidad.
4. **Giro de palas:** el viento hace girar las palas, que comienzan a moverse con velocidades de viento de unos 1.5 m/s y proporcionan la máxima potencia con unos 11 m/s. Con vientos muy fuertes (25 m/s) las palas se colocan en bandera y el aerogenerador se frena para evitar tensiones excesivas.
5. **Evacuación:** la energía generada es conducida por el interior de la torre hasta la base y, desde allí, por línea subterránea hasta la subestación, donde se eleva su tensión para inyectarla a la red eléctrica y distribuirla a los puntos de consumo.
6. **Monitorización:** todas las funciones del aerogenerador están monitorizadas y se supervisan desde la subestación y el centro de control, para detectar y resolver cualquier incidencia. ^[7]

1.2.3 Tipos de aerogeneradores

En este subtema, se explicarán las diferentes clasificaciones que tienen los aerogeneradores.

1.2.3.1 Clasificación por tamaño

En función del tamaño, los aerogeneradores se clasifican en los siguientes tipos:

- Micro aerogeneradores: aquellos con potencia inferior a 1KW. Presentan radio del rotor menor de 1 m. Sus aplicaciones representativas son: embarcaciones, sistemas de comunicación, refugios de montaña, iluminación, etc.
- Mini-aerogeneradores: aquellos con potencia comprendida entre 1 KW y 10 KW. Presentan un radio de rotor comprendido entre 1 y 3 m. Sus aplicaciones representativas son: granjas, viviendas aisladas, sistemas mixtos eólicos fotovoltaicos, bombeo, etc.
- Aerogeneradores de pequeña potencia: aquellos con potencia comprendida entre 10 y 100 KW. Presentan un radio de rotor de entre 3 y 9 m. Sus aplicaciones representativas son: comunidades de vecinos, pequeñas empresas, sistemas mixtos eólico-diesel, drenaje, tratamientos de aguas, etc.
- Aerogeneradores de media potencia: aquellos con potencia comprendida entre 100 y 1000 KW. Presentan un radio de rotor de entre 9 y 27 m. Sus aplicaciones representativas son parques eólicos en tierra y en el mar.
- Aerogeneradores de alta potencia: aquellos con potencia comprendida entre 1000 y 10000 KW. Presentan un radio de rotor de entre 27 y 81 m. Sus aplicaciones representativas son parques eólicos en tierra y en el mar.
- Aerogeneradores de muy alta potencia: aquellos con potencia superior a 10000 KW. Los radios de rotor son superiores a 81 m. Estas máquinas suponen un salto tecnológico que revoluciona los actuales sistemas de producción de energía. Actualmente, se están desarrollando aerogeneradores con potencia próximas a 10 MW, destinados a instalaciones marinas.

1.2.3.2 Clasificación por su disposición o forma

Se pueden distinguir los siguientes tipos:

Aerogeneradores de eje horizontal: como su propio nombre indica el eje de giro del rotor está situado en posición horizontal, si bien tener una pequeña inclinación, formando un ángulo denominado “ángulo de inclinación”. El aerogenerador de eje horizontal tripala es con diferencia el más utilizado en aplicaciones energéticas.

En función de la disposición frente al viento los aerogeneradores de eje horizontal se dividen en:

- A barlovento: el rotor se dispone enfrentando al viento y antes de la torre que lo sustenta. Es la disposición más común entre los aerogeneradores de eje horizontal para producción de energía en parques eólicos. El viento incide con toda su energía sobre las palas del rotor sin salvar ningún obstáculo previo. Para orientar la máquina frente al viento es necesario un sistema activo basado en un motorreductor para turbinas de gran potencia o bien una cola o veleta para turbinas de pequeña potencia.
- A sotavento: el rotor se dispone orientado, pero tras la torre. La extracción de energía se ve reducida por el obstáculo que supone la torre para el viento, razón por la cual sólo se emplea en aerogeneradores de baja y muy baja potencia. Ver Figura 1.6.

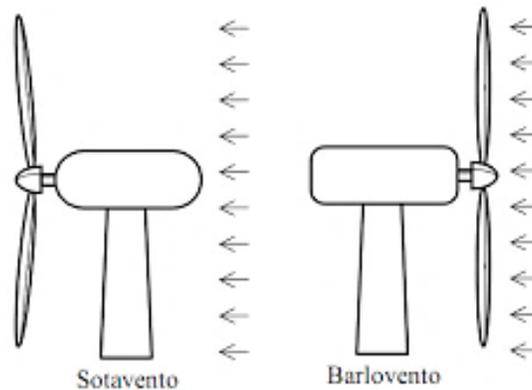


Figura 1.6 Aerogeneradores de eje horizontal (sotavento y barlovento)

Fuente: FUNES Ruiz, Jose-Félix. Análisis simplificado de la respuesta estructural de una pala de aerogenerador.

En función del número de palas del rotor los aerogeneradores de eje horizontal se clasifican en:

- Monopala: presentan problemas de estabilidad y fatiga, siendo poco utilizados.
- Bipala: apenas se utilizan. Siguen presentando problemas dinámicos, aunque menores que los monopala. Apenas existen aerogeneradores de este tipo en instalaciones comerciales.
- Tripala: son los aerogeneradores más empleados en la industria de producción de energía eléctrica.
- Multipala: estos generadores se caracterizan por girar a bajas velocidades y ofrecer un gran par, por lo que se emplean en aplicaciones que requieren mucho par como por ejemplo la extracción de agua a través de aerobombas. Esto se observa en las Figuras 1.7. y 1.8. siguientes.

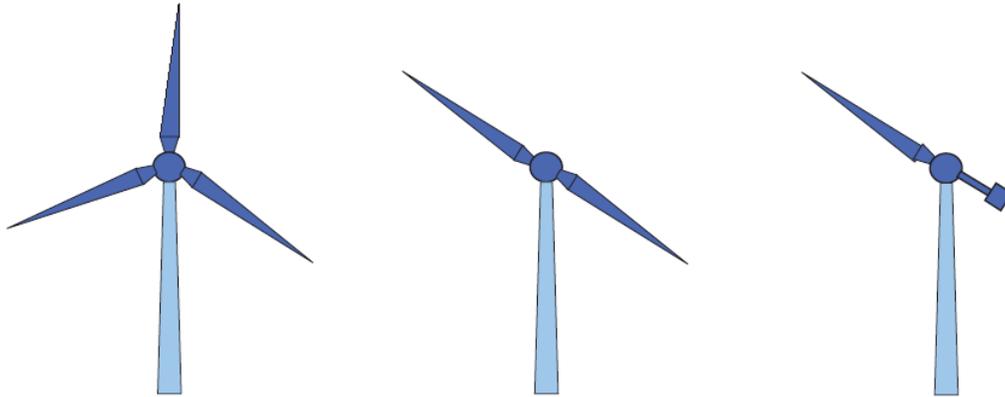


Figura 1.7 Aerogeneradores de eje horizontal (tripala, bipala y monopala)

Fuente: Manual de energía eólica desarrollo de proyectos e instalaciones. Salvador Cucó Pardillos.

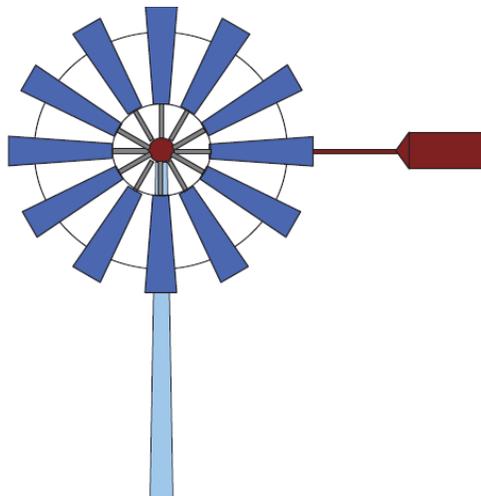


Figura 1.8 Aerogeneradores multipala de eje horizontal

Fuente: Manual de energía eólica desarrollo de proyectos e instalaciones. Salvador Cucó Pardillos.

Aerogeneradores de eje vertical: son aquellos en que el eje de giro está en disposición vertical. Son muy poco empleados por los problemas que presentan.

Entre las ventajas de este tipo de aerogeneradores se distinguen que son capaces de captar viento en cualquier dirección por lo que no necesitan control de orientación y que la conexión de multiplicador y generador eléctrico se puede realizar a nivel de suelo, lo que facilita la construcción, el montaje y el mantenimiento, traduciéndose en un menor coste.

Entre los inconvenientes destacan su mayor fatiga mecánica, la presencia de frecuencias de resonancia naturales, las variaciones de ciclo que presenta el par de rotación que genera armónicos en la salida del generador y el elevado par de arranque, que hace necesaria la instalación de motorización.

Existen varios modelos, siendo los más empleados los siguientes:

- Aerogeneradores accionados por resistencia: dentro de este grupo se encuentran los Savonius simples (2 palas) y Savonius multipala (4 palas), el tipo pantalla y el tipo cazoleta.
- Aerogeneradores accionados por sustentación: en esta categoría se incluyen los Darrieus (tipo batidora de huevos) y D-Darrieus, el Giromill y los basados en turbinas. Esto se observa en la Figura 1.9.

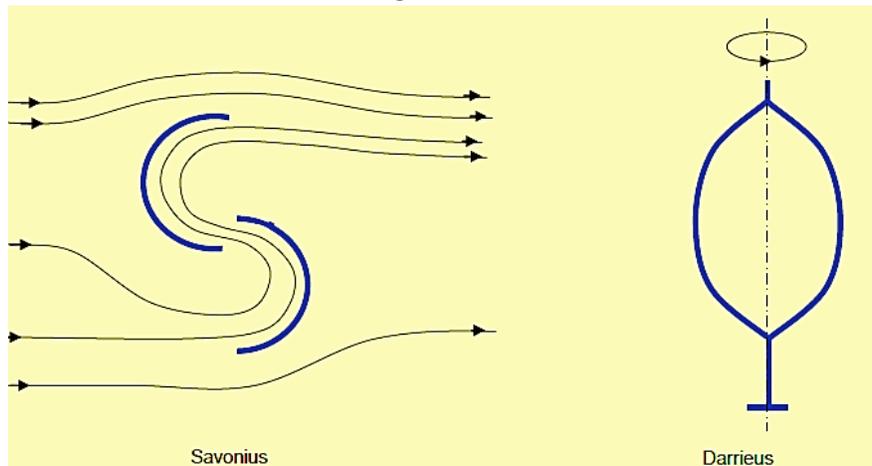


Figura 1.9 Aerogeneradores de eje vertical (Savonius, Darrieus)

Fuente: Manual de energía eólica desarrollo de proyectos e instalaciones. Salvador Cucó Pardillos.

1.2.4 Concentradores

En este tipo de aerogeneradores se conduce el viento mediante deflectores hacia la zona del rotor. Existen varios sistemas desarrollados, si bien no están siendo utilizados aún en forma comercial, entre los que se encuentran los siguientes:

- Sistema con pala: impulsan el aire en la zona del rotor, obteniendo una potencia mayor que la debida al área de este.
- Estructuras de concentración: mediante deflectores y estructuras en túnel se consigue la conducción del aire hacia la zona del rotor del aerogenerador.

1.2.4.1 Clasificación rápidos y lentos

Si se dibujan las curvas características de todos los tipos de aerogeneradores obtenemos la siguiente Figura 1.10.

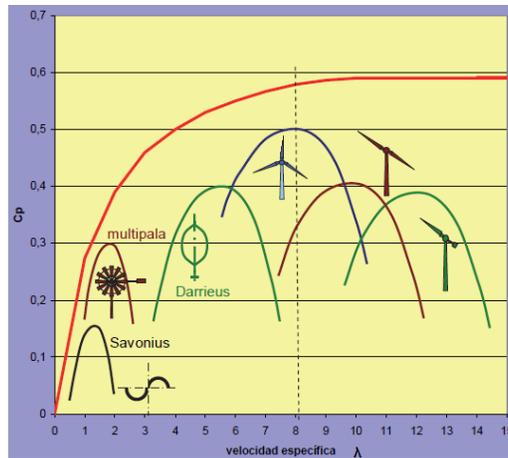


Figura 1.10 Curva característica de distintos aerogeneradores

Fuente: Manual de energía eólica desarrollo de proyectos e instalaciones. Salvador Cucó Pardillos

En la Figura 1.10. se puede observar que los aerogeneradores accionados por sustentación presentan curvas de eficiencia (C_p) mejores.

Según la velocidad específica λ (lambda) los aerogeneradores se clasifican en:

- Lentos: son aquellos que presentan una curva característica centrada alrededor de $\lambda = 1$. Se utilizan en aplicaciones mecánicas en las que se requiere gran par como por ejemplo las aerobombas. Presentan como se observa en la Figura 1.2.7 un bajo coeficiente de potencia, por lo que no son recomendables para la producción de energía.
- Rápidos: son aquellos que presentan una curva característica centrada en valores de λ por encima de 1. Se utilizan en aplicaciones de producción de energía eléctrica al presentar curvas con valores altos del coeficiente de potencia C_p .

1.2.4.2 Clasificación por su resistencia al viento

De acuerdo con lo establecido en la norma UNE-EN61400-1, que reproduce la norma de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), IEC 61400-1: edición 3, “Wind Turbines. Part 1: Design requirements”, en el apartado 6.2, “Wind turbine classes”, los aerogeneradores se clasifican en función de las condiciones del viento, caracterizado por su velocidad y turbulencia. Esta clasificación describe el grado de robustez de la máquina, de forma que la más robusta será la apropiada para vientos más agresivos.

En la tabla 1.1 se indica la clasificación según la norma antes mencionada donde se distinguen tres clases (I, II y III) en función de la velocidad de referencia V_{ref} y tres categorías (A, B, C) en función de la intensidad de turbulencia de referencia I_{ref} . Cuanto menor es la clase, la turbina es capaz de soportar vientos más fuertes. Cuanto menor es la letra de la categoría, mayor es la intensidad de turbulencia que es capaz de soportar el aerogenerador.

El aerogenerador más robusto es por tanto el clasificado como clase I, categoría A, designado como “clase IA”. Para otras condiciones de viento se define la clase S, cuyas características no están tabuladas como las indicadas anteriormente, por lo que el fabricante debe indicar para qué condiciones de viento está diseñada la turbina. Esta clasificación se ha redactado para una vida de los aerogeneradores de 20 años.

Tabla 1.1. Clasificación de aerogeneradores IEC.

Clase aerogenerador		I	II	III	S
Categoría I _{ref}	V _{ref} (m/s)	50	42,5	37,5	Valores para especificar por el fabricante
	A		0,16		
	B		0,14		
	C		0,12		

Fuente: UNE-EN61400-1

Con:

V_{ref} es la velocidad media de referencia diezminutaria, que se define como la máxima velocidad media obtenida con mediciones diezminutarias.

A designa la categoría para viento con altas turbulencias.

B designa la categoría para vientos con turbulencias medias.

C designa la categoría para vientos con bajas turbulencias.

I_{ref} designa la intensidad de turbulencia cuando el viento presenta una velocidad media diezminutaria de 15 m/s.

Las turbinas de clase I suelen presentar diámetros de rotor menores.

La norma IEC 61.400, edición 3, define la turbulencia del viento en función de la velocidad, mediante la siguiente expresión:

$$I = I_{ref} \times \left(0.75 + \frac{5,6}{\bar{v}} \right) \quad (1.7)$$

Donde I_{ref} es la intensidad de turbulencia para las tres categorías descritas, A, B y C.

Esta expresión matemática permite dibujar la curva de turbulencia en función de la velocidad del viento, para las tres categorías A (12%), B (14%) y C (16%). Ver Figura 1.11.

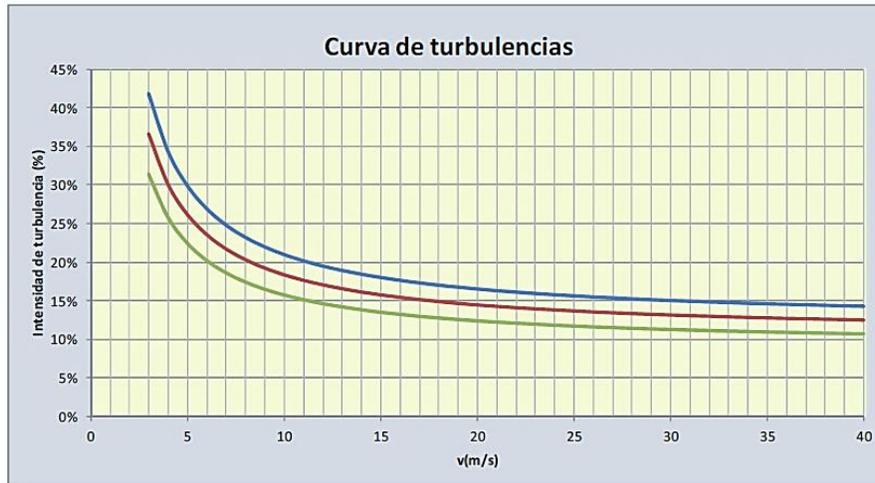


Figura 1.11 Curva de turbulencia de distintos aerogeneradores

Fuente: Manual de energía eólica desarrollo de proyectos e instalaciones. Salvador Cucó Pardillos.

Con independencia de la clasificación según la norma IEC 61.400, en el momento del análisis de la turbulencia, se compara la curva de turbulencia del viento a partir de la torre de mediciones con las tres curvas anteriores, para determinar la categoría de la máquina a instalar. Es decir, no sólo se compara la intensidad de turbulencia cuando el viento presenta una velocidad de 15 m/s, sino que se hace para todas las velocidades del viento.

1.2.4.3 Clasificación por el tipo de generador eléctrico

Según el generador eléctrico instalado en el aerogenerador se distinguen los siguientes tipos:

- Generador asíncrono: son los motores eléctricos clásicos más utilizados en cualquier aplicación industrial. Su elevada robustez y sencillez ha impulsado su empleo dentro de los aerogeneradores. Sus inconvenientes son el mal comportamiento que presenta frente a los huecos de tensión y la necesidad de una batería de condensadores aplicada a la salida, que permite compensar la energía reactiva generada.
- Generador síncrono: la generación de energía eléctrica se produce a una velocidad constante, denominada velocidad de sincronismo. Pueden ser de rotor bobinado o bien de rotor de imanes permanentes. En el caso de rotor bobinado, precisa una corriente de excitación continua, que se ha de generar o bien internamente (autoexcitación) o bien de forma auxiliar mediante una dinamo externa. Se comportan bien frente a los huecos de tensión, pero presentan el inconveniente de generar armónicos.

1.2.4.4 Clasificación por la velocidad del giro del rotor

Según la velocidad de giro del rotor del aerogenerador se distinguen los siguientes tipos:

- Aerogenerador de velocidad constante de rotor: son aquellos que se caracterizan por mantener siempre constante la velocidad del rotor, independientemente de la velocidad del viento incidente. Presentan la ventaja de su simplicidad, pero el inconveniente de una menor extracción de potencia.
- Aerogenerador de velocidad variable de rotor: en estos aerogeneradores la velocidad del rotor se ajusta a la velocidad del viento, de tal forma que para velocidades bajas del viento se tienen velocidades bajas de rotor y para velocidades altas del viento se tienen velocidades altas de rotor. Este seguimiento por parte del rotor de la velocidad del viento permite que el coeficiente de potencia se sitúe en la zona de máximo valor, por lo que estos aerogeneradores presentan la ventaja de una mayor extracción de potencia. Por el contrario, su tecnología es más sofisticada y su precio más elevado.

1.2.4.5 Clasificación por el tipo de palas

Según el tipo de palas del rotor del aerogenerador se distinguen los siguientes tipos:

- Aerogenerador con palas de paso fijo: en estos aerogeneradores la pala está montada de forma fija sin posibilidad de regulación. En este caso el control de potencia es pasivo, es decir, sin actuación sobre la máquina. Este tipo de palas se emplea en aerogeneradores de velocidad constante de rotor.
- Aerogeneradores con palas de paso variable: en estos aerogeneradores las palas presentan la posibilidad de giro sobre su eje, acción que se utiliza para controlar la extracción de potencia de la máquina. Este tipo de palas se emplea en aerogeneradores de velocidad variable de rotor.

1.2.4.6 Clasificación por el número de palas del rotor

Los aerogeneradores pueden tener diferentes números de palas de rotor, de forma que cuanto menor es el número de palas de rotor, más rápido giran.

En la actualidad los aerogeneradores están diseñados para la generación de electricidad, para lo cual se acoplan a generadores eléctricos convencionales que presentan velocidades de rotación entre 750 y 1.500 rpm. Por tanto, los rotores de las turbinas deben tener velocidades de rotación tan altas como sea posible para reducir las masas de los engranajes de transmisión y generadores, al acoplarse a las velocidades de rotación de la máquina eléctrica. Por esta razón, entre otras, el número de palas del rotor es bajo y en general no tiene más de tres.

Los aerogeneradores multipala se emplean en otras aplicaciones que requieren más par y al no acoplarse a la red no tienen condicionantes de velocidad de giro. Ejemplos típicos son los utilizados para el bombeo de agua. Los rotores multipala tienen relaciones de velocidad o velocidades específicas máximas del orden de 1.5; los rotores tripalas normalmente presentan velocidades específicas del orden de 6 a 8; los rotores bipala de 10 a 12 y los rotores monopala presentan velocidades específicas mayores. La mayoría de los aerogeneradores actuales

presentan velocidades de punta de pala del orden de 65 m/s, entre 200 y 300 km/h. En viejos prototipos los diseñadores trataban de incrementar más y más la velocidad de punta de pala porque el par se reduce al aumentar la velocidad de rotación, disminuyendo las cargas dinámicas sobre la maquinaria. Sin embargo, las altas velocidades de rotación implican altas velocidades de punta de pala, generándose problemas de ruido. En principio el nivel de ruido del rotor aumenta con la sexta potencia de la velocidad de punta de pala, razón por la cual los diseñadores de aerogeneradores comerciales no exceden los 70 m/s en punta de pala. ^[8]

1.2.5 Impacto ambiental de un aerogenerador

Es poco el impacto ambiental de la energía eólica, sin embargo, hay dos acciones negativas asociadas con la construcción de parques eólicos, así como la operación de las turbinas eólicas a gran escala, las cuales afecta a algunos animales y al suelo.

- Peligro para ciertas aves y mamíferos nocturnos: quizá la consecuencia negativa más estudiada de la energía eólica es la amenaza para las poblaciones de especies locales, en particular aves y murciélagos, ya que la construcción de parques eólicos puede alterar el hábitat natural de estas especies animales. Cuando las aspas de las turbinas eólicas giran a altas velocidades, la presión del aire alrededor de estas cambia y aumenta la probabilidad de que pájaros y murciélagos choquen con estas hélices. Sin embargo, el impacto exacto en la vida local de aves y murciélagos puede variar drásticamente de un parque eólico a otro, pero la adecuada ubicación de los parques eólicos a menudo puede eliminar esta problemática.
- Uso del suelo: la cantidad de terreno necesaria para instalar una turbina eólica varía según el tamaño del proyecto de parque eólico. Por lo general, los proyectos eólicos marinos requieren más espacio que los terrestres, ya que las turbinas y aspas tienden a ser más grandes. Es importante destacar que las turbinas eólicas y su infraestructura de apoyo no ocupan mucho espacio físico, sin embargo, las turbinas individuales deben tener una cantidad suficiente de espacio entre ellas. Afortunadamente, se pueden construir muchos parques eólicos en áreas despejadas. Los parques eólicos pueden tener un doble uso de la tierra, es decir, pueden servir como pastizales para el ganado, tierras de cultivo para la agricultura más sostenible y rutas de senderismo.

1.2.5.1 Formas para evitar el impacto ambiental por el uso de aerogeneradores

Para que este tipo de energía sea más respetuosa con el medio ambiente, es necesario que los parques eólicos tengan las siguientes características:

- Ubicación adecuada: con esto ayudará a reducir el uso insostenible de la tierra y la destrucción del hábitat en los parques eólicos.
- Construcción estratégica: los parques eólicos se pueden construir en áreas donde es menos probable que interrumpan las rutas migratorias de aves y murciélagos.

- Implementación de tecnología: los avances tecnológicos también pueden hacer que las turbinas eólicas sean más amigables con las poblaciones de animales. Hoy en día, existen sensores que ayudan a los parques eólicos a anticipar pájaros y murciélagos que vuelan cerca, permitiendo que las turbinas se apaguen por completo.

Además, algunas turbinas eólicas emplean altavoces ultrasónicos que, cuando están en funcionamiento, desvían el vuelo de los murciélagos para que no se acerquen a las palas.

Estas son solo algunas de las características que podemos rescatar sobre el impacto ambiental de la energía eólica, mismas que las empresas que desarrollan los parques eólicos deben tomar en cuenta para no afectar a los ecosistemas cercanos, y hacer que este tipo de energía se realmente sustentable. ^[9]

1.2.6 Aplicaciones de los sistemas eólicos

Un sistema eólico se puede usar para tres aplicaciones diferentes: sistemas aislados, sistemas híbridos y sistemas conectados a la red. Los sistemas se ajustan a una configuración básica, requieren una unidad de control de potencia y, en algunos casos, según la aplicación, de unidades de almacenamiento.

1.2.6.1 Sistemas Aislados

Los pequeños sistemas aislados generalmente utilizan algún tipo de almacenamiento de energía. Este almacenamiento se puede hacer con baterías o con sistemas de bombeo de agua en depósitos altos, para su uso posterior.

Algunos sistemas aislados no requieren almacenamiento, como en el caso de los sistemas de irrigación donde toda el agua bombeada es distribuida directamente.

1.2.6.2 Sistemas Conectados a la Red

Los sistemas conectados a la red no requieren sistemas de almacenamiento de energía porque toda la energía que se genera se entrega directamente a la red eléctrica. Estos sistemas representan una fuente complementaria al gran sistema eléctrico al que están interconectados.

Los sistemas eólicos conectados a la red presentan ventajas respecto a los sistemas de generación distribuida, tales como: la reducción de pérdidas, la reducción de costes relacionado con la ampliación de la red eléctrica y la generación a la hora punta cuando el régimen eólico coincide con el pico de la curva de carga.

1.2.6.3 Sistemas Híbridos

Los sistemas híbridos son los que presentan más de una fuente de energía, como turbinas eólicas, generadores diésel, módulos fotovoltaicos, entre otros.

El uso de varias formas de generación de electricidad aumenta la complejidad del sistema y requiere optimizar el uso de cada una de las fuentes. En tales casos, es necesario llevar a cabo un control de todas las fuentes para que exista la máxima eficiencia y optimización de los flujos de energía en la entrega de energía al usuario.

En general, los sistemas híbridos se emplean en sistemas de tamaño medio destinados a un grupo de usuarios. Al trabajar con cargas de corriente alterna, el sistema híbrido también necesita un inversor. Debido a la gran complejidad que pueden llegar a tener los sistemas dada la cantidad de opciones disponibles, la manera de optimización del sistema se convierte en un estudio particular para cada caso. Ver Figura 1.12. ^[10]

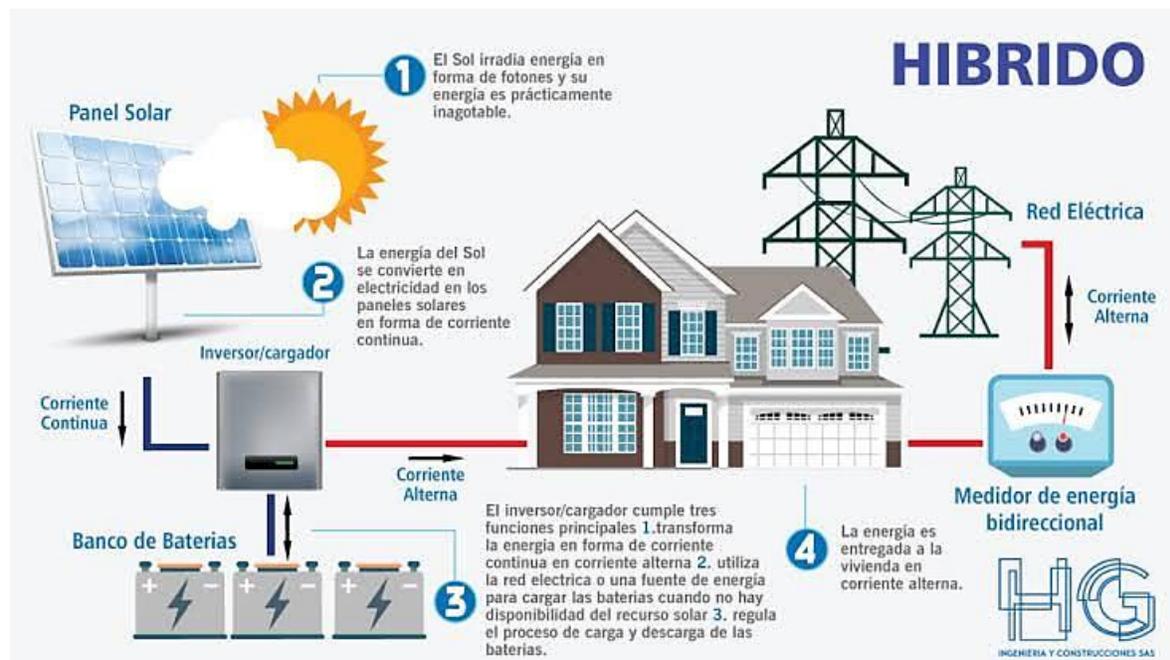


Figura 1.12 Ejemplo de sistema híbrido

Fuente: Red Ko.Pora.

