

INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

Análisis tecno-económico para la instalación de aerogeneradores de baja potencia en la región de Ixtapaluca, Estado de México.

TESIS

PRESENTAN:

Centella Alberto Lizbeth

Lopez Gomez Estefanía

Mendoza Cabrera Brenda

ASESOR INTERNO: M. E. Juan Bernabé Trujano Castro

ASESOR EXTERNO: M.D.M. José Rafael Dorrego Pórtela



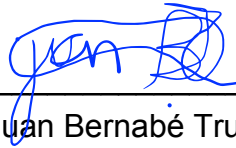
Fecha:01/07/2022

PRESENTACIÓN Y DIRECTORIO DE ASESORES

La presente Memoria de Residencia Profesional, Análisis de las condiciones eólicas para instalaciones de aerogeneradores de baja potencia, realizada por las alumnas Centella Alberto Lizbeth, López Gómez Estefanía y Mendoza Cabrera Brenda, bajo la dirección del asesor interno: M.E. Juan Bernabé Trujano Castro y del asesor externo; M.D.M. José Rafael Dorrego Pórtela, ha sido aprobada y aceptada, como requisito parcial para obtener el grado académico de licenciatura como:

Ingeniera en Energías Renovables

Asesor/a Interno/a:



M.E. Juan Bernabé Trujano Castro

Asesor/a Externo/a:



M.D.M. José Rafael Dorrego Pórtela

Agradecimientos

Este logro se lo debo primeramente a mi padre Martin Centella Samano, quien hizo que me diera cuenta que lo que él podía heredarme es el estudio y la dedicación para hacer bien las cosas; a mi madre Hilda Alberto Aguilar, porque a pesar de mis tropezones siempre estuvo para sanar mis heridas y hacerme caminar de nuevo; a mi hermano Martin Centella Alberto quien ha sido mi principal soporte para terminar estos estudios.

Agradezco profundamente a todos los y las docentes que me acompañaron a lo largo de este proceso, quienes me guiaron y forjaron como una profesional íntegra en mi área. Agradezco a mis compañeros y amigos, que siempre me brindaron el apoyo incondicional frente a cada evaluación de la vida.

Lizbeth Centella Alberto

A mi familia. Afectuosamente a Esther López, mi madre, por sus esfuerzos y ser participante de este largo camino. A Jonathan, mi mejor amigo y hermano. A mis tías, colaboradoras en todos mis pequeños y grandes proyectos. Le debo este logro a la universidad, la casa que me ha formado a nivel intelectual y humanístico. Así mismo estoy en deuda con todos los docentes, quienes día a día luchan para educar. Le agradezco especialmente al M.E. Juan Bernabé Trujano y M.D.M. José Rafael Dorrego por su esfuerzo y dedicación que aportaron a este gran logro.

Este logro más que mío es de todos aquellos que lo hicieron posible y jamás me alcanzarán las palabras para agradecerles, por tanto.

Estefania López Gómez

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, merecen reconocimiento especial a mi madre y mi padre que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible. Así mismo, agradezco a mis hermanos que con palabras me hacían sentir orgullosa de lo que soy y de lo que puedo enseñar.

Brenda Mendoza Cabrera

ÍNDICE

1	GENERALIDADES DEL PROYECTO	1
1.1	RESUMEN	1
1.2	INTRODUCCIÓN.....	2
1.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.4	OBJETIVOS	4
1.4.1	Objetivo General.....	4
1.4.2	Objetivos específicos	4
1.5	JUSTIFICACIÓN	5
1.6	ANTECEDENTES	6
2	MARCO TEÓRICO.....	9
2.1	DEFINICIÓN Y ORIGEN DEL VIENTO	9
2.1.1	Definición del viento.....	9
2.1.2	Origen del viento.....	9
2.1.3	Movimiento del viento	9
2.1.4	Dirección y velocidad del viento.....	10
2.2	PARQUE EÓLICO.....	10
2.2.1	¿Cómo funciona un parque eólico?	11
2.2.2	Análisis antes de montar un parque eólico	11
2.3	AEROGENERADOR	12
2.3.1	Partes de un aerogenerador	13
2.4	EFFECTO ESTELA	16
2.4.1	Regiones del Efecto Estela.....	17
2.4.2	Terreno cercano.....	17
2.4.3	Terreno alejado.....	20
2.5	INSTRUMENTACIÓN.....	21
2.5.1	Anemómetros.....	21
2.5.2	Medida de la dirección del viento.....	22
2.5.3	Medida de la temperatura	22
2.5.4	Medida de la presión atmosférica	22

2.6	GEOREFERENCIACIÓN	22
2.6.1	Topografía	23
2.6.2	Rugosidad.....	24
2.7	SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.....	25
2.7.1	Subestaciones de transformación.....	25
2.7.2	Líneas de evacuación eléctrica.....	26
2.7.3	Centro de control	26
2.7.4	Torre meteorológica.....	27
2.8	SISTEMAS DE CONTROL.....	27
2.8.1	Sistemas de control de orientación	27
2.8.2	Sistemas de control de potencia.....	27
2.8.3	Sistemas de control de la velocidad de giro.....	28
2.9	LA ATMÓSFERA.....	29
2.9.1	Fenómenos atmosféricos.....	32
2.10	FACTORES CLIMÁTICOS	33
2.10.1	Geográficos	33
2.10.2	Elementos climáticos.....	34
2.10.3	Termodinámicos	34
2.10.4	Acuosas.....	35
2.11	NORMATIVIDAD	35
2.11.1	Agenda 2030	36
3	POTENCIA DEL VIENTO.....	37
3.1	DESCRIPCIÓN DEL SITIO	37
3.2	ANÁLISIS DEL RECURSO EÓLICO DEL SITIO.....	40
3.3	OBTENCIÓN DE VELOCIDADES.....	41
3.4	VELOCIDADES PROMEDIO	44
3.5	ROSA DE LOS VIENTOS	46
3.6	PERFIL VERTICAL DEL VIENTO	47
3.7	HISTOGRAMA Y DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.....	48
3.8	RESULTADOS	52
4	ANÁLISIS DEL SITIO	54

4.1	MEDIO AMBIENTE	54
4.2	PROXIMIDAD A VIVIENDAS	56
4.3	DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE	57
4.4	GEORREFERENCIACIÓN.....	58
4.4.1	Topografía y rugosidad	63
4.5	DATOS DEL VIENTO.....	67
4.6	TURBINA EÓLICA.....	69
4.7	GENERACIÓN WAsP	70
4.8	RESULTADOS	73
4.8.1	Resumen de resultados	73
4.8.2	Resultados del sitio.....	73
4.8.3	Climas de viento del sitio	74
4.8.4	Cálculo de la producción anual para el ' Grupo de turbinas 1'	76
4.8.5	Parámetros del proyecto.....	83
5	APLICACIÓN DE HOMER	84
5.1	DEFINICIÓN DE HOMER 2.68 BETA	84
5.2	CURVA DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR.....	85
5.3	COSTOS DE LA TURBINA Y DATOS DE LA TURBINA.....	86
5.4	TARIFA ELÉCTRICA.....	88
5.5	VELOCIDAD A 50m	92
5.6	ALTITUD	94
5.7	PRECIOS MARGINALES.....	95
5.8	RESULTADOS.....	99
5.8.1	Diagramas de costos	100
5.8.2	Resultado eléctrico	101
5.8.3	Emisión	102
6	CORRIDA FINANCIERA	103
6.1	ESTUDIO DE VIABILIDAD.....	103
6.1.1	Medición del recurso eólico en sitio	103
6.1.2	Estudio de capacidad de carga del terreno.....	104
6.1.3	Topografía del sitio	104

6.2	ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	105
6.2.1	Dimensionamiento de la turbina eólica	105
6.2.2	Planos constructivos	105
6.2.3	Fichas técnicas	105
6.2.4	Manifestación de impacto ambiental.....	105
6.2.5	Firmas de peritaje	106
6.2.6	Evaluación costo-beneficio	106
6.3	ADQUISIÓN Y PERMISOS	106
6.3.1	Adquisición de los aerogeneradores.....	106
6.3.2	Pagos IMMSS.....	106
6.3.3	Permisos SEMARNAT	107
6.4	CONSTRUCCIÓN	107
6.4.1	Caminos de acceso	107
6.4.2	Trazo y nivelación.....	107
6.4.3	Acarreos de tierra	107
6.4.4	Obras inducidas.....	108
6.4.5	Cimentación de torre.....	108
6.4.6	Montaje de AG	108
6.4.7	Pinturas.....	108
6.4.8	Cableado del AG a la subestación.....	108
6.4.9	Líneas eléctricas de conexión.....	108
6.4.10	Pruebas del AG	109
6.4.11	Certificación de instalación	109
6.4.12	Almacén de obra	109
6.4.13	Talleres.....	109
6.4.14	Retretes	109
6.4.15	Oficinas.....	109
6.4.16	Firmes, banquetas, guarniciones y obras de acceso al AG.....	110
6.4.17	Retiro de escombros.....	110
6.4.18	Desmantelamiento de talleres, oficinas, retretes	110
6.4.19	Señalizaciones	110

6.4.20	Planos As BUILT	110
6.4.21	Construcción de oficinas de monitoreo.....	110
6.5	OPERACIÓN.....	111
6.5.1	Conexiones, voz, datos, datalogers, software	111
6.5.2	Capacitación a personal de operación en sitio	111
6.5.3	Laptops y computadoras.....	111
6.5.4	Transporte	111
6.5.5	Mantenimiento	111
6.6	RESULTADOS	116
7	CONCLUSIÓN	126
8	REFERENCIAS.....	128
9	APÉNDICE	132
9.1	IMPACTO AMBIENTAL.....	132
9.2	CIMENTACIÓN	135
10	ANEXO.....	138
10.1	ANEXO.....	138
10.2	ANEXO.....	140
10.3	ANEXO.....	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Primer aerogenerador para generación de electricidad Fuente: Blanco, T. A.	6
Figura 1.2 Turbina eléctrica de Paol la Cour Fuente: Danish Wind Industry Association	7
Figura 2.1 Tipos de AG de eje horizontal Fuente: Creus Sole, 2014.....	13
Figura 2.2 Partes internas de un aerogenerador Fuente: Cuco S.	14
Figura 2.3 Intersección de la estela con el flujo de viento del ambiente Fuente: Carlos, 2021	17
Figura 2.4 Efecto estela alrededor del rotor de un aerogenerador; región del terreno cercano Fuente: Carlos, 2021	18
Figura 2.5 Volumen de control cilíndrico alrededor de un conjunto de turbinas Fuente: Carlos, 2021	20
Figura 2.6 Ejemplo de los programas Google Earth y Google Maps Fuente: Datacentric, 2020	23
Figura 2.7 Recubrimiento de la tierra Fuente Camilloni, I.....	29
Figura 2.8 Presión sobre la tierra Fuente: Camilloni, I.....	30
Figura 2.9 Efecto de la altura sobre la presión Fuente Camilloni, I.	31
Figura 2.10 Efecto de la presión en cotas de aprovechamiento eólico Fuente: Camilloni, I.	31
Figura 2.11 Instrumentos de medición termodinámicos Fuente: Elementos y factores de clima	34
Figura 2.12 Instrumentos de medición acuosas Fuente: Elementos y factores de clima	35
Figura 3.1 Sitio del parque logístico Fuente: Google Earth	37
Figura 3.2 Lugar de instalación con perfil de elevación Fuente: Google Earth.....	38
Figura 3.3 Coordenadas de la estación meteorológica Fuente: Google Earth	41
Figura 3.4 Rosa de los vientos a una altura de 10 m Fuente Windowgrapher	47
Figura 3.5 Clasificación de la potencia del viento Fuente: Ivan, 2021	53
Figura 4.1 Velocidad del viento a una altura de 100m Fuente: Global Wind Atlas	55
Figura 4.2 Velocidad del viento a una altura de 50m Fuente: Global Wind Atlas	55
Figura 4.3 Velocidad del viento a una altura de 10m Fuente: Global Wind Atlas	56
Figura 4.4 Distancia del sitio a la vivienda cercana Fuente: Google Earth.....	57
Figura 4.5 Método de triangulación Fuente: Google Earth	59
Figura 4.6 Lugar de análisis Fuentes: Google Earth	60
Figura 4.7 Localización del punto A Fuente: Global Mapper	61
Figura 4.8 El punto “A” referenciado Fuente: Global Mapper	62
Figura 4.9 Georreferenciación Fuente: Global Mapper	63

Figura 4.10 Datos de la estación meteorológica.....	64
Figura 4.11 Topografía del sitio Fuente: WAsP Map	65
Figura 4.12 Rugosidad del sitio Fuente: WAsP Map	66
Figura 4.13 Topografía y Rugosidad del sitio Fuente: WAsP Map	67
Figura 4.14 Datos del viento Fuente: Global Wind Atlas	68
Figura 4.15 Ficha descriptiva del aerogenerador Fuente: Proveedor del aerogenerador	69
Figura 4.16 Curva de potencia del aerogenerador del sitio Fuente: WAsP Map	70
Figura 4.17 Posición de los aerogeneradores en el sitio Fuente: Google Earth	71
Figura 4.18 Posición de los aerogeneradores en el programa Fuente: WAsP Map	72
Figura 4.19 Mapa de Topografía y Rugosidad Fuente: WAsP Map	75
Figura 5.1 Pantalla de los detalles de la turbina eólica Fuente: HOMER	86
Figura 5.2 Componentes del AG Fuente: proveedor del AG	87
Figura 5.3 Apartado de costos del AG Fuente: HOMER	88
Figura 5.4 Tarifa del Centro Oriente Fuente: CFE.....	89
Figura 5.5 pantalla principal de HOMER Fuente: HOMER.....	90
Figura 5.6 Apartado Rate Schedule Fuente: HOMER	90
Figura 5.7 Horarios con respecto a la tarifa Fuente: CFE	91
Figura 5.8 Pantalla principal de la página NASA POWER Fuente: NASA POWER	92
Figura 5.9 Entrada de recurso eólicos Fuente: HOMER	93
Figura 5.10 Altitud de la locación georreferenciada Fuente Google Earth	94
Figura 5.11 recurso eólico (otros parámetros) Fuente: HOMER	95
Figura 5.12 Precios de Energía y Servicios Conexos MDA Fuente: CENACE.....	95
Figura 5.13 Entradas de carga primaria Fuente: HOMER.....	96
Figura 5.14 Tasa de política monetaria en México de 2010-2020 Fuente: Departament, 2010-2020	98
Figura 5.15 Insumos económicos Fuente. HOMER	99
Figura 5.16 Simulación de los resultados Fuente: HOMER	99
Figura 5.17 Fracción renovables Fuente: HOMER.....	102
Figura 6.1 Propiedades del sitio de estudio Fuente: Google Earth.....	104
Figura 6.2 Cotización de la licencia de funcionamiento o licencia ambiental Fuente: SEMARNAT.....	107
Figura 9.1 Cimentación de los AG.....	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Rugosidad de la superficie para distintos terrenos Fuente: Enciclopedia, 2013	25
Tabla 3.1 Velocidad del viento mensuales a 10 m de altura en el año de 1999 Fuente: NASA POWER	39
Tabla 3.2 Velocidad del viento mensualmente a 10m de altura en el año de 2021 Fuente: NASA POWER	39
Tabla 3.3 Datos del sitio	40
Tabla 3.4 Número de datos a 10 y 50 m	41
Tabla 3.5 Frecuencia a 10 m de altura Fuente: NASA POWER.....	42
Tabla 3.6 Frecuencia a 50 m de altura Fuente: NASA POWER.....	43
Tabla 3.7 Velocidades promedio	45
Tabla 3.8 Factor k y c de Weibull	51
Tabla 3.9 Datos generales del sitio	52
Tabla 3.10 Densidad de potencia	53
Tabla 4.1 Resumen de resultados Fuente: WAsP Map.....	73
Tabla 4.2 Resultados del sitio Fuente: WAsP Map.....	73
Tabla 4.3 Climas del sitio Fuente: WAsP Map.....	74
Tabla 4.4 Sector 1 Fuente: WAsP Map	76
Tabla 4.5 Sector 2 Fuente: WAsP Map	77
Tabla 4.6 Sector 3 Fuente: WAsP Map	77
Tabla 4.7 Sector 4 Fuente: WAsP Map	78
Tabla 4.8 Sector 5 Fuente: WAsP Map	78
Tabla 4.9 Sector 6 Fuente: WAsP Map	79
Tabla 4.10 Sector 7 Fuente: WAsP Map	79
Tabla 4.11 Sector 8 Fuente: WAsP Map	80
Tabla 4.12 Sector 9 Fuente: WAsP Map	80
Tabla 4.13 Sector 10 Fuente: WAsP Map	81
Tabla 4.14 Sector 11 Fuente: WAsP Map	82
Tabla 4.15 Sector 12 Fuente: WAsP Map	82
Tabla 4.16 Todos los sectores Fuente: WAsP Map.....	83
Tabla 5.1 Conversión de pesos mexicanos a dólares	87
Tabla 5.2 Emisiones de contaminantes Fuente: HOMER.....	102
Tabla 6.1 Mantenimiento Predictivo	113
Tabla 6.2 Mantenimiento preventivo.....	115

Tabla 6.3 Clasificación de los diversos activos y el costo de los activos.....	120
Tabla 6.4 Total de los activos	121
Tabla 6.5 Depreciación del AG y sus componentes	121
Tabla 6.6 Comparación de Aerogeneradores.....	125
Tabla 9.1 Costo de los materiales para el cimiento	137
Tabla 10.1 Clasificación de los AG de acuerdo a la potencia.....	139
Tabla 10.2 Velocidades de un aerogenerador de 10Kw.....	140
Tabla 10.3 Promedio de los precios marginales.....	142

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1 Potencia máxima en el rotor de una turbina eólica Fuente: Carta, 2012 ..	7
Ecuación 2.1 Empuje de la turbina Fuente: Carlos, 2021	18
Ecuación 2.2 Fórmula del rotor de la turbina Fuente: Carlos, 2021.....	19
Ecuación 2.3 La unidad Fuente: Carlos, 2021	19
Ecuación 2.4 La expansión del área Fuente: Carlos, 2021	19
Ecuación 2.5 Coeficiente de expansión Fuente: Carlos, 2021	19
Ecuación 2.6 Area de la densidad de flujo Fuente: Carlos, 2021	19
Ecuación 2.7 Velocidad en la turbina Fuente: Carlos, 2021	20
Ecuación 2.8 Velocidad de giro Fuente: Pérez Rodríguez	28
Ecuación 2.9 Presión de la Ley de los gases ideales Fuente: Camilloni, I.	32
Ecuación 3.1 Ley logarítmica Fuente: León, 2018.....	47
Ecuación 3.2 Ley exponencial Fuente: León, 2018	47
Ecuación 3.3 Fuente: Ivan, 2021	49
Ecuación 3.4 Función de distribución acumulativa Fuente: Ivan, 2021	49
Ecuación 3.5 Fuente: Ivan, 2021	49
Ecuación 3.6 Fuente: Ivan, 2021	49
Ecuación 6.1 Cálculo de la depreciación Fuente: MANAGER, 2018.....	122

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 3.1 Histograma a 10 m de altura.....	43
Gráfica 3.2 Histograma a 50 m de altura.....	44
Gráfica 3.3 Promedio mensual de la velocidad del viento NASA POWER Fuente: Windowgrapher	45
Gráfica 3.4 Perfil diario de la velocidad del viento diurno a velocidades de 10 y 50m Fuente Windowgrapher	46
Gráfica 3.5 Perfil vertical del viento Fuente Windowgrapher	48
Gráfica 3.6 Función de distribución de probabilidad a 10m Fuente Windowgrapher	50
Gráfica 3.7 Función de distribución de probabilidad a 50 m Fuente: Windowgrapher...	51
Gráfica 5.1 Curva de potencia del aerogenerador seleccionado	85
Gráfica 5.2 Horarios de tarifa en forma de gráfica Fuente: HOMER	91
Gráfica 5.3 Recurso eólico de cada mes Fuente: HOMER	94
Gráfica 5.4 Perfil diario Fuente: HOMER.....	97
Gráfica 5.5 Perfil Estacional Fuente: HOMER.....	97
Gráfica 5.6 Flujo de caja Fuente: HOMER	100
Gráfica 5.7 Sistema actual en comparación con el caso base-nominal Fuente: HOMER	101
Gráfica 5.8 Promedio mensual de la producción eléctrica Fuente: HOMER	101

1 GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 RESUMEN

Para la implementación de las energías renovables en nuestro país se deben de considerar diversas características como el lugar de estudio, la necesidad energética, presupuesto, etc., esto para poder obtener un mayor aprovechamiento del recurso. El desarrollo de la viabilidad de proyectos energéticos conlleva grandes desafíos para las empresas y organizaciones, pero principalmente para el país, ya que implica importantes inversiones y, por consiguiente, hacer conciencia sobre las medidas o propuestas para combatir con la problemática mundial, llamada calentamiento global, provocado por la explotación de energías no renovables y al mal cuidado de los recursos naturales

La presente investigación, tiene como objetivo el elaborar un análisis técnico de las condiciones eólicas del sitio y un estudio económico para obtener mayor panorama. Con esta finalidad, hemos utilizado un diseño metodológico cuantitativo, aplicando los resultados de los factores, características y procedimientos, tomando en cuenta medidas y elementos propios de la investigación, con el propósito de efectuar la viabilidad del emplazamiento eólico.

La conclusión de la investigación está en relación con el abastecimiento energético aun parque logístico por ello la viabilidad del proyecto es de gran importancia, así como la recopilación de información necesaria para fundamentar la toma de decisiones con respecto al emplazamiento.

1.2 INTRODUCCIÓN

Las energías renovables son la alternativa más limpia y ayudan a cuidar el ambiente. Se encuentran en la naturaleza en una cantidad ilimitada y, una vez consumidas, se pueden regenerar de manera natural. Frente a los efectos contaminantes y el agotamiento de los combustibles fósiles, las energías renovables son ya una alternativa. Entre los diferentes tipos de energías renovables encontramos los siguientes: energía hidráulica, energía eólica, energía solar, energía geotérmica, energía mareomotriz, energía de la biomasa.

En la energía renovable que se enfocara es en la energía eólica, esta es una fuente de energía renovable que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad, para poder captar dicha fuerza es necesario el uso de aerogeneradores de tamaño variable que transforman con sus aspas la energía cinética del viento en energía mecánica. La energía del viento puede obtenerse instalando los aerogeneradores tanto en suelo firme como en el suelo marino.

Un aerogenerador es un generador eléctrico que funciona convirtiendo la energía cinética del viento en energía mecánica a través de una hélice en energía eléctrica gracias a un alternador. Actualmente, la importancia de la energía eólica como fuente de energía renovable no solo incluye las altas potencias, sino también el desarrollo de sistemas de baja potencia en ambientes urbanos.

Las turbinas de viento con potencias menores de 150kW son utilizadas en lugares con condiciones específicas que permitan el mejor aprovechamiento del viento para que las pérdidas sean menores, por lo que este proyecto tiene el propósito de un análisis ambiental del sitio y del potencial eólico para la locación en Ixtapaluca, Estado de México, en el cual se desarrollará un parque logístico amigable con el medio ambiente para así cumplir con los objetivos de la agenda 2030, esto implica el estudio de las condiciones óptimas para el emplazamiento eólico.

En el estudio se tomó en cuenta el recurso eólico, el impacto ambiental y auditivo que se menciona en el decreto 32/2006 del 27 de marzo para las poblaciones que se encuentran en su entorno, ya que la distancia entre un aerogenerador y una vivienda no será inferior a 150 metros respecto de un núcleo habitado para no superar los niveles de ruido permitidos. Asimismo, el análisis tecno-económico evalúa el desempeño técnico y económico de un proceso, producto o servicio. Normalmente combina el modelado de procesos, diseño de ingeniería y evaluación económica.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio climático es un tema muy controversial debido a las diversas posturas que existen de este tema, algunos mencionan que no existe dicho evento y otros que ya es un tema actual; en años anteriores se nos indicaba que si no se cuidaba el medio ambiente, existirán grandes consecuencias en el futuro, desafortunadamente el futuro es ahora y las consecuencias ya están presentes manifestándose en sequías, inundaciones, huracanes, aumento del nivel del mar por mencionar algunas, demostrándonos así que el mundo está en peligro.

En el sector energético nacional la demanda de energía crece aceleradamente, también es el responsable de alrededor del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero del país, además el acceso a las fuentes convencionales es cada vez más difícil y costoso, las preocupaciones ambientales son más fuertes debido a las fuertes evidencias de un calentamiento global y sus consecuencias por ello es necesario satisfacer las necesidades energéticas de la nación buscando reducir el impacto ambiental y fomentando la sustentabilidad. La diversificación de fuentes y el uso de tecnologías limpias permitirán alcanzar las metas deseadas en cuanto a desarrollo económico y mitigación de emisiones.

Uno de los objetivos de la agenda 2030 es impulsar a que las empresas se unan al campo de energías renovables, por medio del aumento de fuentes alternas de obtención sustentable; la localidad de Ixtapaluca planea ser participe con un proyecto, el cual consiste en la construcción de un parque logístico considerando el uso de las ER, por lo que este proyecto se enfocará en el análisis del potencial eólico, así como la viabilidad económica para la obtención de energía limpia por medio de un emplazamiento de 7 AG de baja potencia, satisfaciendo así una parte de la energía eléctrica en el parque, reduciendo el consumo de energía suministrada por la CFE, todo esto con la finalidad de ayudar al medio ambiente y disminuir el efecto invernadero.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Se realiza un análisis técnico de las condiciones ambientales y del potencial eólico disponible en la zona, así como el estudio económico para la instalación de un sistema eólico, para determinar la factibilidad en un emplazamiento.

1.4.2 Objetivos específicos

- Se analiza los datos técnicos para el sitio de instalación.
- Determinar la componente espacial del emplazamiento.
- Obtener la georreferenciación, topografía y rugosidad del sitio.
- Realizar la simulación de un emplazamiento eólico.
- Evaluar el retorno inversión.
- Análisis de costos de inversión requeridos para el emplazamiento.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Actualmente las energías renovables han tenido un auge muy importante en los últimos años, ya que el combustible fósil y sus derivados son un contaminante para el planeta, además del aumento constante en sus precios, logrando que diversos países del mundo adopten el uso de energías alternas como la energía solar, eólica, geotérmica, mareomotriz por mencionar algunas, ya que México cuenta con un gran potencial eólico, se pretende realizar un análisis del recurso eólico del sitio, una guía de diseño para obtener dicho recurso, examinar la rentabilidad del mismo y maximizar la producción de energía eléctrica con la instalación futura de aerogeneradores, aplicando diversos conocimientos para aprovechar las condiciones del sitio como la velocidad del viento, dirección y georreferenciación.

Por lo anterior mencionado se considera la construcción de un parque logístico que conectará el municipio de Ixtapaluca, estado de México, con el puerto de Tuxpan en el estado de Veracruz, esto con la finalidad de movilizar el sector económico permitiendo la conexión de la compra y venta en los mercados internacionales ya que se instalarán empresas y bodegas permitiendo así esta, además de lograr que el parque utilice energías limpias por lo que es necesario el análisis del recurso para verificar la viabilidad de instalar AG.

De esta manera el proyecto se dirige al análisis del potencial eólico y la viabilidad económica de un parque eólico de 7 AG de baja potencia para la región de Ixtapaluca, dependiendo si el análisis del emplazamiento es rentable, será integrado al parque logístico, esperando que este proyecto tenga un efecto favorable con respecto al sistema energético y al mercado socioeconómico, además de impulsar a otras empresas para implementar las energías limpias.

1.6 ANTECEDENTES

“El viento se define como el desplazamiento de las masas de aire y esta causado por las diferencias de presión atmosférica y por la fuerza de Coriolis derivada del giro de la tierra sobre su eje “ (Cucó, 2017). Por lo que la energía eólica es la energía cinética del viento, debido a que es una energía renovable lo hace inagotable siendo este una de las mayores ventajas de la energía eólica que puede ser aprovechada para diversas funciones como obtención de energía eléctrica, sacar agua de algunos pozos, etc.

A lo largo de la historia podremos encontrar diversos avances que han beneficiado la optimización de la energía eólica; en el 200 a.C. se encontraban los molinos de viento sencillos que servían para bombear agua en China, “mientras que en Persia y Medio Oriente ya había molinos de viento de eje vertical con velas tejidas de caña que se usaban para moler grano” (Mártel, 2021). Esta idea se expandió en diversos lugares como Europa, los Países Bajos modificaron y adaptaron la idea para drenar lagos y pantanos en delta del río Rin.

En 1887, el científico estadounidense Charles F. Brush construyó lo que hoy se admite que fue la primera turbina eólica para la generación de electricidad. Era un gigante, el más grande del mundo, con un diámetro de rotor de 17 metros y 144 palas de rotor, hechas de madera de cedro, se trataba de una turbina eólica de 12 kW (Figura 1.1).

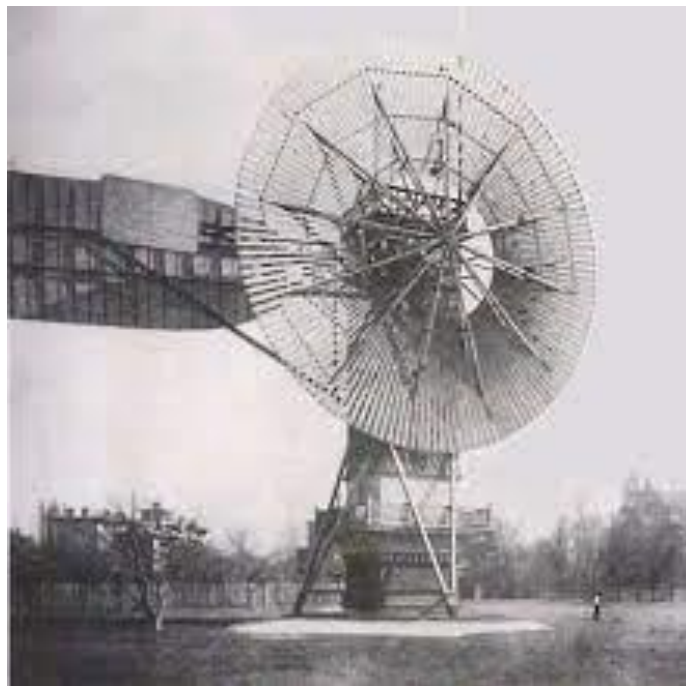


Figura 1.1 Primer aerogenerador para generación de electricidad Fuente: Blanco, T. A.

Después el científico Poul la Cour descubrió que entre menos cantidad de palas de rotor es más eficiente para la producción de energía eléctrica. En 1899, diseñó el primer generador eólico moderno, se puede observar que tienen un aspecto similar a los molinos de viento que recreaba Cervantes en el quijote (Figura 1.2)



Figura 1.2 Turbina eléctrica de Paol la Cour Fuente: Danish Wind Industry Association

Albert Betz fue el principal desarrollador de las bases teóricas de la transformación de energía del viento a electricidad, esto fue desarrollado en Alemania, publicó en 1919 una teoría, conocida como la ley de Betz. En esta ley se menciona que “no puede convertirse más del 16/27 (el 59.3%) de la energía cinética del viento en energía mecánica mediante una turbina eólica” (Carta, 2012).

La expresión de la energía producida por una turbina suele expresarse habitualmente en términos de potencia, sin más que dividir por el tiempo dando como resultado la siguiente Ecuación 1.1

$$Pr = \frac{16}{27} \left(\frac{1}{2} \rho A v^3 \right) (w)$$

Ecuación 1.1 Potencia máxima en el rotor de una turbina eólica Fuente: Carta, 2012

Donde:

- A= Es el área barrida por el rotor.

- ρ = La densidad del aire.
- v = La velocidad del viento aguas arriba de rotor (velocidad no perturbada).

Dado que la gran mayoría de turbinas eólicas producen electricidad, se mide su producción en términos de cantidad de energía eléctrica que son capaces de convertir a partir de la energía cinética del viento. Se suele medir esa energía en términos de kilovatios-hora (kWh) o de megavatios-hora (MWh) durante un cierto periodo de tiempo. Pero hasta hace pocos años se desarrolló la tecnología que permite la transformación de la energía eólica a energía eléctrica, pero con esto siguen las investigaciones para los cambios en las dimensiones, materiales, evolución de las aspas, sistemas de control, posición y rotores, esto con el fin de optimizar la obtención de la energía.

“México se considera cuenta con 31 parques eólicos en operación y en proyectos en varios estados, una capacidad de producción de electricidad superior a los 2,500 Mega Watts, los macroproyectos eólicos puestos en marcha en el país producen 2,551 Mega Watts a finales de 2015” (SEMAEDES, 2021), abasteciendo a más de 400,000 hogares con energía eléctrica. Algunos de los parques eólicos son: La Venta, La Venta II, Eurus, Fuerza eólica del ISTMO etc. También existen otros proyectos a pequeña escala, donde la cantidad de watts producidos es menor.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 DEFINICIÓN Y ORIGEN DEL VIENTO

2.1.1 Definición del viento

Se puede definir el viento como una corriente de aire que se produce en la atmósfera, aunque en meteorología se estudia el viento como aire en movimiento tanto horizontal como verticalmente. “El viento es una consecuencia de la radiación solar. Debido, fundamentalmente, a la redondez de la Tierra se originan diferencias de insolación entre distintos puntos del planeta” (SWISSCONTACT, 1997).

2.1.2 Origen del viento

Como se dijo anteriormente la producción del viento se obtiene a partir del movimiento de masas de aire en una región de la atmósfera denominada tropósfera y dentro de estas son los que se producen a nivel de la superficie de la tierra.

“La radiación solar es fundamental para la generación del viento, ya que la radiación hace que la superficie de la tierra caliente el aire cercano a esta superficie, una vez este aire este caliente su densidad es menor que la del aire frío, por lo que esta asciende y el aire frío que se encuentra en una parte superior desciende, este movimiento de aire frío y aire caliente genera unas corrientes de aire que son denominadas viento” (Carta, 2012).

2.1.3 Movimiento del viento

El movimiento del viento a gran escala se da debido a latitudes que son determinadas con respecto a la cantidad de radiación solar que reciban ciertas zonas, pero al momento de hablar de escalas menores el movimiento del viento está determinado por accidentes geográficos es decir cadenas de montañas, costas, vegetación, etc.

El movimiento del aire puede ser de día o de noche, además, también es diferente en colinas, valles, lomas y playas. En el caso de la playa la radiación que llega a la tierra generada por el sol y calienta tanto la superficie terrestre y el agua marina, como se sabe el agua tiene mayor capacidad calorífica que la tierra y aumenta la temperatura más lento durante el día, el aire que está en contacto con la superficie terrestre se calienta por conducción ascendiendo, esto produce una diferencia de presión logrando que las masas de aire más frío, que se encuentra en el mar, ocupen el lugar dejado por el aire ya caliente en la superficie terrestre, formándose una corriente cerrada. “En las noches se genera un fenómeno parecido debido también a que el agua marina se enfría más lento que la

superficie terrestre haciendo que la brisa que se genera sea en sentido contrario a la brisa generada en el día” (Carta, 2012).

2.1.4 Dirección y velocidad del viento

La dirección del viento viene definida por el punto del horizonte del observador desde el cual sopla. Actualmente se usa internacionalmente la rosa dividida en 360°. “El cálculo se realiza tomando como origen el norte y cuando los grados en el sentido de giro del reloj. Por lo tanto, un viento del SE equivale a 135°; uno del S, a 180°; uno del NO, a 315°, etc.” (Cucó, 2017).

La velocidad del viento se mide preferentemente en náutica en nudos y mediante la escala Beaufort. Esta escala comprende 12 grados de intensidad creciente que describen el viento a partir del estado del mar. Esta descripción es poco exacta ya que varía en función del tipo de aguas donde se manifiesta el viento. Aunque se puede decir que la velocidad del viento es un vector, por tanto, viene definida por el módulo, la dirección y el sentido.

Además de que la velocidad del viento varía en función de la altura sobre el suelo, este dato es de importancia al momento de estudiar el sitio para un emplazamiento eólico. Ya que dicha variación es de gran importancia por las siguientes razones:

- Al aumentar la altura aumenta la velocidad del viento y la potencia extraíble por el aerogenerador, lo que explica la tendencia a construir turbinas más altas.
- Cada pala, al girar recorre puntos situados a diferente altura con diferentes velocidades de viento, por lo que está sometida a diferentes esfuerzos (más velocidad del viento al paso de la pala por la vertical superior que al paso por la vertical inferior), por lo que se generan cargas variables. (Cucó, 2017)
- En la obtención de datos de velocidad de viento, es inexacto conocer el perfil de velocidades, lo que permite obtener el régimen de vientos en posiciones próximas a la de la torre de medición y también permite recuperar datos de viento en caso de fallos en las mediciones.

2.2 PARQUE EÓLICO

El Parque Eólico es una “Infraestructura formada por aerogeneradores que convierten las corrientes de aire en energía eléctrica” (Fragela, 2018). Los parques eólicos pueden ser terrestres o marítimos. Su instalación en un lugar depende del impacto en el medioambiente que pueda generar, el potencial energético del entorno, la variación del viento o las condiciones geológicas y geotécnicas de la zona. “Para producir

electricidad con una central eólica es necesario que el viento sople a una velocidad de entre 3 y 25 m/s” (Fragela, 2018).

“El roce del viento sobre el aerogenerador crea electricidad estática, que se descarga a través de una presa en el suelo que tienen todos los aerogeneradores. Es necesario instalar esa presa en el suelo debido a que la altura de la torre crea una diferencia de potencial entre el suelo y el aerogenerador” (Endesa, 2019).

2.2.1 ¿Cómo funciona un parque eólico?

El funcionamiento de un parque eólico se basa en cómo trabaja un conjunto de aerogeneradores. Aunque hay muchos tipos de aerogeneradores, todos tienen componentes básicos que trabajan de la misma forma en todos los casos, como se explica a continuación:

1. Las aspas comienzan a girar por acción del viento.
2. El movimiento de estas inmensas aspas hace que el buje gire.
3. El movimiento del buje impulsa un eje de velocidad lenta, que puede girar entre 10 a 20 vueltas por cada minuto.
4. La energía de movimiento giratorio alcanza el multiplicador, una caja con engranajes que permite aumentar la velocidad del giro. Las revoluciones alcanzan 1,500 vueltas por minuto. Hay aerogeneradores que no poseen este componente.
5. El movimiento acelerado es transmitido al generador, donde se transforma la energía mecánica en electricidad.
6. La electricidad baja a través de la torre para transferirla a la red y ser distribuida a los diferentes puntos de abastecimiento eléctrico.
7. Por lo general, en los parques eólicos, los aerogeneradores envían la energía a una subestación de transformación para trasladarla después a una subestación de transformación y luego a la red.

2.2.2 Análisis antes de montar un parque eólico

La cantidad de unidades de AG que conforman el parque eólico es variable y va a depender principalmente de la superficie que se disponga y de las características que tenga el viento en el emplazamiento. “Antes de la instalación de un parque de esta clase, es necesario analizar el viento durante un tiempo, casi siempre poco más de un año. Una vez recogida la información, se procede a trazar una rosa de vientos que señala las direcciones que predominan del viento y la velocidad que trae” (Friday, 2021).

Finalmente se toma la decisión, escogiendo las posiciones óptimas y la clase adecuada de aerogenerador que debe instalarse. Llegada la fase para desarrollar el proyecto, es necesario tramitar las licencias y permisos requeridos.

2.3 AEROGENERADOR

“El aerogenerador es un dispositivo que transforma la energía cinética del viento en energía mecánica” (Fernández Salgado, 2009) y la energía mecánica es transformada a su vez en energía eléctrica. En la actualidad podemos encontrar diversos aerogeneradores, estos dependen de cada necesidad a cumplir.