1.3 Soportes para turbinas eólicas

Las torres de los aerogeneradores se fabrican con diferentes materiales para soportar a la góndola y al rotor del aerogenerador en distintas condiciones atmosféricas. ^[11]

1.3.1 Torres de Celosía Arriostrada

- Fabricadas en acero soldado.
- Son las torres más económicas y ligeras del mercado.
- Tienen una altura entre los seis y 18 metros.
- Algunas, además de la cimentación utilizan tensores para sostenerse. Ver Figura 1.13.



Figura 1.13 Torre de Celosía Arriostrada

Fuente: Aprende.org.

1.3.2 Torre Retenida

- Compuesta por tubos angostos de acero y anclada con cables tensores.
- Tiene un bajo costo, pero necesita mucho espacio para anclar los tensores al suelo.
- Dependiendo de las condiciones del suelo es posible instalarlas sin concreto.
- Tienen una altura entre los seis y 18 metros.
- No se recomienda en instalaciones agrícolas debido a que el espacio para los anclajes reduce el espacio dedicado a los cultivos. Ver Figura 1.14.



Figura 1.14 Torre Retenida

Fuente: Aprende.org.

1.3.3 Torre Tubular Auto soportada

- De perfil cónico (el diámetro es mayor en la base y menor en la cima).
- Construidas en acero.
- Son las torres más estables, pero más costosas.
- Tienen una altura entre los 12 y 36 metros. Ver Figura 1.15.



Figura 1.15 Torre Tubular Auto soportada

Fuente: Aprende.org.

1.3.4 Torres Híbridas

Se fabrican combinando las características mencionadas en las torres anteriores. Ver Figura 1.16.



Figura 1.16 Torre Híbrida

Fuente: Aprende.org.

1.4 Condiciones geográficas de la demarcación

La Zona Metropolitana del Valle de México, se ubica sobre los 19°20' de Latitud Norte y 99°05' de Longitud Oeste. Se considera al Valle de México como parte de una cuenca, la cual tiene una elevación promedio de 2,240 msnm y una superficie de 9,560 Km², esta superficie considera parte del Estado de México, el sur del Estado de Hidalgo, el sureste de Tlaxcala y casi la totalidad de la Ciudad de México. Esta cuenca presenta valles ínter

montañosos, mesetas y cañadas, así como terrenos semiplanos, en lo que alguna vez fueron los lagos de Texcoco, Xochimilco y Chalco. [12]

También se encuentran prominencias topográficas aisladas como el Cerro de la Estrella, el Peñón y el Cerro de Chapultepec, entre otros, Figura 1.17.

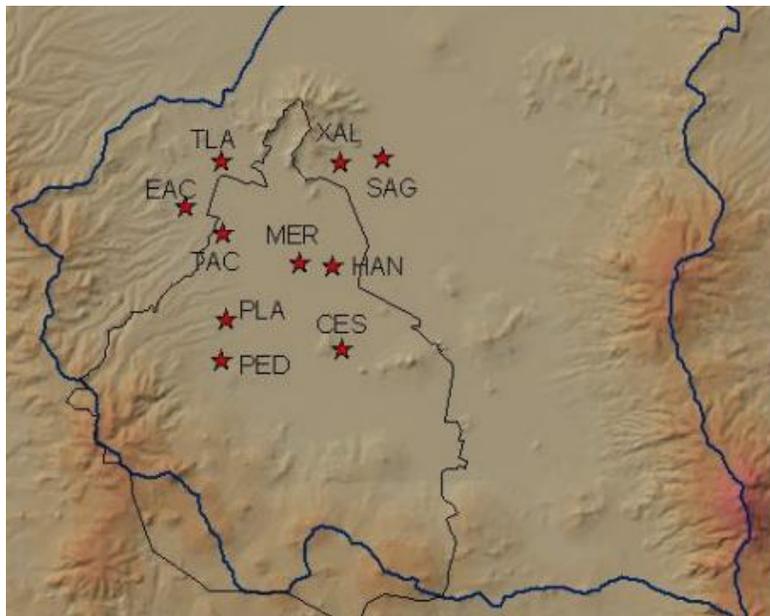


Figura 1.17 Vista Fisiográfica del Valle de México

- Límite de la Cuenca del Valle de México
- Límite político de la Ciudad de México
- ★ Estaciones de Monitoreo: XAL= Xalostoc, TLA = Tlalnepantla, SAG = San Agustín EAC = ENEP Aragón, MER = Merced, TAC = Tacuba, HAN = Hangares, PLA = Plateros, CES = Cerro de la Estrella, PED = Pedregal

Fuente: Sistemas de Información Geográfica, Red Automática de Monitoreo Atmosférico.

Debido a la elevación de la cuenca, los procesos de combustión son menos eficientes y por lo tanto más contaminantes, además de recibir una radiación solar intensa que favorece la formación de contaminantes fotoquímicos. Cabe mencionar que dicha radiación solar incidente se ve modificada por los contaminantes contenidos dentro de la cuenca atmosférica propia del valle, compensando de esta manera, la mayor radiación que podría recibirse debido a la elevación. Por otro lado, debido a la posición latitudinal del territorio nacional, el país se ve afectado por masas de aire con características que las identifican como de tipo polar, durante la etapa invernal y de tipo tropical en la etapa del verano, las cuales, debido a su posición geográfica, afectan directamente al valle de México. De esta manera, el clima de tipo frío está determinado por sistemas meteorológicos que provienen desde la parte norte del continente y el clima de tipo cálido es determinado por la afluencia de aire tropical, normalmente húmedo, proveniente del Pacífico, Mar Caribe y del Golfo de México.

Como resultado de lo anterior, los sistemas meteorológicos predominantes definen claramente dos épocas climáticas con particularidades bien definidas: la época de “lluvias” de junio a octubre, caracterizada por aire marítimo tropical con alto contenido de humedad y

la época de “secas” que se identifica con humedad relativa baja, debido a que la masa de aire correspondiente normalmente es de tipo polar continental. La época de secas puede ser subdividida en dos: Seca-Caliente (marzo-mayo), en la cual predomina aire con características tropicales pero seco, y la época Seca-Fría (noviembre-febrero) cuyos rasgos meteorológicos la definen como aire de tipo polar con bajo contenido de humedad.

Lo antes mencionado, como resultante de la posición geográfica particular donde se encuentra ubicado el país y el conjunto de montañas que conforman la rica variedad orográfica.

1.4.1 Patrón histórico de viento en el Valle de México

En la ZMCM, la serie de tiempo para el promedio diario de la velocidad de viento para las estaciones de REDMET muestra que el promedio anual del 2018 fue 2.0 m/s, muy similar a los promedios anuales de 2017 y 2016. ^[13]

En el análisis del promedio mensual se observó que en mayo se presentó el máximo con 2.3 m/s, mientras que el valor mínimo de velocidad se registró en septiembre y diciembre ambos con 1.8 m/s. Las estaciones Ajusco Medio (AJM) y Milpa Alta (MPA), registraron el promedio máximo con 2.7 m/s; mientras el mínimo fue 1.4 m/s y se registró en la estación San Agustín (SAG), en el Municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México. Ver Figura 1.18.

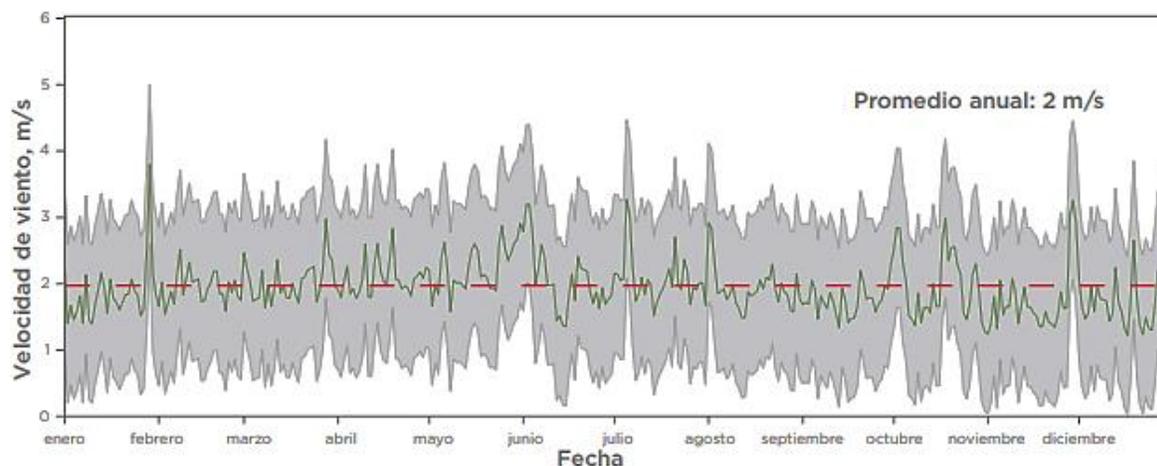


Figura 1.18 Serie de tiempo del promedio diario de velocidad de viento

Fuente: Informe Anual Calidad Del Aire 2018 Ciudad De México.

La línea verde indica el promedio diario, mientras que el área sombreada en gris indica la desviación estándar. Mediciones de viento realizadas a 10 m de altura.

Durante abril, mayo e inicios de junio se presentaron valores altos de velocidad de viento. Generalmente, la velocidad del viento que registran las estaciones del SIMAT presenta un patrón de viento débil durante la madrugada, este se incrementa gradualmente desde las 8:00 hrs hasta presentar el máximo a las 18:00 hrs; y disminuye durante la noche.

En la Figura 1.20 se presenta el patrón del 2018 para tres horarios del día: matutino (7:00 - 14:00 h), vespertino (15:00 - 20:00 h) y nocturno (21:00 - 6:00 h). La velocidad de viento durante el horario matutino presentó viento débil, principalmente en la zona centro, mientras que en el sur se observa una velocidad de viento mayor, esto debido al efecto de los patrones de viento en las zonas montañosas. En el horario vespertino se observa un aumento notable en la velocidad de viento y la dirección de viento predominante es del norte y noreste, finalmente el patrón de vientos nocturnos indica una disminución en la velocidad y se puede observar el flujo montaña-valle, el cual traslada las masas de aire más frías de la montaña hacia el valle de la Ciudad de México. Ver Figura 1.19.

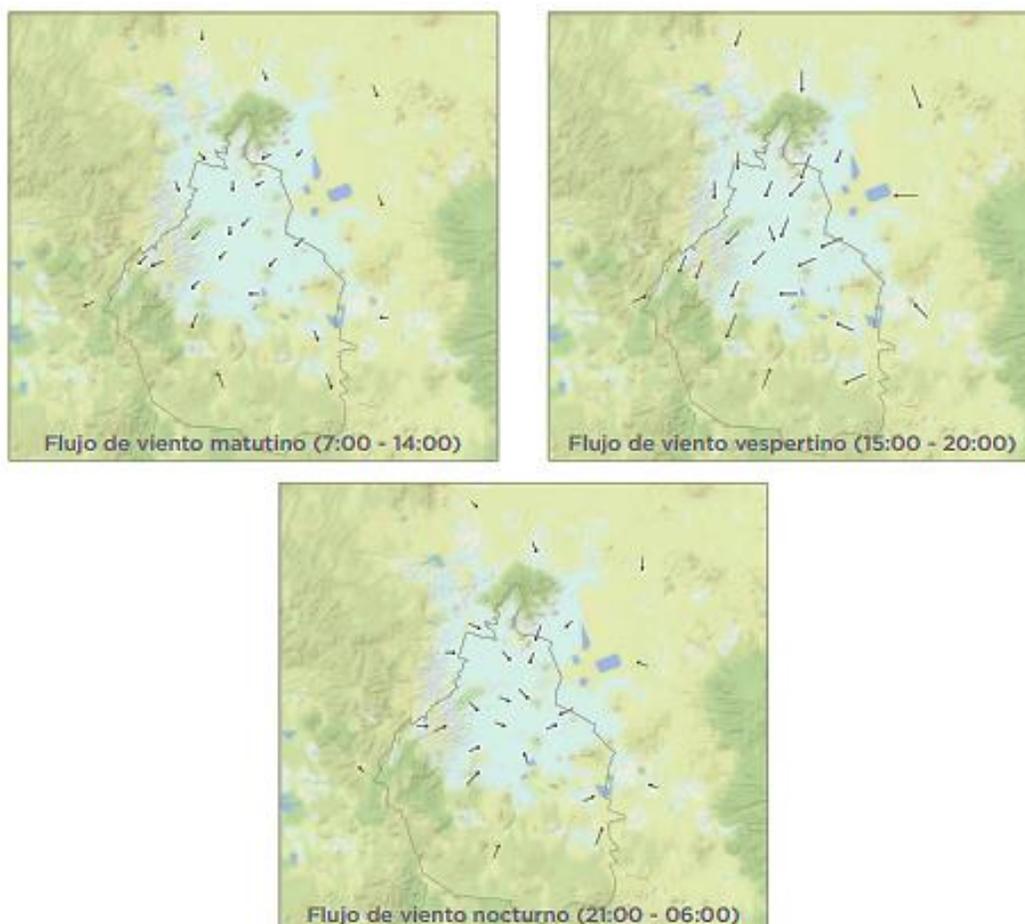


Figura 1.19 Campo promedio del flujo de viento

Fuente: Informe Anual Calidad Del Aire 2018 Ciudad De México.

Cada vector representa el flujo medio durante el año para cada una de las estaciones.

1.4.2 Graficas del flujo de viento promedio anuales dentro de la ZMVM

1.4.2.1 Ciudad de México

La velocidad promedio del viento por hora en Ciudad de México tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año. ^[14]

La parte más ventosa del año dura 3.3 meses, del 14 de enero al 22 de abril, con velocidades promedio del viento de más de 7.5 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en Ciudad de México es marzo, con vientos a una velocidad promedio de 8.5 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 8.7 meses, del 22 de abril al 14 de enero. El mes más calmado del año en Ciudad de México es mayo, con vientos a una velocidad promedio de 6.6 kilómetros por hora.

El viento con más frecuencia viene del sur durante 2.6 meses, del 4 de marzo al 23 de mayo y durante 2.5 meses, del 7 de diciembre al 22 de febrero, con un porcentaje máximo del 39 % en 22 de marzo. El viento con más frecuencia viene del norte durante 1.3 semanas, del 23 de mayo al 1 de junio y durante 2.2 meses, del 2 de octubre al 7 de diciembre, con un porcentaje máximo del 44 % en 29 de octubre. El viento con más frecuencia viene del este durante 4.0 meses, del 1 de junio al 2 de octubre, con un porcentaje máximo del 68 % en 24 de julio. Ver Figura 1.20.

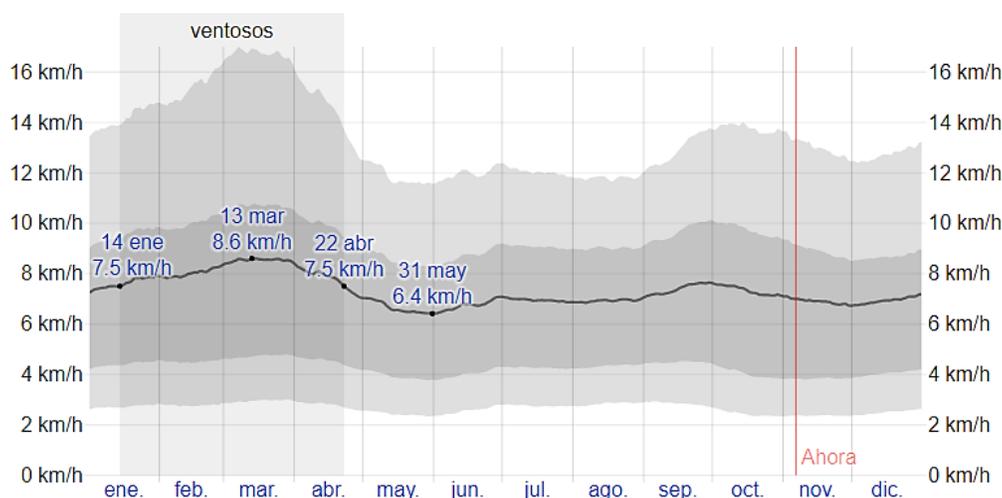


Figura 1.20 Velocidad promedio del viento en la Ciudad de México

Fuente: © WeatherSpark.com

El promedio de la velocidad media del viento por hora (línea gris oscuro), con las bandas de percentil 25° a 75° y 10° a 90°.

1.4.2.2 Ecatepec de Morelos, Estado de México

La parte más ventosa del año dura 3.1 meses, del 20 de enero al 24 de abril, con velocidades promedio del viento de más de 8.0 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en Ecatepec es marzo, con vientos a una velocidad promedio de 8.9 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 8.9 meses, del 24 de abril al 20 de enero. El mes más calmado del año en Ecatepec es diciembre, con vientos a una velocidad promedio de 7.3 kilómetros por hora. Ver Figura 1.21.

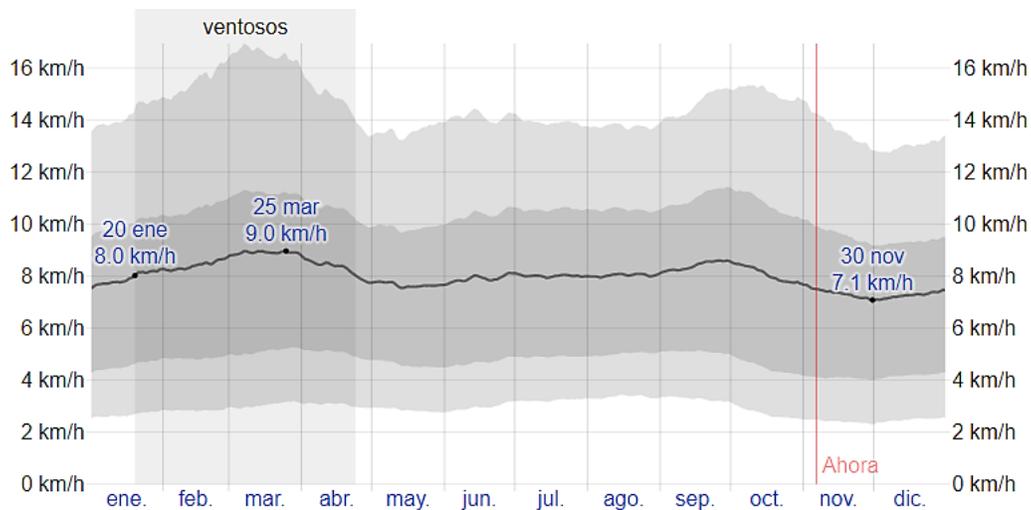


Figura 1.21 Velocidad promedio del viento en Ecatepec

Fuente: © WeatherSpark.com

El promedio de la velocidad media del viento por hora (línea gris oscuro), con las bandas de percentil 25° a 75° y 10° a 90°.

1.4.2.3 Naucalpan de Juárez, Estado de México

La parte más ventosa del año dura 3.1 meses, del 19 de enero al 22 de abril, con velocidades promedio del viento de más de 7.7 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en Naucalpan de Juárez es marzo, con vientos a una velocidad promedio de 8.6 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 8.9 meses, del 22 de abril al 19 de enero. El mes más calmado del año en Naucalpan de Juárez es julio, con vientos a una velocidad promedio de 6.8 kilómetros por hora. Ver Figura 1.22.

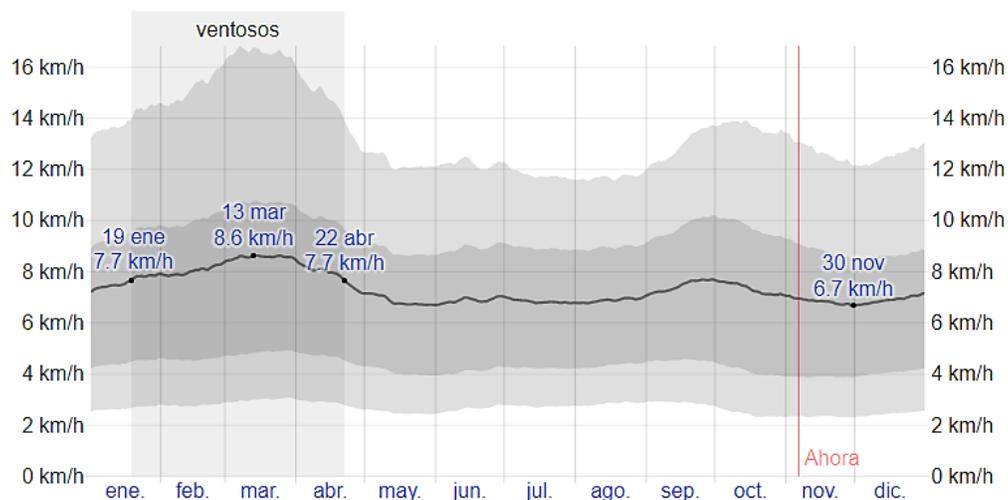


Figura 1.22 Velocidad promedio del viento en Naucalpan de Juárez

Fuente: © WeatherSpark.com

El promedio de la velocidad media del viento por hora (línea gris oscuro), con las bandas de percentil 25° a 75° y 10° a 90°.

1.4.2.4 Tlalnepantla de Baz, Estado de México

La parte más ventosa del año dura 3.1 meses, del 19 de enero al 22 de abril, con velocidades promedio del viento de más de 7.8 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en Tlalnepantla de Baz es marzo, con vientos a una velocidad promedio de 8.7 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 8.9 meses, del 22 de abril al 19 de enero. El mes más calmado del año en Tlalnepantla de Baz es noviembre, con vientos a una velocidad promedio de 7.0 kilómetros por hora. Ver Figura 1.23.

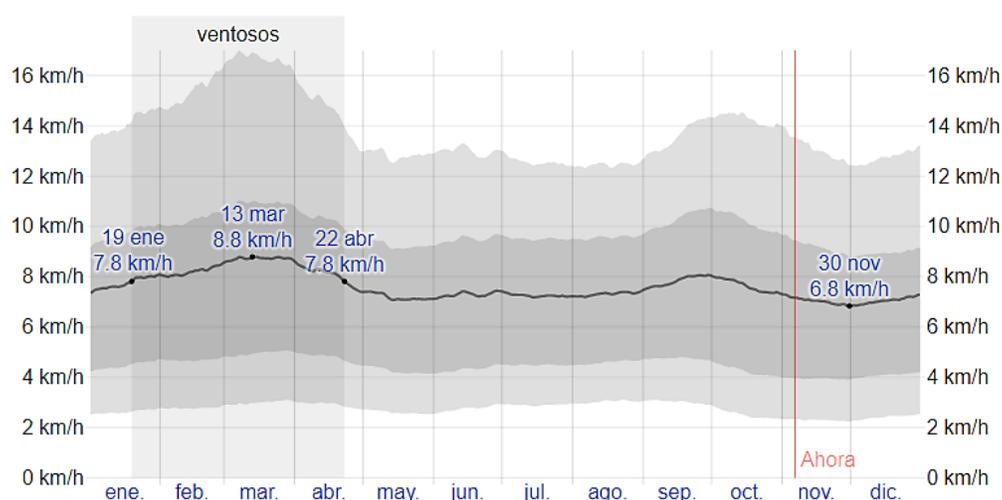


Figura 1.23 Velocidad promedio del viento en Tlalnepantla de Baz

Fuente: © WeatherSpark.com

1.5 Tipos de publicidad y espacios publicitarios

1.5.1 Clasificación de publicidad exterior

La publicidad exterior es todo anuncio que se puede ver en lugares públicos. Dichos lugares son sitios estratégicos por donde pasa la audiencia. Hoy en día estamos saturados pero los tipos de publicidad en exteriores más común son: Espectaculares en edificios, Muros publicitarios, letreros luminosos, y más lugares estratégicos. Los medios exteriores han sido por décadas maneras muy efectivas para publicitarse ya que están dirigidas a una audiencia más segmentada. Es una estrategia bastante adecuada cuando se quiere dar a conocer un nuevo negocio a nivel local, pues el segmento se limita una zona geográfica en específico.

[15]

1.5.1.1 Publicidad exterior en espectaculares

Es la publicidad que se exhibe en los anuncios conocidos como espectaculares o carteleras, que cuentan con un área de exhibición de gran formato y que por la forma en que se encuentran instalados, se dividen en:

- a) Azoteas: anuncios de tipo estructural que se encuentran instalados en la parte más alta (azotea) de una casa o edificio, y que se anclan directamente en los castillos del predio o en una cama de vigas.
- b) Unipolares: también conocidos como auto soportados, son aquellos que están instalados sobre un tubo o poste que se encuentra anclado o cimentado directamente al piso.
- c) Piso: como los de azotea, con la única diferencia que se anclan al piso (generalmente con celosías) en lugar de sobre la losa del predio o en una cama de vigas.
- d) Muros: corresponden a los anuncios que se fijan o instalan por conducto de una lona o se pintan en los paños laterales de las construcciones y que no requieren de un cálculo estructural.
- e) Vallas: tapias que delimitan terrenos baldíos, estacionamientos y terrenos en construcción, generalmente de 9 m² y 10 m². Ver Figura 1.24.



Figura 1.24. Ejemplo de espectacular en azotea.

Fuente: © 2021 StructBoard

En la Tabla 1.2. se puede observar la clasificación de los espectaculares de acuerdo con la medida.

Tabla 1.2. Clasificación de acuerdo con la medida.

Unidades en m ²	Unidades en m ²
Sencilla	Hasta 50
Doble	De 51 a 100
Mega	Más de 100

Fuente: NMX-R-058-SCFI-2012

1.5.1.2 Publicidad exterior en mobiliario urbano

Se refiere a la publicidad que se exhibe en el mobiliario urbano, el cual se distingue por ofrecer un servicio funcional en la vía pública para la sociedad, y que se divide en:

- a) Parabuses: estructura que tienen la función de delimitar un punto específico para las paradas de autobuses, protegen a la gente del sol y lluvia. Estos van acompañados por un gabinete que tiene un área de exhibición para espacios publicitarios.
- b) Buzones: estructuras colocadas en algunas zonas de los municipios que cuentan con un buzón de fibra de vidrio o de aluminio adosado a un gabinete con dos áreas de exhibición, o con dos áreas tipo paleta en la parte superior.
- c) Kioscos: estructuras de diferentes dimensiones con la funcionalidad de colocar para venta de revistas, periódicos, flores, billetes de lotería y otros servicios. Estos generalmente cuentan con 3 áreas de exhibición y un copete.
- d) Módulos de valet: pequeñas estructuras para anunciar el servicio de valet parking con área de exhibición para espacios publicitarios.
- e) Columnas: estructuras con 3 áreas de exhibición, 2 son para su comercialización y una de las áreas es para colocar información de interés general para el público (mapas, directorios, etcétera).
- f) Mupi: mueble urbano publicitario, generalmente nombrados aquellos con dos áreas de exhibición de 1,10 x 1,70 m o similares, colocados en aceras y en áreas peatonales con base de piedra, aluminio o acero, en interiores o exteriores y que en ocasiones brindan algún servicio añadido mediante el mueble. Ver Figura 1.25.



Figura 1.25 Ejemplo de publicidad en parabuses

Fuente: IMU © 2018.

1.5.1.3 Publicidad exterior móvil

Publicidad que se exhibe en vehículos públicos o privados, dentro del territorio nacional, tales como publicidad en el interior (dovela) y exterior (integral y semi-integral) de las unidades. Ver Figura 1.26. siguiente.



Figura 1.26 Publicidad exterior

Fuente: © Lucky Ride Bus

1.5.2 Publicidad DOOH

Se refiere a la publicidad exterior digital, Digital Out Of Home, por sus siglas en inglés, es una de las formas más rápidas de crecimiento en la actualidad, específicamente porque es mucho más atractivo y dinámico que la publicidad exterior tradicional. Revolucionó la forma de mostrar anuncios fuera de casa, con la implementación de pantallas digitales que permiten incluir vídeos, anuncios interactivos, códigos QR y demás brindando una interacción atractiva y dinámica con los clientes. ^[16]

El DOOH también puede incluir vallas publicitarias dinámicas, señalización al aire libre; así como redes de pantallas digitales que se encuentran a menudo en centros comerciales, cines, aeropuertos, estaciones de tren, salas de espera médicas o tiendas minoristas. Ver Figura 1.27.



Figura 1.27 Ejemplo de publicidad DOOH

Fuente: jcdecauxlatam.

1.5.3 Pantallas digitales utilizadas para la publicidad DOOH

1.5.3.1 Para estadios

La serie LBS Stadium donde se manejan en varios formatos para diferentes tipos de estadios y aplicaciones de lugares al aire libre. Está diseñado y construido para brindar un rendimiento robusto con una calidad de imagen excepcional. Ver Figura 1.28. ^[17]



Figura 1.28 Simulación de pantalla LBS Stadium

Fuente: © 2009-2021 LG Electronics.

1.5.3.2 Para vía pública y/o exteriores

1.5.3.2.1 LBE DOOH y LBS DOOH

La serie LBE DOOH es adecuada para instalación fija en exteriores, con alojamiento de aluminio fundido para un montaje impecable y con rendimiento eficiente en consumo de energía. Se puede configurar para aspectos de pantalla de 4:3, 8:9 y 16:9, ideales para reproducir cualquier contenido publicitario.

Las pantallas de la serie LBS DOOH de súper brillo para exteriores, incluso con luz solar directa, captan la atención al instante y proporcionan contenido de forma eficaz. Ver Figura 1.29 y 1.30.



Figura 1.29 Simulación de pantalla LBE DOOH

Fuente: © 2009-2021 LG Electronics.



Figura 1.30 Simulación de pantalla LBS DOOH

Fuente: © 2009-2021 LG Electronics.

1.5.3.3 Para negocios e inmuebles

La serie LBH de alto brillo, está recomendada para instalaciones al aire libre que requieran alto brillo y contraste. Con un diseño robusto e impermeable, presenta un desempeño confiable incluso en severas condiciones ambientales. Ver Figura 1.31.



Figura 1.31 Simulación de pantalla LBH

Fuente: © 2009-2021 LG Electronics.

Capítulo 2 Marco metodológico

En este segundo capítulo de la investigación se enfatiza más en los tipos de aerogeneradores que se utilizarán para la realización de este proyecto, que son los de eje vertical, realizando una descripción detallada de cada tipo, para posteriormente poder validar cual es el más viable para poder considerarlo para la propuesta de instalación. A su vez, se presentan las principales vías de tránsito vehicular de la ZMVM y los puntos principales de dichas vías en donde las agencias publicitarias recomiendan la proyección de publicidad.

2.1 Aerogeneradores de eje vertical

Los aerogeneradores de eje vertical tienen la ventaja de adaptarse a cualquier dirección de viento y por ello se les llama penémons (todos los vientos). No precisan dispositivos de orientación; trabajan por la diferencia de coeficiente de arrastre entre las dos mitades de la sección expuesta al viento. Esta diferencia de resistencia al viento hace que el rotor sea propenso a girar sobre su eje en una dirección específica. A excepción del rotor Darrieus, los aerogeneradores de eje vertical operan con viento de baja velocidad donde difícilmente superan los 200 rpm. Se emplean para generar potencias que van de los 200W a los 4MW. En estricto rigor no necesitan de una torre. Generalmente se caracterizan por tener altos torques de partida. El Darrieus es la excepción a las características antes mencionadas.

Otra particularidad de estos aerogeneradores es que son mucho más fácil de reparar pues todos los elementos de transformación de la energía del viento se encuentran a nivel de suelo. El inconveniente de este tipo de turbinas es que el eje no se ubica a mucha altura y las velocidades del viento disminuyen al llegar al suelo por efecto de la rugosidad de este. La velocidad del viento crece de forma importante con la altura, con lo que estos aerogeneradores han sido desplazados por los de eje horizontal. De todas formas, colocar un aerogenerador a más altura mediante una torre implica incurrir en costos adicionales ligados a la seguridad del soporte del aerogenerador.^[18]

Existen 3 tipos de aerogeneradores de eje vertical, los cuales son.

2.1.1 Rotor Savonius

Las Savonius son una de las turbinas más simples. Aerodinámicamente, son dispositivos de arrastre o resistencia que constan de dos o tres palas. Mirando el rotor desde arriba, las palas forman la figura de una S. Debido a la curvatura, las palas experimentan menos resistencia cuando se mueven en contra del viento que a favor de él. Esta diferencia causa que la turbina Savonius gire. Como es un artefacto de arrastre, la Savonius extrae mucho menos de la fuerza del viento que las turbinas de sustentación con similar tamaño. Por otro lado, no necesitan orientarse en la dirección del viento, soportan mejor las turbulencias y pueden empezar a

girar con vientos de baja velocidad. Es una de las turbinas más económicas y fáciles de usar. Ver Figura 2.1.

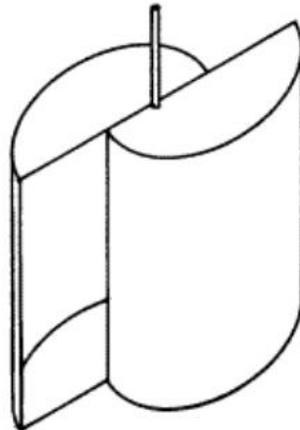


Figura 2.1 Rotor Savonius

Fuente: Diseño y construcción de un prototipo de generador Eólico de eje vertical.

2.1.1.1 Proporciones

Aunque originalmente la turbina tenía un espaciado entre las palas que correspondía a 1/3 del diámetro de una pala, lo más común hoy es utilizar un espaciado de 1/6 de pala. En otras palabras, la pala se superpone cubriendo 1/6 del diámetro de la otra. La relación diámetro y altura es debatida. Algunos recomiendan que la altura sea el doble del diámetro (total), otros señalan que la eficiencia es mayor a razones 1:4 o 1:6. Ver Figura 2.2.

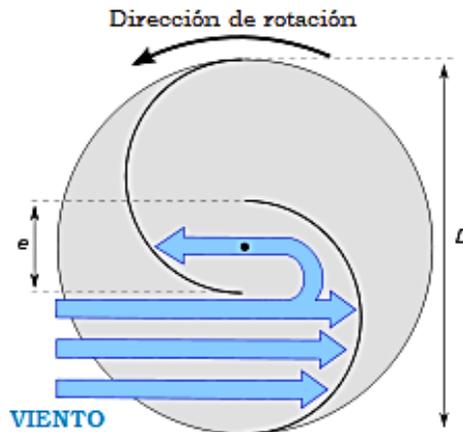


Figura 2.2 Funcionamiento de una turbina Savonius

Fuente: Rotor Savonius. Wikipedia

2.1.1.2 Potencia y velocidad de giro

La potencia máxima en watts [W] que podemos obtener con un rotor Savonius puede calcularse con la siguiente fórmula: $P_{\max} = 0,18 \cdot H \cdot D \cdot v^3$ [W], donde H es la altura y D el diámetro del rotor, ambos expresados en metros [m] y v^3 es el cubo de la velocidad del viento

expresada en metros por segundo [m/s]. La velocidad de giro n en revoluciones por minuto [rpm] de un rotor Savonius se calcula con la siguiente fórmula: $n = (60 \cdot \lambda \cdot v) / (\pi \cdot D)$ [rpm] donde λ es un factor llamado velocidad específica de la eólica (número adimensional), v la velocidad del viento en [m/s] y D el diámetro del rotor Savonius en [m]. La velocidad específica λ es un factor característico de cada eólica. Su valor oscila entre 0,5 y 14. Se obtiene dividiendo la velocidad de las puntas de las palas por la velocidad del viento. En un rotor Savonius λ es aproximadamente igual a la unidad ($\lambda = 1$).

2.1.1.2 Uso

Las turbinas Savonius son usadas cuando el costo resulta más importante que la eficiencia. Por ejemplo, la mayoría de los anemómetros son turbinas Savonius (o de un diseño derivado), porque la eficiencia es completamente irrelevante para aquella aplicación. Savonius mucho más grandes han sido usadas para generar electricidad en boyas de aguas profundas, las cuales necesitan pequeñas cantidades de potencia y requieren poquísimos mantenimientos. La aplicación más común de la turbina Savonius es el ventilador Flettner el cual es comúnmente visto en los techos de furgonetas y buses usado como dispositivo de enfriamiento. El ventilador fue creado por el ingeniero alemán Anton Flettner. Ver Figura 2.3. ^[19]



Figura 2.3 Aerogenerador Savonius en vía primaria

Fuente: Rotor Savonius. Wikipedia

2.1.2 Aerogenerador Darrius

La turbina consta de una serie de palas de perfil aerodinámico curvadas montadas en un eje o armazón giratorio vertical. Hay varios aerogeneradores estrechamente relacionados que utilizan palas rectas. Este diseño de aerogenerador fue patentado por Georges Jean Marie Darrius, un ingeniero aeronáutico francés; la solicitud de la patente fue el 1 de octubre de

1926. Existen grandes dificultades para proteger la turbina Darrieus de las condiciones de viento extremas y para que se inicie automáticamente. Ver Figura 2.4.



Figura 2.4 Aerogenerador Darrieus

Fuente: Aerogenerador Darrieus. Wikipedia

2.1.2.1 Proporciones y características

Igual que el resto de los aerogeneradores de eje vertical, el Darrieus no necesita de un sistema de orientación. Esta característica de captación omnidireccional le permite ser instalado en cualquier terreno sin necesidad de levantar altas torres, lo cual se traduce en un ahorro económico sustancial. Los alerones del Darrieus experimenten una fuerte fuerza centrífuga. Al trabajar en pura tensión y hace que los alerones sean simples y económicos. Este rotor presenta el problema que no puede arrancar por sí mismo, teniendo que emplearse un sistema de arranque secundario, aunque una vez en marcha es capaz de mantenerse gracias a su aerodinámica y diseño de sus palas. Normalmente se instala un generador de inducción conectado a la red. Una vez que el Darrieus se encuentra en velocidad de operación empieza a otorgar potencia. Este tipo de generador es simple, robusto y barato respecto a los otros tipos utilizados en generación eólica. ^[20]

2.1.3 Aerogenerador Giromill

El aerogenerador de tipo giromill es un rotor mucho más eficiente y produce cargas más estables, fue patentado por G.J.M Darrieus y su fabricación consiste en 3 palas verticales que se encuentran unidas al eje por brazos horizontales, esto pueden salir por los extremos o la parte central del aspa y generar una velocidad mecánica considerable, capaz de convertir energía eléctrica en poco tiempo.

El funcionamiento de este aerogenerador es excepcional ya que puede cambiar la orientación de las palas verticales a medida que se produce el giro del rotor, de esta manera aprovecha al 100% la fuerza del viento y se permiten el cambio de dirección con resultados positivos en ambos sentidos. Los aerogeneradores Giromil funcionan generalmente para dar energía a

pequeños equipos electrónicos de potencias bajas máximas de 750W y mínimas de 600W, el uso de este tipo de rotores es reducido pero eficiente y cumple con todo lo referente a utilización de energía renovable en espacios altamente reducidos.

La velocidad de esta es de 3 a 25 m/s (en algunos diseños esta puede ser menor) que puede parecer poca, pero es suficiente para producir una cantidad de energía considerable a aparatos de poco voltaje; no obstante, siempre es recomendable hacer uso de varios rotores para sacar el máximo potencial en cuanto a energías renovables respecta. Es útil en espacios pequeños con mucha corriente de viento, esto hace que su rendimiento aumenta hasta un 30% más de su capacidad inicial. Los aerogeneradores Giromill necesitan de funcionamiento colectivo para generar un voltaje decente, aunque versiones posteriores como el Giromill de Tipo Ropatec o el de tipo Geo4k poseen un poco más de potencia y una estabilidad más aceptable de este mismo producto.

El costo de los aerogeneradores de tipo Giromill no es tan bajo y puede generar ciertas dudas en el bolsillo del inversor además de que el mismo necesita de un mantenimiento periódico continuo por el roce de doble sentido. Ver Figura 2.5. ^[21]



Figura 2.5 Aerogenerador Giromill

Fuente: Aerogenerador Giromill. Wikipedia.

2.2 Soportes para aerogeneradores verticales

En el mercado podemos encontrar diferentes distribuidores y clientes que comercializan aerogeneradores. La torre tiene sus propias ventajas y desventajas en el costo, confiabilidad, instalación y mantenimiento. Así es que es difícil decir cuál es la mejor torre para un sistema de aerogenerador. ^[22]

2.2.1 Torre de Mástil Tensado de Aerogeneradores Aeolos

La Torre de Mástil Tensado está hecha de tubos angostos de acero y sostenida por cables tensados. Generalmente se utiliza para aerogeneradores de 500w a 5kw. La altura de la torre de mástil tensado es usualmente de 6m a 18 m.

- Ventaja: Es la solución de más bajo costo y fácil instalación.
- Desventaja: No es fácil de escalar en caso de inspecciones o reparaciones. Requiere más terreno que la torre de un solo poste. Ver Figura 2.6.



Figura 2.6 Torre de Mástil Tensado Aeolos

Fuente: Aeolos Wind Turbine.

2.2.2 Torre de un Solo Poste de Aerogeneradores Aeolos

La torre para aerogenerador de un solo poste también es llamada torre independiente. Está hecha de tubos de acero con un diseño independiente. Es utilizada para aerogeneradores de 1kw a 50kw. La altura de la torre de un solo poste generalmente va de 12m a 36m.

- Ventaja: Buena apariencia, menos vibración y más confiable
- Desventaja: El costo es mayor que la torre de mástil tensado y el mantenimiento también necesita grúa. Ver Figura 2.7.



Figura 2.7 Torre de un Solo Poste Aeolos

Fuente: Aeolos Wind Turbine.

2.2.3 Torre Hidráulica de Aerogeneradores Aeolos

La torre hidráulica es la torre de aerogenerador más popular de los últimos años. Consiste de una base hidráulica, torre de un solo poste y sistema hidráulico cilíndrico. La torre hidráulica puede ser utilizada con aerogeneradores de 3kw a 50kw. La altura de esta torre generalmente es de 12m a 30m.

- Ventaja: Fácil mantenimiento y no necesita grúa.
- Desventaja: Es la solución de torre de más alto costo.

2.3 Vías de la ZMVM

2.3.1 Circuito Interior Bicentenario

El Circuito Interior Bicentenario (también, Circuito Interior) es una vía de circunvalación de la Ciudad de México. Se construyó a partir de 1961 como una vía rápida con pasos a desnivel y puentes, que rodea el primer cuadro de la capital mexicana y atraviesa gran parte de la misma, al igual que el Anillo Periférico. Recibió el apelativo de Bicentenario tras una remodelación integral realizada en el 2010.

El circuito interior tiene una longitud de 42 kilómetros en un recorrido que rodea la zona centro de la Ciudad de México, pasando por las alcaldías Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Álvaro Obregón, Coyoacán, Iztapalapa, Iztacalco, Venustiano Carranza, Cuauhtémoc y Benito Juárez, rodeando estas últimas dos y sirviendo de límites territoriales de todas. Ver Figura 2.8. ^[23]

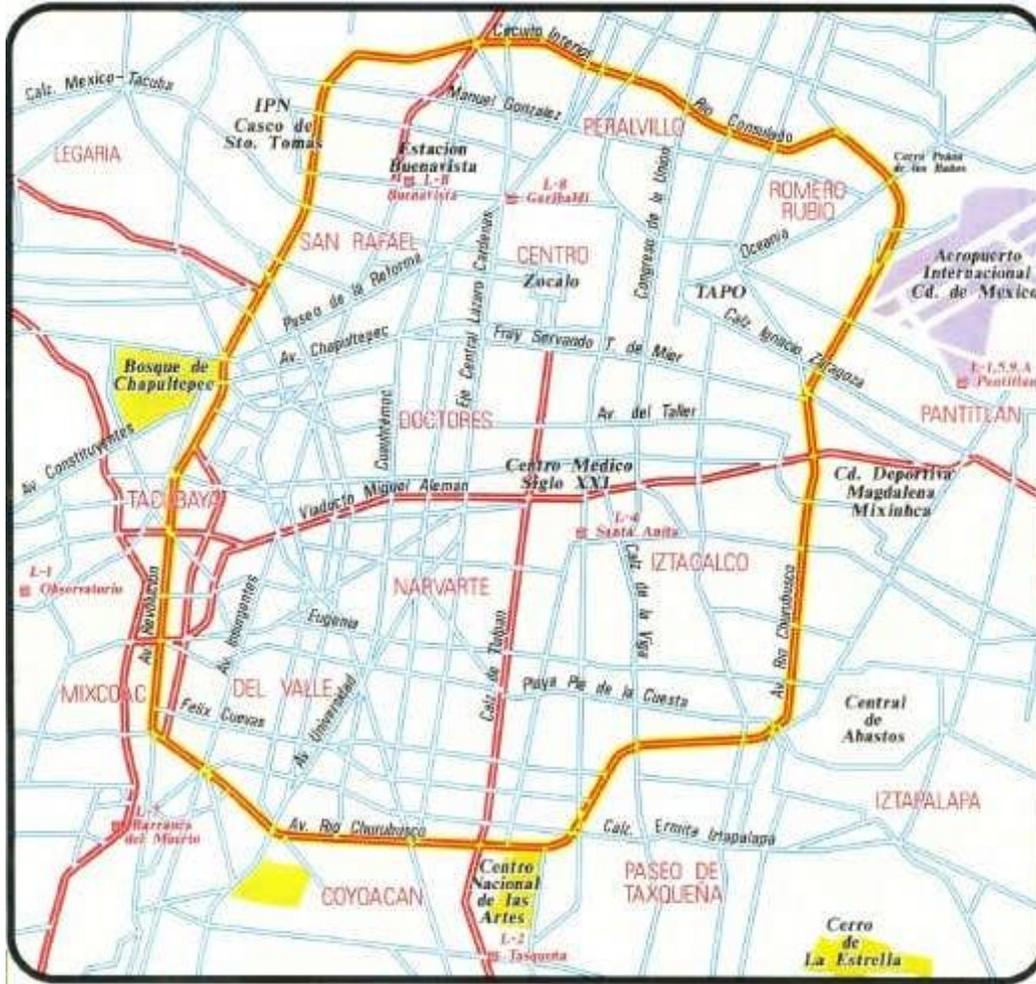


Figura 2.8 Mapa del Circuito Interior Mexicano

Fuente: © Google Maps

2.3.1.1 Recorrido Norte

- *Av. Río Consulado*. Este primer tramo abarca desde Av. Puerto México hasta la Av. Insurgentes Norte.
- *Paseo de las Jacarandas*. Este tramo abarca desde la Avenida de los Insurgentes hasta la Avenida Ricardo Flores Magón.

2.3.1.2 Recorrido Poniente

- *Av. Instituto Técnico Industrial*. Este tramo abarca desde la Avenida Ricardo Flores Magón hasta la Avenida Ribera de San Cosme.
- *Calz. Melchor Ocampo*. Este tramo abarca desde la Avenida Ribera de San Cosme hasta la Avenida Paseo de la Reforma.

- *Av. Mtro. José Vasconcelos*. Este tramo abarca desde el Paseo de la Reforma hasta la calle Francisco Márquez debido a que en este último punto se divide en dos vialidades de un solo flujo.
- *Av. Mtro. José Vasconcelos (Norte-Sur)*. Este tramo abarca desde la Av. Francisco Márquez hasta los Ejes 3 y 4 Sur (Av. Gobernador Agustín Vicente Eguía/Av. Benjamín Franklin).
- *Av. Revolución (Norte-Sur)*. Este tramo abarca desde los Ejes 3 y 4 Sur Benjamín Franklin hasta la Av. Molinos.
- *Av. Patriotismo (Sur-Norte)*. Este tramo abarca desde la Avenida Molinos hasta los Ejes 3 y 4 Sur Benjamín Franklin.
- *Av. Diag. Patriotismo (Sur-Norte)*. Este tramo abarca desde los Ejes 3 y 4 Sur Benjamín Franklin hasta la unión con Mtro. José Vasconcelos en la calle Francisco Márquez.

2.3.1.3 Recorrido Sur

- *Av. Río Mixcoac*. Este tramo abarca desde la Avenida Molinos hasta los Ejes 2 y 3 Poniente Av. Coyoacán, hasta unir el curso de dicho río con el Magdalena, a la altura de los Viveros.
- *Av. Río Churubusco*. Este tramo abarca desde los Ejes 2 y 3 Poniente Av. Coyoacán hasta el Viaducto Río de la Piedad.

2.3.1.4 Recorrido Oriente

- *Av. Jesús Galindo y Villa*. Este tramo abarca desde Viaducto Río de la Piedad hasta la Avenida Fray Servando Teresa de Mier.
- *Bld. Puerto Aéreo*. Este tramo abarca desde el Eje 1 Sur Fray Servando Teresa de Mier hasta la Avenida Puerto México.

2.3.2 Anillo Periférico

En la Ciudad de México y su zona metropolitana, el Anillo Periférico es una vía de circunvalación que rodea gran parte del Valle de México y es una de sus principales vialidades. Atraviesa diversas Alcaldías en la ciudad, así como algunos Municipios del Estado de México, y por ello adquiere diferentes nombres a lo largo de su recorrido. Tiene una longitud total de 120.83 km. Ver Figura 2.9. ^[24]



Figura 2.9 Mapa del Anillo Periférico

Fuente: © Google Maps

2.3.2.1 Recorrido Norte

- *Bldv. Río de los Remedios.* Desde Av. Aeropuerto hasta la Autopista Federal México-Pachuca/Av. Insurgentes Norte.
- *Bldv. Isidro Fabela.* Desde la Autopista Federal México-Pachuca/Av. Insurgentes Norte hasta Av. Hermilio Mena/Av. Vidrio Plano.
- *Av. Río de los Remedios.* Desde Av. Vidrio Plano hasta Av. Acueducto de Guadalupe.
- *Av. Acueducto de Guadalupe (Oriente-Poniente).* Desde su cruce con la Av. Río de los Remedios hasta Eje Central (Av. Lázaro Cárdenas/Av. De los 100 Metros).
- *Av. Río de los Remedios (Poniente-Oriente).* Desde Av. Miguel Bernard hasta Av. Acueducto de Guadalupe.

- *Av. Acueducto de Tenayuca* (Oriente-Poniente). Desde Eje Central (Av. Lázaro Cárdenas/Av. De los 100 Metros) hasta Av. Jesús Reyes Heróles.
- *Av. Río Tlalnepantla* (Poniente-Oriente). Desde Av. Jesús Reyes Heróles hasta Av. Miguel Bernard.
- *Bld. Mario Colín*. Desde Av. Jesús Reyes Heróles hasta Av. Sor Juana Inés de la Cruz
- *Av. Principal/1 de mayo*. Desde Av. Sor Juana Inés de la Cruz Prada hasta el retorno con el Blvd. Manuel Ávila Camacho.

2.3.2.2 Recorrido Poniente

- *Bld. Manuel Ávila Camacho*. Desde el retorno en Av. Principal/1ro de mayo hasta Av. Paseo de la Reforma.
- *Bld. Adolfo López Mateos*. Desde la Av. Paseo de la Reforma hasta la Supervia Poniente (Av. Luis Cabrera).

2.3.2.3 Recorrido Sur

- *Bld. Adolfo Ruiz Cortines*. Desde la Supervia Poniente (Av. Luis Cabrera) hasta Av. Canal de Chalco.

2.3.2.4 Recorrido Oriente

- *Bld. Canal de Garay*. Desde la Av. Canal de Chalco hasta Eje 6 Sur (Av. Luis Méndez).
- *Bld. Canal de San Juan*. Desde el Eje 6 Sur (Av. Luis Méndez) hasta Calz. Gral. Ignacio Zaragoza.
- *Bld. Calle 7*. Desde la Calz. Gral. Ignacio Zaragoza hasta Av. Vía Tapo.
- *Bld. Anillo Periférico*. Desde la Av. Vía Tapo hasta Av. Aeropuerto.

2.3.3 Circuito Exterior Mexiquense

Es una autopista de altas especificaciones que se desarrolla en las regiones Norte y Oriente de la Zona Metropolitana del Valle de México y que, en sus inicios, opera desde el año 2003. Interconecta con las autopistas: México - Querétaro, México - Pachuca, México - Puebla, Chamapa - Lechería y Peñón - Texcoco, con lo que quedan comunicadas una gran cantidad de zonas conurbadas mediante autopistas de altas especificaciones, e integradas a su vez, hacia regiones de Toluca, Puebla, Hidalgo y Querétaro. Ver Figura 2.10. ^[25]



Figura 2.10 Mapa del Circuito Exterior Mexiquense

Fuente: © OpenMapTiles © OpenStreetMap contributors.

Datos Generales:

- Inicio de operaciones: 25 de febrero de 2003.
- Localización: Municipios de: Huehuetoca, Coyotepec, Tultepec, Teoloyucan, Cuautitlán, Izcalli, Tultitlán, Coacalco, Jaltenco, Nextlalpan, Zumpango, Tecámac, Ecatepec, Nezahualcóyotl, Texcoco, Ixtapaluca y Chalco.
- Longitud: 110.78 kilómetros.
- Empresa Concesionaria: Concesionaria Mexiquense, S. A. de C. V.
- Empresa Operadora: OPCEM, S. A. de C. V.

2.3.3.1 Tramo fase 1

El tramo carretero de Jorobas a Nabor Carrillo T3 con una longitud de 49 km. Con 4 carriles 2 por sentido. (Huehuetoca, Teoloyucan, Zumpango, Jaltenco, Tultepec, y Ecatepec).

2.3.3.2 Tramo fase 2

El tramo carretero de T3 Nabor Carrillo a T4 Chalco, con una longitud de 38.4 km, con 4 carriles 2 por sentido. (Texcoco de Mora, Nezahualcóyotl, Chimalhuacán, Chicoloapan, Ixtapaluca y Chalco).

2.3.3.3 Tramo fase 3

El tramo carretero de Cuautitlán Izcalli a Tultepec 20 km. Con 4 carriles 2 por sentido. (Cuautitlán Izcalli, Tultitlán de Mariano Escobedo y Tultepec). Ramal 1 ubicado en salida Xochiaca km 54+920, con una longitud de 1.21 km y ramal 2 ubicado en salida a Periférico km 48+896 de 1.79 km de longitud.

2.4 Publicidad digital en las principales vías de la ZMVM

Diversos estudios indican que la publicidad exterior estática alcanza el mayor impacto en el primer mes de exhibición. Gran parte de la población realiza recorridos recurrentes en mismas vialidades y horarios.

2.4.1 La mejor vialidad para la publicidad

La agencia publicitaria “Rentable”, definió 3 vialidades más importantes de la Ciudad de México, donde mencionan que son la mejor opción para lanzar una campaña publicitaria, estas son: Viaducto, Circuito Interior y Periférico Norte. ^[26]

Los tramos que proponen en donde el impacto de la publicidad es mayor son:

2.4.1.1 Periférico Norte, Toreo-Perinorte

Periférico Norte recorre desde el Ex Toreo de 4 caminos (ahora centro comercial Parque Toreo) hasta el centro comercial Perinorte.

Dentro de los puntos de interés y referencia se encuentran las Torres de Satélite, el Parque "Naucalli", Mundo E, Plaza Satélite, e importantes zonas industriales.

2.4.1.2 Viaducto, Periférico- Río Churubusco

El Viaducto Miguel Alemán es una vía rápida que atraviesa la zona central de la Ciudad de México desde Periférico hasta Río Churubusco.

Es una avenida de gran importancia por la cantidad de vialidades importantes que convergen en su trayectoria.

2.4.1.3 Circuito Interior, Aeropuerto-B. Franklin

El Circuito Interior es una vía de circunvalación que rodea el centro de la Ciudad de México. Durante su trayecto adquiere diferentes nombres.

En este proyecto nos ocupa el tramo desde el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México hasta el cruce con Benjamín Franklin. Ver Figura 2.11.



Figura 2.11 Animación de publicidad de agencia Rentable

Fuente: Rentable ®

2.4.2 Medios publicitarios que las agencias ofrecen

2.4.2.1 Pantallas Digitales Aeropuerto

Ubicadas en el circuito de acceso al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México Terminal 1

Entre Puerta 7 Llegadas Nacionales y Puerta 8 Salidas Internacionales.

- Medida: 9.00 X 6.00 m.
- Tiempos de exhibición: 10 s. por spot, 4 s. de animación y 6 s. estáticos. Ver Figura 2.12.



Figura 2.12 Pantallas Digitales Aeropuerto

Fuente: Rentable ®

2.4.2.2 Digibilboard

Publicidad digital sobre el nivel del suelo. Permite limpieza visual de gran formato.

Medio dominante en la vía pública por su visibilidad extraordinaria. Genera un mayor alcance llegando a todas las audiencias

- Medida: 12.90 X 7.32 m.
- Tiempos de exhibición: CDMX 2 min sin animación y video. Edo. Mex. 10 s por spot, 4 s. de animación y 6 s. estáticos. Ver Figura 2.13.



Figura 2.13 Digibilboard

Fuente: Rentable ®

2.4.2.3 Digiboard

Publicidad digital a nivel de piso.

Permite enviar mensajes relevantes continuamente a la audiencia. Ubicaciones estratégicas que maximizan su impacto.

- Medida: 5.00 x 3.00 m; 10.00 x 3.00 m.
- Tiempos de exhibición: CDMX. 2 minutos sin animación y video. Edo. Mex. 10 s. por spot, 4 s. de animación y 6 s. estáticos. Ver Figura 2.14.



Figura 2.14 Digiboard

Fuente: Kreativa ®

2.4.2.4 Digitop

Publicidad digital ubicada sobre la avenida

Su ubicación permite una vista frontal al automovilista. Vialidades principales o de alto tránsito vehicular.

- Medida: 10.00 X 3.00 m.
- Tiempos de exhibición: Edo. Mex. 10 s. por spot, 4 s. de animación y 6 s. estáticos. Ver Figura 2.15.