Se clasifican los aerogeneradores a partir del criterio de potencia, estos se dividen en 3 niveles, los cuales son:

- Turbinas de baja potencia: Se distingue por sus bajos costos, menor impacto visual en comparación a las utilizadas en grandes instalaciones, “las bajas potencias abarcan de 1 a 100 kW y son usadas en pequeñas granjas y en casas aisladas” (Creus Sole, 2014).
- Turbinas de media potencia: “Los generadores de media potencia abarcan desde 100 a 1000 kW. Se aplican típicamente en pueblos situados en áreas remotas” (Creus Sole, 2014), por la mayor potencia que aporta todos los componentes tienden a aumentar de tamaño, grosor, longitud, etc.
- Turbinas de alta potencia: Son aquellos que producen más de 1000 kW de energía, estos pueden llegar hasta 8 MW.

También se pueden clasificar en función de la posición del eje del rotor de la maquina respecto a la dirección del viento, teniendo los siguientes tipos:

- Aerogeneradores de eje vertical: El eje de rotación está en dirección perpendicular al suelo. Se caracterizan por reaccionar y adaptarse muy bien al cambio en la dirección del viento.
- Aerogeneradores de eje horizontal: Su eje de rotación está paralelo al suelo y aprovecha mejor el viento. En esta categoría están incluidos los antiguos molinos de viento, a continuación, se puede observar las subclasificaciones de los AG de eje horizontal en la Figura 2.1

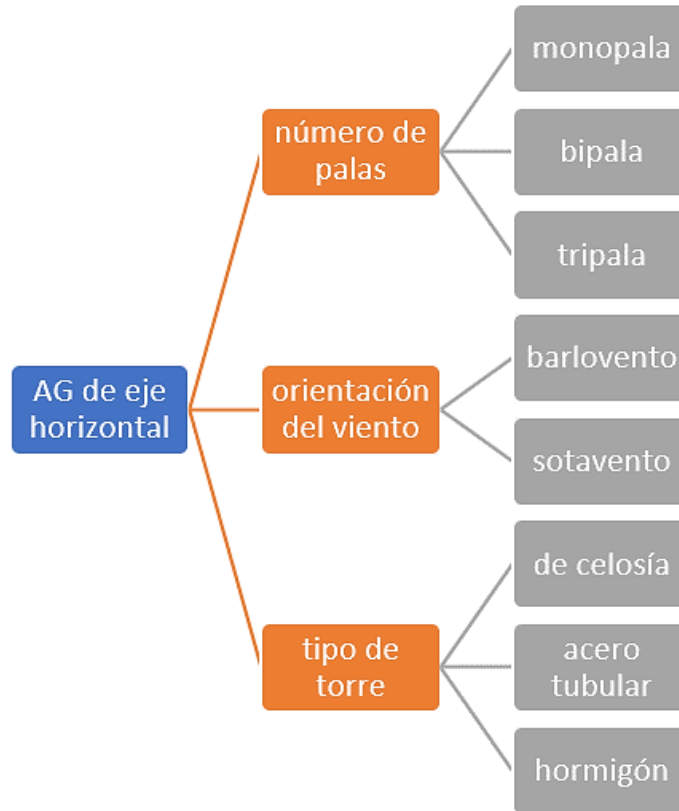


Figura 2.1 Tipos de AG de eje horizontal Fuente: Creus Sole, 2014

2.3.1 Partes de un aerogenerador

2.3.1.1 Generador eólico

Es una máquina capaz de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica, según el uso que se le dará a esa energía mecánica, se pueden dividir en dos tipos: los aerogeneradores que utilizan esa energía mecánica para el accionamiento de un generador eléctrico y así generar electricidad, o los aeromotores que utilizan directamente esa energía mecánica para el accionamiento de una máquina. La generación de energía eléctrica es el uso de la energía eólica más importante. En un aerogenerador se producen varios cambios de energía: la energía cinética del viento que se convierte a energía mecánica por medio del rotor, y la energía mecánica que se convierte en energía eléctrica por medio del generador. “Las palas de un aerogenerador giran entre 13 y 20 revoluciones por minuto, según su tecnología, a una velocidad constante o bien a velocidad variable” (Acciona, 2020).

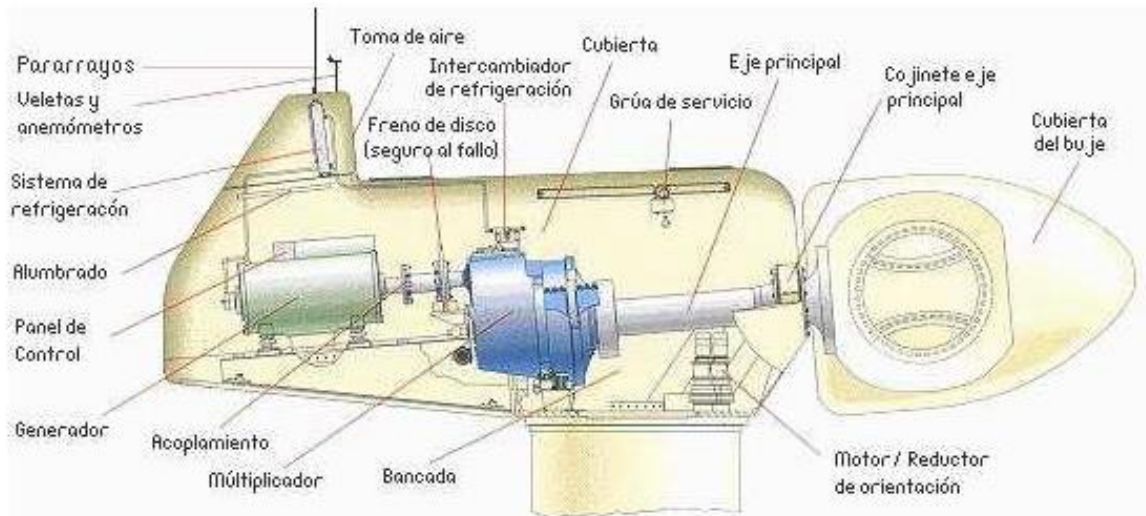


Figura 2.2 Partes internas de un aerogenerador Fuente: Cuco S.

El aerogenerador consta de diversas partes como pararrayos, sistema de refrigeración, bancada, alumbrado, grúa de servicio, toma de aire, acoplamiento, etc. En la Figura 2.2 se muestra cada una de sus partes internas y externas del aerogenerador y donde se encuentran ubicados.

2.3.1.2 Subsistemas

- Tren de potencia: Su función es convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica.
- Rotor: Su función es convertir la energía cinética del viento en energía mecánica de rotación, son el conjunto de componentes del aerogenerador que giran fuera de la góndola. Está compuesto por las palas, el buje y la nariz (Turruellas, 2017).

2.3.1.3 Palas

Son el elemento del aerogenerador que por aprovechamiento aerodinámico capturan la energía del viento y transmiten su potencia hacia el buje al que están conectadas.

- Buje: Es el elemento de unión entre las palas y el sistema de rotación, ya que este está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador.
- 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 (Leon, s.f.).

2.3.1.4 Eje de baja velocidad

Es el encargado de conectar el buje del rotor con la multiplicadora y transmitir la energía captada por las palas.

- **Multiplicadora:** Debido a la velocidad que gira el rotor es mucho menor a la que necesita el generador para producir electricidad, se necesita una multiplicadora, para aumentar la velocidad a la que gira el rotor y así lograr el accionamiento del generador. La multiplicadora conecta el eje de baja velocidad del rotor con el eje de alta velocidad del generador. Con ella se consigue la conversión entre potencia de alto par, que se obtiene del rotor girando lentamente, y la potencia de bajo par, a alta velocidad, que se utiliza en el generador, se caracteriza por su relación de transformación, definida como la relación entre la velocidad de giro del eje de entrada (lado del rotor) y la del eje de salida (lado del generador eléctrico) (Arrazola, 2016).

2.3.1.5 Eje de alta velocidad

Es el encargado del accionamiento del generador eléctrico.

- **Generador eléctrico:** Su función es convertir la energía mecánica de rotación que le entrega la multiplicadora, en energía eléctrica. El generador eléctrico de un aerogenerador, tiene que trabajar bajo niveles de cargas fluctuantes, debido a las variaciones en la velocidad del viento.
- **Góndola:** La góndola encierra en su interior la multiplicadora, el generador eléctrico y los sistemas auxiliares del aerogenerador, dispone de una cubierta de protección y de insonorización de los componentes de la máquina, también, incorpora las aberturas necesarias para lograr una ventilación efectiva del multiplicador y del generador (Arrazola, 2016).

2.3.1.6 Generador Sistemas auxiliares del aerogenerador

Sistema de regulación y control: Este sistema tiene como función, mantener la velocidad de rotación constante y regular, y limitar la potencia eólica aprovechada o recuperada por el rotor. Cuando la velocidad del viento es menor a la de conexión o mayor a la de desconexión, el sistema de control frena el aerogenerador como medio para prevenir daños. Para lograr esto, el aerogenerador cuenta con dos tipos de frenos, el freno aerodinámico y el freno mecánico. El primero, frena el aerogenerador por medio del giro del ángulo de las palas, gracias a esto se detiene de forma suave y segura en unas pocas vueltas, cuando se aplica este freno, el AG queda en estado de libre giro, pero no

detenido completamente. “El freno mecánico es un freno de disco situado en el eje de alta velocidad del multiplicador” (Roman, 2013).

Este freno completamente el aerogenerador, se usa en caso de emergencia (fallo del freno aerodinámico) o durante las tareas de mantenimiento, para inmovilización por seguridad.

2.3.1.7 Generador Sistema de orientación

Este sistema tiene 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.

- Anemómetro: Se utiliza para medir la velocidad del viento
- Veleta: Se utiliza para medir la dirección del viento.

2.3.1.8 Sistema hidráulico

El sistema de giro hidráulico es una parte fundamental de los aerogeneradores modernos, ya que configura constantemente el ángulo de las palas respecto al viento para optimizar la producción energética del aerogenerador. “El sistema de giro también actúa como el freno de emergencia principal que, en condiciones meteorológicas adversas o velocidades del viento extremas, minimiza el riesgo de fallos estructurales y accidentes. Por ello el sistema de giro es importante para el aerogenerador, independientemente de que tenga multiplicadora o sea de accionamiento directo” (Jensen, 2019).

Por lo que, resulta extremadamente importante mantener el aceite del sistema de giro sin partículas, agua o productos de oxidación (barniz) para garantizar un funcionamiento del aerogenerador seguro y fiable.

2.3.1.9 Torre

Es la encargada de soportar la góndola y el rotor. Entre más alta sea la torre mayor cantidad de energía podrá obtenerse, ya que la velocidad del viento aumenta con la altura respecto al nivel del suelo.

2.4 EFECTO ESTELA

El viento aguas arriba y aguas abajo de la turbina de viento posee cantidades diferentes de energía lo que corresponde un cambio en las condiciones del viento. “El

efecto estela es la región espacial con una velocidad de viento menor y con un diámetro un poco mayor a la del aerogenerador de estudio” (Carlos, 2021).

Un aerogenerador que extrae energía del viento va dejando una estela caracterizada por reducir la velocidad del viento y un incremento de turbulencia, si una turbina de viento se encuentra trabajando dentro de la región de estela de otra en un punto dentro del parque eólico donde se ve afectada por varias de estas estelas, entonces la turbina producirá menos energía que aquellos aerogeneradores que interactúan directamente con el flujo del viento natural. La estela y el flujo del viento que rodea la región de mezclado se expande hacia el centro de la estela lo que hace que la velocidad del viento incremente de esa manera la falta de velocidad de la estela es consumida y la misma se vuelve más amplia, pero con menor efecto hasta que el flujo del viento se recupera aguas abajo (Figura 2.3).

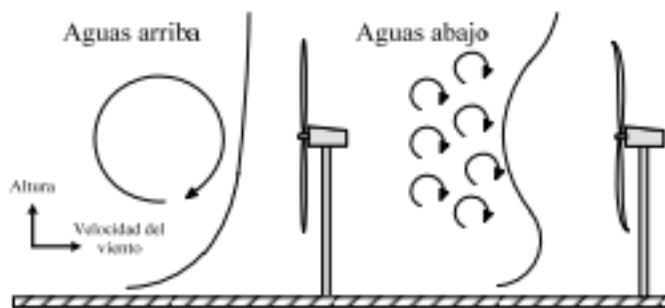


Figura 2.3 Intersección de la estela con el flujo de viento del ambiente Fuente: Carlos, 2021

2.4.1 Regiones del Efecto Estela

“Las regiones donde se observa el efecto estela son dos. La primera es el flujo en un terreno cercano a la localidad de rotor de una turbina, la segunda es una región aguas abajo lejana de la ubicación de la turbina, donde la velocidad reducida del viento es necesaria para el cálculo de la producción energética de aerogeneradores aguas abajo” (SEMAEDES, 2021).

2.4.2 Terreno cercano

El flujo en un terreno cercano a la localidad del rotor de una turbina con respecto al efecto Estela puede ser descrito en términos de ciertas propiedades de flujo del viento.

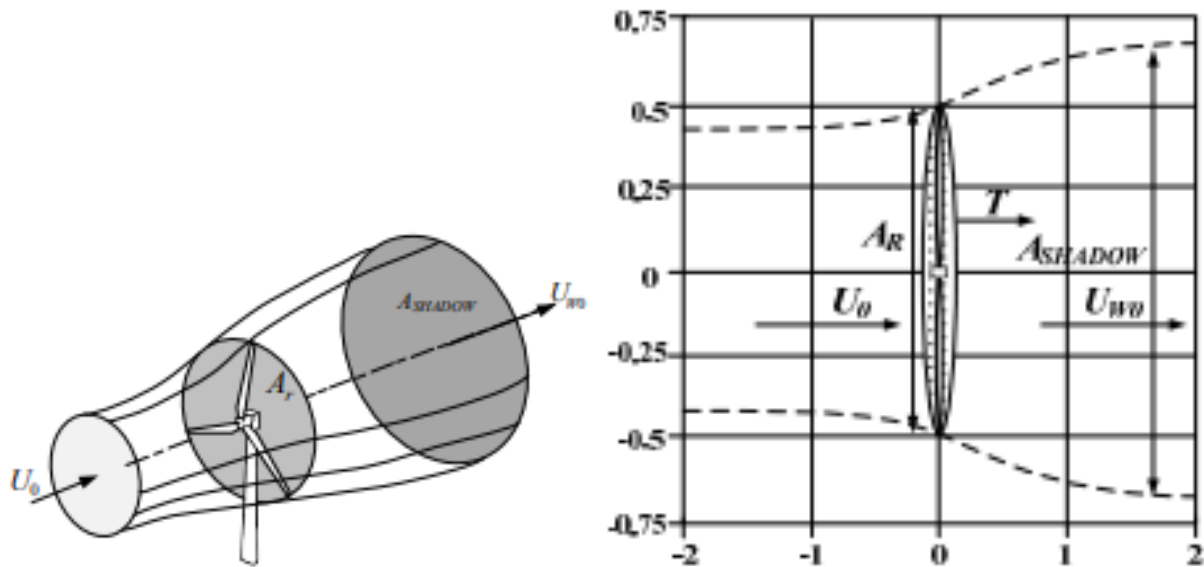


Figura 2.4 Efecto estela alrededor del rotor de un aerogenerador; región del terreno cercano Fuente: Carlos, 2021

- T = El empuje de la turbina
- C_T = Coeficiente de empuje
- U_{w0} = Rotor de la turbina
- U_0 = Velocidad del viento incidente (Viento sin Estela)

T se encuentra expresado en función del C_T , además se tiene la inducción de un factor a el cual se encuentra relacionado con la velocidad del viento que se localiza seguidamente después del U_{w0} y U_0 .

Se debe observar la expansión del área después del rotor (A_{SHADOW}). “Se debe observar la expansión del área inmediatamente después del rotor relacionado con el área del rotor (A_R) pasando por el coeficiente de expansión β , por último, se puede tomar en cuenta el área de expansión del flujo ΔA_T ” (Cucó, 2017).

En base a la Figura 2.4 se obtiene un conjunto de ecuaciones, las cuales conllevan a la obtención del área de expansión total del flujo del viento en el caso del campo cercano.

$$T = \frac{1}{2} \rho C_T U_0^2$$

Ecuación 2.1 Empuje de la turbina Fuente: Carlos, 2021

En la Ecuación 2.1 se observa como el valor de T (densidad de flujo) depende además de C_T (peso del diámetro) y el cuadrado de U_0 (masa definida) de la densidad del aire ρ .

$$U_{W0} = (1 - a)U_0$$

Ecuación 2.2 Fórmula del rotor de la turbina Fuente: Carlos, 2021

En la Ecuación 2.2 Podemos observar que en la fórmula del rotor de la turbina depende de la función de velocidad del viento incidente y la unidad (a).

$$a = 1 - \sqrt{1 - C_T}$$

Ecuación 2.3 La unidad Fuente: Carlos, 2021

En la Ecuación 2.3 Se observa la interacción entre todos los parámetros presentes, dando como resultado que la velocidad después del rotor tiende a ser menor al incidente, ya que, el valor del factor será inferior a la unidad.

$$A_{SHADOW} = \beta A_R$$

Ecuación 2.4 La expansión del área Fuente: Carlos, 2021

En la Ecuación 2.4 se puede visualizar la fórmula de la expansión del área después del rotor.

$$\beta = \frac{1 - \frac{1}{2}a}{1 - a}$$

Ecuación 2.5 Coeficiente de expansión Fuente: Carlos, 2021

En la Ecuación 2.5 se puede visualizar el coeficiente de expansión β en función de la unidad en donde se puede observar en la Ecuación 2.3.

$$\Delta A_T = A_R a \beta$$

Ecuación 2.6 Área de la densidad de flujo Fuente: Carlos, 2021

En la Ecuación 2.6 se muestra el área de expansión total del flujo.

La cantidad de energía transferida al rotor por el viento depende de la densidad del aire, del área de barrido con respecto al rotor y de la velocidad del viento.

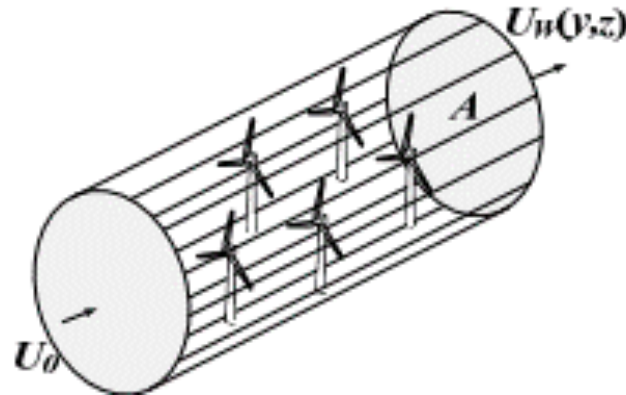


Figura 2.5 Volumen de control cilíndrico alrededor de un conjunto de turbinas Fuente: Carlos, 2021

Se observa la interacción entre todos los parámetros presentes en la Figura 2.5; Se muestra como la velocidad después del rotor de la turbina es menor al incidente, ya que el valor del factor será inferior a la unidad.

2.4.3 Terreno alejado

“Se aplica un volumen de control en forma de cilindro alineado con la dirección del viento (U_0), dicho cilindro tiene todas las turbinas de viento en estudio y debe ser lo suficientemente amplio para que el déficit de velocidad en la dirección del viento sea muy pequeño en la superficie cilíndrica” (Cucó, 2017).

Mediante el uso del coeficiente de alzamiento y arrastre c , se puede calcular la velocidad V_x (m/s) en la turbina de aguas abajo considerando el efecto estela, debido al generador ubicado aguas arriba como se muestra en la Ecuación 2.7.

$$V_x = V \left[1 - (1 - \sqrt{1 - C}) \frac{1}{(k_w m)^2} \right]$$

Ecuación 2.7 Velocidad en la turbina Fuente: Carlos, 2021

Donde m es el radio de la distancia entre los aerogeneradores aguas arriba y aguas abajo en el parque eólico y C el diámetro de las turbinas.

2.5 INSTRUMENTACIÓN

Los instrumentos de medida necesarios en energía eólica son:

- Anemómetros para medir la velocidad del viento.
- Veletas para medir la dirección.
- Termómetros para medir la temperatura ambiente del aire.
- Barómetros para medir la presión atmosférica ambiental.

2.5.1 Anemómetros

Son los instrumentos utilizados para determinar la velocidad del viento. Pueden clasificarse según su principio de operación.

- De rotación:

Pueden ser de cazoletas o de hélice. El anemómetro de cazoletas consiste en tres o cuatro cazoletas montadas simétricamente alrededor de un eje vertical. Debido a que la fuerza que ejerce el aire en el lado cóncavo es mayor que en el lado convexo, la rueda de cazoletas gira. La velocidad de rotación es proporcional a la velocidad del viento. Dicha rotación puede medirse de varios modos: contando mecánicamente el número de revoluciones, conectando el eje de la rueda de cazoletas a un pequeño generador eléctrico y midiendo el voltaje instantáneo, o a un interruptor opto eléctrico y midiendo su salida. Los anemómetros de tres cazoletas semicónicas son preferentemente los más usados. “La principal ventaja de los anemómetros de cazoletas es que miden las dos componentes horizontales del viento” (elanemometro, 2021).

- De hélice:

Se utiliza cuando se quiere conocer la velocidad del viento en una dirección particular. Normalmente se coloca un conjunto de dos o tres anemómetros de hélice en planos perpendiculares para obtener las componentes de velocidad sobre los ejes principales (horizontales y vertical). “A veces se utiliza un anemómetro de hélice asociado a un sistema de orientación tipo veleta, para medir la componente horizontal de la velocidad de viento” (Anemometro, 2020).

- De presión:

La medida de la velocidad del viento se registra mediante los efectos de las variaciones de presión que ejerce el aire cuando se mueve. Dichos anemómetros están encaminados más que a medir la velocidad del viento a medir la fragosidad, mediante galgas extensométricas acopladas a una esfera perforada, midiendo así la magnitud y

dirección del viento. Anemómetros de hilo caliente. “Miden la velocidad a través del efecto de enfriamiento del viento. La principal ventaja de estos equipos es su pequeña constante de tiempo, aunque, por el contrario, son equipos muy delicados” (anemómetros, 2021).

- Anemómetros basados en el efecto sónico:

El sonido viaja a través del aire en reposo a una velocidad conocida. Sin embargo, cuando el aire está en movimiento esta velocidad aumenta o disminuye correlativamente. “Son equipos con una constante de tiempo muy baja y de gran resolución en la medida, aunque son caros y no pueden transportarse” (Iberica, 2003).

2.5.2 Medida de la dirección del viento

El elemento empleado tradicionalmente para medir la dirección del viento es una veleta, que consiste en un dispositivo montado sobre un eje vertical y de giro libre, de tal modo que puede moverse cuando el viento cambia de dirección. “Normalmente, el movimiento de la veleta está amortiguado para prevenir cambios demasiado rápidos de la dirección del viento. Así mismo, puede obtenerse una medida de la dirección del viento resolviendo los registros de salida de dos anemómetros de hélice dispuestos ortogonalmente” (Carta, 2012).

2.5.3 Medida de la temperatura

“Se utiliza para la determinación de la potencia suministrada, así como para evaluar la climatología local en emplazamientos de parques eólicos. Los termómetros corrientes basados en un elemento de resistencia de platino son los más utilizados” (Carta, 2012).

2.5.4 Medida de la presión atmosférica

La presión atmosférica se utiliza para la determinación de la potencia suministrada en una instalación eólica. Generalmente se utiliza un barómetro meteorológico.

2.6 GEOREFERENCIACIÓN

La georreferenciación es uno de los procesos principales que se utilizan a la hora de iniciar con un parque eólico el cual se define como “Proceso posicionamiento espacial de un cuerpo en una localización geográfica de acuerdo con un sistema de coordenadas terreno y a datos específicos como una imagen digital” (Datacentric, 2020). Originariamente se encuentra en coordenadas pixel. Google posee dos plataformas: Google Earth y Google Maps (Figura 2.6).



Figura 2.6 Ejemplo de los programas Google Earth y Google Maps Fuente: Datacentric, 2020

- Google Earth es un sistema de georreferenciación que nos permite situar en el mapa puntos concretos de la geografía. Además, nos permite obtener una vista aérea de las ubicaciones y navegar por ellas, pero son mapas creados a partir de la selección de un conjunto de datos.
- Google Maps es un sistema de geolocalización por su parte tiene una característica muy específica: nos permite localizar un dispositivo en el mapa en tiempo real, es decir, acceder a una ubicación exacta y ofrecer las diferentes funciones de la aplicación a partir de esto.

Un sistema de coordenadas geográficas sirve para referenciar un punto en la superficie terrestre mediante dos coordenadas angulares (longitud y latitud) e incluyendo la altitud para una mejor precisión. En la georreferenciación es importante la cooperación de otras disciplinas como son la topografía, rugosidad, cartografía, geodesia y los sistemas de información geográfica.

2.6.1 Topografía

La topografía es una ciencia geométrica dedicada a la representación gráfica de la superficie terrestre. Esta disciplina estudia los principios y procedimientos que nos permiten ilustrar las formas, detalles y elementos de la Tierra, tanto los naturales como los creados por el ser humano.

“Tiene como objetivo representar la infraestructura, orografía, hidrografía y las poblaciones del país. En ella se registran estos elementos y las relaciones que guardan entre sí. Contiene información sobre el relieve, rasgos hidrográficos, vegetación densa, áreas con actividades agrícolas, localidades y vías de comunicación, además de los nombres de los rasgos (toponimia) y las localidades” (INEGI 2021).

Dicha representación se hace siempre respecto a una extensión de terreno limitada, aplicando un plano imaginario y un conjunto de coordenadas tridimensionales (x, y, z). Dando como resultado un mapa topográfico, que indica cuál es el relieve de la zona estudiada. Los mapas topográficos muestran la elevación del terreno mediante sistemas de líneas que conectan puntos específicos con un plano de referencia, el cual suele ser el nivel de metros sobre el mar (msnm). Básicamente la topografía se ocupa de describir la realidad física inmóvil de un lugar determinado, sea éste una ciudad, un campo o un valle entre montañas.

Existen dos tipos de medición topográfica las cuales son:

- Medición directa: Adquiere sus datos comparando la distancia real con la unidad de medida que la describe, como puede ser mediante una cinta métrica.
- Medición indirecta: Aquella que se obtienen las mediciones por medio de la aplicación de una fórmula matemática, software y otras formas de razonamiento abstracto.

2.6.2 Rugosidad

“Es el conjunto de irregularidades de la superficie real, definidas convencionalmente en una sección donde los errores de forma y las ondulaciones han sido eliminados” (superficial & Rugosidad, 2003).

La rugosidad del suelo se estima como un espesor o altura, este es un parámetro que influye en el perfil vertical de la velocidad del viento y por lo tanto en la dispersión. Entre más grande sea este parámetro mucha mayor será la turbulencia generada lo cual incrementa la dispersión y reduce por tanto la masa inflamable dentro de una nube de vapor. Para estimar este parámetro Pasquill (1974 visto en Woodward, 1998) propone la Tabla 2.1 facilitando el espesor o altura de la rugosidad para distintos tipos de terrenos.

Z0[m]	Terreno	
1E-4	Mar abierto en calma o un suelo plano cubierto por nieve o suelo laminado	Grandes extensiones de agua o desierto
1E-3	Vientos fuera de mar en áreas costeras	
2E-3	Nieve natural sobre tierra de cultivo	
5E-3	Césped (alrededor de 30cm)	Muchos niveles cubiertos con hierbas
1E-2	Pocos árboles, invierno	
2.5E-2	Sin cortar el pasto, arboles aislados	Pistas de aeropuertos
5E-2	Pocos árboles, verano	Tierras de cultivo
8E-2	Muchos setos	
3E-2	Casos rurales EPA	
2E-1	Muchos árboles, setos, pequeños edificios	
4E-1	Límites de una ciudad	Muchos niveles boscosos
5E-1	Centro de pequeños pueblos	
1.0	Centros de grandes pueblos, ciudades. Casos urbanos EPA Plantas de procesamiento (Peterson 1990, visto en Woodward, 1998)	Bosques
1.5-3	Centro de ciudades con muchos edificios altos	Con desniveles y montañas

Tabla 2.1 Rugosidad de la superficie para distintos terrenos Fuente: Enciclopedia, 2013

2.7 SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Son las instalaciones encargadas de realizar transformaciones de la tensión de la frecuencia, del número de fases o la conexión de dos o más circuitos. “Pueden encontrarse conjunto a las centrales generadoras y en la periferia de las zonas de consumo, en el exterior o en el interior de los edificios. Las subestaciones pueden ser de dos tipos” (Carta, 2012).

2.7.1 Subestaciones de transformación

Transforman la energía eléctrica mediante uno o más transformadores. Estas subestaciones pueden ser elevadoras o reductoras de tensión.

2.7.1.1 Subestaciones de transformadoras elevadoras

Eleva la tensión generada de media a la alta o muy alta para poderla transportar. Se encuentra al aire libre y están situadas al lado de las centrales generadoras de electricidad. La tensión primaria de los transformadores suele estar entre 3 y 36 kV. Mientras que la tensión secundaria de los transformadores está condicionada por la tensión de línea de transporte y de interconexión (66, 110, 220 o 380 kV).

2.7.1.2 Subestaciones transformadoras reductora

Tienen la función de reducir la tensión de alta o muy alta tensión a media para su posterior distribución. La dentición primaria de los transformadores depende de la tensión de la línea de transporte (66, 110, 220 o 380 kV). Mientras que la tensión secundaria de los transformadores está condicionada por la atención de las líneas de distribución (entre 6 y 30 kV)

2.7.2 Líneas de evacuación eléctrica

La energía eléctrica que sale de la subestación de transformación es transportada hasta el punto de interconexión con la red eléctrica de alta tensión, mediante la línea de evacuación eléctrica del parque eólico. Esta línea está formada por uno o varios conductores aéreos, aunque algunas discurren de forma subterránea, se realizan mediante conductores con secciones comprendidas entre los 400 y 600 mm² y operan con una tensión entre 12 y 400 kV.

2.7.3 Centro de control

El centro de control es un edificio situado en el parque eólico que dispone de varias estancias para ubicar distintos servicios, que habitualmente son: sala de control, taller mecánico para realizar reparaciones de los elementos del parque, stock, herramental y utillajes. Normalmente se encuentra ubicada muy próxima a la subestación de transformación. La principal función se cumple en la sala de control, donde se opera y controla todo el parque eólico. En la sala de control se reciben todas las alarmas, información y datos que aportan los aerogeneradores, subestación y torres meteorológicas. Desde la misma se pueden conectar, desconectar y parar los aerogeneradores, realizar conexiones y desconexiones en la subestación eléctrica y disponer de los datos de producción eléctrica del parque. Si bien se puede operar el parque eólico desde esa misma sala por el responsable del parque, también se puede

operar de forma remota desde otra ubicación donde se pueden operar varios parques a la vez. “En la sala de control también se encuentra el servidor del parque donde se almacenan todos los datos, alarmas e información generada año tras año, formándose un histórico de los mismos” (Carta, 2012).

2.7.4 Torre meteorológica

La torre meteorológica capta y transmite a la sala de control los datos de velocidad y dirección del viento, presión atmosférica y temperatura ambiente de la zona donde se encuentra ubicado el parque eólico, los equipos de medida se instalarán a la misma altura de trabajo de los aerogeneradores. Los equipos de medición utilizados son: para la dirección del viento una veleta; la velocidad del aire con un anemómetro, habitualmente de cazoletas; temperatura y humedad con termohigrómetro; y la presión atmosférica con barómetro. Si bien los datos de velocidad y dirección del viento son medidos en cada uno de los aerogeneradores, nos da información genérica de las condiciones climáticas a las que están expuestas los aerogeneradores. En el caso de que el parque eólico disponga de aerogeneradores en ubicaciones distintas o en zonas donde las condiciones climatológicas tengan diferencias apreciables, se colocarán torres meteorológicas en cada una de esas ubicaciones o zonas y sus datos se vincularán a los aerogeneradores que comparten dichas condiciones.

2.8 SISTEMAS DE CONTROL

2.8.1 Sistemas de control de orientación

La variabilidad de la velocidad del viento hace necesaria la utilización de un mecanismo de orientación que puede ser activo o pasivo. Los mecanismos de orientación activos requieren un sistema de control de la orientación que determine no solo cuando se debe actuar y en que direcciones, sino también la rapidez con la que debe ejecutarse. La variable que mide este sistema de control es la diferencia entre los ángulos que forman la dirección del eje del aerogenerador y la dirección del viento, determinado por la veleta, con una dirección de referencia. “El movimiento de orientación se activa como respuesta a dicha diferencia de ángulos, normalmente con un cierto retardo que es tanto menor cuanto mayor sea ésta” (Cucó, 2017).

2.8.2 Sistemas de control de potencia

El movimiento del aire alrededor de cada elemento de pala da lugar a la aparición de una fuerza con unas componentes de sustentación y de resistencia que son, respectivamente, perpendicular y paralela a la dirección de la velocidad del aire relativa a la pala. Las proyecciones de estas fuerzas sobre el plano del rotor y en dirección

perpendicular a este dan lugar a un par y a una fuerza de empuje sobre el rotor, respectivamente. “Estas fuerzas aumentan con la velocidad del viento, y, con ellas, la potencia captada por el rotor y las cargas dinámicas que se generan sobre el aerogenerador” (Cucó, 2017).

“Para una determinada velocidad del viento, denominada velocidad nominal, se alcanza la potencia nominal del aerogenerador, que es la máxima potencia que éste puede aprovechar y para la que están diseñados los distintos componentes que lo integran. Para velocidades del viento superiores a la nominal, es necesario limitar la potencia que capta el aerogenerador, y para ello se utilizan dos tipos de sistemas de control de potencia: pasivos y activos” (Cucó, 2017).

2.8.3 Sistemas de control de la velocidad de giro

Los rotores de los aerogeneradores tradicionales empleados en la generación de energía eléctrica giran a una velocidad constante. Esto es debido a que utilizan generadores eléctricos conectados directamente a la red, lo que impone una velocidad de giro constante determinada por la frecuencia de la red.

$$\Omega \left(\frac{rad}{s} \right) = \frac{2\pi f}{p}$$

Ecuación 2.8 Velocidad de giro Fuente: Pérez Rodríguez

Donde p es el número de pares de polo del generador y f la frecuencia de la red, cuyo valor típico es de 50 Hz. Los ejes del generador y del aerogenerador están conectados a través el multiplicador y sus velocidades de giro guardan entre sí una relación constante. Se diseña el aerogenerador para que la velocidad este cercana a la nominal. Esto hace que para velocidades del viento bajas el rendimiento aerodinámico sea bajo.

Se varía la velocidad de giro en función de la velocidad del viento, de forma que la velocidad específica se mantenga en un valor igual al que proporciona el coeficiente de potencia máximo. La principal ventaja de esta estrategia de seguimiento del punto de máxima potencia es que permite absorber las cargas que se producen debido a la variabilidad del viento. Si conseguimos que el rotor gire a una velocidad óptima, al aumentar la velocidad del viento el coeficiente de potencia se mantiene constante al máximo, lo que hace que la potencia aumente con el cubo de la velocidad del viento. La velocidad de giro del rotor está limitada a un cierto valor para evitar la aparición de cargas excesivas. Esto hace que no sea posible alcanzar la velocidad de giro óptima para todas las velocidades del viento. Es decir, para acelerar o desacelerar el rotor se disminuye o

aumenta el par en el generador, respectivamente. El valor del par en el generador se varía mediante un bucle de control, hasta que el rotor alcance la velocidad deseada. El control del par permite absorber de forma natural las cargas que se generan como consecuencia de la variabilidad del viento. “Un aumento brusco de la velocidad causa un aumento en la velocidad del giro del rotor que, debido a su inercia, suaviza el efecto sobre la turbina. De esta forma se evita una sobrecarga que se genera sobre el rotor en las máquinas de velocidad de giro fijas” (Cucó, 2017).

2.9 LA ATMÓSFERA

“La atmósfera de la Tierra es una cobertura gaseosa compuesta principalmente por nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2) molecular, con pequeñas cantidades de otros gases, como vapor de agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2). La capa fina azulada cerca del horizonte que se observa en la Figura 2.7 representa la parte más densa de la atmósfera. Aunque nuestra atmósfera tiene un espesor de varias centenas de kilómetros, cerca del 99 % de su masa gaseosa se encuentra dentro de los primeros 30 km cercanos a la superficie terrestre” (Cucó, 2017).



Figura 2.7 Recubrimiento de la tierra Fuente Camilloni, I.

La atmósfera es un fluido gaseoso que ejerce presión sobre todos objetos inmersos en ella, incluido sobre nosotros.

La presión en la atmósfera no es igual en todas partes. Fundamentalmente depende de la altura, siendo más alta cuanto más cerca del nivel del mar nos encontremos (Figura 2.8). Esto se debe a que la presión atmosférica depende del peso del aire que queda por encima. A mayor altura, menor cantidad de aire queda por encima de nuestras cabezas, que por tanto pesa menos y ejerce menor presión. Además, como el aire es menos denso según ascendemos en la atmósfera, esto hace que su peso disminuya aún más. Normalmente no notamos excesivamente la presión atmosférica, pues esta presión también se encuentra en nuestro interior (pulmones, flujo sanguíneo).

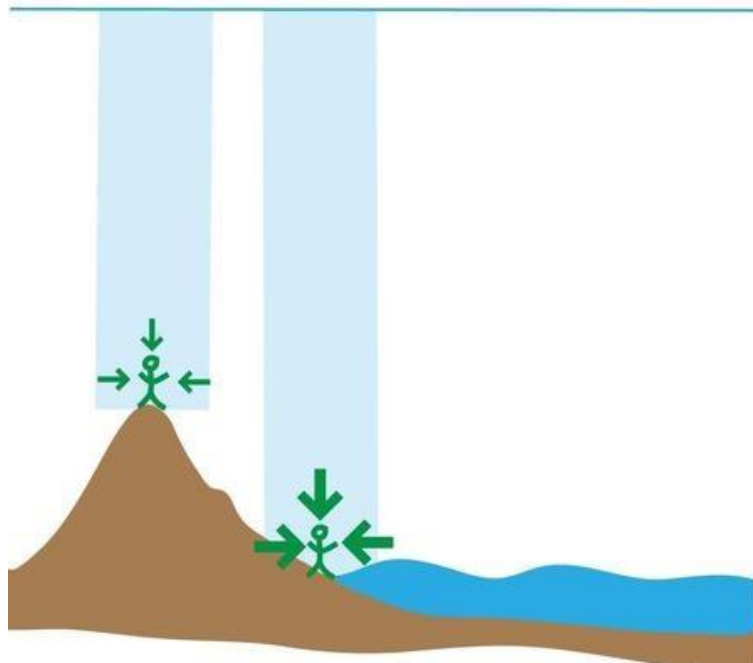


Figura 2.8 Presión sobre la tierra Fuente: Camilloni, I.

En realidad, la presión atmosférica no es igual en todos los lugares que se encuentran a una misma altura sobre el nivel del mar (Figura 2.9); hay zonas en las que por diversos procesos atmosféricos se concentran más las moléculas de aire y la presión es mayor (Anticiclones) y otras en las que es menor (Ciclones o Borrascas).

EFFECTO DE LA ALTURA SOBRE LA PRESIÓN

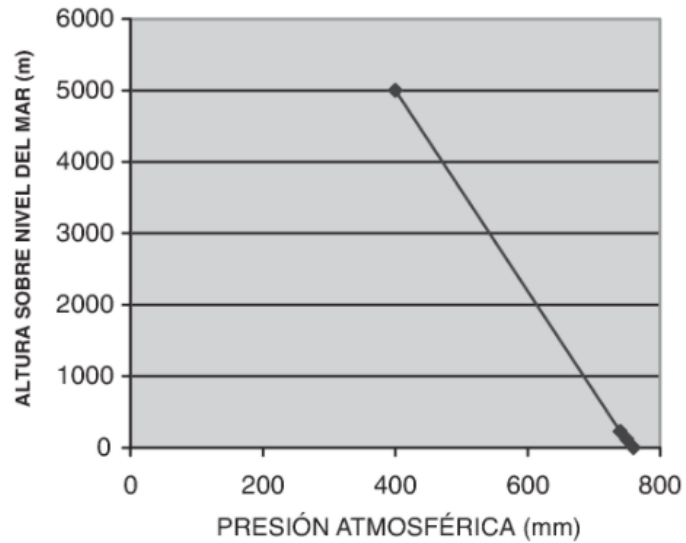


Figura 2.9 Efecto de la altura sobre la presión Fuente Camilloni, I.