Figura 2.15 Digitop

Fuente: Rentable ®

Capítulo 3 Desarrollo del proyecto

Para el desarrollo del proyecto se realiza una comparación entre aerogeneradores verticales comerciales, para poder seleccionar el que por sus características técnicas pueda operar de forma adecuada en una de las dos zonas propuestas para la instalación. Se presenta la estimación realizada para el consumo eléctrico que tendrá la instalación y la capacidad de generación del aerogenerador, así como, los cálculos eléctricos requeridos para los equipos que complementan el diseño de la propuesta.

3.1 Alternativa de aerogeneradores verticales a implementar

3.1.1 Smarttwister ST-2000

El aerogenerador Smarttwister ST-2000 presenta importantes innovaciones en su diseño como una hélice en espiral en nylon técnico que le permite un mejor aprovechamiento de los vientos racheados, dejando así que se accione con una ligera brisa a partir de 1.5 m/seg según condiciones, sin necesidad de un motor de arranque. Se trata, pues, de una fuente fiable de energía con un menor impacto visual que además de requerir poco mantenimiento ayuda a reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Con unas dimensiones reducidas y unas características técnicas que mejoran su eficiencia, el Smarttwister ST-2000, es idóneo para generar energía eléctrica especialmente en zonas donde no existe red pública como pueden ser estaciones meteorológicas, de comunicaciones, señales marítimas o cualquier otra necesidad de energía.

Este modelo se puede utilizar para suministrar energía en la industria, bombas de agua, residencias privadas, áreas deportivas, zonas comunes, etc. instalándose fácilmente sobre un mástil, tejado o cualquier otro lugar. Ver Figura 3.1. ^[27]



Figura 3.1 Aerogenerador Smarttwister ST-2000

Fuente: Copyright (c) 2013 - 2020. Smarttwister

Las características del equipo son:

- Eficiente y resistente, producción de máxima cantidad de energía en tormentas.
- Comienza a funcionar con vientos a partir de 1.5 m/s
- Par de potencia máximo a partir de 8.29 m/s de viento.
- No precisa de sistema de frenado ante tormentas.
- Alternador de imanes permanentes.
- Resistente a nieve, hielo, calor y humedad.

En la tabla 3.1 se indican las características generales que el fabricante proporciona.

Tabla 3.1. Características generales del Aerogenerador Smarttwister ST-2000.

Número de hélices	1 helicoidal
Diámetro	0.34 m
Viento para arranque	< 1.5 m/s
Viento para potencia nominal	8.29 m/s
Alternador	Imanes permanentes
Potencia nominal	2000 W
Voltaje	0 Vac – 600 Vac
Nº de horas recomendado sin mantenimiento	20,000 horas
Ruido	<20 dB
Nº de horas máximas sin mantenimiento	36,000 horas

Fuente: Dossier ST1000, <https://n9.cl/faldi>

En la Figura 3.2 Se observa la curva de potencia del aerogenerador Smarttwister ST-2000

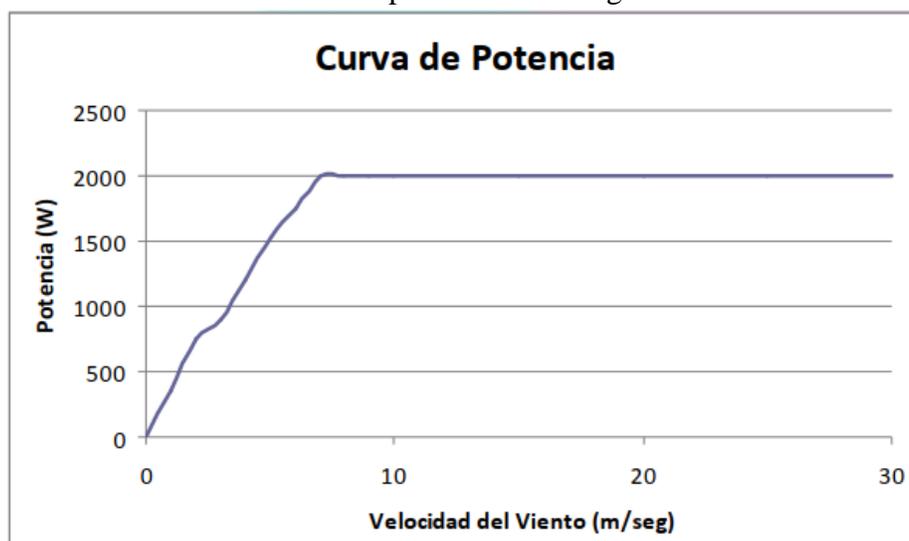


Figura 3.2 Curva de potencia del Aerogenerador Smarttwister ST-2000

Fuente: Copyright (c) 2013 - 2020. Smarttwister.

Todos los aerogeneradores están elaborados siguiendo un estricto control de calidad mediante normas internacionales ISO. Igualmente las características del mismo están protegidos mediante el seguimiento de normas internacionales como son la propia UNE 61400-2.

Las características que marcan la diferencia de los aerogenerador de Smarttwister© son la fiabilidad, la robustez y la durabilidad, ya que están diseñados y fabricados con todo el conocimiento que aporta una experiencia de más de 25 años en el sector.

Los aerogeneradores Smarttwister© son fáciles de instalar y son fabricados con materiales de primera calidad que garantizan una larga vida útil. Su mantenimiento es tan sencillo como una única inspección anual consistente en un control visual de las partes móviles y un ajuste de toda la tornillería. Este fácil mantenimiento garantiza la durabilidad del equipo en óptimas condiciones.

La estética de los aerogeneradores poseen una gran elegancia para una integración fácil y discreta en cualquier entorno. Ver Figura 3.3.



Figura 3.3 Smarttwister ST-2000 Aplicado en centros comerciales

Fuente: Copyright (c) 2013 - 2020. Smarttwister, <https://n9.cl/3lazj>

3.1.2 Aerogenerador Vertical Aeolos-V 1KW

El aerogenerador de eje vertical Aeolos 1 KW es un aerogenerador vertical de baja velocidad de arranque de viento, silencioso, seguro y confiable. Utiliza un generador trifásico con rotor externo con una velocidad de arranque del viento de 1.5 m/s. Puede ser utilizado para aplicación fuera de la red de 48 V o aplicación en conexión con la red de 110 V. Los aerogeneradores de eje vertical Aeolos son ampliamente aplicados en iluminación urbana, escuelas, supermercados, casas y áreas de bajo ruido. Ver Figura 3.4.^[28]

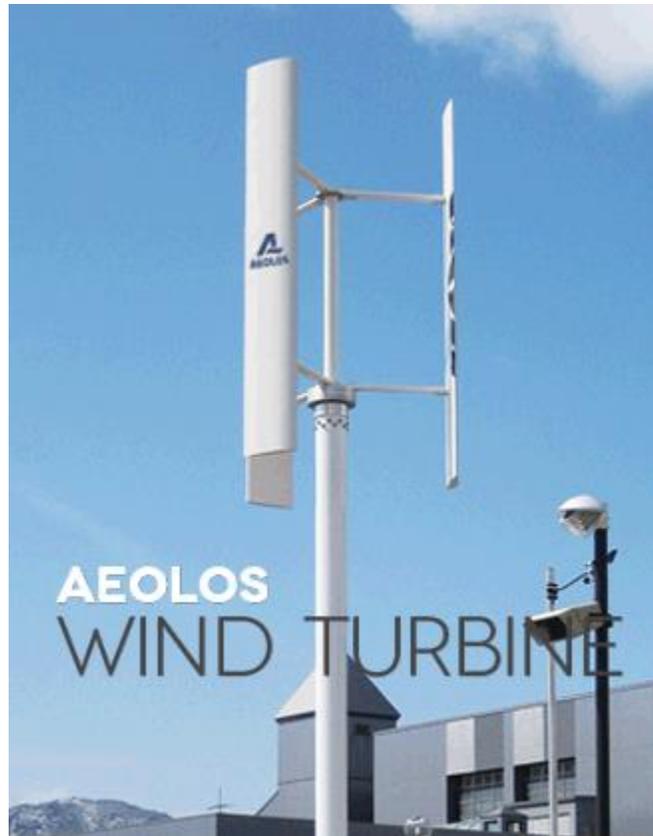


Figura 3.4 Aerogenerador Vertical Aeolos-V 1 KW

Fuente: ©Aeolos Aerogeneradores, <https://n9.cl/rt7y4>

En la tabla 3.2 se indican las características generales que el fabricante proporciona.

Tabla 3.2. Especificaciones para Aerogenerador Aeolos 1 KW.

Potencia Nominal	1 000 W
Máxima Potencia de Salida	1500 W
Voltaje de Salida	48/110 V
Altura del Rotor	2.8 m
Diámetro del Rotor	2.0 m

Velocidad de Arranque del Viento	1.5 m/s
Velocidad Nominal del Viento	10 m/s
Ruido	<45dB(A)
Rango de Temperatura	-20°C a +50°C
Vida Útil del Diseño	20 años
Garantía	Estándar 5 Años

Fuente: ©Aeolos Aerogeneradores, <https://n9.cl/rt7y4>

En la Figura 3.5. Se observa la Curva de potencia del aerogenerador Aeolos-V 1KW.

Aeolos-V 1 kW Curva de Potencia

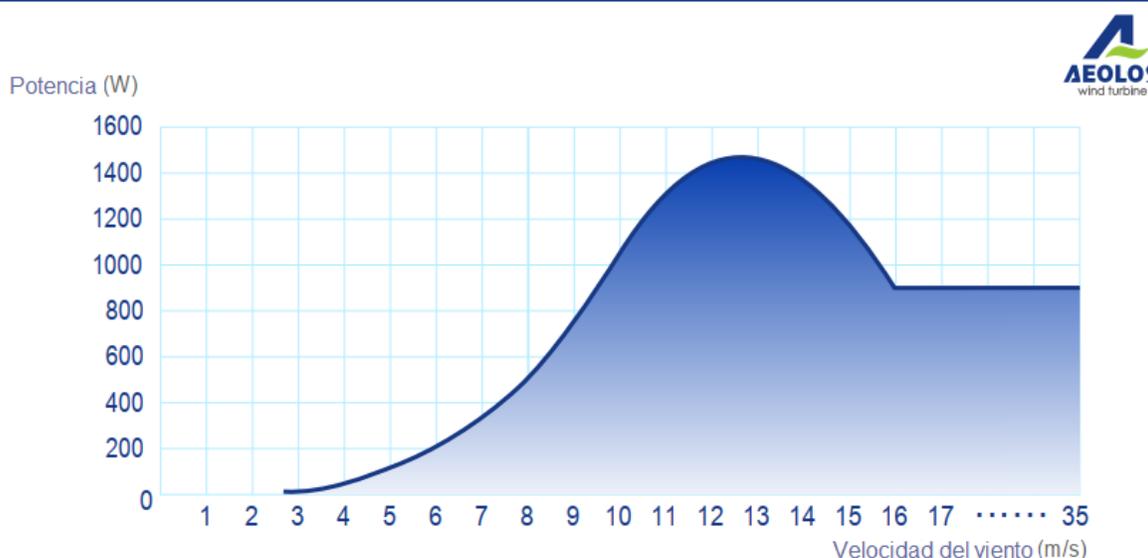


Figura 3.5 Curva de potencia del aerogenerador Aeolos-V 1 KW

Fuente: Dossier Aeolos-V 1 KW

El aerogenerador Aeolos cuenta con un sistema de protección de seguridad triple.

Diseño especial de la hoja: las hojas Aeolos utilizan el diseño aerodinámico especial que limita la velocidad de rotación máxima a 320 rpm, incluso si la velocidad del viento es de 30 m/s o 40 m/s. Eso es más seguro y confiable que la turbina eólica de eje vertical tradicional.

Carga de descarga PWM: el aerogenerador Aeolos-V 1 KW tiene la caja de carga de descarga de 2 KW con función de carga PWM. Esto consumirá el exceso de potencia de salida y controlará la tensión en caso de viento fuerte.

Freno mecánico: el freno mecánico manual puede detener el aerogenerador para mantenimiento o por la llegada de un tifón. También cuenta con un sistema de freno mecánico automático como función opcional.

Control inteligente.

Sistema de monitorización remota: El cliente puede supervisar a distancia el funcionamiento del aerogenerador, la velocidad del viento y la producción de energía en oficina, casa, aeropuerto y en cualquier lugar a través de Internet. Ver Figura 3.6. ^[29]



Figura 3.6 Aplicacion del aerogenerador Aeolos-V 1 KW

Fuente: Dossier Aeolos-V 1 KW

3.1.3 Turbina eólica de V-AIR, HoYi 200

Las innovadoras turbinas eólicas de eje vertical de V-Air están produciendo energía renovable y asequible en todo el mundo. V-Air ofrece un producto simple, limpio y silencioso. Con un diseño elegante pero duradero, sus turbinas están construidas para durar y son ideales en una variedad de entornos.

La tecnología de V-Air permite maximizar el potencial de generación de energía eólica y obtener un mayor control de sus costos de electricidad. Ver Figura 3.7. ^[30]



Figura 3.7 Aerogenerador HoYi 200

Fuente: V-Air © 2018

En la tabla 3.3 se indican las características generales que el fabricante proporciona.

Tabla 3.3. Especificaciones para Aerogenerador HoYi 200.

Máxima Potencia de Salida	200 W
Altura	1.3m
Diámetro	0.8m
Velocidad de Arranque del Viento	2 m/s
Velocidad Nominal del Viento	12m/s
Ruido	40 dB
Área de instalación	0.84m ²
Material de la hoja	Fibra de vidrio

Fuente : V-Air © 2018, <https://n9.cl/g125y>

En la Figura 3.8. Se observa la Curva de potencia del aerogenerador HoYi 200.



Figura 3.8 Curva de potencia del aerogenerador HoYi 200

Fuente: V-Air © 2018, <https://n9.cl/g125y>

Súper versátil y duradera, la turbina eólica más pequeña de V-AIR es la solución perfecta para la generación de energía fuera de la red. Esta unidad es ideal para alumbrado público, embarcaciones y aplicaciones marinas, o cualquier lugar donde se necesite generar energía en el sitio.

El HoYi 200 comienza a producir energía con velocidades de viento extremadamente bajas y puede soportar huracanes, por lo que casi no necesita mantenimiento durante toda su vida útil. Con una altura de aproximadamente 1 metro y un peso de sólo 40 Kg, el montaje se realiza en menos de 30 minutos y la colocación de la torre y los cimientos para su instalación es sencilla y fácil. Ver Figura 3.9. ^[31]



Figura 3.9 Aplicación del aerogenerador HoYi 200

Fuente: V-Air © 2018.

3.2 Comparación y elección del aerogenerador a utilizar

Tabla 3.4. Cuadro comparativo de las características más importantes a considerar del aerogenerador.

Marca	Tipo	Velocidad de arranque	Velocidad nominal	Potencia nominal	Voltaje de salida	Emisión de ruido	Medidas
Smartwister ST-2000 	Savonius	< 1.5 m/s	8.29 m/s	2000 W	0 V – 600 V	<20 dB* ²	Altura 1.4 m Diámetro 0.34 m
Aeolos-V 1kW 	Giromill	1.5 m/s	10 m/s	1000 W	48/110 V* ¹	<45dB* ³	Altura 2.8 m Diámetro 2.0 m
V-AIR (HoYi 200) 	Giromill	2 m/s	12m/s	200 W	//	40 dB* ⁴	Altura 1.3 m Diámetro 0.8 m

*¹ 48 V Aplicación fuera de la red, 110 V Aplicación de conexión a la red.

*²*³*⁴ Los tres aerogeneradores se encuentran dentro de los rangos establecidos en la modificación del numeral 5.4 de la Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en la tabla anterior, la velocidad de viento de arranque de cada uno de los aerogeneradores propuestos para este proyecto se encuentra dentro del rango de velocidad de viento constante que se da en la mayoría de las zonas de Valle de México, como se estipuló en el capítulo 1, siendo esta un promedio de 2.0 m/s.

El aerogenerador Smarttwister ST-2000 lo consideramos como la mejor alternativa a implementar ya que éste entrega una potencia mayor en comparación al Aeolos-V 1KW y al V-AIR (HoYi 200), así como, su velocidad de viento nominal la menor de los tres, lo que supone una ventaja para las zonas urbanizadas, ya que los edificios, árboles y demás construcciones representan un obstáculo para que el viento fluya de manera natural. Ya que la implementación se planea realizar cerca de oficinas, multifamiliares o complejos donde se estén desarrollando diferentes actividades, lo silencioso que es el Smarttwister ST-2000, beneficia para no interferir en las rutinas que se realicen en el área donde se realice la instalación.

Es importante mencionar también las dimensiones con las que cuenta el ST-2000, ya que, la idea principal del proyecto es instalarlo en alguna vía primaria que cuente con alguna patalla publicitaria cerca y las medidas que ofrece la empresa Smarttwister en sus aerogeneradores, son las ideales para evitar obstruir el paso de los vehículos que circulan, y no representa una contaminación visual para la zona, de hecho, la estética este aerogenerador les va bien a las zonas urbanas.

Smarttwister realizó su propio análisis para poder comparar el ST-2000, respecto a otros aerogeneradores similares de empresas que ellos consideran como la competencia más cercana que tienen, los resultados se presentan a continuación. Ver Figura 3.10. y 3.11.

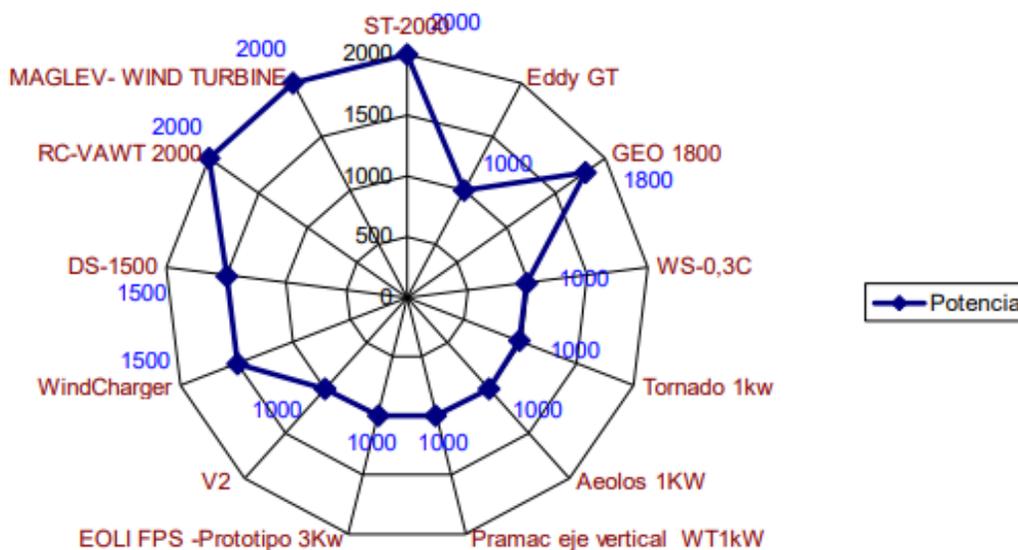


Figura 3.10 Comparativa de la potencia del ST-2000 con la competencia más cercana

Fuente: STBrochure, <https://n9.cl/jax7l>.

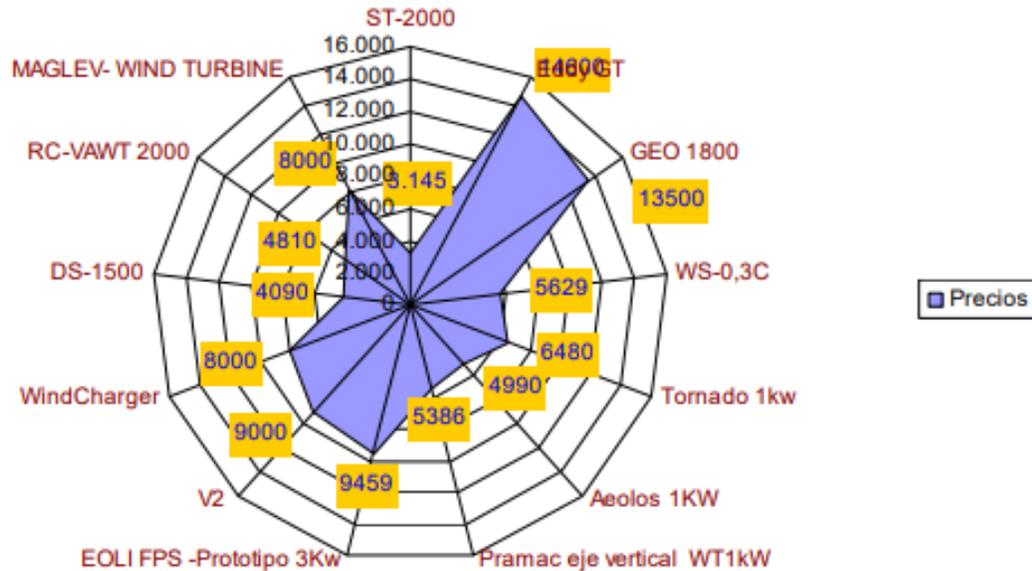


Figura 3.11 Comparativa de precio en euros del ST-2000 con la competencia mas directa
 Fuente: STBrochure, <https://n9.cl/jax7l>.

3.3 Lugar óptimo para la instalación del aerogenerador

Se realizó trabajo de campo para ubicar el mejor espacio que nos permitiera realizar toda la instalación del proyecto, así como, los equipos eléctricos complementarios necesarios para su funcionamiento, teniendo así las siguientes opciones presentadas a continuación.

3.3.1 Circuito Interior Bicentenario alcaldía Azcapotzalco, CDMX

En el tramo del circuito interior entre la Av. Rio Consulado #656 y Paseo de las Palmas perteneciente a la alcaldía Azcapotzalco, se encuentra el camellón que divide la entrada al circuito Interior Bicentenario dirección Av. Chapultepec y la salida a la Av. Flores Magón. Ver Figura 3.12.

El cual tiene la superficie necesaria para poder instalar el soporte (poste) del aerogenerador, ver figura 3.13, y la longitud de esta tiene que ser lo suficientemente alta para librar los árboles que se encuentran alrededor, evitando así, una disminución del flujo del viento la ubicación a pesar de que es zona domestica no cuenta con edificaciones altas que obstaculicen de forma importante el flujo del viento, de igual forma este tramo ya cuenta con espacios establecidos para el uso de publicidad, lo cual lo hace un lugar viable para que la instalación cumpla con su objetivo. Ver Figura 3.14.



Figura 3.12 Av. Rio Consulado No. 656

Fuente: © 2022 Google



Figura 3.13 Camellón entre Av. Rio Consulado No. 656 y Paseo de las Palmas



Figura 3.14 Espacios publicitarios cerca de Av. Rio Consulado No. 656

Fuente: © 2022 Google

Como se mencionó en el capítulo 2, la velocidad del viento en la Ciudad de México tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año, siendo el promedio mensual de 2 m/s.

En el caso específico de la alcaldía Azcapotzalco, el vector de viento promedio a 10 metros es el siguiente: la parte más ventosa del año dura 3.1 meses, del 18 de enero al 22 de abril, con velocidades promedio del viento de más de 7.8 kilómetros por hora (2.16 m/s). El mes más ventoso del año en Azcapotzalco es marzo, con vientos a una velocidad promedio de 8.7 kilómetros por hora (2.41 m/s).

El tiempo más calmado del año dura 8.9 meses, del 22 de abril al 18 de enero. El mes más calmado del año en Azcapotzalco es mayo, con vientos a una velocidad promedio de 7.0 kilómetros por hora (1.94 m/s). Ver Figura 3.15. ^[32]

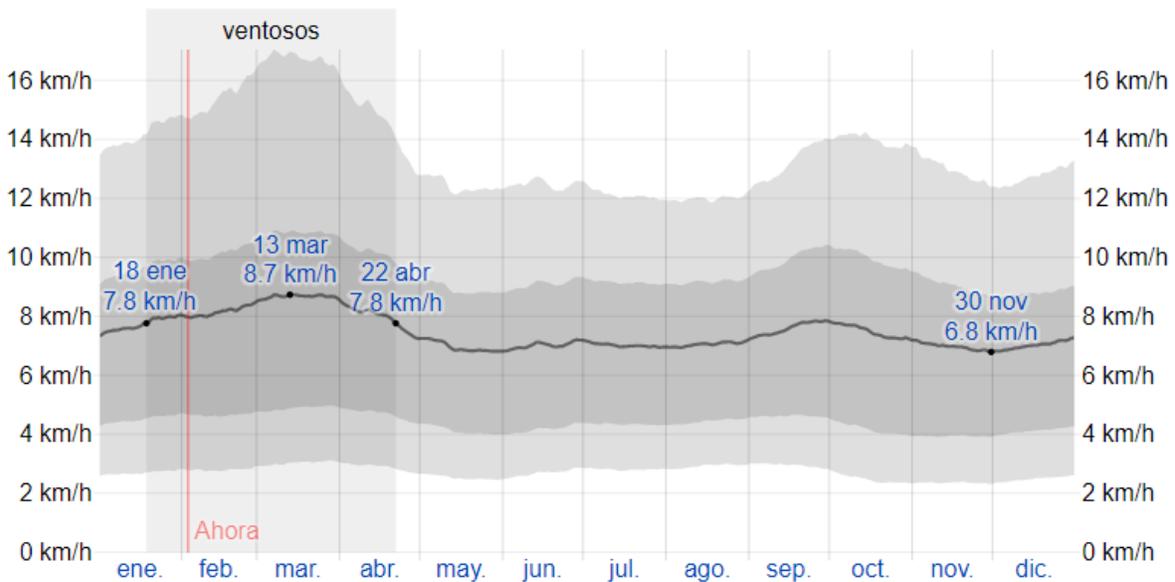


Figura 3.15 Velocidad promedio del viento en la alcaldía Azcapotzalco

Fuente: © WeatherSpark.com

3.3.2 Viaducto Pdte. Miguel Alemán Valdés #87, Cuauhtémoc, CDMX

En el paso a desnivel del Viaducto Pdte. Miguel Alemán cruce con Av. Monterrey en la alcaldía Cuauhtémoc, se encuentra un espacio que sirve para dividir el sentido del paso vehicular, está ubicado una zona que es viable para colocar el aerogenerador, puesto que cuenta con una superficie amplia para la instalación del soporte, así como, su alrededor está despejado para un flujo de viento óptimo. Ver Figuras 3.16, 3.17, 3.18.



Figura 3.16 Viaducto Pdte. Miguel Alemán No. 87, visto desde el cruce Av. Monterrey



Figura 3.17 Viaducto Pdte. Miguel Alemán No. 87, visto desde la lateral dirección Aeropuerto

Fuente: © 2022 Google



Figura 3.18 Viaducto Pdte. Miguel Alemán No. 87, visto desde la lateral dirección Tacubaya

Como se puede observar en las figuras anteriores, es un espacio adecuado para la realización del proyecto, se tendría que tomar en cuenta la altura de los inmuebles más cercanos para poder seleccionar un soporte que sobrepase o este a la misma altura para evitar que dichas construcciones sean un obstáculo para aprovechar al máximo los flujos de viento de esta zona.

Para la alcaldía Cuauhtémoc, el vector de viento promedio a 10 metros es el siguiente: La parte más ventosa del año dura 3.2 meses, del 16 de enero al 22 de abril, con velocidades promedio del viento de más de 7.6 kilómetros por hora (2.1 m/s). El mes más ventoso del año en Cuauhtémoc es marzo, con vientos a una velocidad promedio de 8.6 kilómetros por hora (2.38 m/s).

El tiempo más calmado del año dura 8.8 meses, del 22 de abril al 16 de enero. El mes más calmado del año en Cuauhtémoc es mayo, con vientos a una velocidad promedio de 6.7 kilómetros por hora (1.86 m/s). Ver Figura 3.19. ^[33]

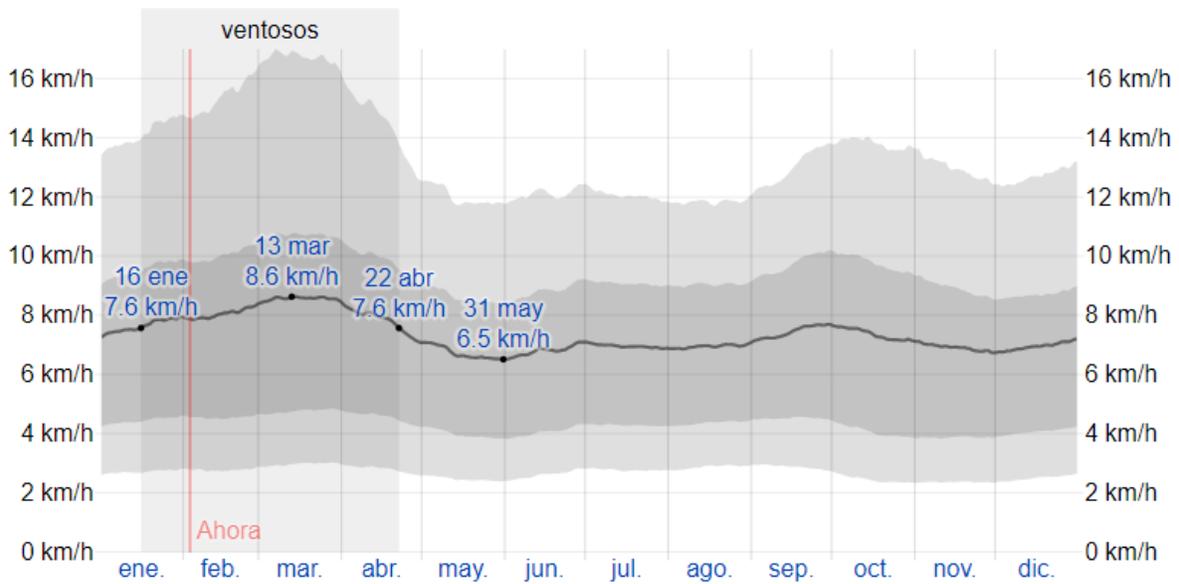


Figura 3.19 Velocidad promedio del viento en la alcaldía Cuauhtémoc

Fuente: © WeatherSpark.com

El paso a desnivel en este tramo está habilitado para colocar publicidad en ambos sentidos de la vialidad, dichos espacios están muy cerca de la zona de instalación, lo cual representa una ventaja al momento de realizar las conexiones ya que representa un gasto menor en conductores y canalizaciones. Ver Figuras 3.20 y 3.21.



Figura 3.20 Paso a desnivel Viaducto Pde. Miguel Alemán cruce Av. Monterrey dirección Tacubaya

Fuente: © 2022 Google



Figura 3.21 Paso a desnivel Viaducto Pdte. Miguel Alemán cruce Av. Monterrey dirección Aeropuerto

Fuente: © 2022 Google.

Recordando que las mediciones de velocidad de viento mostradas anteriormente se realizaron a una altura de 10 m, a continuación, se calculará a la velocidad del aire a 20 m, ya que se utilizará un soporte de esta longitud para el aerogenerador ST-2000.

De acuerdo con la Ley Exponencial de Hellmann, ^[34] la velocidad del viento varía exponencialmente con relación a la altura sobre el suelo. Por lo que, conociendo la velocidad del viento a determinada altura, es posible calcular la velocidad correspondiente en otras alturas. La ecuación 3.1 permite obtener la velocidad del viento a la altura “h” partiendo del conocimiento de la velocidad a 10 m sobre el suelo.

$$V_h = V_{10} \left(\frac{h}{10} \right)^\alpha \quad (3.1)$$

Donde:

V_h : Velocidad del viento a la altura h [m/s]

h: Altura [m]

V_{10} : Velocidad del viento a 10 metros de altura [m/s]

α : Exponente de Hellmann que varía con la rugosidad del terreno y cuyos valores están indicados en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Valores del exponente de Hellmann en función de la rugosidad del terreno.

Tipo de terreno	Valor de exponente de Hellmann
Lugares llanos con hielo y hierva.	$\alpha = 0.08 - 0.12$
Lugares llanos (mar, costa)	$\alpha = 0.14$
Terrenos poco accidentados	$\alpha = 0.13 - 0.16$

Zonas turísticas	$\alpha = 0.2$
Terrenos accidentados o bosques	$\alpha = 0.2 - 0.26$
Terrenos muy accidentados y ciudades	$\alpha = 0.25 - 0.4$

Fuente: Redalyc.org

Sustituyendo los valores de la ecuación 3.1 se tiene:

$$V_h = 2.1 \text{ m/s} \left(\frac{20 \text{ m}}{10 \text{ m}} \right)^{0.4} = 2.77 \text{ m/s} \quad (3.2)$$

Esta será la velocidad de viento promedio diaria esperada, para el funcionamiento del aerogenerador.

Como se puede observar en ambas ubicaciones, el espacio disponible para poder realizar la debida cimentación para colocar el soporte del aerogenerador es diferente, si bien una torre tensada es lo más económico, esta solo podría colocarse en la zona la vía Viaducto Pdte. Miguel Alemán, por lo tanto se considera utilizar tanto un mástil de un solo poste, así como, un mástil de base hidráulica, en el siguiente capítulo se evaluara cuál de estas dos opciones es la mejor, tomando en cuenta factores económicos, como costo de adquisición, de instalación y mantenimiento.

3.4. Pantalla publicitaria a utilizar

Cualquier empresa que tenga la posibilidad de instalar una pantalla de LED en una zona transitada de exteriores. Es aconsejable invertir en la compra e instalación de una pantalla, ya que actualmente se está cotizando muy bien la publicidad que se emite en pantallas de LEDs de exterior.

Las dimensiones de una pantalla de LED de publicidad dependerán del contenido que desee proyectar al público. Para ello, se toma como referencia un cartel tradicional y se aleja a la distancia que se desea que se vea el contenido de la pantalla de LED. ^[35] Ver Figura 3.22.



Figura 3.22 Tipo led SMD-HD

Fuente: © 2022 Visualled.

- Tensión Eléctrica 110V-60Hz.
- Tamaño (Largo X Alto): 2500 x 1500 mm.
- Protección Ambiental: Resistente a lluvia. IP68 F.
- Luminosidad: (5000 nits).

3.5 Consumo y producción anual de energía

En la siguiente tabla se muestra en consumo eléctrico diario que se estima, tendrá la pantalla publicitaria que se eligió para este proyecto:

Tabla 3.6. Consumo esperado de la pantalla publicitaria.

No. De Pantallas	Consumo (W)	Tiempo de Uso (h)	Wh/Día (Watts hora/Día)	Consumo mensual KWh/mes
1	750	8	6000	180

Fuente: Elaboracion propia.

En un día, el consumo es de 6000 Watts-hora o bien de 6 KWh (kilowatts-hora).

1.- Calculamos un 20% extra de consumo como margen de seguridad, es decir, se multiplica.

$$6 \text{ kWh} * 1.2 = 7.2 \text{ KWh} \quad (3.3)$$

Este valor sirve para calcular si la turbina eólica satisface las demandas energéticas.

2.- Determinar la relación entre producción y consumo de energía con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{CED} * 365 \text{ días}}{\text{PEEA}} = \text{relación producción/consumo} \quad (3.4)$$

Donde:

CED = consumo energético diario con margen de seguridad del 20% = 7.2 KWh.

PEEA = Producción Energética Estimada Anual.

La PEEA es un dato que todos los fabricantes de turbinas eólicas brindan, en la tabla 3.7, se muestran los datos de la producción anual estimada del aerogenerador ST-2000.

Tabla 3.7. Producción Energética Estimada Anual del ST-2000.

PEEA	
2 m/seg	626 KWh
4 m/seg	2504 KWh
6 m/seg	3756 KWh
8 m/seg	5008 KWh
10 m/seg	6260 KWh

Fuente: Dossier ST2000.

Se realiza una interpolación lineal entre los valores de 2 m/s y 4 m/s para poder obtener el valor de la PEEA que corresponde a la velocidad calculada anteriormente de 2.64 m/s. Dicha interpolación se realiza con la ecuación 3.5:

$$y = y_1 + \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}(x - x_1) \quad (3.5)$$

Considerando los datos de velocidad de viento como el eje “x” y la columna de los kWh como el eje “y” se puede sustituir los valores de la ecuación 3.5, teniendo:

$$y = 626 \text{ KWh} + \frac{(2504 \text{ KWh} - 626 \text{ KWh})}{(4 \text{ m/s} - 2 \text{ m/s})}(2.77 \text{ m/s} - 2 \text{ m/s}) = 1349 \text{ KWh} \quad (3.6)$$

El resultado de la ecuación 3.6 indica que el valor de PEEA a utilizar en nuestros cálculos de la relación producción consumo será de 1349 KWh.

Por lo anterior se tiene que:

$$\frac{7.2 \text{ kWh} * 365 \text{ días}}{1349 \text{ KWh}} \cong 1.95 \quad (3.7)$$

Como el resultado es *mayor a 1* esto indica que la producción de energía estimada anual de la turbina será *menor al consumo anual*.

La relación entre Consumo y Producción tiene el valor inverso de la relación anterior, para obtenerlo con los datos anteriores:

$$\frac{1349 \text{ KWh}}{2628 \text{ KWh}} \cong 0.513 \quad (3.8)$$

El resultado anterior indica que se tendrá un ahorro del 51.3% con el proveedor de energía eléctrica. Por lo anterior, si instalamos dos aerogeneradores ST-2000, anualmente se cubriría el 102.6% en el consumo de electricidad, lo que se traduce en un ahorro total para la empresa o agencia responsable de la publicidad.

3.6 Sistema de conexión eléctrica del aerogenerador

La conexión del ST-2000 será en un On Grid o conectado a la red, es por esta razón, que el proyecto necesitara de elementos complementarios que garanticen el abastecimiento eléctrico requerido, para que la pantalla publicitaria funcione de forma correcta durante todo el lapso de su operación. Ver Figura 3.23.

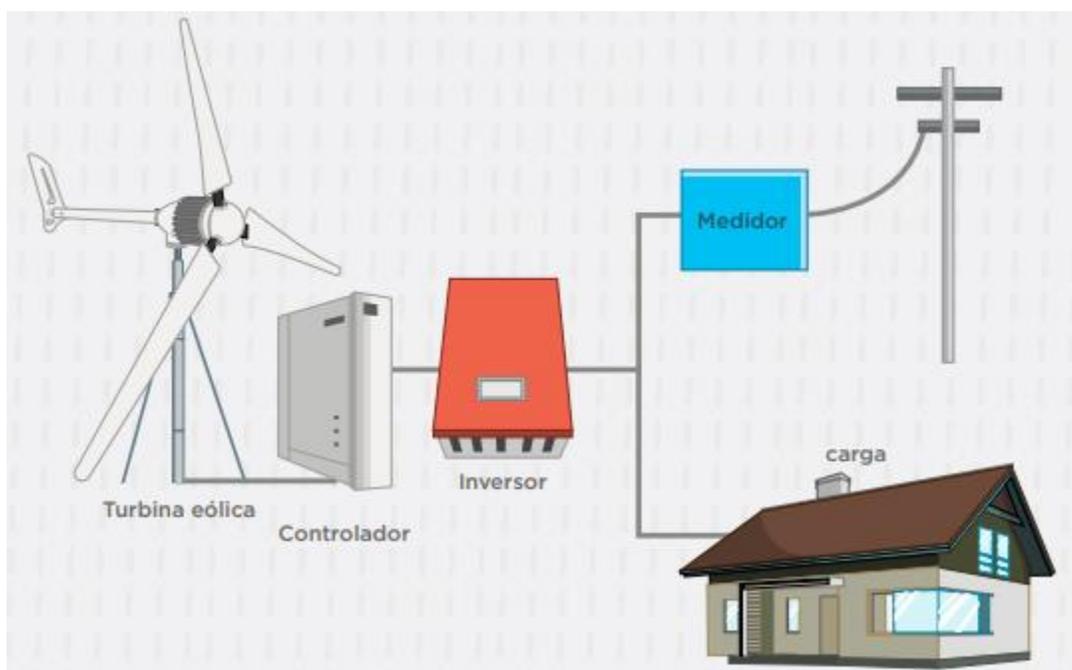


Figura 3.23 Conexión de un aerogenerador aislado a la red

Fuente: © Green Energy

3.6.1. Rectificador/Regulador

Los aerogeneradores Smarttwister no se pueden conectar directamente a ningún regulador del mercado dado que cada rectificador/regulador es fabricado específicamente para un uso concreto por ello cada aerogenerador de la gama ST debe de llevar un rectificador de Smarttwister.

El funcionamiento de un regulador es transformar la energía del aerogenerador generada en alterna, en corriente continua apta para la carga de su banco de baterías o para su conexión al inversor/ondulador. El regulador controlará el estado de la batería evitando sobrecargas de esta y controlando el funcionamiento del aerogenerador.

Para ello el regulador está provisto de los siguientes bornes de conexiones:

- 1.- Entrada trifásica del aerogenerador (R/S/T).
- 2.- Salida +/- a Vdc a batería o a ondulator.

Con dimensiones reducidas y características técnicas que mejoran su eficiencia estos rectificadores/reguladores son idóneos para generar energía eléctrica en cualquier tipo de situación, sea está aislada o bien conectada a la red. Los reguladores PWM son reguladores inteligentes que actúan como interruptores entre el aerogenerador y el cargador de baterías o el inversor. Estos reguladores fuerzan al aerogenerador a trabajar mejor dado que no es necesario que deriven el sobrante a bobinados ni arriesguen el equipamiento con sobretensiones producidas por el generador eólico. Ver Figura 3.24. ^[36]



Figura 3.24 Regulador PWM de sistema híbrido

Fuente: © FLTXNY POWER

3.6.1.1. Smartwister RRC RST-3000

La familia de Rectificadores y Reguladores PWM Smartwister permiten controlar el giro, potencia y generación de los aerogeneradores de la gama ST, estos reguladores presentan un nuevo sistema de control de potencia y un regulador de carga con gestión PWM totalmente novedoso.

Cuando se alcanza la etapa de absorción en la carga del cargador de baterías o del inversor, el regulador modifica la intensidad de los pulsos, corta varias veces por segundo el contacto entre el generador y la batería o el inversor, evitando que estos equipamientos se sobrecarguen.

El Smarttwister RRC RST-3000 hace que la batería esté totalmente cargada regulando por medio de un sistema MPPT la carga en todo momento no necesitando ningún otro cargador de baterías. La salida de la batería será del voltaje que se desee o bien a 12V, 24, o 48 según necesidades.

Entre las ventajas de este regulador, podemos encontrar su sencillez, su reducido peso y su bajo precio. Los reguladores PWM están disponibles desde 40 A hasta 80 A y tienen una vida útil bastante larga, algunos llevan incorporados un sistema de refrigeración de calor pasiva. Ver Figura 3.25. [37]



Figura 3.25 Smarttwister RRC RST-3000

Fuente: Copyright (c) 2013 - 2020. Smarttwister.

Características Básicas:

- Rectificador Robusto y fiable.
- Controla picos de tensión y sobre tensiones.
- Se puede conectar en paralelo o en serie.
- Entrada en trifásica alterna del generador.
- Salida en continua programable desde 24 Vdc hasta 800 Vdc.
- Mínimo mantenimiento.
- Resistente a nieve, hielo, calor y humedad.

3.6.2. Inversor

Un inversor de voltaje es un dispositivo electrónico capaz de convertir la corriente directa (CD) a corriente alterna (CA). El objetivo de un inversor es la conversión de un voltaje de entrada en corriente continua, la cual es suministrada desde un sistema de baterías, a un voltaje de salida en corriente alterna con especificaciones de tensión y frecuencia de acuerdo a la necesidad del usuario.

El uso de un inversor de voltaje permite tener un respaldo de energía a partir de un banco de baterías o permite la interconexión entre un sistema de generación solar/eólico que generan energía en corriente directa al sistema de distribución eléctrica en corriente alterna.

Existen diferentes tipos de inversores de voltaje, pero en la actualidad es importante el uso de inversor con generación de onda sinusoidal pura para su uso sin ningún tipo de inconveniente con cualquier tipo de carga o dispositivo eléctrico o electrónico.

Elección del inversor depende de la resolución de la siguiente ecuación:

$$P_{inversor} = P_{total} * 1.5 \text{ Factor de seguridad} \quad (3.9)$$

Donde:

$P_{inversor}$ = Potencia soportada por el inversor.

P_{total} = Potencia demandada por el sistema.

Sustituyendo los datos en la ecuación se tiene que:

$$\begin{aligned} P_{inversor} &= 2000 \text{ W} * 1.5 \text{ Factor de seguridad} & (3.10) \\ &= \mathbf{3000 \text{ W}} \end{aligned}$$

Por lo que el inversor a seleccionar tiene que soportar una potencia de 3000 W.

3.6.2.1. Inversores Phoenix 3kVA

Desarrollado para uso profesional, la gama de inversores Phoenix es ideal para diferentes aplicaciones. El criterio utilizado en su diseño fue el de producir un verdadero inversor sinusoidal con una eficiencia optimizada, pero sin comprometer su rendimiento.

Al utilizar tecnología híbrida de alta frecuencia, se obtiene como resultado un producto de la máxima calidad, de dimensiones compactas, ligero y capaz de suministrar potencia, sin problemas, a cualquier carga. ^[38]

Una de las características singulares de la tecnología SinusMax consiste en su muy alta potencia de arranque. La tecnología de alta frecuencia convencional no ofrece un rendimiento tan extraordinario. Los inversores Phoenix, sin embargo, están bien dotados para alimentar cargas difíciles, como frigoríficos, compresores, motores eléctricos y aparatos similares. Ver Figura 3.26.



Figura 3.26 Inversor Phoenix Inverter

Fuente: Victron Energy B.V©

- Rango de tensión de entrada (Vdc): 19 – 33V.
- Salida: 120V ± 2% / 60Hz ± 0.1%.
- Potencia cont. de salida 25°C / 77°F (VA): 3000 W.
- Características comunes: Temperatura de funcionamiento: -40 a +65°C (-40 - 150°F)
Humedad (sin condensación): Máx. 95%.
- Tipo de protección: IP 21.

3.6.3. Medidor bidireccional

Se trata de un dispositivo similar a un medidor tradicional de conducción de energía, con la diferencia que éste gira hacia ambos sentidos y cuando lo hace al revés, el aerogenerador interconectado a la red de CFE genera energía que es reducida del consumo total del recibo generado por los usuarios.

Con este proyecto la CFE incentiva a los usuarios al aprovechamiento de las energías renovables, por medio de la disminución de las tarifas de pago a quienes sean capaces de producir energía por medio de una fuente alterna.

En este sentido, la CFE usa la energía generada en excedente para emplearla los días y noches en los que las condiciones no permitan la generación de energía y los usuarios no se ven en la necesidad de instalar baterías para el depósito de esta.

En este sentido, el medidor bidireccional CFE debe estar adaptado al sistema de consumo para poder establecer las tarifas y determinar si la energía proviene de la CFE o de la fuente alterna. ^[39] Ver Figura 3.27.

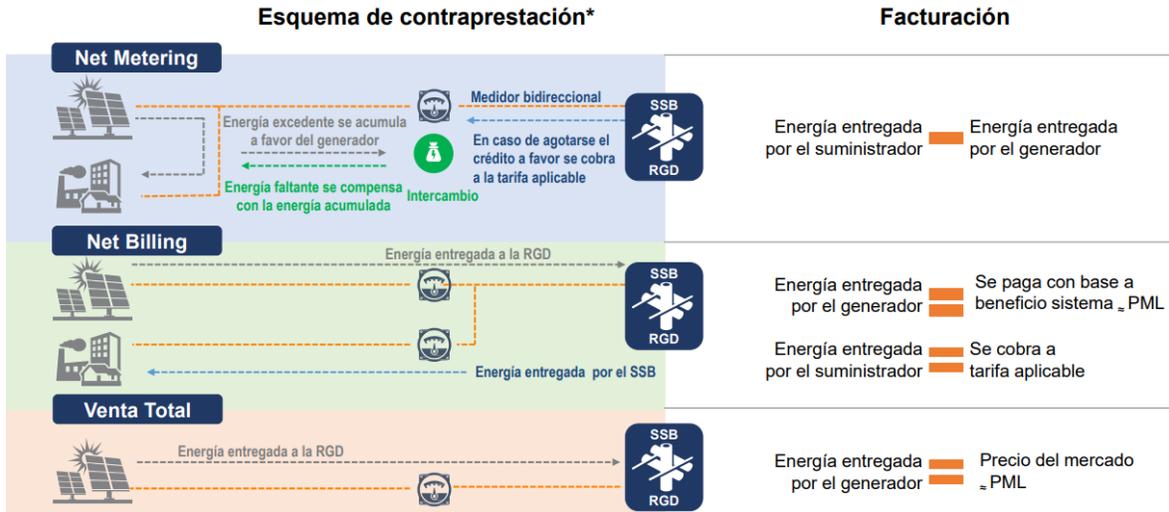


Figura 3.27 Modelos de contraprestación

Fuente: Comisión Reguladora de Energía (CRE).

3.7 Cálculo de conductores del circuito

Para realizar una selección más adecuada de los conductores eléctricos a utilizar, se divide el circuito de instalación en secciones, los cuales, dependiendo sus características de potencia, tensión y corriente, se podrá seleccionar de forma adecuada el conductor para realizar una instalación eficiente. Ver Figura 3.28.

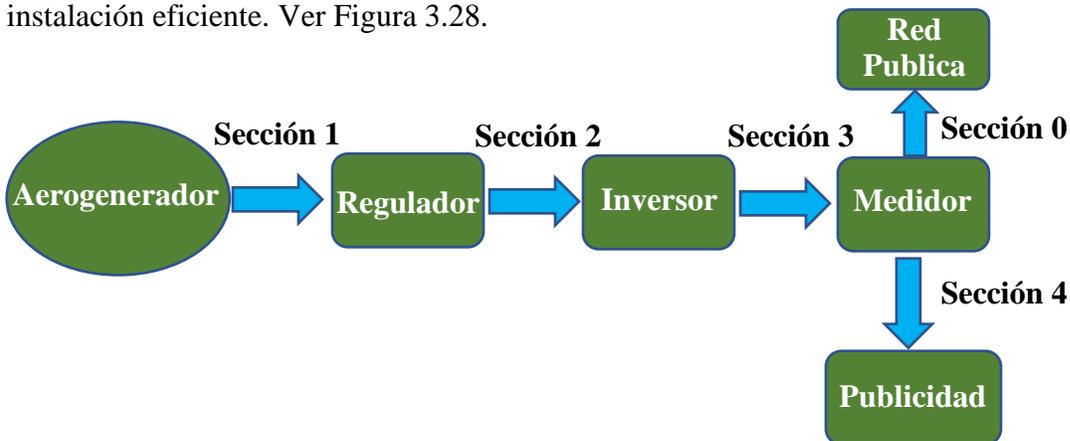


Figura 3.28 Secciones de la instalación del proyecto

Sección 1: Del aerogenerador a la base del soporte y a la entrada del regulador, 23 m.

Sección 2: De la salida del regulador a la entrada del inversor, 2m.

Sección 3: De la salida del inversor a la entrada del medidor bidireccional, 7m.

Sección 4: Del medidor bidireccional a la pantalla publicitaria, 5 m.

Sección 0: Esta sección no corresponde a calcular un conductor eléctrico ya que la instalación de esta la realiza directamente la compañía suministradora.

Sección 1: Se tiene una longitud de 23 m, con una potencia máxima generada de 2000 W, la velocidad promedio del lugar de la instalación (2.77 m/s) y una tensión de 100 Vca, cómo la distancia no es muy grande, calcularemos el calibre del conductor con una caída de tensión permitida del 2%. Ver figura 3.29.

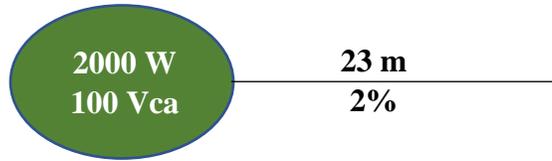


Figura 3.29 Caída de tensión en el tramo 1

Para calcular la sección de un conductor eléctrico se tiene la ecuación siguiente:

$$S = \frac{2 * P * L}{e * E * \gamma_{\theta}} \quad (3.11)$$

Donde:

S = Conductividad el conductor

L = Longitud del conductor [m]

P = Potencia [W]

E = Tensión [V]

e = Caída de tensión máxima permisible [V] = $24 * 0.02 = 0.48$ V

γ_{θ} = Conductividad del conductor [$m / (\Omega * mm^2)$] = 59

Sustituyendo datos:

$$S = \frac{2 * 2000 \text{ W} * 23 \text{ m}}{0.48 \text{ V} * 100 \text{ V} * 59} = 32.49 \text{ mm}^2 \quad (3.12)$$

Calculando la corriente se tiene que:

$$I = \frac{P}{E \cos \vartheta} \quad (3.13)$$

I = Corriente [A]

P = Potencia [W]

E = Tensión [V]

$\cos \vartheta$ = Factor de potencia

Para dichos cálculos se tomará un factor de potencia de 0.9.

Sustituyendo valores en la ecuación 3.13, tenemos:

$$I = \frac{2000 \text{ W}}{100 \text{ V} * 0.9} = 22.22 \text{ A} \quad (3.14)$$

De acuerdo con los cálculos descritos anteriormente, y en base a la Tabla 310-15(b)(16) de la NOM-001-SEDE-2012 ^[45], ver figura 3.30, el conductor a seleccionar para la sección 1

será uno de calibre 12 AWG o en su defecto también se puede emplear un calibre 10 AWG, dependiendo cuál de estos sea más factible económicamente.

Para el resto de las secciones (Sección 2,3,4) ya no se tiene una caída de tensión ya que es son distancias demasiado cortas, por lo que el calibre a utilizar en estas secciones será del mismo tipo que el utilizado para la sección 1, economizando así, el uso de este material.

Tabla 310-15(b)(16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Véase la tabla 310-104(a)]					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
mm ²	AWG o kcmil			TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THHW-LS, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2			
		TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THHW-LS, THW, THW-LS, THWN, XHHW, USE, ZW		TIPOS UF	TIPOS RHW, XHHW, USE	TIPOS SA, SIS, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
		COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE		
0.824	18**	—	—	14	—	—	—
1.31	16**	—	—	18	—	—	—
2.08	14**	15	20	25	—	—	—
3.31	12**	20	25	30	—	—	—
5.26	10**	30	35	40	—	—	—
8.37	8	40	50	55	—	—	—
13.3	6	55	65	75	40	50	55
21.2	4	70	85	95	55	65	75
26.7	3	85	100	115	65	75	85
33.6	2	95	115	130	75	90	100
42.4	1	110	130	145	85	100	115
53.49	1/0	125	150	170	100	120	135
67.43	2/0	145	175	195	115	135	150
85.01	3/0	165	200	225	130	155	175
107.2	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	195	230	260
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350
304	600	350	420	475	285	340	385
355	700	385	460	520	315	375	425
380	750	400	475	535	320	385	435
405	800	410	490	555	330	395	445
456	900	435	520	585	355	425	480
507	1000	455	545	615	375	445	500
633	1250	495	590	665	405	485	545
760	1500	525	625	705	435	520	585
887	1750	545	650	735	455	545	615
1013	2000	555	665	750	470	560	630

Figura 3.30 Tabla 310-15(b)(16) de la NOM-001-SEDE-2012 utilización

Fuente: NOM-001-SEDE-2012 utilización.

3.8 Cálculo de protecciones del circuito

Para proteger la instalación de un corto circuito o una sobrecarga es necesario implementar elementos de protección, que puedan cumplir con ambas funciones para desconectar la parte afectada del sistema.

Para esto se cuenta con una fórmula que nos permite conocer la corriente máxima que debe soportar la protección para garantizar un funcionamiento óptimo del circuito.

$$I_{\text{Protección}} = 1.25I_{\text{Carga continua}} \quad (3.15)$$

Se deja el margen de 25% para evitar disparos en falso de los interruptores termomagnéticos. Si el tiempo de operación es mayor o igual a 3 horas, se considera como “Carga de uso continuo o carga continua”.

El circuito tendrá instalados dos termomagnéticos, en la sección 1 y 4, uno en cada sección, puesto que el inversor “Phoenix” ya cuenta con un sistema de protección integrado, los elementos de protección se presentan a continuación:

Sección 1: De la ecuación 3.14 se conoce que la corriente en este tramo es de 22.22 A por lo que aplicando la ecuación 3.15, se tiene que:

$$I_{\text{Protección}} = 1.25 * 22.22 \text{ A} = 27.77 \text{ A} \quad (3.16)$$

El resultado anterior indica que un termomagnético de 28 A de capacidad de interrupción es suficiente para nuestro circuito, ya que por norma este valor no está estandarizado (artículo 240-6. Capacidades estandarizadas de fusibles e interruptores automáticos, de la NOM-001-SEDE-2012^[46], ver figura 3.31), se implementará una protección de 30 A para esta sección.

240-6. Capacidades estandarizadas de fusibles e interruptores automáticos.

a) **Fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo.** Los valores de corriente normalizados para los fusibles e interruptores automáticos de circuito de tiempo inverso, son: 15, 16, 20, 25, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 60, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 y 6000 amperes. Los valores en amperes estandarizados adicionales para fusibles deben ser de 1, 3, 6, 10 y 601. Se permitirá el uso de fusibles e interruptores automáticos de tiempo inverso con valores en amperes no estandarizados.

Figura 3.31 Artículo 240-6. Capacidades estandarizadas de fusibles e interruptores automáticos
Fuente: NOM-001-SEDE-2012 utilización.

Sección 4: En esta sección se desconoce la corriente demandada por el circuito por lo que se procede a calcularla. De la ecuación 3.13 se tiene que:

$$I = \frac{750 \text{ W}}{120 \text{ V} * 0.9} = 7.0 \text{ A} \quad (3.17)$$

Se consideran estos valores de potencia y tensión ya que son los parámetros de funcionamiento de la carga, en este caso la pantalla publicitaria seleccionada.

Calculando la protección tenemos:

$$I_{Proteccion} = 1.25 * 7.0 A = 8.7 A \quad (3.18)$$

De la misma forma que en la sección anterior se elegirá un termomagnético de 15 A que es el rango estandarizado más cercano.

3.9 Calculo pararrayos

Para el diseño del proyecto a instalar en la ZMVM es necesario colocar un pararrayos, para ello es necesario utilizar la NMX-J-549-ANCE-2005 “Sistemas de protección contra tormentas eléctricas, especificaciones, materiales y métodos de medición” [47].