En la Figura 2.9 se puede observar que si la altura es menor sobre el nivel del mar existirá una mayor presión, por lo que entre más metros sobre el nivel del mar nos encontremos obtendremos el efecto contrario es decir que se tendrá menos presión.

EFFECTO DE LA PRESIÓN EN COTAS DE APROVECHAMIENTO EÓLICO

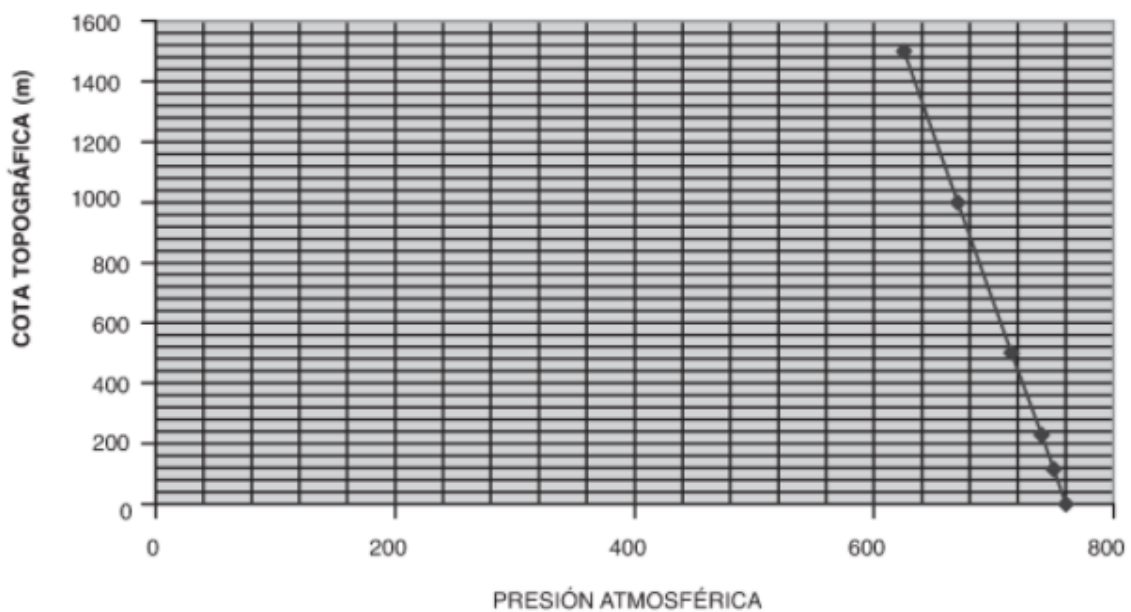


Figura 2.10 Efecto de la presión en cotas de aprovechamiento eólico Fuente: Camilloni, I.

La presión atmosférica no es la misma siempre en un punto determinado, sino que sufre altibajos, pues depende de diversos factores, entre ellos la temperatura y la humedad. Como el vapor de agua pesa menos que el aire, si en un momento dado hay más vapor de agua en la atmósfera, habrá menos presión atmosférica. Con la altura no sólo disminuye la presión, sino también la densidad del aire, pues según una ley fundamental de los gases, su densidad depende de la presión a que están sometidos (Figura 2.10). Ley de los Gases Ideales, en función de la densidad del aire (ρ):

$$P = \rho R' T$$

Ecuación 2.9 Presión de la Ley de los gases ideales Fuente: Camilloni, I.

Donde:

- P = Presión
- T = Temperatura
- R' = Cociente entre la constante anterior R y la masa molecular del aire. (8.314 J/mol)

De este modo podemos ver que si en la superficie (donde una presión de referencia sería 1013 hPa) se mantiene la presión y la temperatura de la columna de aire que tiene por encima disminuye, entonces la densidad del aire aumenta. “Es decir, el aire frío es más denso que el aire cálido” (Inés Camilloni, 2020).

Las diferencias de presión en la atmósfera pueden dar lugar a movimientos de masas de aire, puesto que el aire se mueve de las regiones de presiones más altas a las de presiones más bajas, hasta que la presión se iguala. Para nuestra vida, la presión atmosférica que soportamos es tan útil como el oxígeno que respiramos. “Sin el oxígeno nos asfixiaríamos y sin la presión entraríamos en ebullición, ya que la sangre y los líquidos del cuerpo hervirían literalmente” (Inés Camilloni, 2020).

2.9.1 Fenómenos atmosféricos

Los fenómenos atmosféricos o fenómenos meteorológicos, son todos los eventos que tienen lugar en la atmósfera terrestre. En su mayoría se deben a variaciones y desequilibrios locales de temperatura y densidad. “La atmósfera terrestre comprende diversos estratos a medida que se aleja de la superficie terrestre, variando en sus condiciones de presión y temperatura. Lo mismo ocurre cuando se cambia de latitud y longitud, de acuerdo con las diversas regiones climáticas del mundo, que cambian en

relación de humedad, densidad y cantidad de energía solar recibida” (Inés Camilloni, 2020).

Los fenómenos atmosféricos pueden ser de tres tipos, de acuerdo con su naturaleza:

- Ópticos. Cuando se deben a la manera de ingreso de la luz solar en la atmósfera terrestre, y su interacción con el aire en sus distintos niveles. Un ejemplo de ello son las auroras boreales.
- Hídricos. Cuando se deben al impacto de las condiciones atmosféricas sobre el ciclo hidrológico o del agua. Por ejemplo, las lluvias y lloviznas.
- Meteorológicos. Cuando se deben a la incidencia de las condiciones de presión y temperatura sobre las masas de aire que componen la atmósfera (los vientos). Por ejemplo, los huracanes y depresiones tropicales.

“Para estudiar la atmósfera nos valemos de las variables o fenómenos atmosféricos (temperatura del aire, presión, viento, humedad, tormentas, nieblas, ciclones o anticiclones, etc.) que caracterizan el estado del tiempo en un lugar específico y en un tiempo dado” (Inés Camilloni, 2020).

2.10 FACTORES CLIMÁTICOS

Son aquellos agentes que modifican el comportamiento de los elementos del clima, y de acuerdo con su interacción, a su presencia e intensidad, es que determinan las características particulares de los diferentes tipos de clima que existen en el mundo.

2.10.1 Geográficos

- Latitud: Determina la inclinación con la que caen los rayos del Sol y la diferencia de la duración entre el día y la noche. Además, según la distancia con el Ecuador (línea imaginaria que atraviesa el centro de la Tierra), dictan que entre más cerca esté del Ecuador hay más temperatura y lluvia, o viceversa.
- Altitud: Es la altura con respecto al nivel del mar (0 metros) a un punto cualquiera de la superficie terrestre. La altitud influye sobre la presión atmosférica y la temperatura: por lo que, a mayor altitud, menor presión atmosférica y menor temperatura; por eso las cumbres de las grandes montañas suelen estar nevadas.
- Relieve: Por otra parte, las cadenas montañosas frenan los vientos e impiden el paso de las nubes; además dependiendo del lado de la montaña que se esté se puede percibir mayor o menor cantidad de rayos solares y afectar la flora del lugar.
- Continentalidad (Distancia del mar): “El mar es un regulador térmico pues se calienta y enfría más lentamente que la tierra. Es por eso por lo que los lugares

más cercanos al agua tienen cambios de temperatura más suaves que los que están más lejos (climas más extremos)” (Inés Camilloni, 2020).

- Corrientes oceánicas: Pueden ser frías o cálidas y modifican el clima de las zonas costeras y las áreas cercanas a éstas. Si las corrientes son cálidas elevan las temperaturas, y si son frías hacen que descendan.
- Vegetación: La abundancia de vegetación disminuye el calor y hace que se produzcan más lluvias.

2.10.2 Elementos climáticos

El clima es el resultado de varios fenómenos meteorológicos interconectados, que influyen decisivamente en sus características.

2.10.3 Termodinámicos

- Temperatura atmosférica: Se refiere al grado de calor específico en el aire para un lugar y momento determinados. Se mide normalmente en grados centígrados con un termómetro.
- Presión atmosférica: Es el peso que ejercen las masas de aire sobre la superficie de la tierra en puntos específicos; además, varía con la altitud y con la temperatura. Se mide en milibares con un barómetro.
- Vientos: “El viento es simplemente aire en movimiento. Se origina por las diferencias de presión atmosférica entre unos lugares y otros. Se mide su velocidad con el anemómetro; mientras que para calcular su dirección se usa la veleta” (Inés Camilloni, 2020).

En la Figura 2.11 se puede observar los instrumentos de medición.



Figura 2.11 Instrumentos de medición termodinámicos Fuente: Elementos y factores de clima

2.10.4 Acuosas

- Precipitación: Cantidad de partículas de agua (lluvia, nieve, granizo) caídas sobre la superficie terrestre. Se mide en milímetros con un pluviómetro.
- Humedad: Es la cantidad de vapor de agua presente en el aire; se mide en porcentajes con el higrómetro.

En la Figura 2.12 se puede observar los instrumentos de medición de las acuosas



Figura 2.12 Instrumentos de medición acuosas Fuente: Elementos y factores de clima

2.11 NORMATIVIDAD

En el proyecto de “Diseño de una Central de Generación Eólica de 20 MW” menciona que “la distancia entre aerogeneradores de una misma fila no será nunca inferior a dos diámetros de rotor y, entre los aerogeneradores de una fila y la otra, siempre habrá una distancia superior a ocho diámetros” (Alejandro, 2010). La razón de estas distancias mínimas es reducir el efecto sombra de unos aerogeneradores sobre otros.

Charles Meneveau, aplicado de la dinámica de los fluidos en la Universidad Johns Hopkins desarrolló un modelo para calcular el espacio óptimo entre turbinas para sacar el mayor rendimiento, empleando simulaciones informáticas a gran escala, y experimentos a pequeña escala en túneles de viento para aerogeneradores de 5

megavatios concluyó que el espacio óptimo entre las turbinas debe ser aproximadamente 15 veces el diámetro del rotor.

El Cuaderno de aplicaciones técnicas N° 12. Plantas eólicas de la empresa ABB indica que “La distancia entre aerogeneradores viene normalmente expresada en diámetros de turbina; los aerogeneradores deben ubicarse a una distancia entre 8 y 12 veces el diámetro del rotor en la dirección del viento, y entre 2 y 4 veces en la dirección perpendicular al viento” (productivity, 2012).

El decreto 32/2006, de 27 de marzo, por el que se regula la instalación y explotación de los parques eólicos en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias. En su Artículo 25 habla de las distancias de los aerogeneradores a viviendas o a otros aerogeneradores.

- Indica que la distancia mínima entre dos aerogeneradores de una misma línea no será inferior a dos (2) diámetros de rotor. La distancia entre dos líneas de un mismo parque ha de ser como mínimo de cinco (5) diámetros de rotor.
- “Cuando el planeamiento aplicable no imponga separaciones mayores, la distancia entre un aerogenerador y una vivienda no será inferior a 150 metros y a 250 metros respecto de un núcleo habitado. Estas distancias podrán ser ampliadas en caso de que se superen los niveles máximos de ruido establecidos en la reglamentación vigente” (Órgano CONSEJERIA DE INDUSTRIA, 2006) .

Como se puede observar no existe distancia estándar entre cada aerogenerador ya que se debe tomar en cuenta diferentes factores, como son las pérdidas por efecto estela, la cantidad de material que se utilizara al conectar entre si cada aerogenerador, dependiendo de esto se tomara una decisión de las distancias entre aerogeneradores lo que si se debe tomar en cuenta para la instalación de AG, es que mínimo debe tener 2 veces el diámetro del rotor.

2.11.1 Agenda 2030

“Para garantizar el acceso a energía asequible, confiable, sostenible y moderna para todos es el ODS (Objetivos de desarrollo sostenible) número 7 establecido por las Naciones Unidas en la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible. Mejorar la eficiencia energética, junto con el aumento del acceso y la asequibilidad de la energía para más de 3.000 millones de personas en el mundo, es fundamental para el objetivo global de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero” (ODS, 2015).

3 POTENCIA DEL VIENTO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL SITIO

“La región de Ixtapaluca, Estado de México cuenta con una extensión de 318.27 kilómetros cuadrados, que representa 1.46 por ciento del territorio estatal. En él están situadas las carreteras nacionales de México-Puebla y México-Cuautla que se bifurcan precisamente dentro de su territorio, mientras que la región de Tuxpan de Rodríguez Cano es una ciudad y puerto del norte del estado mexicano de Veracruz, en la región conocida como la Huasteca, 191 km al sur de Tampico, 60 km al norte de Poza Rica y 320 km de la Ciudad de México” (TUXPAN, 2022).

Para potencializar a Tuxpan se conecta a un parque logístico en Ixtapaluca. Dicho lugar de estudio cuenta con un área de 513,351 metros cuadrados y un perímetro de 3,046 metros como se muestra en la Figura 3.1



Figura 3.1 Sitio del parque logístico Fuente: Google Earth

El lugar considerado para la instalación de los aerogeneradores tiene diversos niveles de elevación; el nivel máximo de elevación es de 2,347 msnm y la elevación mínima es de 2,326 msnm, con una distancia aproximada de 937 m del punto A al punto B con latitud de 19. 364110° y una longitud de -98. 870998° como se muestra en la siguiente Figura 3.2.

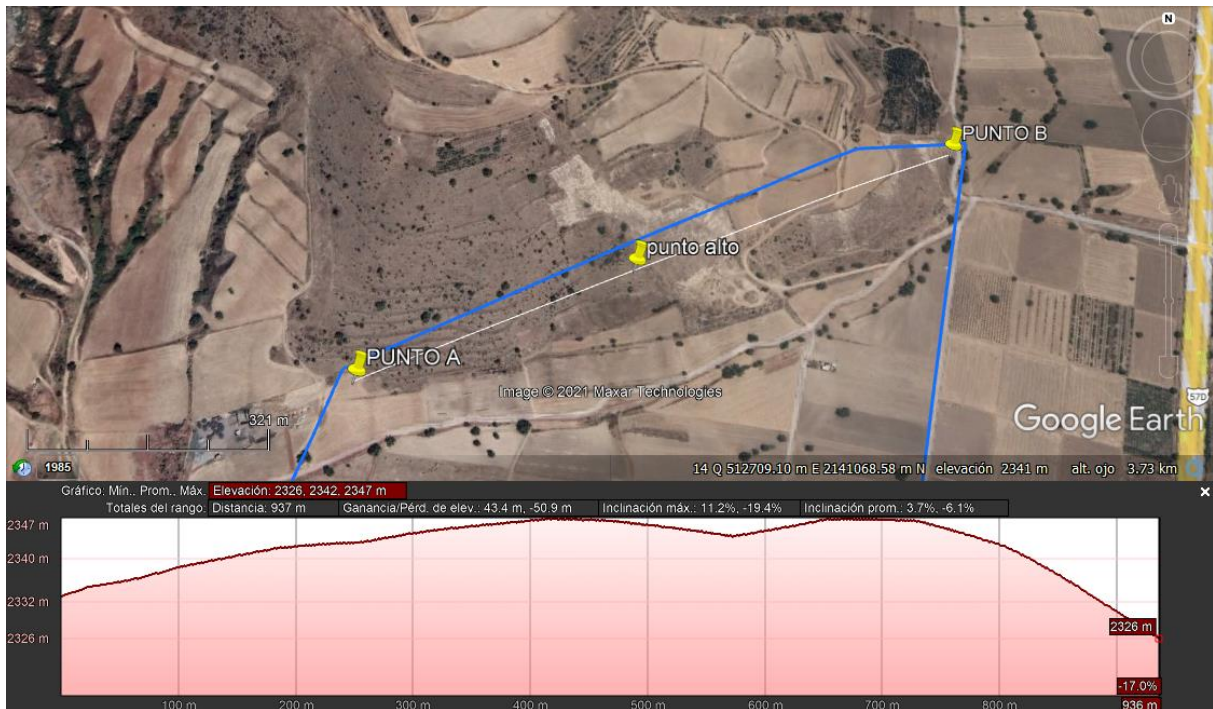


Figura 3.2 Lugar de instalación con perfil de elevación Fuente: Google Earth

Se evalúa una loma como lugar de emplazamiento, esto considerando el efecto Bernoulli; El teorema de Bernoulli establece que la velocidad de un fluido aumenta cuando la sección por la que pasa disminuye, por lo que encima de la loma se encuentra una mayor intensidad del viento. Al aumentar la altura de la turbina se debe de estudiar la velocidad del viento y la potencia extraíble considerando el régimen en posiciones próximas a la torre de medición y la construcción de la turbina eólica.

Mes	Velocidad del viento (m/s)
Enero	6.62
Febrero	7.76
Marzo	8.20
Abril	6.69
Mayo	6.89
Junio	7.80
Julio	10.98
Agosto	4.84
Septiembre	8.21
Octubre	10.66
Noviembre	9.09
Diciembre	7.80
Promedio	7.96

Tabla 3.1 Velocidad del viento mensuales a 10 m de altura en el año de 1999 Fuente: NASA POWER

En la tabla 3.1 se muestra que las velocidades promedio del año 1999 son mayores que las actuales estudiadas en el sitio ya que se ve afectado por la rugosidad y obstáculos del terreno que antes no existían, por lo que ocurre mayor fricción y se generan turbulencias.

Mes	Velocidad del viento (m/s)
Enero	2.36
Febrero	2.87
Marzo	2.20
Abril	2.45
Mayo	2.35
Junio	2.00
Julio	2.07
Agosto	2.35
Septiembre	2.08
Octubre	2.26
Noviembre	2.06
Diciembre	1.77
Promedio	2.24

Tabla 3.2 Velocidad del viento mensualmente a 10m de altura en el año de 2021 Fuente: NASA POWER

En la Tabla 3.2 se puede apreciar la diferencia de velocidad que existe en el lugar, del año 1999 y el año 2020 con una altura promedio de 10 m, se observa que en el año 2020 la velocidad del viento disminuyo a una gran escala.

3.2 ANÁLISIS DEL RECURSO EÓLICO DEL SITIO

Para obtener el análisis del recurso eólico es necesario recurrir a la página de la NASA sobre los recursos energéticos mundiales (NASA POWER), donde se colocará los siguientes datos:


- En el apartado 1 se coloca como opción las energías renovables.
- Posteriormente en la sección 2 se elige un promedio temporal, este depende de las necesidades: diario, cada hora, mes o anual y climatología.
- Después en el punto 3 se agrega la altitud y latitud del sitio elegido.
- En el punto 4 se introduce el tiempo de inicio y finalización de la extensión del tiempo.
- En el apartado 5 se selecciona el formato de salida, el cual es ASCII.
- Seguido de ello en el punto 6, se opta por la presión del viento a una altura de 50m.
- Y por último se envía y procesa todos los datos anteriores.

A continuación, se mostrarán los datos requeridos para este caso en particular (Tabla 3.3)

Emplazamiento	Coordenadas del sitio	NASA POWER
Ixtapaluca, Edo. Mex.	19°21'49.03" N 98°52'15.51" W	Latitud: 19°21'49.03" Longitud: 98°52'15.51" Periodo: 2021 Promedio diario Datos: altura a 10 m y 50 m de altura

Tabla 3.3 Datos del sitio

A continuación, en la Figura 3.3 se muestra la latitud y longitud de la estación meteorológica.

Nombre: 

Latitud:

Longitud:

Figura 3.3 Coordenadas de la estación meteorológica Fuente: Google Earth

3.3 OBTENCIÓN DE VELOCIDADES

Una vez descargados los datos obtenidos de la NASA se contabiliza para obtener como resultado un total de 8,760 datos de cada hora por todo un año a una altura de 10 y 50 metros como se muestra en las tablas 3.4.

Altura	10 m	50 m
No. De datos	8,760	8,760

Tabla 3.4 Número de datos a 10 y 50 m

Consecutivamente se adquiere el rango, número de intervalos y amplitud de clase, en donde a partir de estos datos se obtiene las velocidades mínimas y máximas las cuales nos ayudara a conseguir las frecuencias de nuestros datos. Así los valores de las velocidades a una altura de 10 m dan como resultado 8.33 m/s y 0.03 m/s; mientras que a una altura de 50 m se tiene un máximo de 10.13 m/s y un mínimo de 0.09 m/s.

La frecuencia es la medida del número de veces que se repite un fenómeno por unidad de tiempo, por ello para obtener la frecuencia es necesario la agrupación o clases para facilitar la tabulación y análisis:

Clase	Frecuencia
0.59	372
1.18	1198
1.77	1922
2.36	1923
2.95	1291
3.54	863
4.13	493
4.72	260
5.31	155
5.9	104
6.49	79
7.08	46
7.67	30
8.26	21
8.85	3

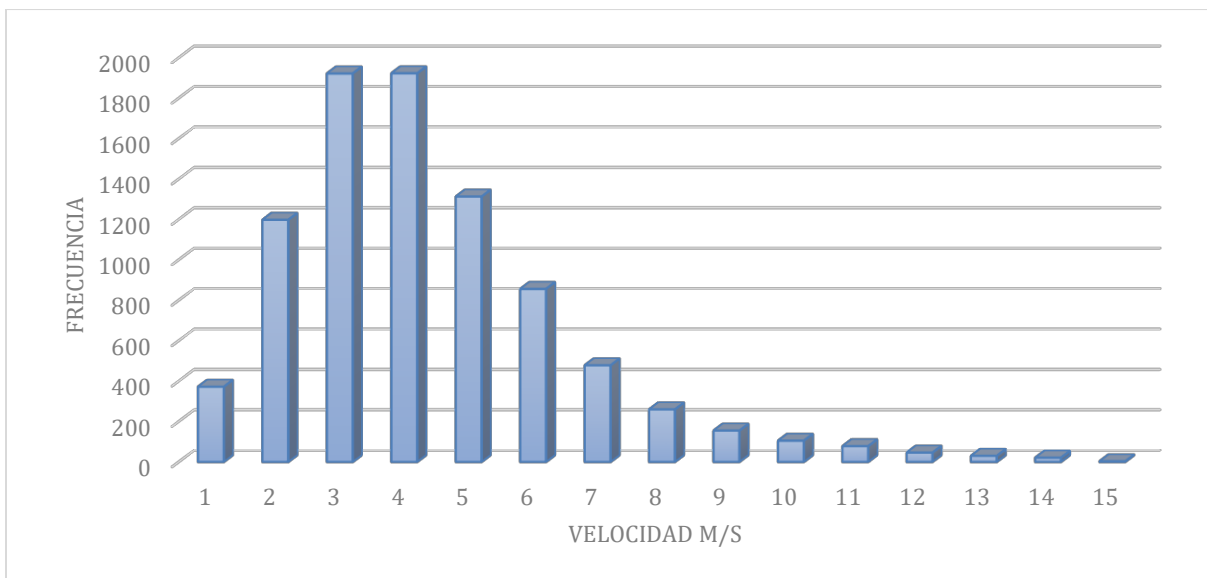
Tabla 3.5 Frecuencia a 10 m de altura Fuente: NASA POWER

En la tabla 3.5 se muestra la frecuencia de los datos a una altura de 10 m, exponiendo que el valor mayor de clase es de 2.36, cuenta con repetición de 1923 datos.

Clase	Frecuencia
0.7	274
1.4	830
2.1	1279
2.9	1697
3.6	1564
4.3	1228
5.0	775
5.7	493
6.4	267
7.2	162
7.9	91
8.6	41
9.3	31
10.0	21
10.7	7

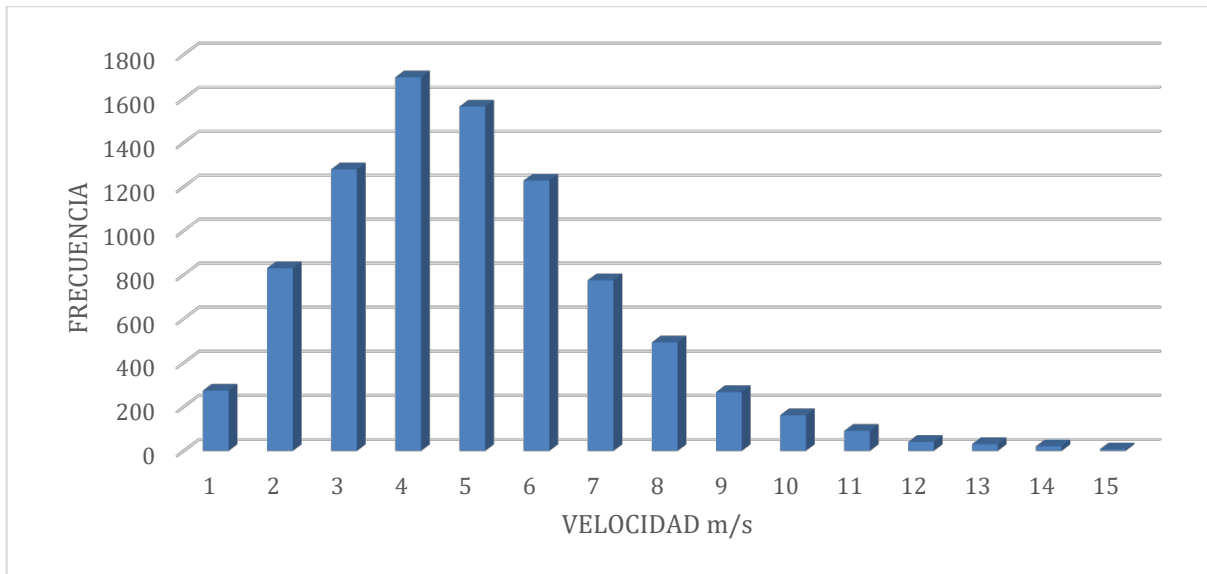
Tabla 3.6 Frecuencia a 50 m de altura Fuente: NASA POWER

En la tabla 3.6 el mayor de clase es a 2.9 a diferencia con la tabla 3.5 esto se debe a que las alturas son diferentes y a una mayor altura mayor viento existe.



Gráfica 3.1 Histograma a 10 m de altura

El histograma que se realizó del viento como se muestra en las Gráficas 3.1 (en su forma acumulada denominado curva de duración), es la representación gráfica de la distribución de frecuencias de ocurrencia de cada velocidad de viento de la serie temporal, es decir, relación frecuencia-velocidad, para obtener dichos datos es recomendable tener un año como mínimo de estudio.

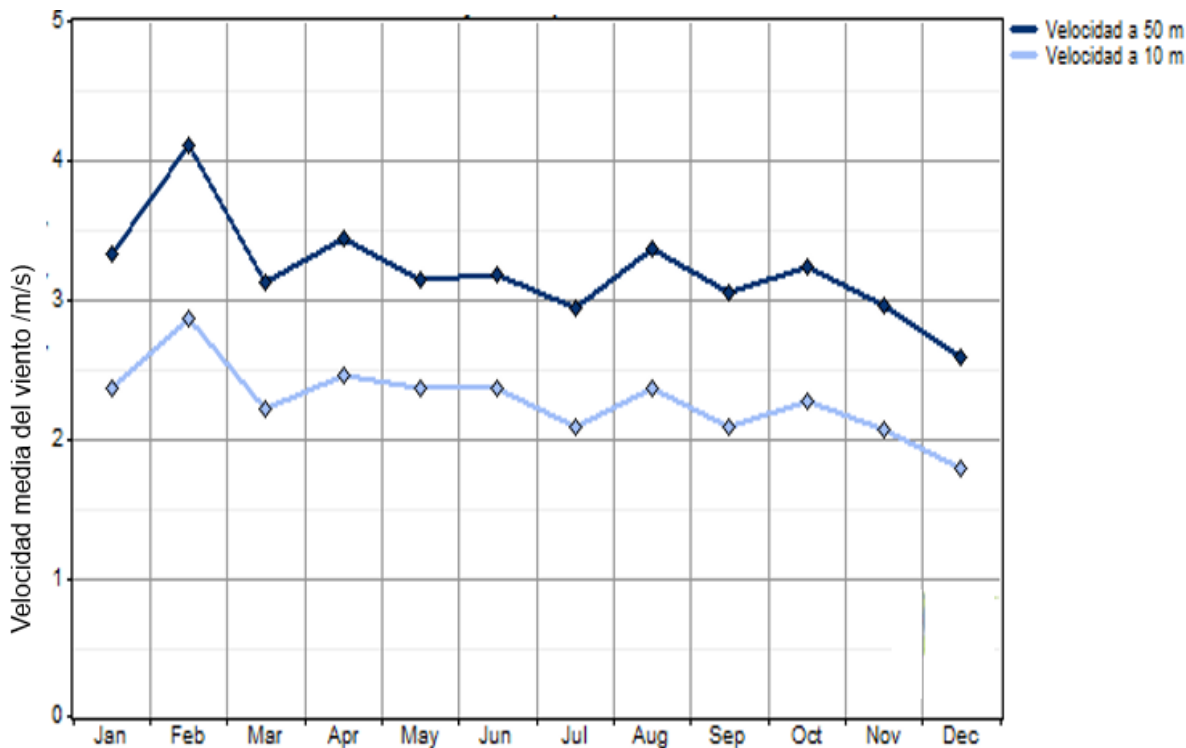


Gráfica 3.2 Histograma a 50 m de altura

En la Gráfica 3.2 se distingue que la mayoría de datos se encuentra a una velocidad entre 4 y 5 m/s a una altura de 50 m a diferencia de la gráfica anterior, que es a 10 m por lo que el rango en donde se encuentra mayor viento es menor.

3.4 VELOCIDADES PROMEDIO

La velocidad anual en promedio evalúa en el periodo de tiempo correspondiente al 2021 para la base de la NASA POWER a alturas de 10 y 50 metros se representa en la siguiente Gráfica 3.3.



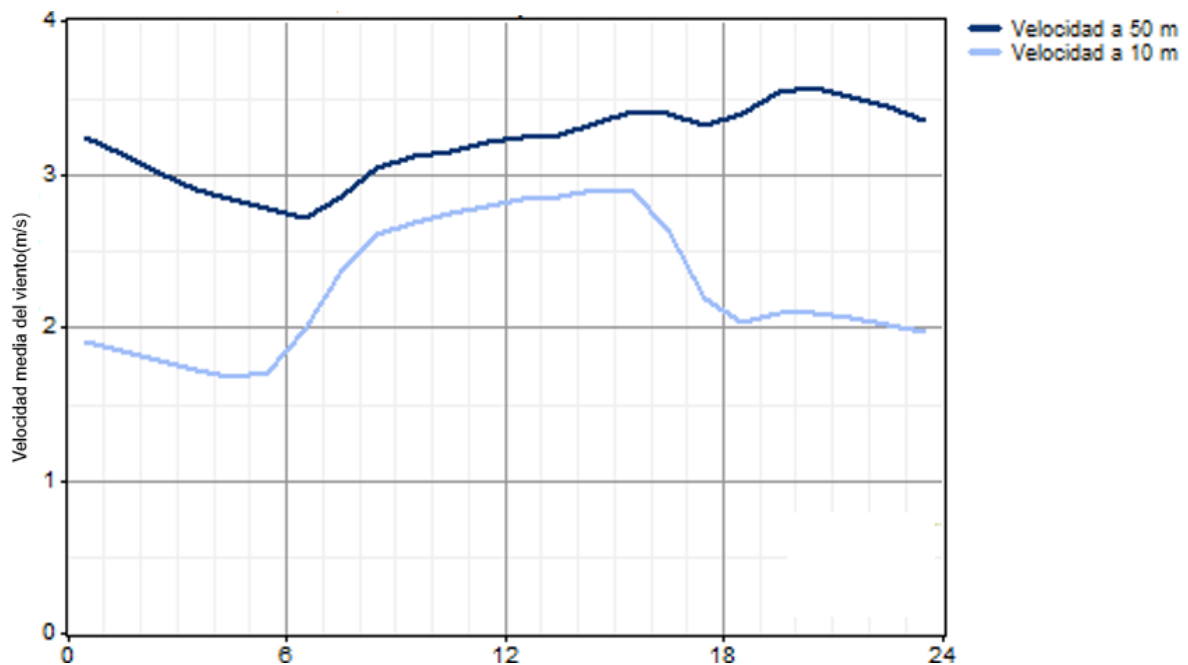
Gráfica 3.3 Promedio mensual de la velocidad del viento NASA POWER Fuente: Windowgrapher

En ambas alturas se considera que el mayor recurso del viento coincide en el mes de febrero.

La velocidad promedio obtenida para el emplazamiento con relación a la base de datos analizadas se muestra en la Tabla 3.7

Emplazamiento	Base de datos/ periodo	Velocidades promedio
Ixtapaluca, Edo. Mex.	NASA POWER (2021)	10 m: 2.56 m/s 50m: 3.61 m/s

Tabla 3.7 Velocidades promedio



Gráfica 3.4 Perfil diario de la velocidad del viento diurno a velocidades de 10 y 50m Fuente Windowgrapher

A una altura de 10 metros la mayor obtención de recurso eólico es alrededor de las 15 a las 16 horas, y a la altura de 50 metros es a partir de las 20 horas aproximadamente. Por lo tanto, a una altura mayor el horario tiende a ser nocturno como se muestra en la Gráfica 3.4.

3.5 ROSA DE LOS VIENTOS

Una representación a menudo utilizada en el análisis del viento son los diagramas de estructura que se representan en forma de histograma de barras verticales frecuencias de ocurrencia observadas en intervalos de dirección y velocidad dados.

Asimismo, es común representar las frecuencias de direcciones mediante diagramas denominados rosa de los vientos.

La rosa de los vientos nos permite:

- Seleccionar la ubicación de las turbinas eólicas.
- Saber en qué dirección se encuentran los vientos predominantes.
- Indica el porcentaje de tiempo que el viento sopla con una determinada dirección.

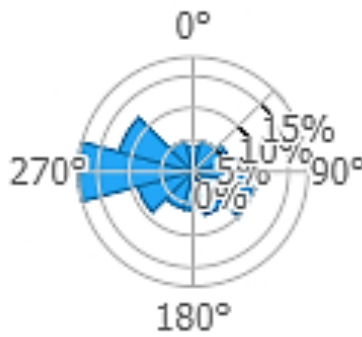


Figura 3.4 Rosa de los vientos a una altura de 10 m Fuente Windowgrapher

En la Figura 3.4 se muestra la rosa de los vientos de frecuencia correspondiente a una altura de 10 m, se observa que el ángulo predominante es a los 270°, esto representa que la dirección del viento tiende ir al Oeste.

3.6 PERFIL VERTICAL DEL VIENTO

Uno de los fenómenos más significativos en el aprovechamiento de la energía eólica es el incremento de la velocidad media del viento con respecto a la altura. Solo las medidas realizadas, por lo menos, a la altura del eje del rotor de la turbina, cuya energía se evalúa, proporciona una suficiente precisión para hacer un cálculo del valor del recurso eólico. Sin embargo, para estimaciones preliminares un posible planteamiento que reduce el costo de realizar medidas a alturas elevadas consiste en usar las medidas del viento realizadas a una altura de referencia y extrapolarlas hasta la altura del eje del rotor de la turbina mediante el uso de dos modelos matemáticos, mismos que a continuación se describen:

$$V = V_o \left[\frac{\ln \frac{H_o}{z_o}}{\ln \frac{H}{z_o}} \right]$$

Ecuación 3.1 Ley logarítmica Fuente: León, 2018

$$V = V_o \left[\frac{H}{H_o} \right]^\alpha$$

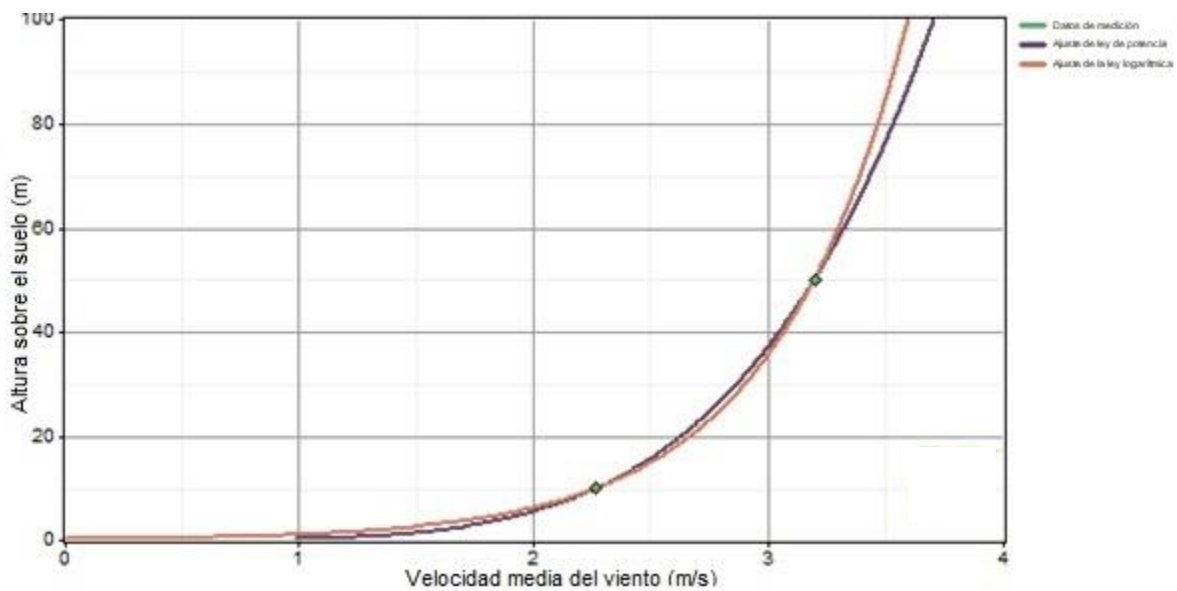
Ecuación 3.2 Ley exponencial Fuente: León, 2018

Donde:

- V = Velocidad que se desea conocer [m/s].

- H =Altura a la que se desea conocer la velocidad [m].
- V_0 =Velocidad de referencia [m/s].
- H_0 = Altura de referencia [m].
- Z_0 = Longitud de rugosidad [m].
- α = Exponente de Hellman [adimensional].

En la Grafica 3.5 se muestra el perfil vertical del viento para la base de datos de la NASA POWER.



Gráfica 3.5 Perfil vertical del viento Fuente Windowgrapher

3.7 HISTOGRAMA Y DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

En la parte de las distribuciones de la velocidad del viento, es importante conocer el número de tiempo, horas por mes o por año durante la cual ocurre una determinada velocidad del viento, es decir, la distribución de frecuencias. Para comprobar estas distribuciones de frecuencias se divide el dominio de la velocidad del viento en un número de intervalos, regularmente de un ancho de 1 m/s. Se calcula el porcentaje de veces en que la velocidad del viento sopla en cada intervalo. La representación de dichas frecuencias relativas constituye al histograma de frecuencias relativas. A menudo es importante conocer el tiempo en el cual la velocidad del viento es más pequeña que una velocidad dada; cuando estas frecuencias son representadas en función de la velocidad del viento se obtiene el histograma de frecuencias acumuladas. En el análisis estadístico

del viento para evaluar la energía extraíble del mismo mediante máquinas eólicas, es habitual trabajar con funciones de densidad de probabilidad continuas que se ajusten a los datos experimentales. La función de densidad de probabilidad representa una aproximación muy útil para calcular posibilidades partiendo de un histograma: en primer lugar, es mucho más simple, permite sustituir la tabla completa de valores de la distribución de frecuencias por la Ecuación 3.3; En segundo lugar, es más general, trata de reflejar la estructura de distribución de los valores de la variable a largo plazo; en tercer lugar, es más operativa, permite obtener probabilidades de cualquier suceso.