La Norma tiene 3 partes fundamentales para ser aplicada, las cuales son:

- a) Valoración de riesgo
- b) Diseño del sistema externo de protección, SEPTE
- c) Diseño del sistema interno de protección, SIPTE.

El Sistema de protección contra tormentas eléctricas SPTE, está formado por el sistema SEPTE y el SIPTE.

3.9.1 Valoración de riesgo

Es una medición empírica, la cual estima, la probabilidad de incidencia de un rayo directo sobre una estructura tomando en cuenta la complejidad del fenómeno del rayo.

El diseño de un sistema de protección SPTE debe incluir la valoración de riesgo de la estructura contra la incidencia de un rayo directo, y esta valoración debe realizarse antes de definir las características y ubicación de los elementos constitutivos del sistema externo SEPTE. Los resultados de esta valoración de riesgo determinaran si es necesario o no instalar el sistema externo de protección SEPTE.

3.9.2 Frecuencia de rayos directos a una estructura.

La frecuencia anual promedio de rayos directos a una estructura (N_o), puede calcularse con la ecuación 3.19:

$$N_o = N_g \times A_e \times 10^{-6} \quad (3.19)$$

Donde:

N_o es la frecuencia anual promedio de rayos directos a una estructura;

N_g es la densidad promedio anual de rayos a tierra por km²;

Tabla 3.8. Latitud y longitud de las ubicaciones propuestas para la instalación del aerogenerador.

Ubicación	Latitud	Longitud
Av. Viaducto Pdte. Miguel Alemán	19.4031147	-99.1600978
Av. Río Consulado y Paseo de las palmas	19.4613763	-99.1608606

Fuente: Elaboración propia

Este dato servirá de referencia para obtener la densidad promedio anual de rayos a tierra por km^2 (N_g), el cual se podrá obtener con la ayuda del mapa promedio anual de densidad de rayos a tierra por estados, en este caso de la CDMX. Ver figura 3.34.

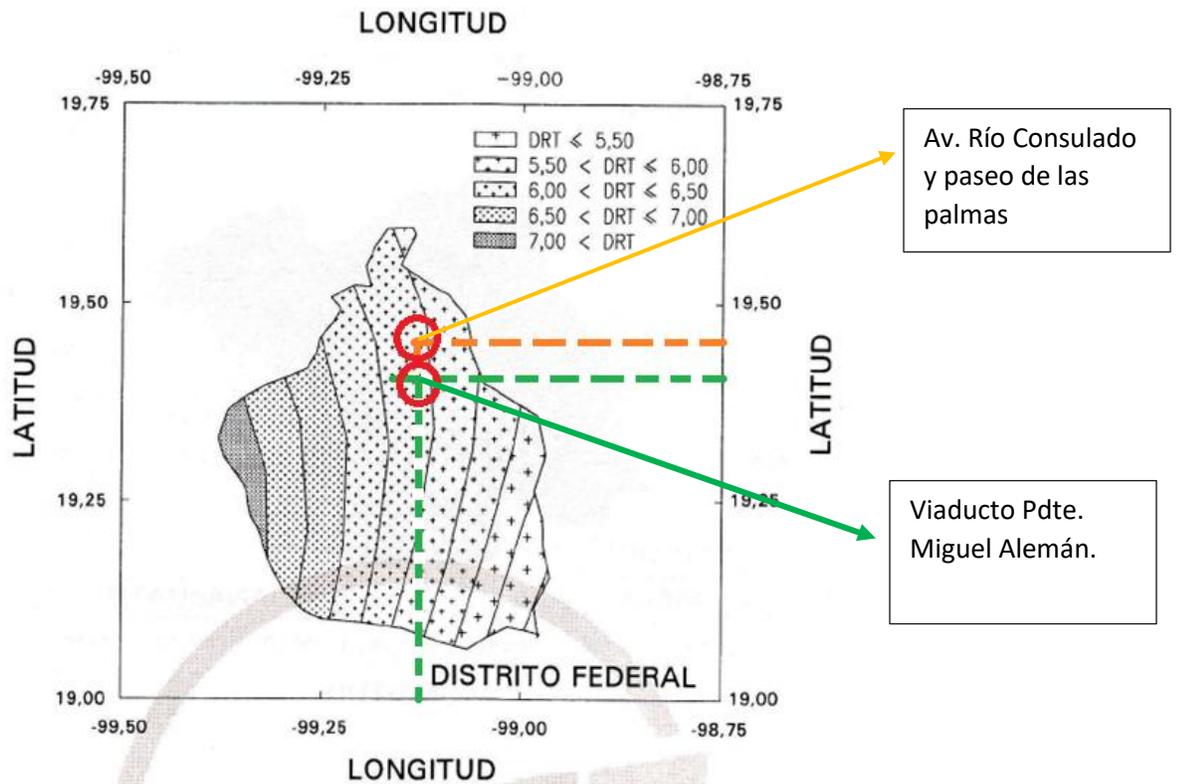


Figura 3.34 Obtención del dato de densidad de rayos a tierra

Fuente: NMX-J-549-ANCE-2005.

Como se puede observar en la Figura 3.34, se tiene marcadas ambas zonas propuestas y en cada una tenemos una densidad de rayos a tierra de $N_g = 6$ (rayos/ km^2 /año).

Ahora es necesario calcular el área equivalente de captura, la estructura se encuentra ubicada para ambas zonas en un terreno plano por lo tanto para el cálculo del área podemos utilizar la siguiente ecuación 3.20.

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \quad (3.20)$$

En donde:

A_e es el área equivalente de captura en m^2

a es la longitud de uno de los lados de la estructura, en m

b es la longitud del otro lado de la estructura, en m y

h es la altura de la estructura en m

Las dimensiones que presenta nuestro proyecto se tomaran en conjunto, es decir, con todos los equipos y el aerogenerador ya instalados. Ver tabla 3.9.

Tabla 3.9. Dimensiones del proyecto a instalar.

Altura	Longitudes de los lados de la estructura	
	Largo	Ancho
21,4 m	5 m	1.5 m

Fuente: Elaboración propia

Se toma una altura de 21,4 m, ya que son 20 m del poste hidráulico a instalar más 1,4 m de la altura de nuestro aerogenerador a utilizar.

Sustituyendo en la ecuación 3.21, tenemos:

$$A_e = (5m)(1.5m) + 6(21,4m)(5 + 1.5) + 9\pi(21,4m)^2 = 13790.61 m^2 \quad (3.21)$$

Ya obteniendo la densidad de rayos a tierra (N_g) y el área equivalente de captura (A_e) en la ecuación 3.22 obtenemos:

$$N_o = 6 (\text{rayos}/\text{km}^2/\text{año}) \times 13790.61 m^2 \times 10^{-6} = 0.0827 \quad (3.22)$$

3.9.4 Frecuencia anual permitida de rayos a una estructura.

La frecuencia anual permitida de rayos a una estructura N_d es el riesgo permitido de incidencia de rayo directo a una estructura de acuerdo con el tipo de estructura, uso y contenido, que se definen en la Tabla 1.- Frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre estructuras comunes. Ver anexos.

Debido a que no hay un dato exacto para el tipo de estructura que utilizaremos, se tomara como una Residencia ya que contamos con instalación eléctrica, equipos y materiales de la estructura, es decir, que la frecuencia anual permitida N_d de rayos para nuestra estructura será de: $N_d = 0.04$.

3.9.5 Evaluación de la necesidad de protección

Una vez estimado el valor N_o debe compararse con el valor de la frecuencia media anual permitida N_d para evaluar la necesidad de protección, considerando lo siguiente.

- Si N_o (estimado) es $\leq N_d$, el SEPTE es opcional.

Esta condición significa que el SEPTE puede o no instalarse. Sin embargo, debe considerarse que, aun cuando el riesgo estimado sea menor que el riesgo permitido, existe posibilidad de que un rayo incida sobre la estructura que no cuenta con un SEPTE.

b) Si N_o (estimado) es $> N_d$, debe instalarse un SEPTE.

Al realizar la comparación de nuestro N_o (estimado) con el N_d permitido, obtenemos que:

$N_o = 0.0827 > N_d = 0.04$ por lo tanto, es necesario colocar un SEPTE.

La selección del nivel de protección a utilizarse en el diseño para la ubicación y altura de las terminales áreas depende del tipo y uso de la estructura.

Cuando se instale un sistema externo de protección SEPTE, la protección debe ser integral, por lo que en cualquier caso debe instalarse un sistema interno de protección SIPTE, independientemente del tipo de estructura y su contenido.

3.10 Diseño del sistema externo de protección SEPTE.

Los elementos que conforman a un SEPTE son los siguiente:

- Terminales áreas,
- Conductores de bajada, y
- Sistema de puesta a tierra.

El número y ubicación de las terminales aéreas de un SEPTE dependen del nivel de protección seleccionado y de la aplicación del método de la esfera rodante.

El número y ubicación de los conductores de bajado dependen del tipo de sistemas de protección selecciona, que puede ser aislado o no aislado.

El número de los electrodos de puesta a tierra (ya sea individual o en arreglo) es el que determina el cumplimiento del valor de resistencia a tierra.

3.10.1 Método de la esfera rodante.

Consiste en rodar una esfera imaginaria sobre tierra, alrededor y por encima de la estructura a proteger, capaz de actuar como un punto de intercepción de la corriente de rayo. La esfera imaginaria debe rodarse desde el nivel de tierra hacia la estructura a proteger e instalar una terminal aérea en el primer punto de contacto con la estructura. Ver Figura 3.35.

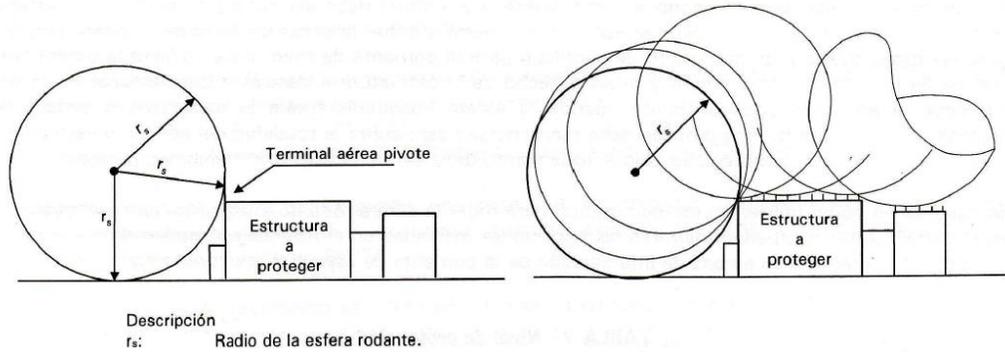


Figura 3.35 Aplicación del método de la esfera rodante para definir la altura y posición de las terminales aéreas de interceptación de rayo

Fuente: NMX-J-549-ANCE-2005.

La primera terminal aérea se conocerá como pivote, cuya altura debe ser suficiente para que la esfera no toque la estructura cuando ésta se apoye sobre tierra y sobre la punta de la terminal aérea pivote. Una vez determinado el primer punto de sacrificio para la corriente de rayo, debe rodarse la esfera por encima de la terminal aérea pivote y hacia el techo de la estructura e instalarse una terminal aérea de interceptación en todos aquellos puntos donde la esfera imaginaria toque la estructura.

Debido a que la estructura que nosotros utilizaremos no cuenta con un techo por el cual la esfera pueda continuar a rodar, solo se instalará una terminal aérea la cual estará ubicada en la parte más alta de la estructura, la cual es encima del aerogenerador.

El radio de la esfera rodante r_s se indica en la tabla 3.10. Este radio se selecciona de acuerdo con el nivel de protección, como ya se había mencionado la estructura a instalar será tomada como una residencia ya que tenemos daño a instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura, por lo tanto, el nivel de protección será de III o IV. Ver anexos.

Tabla 3.10. Altura de las terminales aérea verticales de acuerdo con el nivel de protección para el método de la esfera rodante.

Nivel de protección	Radio de la esfera rodante r_s y su correspondiente valor corriente de rayo I		Altura de la terminal aérea a partir del plano a proteger (h)
	r_s (m)	I (kA)	m
III	45	10	≤ 45
IV	60	16	≤ 60

Fuente: NMX-J-549-ANCE-2005.

Debido a que se cuenta con dos niveles de protección, se puede seleccionar cualquiera, para este caso se utiliza el nivel de protección IV, el cual es el más alto, esto simplemente para tener un radio mayor de protección y su correspondiente de rayo.

3.10.2 Selección de los pararrayos.

Por norma ^[48] la altura de las terminales aéreas está limitada a 3 m por encima de la estructura a proteger, considerando el radio de diseño con el que se cuenta, se propone para la instalación puntas franklin de 60 cm de alto, compuesta de material de cobre con una sección transversal de 35 mm². Como ya se había mencionado para el cálculo del número de terminales aéreas y su ubicación no será necesario considerar instalar terminales horizontales alrededor de la estructura, ya que aplicando el método de la esfera solo toca la parte más alta de la estructura, la cual es donde se encuentra el aerogenerador montado.

3.10.3 Selección de los conductores de bajada.

Se considerará un conductor de bajada para la única terminal aérea que tenemos instalada. Se debe cuidar la curvatura del conductor de bajada sea mayor o igual a 200 mm, esto indicado en la Norma. Este debe ser desnudo (sin aislamiento) y su longitud es desde el punto de ubicación del elemento a evaluar a tierra, es decir 22 m. Y pueden ser de los siguientes materiales.

Tabla 3.11 Dimensiones mínimas de los conductores de bajada

Material	Conductor de bajada mm ²
Acero	50
Cobre	16
Aluminio	25

Fuente: NMX-J-549-ANCE-2005.

Por lo tanto, para la terminal aérea utilizaremos conductores de bajada de aluminio.

3.11 Sistema de puesta a tierra.

Debe utilizarse un sistema de puesta a tierra (SPT) que minimice los potenciales de paso y contacto para reducir riesgos de electrocución y la formación de arcos laterales entre las partes metálicas que pongan en peligro al personal y al equipo en la trayectoria de los conductores de bajada.

El SPT debe integrarse por un arreglo de 3 electrodos por cada conductor de bajada cuando éstos no se interconecten entre sí por medio de un conductor enterrado. Cuando los electrodos de puesta a tierra de los conductores de bajada se interconecten entre sí mediante un conductor enterrado puede utilizarse un arreglo de uno o más electrodos de puesta a tierra.

Con el fin de mantener la elevación de potencial del SPT a niveles seguros, se recomienda que el valor de la resistencia a tierra se mantenga en niveles no mayores que 10 Ω. Este valor de resistencia debe cumplirse para cada arreglo de 3 electrodos por conductor de bajada, cuando éstos no se encuentran interconectados.

3.11.1 Diseño del SPT.

Los factores que deben considerarse para el diseño de un SPT son:

- El estudio del terreno, resistividad.
- El área disponible.
- Los aspectos físicos, como obstrucciones, rocas y otros servicios o elementos enterrados.
- La agresividad del suelo sobre los materiales del SPT (corrosión).

Los arreglos prácticos para el SPT que pueden utilizarse dependen del espacio disponible y de las características eléctricas del suelo. En las figuras 3.36, 3.37 y 3.38 se muestran algunos arreglos típicos que pueden utilizarse como electrodos de puesta a tierra conectados a los conductores de bajada.

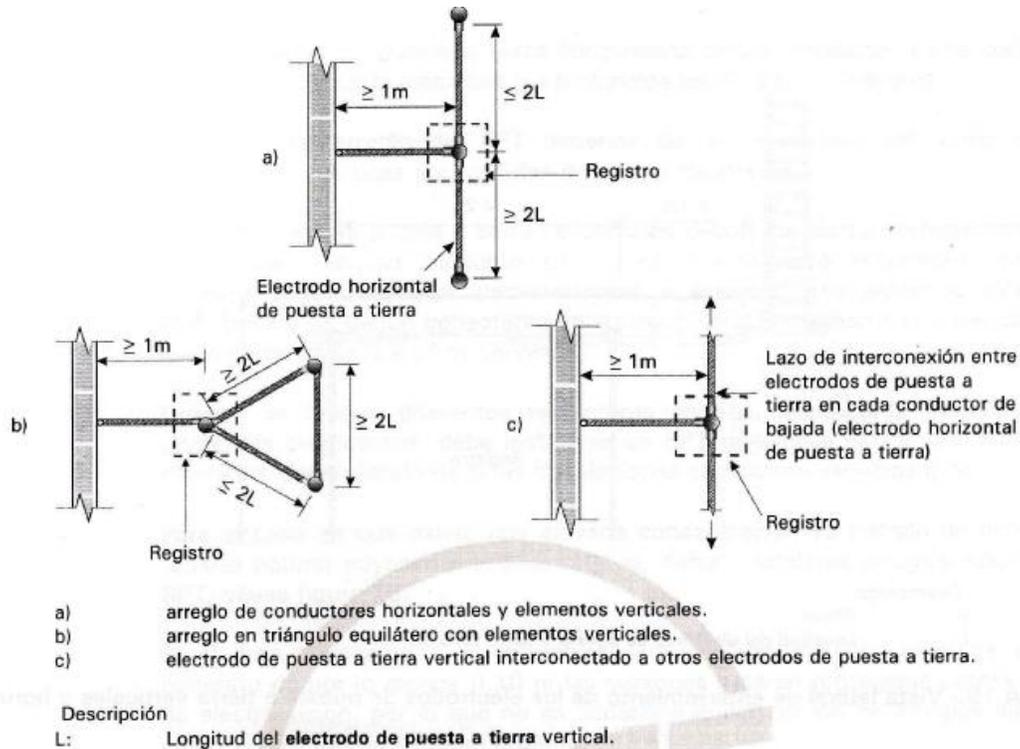
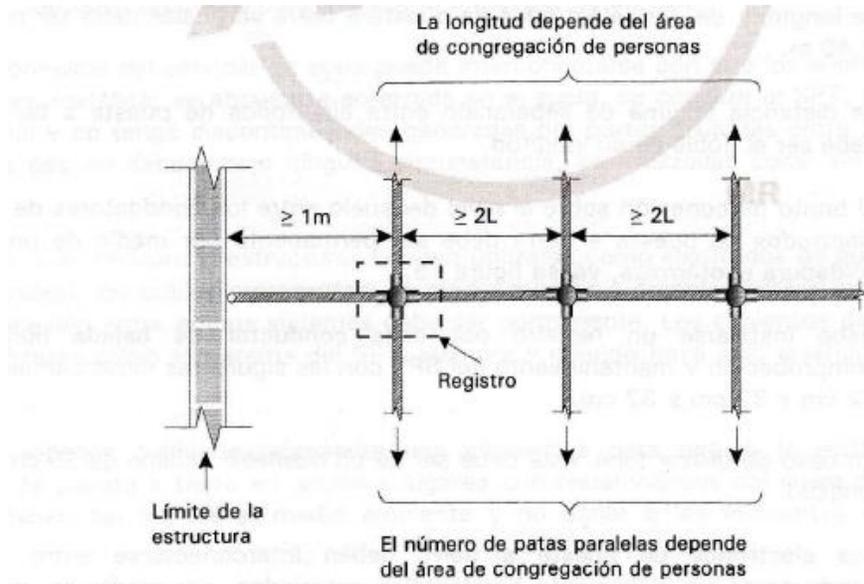


Figura 3.36 Vista planta de los arreglos típicos para formar el electrodo de puesta a tierra

Fuente: NMX-J-549-ANCE-2005.

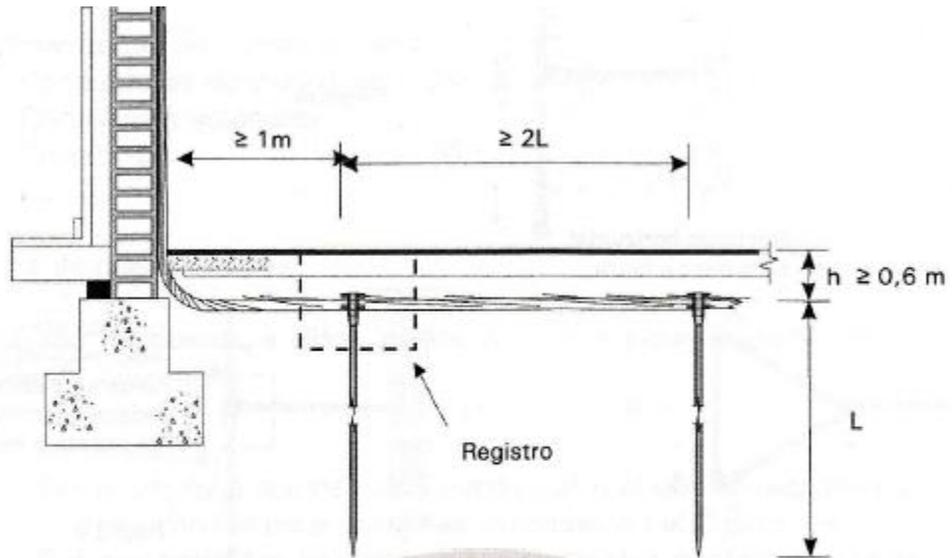


Descripción

L: Longitud del **electrodo de puesta a tierra vertical**.

Figura 3.37 Vista de planta del SPT recomendado para áreas de congregación de personas

Fuente: NMX-J-549-ANCE-2005.



Descripción

h: Altura.

L: Longitud del **electrodo de puesta a tierra vertical**.

Figura 3.38 Vista lateral de enterramiento de los electrodos de puesta a tierra verticales y horizontales

Fuente: NMX-J-549-ANCE-2005.

Debido a que se cuenta con un solo conductor de bajada, será necesario tener un arreglo de 3 electrodos, con las siguientes características:

- Longitud vertical de 2,40 m
- Distancia de separación entre electrodos de 4,80 m
- La conexión que se hace entre conductores de bajada y electrodos de puesta a tierra debe llevarse a cabo mediante un proceso de soldadura exotérmica
- Se debe instalar un registro por cada conductor de bajada, con las dimensiones de 32 cm x 32 cm x 32 cm.
- Los electrodos de puesta a tierra deben interconectarse entre sí mediante conductores desnudos horizontales enterrados. Ver figura 3.39.

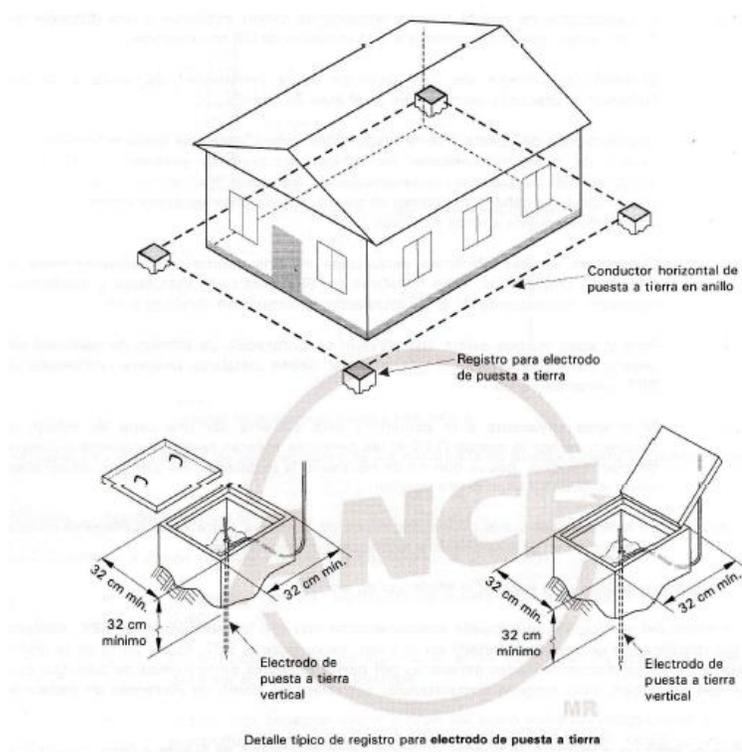


Figura 3.39 Diagrama de conexión de los electrodos de puesta a tierra mediante una trayectoria cerrada

Fuente: NMX-J-549-ANCE-2005.

- El valor de la resistencia en el diseño del arreglo del SPT debe ser menor o igual a 10 Ω .

Puede ser de los siguientes materiales. Ver tabla 3.12

Tabla 3.12 Material y dimensiones nominales de los electrodos de puesta a tierra.

Material	Configuración y dimensiones nominales mínimas	
Cobre	Cilíndrico sólido	53,5 mm ²
	Cintilla	Ancho x espesor 25 mm x 1,5 mm
	Tubo	diámetro interior 13 mm espesor de pared mínimo 1,8 mm
	Placa plana	500 mm x 500 mm Espesor mínimo 1,52 mm
	Lamina (arreglos)	0,25 mm ² Espesor mínimo 0,711 mm
	Cable trenzado	53,5 mm ²
Acero	Tubo galvanizado	Diámetro interior de 19 mm Espesor de pared mínimo 2,71 mm Espesor mínimo de recubrimiento 0,086 mm
	Placa plana galvanizada	500 mm x 500 mm Espesor mínimo de recubrimiento 0,086 mm Espesor mínimo de placa 6,4 mm
	Varilla de acero estirada en frío, con recubrimiento de cobre electrolítico	Diámetro de 14,3 mm mínimo y 15,5 mm máximo Espesor mínimo del recubrimiento 0,254 mm
	Varilla galvanizada	Diámetro de 13 mm mínimo y 25 mm máximo Espesor mínimo del recubrimiento 0,086 mm
Acero inoxidable	Cintilla o solera	Ancho x espesor 25 mm x 1,5 mm
	Varilla	Diámetro de 14,3 mm mínimo y 15,5 mm máximo
	Placa plana	500 mm x 500 mm Espesor mínimo de la placa 6,4 mm
	Lamina (arreglos)	0,25 mm ² Espesor mínimo 1,245 mm de la lámina

Fuente: NMX-J-549-ANCE-2005.

Para el arreglo diseñado ocuparemos Cobre cilíndrico sólido.

3.12 Diseño del SIPTE.

3.12.1 Unión equipotencial.

La UE es el procedimiento de control y seguridad mediante el cual se consigue la igualación de potenciales de todos o parte de los elementos metálicos de una instalación. Esta igualación se conseguirá mediante la conexión de un punto común para dichos elementos.

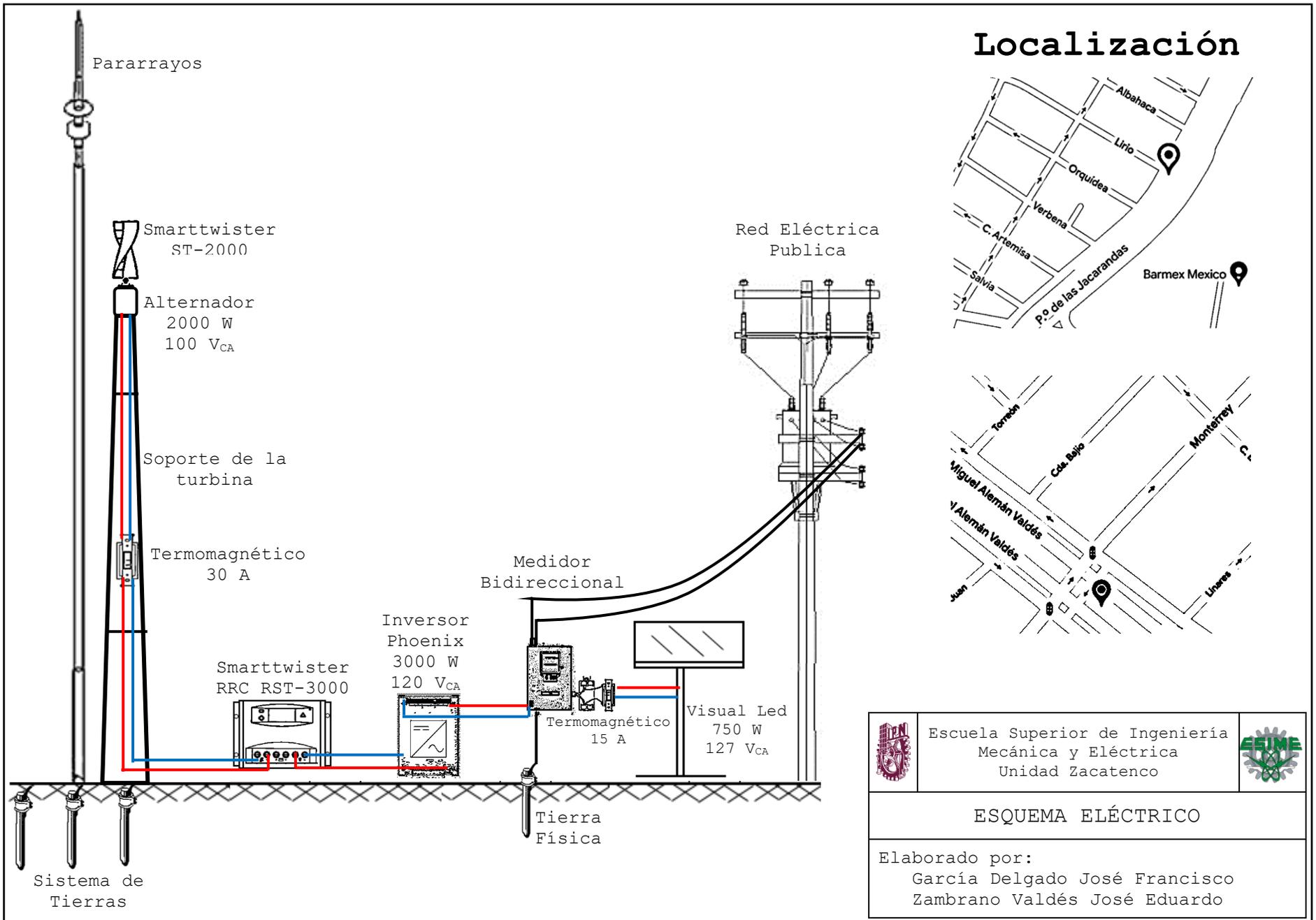
Para obtener la UE es necesario:

- Conductores de unión: Para nuestro diseño utilizaremos conductores de unión de cobre con una sección transversal de 16 mm^2
- Barras de unión: Estas serán una placa solida de cobre con un ancho de 200 mm y 6,35 mm de espesor, se elige cobre por su pureza de 99.9% además que se trata de un material resistente a la corrosión.
- Supresores de sobretensiones transitorias: Estas no serán necesario ya que el equipo que se utiliza está protegido por nuestro sistema de tierra, y aparte no se manejan picos de tensiones grandes que puedan dañar a los mismos.