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp - \left(\frac{v}{c}\right)^k$$

Ecuación 3.3 Fuente: Ivan, 2021

La función de densidad más frecuentemente utilizada en el análisis de la energía eólica es la de Weibull de dos parámetros. Donde K es el parámetro de forma (adimensional) y c es el parámetro de escala (m/s). La función de distribución acumulativa para el caso de la distribución de Weibull de dos parámetros se tiene la ecuación 3.4.

$$f(V) = P(V \leq v) = 1 - \exp \left[-\frac{v}{c} \right]^k$$

Ecuación 3.4 Función de distribución acumulativa Fuente: Ivan, 2021

Asimismo, la probabilidad de que la velocidad del viento sea superior a un cierto valor v viene dada por la Ecuación 3.5.

$$P(V \geq v) = \exp \left[-\frac{v}{c} \right]^k$$

Ecuación 3.5 Fuente: Ivan, 2021

Además, la probabilidad de que la velocidad del viento este comprendida entre dos valores v(x) y v(y) viene proporcionada por la Ecuación 3.6.

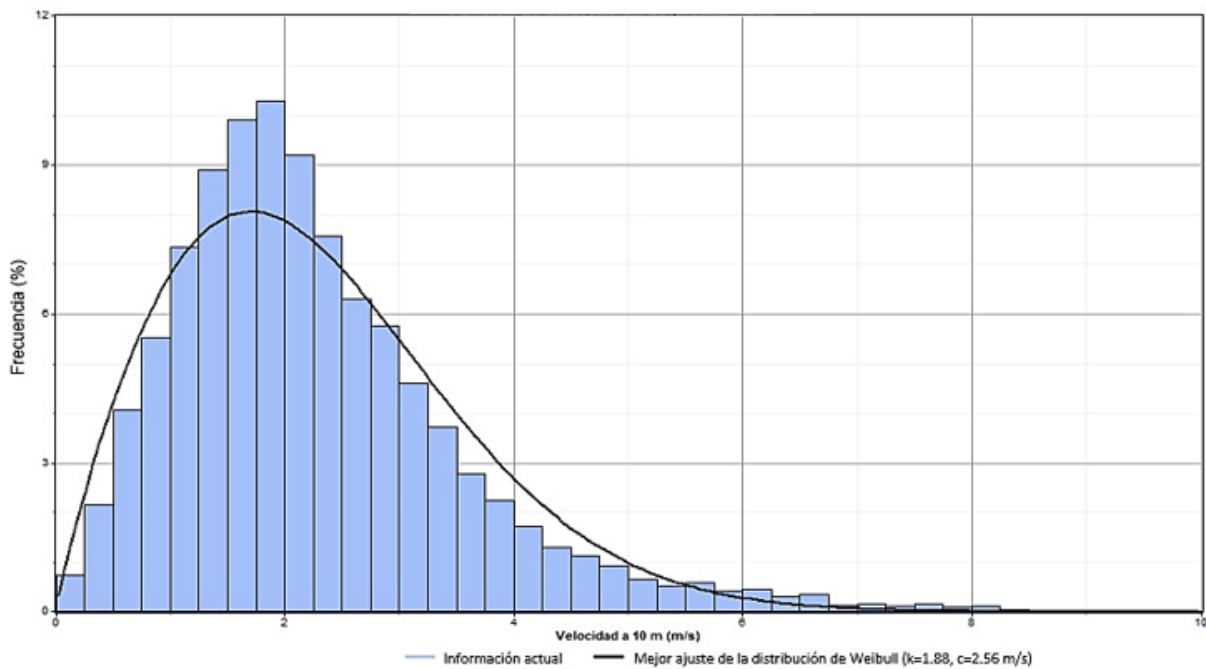
$$P(Vx \leq V \leq Vy) = \exp \left[-\frac{Vx}{c} \right]^k - \exp \left[-\frac{Vy}{c} \right]^k$$

Ecuación 3.6 Fuente: Ivan, 2021

La estimación de los parámetros k (adimensional) y c (m/s) involucra el uso de los datos muestrales en conjunción con alguna estadística. Uno de los métodos más frecuentemente empleado para la estimación de k y c es el método de los momentos.

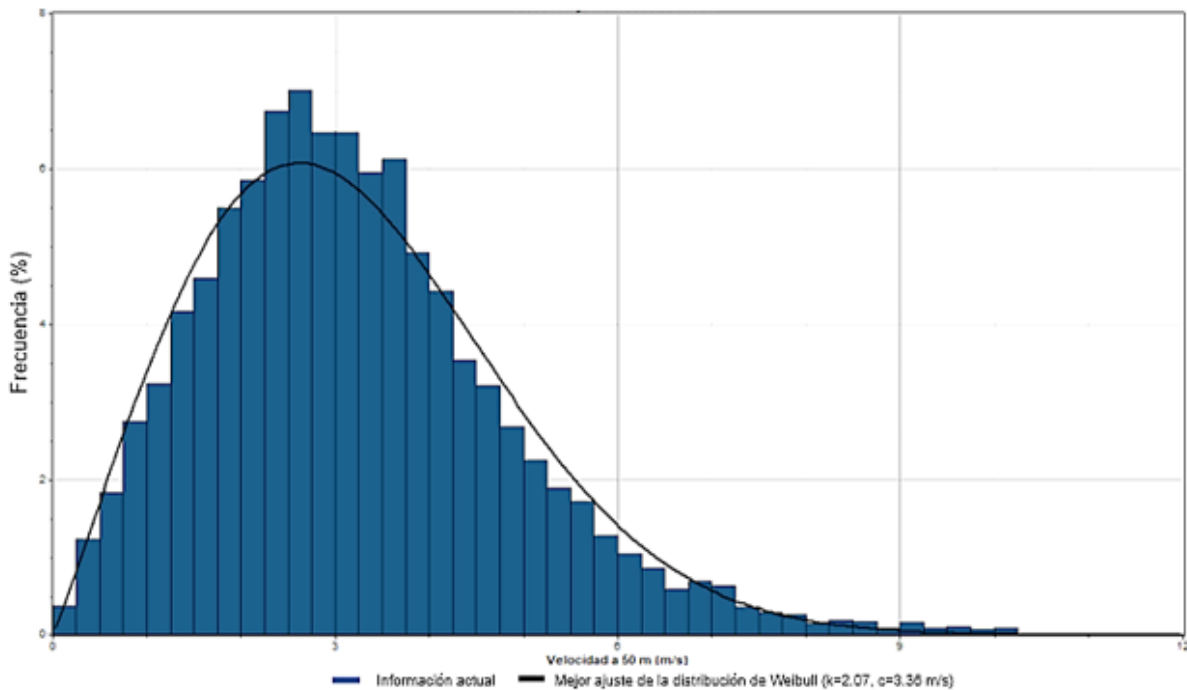
Este suele utilizarse igualando la media y la desviación típica maestra con los correspondientes valores de la distribución de Weibull.

En la siguiente Grafica 3.6 se muestra el histograma y la distribución de Weibull para las velocidades correspondientes a una altura de 10 m para este caso en particular.



Gráfica 3.6 Función de distribución de probabilidad a 10m Fuente Windowgrapher

En lo que respecta al histograma y la distribución de Weibull a 50m se puede observar el comportamiento de los datos evaluados (Gráfica 3.7).



Gráfica 3.7 Función de distribución de probabilidad a 50 m Fuente: Windowgrapher

En el recurso eólico puede existir vientos fuertes el cual es poco común, además de vientos moderados siendo más constantes logrando formar el histograma y la distribución de Weibull como se muestra en la Gráfica 3.7.

El histograma es la frecuencia del viento representado en una gráfica de barras, mientras que la función de Weibull trata de emular el histograma de velocidades, obteniendo así los parámetros k y c .

En la siguiente Tabla 3.8 se muestra los valores de factor de forma y factor de escala (m/s) para una altura de 10 y 50 metros de las diferentes bases de datos evaluados.

Sitio	Altura (m)	Factor k	Factor c (m/s)
Ixtapaluca, México	10	1.88	2.56
	50	2.07	3.61

Tabla 3.8 Factor k y c de Weibull

3.8 RESULTADOS

En la Tabla 3.9 se muestran los datos generales del sitio como son las coordenadas, la elevación, la fecha de inicio y términos de los datos tomados para el programa, entre otros.

Variable	Evaluación
Latitud	N 19° 21' 49.030''
Longitud	W 98° 52' 15.510''
Elevación	2338m
Fecha de inicio	01/01/2021 00:00
Fecha de termino	01/01/2022 00:00
Duración	12 meses
Paso de tiempo	60 minutos
Umbral de calma	0 m/s
Temperatura media	-0.187 °C
Presión media	76.24 kPa
Densidad media del aire	0.973 kg/m ³
Densidad de potencia a 50m	30 W/m ²
Clase de energía eólica	1 (pobre)
Exponente de ley de potencia	0.214
Rugosidad de la superficie	0.2 m
Clase de rugosidad	2.58

Tabla 3.9 Datos generales del sitio

La potencia contenida en el viento, también conocida como potencia disponible cuenta con una clasificación universal, como se muestra en la Figura 3.5.

Clasificación de la Potencia del Viento

Clase de Potencia del Viento	Potencial del Recurso	Densidad de Potencia a 50 m W/m ²	Velocidad ^a a 50 m m/s
1	Pobre	0 - 200	0 - 5.3
2	Escaso	200 - 300	5.3 - 6.1
3	Moderado	300 - 400	6.1 - 6.7
4	Bueno	400 - 500	6.7 - 7.3
5	Excelente	500 - 600	7.3 - 7.7
6		600 - 800	7.7 - 8.5
7		> 800	> 8.5

^a Las velocidades del viento se basan en un valor Weibull k de 1.8

Figura 3.5 Clasificación de la potencia del viento Fuente: Ivan, 2021

En la Tabla 3.10 se muestra la clasificación del recurso eólico, tomando en consideración la Figura 3.5 y la densidad de potencia por unidad de área para una altura de 50 m se considera que la potencia del recurso es pobre.

Sitio	Altura (m)	Densidad de potencia (W/m ²)	Clase	Potencia
Ixtapaluca	50	30	1	Pobre

Tabla 3.10 Densidad de potencia

Se considera una evaluación preliminar del recurso eólico tomando en cuenta los datos de velocidad y densidad de potencia para una altura de 50m, se puede decir que existe un potencial eólico pobre para el sitio, ya que no cumple con los valores adecuados para considerarse un potencial bueno, por lo que es necesario realizar una campaña de medición puntual del emplazamiento y agregar una estación meteorología en el sitio para tener mayor visión del comportamiento del recurso eólico y poder compararlos con la evaluación preliminar. Por otro lado, se podría considerar la evaluación que ajuste las características para el emplazamiento.

4 ANÁLISIS DEL SITIO

4.1 MEDIO AMBIENTE

El lugar seleccionado para el emplazamiento se encuentra ubicado en el municipio de Ixtapaluca en el estado de México, tiene diversos perfiles de elevación en el territorio. Los aerogeneradores estarán ubicados en una loma para mayor obtención del viento, “el clima en esta zona es templado subhúmedo, con lluvias en los meses de junio, julio, agosto y septiembre; los meses más calurosos junio, agosto y septiembre. La dirección de los vientos es de norte sureste; los vientos del sureste son los dominantes” (Vargas, s.f.). La temperatura no es exacta debido a que hay zonas con mayor altura que otras como se mencionó anteriormente, la temperatura media es de 15. 1° grados Celsius, la media anual es de 11. 1°; la precipitación pluvial anual es de 660 mm, los días con heladas son aproximadamente 24.

El municipio en general cuenta con diversidad de flora, además de plantas de forrajeras, con respecto a la fauna se ha ido extinguiendo por el mal cuidado del municipio; el sitio analizado para el emplazamiento no contiene alguna planta o animal en peligro de extinción, no está dentro de un espacio natural o de alguna área protegida, no coincide con un área de conservación de aves (AICA).

En las siguientes imágenes se observa que el sitio seleccionado a una altura de 100 m (Figura 4.1) cuenta con una velocidad de viento de 6.01 m/s, a una altura de 50 m (Figura 4.2) se visualiza vientos de 5.45 m/s y a una altura mínima de 10 m (Figura 4.3) cuenta con vientos de 4.34 m/s, estos datos se obtuvo a partir de la página Global Wind Atlas insertando las coordenadas de la estación meteorológica.

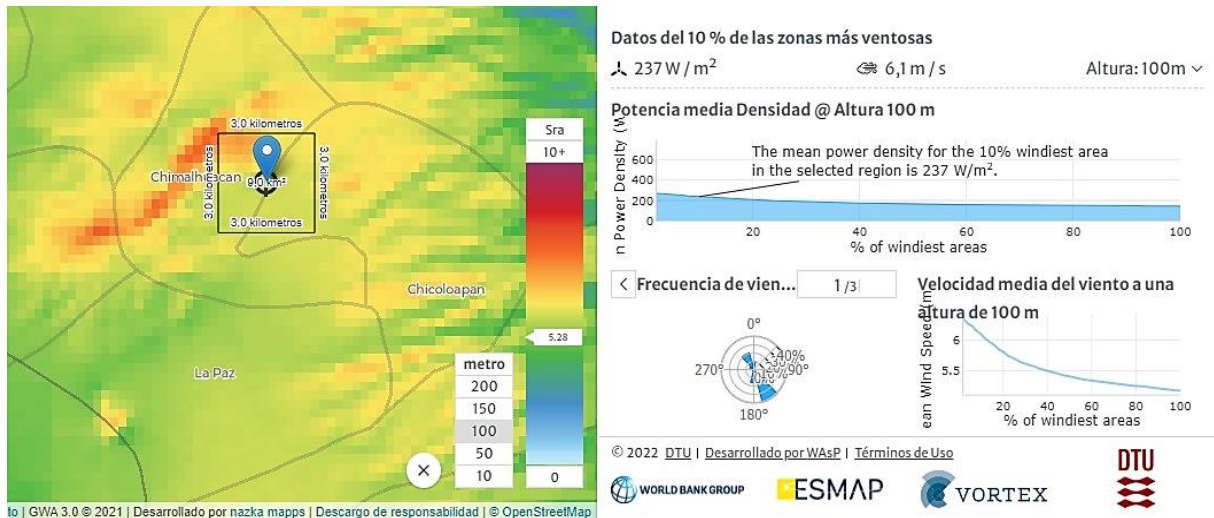


Figura 4.1 Velocidad del viento a una altura de 100m Fuente: Global Wind Atlas

En la Figura 4.1 se observa que en la gráfica Potencias media Densidad @Altura 100 m, el destino de energía media para el 10% de la zona más ventosa es la región seleccionada es de 237 W/m².

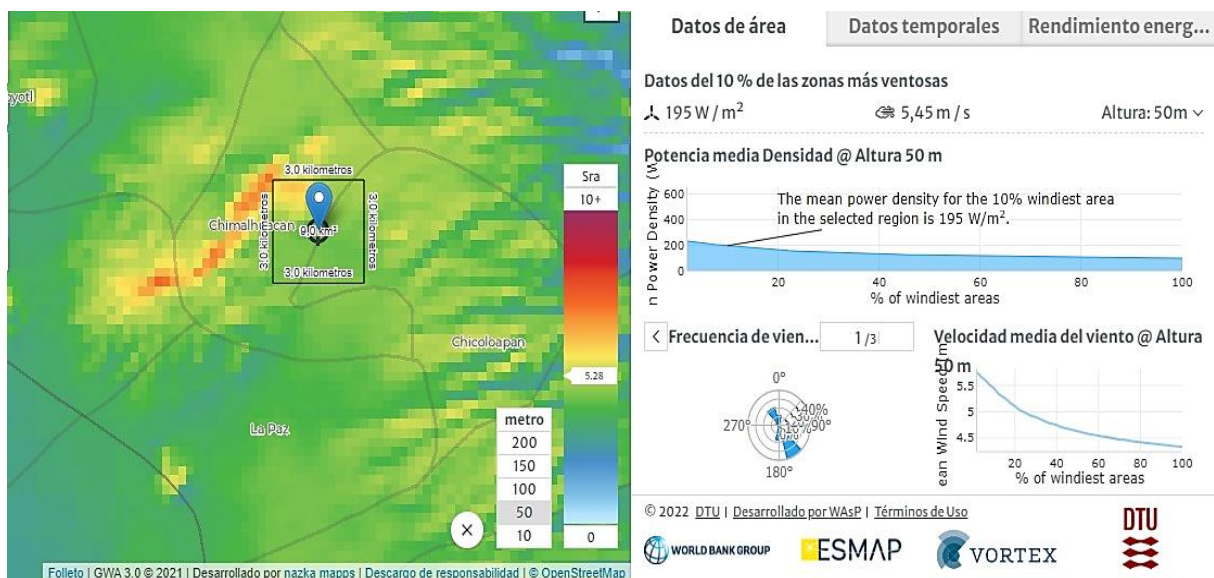


Figura 4.2 Velocidad del viento a una altura de 50m Fuente: Global Wind Atlas

Para una altura de 50 m se realiza la misma investigación, de igual forma se muestra la gráfica de la Potencia media Densidad a 50 m es de 195 W/m², esto quiere decir que hubo una disminución de 42 W/m² bajando la categoría del potencial eólico a una clasificación pobre como se puede ver en la Figura 4.2

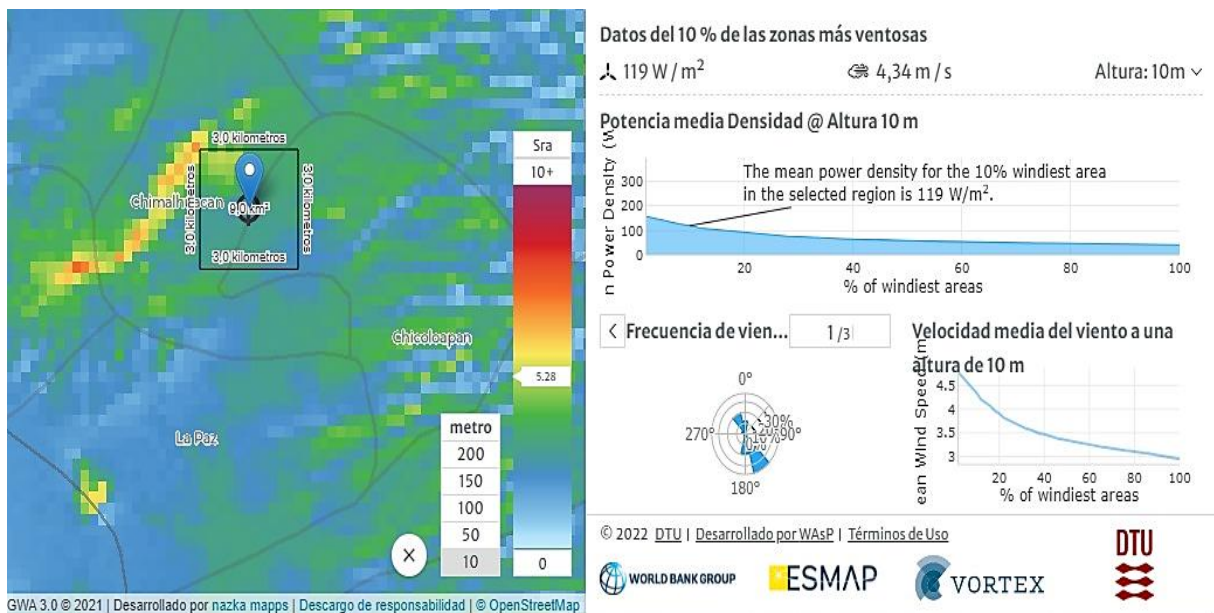


Figura 4.3 Velocidad del viento a una altura de 10m Fuente: Global Wind Atlas

Para la Figura 4.3 la condición de altura fue de 10 m, se visualiza una disminución del viento significativa, ya que la energía media para el 10% más ventosa en la región seleccionada es de 119 W/m², esto quiere decir que la colocación de los AG a la altura de 10m la energía es muy poca.

4.2 PROXIMIDAD A VIVIENDAS

Debido a que los aerogeneradores causan contaminación acústica, se estudió la proximidad de las primeras viviendas cercas del campo multimodal, por lo tanto, se encontró una vivienda a 279 metros del lado oeste del polígono(perímetro), aunque las viviendas no se verían afectadas debido al decreto, donde hace mención que la distancia mínima es de 150 m y máxima de 250 m, además de que esta vivienda será reubicada en otro sitio.

Se elaboró una aproximación de las viviendas posibles del sitio seleccionado, con la ayuda del programa Google Earth, tomamos como punto de inicio el perímetro del polígono hasta la vivienda más cerca como se ve en la Figura 4.4.

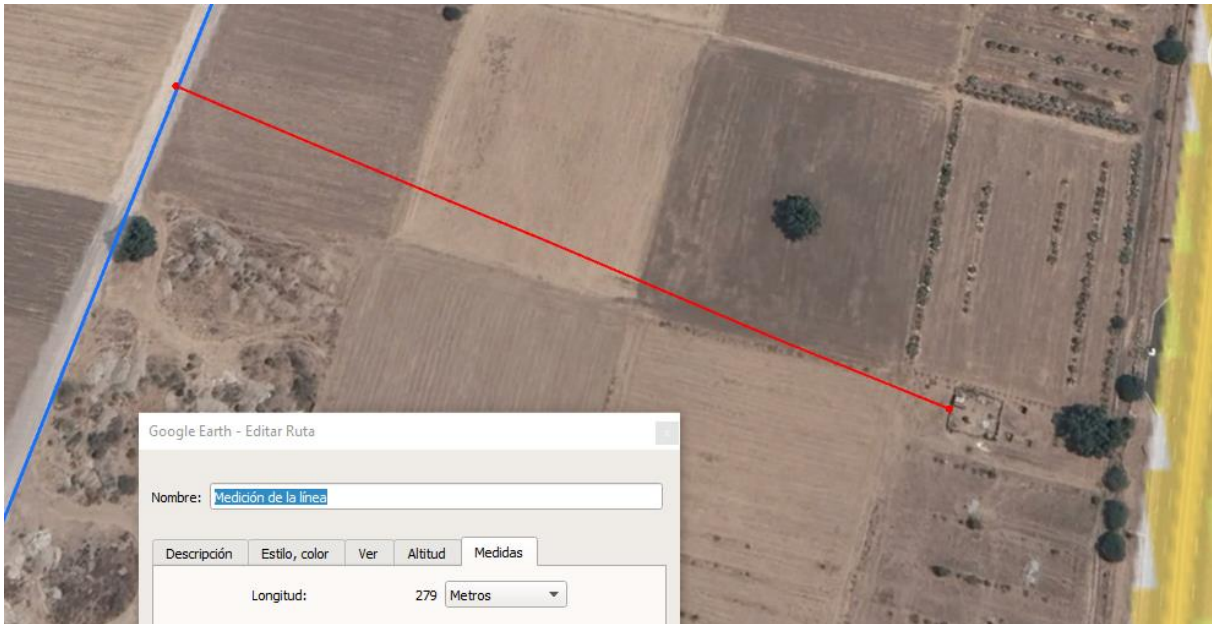


Figura 4.4 Distancia del sitio a la vivienda cercana Fuente: Google Earth

Se ve la representación de la distancia entre el sitio a estudiar y la locación de la primera vivienda, estos datos pueden variar ya que las posiciones de los aerogeneradores se encuentran más retirados.

4.3 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

Para realizar el proceso de simulación se necesita plantear las variables de entradas, las cuales servirán para poder definir el modelado, entre las entradas que se tienen son los datos de viento junto con un mapa vectorial del sitio requerido, este mapa debe tener la rugosidad del terreno a igual que los datos del aerogenerador que se instalaran.

Las entradas necesarias que WAsP requiere para el modelar un mallado en un emplazamiento son las siguientes:

- Datos topográficos del emplazamiento: Se necesita un mapa vectorial del emplazamiento, el archivo a utilizar debe de estar guardado en una extensión. KMZ en este archivo debe incluir los datos de rugosidad del sitio, para poder ser ingresado en el software de Global Mapper.
- Datos de viento: Son los datos obtenidos por una estación meteorológica en este caso se utilizó Global Wind atlas para obtener dichos datos.

- Datos del aerogenerador: Este archivo puede ser proporcionado o lo podemos crear por medio del software WAsP con datos del aerogenerador que se nos proporcionen por medio de la curva de potencia y datos generales.

4.4 GEORREFERENCIACIÓN

Para realizar la georreferenciación de una locación de estudio, se pueden utilizar datos de coordenada o una delimitación del sitio, por lo tanto, se utiliza la delimitación geográfica en Google Earth.

Como primer paso en la locación proporcionada, se localizará un punto donde representa una estación meteorológica como se observa en el centro de la Figura 4.6, posteriormente se posiciona el sitio hacía al norte. Para estudiar el sitio con una mayor precisión se delimita el terreno desde el centro de estudio hasta 30km a la redonda como se ve con el círculo rojo, tomando en cuenta que entre mayor sea la proporción para estudiar mejores datos topográficos se obtendrán, ya delimitado se realiza el proceso llamado triangulación en donde se agregan 3 puntos en los bordes del círculo que se encuentran representados por A, B y C como se muestra en la Figura 4.5.

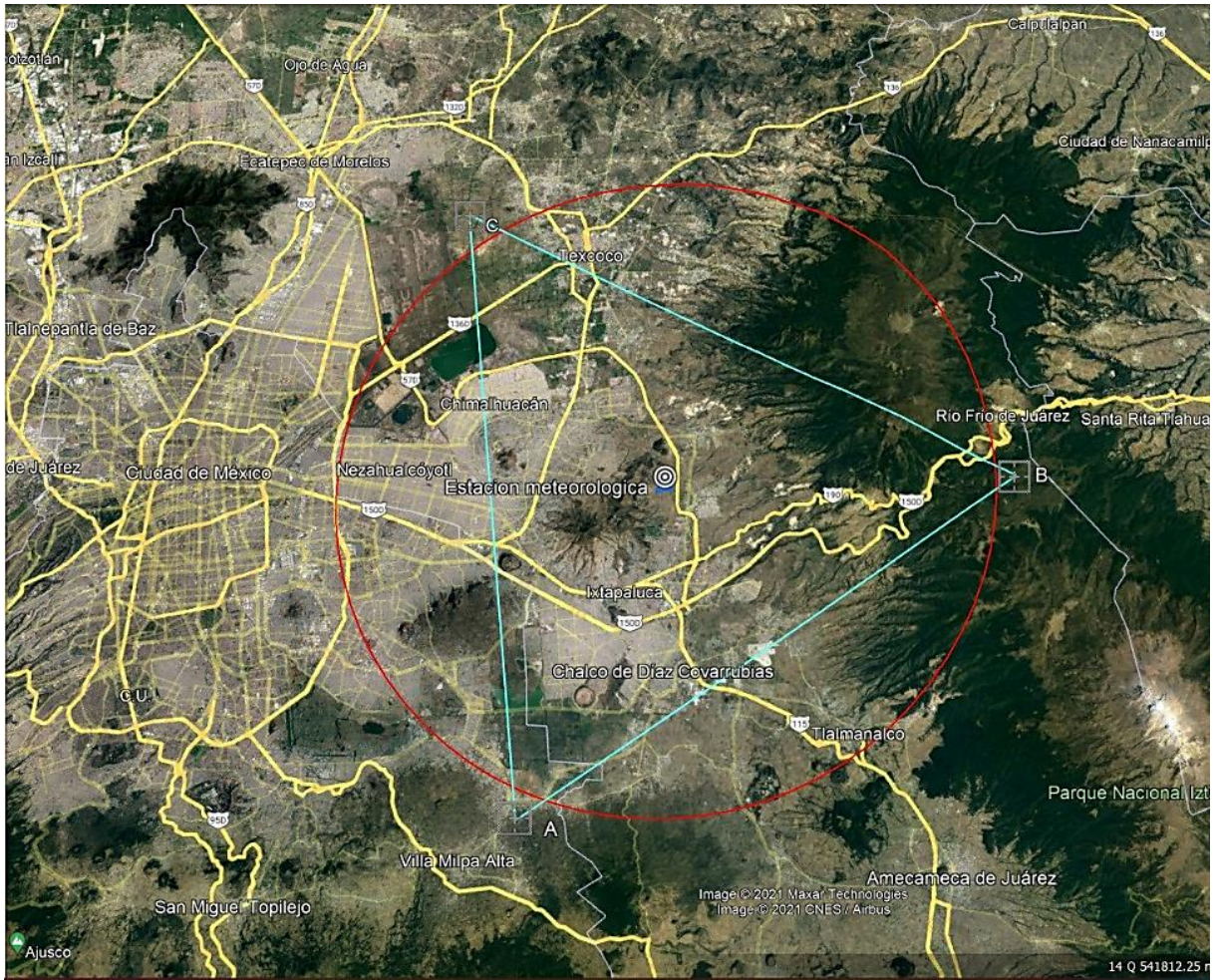


Figura 4.5 Método de triangulación Fuente: Google Earth

Posteriormente de localizar los puntos se puede apreciar la formación de un triángulo, de ahí el nombre de triangulación, por consiguiente, nos dirigimos a los iconos que se encuentran en la parte superior y se selecciona guardar imagen en formato jpg. Sin olvidar posicionar el área de estudio hacia el norte que se puede hacer dirigiéndose a la esquina superior derecha en Google Earth y dando click en la “N” al igual que quitar el círculo que delimito el sitio.

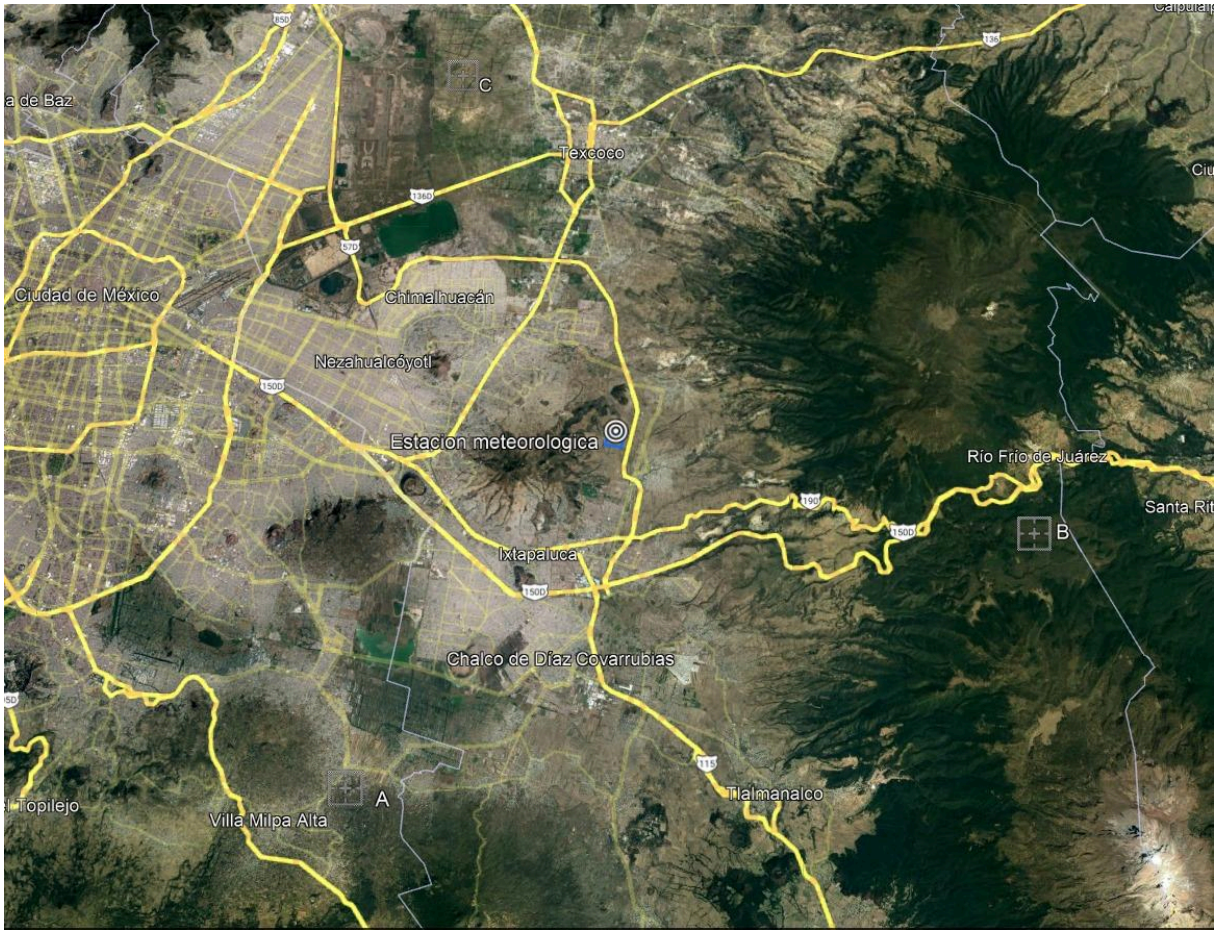


Figura 4.6 Lugar de análisis Fuentes: Google Earth

En la aplicación de Global Mapper partiremos de la Figura 4.5 anteriormente guardada de Google Earth. Ya que la imagen se encuentra cargada, se localiza uno de los tres puntos marcados, en este caso comenzaremos desde el punto A. Se direcciona hacia la marca de referencia y lo más centrado posible, se coloca el cursor para poder insertar un punto rojo como se muestra en la Figura 4.7.

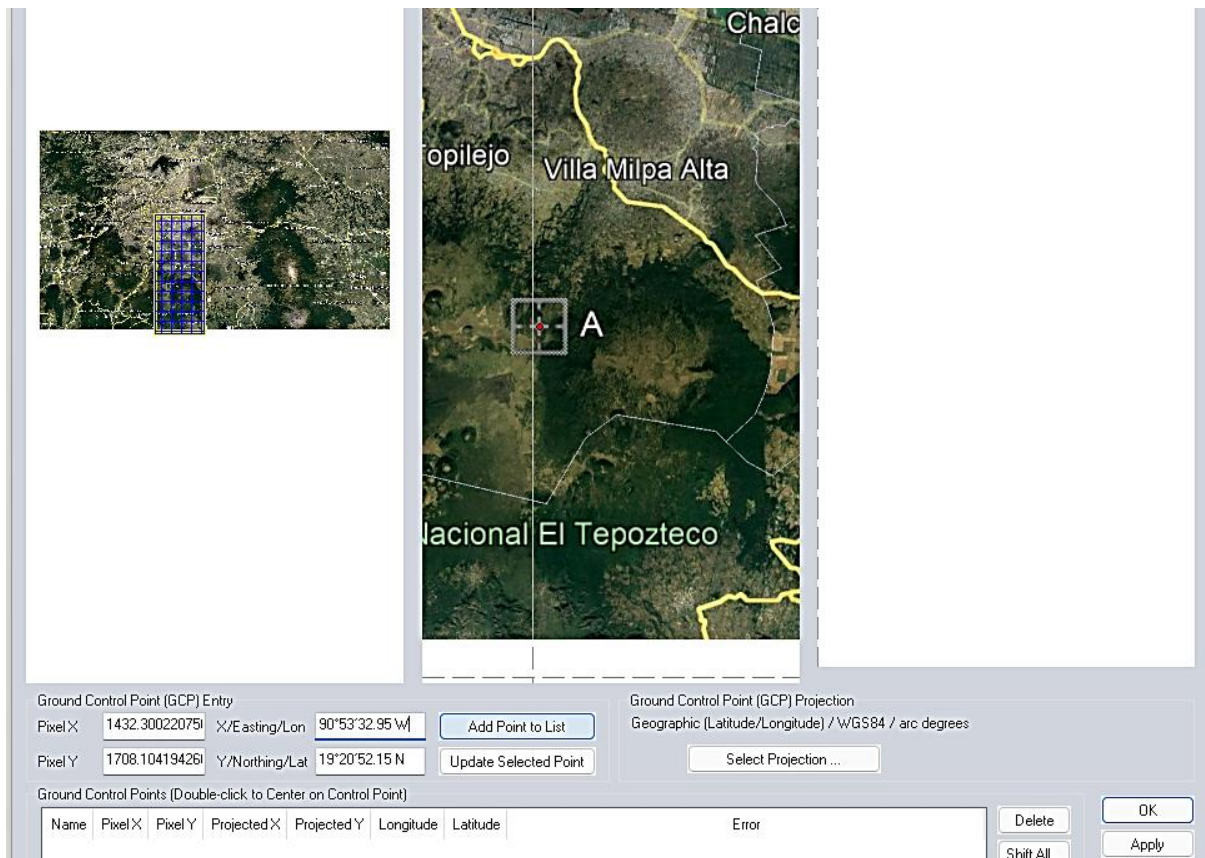


Figura 4.7 Localización del punto A Fuente: Global Mapper

Ejecutamos el software Google Earth en donde se encuentran localizados nuestros puntos vistos anteriormente de los cuales tomaremos su latitud y longitud, ya tomando los datos se pasa a Google Mapper y colocaremos los datos, como podemos ver en la siguiente Figura 4.8, recordando que los datos deben estar en formato grados, minutos y segundos, después agregar el punto colocando por nombre "A".

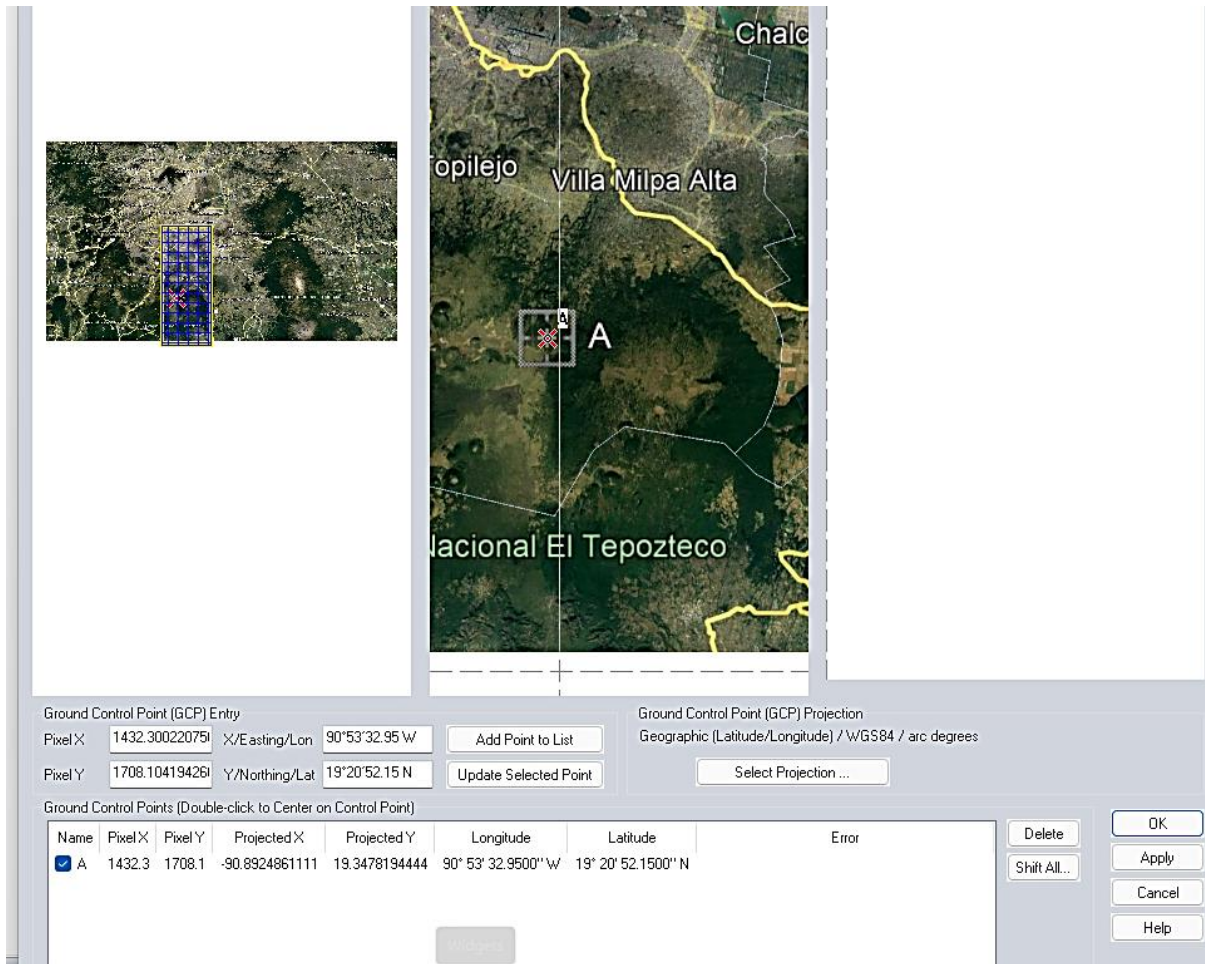


Figura 4.8 El punto "A" referenciado Fuente: Global Mapper

Se realiza el mismo procedimiento con los 2 puntos siguientes (B y C), se coloca "ok", en donde nos muestra la imagen georreferenciada, posteriormente nos dirigimos a la parte de proyección y se selecciona UTM (Universal Transversal de Mercator) para exportar la Figura en formato jpg., en donde es preciso tener seleccionadas las opciones de World file y PRJ, se da click en "ok", se guarda la imagen con un nombre y lugar en el cual se logre identificar. Por último, se almacena el trabajo realizado en Global Mapper.