Para el servicio que brindamos se recomienda tener un punto común de entrada o salida para facilitar la UE a través de barras de unión y con el sistema a tierra, como se muestra en el Diagrama eléctrico y unifilar.

Finalmente, los elementos de unión equipotencial que se llevarán a cabo para nuestra estructura serán atornillados y se debe tener una protección contra la corrosión.

3.13. Esquema eléctrico



Capítulo 4 Estudio económico

En el penúltimo capítulo de este trabajo se presentan los permisos y costos que se proyecta tendrá esta propuesta, realizando una cotización de cada elemento que integra la instalación, realizando una comparación de costos entre la alimentación tradicional por parte de CFE y la alimentación con el aerogenerador propuesto, para de esta forma determinar el tiempo de recuperación de la inversión del proyecto y concluir la viabilidad de este.

4.1 Permiso para construir en la CDMX

Este documento es expedido por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda o la Alcaldía a los solicitantes para poder construir, ampliar, modificar, reparar, instalar, demoler, desmantelar una obra o instalación, colocar tapial, excavar cuando no sea parte del proceso de construcción de un edificio, así como para realizar estas actividades en suelo de conservación.

Expedición de Licencia para: Instalaciones subterráneas, aéreas o sobre superficie, de Demolición del pavimento o cortes en la banquetta y guarniciones en vía pública.

4.1.1 Costos

De acuerdo con el Código Fiscal de la CDMX artículo 186.

Artículo 186.- Por la expedición de licencias de construcción especial, se pagarán derechos de acuerdo a las cuotas que a continuación se establecen:

- a) Excavaciones, rellenos, romper pavimento o hacer cortes en las banquetas y guarniciones de la vía pública, con un ancho de:

(Reformado en su cuota, g.o. 31 de diciembre de 2018)

1. De más de 40 cm de ancho por cada metro cuadrado \$441.00

(Reformado, g.o. 31 de diciembre de 2018)

- b) Por cada poste de hasta 40 cm de diámetro \$860.00 ^[40]

4.2 Mantenimiento preventivo y correctivo

Es necesario llevar a cabo un seguimiento del funcionamiento del aerogenerador, para poder detectar las fallas que pudiera tener a lo largo de su uso y poder darles solución en el menor tiempo posible.

Las principales acciones de mantenimiento preventivo y correctivo son:

- Limpieza a las aspas y verificar que no existan grietas en las mismas.
- Reparación de las canalizaciones.

- Revisar que el cableado se encuentre en condiciones optimas y no exista flameo entre ellas.
- Reparación de pequeñas averías.

El aerogenerador estara montado en un poste hidraulico de 20 m de altura, ya que con este tipo de poste se podrá tener un mejor acceso a las partes del aerogenerador sin la necesidad de contratar una grua, teniendo un ahorro de dinero.

A continuación se realizarn unas recomendaciones para mantener el equipo en condiciones optimas.

Después del primer mes realizar las siguientes acciones.

- Limpiar las palas de rebabas y muescas, retirar toda la suciedad que afecte su funcionamiento. Evita el uso de productos abrasivos.
- Asegurarse que todas las conexiones mecánicas esten bien apretadas, si alguna esta floja asegurarla con la herramienta adecuada.
- Revisar todas las conexiones eléctricas y asegurar de que esten apretadas.
- Revisar que la torre este correctamente de manera vertical sin inclinaciones para que pueda operar de manera optima.
- Verificar que la toma a tierra este en buenas condiciones. ^[41]

El costo del mantenimiento se estima del 1.5 al 2 por ciento de la inversión inicial de la turbina. Es decir que si se trata del 1.5 tendría un costo de \$1,442.26 y en caso de que sea el 2 se tiene un costo de \$1,923.01. Este costo se tomara cada 2 años. ^[42]

4.3 Costo de Instalación

El costo total de la instalación será calculado respecto a diferentes etapas, como se muestra a continuación.

- Costo de Obra civil.
- Costo de equipamiento y materiales.
- Costo de Instalación eléctrica (mano de obra).

4.3.1 Costo de obra civil

Los costes de obra civil incluyen las cimentaciones, el firme y los permisos necesarios para poder construir en la CDMX.

Las cimentaciones normalmente cuestan entre \$1,800 y \$2,000 pesos por metro cuadrado.

Para nuestro caso ya que el poste tiene un diametro de 40 cm y será colocado en una superficie de 0.60 m x 0.60 m, dando un total de 0.36 m².

Por lo tanto para la cimentación del poste tendrá un costo de:

- $0.36 \text{ m}^2 \times \$2,000$ por metro cuadrado = **\$720.00 M.N.**
- Un costo de **\$860.00** por el permiso del poste.
- El costo del permiso será: $0.36 \text{ m}^2 \times \$441.00 =$ **\$158.76**

Igual será necesario colocar un espacio donde puedan estar los demás componentes del sistema, este espacio llamado “firme” tiene un costo de \$250.00 M.N por metro cuadrado, por lo tanto, se tendrá un espacio con las siguientes medidas:

- Ancho: 0.90 m
- Largo: 4 m

Con esto tenemos que el área del firme será de:

$$0.90 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 3.6 \text{ m}^2$$

Dando un costo total de : $3.6 \text{ m}^2 \times \$250.00 \text{ M.N./m}^2 =$ **\$900.00 M.N.**

El costo del permiso por el firme será: $3.6 \text{ m}^2 \times \$441 =$ **\$1,587.60**

La mano de obra se tomara de la siguiente forma.

Se toma un pago de \$500.00 al día por obrero.

El período de realización de la cimentación será de 7 días, es decir que se realizará un pago de \$3,500.00 M.N de mano de obra por trabajador, y ya que se tienen 2 el pago por mano de obra será de **\$7,500.00 M.N.**

Teniendo un costo de obra civil de **\$11,726.36 M.N.** ^[43]

4.3.2 Costo de equipamiento y materiales

Para esta parte, se desglosara el costo de todo el equipo que se utilice para la instalación del proyecto.

En la tabla 4.1 se muestran los costos que tiene cada equipo a utilizar para el proyecto.

Tabla 4.1. Costo del equipo y materiales a utilizar.

Equipo	Costo \$M. N	Cantidad	Total \$M. N.
Aerogenerador	\$96,150.82	1 pza.	\$96,150.82
Rectificador	\$16,656.95	1 pza.	\$16,656.95
Paena	\$6,586.21	1 pza.	\$6,586.21
Inversor	\$27,718.36	1 pza.	\$27,718.36

Conductor 12AWG	\$1,246.36	2 cajas.	\$2,492.72
Termomagnético	\$363.93	2 pzas.	\$727.86
Poste 20m hidráulico	\$75,856.90	1 pza.	\$75,856.90
Gabinete	\$5,630.87	2 pzas.	\$11,261.74
Punta pararrayo Tipo Franklin de 60 cm de alto	\$2,262.03	1 pza.	\$2,262.03
Conductor de bajada de aluminio	\$562.80	25 m.	\$562.80
Electrodo puesta a tierra de cobre cilíndrico solido	\$300.59	3 pzas.	\$901.77
Barra de unión equipotencial	\$410	6 m.	\$2,460.00
Materiales y equipo de trabajo			\$24,363.816
TOTAL			\$268,001.98

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Costo de instalación eléctrica (mano de obra)

Al sumar el costo total del equipo a utilizar, se obtiene la cantidad de **\$268,001.98** por lo que se deduce que cantidad puede cobrar el instalador, al cotizar desde el 5% hasta el 30% de dicha cantidad. Ver Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Costo de instalación eléctrica.

%	Costo por instalación Eléctrica (\$) M.N.
5	\$13,400.10
10	\$26,800.20
15	\$40,200.30
20	\$53,600.40
25	\$67,000.50
30	\$80,400.60

Fuente: Elaboración propia.

Tomaremos un 20% de la mano de obra para este proyecto.

4.4 Costo Total del proyecto

El costo total del proyecto se calculará con base, en el costo de la obra civil, costo del equipo a utilizar y costo de la instalación eléctrica. Ver Tabla 4.3

Tabla 4.3. Costo total del proyecto.

Costos	(\$ M.N.)
Obra civil	\$11,726.36
Equipo a utilizar	\$268,001.98
Instalación eléctrica (mano de obra)	\$53,600.40
Total	\$333,328.74

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1 Beneficios fiscales

En la Ley del Impuesto Sobre la Renta (LISR) Artículo 34 fracción XIII, se menciona lo siguiente.

Artículo 34. Los por cientos máximos autorizados, tratándose de activos fijos por tipo de bien son los siguientes:

XIII. 100% para maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables o de sistemas de cogeneración de electricidad eficiente.

Son fuentes renovables aquellas que por su naturaleza o mediante un aprovechamiento adecuado se consideran inagotables, tales como la energía solar en todas sus formas; la **energía eólica**; la energía hidráulica tanto cinética como potencial, de cualquier cuerpo de agua natural o artificial; la energía de los océanos en sus distintas formas; la energía geotérmica y la energía proveniente de la biomasa o de los residuos. Asimismo, se considera generación la conversión sucesiva de la energía de las fuentes renovables en otras formas de energía.

Lo dispuesto en esta fracción será aplicable siempre que la maquinaria y equipo se encuentren en operación o funcionamiento durante un periodo mínimo de **5 años inmediatos siguientes al ejercicio en el que se efectúe la deducción**, salvo en los casos a que se refiere el artículo 37 de esta Ley. Los contribuyentes que incumplan con el plazo mínimo establecido en este párrafo, deberán cubrir, en su caso, el impuesto correspondiente por la diferencia que resulte entre el monto deducido conforme a esta fracción y el monto que se debió deducir en cada ejercicio en los términos de este artículo o del artículo 35 de esta Ley, de no haberse aplicado la deducción del 100%. Para estos efectos, el contribuyente deberá presentar declaraciones complementarias por cada uno de los ejercicios correspondientes, a más tardar dentro del mes siguiente a aquél en el que se incumpla con el plazo establecido en esta fracción, debiendo cubrir los recargos y la actualización correspondiente, desde la fecha en la que se efectuó la deducción y hasta el último día en el que operó o funcionó la maquinaria y equipo.^[44]

Esto quiere decir que cuando la empresa que invierta en este proyecto haga su declaración de impuestos anual, en esta se vera reflejado una reducción del pago de sus impuestos el cual será solo el equivalente a la maquinaria utilizada para la generación de energías limpias.

4.4.2 Recuperación de la inversión

Para calcular la recuperación de la inversión utilizaremos el método PAYBACK, el cual consiste en sumar todos los flujos de efectivo hasta que se iguale con la inversión inicial.

El tiempo de duración de nuestro proyecto es de 25 años, pero se calcula la recuperación en un periodo de 20 años, por cualquier imprevisto que se pueda tener.

Para este método se utilizaron promedios de los pagos que realizara la empresa así como su consumo mensual, ya que esos datos no los podemos obtener hasta tener el proyecto instalado. Ver tabla 4.4.

Tabla 4.4. Costo de la energía conectado a la red de CFE y ahorro anual por zona.

Periodo (mensual)	Consumo de energía mensual KW/h	Pago total al mes tarifa CFE azcapotzalco 1.980	Pago total al mes tarifa CFE cuauhtemoc 1.866
1	180.00	\$1,641.37	\$1,395.70
2	180.00	\$1,641.37	\$1,395.70
3	180.00	\$1,641.37	\$1,395.70
4	180.00	\$1,641.37	\$1,395.70
5	180.00	\$1,641.37	\$1,395.70
6	180.00	\$1,641.37	\$1,395.70
7	180.00	\$1,641.37	\$1,395.70
8	180.00	\$1,641.37	\$1,395.70
9	180.00	\$1,641.37	\$1,395.70
10	180.00	\$1,641.37	\$1,395.70
11	180.00	\$1,641.37	\$1,395.70
12	180.00	\$1,641.37	\$1,395.70
Total (Anual)	2160.00	\$19,696.44	\$16,748.40
Ahorro Anual	51.30%	\$10,104.27	\$8,591.93
Pago de energía anual		\$9,592.17	\$8,156.47

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla se tiene un consumo de 180 KW/h al mes, el cual tiene un costo diferente para cada zona en donde se quiera instalar el proyecto, en la cuarta y ultima columna observamos el pago mensual que debe realizar la empresa por el uso de la energía

de CFE (este dato fue obtenido de la pagina oficial de tarifas de la CFE) y en la fila del ahorro anual observamos el ahorro que tendra la empresa, dandonos así en la ultima fila el pago promedio que debera realizar la empresa ya con nuestro proyecto funcionando.

Tarifa Gran demanda en baja tensión

Esta es para consumos mayores a 25 KW-mes, es por eso que es aplicable para nuestro proyecto. ^[49]

Para poder observar el costo del kilowatt para las diferentes zonas fue necesario entrar a la pagina de CFE. A continuación se mostrara en una tabla el costo por KW/h y dependiendo la zona en la que se relize el proyecto. Ver Tabla 4.5

Tabla 4.5. Costo del KW/h por zona.

Zona	Costo \$/KWh
Azcapotzalco	\$1.980
Cuauhtémoc	\$1.866

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas 4.6 y 4.8 ya observaremos la recuperación de la inversión, por zona.

Tabla 4.6. Recuperación de la inversión en la Alcaldía Azcapotzalco.

Periodo (años)	Inversión inicial	Mantenimiento	Ahorro anual Azcapotzalco 51,3%	Beneficios fiscales (solo por 5 años)
0	-\$333,328.74	\$0.00	\$0.00	\$0.00
1	-\$333,328.74	-\$1,923.01	\$10,104.27	\$53,600.40
2	-\$271,547.08	\$0.00	\$10,104.27	\$53,600.40
3	-\$207,842.41	-\$1,923.01	\$10,104.27	\$53,600.40
4	-\$146,060.75	\$0.00	\$10,104.27	\$53,600.40
5	-\$82,356.08	-\$1,923.01	\$10,104.27	\$53,600.40
6	-\$20,574.42	\$0.00	\$10,104.27	\$0.00
7	-\$10,470.15	-\$1,923.01	\$10,104.27	\$0.00
8	-\$2,288.88	\$0.00	\$10,104.27	\$0.00
9	\$7,815.39	-\$1,923.01	\$10,104.27	\$0.00
10	\$15,996.65	\$0.00	\$10,104.27	\$0.00
11	\$26,100.93	-\$1,923.01	\$10,104.27	\$0.00
12	\$34,282.19	\$0.00	\$10,104.27	\$0.00
13	\$44,386.46	-\$1,923.01	\$10,104.27	\$0.00
14	\$52,567.73	\$0.00	\$10,104.27	\$0.00

15	\$62,672.00	-\$1,923.01	\$10,104.27	\$0.00
16	\$70,853.27	\$0.00	\$10,104.27	\$0.00
17	\$80,957.54	-\$1,923.01	\$10,104.27	\$0.00
18	\$89,138.80	\$0.00	\$10,104.27	\$0.00
19	\$99,243.08	-\$1,923.01	\$10,104.27	\$0.00
20	\$107,424.34	\$0.00	\$10,104.27	\$0.00

Fuente: Elaboración propia.

Recordemos que los beneficios fiscales corresponden al 100 % de la maquinaria y equipo a utilizar, es decir que se saca una costo por año, como se observa en la tabla 4.7.

Tabla 4.7. Deducción anual correspondiente al costo de equipos y materiales.

Costo de equipo	\$268,001.98
Deducción anual 5 Años	\$53,600.40

Fuente: Elaboración propia.

El periodo de recuperación para Azcapotzalco es entre el año 8 y 9, ya que en el año 8 faltaban \$2,288.88 para recuperar la inversión y en el año 9 la cifra ya es positiva indicando un beneficio de \$7,815.39

$$12 \text{ meses} - - - \$10,104.27$$

$$X \text{ meses} - - - \$2,288.88$$

$$X \text{ meses} = \frac{12 \times 2,288.88}{10,104.27} = 2.27$$

Es decir que el plazo de recuperación de la inversión es de 8 años y 2 meses

Tabla 4.8. Recuperación de la inversión en la Alcaldía Cuauhtémoc.

Periodo (años)	Inversión inicial	Mantenimiento	Ahorro anual Cuauhtemoc 51,3%	Beneficios fiscales (solo por 5 años)
0	-\$333,328.74	\$0.00	\$0.00	\$0.00
1	-\$333,328.74	-\$1,923.01	\$8,591.93	\$53,600.40
2	-\$273,059.42	\$0.00	\$8,591.93	\$53,600.40
3	-\$210,867.10	-\$1,923.01	\$8,591.93	\$53,600.40
4	-\$150,597.78	\$0.00	\$8,591.93	\$53,600.40
5	-\$88,405.46	-\$1,923.01	\$8,591.93	\$53,600.40

6	-\$28,136.14	\$0.00	\$8,591.93	\$0.00
7	-\$19,544.21	-\$1,923.01	\$8,591.93	\$0.00
8	-\$12,875.30	\$0.00	\$8,591.93	\$0.00
9	-\$4,283.37	-\$1,923.01	\$8,591.93	\$0.00
10	\$2,385.55	\$0.00	\$8,591.93	\$0.00
11	\$10,977.48	-\$1,923.01	\$8,591.93	\$0.00
12	\$17,646.40	\$0.00	\$8,591.93	\$0.00
13	\$26,238.33	-\$1,923.01	\$8,591.93	\$0.00
14	\$32,907.25	\$0.00	\$8,591.93	\$0.00
15	\$41,499.18	-\$1,923.01	\$8,591.93	\$0.00
16	\$48,168.10	\$0.00	\$8,591.93	\$0.00
17	\$56,760.03	-\$1,923.01	\$8,591.93	\$0.00
18	\$63,428.95	\$0.00	\$8,591.93	\$0.00
19	\$72,020.88	-\$1,923.01	\$8,591.93	\$0.00
20	\$78,689.79	\$0.00	\$8,591.93	\$0.00

Fuente: Elaboración propia.

El periodo de recuperación para Cuauhtemoc es entre el año 9 y 10, ya que en el año 9 faltaban \$4,283.37 para recuperar la inversión y en el año 10 la cifra ya es positiva indicando un beneficio de \$2,385.55

$$12 \text{ meses} - - - \$8,591.93$$

$$X \text{ meses} - - - \$4,283.37$$

$$X \text{ meses} = \frac{12 \times 4,283.37}{8,591.93} = 5.98 \text{ meses}$$

El plazo de recuperación de la inversión es de 10 años 6 meses

Capítulo 5 Conclusiones

En el presente trabajo se creó una propuesta que describe la instalación de un aerogenerador para la alimentación de publicidad, en dos puntos distintos de las principales vías públicas primarias del Valle de México, (Circuito Interior y Viaducto Pdte. Miguel Alemán), esto anterior gracias al análisis que se realizó de los flujos de viento que se presentan en la ZMVM, permitiendo determinar que las ubicaciones mencionadas, son las óptimas para poder llevar a cabo la instalación del proyecto.

Debido a la evaluación realizada de los diferentes tipos de aerogeneradores verticales, fue posible comparar y seleccionar el aerogenerador ST-2000, ya que su accionamiento requiere de brisas muy ligeras y se encuentra en los rangos de flujo de viento que se presentan en el Valle de México, proporcionando más potencia eléctrica que las demás alternativas analizadas, y su costo se encuentra dentro del rango promedio de turbinas de baja potencia.

Dicha propuesta permite un ahorro anual del 51.3% en el consumo de energía eléctrica de las pantallas digitales destinadas a publicidad, de esta forma se aprovecha el recurso eólico con el que cuenta la Ciudad de México respetando la normatividad aplicable para evitar que, en lugar de ser una alternativa, se convierta en un inconveniente para la locación.

A su vez, se investigó el tipo de publicidad exterior digital que ofrecen las agencias publicitarias, esto con el objetivo de definir el consumo eléctrico requieren estos dispositivos, para dejar en operación estos espacios publicitarios.

Debido a que este trabajo se encuentra enfocado al ámbito comercial, y con base, en la estimación de generación de energía, con relación al consumo de esta, así como, al periodo de recuperación de la inversión, y los beneficios fiscales que las empresas pueden obtener al utilizar energías renovables, se puede concluir que el proyecto es viable tanto en el punto técnico como en el económico.

Se espera que esta investigación sirva como precedente, para comenzar a utilizar de forma más constante este tipo de alternativas eólicas, para la alimentación de energía eléctrica en baja tensión, para que el aprovechamiento de este recurso crezca gradualmente, permitiendo un mayor desarrollo de estas tecnologías, así como, la aplicación en diferentes ámbitos, pasando desde lo comercial hasta lo residencial.

Referencias

- [1] "Energía eólica. Qué es, cómo funciona, ventajas y desventajas", factorenergia, 2018. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/ecur3> [Último acceso: 04- Nov - 2021].
- [2] Amdee.org. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/56pyg> [Último acceso 05- Nov - 2021].
- [3] K. García 18 de mayo de 2021, "Crecimiento eólico en México se frenará a partir del 2022", El Economista, 2021. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/l4mft> [Último acceso: 05- Nov - 2021].
- [4] ANTALA, 2019. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/kimp7> [Último acceso: 05- Nov - 2021].
- [5] "¿Cómo funciona un aerogenerador?", Autosolar.es, 2015. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/lyk3v> [Último acceso: 06- Nov - 2021].
- [6] "Partes del aerogenerador", Partesdel.com, 2017. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/tzxf> [Último acceso: 06- Nov - 2021].
- [7] "¿Qué es un aerogenerador y cómo funciona? | ACCIONA | BUSINESS AS UNUSUAL", Acciona.com. [En línea]. Disponible: https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/aerogeneradores/?_adin=02021864894. [Último acceso: 07 - Nov - 2021].
- [8] Cucó Pardillos, S., 2017. Manual de energía eólica. 1ª ed. Valencia: Universitat Politècnica De Valencia, pp.149-159.
- [9] "Impacto ambiental de la energía eólica | Ventajas y desventajas | ¿Es sustentable? - ExpokNews", ExpokNews, 2021. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/aj144> [Último acceso: 07- Nov - 2021].
- [10] "Componentes y aplicaciones de un sistema con aerogeneradores de minieólica", EcoInventos, 2022. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/h2csi> [Último acceso: 07- Nov - 2021].
- [11] "Capacítate para el empleo Curso de Técnico en instalación de energía eólica", Capacitateparaeempleo.org, 2022. [En línea]. Disponible: <https://capacitateparaeempleo.org/pages.php?r=.tema&tagID=11567&load=12411&brandID=capacitate>. [Último acceso: 07- Nov - 2021].
- [12] J. Gholguin, "Descripción de la zona metropolitana del Valle de México", *Paot.org.mx*. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/zl87q> [Último acceso: 05- Nov- 2021].
- [13] S. d. M. A. d. l. C. d. México, "Calidad del aire en la Ciudad de México, Informe 2018.," Dirección General de Calidad del Aire, Dirección de Monitoreo de Calidad del Aire., 2020. [Último acceso: 05- Nov- 2021].
- [14] [32] [33] J. N. O. K. James Diebel, "WeatherSpark.com," Cedar Lake Ventures, Inc., [En línea]. Disponible: <https://es.weatherspark.com/>. [Último acceso: 06- Nov- 2021].

- [15] Norma Mexicana, "NMX-R-058-SCFI-2012", Caisatech.net. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/26g73> [Último acceso: 06- Nov- 2021].
- [16] CityTroops, "¿Qué es OOH (Out Of Home) y DOOH (Digital Out Of Home)?", CityTroops Blog - Field workforce management and information processing, 2021. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/xrk8t> [Último acceso: 06- Nov- 2021].
- [17] P. IT, "Pantalla de señalización LED exterior | LG México", LG México, 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.lg.com/mx/business/externior-led-signage>. [Último acceso: 07- Nov- 2021].
- [18] J. Antezana Nuñez, "Diseño y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical.", Uv.es, 2004. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/wwagl>. [Último acceso: 07- Nov- 2021].
- [19] "Rotor Savonius - Wikipedia, la enciclopedia libre", Es.wikipedia.org, 2021. [En línea]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Rotor_Savonius. [Último acceso: 07- Nov- 2021].
- [20] Joanproject.weebly.com, 2016. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/ustwz> [Último acceso: 07- Nov- 2021].
- [21] "Tipos de Aerogeneradores Verticales y sus aplicaciones", LBA INDUSTRIAL, 2019. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/ustwz> [Último acceso: 12- Nov- 2021].
- [22] "Torres Para Aerogeneradores – Fabricantes de Torres para Aerogeneradores, Torres para Aerogeneradores Aeolos", Windturbinestar.com, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.windturbinestar.com/los-tipos-de-torre.html>. [Último acceso: 12- Nov- 2021].
- [23] [24] "Secretaría de Transportes y Vialidad. - Secretaría de Transportes y Vialidad", Web.archive.org, 2018. [En línea]. Disponible: http://www.setravi.df.gob.mx/reportajes/r_vialidades.html. [Último acceso: 21- Nov- 2021].
- [25] "Circuito Exterior Mexiquense | Sistema de Autopistas, Aeropuertos, Servicios Conexos y Auxiliares", Saascaem.edomex.gob.mx, 2019. [En línea]. Disponible: <https://saascaem.edomex.gob.mx/circuito-externior-mexiquense>. [Último acceso: 21- Nov- 2021].
- [26] "Rentable - Plan Impacto Total", Rentable.mx, 2021. [En línea]. Disponible: <http://rentable.mx/impactoTotal.php>. [Último acceso: 27- Nov- 2021].
- [27] "Aerogenerador ST-1000", Smarttwister.org, 2020. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/29be2> [Último acceso: 23- Dic- 2021].
- [28] "Aerogeneradores de eje Vertical 1kw-Aeolos Generadores Eolicos Verticales, 1kw Turbina Eolica", Windturbinestar.com, 2021. [En línea]. Disponible: <http://www.windturbinestar.com/1kw-Aerogenerador-Vertical.html>. [Último acceso: 24- Dic- 2021].
- [29] Aeolos V- Series. windturbinestar, 2020, pp. 2-4. E-mail: sales@windturbinestar.com [Último acceso: 24- Dic- 2021].

- [30] "Vision Air | Zazemli", Zazemli.com, 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.zazemli.com/project/v-air/>. [Último acceso: 25- Dic- 2021].
- [31] "HoYi - V-Air", V-Air, 2021. [En línea]. Disponible: <http://www.visionairwind.com/hoyi/>. [Último acceso: 25- Dic- 2021].
- [34] I. Uribe, "Valoración del viento como fuente de energía eólica en el estado de Guerrero", Redalyc.org, 2018. [En línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/journal/467/46759491003/html/>. [Último acceso: 28- Dic- 2022].
- [35] Visual Led. Pantallas de leds, 2022, pp. 1. E-mail: comercial@visualled.com [Último acceso: 07- Feb-2022].
- [36] [37] Smarttwister.org, 2018. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/5h1m3> [Último acceso: 06- Ene- 2022].
- [38] Victronenergy.com.es, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-Phoenix-Inverter-3000VA-120V-ES.pdf>. [Último acceso: 16- Ene - 2022].
- [39] "¿Cómo funciona el medidor bidireccional de CFE y los paneles solares? - EnerPanel", EnerPanel, 2022. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/v0hdz> [Último acceso: 07- Feb- 2022].
- [40]"CDMX - Portal de Trámites y Servicios". [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/d4emj> [Ultimo acceso: 12-abril-2022].
- [41] "Capacítate para el empleo Curso de Técnico en instalación de energía eólica". [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/gwy2g> [Ultimo acceso: 12-abril-2022].
- [42] "Costes de operación y de mantenimiento en aerogeneradores [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/gfjzw> [Ultimo acceso: 12-abril-2022].
- [43]"¿Podrían darme orientación sobre costo de cimentación para edificio? - habitissimo". habitissimo.com.mx. [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/xtmly> [Ultimo acceso: 12-abril-2022].
- [44] LEY del Impuesto sobre la Renta (1980, 30 de diciembre) (México). Diario Oficial de la Federación. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/JaGm5E> [Ultimo acceso: 18-abril-2022].
- [45][46] NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización), Ciudad de México 2013.
- [47][48] NMX-J-549-ANCE-2005 sistema de protección contra tormentas eléctricas. especificaciones, materiales y métodos de medición, Asociación de Normalización y Certificada, A. C., México; D.F., 2005.
- [49] CFE. (s. f.). CFE Comisión Federal de Electricidad. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/SCT6go>

Glosario

A_e : Área equivalente de captura de la estructura, en m^2 .

AMDDE: Asociación mexicana de energía eólica.

Autóctona: Que ha nacido o se ha originado en el mismo lugar donde se encuentra.

CEI: Comisión Electrotécnica Internacional.

CFE: Comisión Federal de Electricidad.

EE.UU.: Estados Unidos De América.

HAWT: Horizontal Axis Wind Turbine, (aerogeneradores de eje horizontal).

IP: Ingress Protection (Protección de Ingreso).

KW: Kilowatt.

KW/h = Kilowatt hora.

LISR= Ley del Impuesto Sobre la Renta.

msnm: Metros sobre el nivel del mar.

m/s: Metros por segundo.

MW: Mega Watts.

Ng: Densidad de rayos a tierra.

No: Frecuencia anual promedio de rayos directos a una estructura.

Orográfica: Parte de la geografía física que se dedica a la descripción de montañas.

REDMET: Red de Meteorología y Radiación Solar.

rpm: Revoluciones por minuto.

SENER: Secretaría de Energía.

SEPTE: Sistema Externo de Protección contra Tormentas Eléctricas.

SIMAT: Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México.

SIPTE: Sistema Interno de Protección contra Tormentas Eléctricas.

SPT: Sistema de Puesta a Tierra.

SPTE: Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas.

VAWT: Vertical Axis Wind Turbine, (aerogeneradores de eje vertical).

Viento racheado: Viento que sopla por rachas, con intensidad variable.

ZMCM: Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.

Anexos

Ficha técnica del Aerogenerador Smarttwister ST-2000

Esta ficha corresponde al aerogenerador ST-2000 donde se puede encontrar las especificaciones eléctricas y mecánicas de dicho aerogenerador.

FICHA TECNICA

AEROGENERADOR
SMARTTWISTER ST-2000

2021





AEROGENERADOR SMARTTWISTER ST-2000

El aerogenerador *Smarttwister ST-2000* presenta importantes innovaciones en su diseño como una hélice en espiral en nylon técnico que le permite un mejor aprovechamiento de los vientos racheados, dejando así que se accione con una ligera brisa a partir de 1,5 m/seg según condiciones, sin necesidad de un motor de arranque.

Se trata de una fuente fiable de energía con un menor impacto visual que además de requerir poco mantenimiento, ayuda a reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera

Con unas dimensiones reducidas y unas características técnicas que mejoran su eficiencia el ST-2000 es idóneo para generar energía eléctrica en cualquier tipo de situación sea esta aislada o bien conectada a la red.



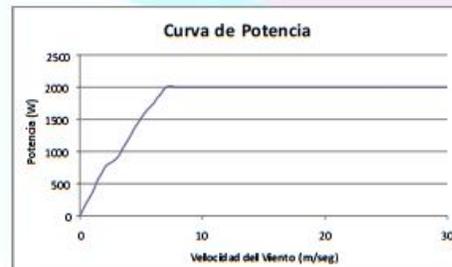
Son ideales para suministrar energía en la industria, bombas de agua, residencias privadas, áreas deportivas, zonas comunes, etc. instalándose fácilmente sobre un mástil, tejado o cualquier otro lugar.

Características Básicas:

- Eficiente y resistente, producción de máxima cantidad de energía en tormentas.
- Comienza a funcionar con vientos a partir de 1,5 m/seg. en adelante llegando a generar su potencia total a partir de 8,29 m/seg.
- No precisa de sistema de frenado ante tormentas.
- Silencioso.
- Mínimo mantenimiento.
- Resistente a nieve, hielo, calor y humedad.

El equipo se compone de:

- Equipo generador con aspas en color negro.
- Estructura estanca IP68.
- Manual de instrucciones e instalación.



Smarttwister ST-2000 producción anual.

2 m/seg	626 kWh
4 m/seg	2504 kWh
6 m/seg	3756 kWh
8 m/seg	5008 kWh
10 m/seg	6260 kWh



AEROGENERADOR SMARTTWISTER ST-2000

Características técnicas

Número de hélices	1 helicoidal
Diámetro	Ø0,34 m
Dirección de la rotación	Indiferente -
Sistema de control	Regulador electrónico
Clase de Viento	CLASS I / IEC 61400-2
Tipo	Savonius
Transmisión	Directa
Freno	Electrónico
Ruido	<20 Decibelios
Sistema	Eje Vertical
Orientación	No necesita de Orientación

Características eléctricas

Alterador	Imanes permanentes
Imanes	Neodimio
Potencia máxima	2340 W
Potencia nominal	2000 W
RPM Par	525 rpm
Voltaje	0 Vac – 600 Vac
Regulador	0 Vdc – 864 Vdc Regulable y programable (min-max) Gestión Electrónica Programable PWM - MPPT

Velocidad del viento

Para arranque	> 1,5 m/s
Para potencia nominal	>8,29 m/s
Para frenado automático	-
Máxima velocidad del viento	61 m/s

Características físicas

Peso del aerogenerador (depende de modelo)	39.5 Kg.
Material de la hélice	Nylon Técnico Tratado
Material eje y buje	Acero inox. AIS 316L
Medidas (mm)	1412 mm x Ø 340 mm
Protección Generador	IP66
Protección Hélice	IP67
Color	Negro / Black
Durabilidad	>25 Años
Garantía	2 Años UE / 1 Año Otros territorios

Tabla de protección IP

La protección IP (Ingress Protection o Protección de Ingreso) hace referencia a la norma internacional CEI 60529 Degrees of Protection utilizada con mucha frecuencia en los datos técnicos de equipamiento eléctrico o electrónico. Especifica un efectivo sistema para clasificar los diferentes grados de protección aportados a los mismos por los contenedores que resguardan los componentes que constituyen el equipo, contra la entrada de materiales extraños (polvo, agua, etc.).

IP	Nº Reconocimiento 1 para protección contra el contacto	IP	Nº Reconocimiento 2 para protección contra el agua
0	sin protección contra el contacto, sin protección contra cuerpos extraños	0	sin protección contra agua
1	Protección contra cuerpos extraños con diámetro >50mm	1	Protegido contra gotas de agua que caen verticalmente
2	Protección contra cuerpos extraños con diámetro >12mm	2	Protegido contra gotas de agua que caen inclinado (15° respecto de la vertical)
3	Protección contra cuerpos extraños con diámetro >2,5mm	3	Protegido contra agua pulverizada (hasta 60° respecto de la vertical)
4	Protección contra cuerpos extraños con diámetro >1mm	4	Protegido contra agua pulverizada
5	Protección completa contra contacto, protección contra sedimentaciones de polvos en el interior	5	Protegido contra los chorros de agua (desde todas las direcciones)
6	Protección completa contra contacto, protección contra penetración de polvo	6	Protegido contra la penetración de agua en caso de inyección pasajera
7		7	Protegido contra la penetración de agua sumergiéndolo
8		8	Protegido contra la penetración de agua sumergiéndolo por un período indefinido
9		9	Protegido contra la penetración de agua de todas direcciones también en caso de una presión alta contra el chasis. (limpiadora de alta presión o de chorro de vapor, 80-100 bar)

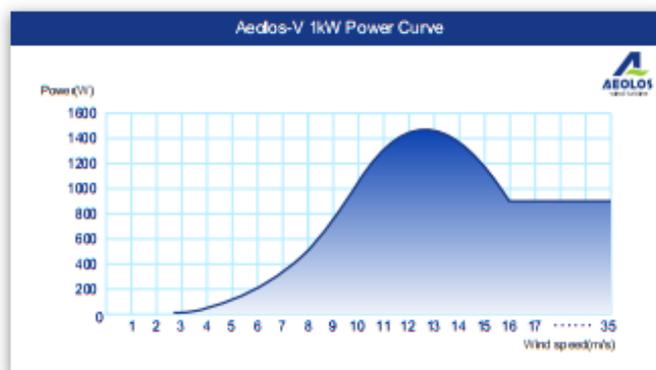
Ficha técnica del Aerogenerador Aeolos 1KW

Esta ficha corresponde al aerogenerador Aeolos 1KW donde se puede encontrar las especificaciones eléctricas y mecánicas de dicho aerogenerador.



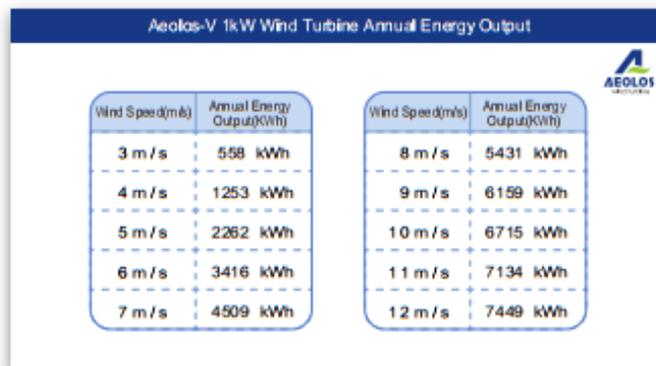
Specification

Generator Type:	Three Phase Permanent Magnet
Rotor Height:	2.8 m (9.2 ft)
Rotor Width:	2.0 m (6.6 ft)
Turbine Weight:	78 kg (172.0 lbs)
Blade Material:	Aluminum Alloy
Blade Quantity:	3 pcs
Working Temperature:	-20 °C to 50 °C
Design Lifetime:	20 years



Performance

Rated Power:	1000 W
Max Output Power:	1500 W
Cut In Wind Speed:	2.5m/s (5.6 mph)
Rated Wind Speed:	10m/s (22.4 mph)
Survival Wind Speed:	50m/s (111.9 mph)
Generator Efficiency:	96%
Noise Level:	< 45 dB(A)
Warranty:	5 years

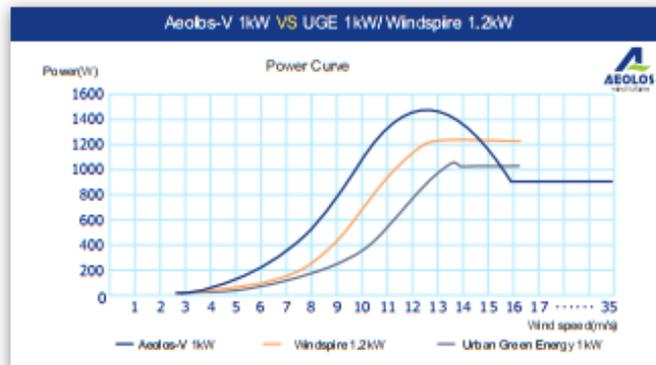


Safety

Blades RPM Limitation:	320 RPM
PWM Dump Load:	2kW Box
Electrical Brake:	Auto/ Manual

Optional

Remote Monitoring System (Internet/ Wireless)	
Auto Hydraulic Brake System (Unattended Site)	
Off Grid:	24/ 48 V
Grid Tied:	110/ 220 V



Ficha técnica del Aerogenerador HoYi 200

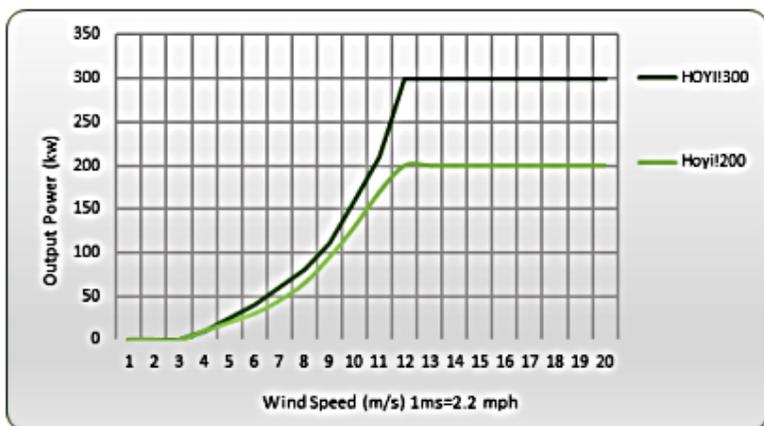
Esta ficha corresponde al aerogenerador HoYi 200 donde se puede encontrar las especificaciones eléctricas y mecánicas de dicho aerogenerador.

General	Hoyi 200	Hoyi 300
Axis	Vertical	Vertical
Height	1.3m (4.3 ft)	1.4m (4.6 ft)
Width	0.8m (2.8 ft)	0.8m (2.8 ft)
Weight	41 kg (90.4 lb)	49 kg (108 lb)
Swept Area	0.84m ² (9.0 ft ²)	0.91m ² (9.8 ft ²)
Blade Materials	Fiberglass	Fiberglass

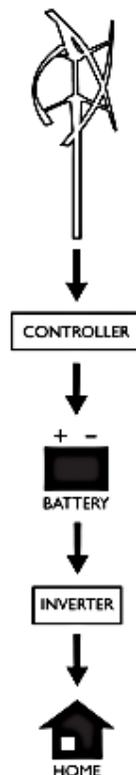
Performance	200W	300W
Rated Power	200W	300W
Cut-in Wind Speed	2 m/s (5.6 mph)	2.5 m/s (5.6 mph)
Cut-out Wind Speed	30 m/s (66 mph)	30 m/s (66 mph)
Rated RPM	200 RPM	300 RPM
Survival Wind Speed	50 m/s (110 mph)	50 m/s (110 mph)
Rated Wind Speed	12m/s (26 mph)	12m/s (26 mph)
Noise Level at 12m/s	40 dB	40 dB

Electric Generation	200W	300W
Generator Type	PMG	PMG
Rated Output		
Off-Grid	200W	300W

Hoyi Power Curve



Battery Backup System



ROOF MOUNTABLE

SOLAR RE

Límite de ruido máximo permisible, NOM-081-SEMARNAT-1994

“ACUERDO POR EL QUE SE MODIFICA EL NUMERAL 5.4 DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-081-SEMARNAT-1994, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE RUIDO DE LAS FUENTES FIJAS Y SU MÉTODO DE MEDICIÓN”

ARTICULO ÚNICO. Se modifica el numeral 5.4 de la norma oficial mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición, para establecer lo siguiente:

“5.4 Los límites máximos permisibles del nivel sonoro en ponderación “A” emitidos por fuentes fijas, son los establecidos en la Tabla 1.

TABLA 1. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES.

ZONA	HORARIO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE dB (A)
Residencial ¹ (exteriores)	6:00 a 22:00	55
	22:00 a 6:00	50
Industriales y comerciales	6:00 a 22:00	68
	22:00 a 6:00	65
Escuelas (áreas exteriores de juego)	Durante el juego	55
Ceremonias, festivales y eventos de entretenimiento.	4 horas	100

¹ Entendida por: vivienda habitacional unifamiliar y plurifamiliar; vivienda habitacional con comercio en planta baja; vivienda habitacional mixta; vivienda habitacional con oficinas; centros de barrio y zonas de servicios educativos.

Ficha técnica del Rectificador/Regulador Smarttwister RRC RST-3000

En la siguiente ficha se encuentran las especificaciones del regulador que complementa la conexión del aerogenerador.



RECTIFICADOR/REGULADOR SMARTTWISTER – PWM RST-1000 / RST-2000 RST-3000 / RST3500-A / RST-3500-B



www.smarttwister.org

Características técnicas

Rango de Entrada (Vac)	Hasta 1.600Vac
Rango de funcionamiento (Vac)	24 Vac – 800 Vac
Potencia	1000W – 3500W

Características eléctricas

Entrada	>70Vac hasta 525Vac
Tipo de gestión	Electrónico Programable
Potencia máxima	3500 W
Potencia nominal	1000 W – 3500 W
Rectificado	DC
Salida	Programable entre 24Vdc y 800Vdc Progresivo
Umbral de funcionamiento Optimo	Entre 70Vdc y 180Vdc
Eficiencia Pico	97,5%
Carga Máxima de Batería	60A
Carga Mínima de Batería	15A
Máximo Voltaje en Circuito Abierto	1200 Vdc
Entrada Máxima de Potencia Eólica	3600 Wp
Voltaje Nominal	24 Vdc / 48 Vdc / 96 Vdc
Rango de Voltaje de funcionamiento de baterías	22 Vdc – 110 Vdc
Rango de voltaje de func. de entrada baterías	>22 Vdc - < 110 Vdc
Precisión de Voltaje	<=0.1% +/- 100 mV
Autoconsumo del equipo	1.75 W – 2.5 W
Protección contra sobretensiones transitorias	875 Vdc / 40A

Medidas físicas

Medias Físicas (largo x ancho x alto) mm	220 x 140 x 90
Peso (kg)	1,50 Kg
Certificación	Marca CE

Información de Exportación

Medias Físicas Pq. (largo x ancho x alto) mm	300 x 200 x 150
Peso Max. (kg)	2 Kg
Código Arancelario (*1)	8502310000



**RECTIFICADOR/REGULADOR
SMARTTWISTER – PWM**
RST-1000 / RST-2000
RST-3000 / RST3500-A / RST-3500-B

Entorno

Temperatura de Ambiente	-45 °C a 80 °C
Temperatura de almacenamiento	-55 °C a 85 °C
Humedad	100% sin condensación
Tropicalización	Encapsulación Epoxi, Recubrimiento Conformal, Terminales marinos

Protecciones Electrónicas

Entrada	Sobrecarga, alto voltaje
Batería	Alto voltaje, sensor de bat. Desconect., sensor remoto de temp. Desc.
Operación	Alta temperatura, corriente inv. en la noche, rayos y sobret. transitorias

Carga de Baterías

Algoritmo MPPT	Tecnología de seguimiento de punto de máxima potencia TECST
Algoritmo de Carga	4-STAGE
Estados de Carga	MPPT, Absorción, Flotante, Ecuación
Temperatura de Condensación	
Coeficiente	-5mV/°C/cell (25° ref)
Rango	-30 °C to +80 °C

Certificaciones

Cumple con CE, RoHS y REACH
Cumple EMC
Inmunidad: EN61000-6-2: 2005
Emisión: EN55022: 2007
Seguridad: EN60335-1: 2002 y EN60335-2-29: 2005
Cumple con FCC Clase B Parte 15
Cumple con el Código Eléctrico Nacional de EE. UU. (NEC)
Fabricado en una instalación certificada ISO 9001

Ficha técnica del Inversor Phoenix Inverter 3000 VA / 120 V

En la siguiente ficha se encuentran las especificaciones eléctricas del inversor que fue seleccionado para el circuito eléctrico del proyecto, con base a los cálculos realizados en el capítulo 3.



Inversores Phoenix 3kVA

(1 20V/60Hz)

www.victronenergy.com



Phoenix Inverter
24/3000

SinusMax – Diseño superior

Desarrollado para uso profesional, la gama de inversores Phoenix es ideal para innumerables aplicaciones. El criterio utilizado en su diseño fue el de producir un verdadero inversor sinusoidal con una eficiencia optimizada pero sin comprometer su rendimiento. Al utilizar tecnología híbrida de alta frecuencia, obtenemos como resultado un producto de la máxima calidad, de dimensiones compactas, ligero y capaz de suministrar potencia, sin problemas, a cualquier carga.

Potencia de arranque adicional

Una de las características singulares de la tecnología SinusMax consiste en su muy alta potencia de arranque. La tecnología de alta frecuencia convencional no ofrece un rendimiento tan extraordinario. Los inversores Phoenix, sin embargo, están bien dotados para alimentar cargas difíciles, como frigoríficos, compresores, motores eléctricos y aparatos similares.

Potencia prácticamente ilimitada gracias al funcionamiento en paralelo y trifásico.

Hasta 6 unidades del inversor pueden funcionar en paralelo para alcanzar una mayor potencia de salida. Seis unidades 24/3000, por ejemplo, proporcionarán 15 kW / 18 kVA de potencia de salida. También es posible su configuración para funcionamiento trifásico.

Transferencia de la carga a otra fuente CA: el conmutador de transferencia automático

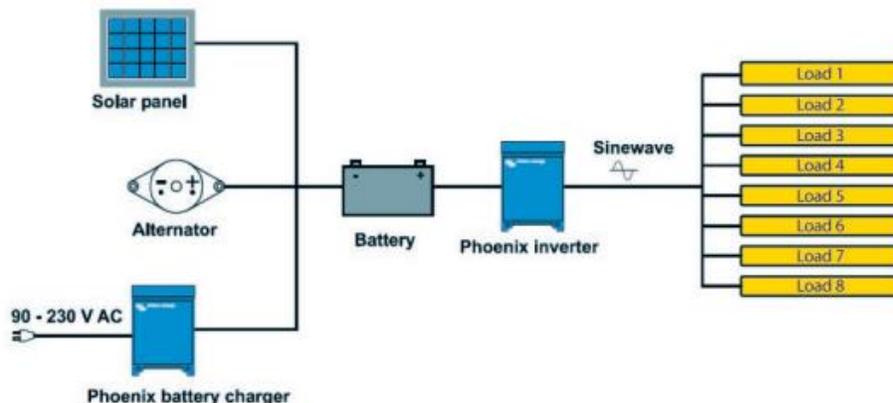
Si se requiere un conmutador de transferencia automático, recomendamos usar el inversor/cargador MultiPlus en vez de este. El conmutador está incluido en este producto y la función de cargador del MultiPlus puede deshabilitarse. Los ordenadores y demás equipos electrónicos continuarán funcionando sin interrupción, ya que el MultiPlus dispone de un tiempo de conmutación muy corto (menos de 20 milisegundos).

Interfaz de comunicaciones

Estos modelos más grandes de inversor Phoenix vienen con un puerto VE.Bus. Todo lo que necesita conectar a su PC es nuestro interfaz MK3-USB VE.Bus a USB (ver el apartado "Accesorios"). Junto con VictronConnect o el software VEConfigure, que puede descargarse gratuitamente desde nuestro sitio web, se pueden personalizar todos los parámetros de los inversores. Esto incluye la tensión y la frecuencia de salida, los ajustes de sobretensión o subtensión y la programación del relé. Este relé puede, por ejemplo, utilizarse para señalar varias condiciones de alarma distintas o para arrancar un generador. Los inversores también pueden conectarse a un dispositivo GX (como Cerbo GX) para seguimiento y control.

Nuevas aplicaciones para inversores de alta potencia

Las posibilidades que ofrecen los inversores de alta potencia conectados en paralelo son realmente asombrosas. Para obtener ideas, ejemplos y cálculos de capacidad de baterías, le rogamos consulte nuestro libro "Electricity on board" (electricidad a bordo), disponible gratuitamente en Victron Energy y descargable desde www.victronenergy.com.



Inversor Phoenix	12/3000	24/3000
Funcionamiento en paralelo y en trifásico	Sí	
INVERSOR		
Rango de tensión de entrada (V DC)	9.5 - 17V	19 - 33V
Salida	Salida: 120V ± 2% / 60Hz ± 0.1% (1)	
Potencia cont. de salida 25°C / 77°F (VA) (2)	3000	3000
Potencia cont. de salida 25°C / 77°F (W)	2400	2400
Potencia cont. de salida 40°C / 104°F (W)	2200	2200
Potencia cont. de salida 65°C / 150°F (W)	1700	1700
Pico de potencia (W)	6000	6000
Eficacia máx. 12 / 24 / 48 V (%)	93	94
Consumo en vacío 12 / 24 / 48 V (W)	20	20
Consumo en vacío en modo AES (W)	15	15
Consumo en vacío modo Search (W)	8	10
GENERAL		
Relé programable (3)	Sí	
Protección (4)	a - g	
Puerto de comunicación VE.Bus	Para funcionamiento paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema	
On/Off remoto	Sí	
Características comunes	Temperatura de funcionamiento: -40 a +65°C (-40 - 150°F) Humedad (sin condensación): Máx. 95%	
CARCASA		
Características comunes	Material y color: aluminio (azul RAL 5012) Tipo de protección: IP 21	
Conexiones de la batería	2+2 Pernos M8	
Conexiones 120 V CA	Bornes atornillados	
Peso (kg)	18 kg 38 lbs	
Dimensiones (al x an x p en mm.)	362 x 258 x 218 mm 14.3 x 10.2 x 8.6 inch	
NORMATIVAS		
Seguridad	EN 60335-1	
Emisiones / Inmunidad	EN 55014-1 / EN 55014-2	
1) Puede ajustarse a 60 Hz, y a 240 V. 2) Carga no lineal, factor de cresta 3:1 3) Relé programable que puede configurarse en alarma general, subtensión de CD o como señal de arranque de un generador (es necesario el interfaz MK2 y el software VEConfigure) Capacidad nominal CA 120V / 4A Capacidad nominal CC 4 A hasta 35VDC, 1 A hasta 60VDC	4) Protección: a) Cortocircuito de salida b) Sobrecarga c) Tensión de la batería demasiado alta d) Tensión de la batería demasiado baja e) Temperatura demasiado alta f) 120 V CA en la salida del inversor q) Ondulación de la tensión de entrada demasiado alta	

Ficha técnica de la pantalla publicitaria.

A continuación, se muestra la ficha técnica del modelo de pantallas digitales que la mayoría de las empresas publicitarias utilizan para este fin.



Empresa [REDACTED]
Contacto Jose Francisco Garcia Delgado
Teléfono [REDACTED]

Presupuesto [REDACTED]
Fecha 07/02/2022

PRECIO DE LA PANTALLA

3.968,05 USD

Pantalla LED

MODELO	PANTALLA PUBLICIDAD
TAMAÑO (LARGO X ALTO)	2500 x 1500 mm
TIPO DE LED	SMD-HD
PIXELADO	10mm (10000 pixels/m2)
LUMINOSIDAD	5000 nits)
PROTECCIÓN AMBIENTAL	Resistente a lluvia. IP68 F.
TENSIÓN ELÉCTRICA	110V-60Hz
MATERIAL DEL ARMAZÓN	Aluminio
PESO	23Kg/m2
ACCESO DE MANTENIMIENTO	Trasero



Prestaciones y características técnicas

DURACIÓN DEL LED	120.000 horas - Soldadura SMD-Gold que les otorga un larga vida útil
ÁNGULO DE VISIÓN	160° x 160° - Ángulo ampliado. Mejora la percepción lateral de las imágenes
MARCA DEL LED	Mitsubishi @ "Elegido mejor Outdoor LED Screen en 2020"
PROCESADOR-CONTROLADOR	Integrado: (Lattice@) Hasta 3.2Gbs de Velocidad de 4 canales dobles
CONTRASTE Y TASA DE REFRESCO	10.000:1 / 5000Hz - Valores que ofrecen una calidad de imagen Superior
PROFUNDIDAD COLOR Y ESCALA DE GRISES	64bits DSP Lattice@ decoder
UNIFORMIDAD DE BRILLO EN IMAGEN	< 0,9% Uniformidad profesional calibrada
RESISTENCIA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD	-20°C / 75°C - 10% / 90% RH (No aerosol marino)
REPRODUCCIÓN DE COLORES	4.4 Trillones - Ampliación de colores
AJUSTE DE BRILLO	Píxel a Píxel, Módulo a módulo, Cabina a Cabina
CONTROL DE LUMINOSIDAD	Programable de 0 a 100%
CONSUMO MEDIO	200 Wh - Sistema SmartPower para consumo reducido
ENTRADAS DE VIDEO	HDMI *

Tabla de frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre estructuras comunes

Estructuras comunes	Efectos de las tormentas eléctricas	Frecuencia (Nr)
Residencia	Daño a instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra.	0,04
Granja	Riesgo principal de incendio y potenciales de paso. Riesgo secundario derivado de la pérdida de suministro eléctrico provocando posibles desperfectos por falla de controles de ventilación y de suministro de alimentos para animales.	0,02
Tanques de agua elevados: metálicos. Concreto con elementos metálicos salientes.	Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra, así como posibles daños al equipo de control de flujo de agua.	0,04
Edificios de servicios tales como: Aseguradoras, centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, escuelas, estacionamientos, centros deportivos, estaciones de autobuses, estaciones de trenes, estaciones de tren ligero o metropolitano.	Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	0,02
Hospital Asilo Reclusorio	Falla de equipo de terapia intensiva. Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	0,02
Industria tales como: Máquinas herramientas, ensambladoras, textil, papelera, manufactura, almacenamiento no inflamable, fábrica de conductores, fábrica de electrodomésticos, armado equipo de cómputo, muebles, artefactos eléctricos, curtidurías, agrícola, cementeras, caleras, laboratorios y plantas bioquímicas, potabilizadoras.	Efectos diversos dependientes del contenido, variando desde menor hasta inaceptable y pérdida de producción.	0,01
Museos y sitios arqueológicos	Pérdida de vestigios culturales irremplazables	0,02
Edificios de telecomunicaciones Véase nota	Interrupciones inaceptables, pérdidas por daños a la electrónica, altos costos de reparación y pérdidas por falta de continuidad de servicio.	0,02
<p>NOTAS</p> <p>1 Para cualquier estructura común debe evaluarse el nivel de riesgo en función de su localización, densidad, altura y área equivalente de captura, para decidir la protección.</p> <p>2 Para estructuras en zonas con densidad de rayos a tierra mayor a 2, y si el techo de la construcción es de material inflamable (madera o paja), debe instalarse un SEPTÉ.</p>		