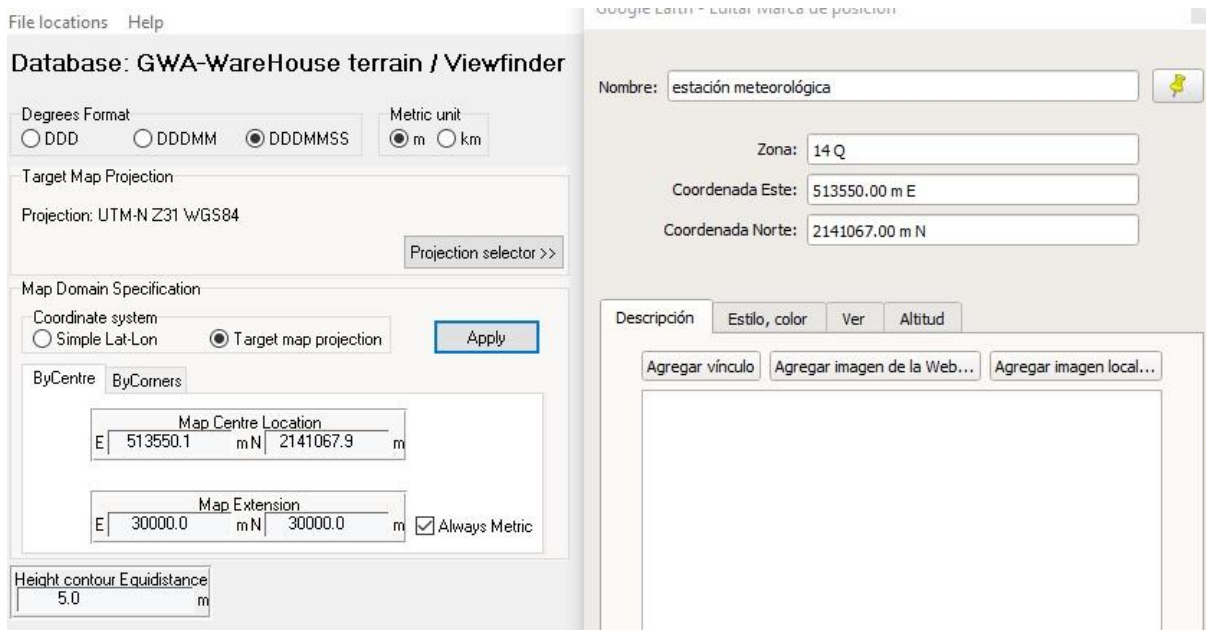


Figura 4.10 Datos de la estación meteorológica

Por consiguiente, se selecciona “proyección de mapa”, se sitúa en Google Earth e ingresan los datos en formato UTM (Universal Transverse Mercator) y se elige la estación meteorológica. Los datos del este y norte se colocan en la aplicación de WAsP. En el siguiente apartado se pondrá los 30 km (30,000m) del área estudio, dicho dato se introduce en el software, para finalizar se aplica y en automático da el área de estudio para descargar y convertir, ya que termino el proceso se ubica en la pestaña Windows en donde se visualiza los datos de topografía, posteriormente se guarda la imagen, como punto extra podemos emplazar la imagen referenciada realizada en Global Mapper como fondo en nuestra imagen de topografía, también de poder cambiar los colores y por ultimo guardamos en formato pj., y obtendremos el siguiente resultado Figura 4.11.

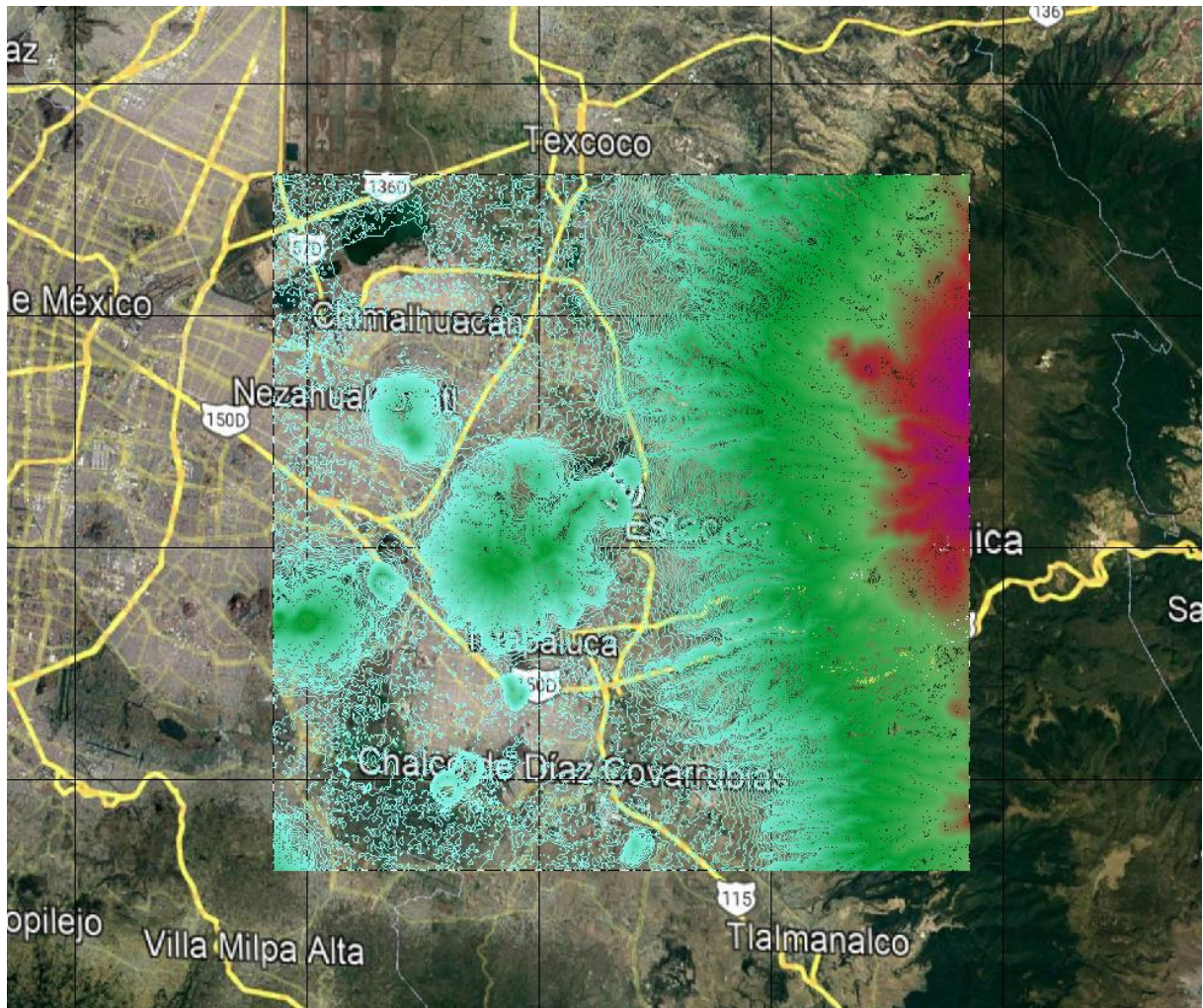


Figura 4.11 Topografía del sitio Fuente: WAsP Map

En la que se adquirió la topografía del sitio encima de la Figura 4.11 geo-referenciada, además de percibir los colores más cálidos (mayor relieve del suelo). Para realizar la Rugosidad son los mismos pasos descritos anteriormente, a excepción de que los datos se introducen en formato UTM.

En la Figura 4.12 se obtiene la rugosidad del sitio donde se ve las irregularidades que posee el lugar de análisis.

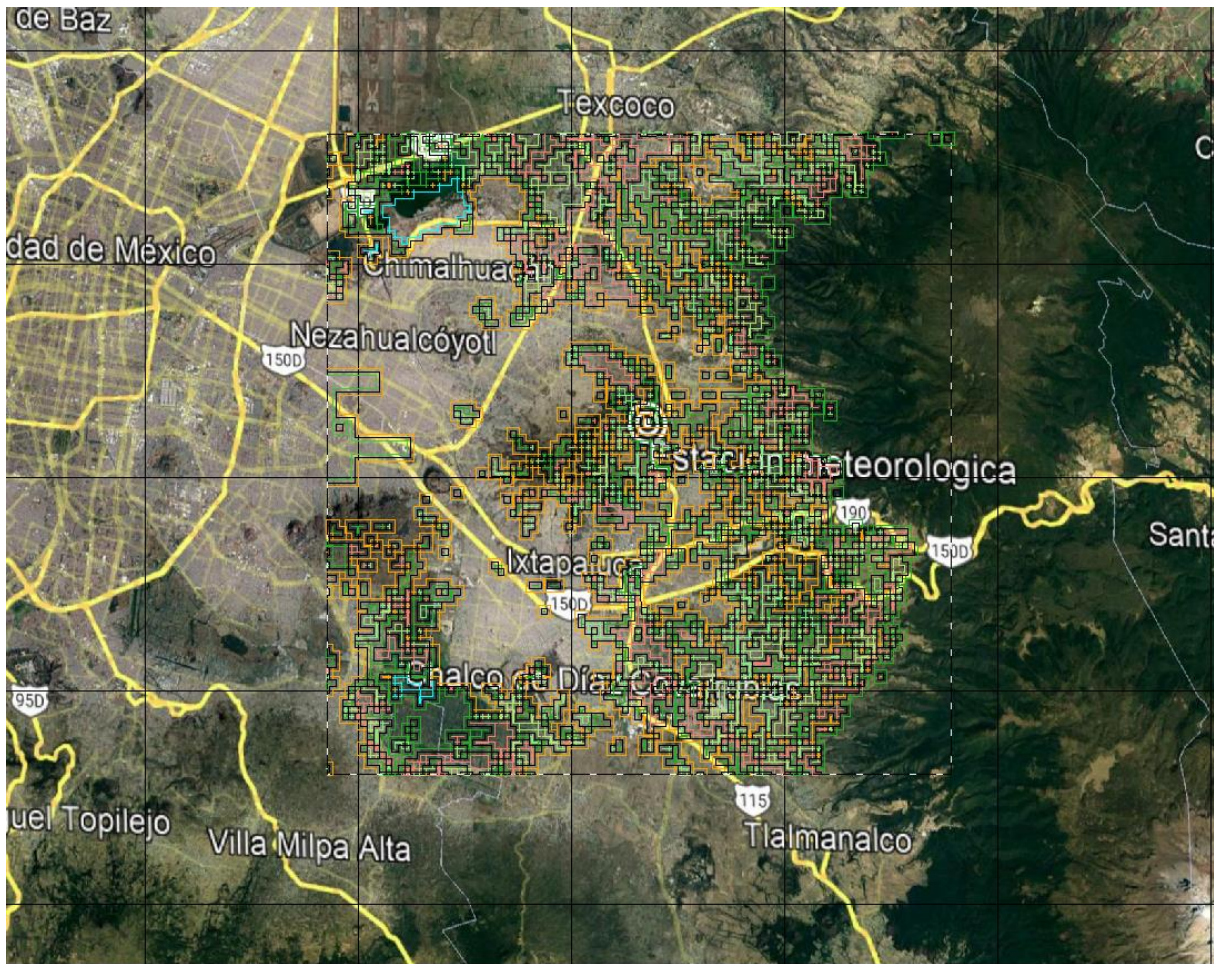


Figura 4.12 Rugosidad del sitio Fuente: WAsP Map

Ya aplicada aparece la imagen referenciada, como fondo se coloca la Figura 4.6, se guarda con su respectivo nombre. Como paso final la imagen de topografía (Figura 4.12) es cargada para combinar ambos datos dentro del mismo mapa y guardarlos.

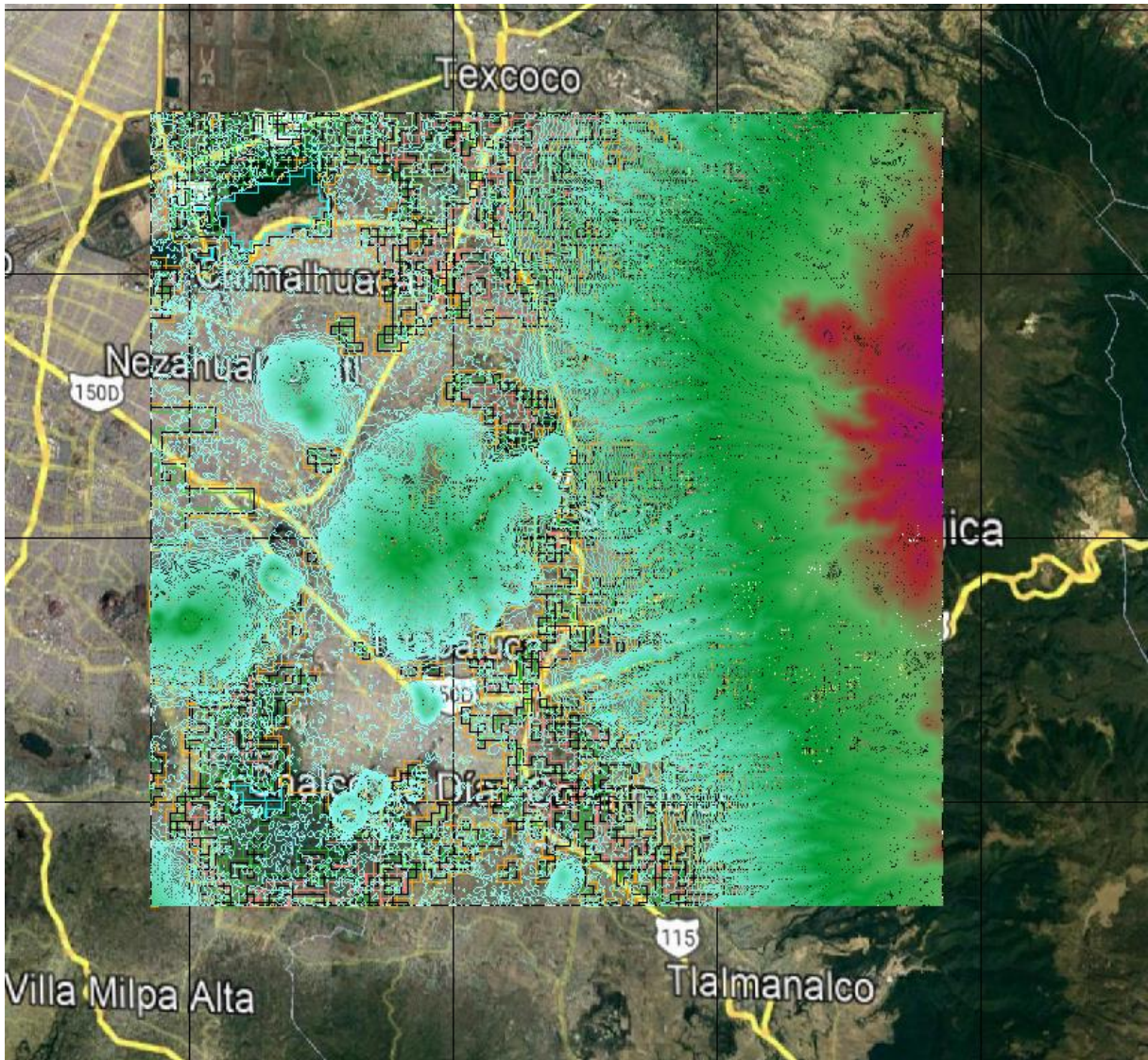


Figura 4.13 Topografía y Rugosidad del sitio Fuente: WAsP Map

En la anterior Figura 4.13 se puede visualizar el acoplo de la topografía y la rugosidad, como fondo la imagen del sitio georeferenciado, esto permite una mayor apreciación del suelo, con el fin de mejorar el proyecto.

4.5 DATOS DEL VIENTO

Para obtener los datos del viento se puede consultar en la página de internet Global Wind Atlas y colocar los datos del punto de referencia obtenido de Google Earth en horas, minutos y segundos del centro de estudio, se elige el punto de estudio en donde aparece varias opciones (del lado derecho) y seleccionaremos la tercera, que es GWC para

descargarlo obteniendo el clima de la locación, como se muestra a continuación en la Figura 4.14.

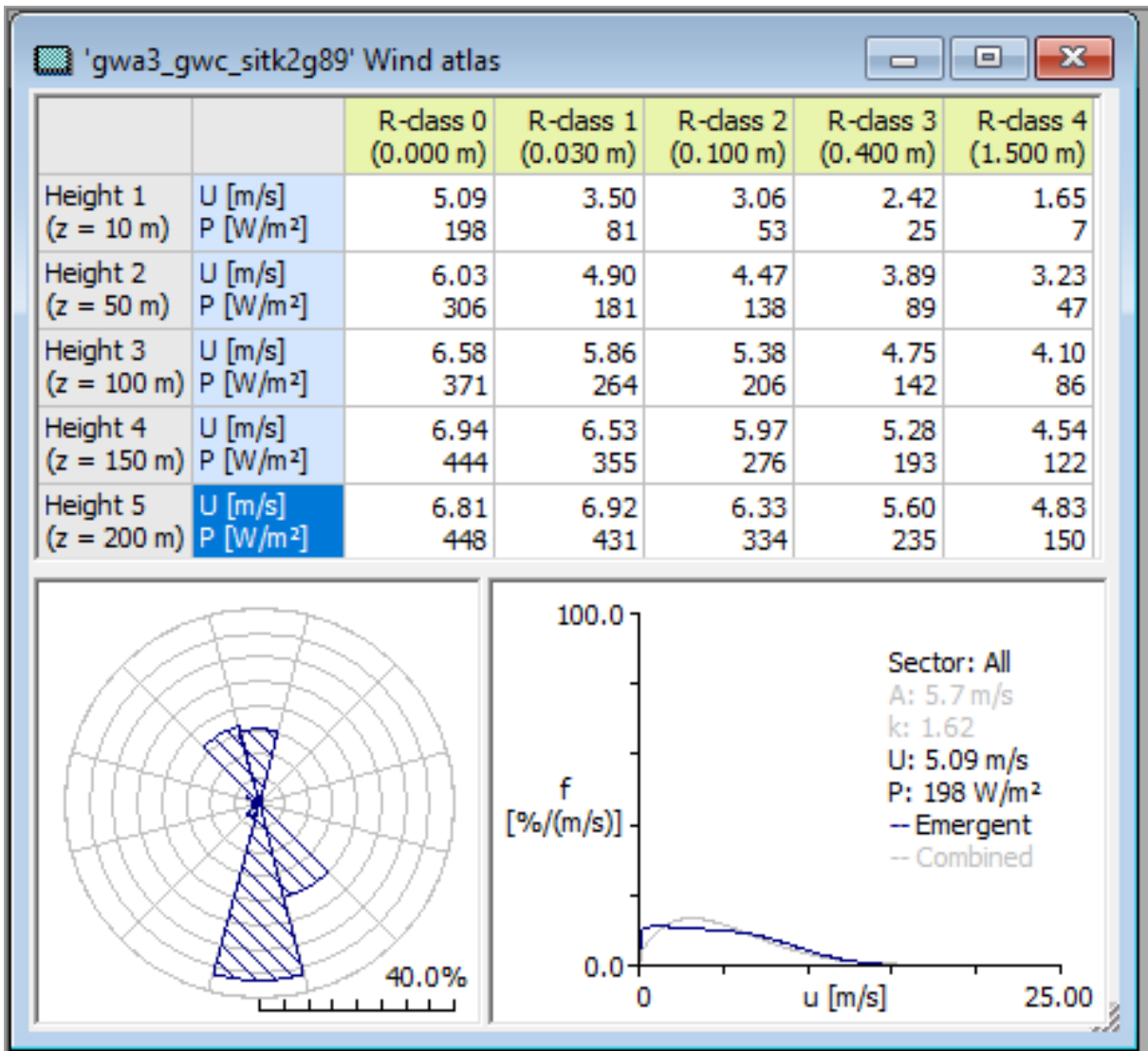


Figura 4.14 Datos del viento Fuente: Global Wind Atlas

Como se puede observar en la Figura son las diversidades velocidades del viento con forme a días, meses del año en curso, además de contar con diversas altitudes para obtener un promedio de 5.09 m/s.

4.6 TURBINA EÓLICA

Para un estudio de eólica en el software WASP Map se ubican los datos por defecto de una turbina eólica, en caso de no ser así, existe la opción de realizar un archivo insertando los datos de la curva de potencia del AG, por lo que se agregó una alternativa de turbina de la compañía Ryse energy con una potencia nominal de 10kW de eje horizontal.

Nos destinamos a la aplicación de WASP turbine editor en donde se edita los datos del diámetro del rotor y la altura del buje, proseguiremos a llenar la tabla (Figura 4.15), dicha tabla puede contener los datos de la curva de potencia de la hoja técnica, los cuales son: velocidad del viento, potencia (en kW) y rotor (Ct), al finalizar el llenado se guarda el archivo.

AEROGENERADOR	Configuración	3 palas, eje horizontal, sotavento
	Potencia Nominal	10kW, limitada por software
	Aplicaciones	Conexión a red - Micro red
	Velocidad nominal de rotación	120rpm
	Inicio de Rotación	1,85m/s
	Corte de producción	30m/s
	Protección	IP65 / alta protección ambiental
	Peso	1.000Kg
	Orientación	Orientación aerodinámica
ROTOR	Diámetro	9,8m
	Área de barrido	75.4m ²
	Longitud de Pala	4,5m
	Material de la pala	Fibra de vidrio, resina flex con poliuretano
	Tipo de control	Paso variable activo, regulación electrónica y freno

Figura 4.15 Ficha descriptiva del aerogenerador Fuente: Proveedor del aerogenerador

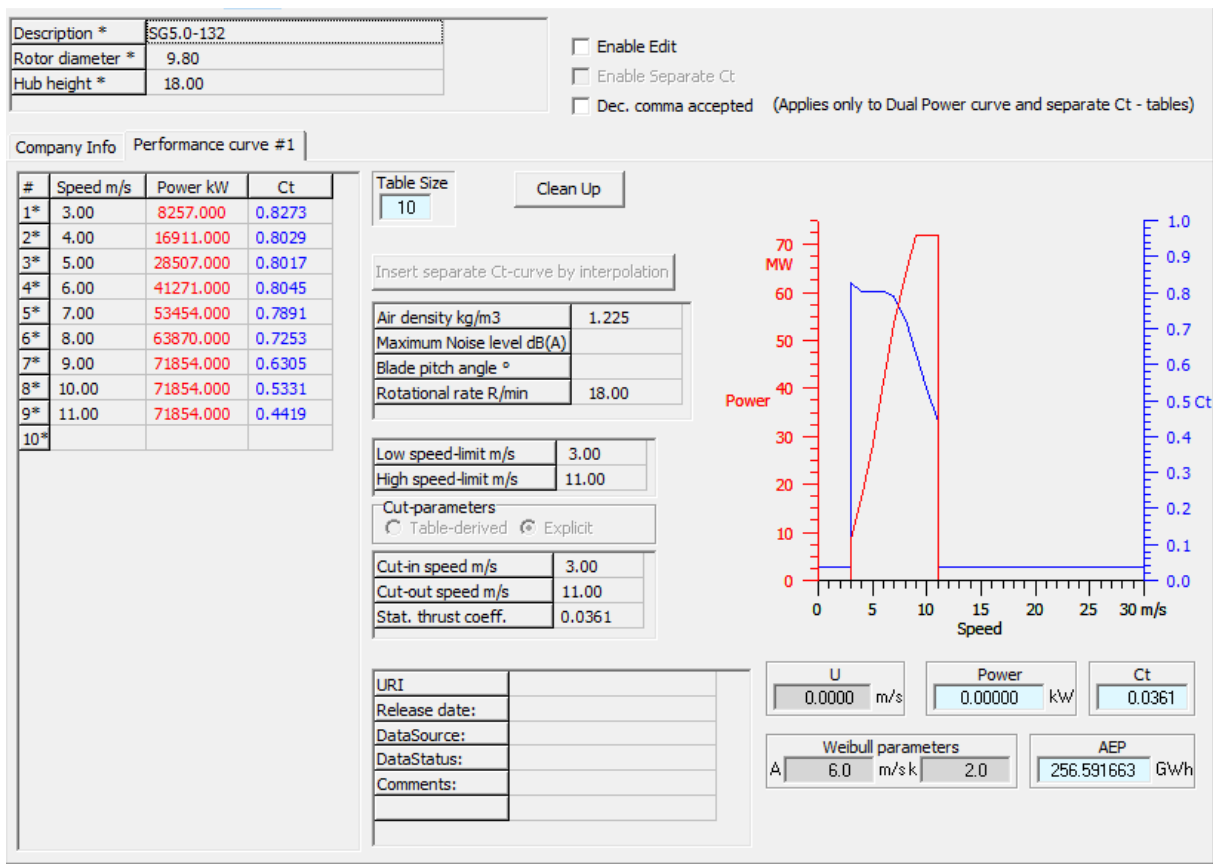


Figura 4.16 Curva de potencia del aerogenerador del sitio Fuente: WAsP Map

Como podemos observar en la Figura 4.16 el esquema de color azul es el coeficiente de potencia y la gráfica de color rojo es la curva de potencia, en la parte de inferior derecha se muestra el resultado obtenido de la simulación, en este caso el coeficiente de potencia es de 0.0361 y una generación de 256.5916 GWh de energía limpia al año.

4.7 GENERACIÓN WAsP

Para este apartado se introduce toda la información recopilada que nos ayudara a conocer la cantidad de kW obtenidos, así como las pérdidas.

Empezamos por crear un nuevo proyecto, posteriormente se introduce la topografía y rugosidad (anteriormente realizada, Figura 4.13), además de integrar la imagen georreferenciada de Global Mapper (Figura 4.9) en donde se pide un archivo de escala, el cual ayuda a tener una referencia, para así dirigirse al apartado de proyecto e integrar el documento obtenido de Wind Atlas, a continuación nos situamos en el proyecto e incorporamos el archivo de Turbine Editor para poder así agregar un “Resource grid”, esto nos permitirá calcular el recurso eólico del área limitada, para finalizar anexamos un

“Turbine Duster” con el fin de instalar los 7 AG con las coordenadas que nos proporcionó el software Google Earth (Figura 4.17).

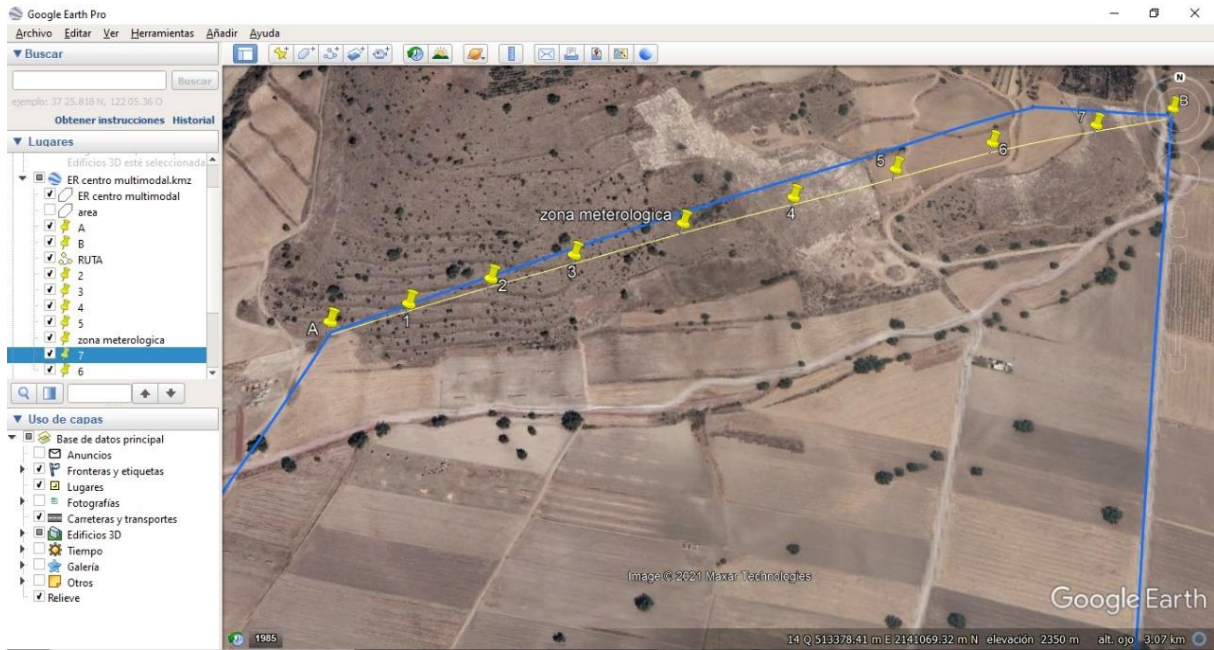


Figura 4.17 Posición de los aerogeneradores en el sitio Fuente: Google Earth

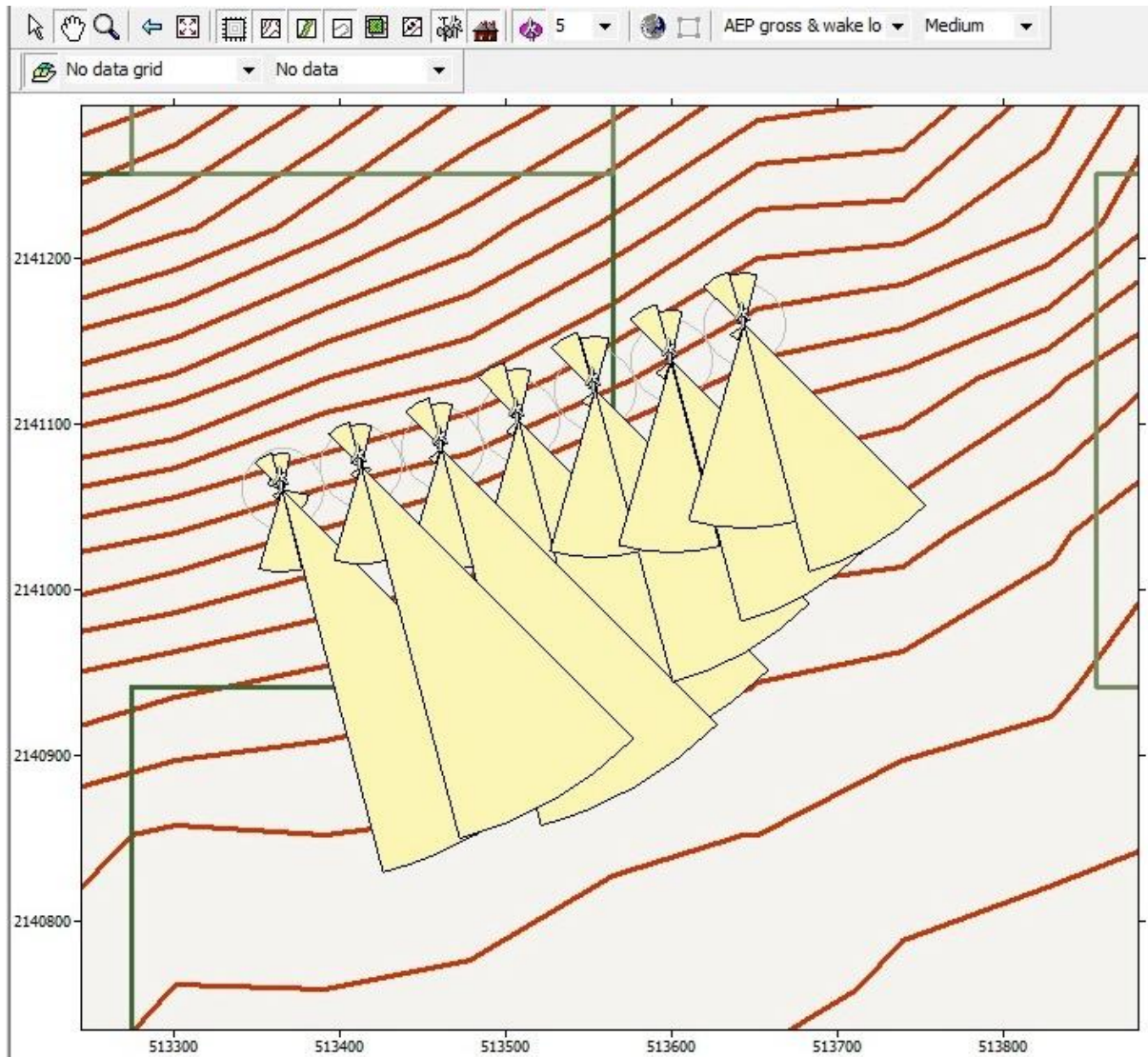


Figura 4.18 Posición de los aerogeneradores en el programa Fuente: WAsP Map

El sitio cuenta con suficiente espacio sin embargo se optó por solo situar 5 veces el diámetro como se muestra en la anterior Figura 4.18 si llega a aumentar el espacio entre cada turbina existe pérdidas de material, así como económicas.

Posteriormente se realiza un análisis de las pérdidas y la producción en kW de cada uno de los aerogeneradores. Por último, se hace el cálculo total del recurso eólico que en automático es proporcionado un archivo en Word que se encuentra plasmado en los resultados.

4.8 RESULTADOS

4.8.1 Resumen de resultados

Parámetro	Total	Promedio	Mínimo	Máximo
AEP neto [MWh]	18.503	2.643	1.759	3.721
AEP bruto [MWh]	18.509	2.644	1.761	3.722
Efecto estela [%]	0.03	-	-	-

Tabla 4.1 Resumen de resultados Fuente: WASP Map

En la anterior Tabla 4.1 se muestra un resumen de la Producción de Energía Anual (AEP) en ella se observa la diferencia que existe entre la AEP bruto que es la energía total recibida y la AEP neta en donde existe una disminución, por lo que la pérdida de activación es del 0.03% e indica que tenemos ese porcentaje de descenso por efecto estela, por consiguiente la implementación de los 7 aerogeneradores con respecto a la posición y el lugar en el que se encuentran la producción de energía se centra aproximadamente al 20% de su capacidad total esto se debe al que el promedio del viento mínimo es de 1.75m/s y el máximo es de 3.72m/s.

4.8.2 Resultados del sitio

Sitio	Ubicación [m]	Turbina	Elevación [msnm]	Altura [msnt]	AEP neto [MWh]	Pérdida de despertar [%]
Turbina 001	(513086.2,2140987.0)	Bergey	2339.074	18	3.721	0.00
Turbina 002	(513133.4,2141002.0)		2342.656		3.453	0.01
Turbina 003	(513180.4,2141018.0)		2345.291		2.982	0.02
Turbina 004	(513236.1,2141031.0)		2347.372		2.608	0.04
Turbina 005	(513299.1,2141043.0)		2347.098		2.121	0.07
Turbina 006	(513347.4,2141044.0)		2343.845		1.759	0.10
Turbina 007	(513393.0,2141060.0)		2344.337		1.858	0.05

Tabla 4.2 Resultados del sitio Fuente: WASP Map

En la Tabla 4.2 se observa la posición de cada aerogenerador con respecto a sus coordenadas, en la segunda columna podemos ver el nombre de la turbina seleccionada, en la tercera la elevación (msnm) que se encuentra cada una de las turbinas, en la cuarta columna se encuentra la altura de la torre a 18m y en la penúltima la producción de energía (no excede de los 3.7MWh).

4.8.3 Climas de viento del sitio

Sitio	Ubicación [m]	Altura [m a.g.l.]	Un [m/s]	k	U [m/s]	E [W/m ²]	RIX [%]	dRIX [%]
Turbina 001	(513086.2,2140987.0)	18	3.2	1.52	2.92	40	3.10	N/A
Turbina 002	(513133.4,2141002.0)		3.2	1.52	2.85	38	3.00	N/A
Turbina 003	(513180.4,2141018.0)		3.0	1.53	2.73	33	3.00	N/A
Turbina 004	(513236.1,2141031.0)		2.9	1.52	2.62	29	2.90	N/A
Turbina 005	(513299.1,2141043.0)		2.7	1.51	2.46	24	2.80	N/A
Turbina 006	(513347.4,2141044.0)		2.6	1.51	2.33	21	2.60	N/A
Turbina 007	(513393.0,2141060.0)		2.6	1.51	2.37	22	2.80	N/A

Tabla 4.3 Climas del sitio Fuente: WAsP Map

Se encuentra la ubicación representada en formato UTM del lugar donde se posiciona cada uno de los aerogeneradores, así como también la velocidad del viento promedio atmosférico con respecto a su posición. Se utiliza el programa de Global Wind Atlas en donde se encuentran las velocidades del viento y la densidad de potencia a 10m (W/m²) percibiendo que el mayor es de 40m (W/m²) lo que nos da a entender que tenemos un recurso potencial pobre.

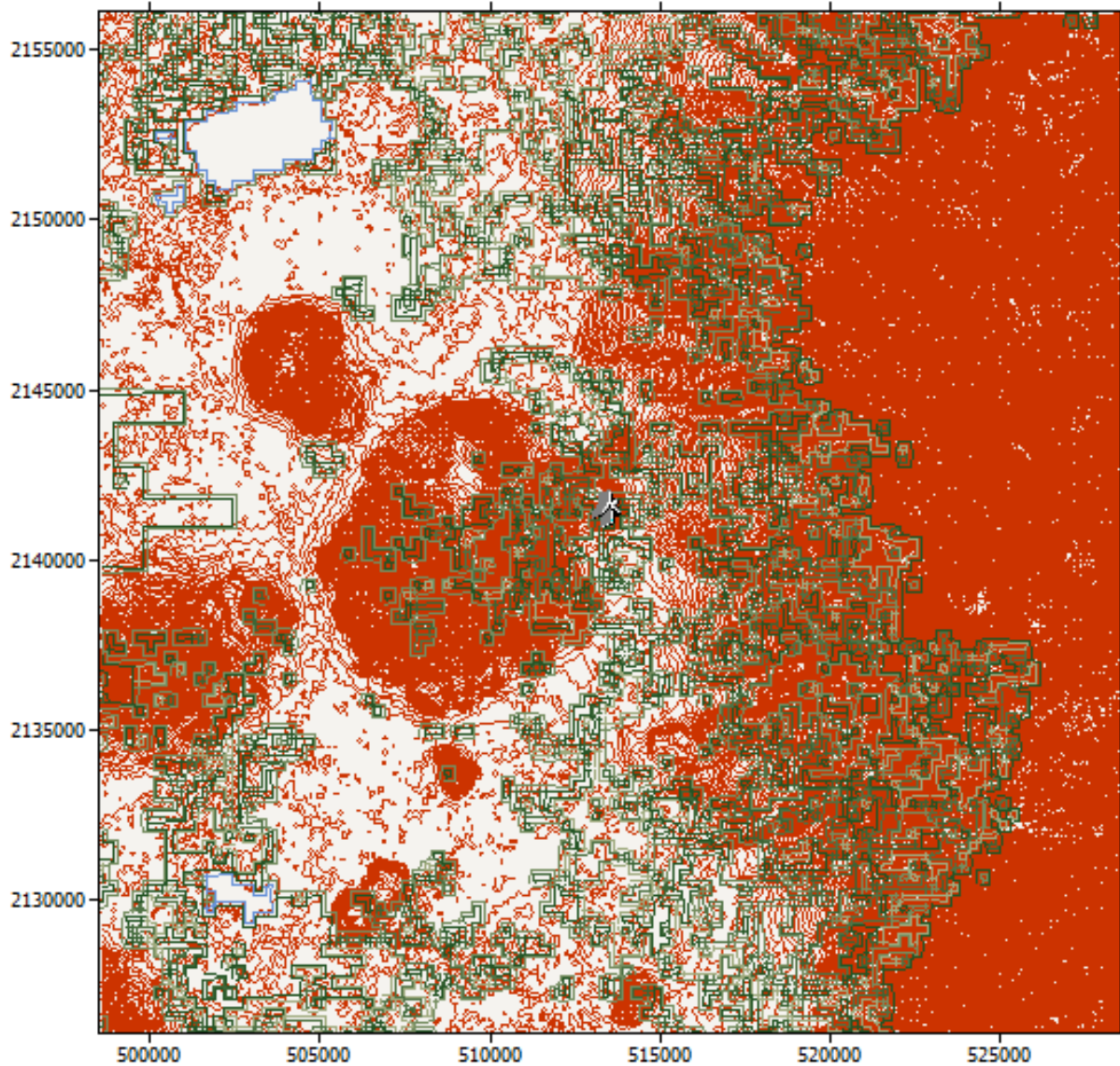


Figura 4.19 Mapa de Topografía y Rugosidad Fuente: WAsP Map

El parque eólico se encuentra dentro del mapa donde se plasma la unión de rugosidad y topografía del sitio para un mejor estudio del suelo, logrando una mejor visualización del parque (Figura 4.19).

4.8.4 Cálculo de la producción anual para el ' Grupo de turbinas 1'

4.8.4.1 Sector 1 (0°)

Turbina	A [m/s]	k	Frecuencia [%]	U [m/s]	MWh (gratis)	MWh (parque)	Eff. [%]
Turbina 001	1.60	1.06	5.61	1.59	0.059	0.059	100.00
Turbina 002	1.60	1.06	5.65	1.56	0.055	0.055	100.00
Turbina 003	1.60	1.06	5.82	1.54	0.054	0.054	100.00
Turbina 004	1.70	1.06	6.39	1.66	0.078	0.078	100.00
Turbina 005	1.90	1.07	6.46	1.83	0.106	0.106	100.00
Turbina 006	2.0	1.08	6.89	1.97	0.140	0.140	100.00
Turbina 007	2.1	1.08	8.19	2.01	0.176	0.176	100.00
Total del sector 1	-	-	-	-	0.670	0.670	100.00

Tabla 4.4 Sector 1 Fuente: WAsP Map

En el sector 1 los AG se encuentran posicionados a 0° (Norte), en la turbina eólica siete, cuenta con una velocidad de 2.01 m/s y una frecuencia de 8.19% es decir que de los 8760 datos tenemos 717 con esa velocidad, en los demás AG cuentan con velocidades de 1.54m/s a 1.97m/s.

4.8.4.2 Sector 2 (30°)

Turbina	A [m/s]	k	Frecuencia [%]	U [m/s]	MWh (gratis)	MWh (parque)	Eff. [%]
Turbina 001	0.70	0.83	0.46	0.81	0.001	0.001	100.00
Turbina 002	0.80	0.83	0.47	0.88	0.002	0.002	100.00
Turbina 003	0.80	0.83	0.49	0.94	0.002	0.002	100.00
Turbina 004	1.00	0.84	0.58	1.09	0.004	0.004	100.00
Turbina 005	1.50	0.95	1.28	1.55	0.017	0.017	100.00
Turbina 006	1.60	0.97	1.60	1.63	0.024	0.024	100.00
Turbina 007	1.70	0.97	1.75	1.70	0.029	0.029	100.00
Total del sector 2	-	-	-	-	0.078	0.078	100.00

Tabla 4.5 Sector 2 Fuente: WAsP Map

En el sector 2 tenemos una posición a 30°(Norte-Noreste), los aerogeneradores no se encuentran beneficiados ya que hay velocidades menores a 1.70m/s.

4.8.4.3 Sector 3 (60°)

Turbina	A [m/s]	k	Frecuencia [%]	U [m/s]	MWh (gratis)	MWh (parque)	Eff. [%]
Turbina 001	0.5	0.70	0.27	0.62	0.001	0.001	94.16
Turbina 002	0.6	0.71	0.30	0.69	0.001	0.001	94.9
Turbina 003	0.6	0.72	0.33	0.75	0.001	0.001	97.66
Turbina 004	0.7	0.72	0.36	0.81	0.002	0.002	99.16
Turbina 005	0.7	0.71	0.39	0.84	0.002	0.002	99.95
Turbina 006	0.6	0.70	0.41	0.81	0.002	0.002	95.7
Turbina 007	0.6	0.69	0.41	0.80	0.002	0.002	100.0
Total del sector 3	-	-	-	-	0.010	0.010	98.02

Tabla 4.6 Sector 3 Fuente: WAsP Map

Para el sector 3 a una posición de 60° (entre NE y ENE) se descarta como lugar de colocación ya que las velocidades son bajas.

4.8.4.4 Sector 4 (90°)

Turbina	A [m/s]	k	Frecuencia [%]	U [m/s]	MWh (gratis)	MWh (parque)	Eff. [%]
Turbina 001	0.80	0.67	0.45	1.01	0.005	0.005	97.58
Turbina 002	0.80	0.67	0.49	1.09	0.006	0.006	97.64
Turbina 003	0.90	0.67	0.52	1.16	0.007	0.007	96.91
Turbina 004	1.00	0.69	0.59	1.23	0.009	0.009	96.57
Turbina 005	1.00	0.71	0.65	1.24	0.010	0.009	94.5
Turbina 006	0.90	0.71	0.66	1.18	0.009	0.009	98.86
Turbina 007	0.90	0.71	0.62	1.08	0.006	0.006	100.0
Total del sector 4	-	-	-	-	0.052	0.051	97.24

Tabla 4.7 Sector 4 Fuente: WAsP Map

En el sector 4 a una posición de 90° (Este), no se encuentra ningún lugar aceptable para la instalación de los aerogeneradores.

4.8.4.5 Sector 5 (120°)

Turbina	A [m/s]	k	Frecuencia [%]	U [m/s]	MWh (gratis)	MWh (parque)	Eff. [%]
Turbina 001	4.0	1.96	5.39	3.53	0.264	0.264	100.00
Turbina 002	4.2	2.21	8.35	3.73	0.434	0.434	100.00
Turbina 003	4.2	2.31	10.21	3.68	0.486	0.486	100.00
Turbina 004	4.0	2.36	10.42	3.55	0.430	0.430	100.00
Turbina 005	3.7	2.29	7.69	3.24	0.241	0.241	100.00
Turbina 006	3.4	2.17	5.78	2.97	0.140	0.140	100.00
Turbina 007	3.2	1.94	3.76	2.80	0.085	0.085	100.00
Total del sector 5	-	-	-	-	2.080	2.080	100.00

Tabla 4.8 Sector 5 Fuente: WAsP Map

En el sector 5 a una posición de 120° (entre ESE- SE), encontramos velocidades mayores a 2.80 m/s, pero a pesar de ello no es suficiente para obtener la energía necesaria.

4.8.4.6 Sector 6 (150°)

Turbina	A [m/s]	k	Frecuencia [%]	U [m/s]	MWh (gratis)	MWh (parque)	Eff. [%]
Turbina 001	4.50	2.46	42.38	3.96	2.420	2.420	100.00
Turbina 002	4.40	2.43	39.36	3.86	2.094	2.094	100.00
Turbina 003	4.10	2.45	37.02	3.67	1.658	1.658	100.00
Turbina 004	4.10	2.54	35.42	3.60	1.447	1.447	100.00
Turbina 005	4.00	2.76	35.87	3.52	1.265	1.265	100.00
Turbina 006	3.70	2.81	34.46	3.33	0.982	0.982	100.00
Turbina 007	3.80	2.82	33.90	3.40	1.039	1.039	100.00
Total del sector 6	-	-	-	-	10.907	10.907	100.00

Tabla 4.9 Sector 6 Fuente: WAsP Map

El sector 6 se encuentra posicionado a 150° (SSE), se observan velocidades con un rango de 3.33 m/s a 3.96 m/s, además de contar con frecuencias mayores al 33%, aunque no es lo suficiente para cumplir con la potencia de los AG.

4.8.4.7 Sector 7 (180°)

Turbina	A [m/s]	k	Frecuencia [%]	U [m/s]	MWh (gratis)	MWh (parque)	Eff. [%]
Turbina 001	2.20	1.12	11.47	2.11	0.266	0.266	100.00
Turbina 002	2.10	1.12	11.43	2.02	0.230	0.230	100.00
Turbina 003	2.10	1.13	11.76	1.98	0.217	0.217	100.00
Turbina 004	2.00	1.14	12.58	1.89	0.197	0.197	100.00
Turbina 005	1.90	1.14	13.24	1.81	0.179	0.179	100.00
Turbina 006	2.20	1.29	15.55	2.00	0.222	0.222	100.00
Turbina 007	2.40	1.42	17.74	2.18	0.280	0.280	100.00
Total del sector 7	-	-	-	-	1.591	1.591	100.00

Tabla 4.10 Sector 7 Fuente: WAsP Map

El sector 7 se encuentra posicionado a 180°(Sur) obteniendo así velocidades bajas para los aerogeneradores, descartando la posible instalación.

4.8.4.8 Sector 8 (210°)

Turbina	A [m/s]	k	Frecuencia [%]	U [m/s]	MWh (gratis)	MWh (parque)	Eff. [%]
Turbina 001	0.60	0.88	1.68	0.68	0.001	0.001	100.00
Turbina 002	0.60	0.88	1.66	0.67	0.001	0.001	100.00
Turbina 003	0.60	0.88	1.67	0.68	0.001	0.001	100.00
Turbina 004	0.80	0.84	1.98	0.89	0.006	0.006	100.00
Turbina 005	1.30	0.94	3.60	1.35	0.031	0.031	100.00
Turbina 006	1.40	0.98	4.62	1.44	0.043	0.043	100.00
Turbina 007	1.50	0.99	5.13	1.50	0.054	0.054	100.00
Sector 8 total	-	-	-	-	0.139	0.139	100.00

Tabla 4.11 Sector 8 Fuente: WASP Map

El sector 8 se encuentran posicionados a 210° (SO) cuenta con velocidades bajas, obteniendo así que la eficiencia de la posición no es rentable.

4.8.4.9 Sector 9 (240°)

Turbina	A [m/s]	k	Frecuencia [%]	U [m/s]	MWh (gratis)	MWh (parque)	Eff. [%]
Turbina 001	0.70	0.87	1.05	0.77	0.002	0.002	100.0
Turbina 002	0.70	0.87	1.14	0.80	0.002	0.002	96.34
Turbina 003	0.80	0.87	1.23	0.83	0.003	0.003	95.42
Turbina 004	0.80	0.87	1.38	0.90	0.004	0.004	97.58
Turbina 005	0.90	0.87	1.49	0.93	0.005	0.005	98.85
Turbina 006	0.90	0.87	1.56	0.94	0.005	0.005	100.0
Turbina 007	0.90	0.88	1.55	0.97	0.005	0.005	95.38
Total del sector 9	-	-	-	-	0.025	0.025	97.65

Tabla 4.12 Sector 9 Fuente: WASP Map

El sector 9 se encuentra posicionado a 240° SOpO (Suroeste por el Oeste), en donde las velocidades de los aerogeneradores son escasas, ya que no se logra llegar a la velocidad de 1m/s, al mismo tiempo que la frecuencia de los datos es baja.

4.8.4.10 Sector 10 (270°)

Turbina	A [m/s]	k	Frecuencia [%]	U [m/s]	MWh (gratis)	MWh (parque)	Eff. [%]
Turbina 001	1.20	0.93	1.48	1.23	0.010	0.010	100.00
Turbina 002	1.30	0.93	1.56	1.30	0.012	0.012	98.19
Turbina 003	1.30	0.94	1.65	1.36	0.015	0.015	97.96
Turbina 004	1.40	0.95	1.77	1.44	0.018	0.018	96.93
Turbina 005	1.50	0.99	2.15	1.52	0.024	0.023	96.42
Turbina 006	1.50	1.01	2.24	1.46	0.021	0.019	92.34
Turbina 007	1.40	1.01	2.19	1.41	0.018	0.017	96.29
Sector 10 total	-	-	-	-	0.117	0.113	96.43

Tabla 4.13 Sector 10 Fuente: WAsP Map

El sector 10 se encuentra posicionado a 270°(O), las velocidades tienen un rango de 1.23 m/s a 1.52 m/s, estas velocidades no permiten el arranque del AG, al igual que la frecuencia de los datos es baja.

4.8.4.11 Sector 11 (300°)

Turbina	A [m/s]	k	Frecuencia [%]	U [m/s]	MWh (gratis)	MWh (parque)	Eff. [%]
Turbina 001	2.10	1.12	7.05	2.03	0.144	0.144	100.00
Turbina 002	2.20	1.15	8.58	2.12	0.190	0.190	100.00
Turbina 003	2.20	1.17	9.69	2.13	0.210	0.210	100.00
Turbina 004	2.10	1.17	9.85	2.02	0.180	0.180	100.00
Turbina 005	1.90	1.17	8.37	1.79	0.104	0.104	100.00
Turbina 006	1.70	1.16	7.29	1.65	0.069	0.069	100.00
Turbina 007	1.70	1.14	6.08	1.58	0.051	0.051	100.00
Total, del sector 11	-	-	-	-	0.947	0.947	100.00

Tabla 4.14 Sector 11 Fuente: WAsP Map

El sector 11 se encuentra posicionado a 300° NOpO (Noroeste por el Oeste) en la Tabla 4.14, aquí se visualiza una velocidad de 2.13 m/s, por ello se descarta la instalación de los aerogeneradores.

4.8.4.12 Sector 12 (330°)

Turbina	A [m/s]	k	Frecuencia [%]	U [m/s]	MWh (gratis)	MWh (parque)	Eff. [%]
Turbina 001	2.50	1.27	22.70	2.32	0.548	0.548	100.00
Turbina 002	2.40	1.27	21.01	2.19	0.426	0.426	100.00
Turbina 003	2.20	1.27	19.62	2.08	0.328	0.328	100.00
Turbina 004	2.10	1.28	18.66	1.92	0.234	0.234	100.00
Turbina 005	1.80	1.29	18.81	1.67	0.140	0.140	100.00
Turbina 006	1.70	1.30	18.94	1.56	0.105	0.105	100.00
Turbina 007	1.70	1.30	18.67	1.59	0.113	0.113	100.00
Sector 12 total	-	-	-	-	1.893	1.893	100.00

Tabla 4.15 Sector 12 Fuente: WAsP Map

El sector 12 se encuentra posicionado a 330° NOpN (Noroeste por el Norte) con velocidades bajas, despreciando la instalación de los aerogeneradores.

4.8.4.13 Todos los sectores

Turbina	Ubicación [m]	AEP bruto [MWh]	AEP neto [MWh]	Eficacia [%]
Turbina 001	(513086.2,2140987.0)	3.722	3.721	100.00
Turbina 002	(513133.4,2141002.0)	3.453	3.453	99.99
Turbina 003	(513180.4,2141018.0)	2.983	2.982	99.98
Turbina 004	(513236.1,2141031.0)	2.609	2.608	99.96
Turbina 005	(513299.1,2141043.0)	2.122	2.121	99.93
Turbina 006	(513347.4,2141044.0)	1.761	1.759	99.9
Turbina 007	(513393.0,2141060.0)	1.859	1.858	99.95
Eólico	-	18.509	18.503	99.97

Tabla 4.16 Todos los sectores Fuente: WAsP Map

Como se puede observar la obtención de energía se encuentra en la turbina 1, es decir que su posición es la más óptima con respecto a todas las posiciones que se sometió la turbina.

4.8.5 Parámetros del proyecto

El parque eólico es la simulación de un parque multimodal ubicado en la zona 14Q de la región de Ixtapaluca, tomado en cuenta que todos los parámetros del proyecto son valores predeterminados realizados en WAsP Map Editor 12.

5 APLICACIÓN DE HOMER

5.1 DEFINICIÓN DE HOMER 2.68 BETA

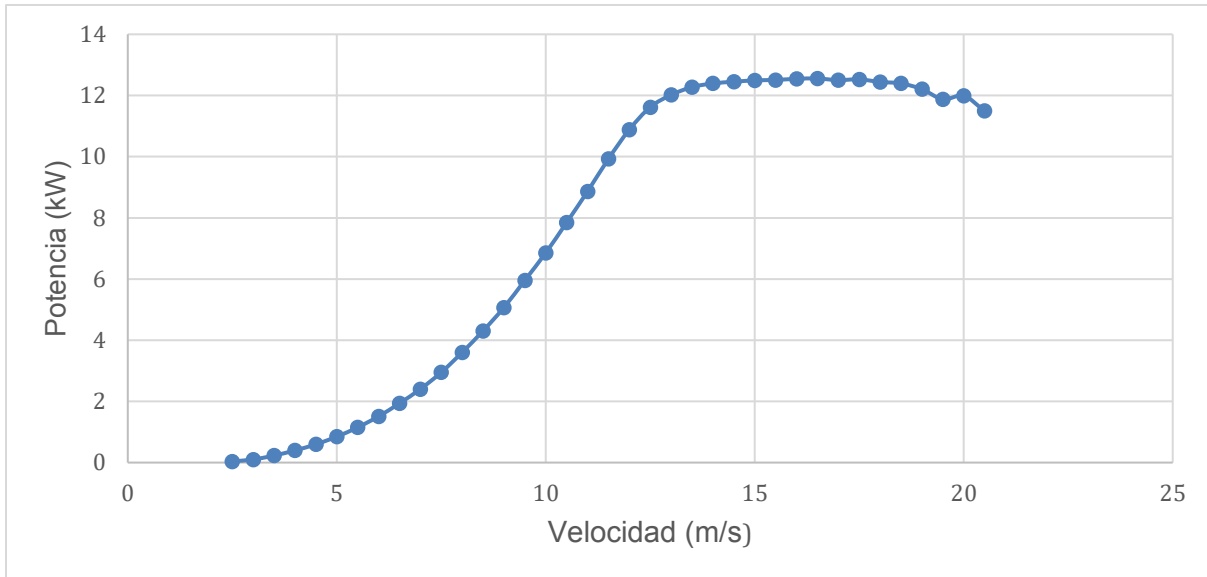
Es un programa informático que permite la simulación por medio de cálculos de balances de energía para cada una de las 8,760 horas de un año. En donde se compara la carga eléctrica y térmica con la energía que el sistema puede entregar en una hora, el funcionamiento los generadores y carga o descarga de las baterías estimando el costo del ciclo de vida del sistema, contabilizando el costo de inversión, costo de remplazo, costos de operación, mantenimiento, combustible e intereses. Además de que se pueden observar los flujos de energía horaria para cada componente, así como los costos anuales y resumen del comportamiento” (Paredes, 2004).

En HOMER 2.68 BETA se puede analizar el sistema más viable y con menor costo, para ello es necesario los datos del sitio estudiado para obtener un análisis completo del sistema, a continuación, se en listaran los datos requeridos.

- Curva de potencia del aerogenerador
- Costos de la turbina y datos de la turbina
- Tarifa eléctrica
- Velocidad a 50 m
- Altitud
- Precios marginales

5.2 CURVA DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR

Para la elaboración del análisis de viabilidad se seleccionó un AG proveniente de Estados Unidos, por lo que su curva de potencia se muestra en la siguiente Gráfica 5.1 y en el anexo 10.2 muestra las velocidades, la potencia y el coeficiente de potencia.



Gráfica 5.1 Curva de potencia del aerogenerador seleccionado

Se puede observar que se llega a una estabilidad a los 12 kW, con una velocidad de 13 m/s, asimismo de examinar que el funcionamiento inicia a partir de una velocidad mínima de 2.5 m/s. Estos datos son integrados a HOMER 2.68 BETA, junto con el diámetro del rotor y el tamaño de la turbina.

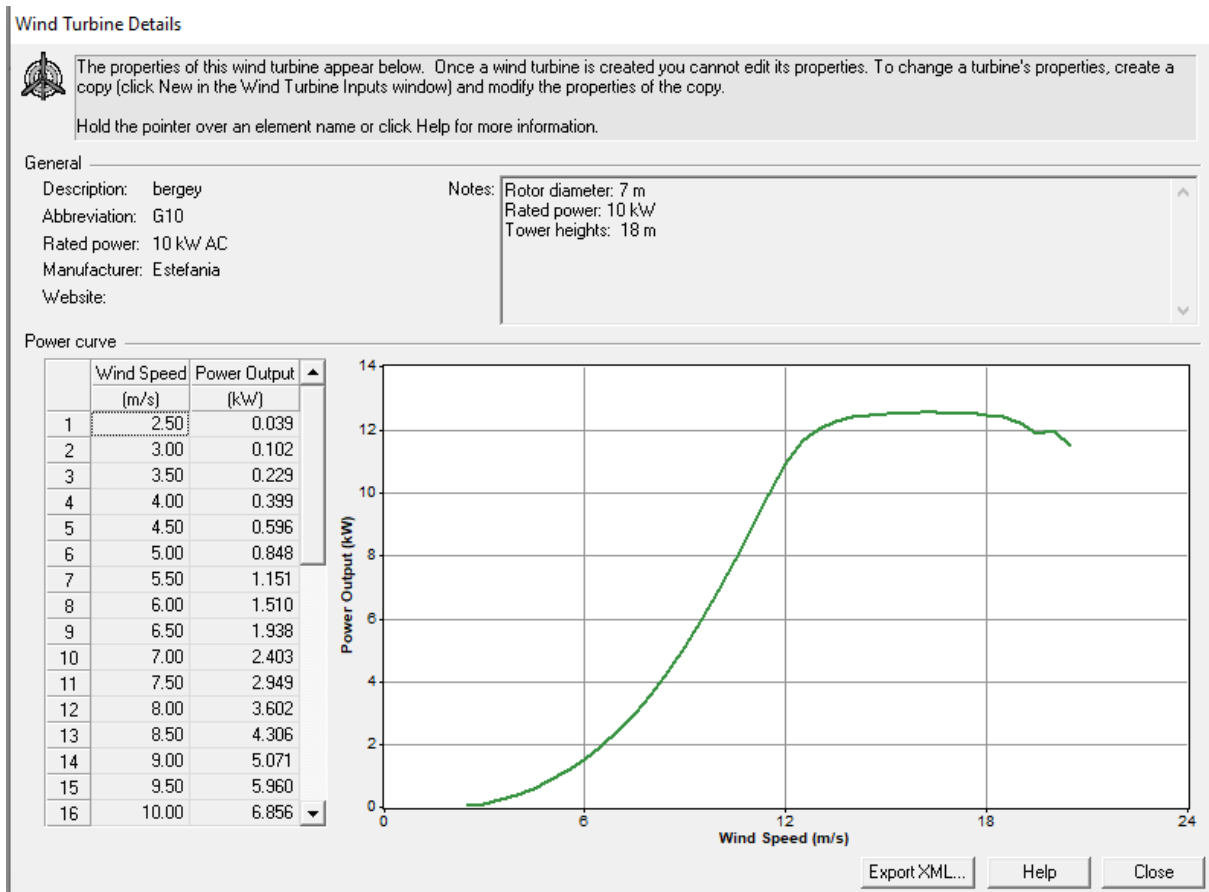


Figura 5.1 Pantalla de los detalles de la turbina eólica Fuente: HOMER

En la Figura 5.1 se muestran los datos ingresados a la aplicación, los cuales son las velocidades del viento y la salida de potencia en kW, en este punto se agregan al catálogo de turbinas en HOMER 2.68 BETA, ya que las turbinas que trae por defecto no son las óptimas.

5.3 COSTOS DE LA TURBINA Y DATOS DE LA TURBINA

Se cotizo un AG con una potencia nominal de 10 kW, esto permitirá tener una noción del precio que se le adjunta al aerogenerador, ya que se realizó una comparativa de diversos AG con la misma potencia, por lo que resulto seleccionado el proveniente de EU, porque tiene una mayor accesibilidad en cuestión de precio, garantía, cuenta con daos necesarios para el análisis, etc.

En la Figura 5.2 en listan los componentes para su ensamblaje y algunos datos generales que permiten visualizar al AG, favoreciendo la toma de decisiones.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Impuestos	Precio
Sistema eólico de 10kW para conexión a la red, incluye:	1.000	1,000,000.00	ITAX_160-	\$ 1,000,000.00
- 1 aerogenerador de 10kW de 3 aspas, país de origen China, voltaje de salida nominal de 220V, velocidad nominal de 8m/s, velocidad de arranque de 3m/s, diámetro del rotor de 5.4m, generador trifásico síncrono de imanes permanentes.				IN
- 1 Inversor eólico de 10kW para conexión a la red.				
- 1 Controlador eólico de red.				
- 1 Torre de 12m acero de tubo de 12" de diámetro.				
- 1 sistema de izaje manual.				
- 1 kit de protecciones eléctricas.				
Instalación y viáticos incluidos.				

Figura 5.2 Componentes del AG Fuente: proveedor del AG

En HOMER 2.68 BETA solicita el precio total, por lo que serán \$1,000,000 MXN, sin embargo, se tiene que convertir a dólares para que el programa lo acepte, para ello se ingresó a la página del Banco Nacional, encontrando que el dólar tiene un valor de \$20.93MXN consultado el lunes 14 de marzo del 2022, por lo que se realiza la conversión dando como resultado (Tabla 5.1):

Pesos mexicanos (MXN)	Dólares (\$)
20.93	1
1,000,000	47,770.3086

Tabla 5.1 Conversión de pesos mexicanos a dólares

Por lo tanto se introduce la siguiente cantidad 47,770.3086 USD en el apartado de capital (\$) que indica en HOMER 2.68 BETA, posteriormente se obtiene el 80% de la cantidad anterior, para obtener un resultado de 38,216.072 USD que será integrado en el apartado Remplacement (\$) esto representa los costos de stock (costos para remplazos), para finalizar en este punto es necesario colocar un 2% del mantenimiento dando la cantidad de 955.40 USD, en la siguiente Figura se puede observar cómo están colocadas las cifras anteriores.

Costs				Sizes to consider	
Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)	Quantity	
1	47770	38216	955	0	
				1	
				2	
				3	
				4	
				5	
				6	

{3}	{2}	{3}
-----	-----	-----

Other	
Lifetime (yrs)	20 {3}
Hub height (m)	18 {..}

Figura 5.3 Apartado de costos del AG Fuente: HOMER

En la Figura 5.3 se pueden ver los apartados de costos, adicionalmente la cantidad de AG colocados en la parte derecha de la Figura, además se agrega los años de vida los cuales se propuso de 20 y 25 años esto se obtiene de las fichas técnicas y colocando una altura de 18 m, estos datos sirven para el análisis de costos.

5.4 TARIFA ELÉCTRICA

La tarifa eléctrica es el precio que se paga por la electricidad que consumimos, existen diversas tarifas, todas ellas se pueden encontrar en la página oficial de la CFE, para este caso se utilizó la tarifa GDMTH, esta tarifa se aplica a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda igual o mayor a 100 kilowatts.

En la página agregamos el año de estudio, el cual es el año 2021 en el mes de julio y en la región se agregó estado de México, Ixtapaluca, valle de México, adquiriendo la siguiente tabla del centro oriente que es donde se sitúa la región a estudiar.

Centro Oriente

Tarifa	Descripción	Int. Horario	Cargo	Unidades	JUL-21
GDMTH	Gran demanda en media tensión horaria	-	Fijo	\$/mes	470.12
		Base	Variable (Energía)	\$/kWh	0.9446
		Intermedia	Variable (Energía)	\$/kWh	1.6760
		Punta	Variable (Energía)	\$/kWh	1.8896
		-	Distribución	\$/kW	153.53
		-	Capacidad	\$/kW	343.35

Figura 5.4 Tarifa del Centro Oriente Fuente: CFE.

Como se observa en la Figura 5.4 las cantidades obtenidas en el horario base, intermedia y punta se encuentra en pesos mexicanos, por ello se realiza la conversión a dólares, quedando de la siguiente manera.

- \$0.9446MXN= **0.045 USD**
- \$1.676MXN= **0.08 USD**
- \$1.8896MXN= **0.090 USD**

Después de obtener las conversiones nos dirigimos al apartado de Grid inputs, que se encuentra en la parte superior izquierda de la aplicación, como se muestra a continuación en la Figura 5.5.

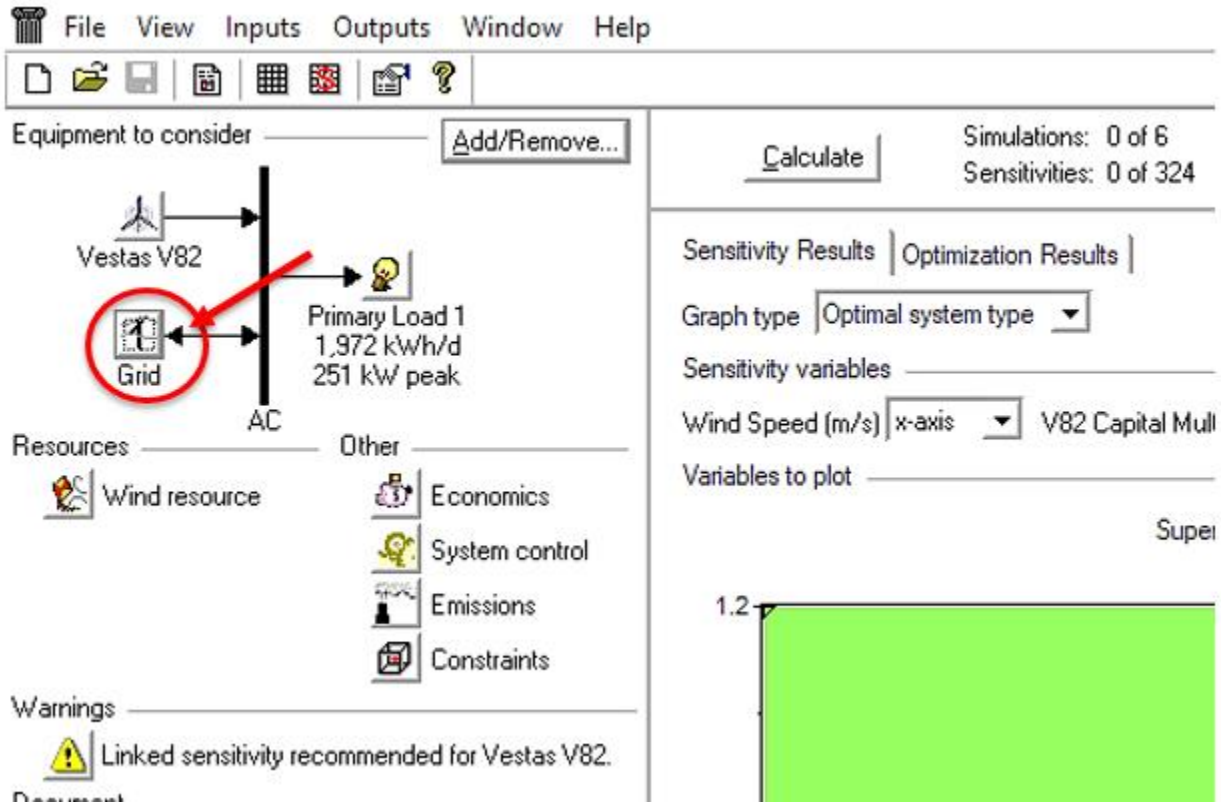


Figura 5.5 pantalla principal de HOMER Fuente: HOMER

Después se coloca las cifras de la tarifa en el apartado de Rate Schedule, quedando de la siguiente manera (Figura 5.6):

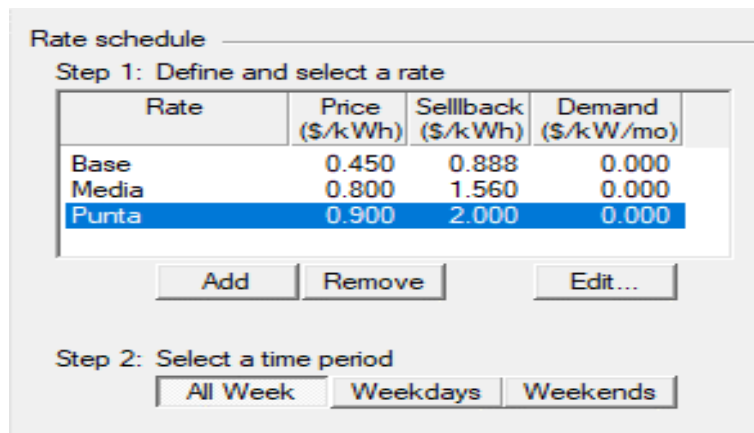


Figura 5.6 Apartado Rate Schedule Fuente: HOMER

Posteriormente introducir los horarios y los precios en dólares, se selecciona los horarios de lunes a viernes y los de fin de semana obtenidos de la página de CFE, mostrados a continuación:

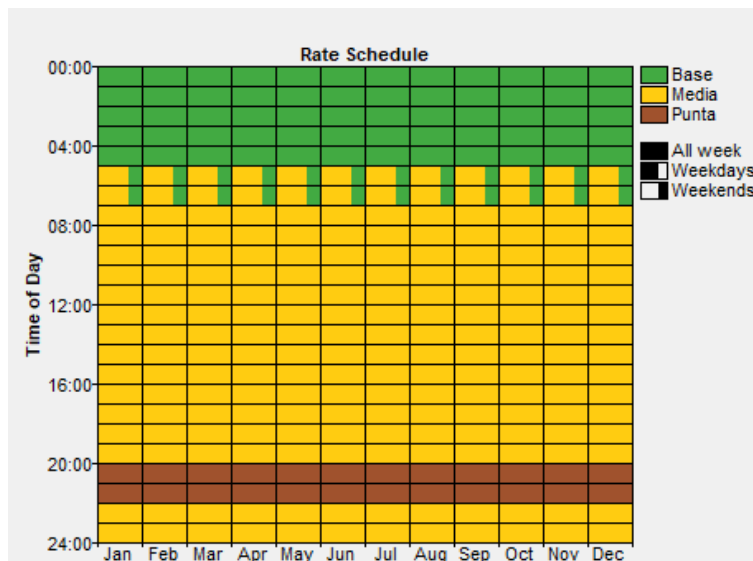
Regiones Central, Noreste, Noroeste, Norte, Peninsular y Sur

Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 20:00 22:00 - 24:00	20:00 - 22:00
sábado	0:00 - 7:00	7:00 - 24:00	
domingo y festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

Figura 5.7 Horarios con respecto a la tarifa Fuente: CFE

Se selecciona el horario y la región correspondiente al lugar de estudio, además del mes en el que se obtuvieron los datos de la tarifa, como se muestra en la Figura 5.7.



Gráfica 5.2 Horarios de tarifa en forma de gráfica Fuente: HOMER

Como se observa el horario de la base es represado con el color verde que va de 00.00 a 6.00h; el horario intermedio es representado con el color amarillo mostaza que va de un intervalo de 6:00h-20:00h y de 22:00h-24:00h; y el horario punta se representa con

color café que va de un horario de 20:00h-22:00h. Con ello se puede visualizar la frecuencia del uso de la energía, por ejemplo, en la representación verde se nota que la frecuencia de la energía es menor por lo que el precio de la energía es relativamente bajo, en la representación amarilla la frecuencia aumenta notablemente pero el precio es un poco más elevado y en la representación marrón (Grafica 5.2) se determina que la demanda de la energía aumenta por lo tanto el precio es más caro, estos datos pueden variar, no son absolutos ya que dependerá de los siguientes factores: horarios, semana, si es entre semana, fin de semana, día festivos y de la región.

5.5 VELOCIDAD A 50 m

En la página de predicción de la NASA sobre los recursos energéticos mundiales.

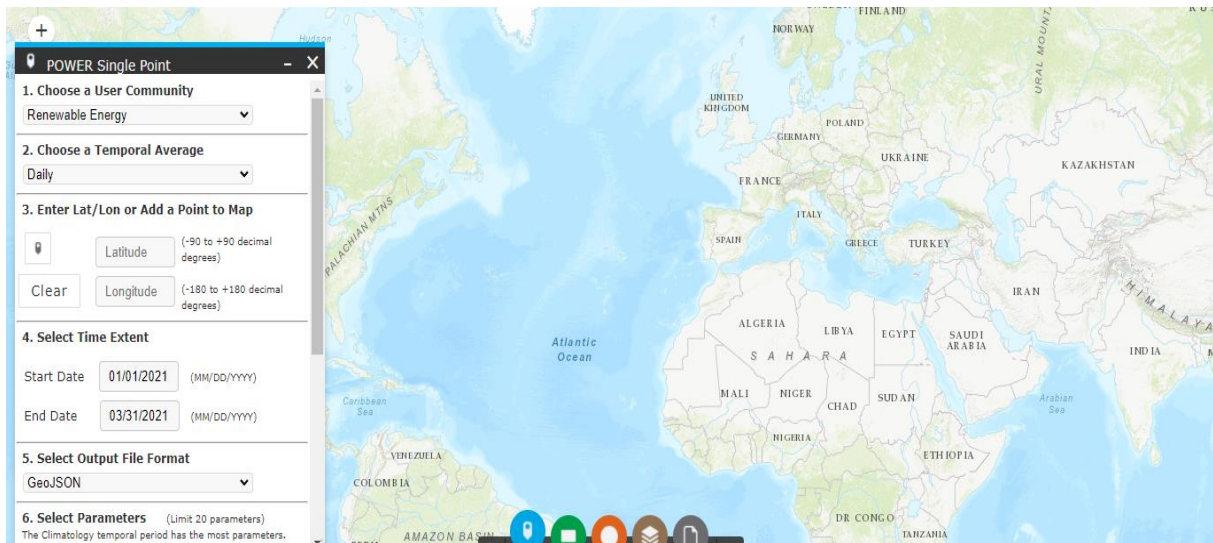


Figura 5.8 Pantalla principal de la página NASA POWER Fuente: NASA POWER

En la página de la NASA se obtuvieron los datos del viento del año 2020 (Figura 5.8), obteniendo un archivo en formato .txt, donde se utiliza las velocidades de las 24 horas de los 365 días del año con la altura de 50 m, con estos datos son ingresados a la aplicación de HOMER en el apartado de recursos, seleccionando el recurso eólico, abrirá una pestaña como se ve a continuación Figura 5.9.

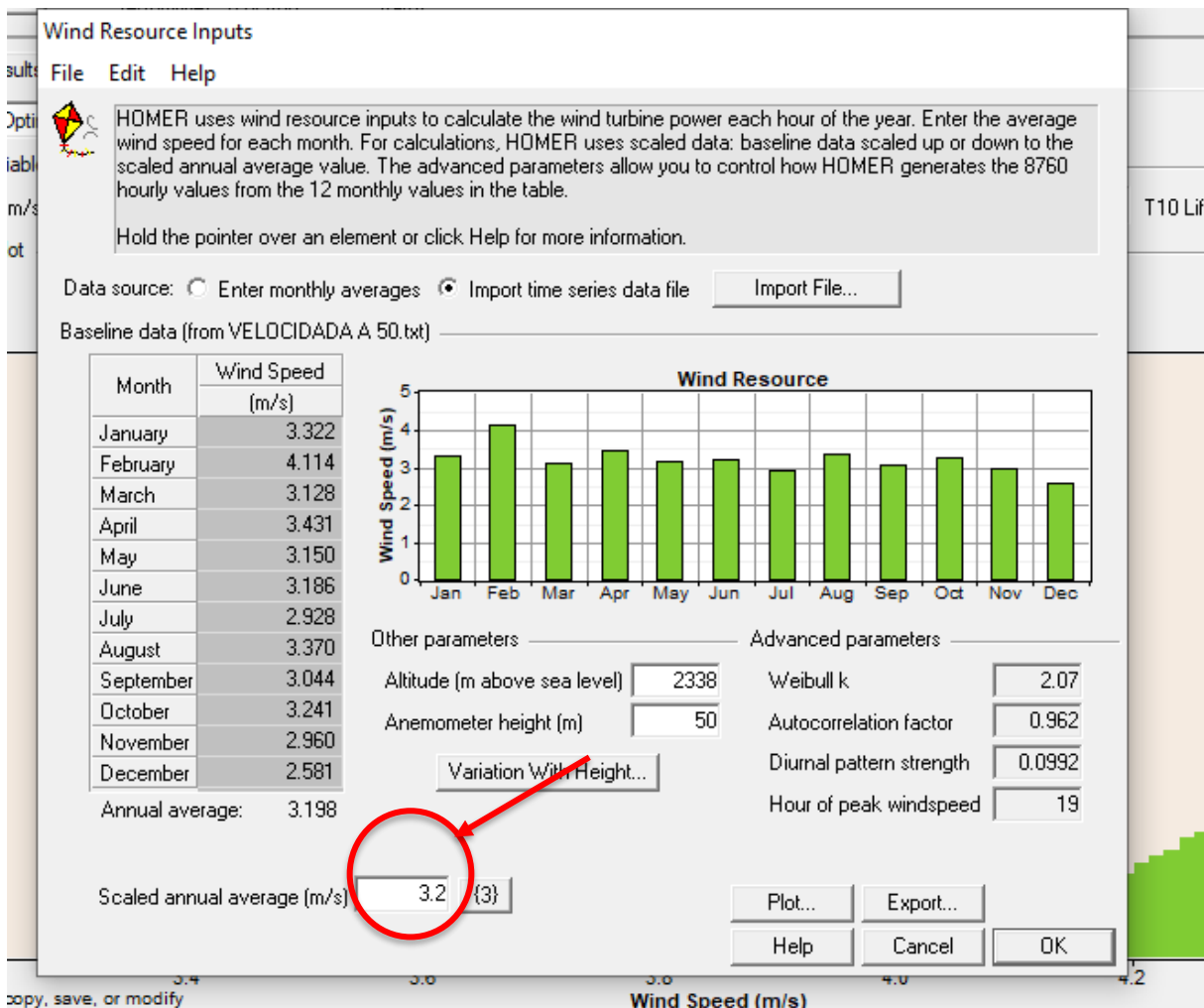
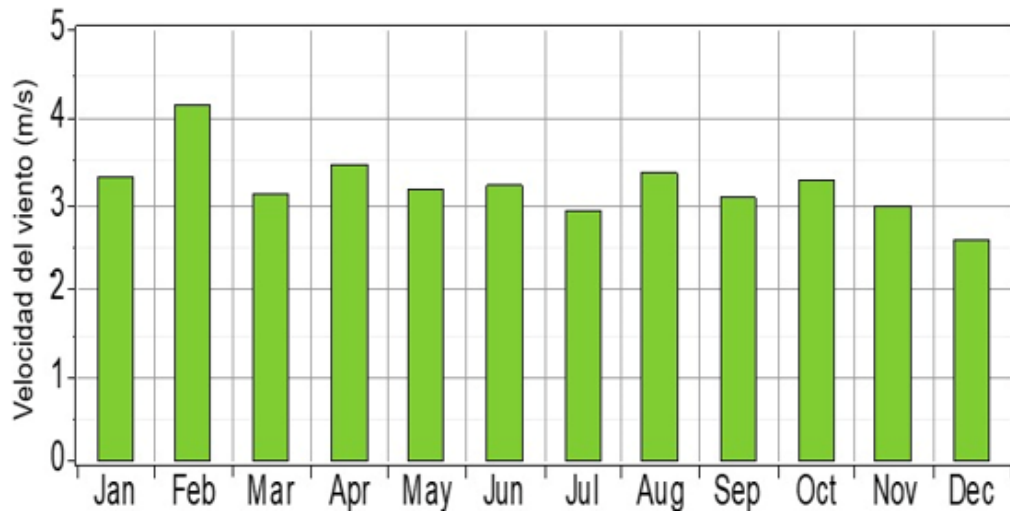


Figura 5.9 Entrada de recurso eólicos Fuente: HOMER

A continuación, se selecciona la opción import time series data file, se agrega los datos obtenidos anteriormente y de forma automática la aplicación de HOMER nos proporciona un promedio de las velocidades en nuestra región, como se muestra en la Figura 5.9, notando que se tiene un promedio de 3.2 m/s en todo el año y una velocidad máxima de 4 m/s del sitio en el mes de febrero como se muestra en la Gráfica 5.3.



Gráfica 5.3 Recurso eólico de cada mes Fuente: HOMER

5.6 ALTITUD

La locación georreferenciada en Google Earth proporciona una altitud de 2338 m.



Figura 5.10 Altitud de la locación georreferenciada Fuente Google Earth

Dicha altitud se agrega en el programa HOMER en el apartado del recuso del viento, en la parte inferior de la pestaña como se muestra en la Figura 5.10. Este dato permite ver los metros sobre el nivel del mar que se encuentran posicionados los aerogeneradores.

Other parameters

Altitude (m above sea level)

Anemometer height (m)

Figura 5.11 recurso eólico (otros parámetros) Fuente: HOMER

En la Figura 5.11 se muestra los parámetros de la altitud de 2,338 msnm y a una altura de 50 m.

5.7 PRECIOS MARGINALES

Estos datos dependen de la región, por lo que, para Ixtapaluca, Estado de México cuenta con la clave 01IXL-230, con esta clave se encuentra la tensión en la región del emplazamiento, para ingresar posteriormente a la página de CENACE en el apartado de precios de energía y servicios conexos como se muestra en la siguiente Figura 5.12 en donde se visualizarán los Precios Marginales Locales (MTR).

Precios de Energía y Servicios Conexos MDA

Reporte:

Periodicidad:

Sistema:

Día de Operación:

Precios Marginales Locales MDA

Día de Operación	Sistema	Reporte	Csv	Pdf	Html	Última Actualización
05/04/2022	SIN	PreciosMargLocales SIN MDA Dia 2022-04-05				04/04/2022 04:27:14 p. m.

Figura 5.12 Precios de Energía y Servicios Conexos MDA Fuente: CENACE

Después de descargar el documento obtenido por la página (anexo 10.3), se realiza un promedio de los precios, tomando solo 5 días de referencia (5,10,15,20,25) por cada mes del año 2021, se obtiene así una media por hora y de esta manera poder integrarlos de manera manual al programa en el apartado Primary Load inputs como se muestra en la Figura 5.13.

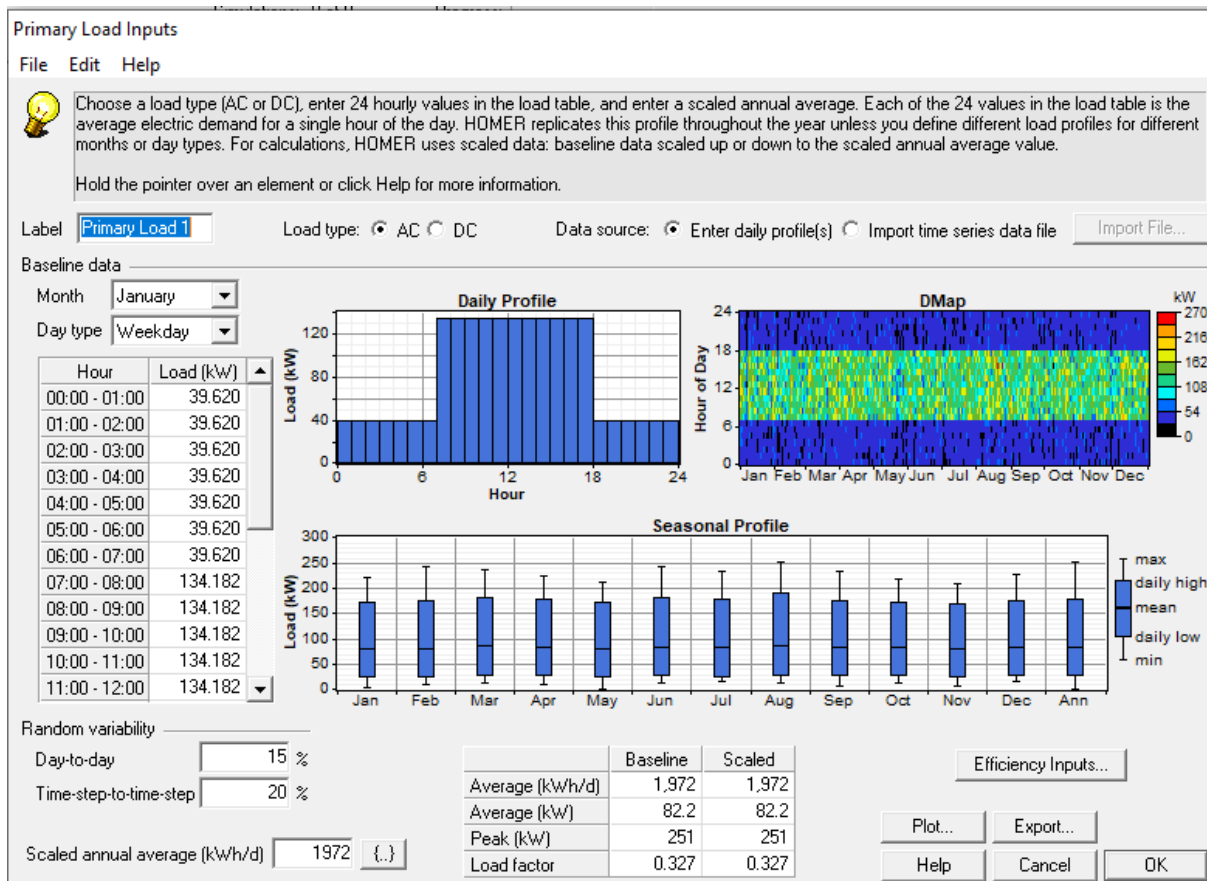
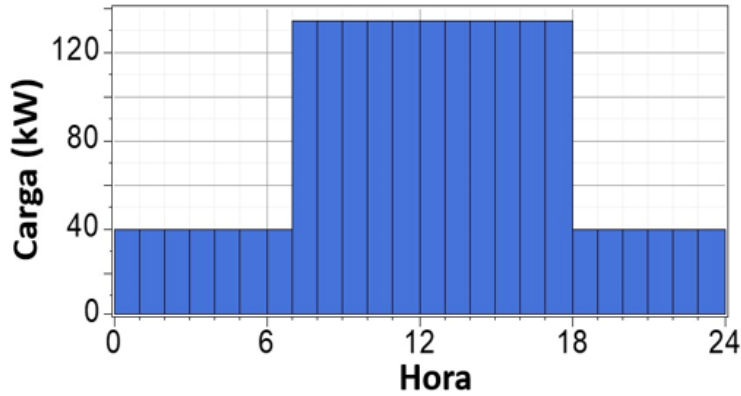


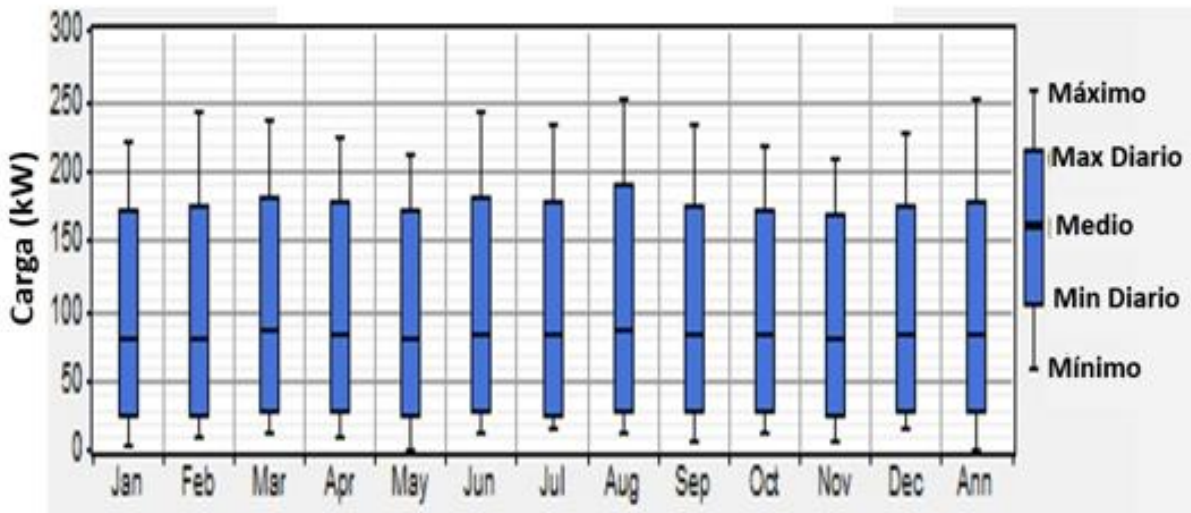
Figura 5.13 Entradas de carga primaria Fuente: HOMER

La media de los horarios y la carga se introducen en la parte izquierda, conforme se van integrando los datos se van obteniendo las gráficas del perfil diario(carga-hora), perfil estacional(carga-mes) y el DMap (hora por día-mes) de manera automática.



Gráfica 5.4 Perfil diario Fuente: HOMER

En el perfil diario se puede observar las 24 horas del día con respecto a la carga, donde se encuentra que la carga máxima se localiza en un intervalo de 8:00-17:00h, superando los 120kW, pero aun así es una carga baja Grafica 5.4.



Gráfica 5.5 Perfil Estacional Fuente: HOMER

Mientras que el perfil estacional (Grafica 5.5) se visualiza que la carga máxima diaria alta se presenta en el mes de agosto y la mínima diaria baja se presenta en el mes de mayo; y en el DMap se puede visualizar que en las 24 horas de todos los meses la carga predominante es 54kW.

Posteriormente se obtiene un promedio del año 2010 al 2020, sumando todos los porcentajes de la tasa de intereses, y dividiéndolo entre la cantidad de años, obteniendo así un promedio del 5.05% de tasa de intereses.

Tal resultado se integrará en el apartado de “economics” Figura 5.14.

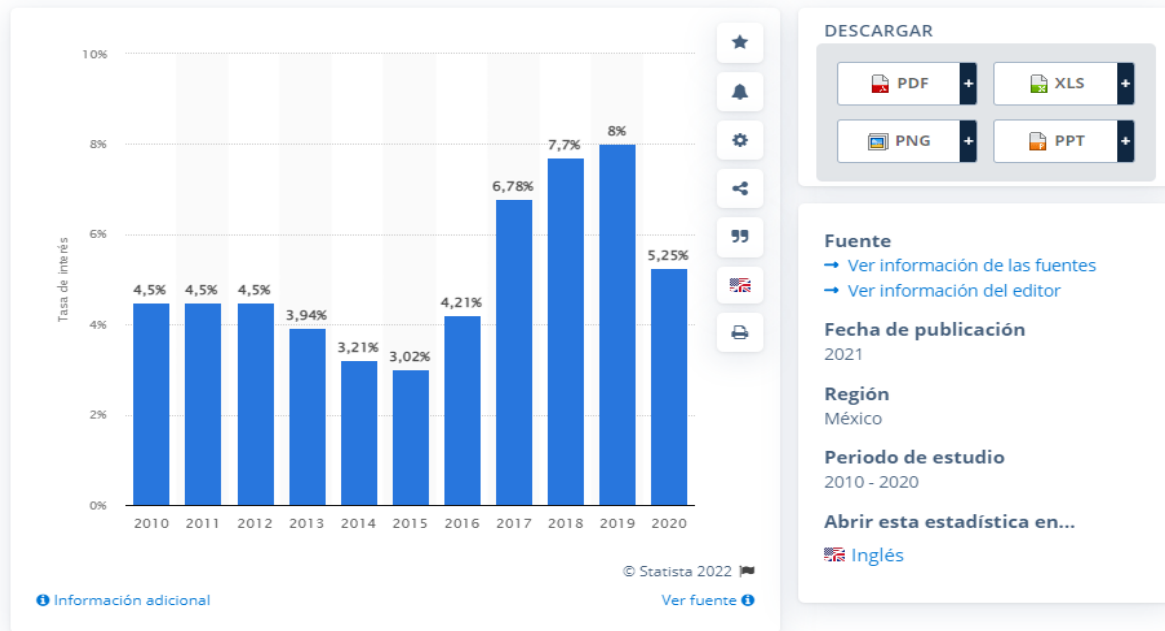


Figura 5.14 Tasa de política monetaria en México de 2010-2020 Fuente: Departament, 2010-2020

En HOMER 2.68 Beta se agrega el promedio de 5.05 de la tasa de interés en el apartado de “economics” (Figura 5.15).

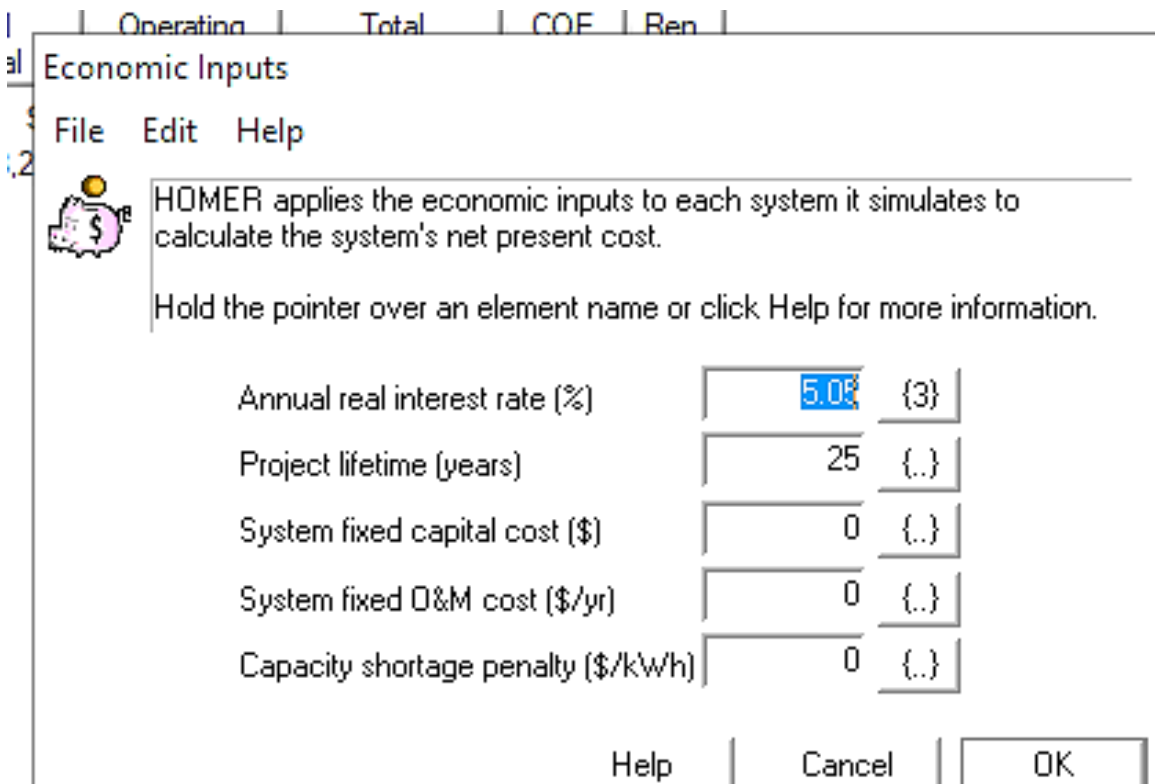


Figura 5.15 Insumos económicos Fuente. HOMER

5.8 RESULTADOS

Agregando todos los datos solicitados se obtuvo la siguiente Figura 5.16:

Double click on a system below for simulation results.

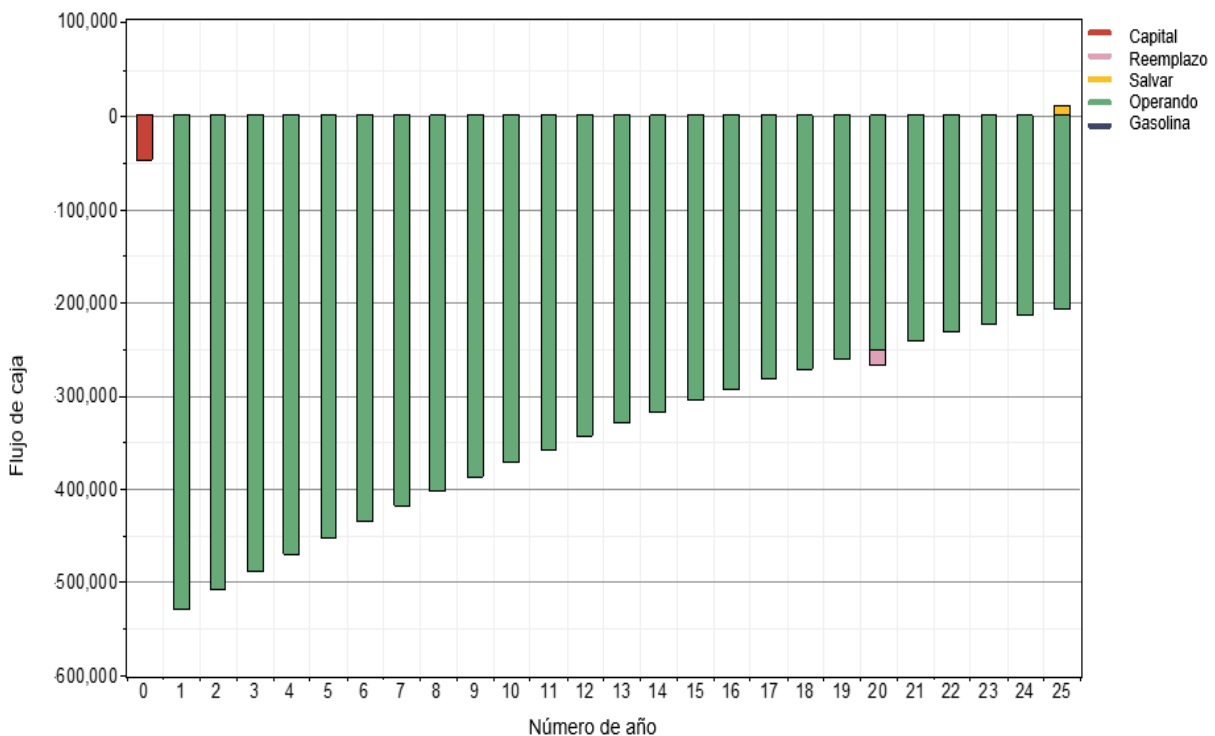
	T10	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
		1000	\$ 0	550,693	\$ 7,039,705	0.765	0.00
	1	1000	\$ 38,216	549,768	\$ 7,066,102	0.768	0.00

Figura 5.16 Simulación de los resultados Fuente: HOMER

Se puede visualizar dos filas, en la primera se menciona que es mejor no instalar ningún AG ya que no es viable económicamente y en la segunda el número uno significa que instalar un AG resultaría poco factible, ya que simboliza pérdidas.

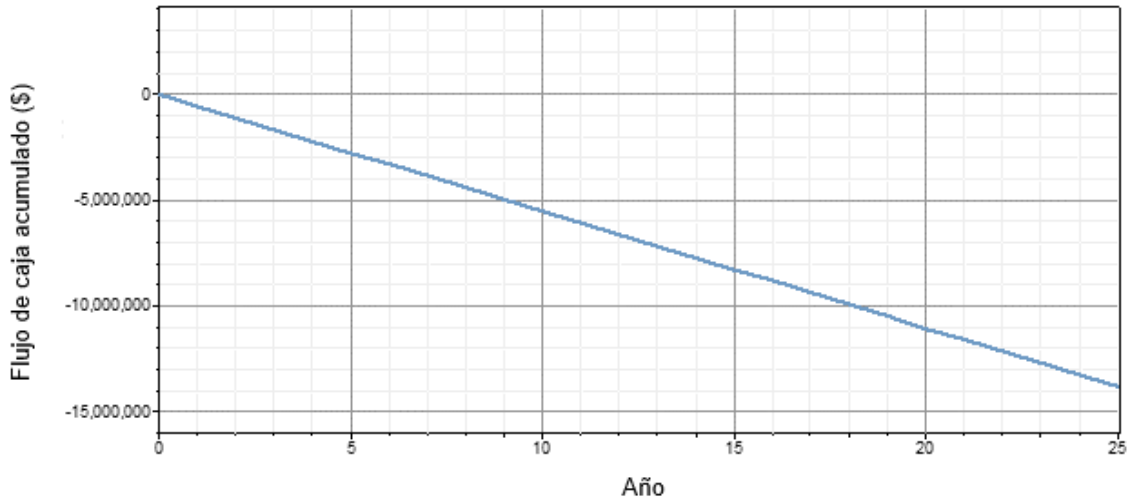
5.8.1 Diagramas de costos

En la Grafica 5.6 se muestra que no se ingresa flujo de efectivo acumulado, por lo que no se va a generar el periodo de retorno, al contrario, los ingresos van a ir en decremento, esto debido a que el sistema para cumplir con el objetivo de demanda necesita obtener energía de la red eléctrica, lo que se traduce en pagos por consumo de energía para satisfacer la carga. Para este escenario en particular el sistema no sería viable económicamente.



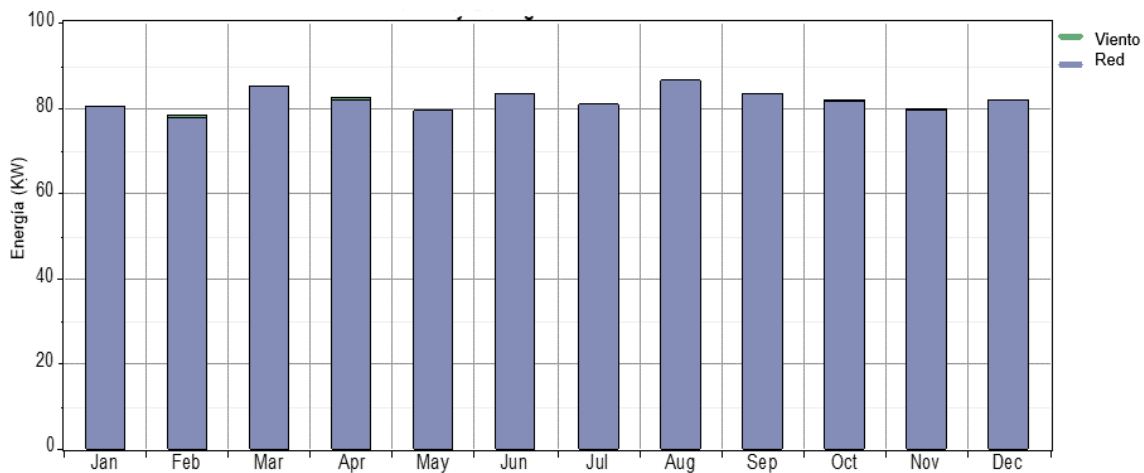
Gráfica 5.6 Flujo de caja Fuente: HOMER

En la Grafica 5.7 se muestra el flujo de caja acumulado, donde la línea muestra que habría pérdidas durante la vida útil del aerogenerador, sin recuperación del capital.



Gráfica 5.7 Sistema actual en comparación con el caso base-nominal Fuente: HOMER

5.8.2 Resultado eléctrico



Gráfica 5.8 Promedio mensual de la producción eléctrica Fuente: HOMER

La Gráfica 5.8 muestra el flujo de efectivo resultante de la simulación con HOMER 2.68 BETA que tendrá el proyecto durante su periodo de vida. Se observa que no existen ingresos en el sistema, es decir el sistema no produce energía excedente suficiente para inyectarla a la red y generar ingresos por venta de energía.

Quantity	kWh/yr	%
Excess electricity	0.0000868	0.00
Unmet electric load	0.00	0.00
Capacity shortage	0.00	0.00

Quantity	Value
Renewable fraction	0.00236

Figura 5.17 Fracción renovables Fuente: HOMER

En la Figura 5.17 se muestra la fracción renovable con un resultado de 0.00236, esto quiere decir que la energía que se produce es mínima lo que significa que la mayor aportación de energía viene de la red eléctrica. Por consiguiente, para que un sistema sea óptimo, la fracción renovable debe de llegar a una evaluación de 0.9 con la finalidad de contribuir energía a la red eléctrica (CFE).

5.8.3 Emisión

Contaminante	Emisiones (kg/año)
Dióxido de carbono	453,827
Monóxido de carbono	0
Hidrocarburos no quemados	0
Partículas	0
Dióxido de azufre	1,968
Óxidos de nitrógeno	962

Tabla 5.2 Emisiones de contaminantes Fuente: HOMER

Los resultados de la Tabla 5.2 de emisiones nos da valores positivos, lo que representa una aportación de dióxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno al medio ambiente, si los valores resultaran negativos, reduciría las emisiones de estas. Por lo tanto, es significativo señalar que el proyecto contaminaría perturbando al medio ambiente.

6 CORRIDA FINANCIERA

6.1 ESTUDIO DE VIABILIDAD

6.1.1 Medición del recurso eólico en sitio

La medición del viento es fundamental para obtener una base sobre la que se realizan los estudios de viabilidad del proyecto, para ello es necesario establecer una estación meteorológica, para tener los parámetros básicos como la velocidad y dirección del viento.

Los instrumentos que se utilizan para las estaciones meteorológicas más usuales son:

- Barómetro: Calcula la presión atmosférica o el peso del aire.
- Sensor de Temperatura: Se usa para medir la temperatura ambiente, mínimas y máximas.
- Sensor de Humedad relativa: Registra la humedad relativa a lo largo del día.
- Pluviómetro: Mide la altura de las precipitaciones pluviales o lluvia y su unidad de medida es el milímetro.
- Evaporímetro: Se utiliza para medir la cantidad de agua evaporada hacia la atmósfera dentro de un lapso.
- Sensor de viento: Con este se conoce la velocidad y dirección del viento.
- Anemómetro: Velocidad del viento.

Los anemómetros son parte principal de la estación meteorológica, “En cada estación anemométrica regularmente se colocan por lo menos 2 anemómetros para validar los datos y para obtener el perfil del viento, que determinan los valores de rugosidad del terreno” (Herrera, 2014).

La altura recomendable para los AG es a 18m, partiendo del centro del buje, para la medición del recurso eólico en el sitio, siendo así necesario la instalación de dos torres con una veleta y dos anemómetros con un dispositivo que guarde los datos.

6.1.2 Estudio de capacidad de carga del terreno

La capacidad de carga se define como el esfuerzo que se aplica a un suelo, mediante una cimentación, para producir una falla en el subsuelo por resistencia al esfuerzo cortante.

Nombre: Polígono sin título				
Descripción	Estilo, color	Ver	Altitud	Medidas
Perímetro:			885	Metros
Área:			26,375	Metros cuadrados

Figura 6.1 Propiedades del sitio de estudio Fuente: Google Earth

Se considera un área de 26,375 m² (Figura 6.1), de acuerdo con los datos obtenidos se estima una relación que a cada 500 m² equivale alrededor de los 15,000 pesos, por lo que da un total de 791,250 MXN por el total de m² mencionados anteriormente.

6.1.3 Topografía del sitio

Para llevar a cabo la topografía del sitio es preciso consultar la opinión de un experto, en cuestión se valorizó los servicios de topografía del arquitecto Víctor Manuel Sandoval, donde se realiza el plano topográfico de planimetría (la forma, medidas y área del terreno) para conocer los desniveles existentes (curvas de nivel), además un corte del terreno y el levantamiento de la parte de calle que colinda con el terreno, todo en un sistema de coordenadas arbitrario en X, Y, Z.

Para complementar la información se requiere la compra de dos programas, Global Mapper y WASP Map para obtener la rugosidad y topografía del sitio como ya se describió en el capítulo 4.

6.2 ELABORACIÓN DEL PROYECTO

6.2.1 Dimensionamiento de la turbina eólica

Está basado con relación al recurso eólico que se necesita, además de saber el promedio de la velocidad del viento y el diámetro del rotor para obtener el potencial eólico, adquiriendo así el dimensionamiento de la cantidad de energía que se requiere o lo que produzca.

La memoria de cálculo refleja de manera exhaustiva los procedimientos aplicados, en la cual se describen los cálculos y las operaciones que se llevaron a cabo para determinar las secciones de los elementos, en este caso, para el cálculo que determine la turbina adecuada, las velocidades, así como el dimensionamiento de los cimientos, etc.

6.2.2 Planos constructivos

El plano descriptivo es la representación gráfica de la futura obra, estos se adquieren del distribuidor, conjuntamente se requiere la participación de un ingeniero para la división de del terreno y la ubicación donde se instalarán los aerogeneradores.

Con la ayuda de software WASP Map establecemos la ubicación adecuada para los cimientos, esto con el fin de optimizar los resultados del AG, además de cumplir con la distancia de 5 veces el diámetro del rotor.

6.2.3 Fichas técnicas

Documento donde se detallan las características y funciones de un determinado objeto, producto o proceso. Son proporcionadas por los proveedores de los aerogeneradores y se entregan cuando se realiza la compra o a la hora de entrega (Ejemplos, 2021).

6.2.4 Manifestación de impacto ambiental

“Es un instrumento de la política ambiental que tiene el objetivo de prevenir, mitigar y restaurar los daños al ambiente, así como la regulación de obras o actividades para evitar o reducir sus efectos negativos en el ambiente y en la salud humana”. (Ambiente, 2019).

La Evaluación de Impacto Ambiental es un método efectivo para evitar las afectaciones al medio ambiente y conservar los recursos naturales en la realización de proyectos en

la construcción, para ello es necesario la colaboración de un especialista, por lo general sus honorarios son por m².

6.2.5 Firmas de peritaje

El peritaje es el resultado metódico y analítico que nos conduce a la elaboración de un informe que desarrolla el perito, en el cual emite su dictamen y los juicios técnicos sobre la materia en la que se ha pedido su intervención; por lo que la firma de peritaje significa la aprobación de alguna construcción o estructura.

El costo de este requerimiento depende de los metros cuadrados, conforme a la estimación de los metros cuadrados del sitio se considera un total de 10,000 pesos mexicanos

6.2.6 Evaluación costo-beneficio

La evaluación costo-beneficio es el proceso de cuantificación y valoración de los costos y beneficios del proyecto durante las etapas de inversión y operación.

Estos costos y beneficios se comparan para así determinar la conveniencia de realizar o no el proyecto. Para ello se contrata a un evaluador que realice la valoración con respecto a los 7 AG, además de indicar los impactos en el ambiente, la viabilidad y los beneficios del proyecto

6.3 ADQUISICIÓN Y PERMISOS

6.3.1 Adquisición de los aerogeneradores

Se contacta con una empresa distribuidora de AG, que suministra el aerogenerador y el Kit básico, el cual consiste en un inversor, torre y protecciones eléctricas para su instalación.

6.3.2 Pagos IMMSS

“El servicio sirve para que los patrones y demás sujetos obligados que se dediquen en forma permanente o esporádica a la actividad de la construcción puedan registrar las obras, sus fases e incidencias, a fin de cumplir con las disposiciones establecidas en los artículos 5, fracción III, 9, y 12 del Reglamento del Seguro Social Obligatorio para los Trabajadores de la Construcción por Obra o Tiempo Determinado” (IMSS, 2017). Dicho pago dependerá del número de trabajadores, por lo general el servicio es de 15%.

6.3.3 Permisos SEMARNAT

Se precisa varios requisitos, como una identificación vigente, un poder notarial, pago por derechos, para poder obtener la licencia ambiental que proporciona la SEMARNAT (Figura 6.2). (en el Apéndice 1 se detalla con forme a la LEGEEPA)

Concepto	Monto
Actualización de la licencia de funcionamiento o de la licencia ambiental	\$1,587.00 mxn

Figura 6.2 Cotización de la licencia de funcionamiento o licencia ambiental Fuente: SEMARNAT

6.4 CONSTRUCCIÓN

6.4.1 Caminos de acceso

El camino de acceso consta de la nivelación del terreno con la finalidad de facilitar la llegada del equipo pesado a los sitios de ubicación especificados en el proyecto y deben mantenerse en buen estado durante el periodo de obra.

Se considera la cal como material, mano de obra que será la persona encargada de manejar la maquinaria.

6.4.2 Trazo y nivelación

El trazo y nivelación van desde la limpieza del terreno de maleza, basura, piedras sueltas, etc., y su retiro a sitios donde no se entorpezca la ejecución de los trabajos; Se tomó como referencia la opinión de un ingeniero que de acuerdo con los metros cuadrados se estima un precio de 85,000 pesos mexicanos.

6.4.3 Acarreos de tierra

El acarreo de tierra consiste en despejar el área de trabajo y trasladarlo a un lugar donde no pueda impedir el trabajo. Se estima por camión y dependerá de la cantidad de tierra que se tenga que trasladar, en este caso por 3 hectáreas se especula 100 camiones de tierra.

6.4.4 Obras inducidas

Las obras inducidas especiales se refieren a la instalación de servicios públicos y privados, cuya naturaleza no permite la intromisión de mano de obra ajena a la empresa y/o dependencia propietaria administradora del servicio, para realizar modificaciones y reubicaciones.

6.4.5 Cimentación de torre

“El objetivo de la cimentación es asegurar la estabilidad de la torre durante toda su vida útil, para lo cual es necesario transferir las cargas que recibe al terreno, considerando que la mayor parte de ellas provendrá del peso de la torre, la góndola y las palas” (INGETEK, 2021). Para la cimentación se ocupa varilla, cemento, grava, arena, agua, tierra y hormigón, se puede ver a mayor detalle en el apéndice 2.

En el área civil se estima por m³ con personal incluido. En equipos se solicita una excavadora para los m³, la maquinaria tiene un costo de 1,000 MXN por hora, para la cimentación de un solo AG se requieren 3 horas mínimo. Dando un total de 21,000 MXN para los 7 AG.

6.4.6 Montaje de AG

El montaje del AG ya está incluido en el presupuesto que viene adjunto, es considerado una carta parte del precio total de AG.

6.4.7 Pinturas

Para lo ornamental se contempla la pintura, el personal y el equipo adecuado para la asistencia de los 7 AG.

6.4.8 Cableado del AG a la subestación

Para poder transferir la energía es necesario el uso de conductores eléctricos, por lo que se considera el cable, personal capacitado, así como el equipo y herramienta requerida para efectuar la instalación.

6.4.9 Líneas eléctricas de conexión

De igual forma que el cableado del AG a la subestación es necesario considerar el material, mano de obra y equipos.

6.4.10 Pruebas del AG

Las pruebas sirven para analizar el funcionamiento correcto de los AG, para ello es necesario contratar al personal adecuado para realizar dicha actividad, dichas actividades pueden ser la verificación de curvas de potencia garantizadas con anemometría de góndola, análisis de las condiciones meteorológicas a lo largo de los períodos de medición, velocidad de rotación y ángulo de inclinación de una turbina eólica, etc.

6.4.11 Certificación de instalación

El Certificado de Instalación Eléctrica (CIE) es un “documento oficial que certifica que una instalación es correcta, su eficiencia y la potencia admisible” (energía, 2017). El certificado de instalación varía conforme al sitio donde se llevará a cabo, para esta situación el certificado energético para local comercial es el más apropiado.

6.4.12 Almacén de obra

El almacén de obra consta de un lugar seguro para resguardar el material, herramienta para el emplazamiento, por lo que es importante tener un manejo correcto al momento de ingresar los materiales, ya que debe estar en condiciones óptimas hasta el momento que sean utilizados.

6.4.13 Talleres

Son espacios delimitados para cumplir las diversas actividades que complementan al proyecto, son ocupados por eléctricos y soldadores.

6.4.14 Retretes

La renta de baños públicos se valoriza por dos meses, se menciona que mínimo debe existir un baño por cada 20 personas que se encuentren laborando en el lugar.

6.4.15 Oficinas

Las oficinas provisionales son espacios designados para los encargados y supervisores de la construcción, además de ser un centro de monitorio para la construcción. Estas construcciones deben asegurar condiciones de comodidad e higiene.

6.4.16 Firmes, banquetas, guarniciones y obras de acceso al AG

Dichos costos deben ser considerados, abarcando el material, la mano de obra y los equipos necesarios.

6.4.17 Retiro de escombros

Se contabiliza la maquinaria y el personal que lo realiza.

6.4.18 Desmantelamiento de talleres, oficinas, retretes

Establecer las medidas de rehabilitación y restauración futura para el abandono y desmantelamiento de las instalaciones temporales de la etapa de construcción y definir los lineamientos para el abandono y en caso de ser necesario el desmantelamiento de la instalación al final de la etapa operativa del proyecto.

6.4.19 Señalizaciones

La adquisición de letreros de señalización es de gran importancia ya que en el libro sexto del estado de México indica el uso de estas para la seguridad de personas y/o bienes.

6.4.20 Planos As BUILT

Son documentos técnicos que recoge los planos, cálculos y descripción de las actualizaciones realizadas para adoptar el proyecto de construcción inicial a la realidad de la obra que se ha construido. Cuando finalice la obra el constructor o instalador debe entregar la correspondiente documentación, teniendo en cuenta el detalle del resultado, los tiempos de ejecución, las instalaciones realizadas, los materiales empleados y sus referencias.

6.4.21 Construcción de oficinas de monitoreo

Es un conjunto de subsistemas responsables del control de parámetros en régimen de tiempo real, existe un complejo básico que incluye un registro digital "conjunto de módulos de interfaz completados en un cuerpo industrial compacto".

6.5 OPERACIÓN

6.5.1 Conexiones, voz, datos, datalogers, software

Los sistemas de monitoreo de red incluyen herramientas de software y hardware que pueden hacer un seguimiento de diversos aspectos de la red y su funcionamiento, además de proporcionar actualizaciones de estado y confiar en los sistemas de monitoreo para detectar rápidamente las fallas de dispositivos o conexiones los cuales limitan el flujo de datos, estos son proporcionados por el distribuidor de las turbinas eólicas.

6.5.2 Capacitación a personal de operación en sitio

Actos dirigidos al que el personal adquiera y desarrolle las competencias, es decir, los conocimientos, habilidades y actitudes con el objetivo de cubrir los requerimientos que le permita el desempeño efectivo de sus labores, las capacitaciones son proporcionadas por el distribuidor y entran en el presupuesto de las turbinas.

6.5.3 Laptops y computadoras

Son indispensables ya que procesa la información y ayuda a obtener resultados, capaz de ejecutar cálculos, por lo que se ocupara un procesador cori 7, onceava generación con tarjeta gráfica para los programas pesados que se necesiten para el monitoreo de los aerogeneradores.

6.5.4 Transporte

Se implementa un sistema de seguimiento y monitoreo necesario, es preciso llevar un control riguroso sobre todas las áreas del transporte en tiempo real. Esto garantiza el máximo rendimiento y la disminución de errores. Por ello el transporte debe de tener 6 cilindros de 8 velocidades, con una capacidad de carga de una tonelada.

6.5.5 Mantenimiento

Realizar un mantenimiento preventivo se puede definir como una revisión de los componentes de un AG para su correcto funcionamiento y evitar fallos previniendo así averías costosas, para ello se requiere una hoja de ruta que permita el monitoreo.

El mantenimiento predictivo es una técnica que utiliza equipos y técnicas de análisis de datos para detectar anomalías en el funcionamiento y posibles defectos en los equipos y

procesos, de modo que puedan solucionarse antes de que sobrevenga el fallo y optimizar costos, para ello es necesario un constante monitoreo.

El mantenimiento correctivo es más caro porque suele acarrear paralización -no planificada- de las tareas de la fábrica y desembocar en reparaciones más costosas, al producir daños en piezas colaterales. Asimismo, hay que invertir más en averías que no suelen darse si se lleva a cabo un mantenimiento preventivo.

Dado que no es sostenible optar por un solo sistema, ya que es imposible prever todos los percances, la recomendación es organizar así el presupuesto:

- 60% a mantenimiento correctivo del precio total del aerogenerador
- 20% a mantenimiento preventivo del precio total del aerogenerador
- 20% a mantenimiento predictivo del precio total del aerogenerador

6.5.5.1 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo es un conjunto de tareas técnicas destinadas a reparar o reemplazar equipos que no funcionan correctamente. Este tipo de mantenimiento corrige fallas en el activo que requieren intervención para restaurar su función original. Este tipo de mantenimiento no prevé un programa de mantenimiento, por lo que existe una alta probabilidad de quedarse sin repuestos en stock. Además, es posible que no haya un técnico de servicio para solucionar el problema porque el error no se previó de antemano.

6.5.5.2 Mantenimiento Predictivo

Predicción del comportamiento en base al monitoreo de la conducta y características de un sistema y realiza cambios o plantea actividades antes de llegar a un punto crítico.

Este mantenimiento surgió en base en la automatización y avances tecnológicos en el que se implementan un monitoreo del aerogenerador, además de la experiencia empírica, se obtienen graficas de comportamiento para poder realizar la planeación del mantenimiento.

Por lo que es algo no programado, podemos estimar el tiempo de vida de los componentes y poner un plazo de vida para el cambio.

COMPONENTES	Vida (años)	Precio	Cantidades	Sub total	Mantenimiento	Total
Rotor	20	102,162	1	102,162	20432.4	122,594.40
Generador	5	10,000	4	40,000	2000	42,000
Inversor	10	17,714	2	35,428	3542.8	38,971
Multiplicadora	20	50,000	1	50,000	10000	60,000
					TOTAL	263,565.40

Tabla 6.1 Mantenimiento Predictivo

En la Tabla 6.1 se enlistaron algunos componentes más relevantes en los aerogeneradores, el tiempo de vida lo llevamos a 20 años (tiempo de vida del aerogenerador), en donde se muestran que para algunos componentes es necesario cambiarlos antes de que su tiempo de vida termine y en otros probablemente no haya necesidad de algún cambio ya que su tiempo de vida es equivalente a la del aerogenerador, mientras se realice el mantenimiento preventivo ya que si no lo realizamos podemos llegar a tener un tiempo de vida menor y llegar a cambiarlo, sin embargo ya no será factible por la depreciación del producto.

Existen diversos programas para el análisis del comportamiento de la turbina y poder detectar de esta manera alguna anomalía un ejemplo es ROTORsoft.

6.5.5.3 Mantenimiento Preventivo

Realizar actividades con la finalidad de mantener en una condición específica de operación, por medio de una inspección sistemática, detección y prevención de la falla eminente.

Realizar un mantenimiento preventivo mediante una hoja de ruta programada resulta mucho más rentable a medio y largo plazo. Para este mantenimiento se hace la conversión de un 20% a mantenimiento preventivo del precio total del aerogenerador.

En la Tabla 6.2 se puede observar la actividad, el tiempo y el costo para el mantenimiento preventivo del AG.

MANTENIMIENTO	TIEMPO		PRECIO A 4 AÑOS
Revisión y reapriete de tornillos de palas eje de giro, central hidráulica y torre.	De 30 a 60 días después de la instalación, según condiciones de viento.		7,200,000 MXN
Inspección visual (tanto del molino como de la torre), chequeo de ruidos anómalos y vibraciones	De 30 a 60 días después de la instalación, según condiciones de viento y después de tormentas o vientos de más de 25 m/s (90 km/h, 56 mph)		7,200,000 MXN
1 - Comprobación del estado de las palas, especial atención al borde de ataque	Cada 12 meses	Cada 6 meses	1,600,000 MXN
2 - Reapriete de tornillos, establecidos en Pto.B.1, eje de giro con torre.			1,600,000 MXN
3 - Engrasado de rodamiento central y coronas del paso variable y giro.			1,600,000 MXN
4 - Engrasado del conjunto del paso variable, actuador y finales de carrera			1,600,000 MXN
5- Revisión de la central hidráulica de sus juntas, manguitos, nivel de aceite.			1,600,000 MXN
6- Comprobación de las conexiones eléctricas en la góndola y en las cajas de conexiones.			1,600,000 MXN
7 - Reapriete de otros tornillos de la torre (p.e. empalmes, acoples...)			1,600,000 MXN
8 – Cambiar aceite de la central hidráulica.	Cada 4 años (orientativo)	Cada 4 años (orientativo)	400,000 MXN

9- Sustitución de los manguitos de la bomba hidráulica.			400,000 MXN
TOTAL			\$26,400,000 MXN

Tabla 6.2 Mantenimiento preventivo

6.5.6 RESULTADOS

Primero se clasificaron los activos en FIJOS (F), DIFERIDOS (D) y CAPITAL DE TRABAJO (CT),

Un activo fijo es un bien de una empresa, ya sea tangible o intangible, normalmente son necesarios para el funcionamiento de la empresa y no se destinan a la venta. Ejemplos de estos activos son inmuebles, maquinaria material de oficina, etc. También se incluyen las inversiones en acciones.

Un activo diferido se refiere a los bienes y servicios que son pagados por una empresa de manera anticipada, aun cuando no hayan sido utilizados. Se trata de un recurso financiero y de contabilidad mediante el cual se evita alterar los números de ingresos y egresos empresariales en cada periodo reportado.

Capital de trabajo es el dinero disponible o destinado para cumplir con sus obligaciones actuales a corto plazo para operar sin sobresaltos y de forma eficiente.

En la Tabla 6.3 se muestran los activos que se requieren para el emplazamiento eólico dichos activos se clasifican en fijo, diferido y en capital de trabajo, algunos son provisionales y otros son a largo plazo; Cada activo está definido con la cantidad a utilizar, el precio y por último el total de cada uno de ellos en pesos mexicanos (MXN).

PROCESO	UNIDADES	PRECIO(MXN)	TOTAL (MXN)	ACTIVOS
ESTUDIO DE VIABILIDAD				
MEDICIÓN DEL RECURSO EÓLICO DEL SITIO				
Estaciones meteorológicas	2	\$8,000.0	\$16,000.0	F
Material para la torre	2	\$4,000.0	\$8,000.0	F
Servicio de Internet por un año	12	\$500.0	\$6,000.0	D
ESTUDIO CAPACIDAD DE CARGA DEL TERRENO				
Servicio de Arquitecto por m2	26375	\$15,000.0	\$791,250.0	F
TOPOGRAFIA DEL SITIO				
Servicios de topografía	1	\$8,500.0	\$8,500.0	F
Programa WAsP Map	1	\$44,814.5	\$44,814.5	D
Programa Global Mapper	1	\$8,059.6	\$8,059.6	D
ELABORACION DEL PROYECTO				
DIMENSIONAMIENTO DE LA TURBINA EOLICA				
Mano de obra	1	\$7,000.0	\$7,000.0	C
Equipos	1	\$12,000.0	\$12,000.0	F
MEMORIA DE CÁLCULO	1	\$7,000.0	\$7,000.0	C
PLANOS CONSTRUCTIVOS	1	\$38,000.0	\$38,000.0	C
FICHAS TÉCNICAS	7	\$1,000.0	\$7,000.0	F
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	1	\$175,000.0	\$175,000.0	C
FIRMAS PERITOS	1	\$10,000.0	\$10,000.0	D
EVALUACIÓN COSTO BENEFICIO	7	\$1,000.0	\$7,000.0	C
ADQUISICIÓN Y PERMISOS				
ADQUISICIÓN DE LOS AEROGENERADORES				
Aerogeneradores	7	\$2,000,000.0	\$14,000,000.0	F

Inversor	7	\$175,000.0	\$1,225,000.0	F
Torre	7	\$175,000.0	\$1,225,000.0	F
Protecciones eléctricas	7	\$175,000.0	\$1,225,000.0	F
PAGOS IMMS			\$0.0	D
PERMISOS SEMARNAT				
Poder notarial	1	\$230.0	\$230.0	D
Comprobante de pago de derechos	1	\$4,000.0	\$4,000.0	D
Licencia ambiental SEMARNAT	1	\$2,000.0	\$2,000.0	D
CONSTRUCCIÓN				
CAMINOS DE ACCESO				
Mano de obra	1	\$3,000.0	\$3,000.0	C
Material	1	\$1,000.0	\$1,000.0	F
Equipos	1	\$3,000.0	\$3,000.0	F
TRAZO Y NIVELACIÓN	1	\$8,500.0	\$8,500.0	C
ACARREOS DE TIERRA	100	\$800.0	\$80,000.0	F
OBRAS INDUCIDAS				
Material	1	\$4,000.0	\$4,000.0	F
Mano de obra	1	\$90,000.0	\$90,000.0	C
Equipos	1	\$1,000.0	\$1,000.0	F
CIMENTACIÓN DE TORRE				
Material	1	\$184,300.0	\$184,300.0	F
Mano de obra	189	\$3,800.0	\$718,200.0	C
Equipos	21	\$1,000.0	\$21,000.0	F
MONTAJE AG	7	\$175,000.0	\$1,225,000.0	F
PINTURAS				

Material	7	\$5,000.0	\$35,000.0	F
Mano de obra	7	\$4,000.0	\$28,000.0	C
Equipos	7	\$5,000.0	\$35,000.0	F
CABLEADO DEL AG A LA SUBESTACION				
Material	7	\$20,000.0	\$140,000.0	F
Mano de obra	7	\$12,000.0	\$84,000.0	C
Equipos	7	\$3,000.0	\$21,000.0	F
LINEAS ELÉCTRICAS DE CONEXIÓN				
Material	7	\$20,000.0	\$140,000.0	F
Mano de obra	7	\$12,000.0	\$84,000.0	C
Equipos	7	\$3,000.0	\$21,000.0	F
PRUEBAS DEL AG				
Mano de obra	7	\$5,000.0	\$35,000.0	C
Equipos	7	\$3,500.0	\$24,500.0	F
CERTIFICACIÓN DE INSTALACIÓN				
ALMACÉN DE OBRA	1	\$15,000.0	\$15,000.0	D
TALLERES	1	\$15,000.0	\$15,000.0	D
RETRETES	60	\$1,800.0	\$108,000.0	D
OFICINAS	1	\$3,000.0	\$3,000.0	D
FIRMES, BANQUETAS, GUARNICIONES Y OBRAS DE ACCESO AL AG				
Material	1	\$30,000.0	\$30,000.0	F
Mano de obra	1	\$20,000.0	\$20,000.0	C
Equipos	1	\$1,500.0	\$1,500.0	F
RETIROS DE ESCOMBRO				

Mano de obra	1	\$10,000.0	\$10,000.0	C
Equipos	1	\$10,000.0	\$10,000.0	F
DESMANTELAMIENTO DE TALLERES, OFICINAS, RETRETES	1	\$12,000.0	\$12,000.0	C
SEÑALIZACIONES	1	\$10,000.0	\$10,000.0	C
PLANOS As BUILT				
Material	7	\$1,500.0	\$10,500.0	F
Mano de obra	7	\$6,000.0	\$42,000.0	C
Equipos	7	\$1,500.0	\$10,500.0	F
CONSTRUCCIÓN DE OFICINA DE MONITOREO				
Material	1	\$35,000.0	\$35,000.0	F
Mano de obra	1	\$17,000.0	\$17,000.0	C
Equipos	1	\$3,000.0	\$3,000.0	F
OPERACIÓN				
CONEXIONES, VOZ, DATOS, DATALOGERS, SOFTWARE	1	\$66,000.0	\$66,000.0	D
CAPACITACIÓN A PERSONAL DE OPERACIÓN EN SITIO	1	\$66,000.0	\$66,000.0	D
LAPTOP	1	\$15,000.0	\$15,000.0	F
COMPUTADORAS	2	\$30,000.0	\$60,000.0	F
TRANSPORTE	1	\$800,000.0	\$800,000.0	F
MANTENIMIENTO				
Preventivo	1	\$26,400,000.0	\$26,400,000.0	F
Predictivo	1	\$263,565.0	\$263,565.0	F

Tabla 6.3 Clasificación de los diversos activos y el costo de los activos

Una corrida financiera es una proyección futura de los ingresos y egresos de un proyecto o un negocio. Generalmente se programa a 5 años, y contienen una serie de variables a considerar en el proyecto. Lo que se muestra en la Tabla 6.4 es un desglose de los precios activos que se consideran para el proyecto.

Se presentan dos tipos de cotizaciones las cuales son a corto plazo, este se delimita hasta el tiempo de instalación de los aerogeneradores y largo plazo considerando el tiempo de vida útil del AG.

CONCEPTO	IMPORTE (MXN)
ACTIVOS FIJOS	\$49,938,565
IMPREVISTOS (5%)	\$2,496,928
ACTIVOS DIFERIDOS	\$1,958,159
CAPITAL DE TRABAJO	\$1,395,700
TOTAL	\$55,789,352

Tabla 6.4 Total de los activos

En la Tabla 6.4 podemos ver el presupuesto de la inversión inicial del proyecto, divididos en activos fijos, diferidos y capital de trabajo más el 5% que será para los imprevistos y este se obtiene de los activos fijos.

Concepto	Inversión (MXN)	Tasa de depreciación	Depreciación anual (MXN)				
			1	2	3	4	5
Depreciación de un AG	\$2,000,000	10%	\$1,800,000	\$1,620,000	\$1,458,000	\$1,312,200	\$1,180,980
Depreciación de los componentes	\$525,000	10%	\$472,500	\$425,250	\$382,725	\$344,453	\$310,007

Tabla 6.5 Depreciación del AG y sus componentes

En la Tabla 6.5 se puede observar la depreciación, para calcularlo es necesario la siguiente Ecuación 6.1, al obtener el resultado que para este caso es el 5% se multiplicará por 2, esto da como resultado la depreciación anual en un aerogenerador y sus componentes durante los primeros 5 años.

$$\text{Depreciación} = \frac{100\%}{20(\text{años de vida del AG})} \times 2$$

Ecuación 6.1 Cálculo de la depreciación Fuente: MANAGER, 2018

AEROGENERADORES	1	2	3	4	5
POTENCIA	10kW	10kW	10kW	10kW	10kW
COSTO MXN	\$537,012.49	\$650,250.30	\$1,160,000.00	\$3,132,000.00	\$3,132,000.00
TRANSPORTE	no incluye	no incluye	Incluye en el presupuesto	Incluye en el presupuesto	Incluye en el presupuesto
VELOCIDAD NOMINAL	no especifica	no especifica	3-8m/s	3-8 m/s	3-8 m/s
GARANTIA	5 años	5 años	1 año	5años	1 año
COMPONENTES	Inversor de red, controlador de parrilla	Sistema de frenos hidráulicos PLC con anemómetro, Rectificador con carga de descarga, Inversor Grid-On (MPPT, 400V 50Hz)	generador trifásico síncrono de imanes permanentes. - 1 Inversor eólico de 10kW para conexión a la red. - 1 Controlador eólico de red. - 1 sistema de izaje manual. - 1 kit de protecciones eléctricas. Velocidad de corte 20m/s	generador trifásico síncrono de imanes permanentes. - 1 Inversor eólico de 10kW para conexión a la red. - 1 Controlador eólico de red. - 1 kit de protecciones eléctricas, corte de velocidad 20 m/s	generador trifásico síncrono de imanes permanentes. - 1 Inversor eólico de 10kW para conexión a la red. - 1 Controlador eólico de red. 1 kit de protecciones eléctricas.
AREA BARRIDA	No define	No define	5.4 m	5.4 m	7 m
TORRE	con torre hidráulica	Torre monopolo	1 Torre de 12m acero de tubo de 12" de diámetro.	- 1 Torre de 12m acero de tubo de 12" de diámetro.	1 Torre de 12m acero de tubo de 12" de diámetro.

EXTRA	Descuento a partir de 5, no hay mano de obra	Descuento a partir de 5, no hay mano de obra	viáticos e Incluye instalación en Ixtapaluca, Estado de México. NO INCLUYE CIMENTACION	viáticos e Incluye instalación en Ixtapaluca, Estado de México. NO INCLUYE CIMENTACION	viáticos e Incluye instalación en Ixtapaluca, Estado de México. NO INCLUYE CIMENTACION
PAGO Y ENTREGA	Con T/T - 30% de pago inicial a la confirmación del pedido; Con T/T - 70% de pago de saldo antes del envío.	Con T/T - 30% de pago inicial a la confirmación del pedido; Con T/T - 70% de pago de saldo antes del envío.	Tiempo de entrega: 30 día posterior al pago del 100%	Tiempo de entrega: aproximadamente 50 día posterior al pago del 100%	Tiempo de entrega: aproximadamente 50 día posterior al pago del 100%.
	Tiempo de producción: Para 5-10kW, unos días laborables20 después de la confirmación del pedido; Tiempo de entrega: Por envío, depende de diferentes puertos con	Tiempo de producción: Para 5-10kW, unos días laborables20 después de la confirmación del pedido; Tiempo de entrega: Por envío, depende de diferentes	Capacitación al personal, plano de la cimentación si se llega a pedir	Capacitación al personal, plano de la cimentación si se llega a pedir	Capacitación al personal, plano de la cimentación si se llega a pedir

	diferentes distancias.	puertos con diferentes distancias.			
--	------------------------	------------------------------------	--	--	--

Tabla 6.6 Comparación de Aerogeneradores

En la anterior Tabla 6.6 podemos observar la comparación de 5 aerogeneradores provenientes de distintos países, garantía y tamaño del rotor, lo cual es importante ya que nos permite conocer el potencial eólico.

7 CONCLUSIÓN

Después del trabajo realizado en la presente tesis podemos definir las siguientes conclusiones:

En el capítulo 1 se muestra el resumen en el cual de manera específica marca la metodología y las especificaciones, en la introducción se encuentra de manera clara y precisa la exposición del tema central, posteriormente en el planteamiento del problema se observa la base de estudio del proyecto, es necesario responder a la pregunta ¿Para qué realizar dicho proyecto? En los objetivos se plantea la dirección de lo que se va a realizar y la delimitación del alcance del proyecto, en el apartado de justificación se precisa el porqué del proyecto, con la finalidad de darle una respuesta a la problemática y en los antecedentes es la recopilación de las investigaciones relacionadas con el actual proyecto, obteniendo así un contexto de las cosas.

Posteriormente en el capítulo 2 se encuentran los análisis de enfoque teórico, estos nos permiten conocer las definiciones de palabras clave, además de proporcionar fuentes primarias y secundarias con la finalidad de que el lector comprenda el contenido de este proyecto de manera clara y lo más preciso posible, para este caso se abarcaron temas con respecto a los aerogeneradores como definición del viento y sus características, parques eólicos, aerogeneradores, efecto estela, e instrumentación; Con respecto a la posición de los AG como topografía, rugosidad, atmosfera; También se especificaron sistemas de subestación eléctrica y de control; Por último las formas institucionales para los procedimientos del proyecto.

En el capítulo tres contiene el inicio de la metodología para la investigación, en donde se obtuvo el histograma y la distribución de Weibull, para esto se empleó la asistencia del programa Windowgrapher determinando la evaluación preliminar del recurso eólico, tomando en consideración los datos de velocidad y densidad de potencia para una altura de 50m concluyendo que dicho potencial eólico es pobre para el sitio.

Con respecto al capítulo 4 se determinó la componente espacial con el método de triangulación, obteniendo la georreferenciación del sitio (topografía y rugosidad) esto con la ayuda del software Global Mapper y WASP Map permitiendo la simulación de los aerogeneradores en diferentes coordenadas estableciendo así las velocidades del viento y su frecuencia con respecto al total de datos, al mismo tiempo obtenemos la eficiencia de la reducción del efecto estela, concluyendo que la dirección de los AG al sur-

sureste(SSE) tiene velocidades de entre 3.3. a 3.96 m/s, a pesar de ello el sistema es ineficiente, en la tabla 4.1 se muestra la Producción Energía Anual (PEA) neto dando como resultado un máximo de 3.721 MWh y un mínimo de 1.759 MWh a una altura de 10m.

En el capítulo cinco se logró elaborar y plantear el objetivo propuesto de la evaluación del retorno sobre inversión de los aerogeneradores en el software HOMER 2.68, en el cual se puede distinguir la viabilidad del costo. Como se menciona en el capítulo, la estabilidad de los AG es a los 12m/s, pero en el sitio se obtuvieron velocidades de 3m/s a una altura de 50m teniendo un porcentaje del 20% de su capacidad de trabajo, además de concluir que para la compra y venta de energía a CFE tendría que ser un porcentaje mayor de 80%, sin embargo el sistema no es recomendable para cumplir con la producción, al mismo tiempo de estimar la recuperación de inversión con respecto a la vida útil del AG, comprobando así que al pasar de los años no se podrá recuperar y seguirá generando gastos de mantenimiento.

Como ya se menciona en capítulos anteriores se establece que el lugar no es conveniente para un emplazamiento eólico, ya que la velocidad del viento que se halla en el sitio es baja, así mismo con la asistencia de las simulaciones nos permite tomar una decisión de manera justificada; Además de realizar una corrida financiera (proyecto de inversión) para obtener otro panorama con respecto al área económica permitiendo así la visualización de los costos que se adquirirían si se llegara a instalar los AG.

En un proyecto de inversión se consideran los diversos tipos de activos (directo, diferido y capital de trabajo), para ello es necesario tomar en cuenta el estudio de la viabilidad en donde se obtiene el sitio óptimo para el emplazamiento, la elaboración del proyecto en el cual se toma en cuenta los planos, fichas técnicas, manifestación de impacto, así como los permisos para la instalación, en la construcción de los AG, es necesario costear la maquinaria, almacenes, material, personal, etc. Y por último la operación en donde se capacita al personal para monitorear el funcionamiento de los AG; En conjunto forma un análisis de costos de inversión requeridos para el emplazamiento mencionado en el capítulo 6, concluyendo en un presupuesto final para los 7 aerogeneradores y los activos ya mencionados da un total de \$53,850,790 MXN.

8 REFERENCIAS

- Ambiente, P. F. d. P. a., 2019. *Manifestación de Impacto Ambiental (MIA)*. [Online] Available at: [https://www.gob.mx/profepa/articulos/manifestacion-de-impacto-ambiental-mia#:~:text=11\)-.%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20Manifestaci%C3%B3n%20de%20Impacto%20Ambiental%20\(MIA\)%3F,y%20en%20la%20salud%20humana](https://www.gob.mx/profepa/articulos/manifestacion-de-impacto-ambiental-mia#:~:text=11)-.%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20Manifestaci%C3%B3n%20de%20Impacto%20Ambiental%20(MIA)%3F,y%20en%20la%20salud%20humana) [Accessed 18 marzo 2022].
- Blanco, T. A., 2019. *¿Qué es un parque eólico? Así funciona para generar energía eléctrica*. [Online] Available at: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/el-reciclaje-de-los-aerogeneradores-asignatura-pendiente/>
- Botero, C., 1993. *Manual de mantenimiento*. [Online] Available at: https://www.researchgate.net/publication/321353976_Manual_de_mantenimiento_Parte_I_que_es_el_mantenimiento#:~:text=El%20mantenimiento%20es%20un%20conjunto,para%20el%20cual%20fueron%20dise%C3%B1ados.
- Camilloni, I., 2020. *La atmosfera. En Explora las ciencias en el mundo contemporáneo*. [Online] Available at: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002316.pdf>
- Carta, J. R. C. A. C. M. C. E., 2012. *Centrales de energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables (2a. ed)*. s.l.:PEARSON.
- clima, F. d., 2021. *Elementos y factores del clima*. [Online] Available at: https://www.mep.go.cr/sites/default/files/recursos/recursos-interactivos/clima_tiempo/pdf/elementos_y_factores_del_clima.pdf
- Creus Sole, A., 2014. *Aerogeneradores*. barcelona : Cano Pina.
- Cucó, S., 2017. *Manual de energía eólica: desarrollo de proyectos e instalaciones*. s.l.:Universidad Politécnica de Valencia.
- Datacentric, 2020. *Cómo distinguir entre geolocalización y georreferenciación*. [Online] Available at: <https://www.datacentric.es/blog/geomarketing/diferencia-entre-geolocalizacion-y-georeferenciacion/>
- Decreto, 3., 2011. *ORGANO DE CONSEJERIA DE INDUSTRIA, COMERCIO Y NUEVAS TECNOLOGIAS*. [Online] Available at: https://noticias.juridicas.com/base_datos/CCAA/ic-d32-2006.html#a23
- Departament, S. R., 2010-2020. *Tasa política monetaria en Mexico*. [Online] Available at: <https://es.statista.com/estadisticas/1169993/tasa-politica-monetaria-mexico/> [Accessed 23 enero 2022].
- Economía, 2011. *Energía Eólica. 2021*. [Online].

Ejemplos, E. d., 2021. *Ficha técnica*. [Online] Available at: <https://www.ejemplos.co/ficha-tecnica/#ixzz7Pp9DgiSp> [Accessed 15 marzo 2022].

Enciclopedia., 2013. *Topografía*. [Online] Available at: <https://concepto.de/topografia/>

energia, F., 2017. *¿Qué es el CIE o Certificado de Instalación Eléctrica?*. [Online] Available at: <https://www.factorenergia.com/es/blog/factura-luz/cie-certificado-instalacion-electrica/>

Escudero, J., 2008. *Manual de energía eólica*. Madrid: Mundi-Prensa.

Fragela, F., 2018. *Investigación sobre variables preictivas sobre el mantenimiento de parques eólicos*, s.l.: s.n.

Foundation, A., 2021. *Diferencias entre solsticio y equinoccio*. [Online] Available at: <https://www.fundacionaquae.org/que-es-solsticio/>

Graus, 2013. *Movimiento de rotación y translación*. [Online] Available at: <https://www.significados.com/movimiento-de-rotacion-y-traslacion/>

Herrera, R. V., 2014. *Evaluación del recurso eólico en la universidad tecnológica de ciudad juarez*. Chihuahua: Centro de investigación en materiales avanzados.

IMSS, 2017. *Registro de obra, fases e incidencias de construcción*. [Online] Available at: <https://www.imss.gob.mx/tramites/imss02097> [Accessed 19 marzo 2022].

INEGI, 2020. *Topografía*. [Online] Available at: <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/#Herramientas>

INGETEK, 2021. *Pasos para la cimentación de aerogeneradores en parques eólicos*. [Online] Available at: <https://blog.ingetek.mx/pasos-para-una-correcta-cimentacion-de-aerogeneradores-en-parques-eolicos> [Accessed 18 MARZO 2022].

Ivan, B. M. J., 2021. *Diseño y análisis de la viabilidad técnica-económica de 3 parques eólicos en las costas de campeche, tabasco y yucatán*. [Online] [Accessed 1 marzo 2022].

León, A. P., 2018. *Análisis de curvas de velocidad de viento y altura: propuesta de identificación de patrones*. [Online] Available at: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/7361/tfm-pue-ana.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Accessed 28 abril 2022].

LGEEPA, 11-04-2022. *Reglamento de la ley general del Equilibrio Ecológico y la protección al ambiente en materia de evaluación del impacto ambiental*, Mexico: Diario oficial de la federación.

M., B., 2021. *Qué son los fenómenos meteorológicos y ejemplos*. [Online] Available at: [Qué son los fenómenos meteorológicos y ejemplos](#)

Magazine, E., 2021. *La ONU advierte de los planes climáticos nacionales, tal como están, nos abocan al desastre*. [Online] Available at: <https://www.energias-renovables.com/panorama/la-onu-advierte-que-los-planes-climaticos-20210917>

MANAGER, 2018. *FORMAS DE CALCULAR ACTIVOS FIJOS*. [Online] Available at: <https://manager.cl/blogs/2-formas-de-calcular-tus-activos-fijos/#:~:text=Para%20ello%20primero%20se%20define,%25%20x%202%20%3D%2040%20%25>. [Accessed 20 MARZO 2022].

Mártil, I., 2021. *Historia de la energía eólica: del origen a la II Guerra Mundial*. [Online] Available at: <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/historia-energia-eolica-origen-ii-guerra-mundial/>

Mendez, C., 2021. *Evaluación del efecto estela en el desempeño de un parque eólico*. [Online] Available at: <https://fglongatt.org/OLD/Desechable/Sept-Oct2010/Paper-SanCristobal%20Estela.pdf>

Merino., J. P. P. y. M., n.d. *Definición de georeferenciación*. [Online] Available at: <https://definicion.de/georeferenciacion/>

Meteoblue, 2006. *Zonas climáticas*. [Online] Available at: <https://content.meteoblue.com/es/meteoscool/zonas-climaticas-generales>

Midebien, 2015. *¿Cuánta lluvia y cuánta erosión resiste un parque eólico?*. [Online] Available at: <https://midebien.com/cuanta-lluvia-y-cuanta-erosion-resiste-un-parque-eolico/>

Morer., B. y., 2018. *Subestación*. [Online] Available at: <https://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/que-es-una-subestacion-electrica>

Nava, D., 2021. *Las energías tienen un crecimiento récord durante la pandemia*. [Online] Available at: <https://expansion.mx/empresas/2021/06/02/energias-renovables-fortalecieron-pandemia>

Paredes, A. r., 2004. *HOMER*. [Online] Available at: <https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/36286.pdf>

Pérez Rodríguez, M. D., 2012. *Gestión de operación y puesta en servicio de instalaciones de energía eólica*. [Online] Available at: <https://elibro.net/es/ereader/teschic/111722?page=27>.

productivity, P. a., 2012. *Cuaderno de aplicaciones técnicas n.o 12 Plantas eólicas*. [Online]

Available at:
https://library.e.abb.com/public/ac764cb1be081128c1257a30003c70d7/Cuaderno%20Tecnico_num%2012_Plantas%20eolicas.pdf

Robles, C. R. C., 2018. *Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia.* [Online]
Available at: <https://www.revistaespacios.com/a18v39n34/a18v39n34p10.pdf>

seguros, R. y., 2021. *Energías renovables, tendencias en Latinoamérica.* [Online]
Available at: <https://www.mapfreglobalrisks.com/gerencia-riesgos-seguros/articulos/energias-renovables-tendencias-en-latinoamerica/>

SEMAEDES, 2021. *Energía Eólica.* [Online]
Available at: <https://www.oaxaca.gob.mx/semaedes/energia-eolica/>

TECH4CDM, 2008. *La energía eólica en México.* [Online]
Available at: <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Instituto-para-la-Diversificacion-y-Ahorro-de-la-Energ--a.-La-energ--a-eolica-en-M--xico.-.pdf>

Vargas, A., n.d. *Toponomía.* [Online]
Available at:
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15039a.html>

9 APÉNDICE

9.1 IMPACTO AMBIENTAL

Conforme a la legislación ambiental vigente, existen diversas actividades antes para obtener una autorización previa en materia de impacto ambiental. Los análisis y evaluación de impacto ambiental de obras y actividades de competencia federal corresponde efectuarlos a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través de la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental, así como de sus Delegaciones Federales.

Las actividades señaladas por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) se encuentran agrupadas en los sectores siguientes según tipo de obra, ubicación y cambio de uso del suelo:

a) Según tipos de obras y actividades

1. Obras hidráulicas, vías generales de comunicación,
2. Oleoductos, gasoductos, carbo ductos, poliductos;
3. Industria del petróleo, petroquímica, química, siderúrgica, papelera, azucarera, del cemento y eléctrica;
4. Exploración, explotación y beneficio de minerales y sustancias reservadas a la Federación;
5. Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos, así como residuos radiactivos;
6. Aprovechamientos forestales en selvas tropicales y especies de difícil regeneración. Plantaciones forestales
7. Parques industriales donde se prevea la realización de actividades altamente riesgosas.
8. Desarrollos inmobiliarios que afecten los ecosistemas costeros
9. Actividades pesqueras, acuícolas o agropecuarias que puedan poner en peligro la preservación de una o más especies o causar daños a los ecosistemas.
10. Obras o actividades que correspondan a asuntos de competencia federal, que pueda causar desequilibrios ecológicos graves e irreparables, daños a la salud pública o a los ecosistemas, o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones jurídicas relativas a la preservación del equilibrio ecológico y la protección del ambiente.

b) Por su ubicación

1. Humedales, manglares, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como sus litorales o zonas federales
2. Áreas Naturales protegidas

c) Cambio de uso de suelo en áreas de competencia federal

1. Afectación del uso de suelo en áreas forestales
2. Afectación del uso de suelo en selvas y zonas áridas

Se optaría por el sector según los tipos de obras y actividades numeración 3

Evaluación del Impacto Ambiental

“La Evaluación del Impacto Ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidas en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente” Art. 28. (LGEEPA, 11-04-2022).

Los proyectos de obras y actividades de competencia federal podrán ser evaluados por medio de diferentes tipos de estudios conforme a las siguientes situaciones:

Manifestación de Impacto Ambiental (MIA). Para la realización, propiamente, de las obras y actividades previstas en el artículo 28 de la LGEEPA. Se consideran dos modalidades:

- General, cuando trate de:
 - Parques industriales y acuícolas, granjas acuícolas de más de 500 hectáreas, carreteras y vías férreas, proyectos de generación de energía nuclear, presas y, en general, proyectos que alteren las cuencas hidrológicas;
 - Un conjunto de obras o actividades que se encuentren incluidas en un plan o programa parcial de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico.
 - Un conjunto de proyectos de obras y actividades que pretendan realizarse en una región ecológica determinada,
 - Proyectos que pretendan desarrollarse en sitios en los que, por su interacción con los diferentes componentes ambientales regionales, se prevean impactos acumulativos, sinérgicos o residuales que pudieran ocasionar la destrucción, el aislamiento o la fragmentación de los ecosistemas.

- Particular, se refiere a todos los demás casos no referidos en la modalidad general.

La MIA es un documento elaborado con base en estudios técnicos con el que las personas (físicas o morales) analizan y describen las condiciones ambientales anteriores a la realización del proyecto con la finalidad de evaluar los impactos potenciales que la construcción y operación de dichas obras o la realización de las actividades podría causar al ambiente y definir y proponer las medidas necesarias para prevenir, mitigar o compensar esas alteraciones.

- Estudio de Riesgo. Cuando se trate de las actividades altamente riesgosas que se definen en el capítulo V de la LGEEPA, deberá incluirse a la manifestación de impacto ambiental, un estudio de riesgo. En dicho estudio se establecen:
 - I. Escenarios y medidas preventivas resultantes del análisis de los riesgos ambientales relacionados con el proyecto,
 - II. Descripción de las zonas de protección en torno a las instalaciones, en su caso
 - III. Señalamiento de las medidas de seguridad en materia ambiental.
- Documento Técnico Unificado (DTU). Cuando la evaluación implica, además de las actividades de impacto ambiental, un cambio de uso de suelo en terrenos forestales o, de la primera y de aprovechamiento de recursos forestales, se elaborará el DTU que conjunta, para su atención en un sólo trámite, la manifestación de impacto con el estudio técnico justificativo que se señala en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.

Análisis de informes preventivos

La autorización en materia de impacto ambiental podrá emitirse con base en la presentación de un informe preventivo y no de una manifestación de impacto ambiental cuando el análisis que se efectúe del mismo determine que se cumplen las siguientes condiciones:

- I. Existan normas oficiales mexicanas u otras disposiciones que regulen las emisiones, las descargas, el aprovechamiento de recursos naturales y, en general, todos los impactos ambientales relevantes que puedan producir las obras o actividades;

- II. Las obras o actividades de que se trate expresamente previstas por un plan parcial de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que haya sido evaluado por la secretaria.
- III. Se trate de instalaciones ubicadas en parques industriales autorizados

De no ser así, se requerirá la presentación de la manifestación de impacto ambiental.

Una vez autorizados los proyectos de obras o actividades, es la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente la encargada de verificar el cumplimiento de los términos y condicionantes establecidos.

9.2 CIMENTACIÓN

Para el proceso del costo de la cimentación de los AG se cotizaron los materiales, mano de obra, al mismo tiempo se plantearon medidas para la estructura, dicha cotización fue consultada con un arquitecto el día 3 de septiembre del 2021, en la siguiente Figura se pueden visualizar las cantidades requeridas aproximadas, además de llevar acabo un bosquejo de la cimentación basada en un cubo con las medidas 3x10x10 m para tener mayor resistencia.

Dichas cantidades nos permiten tener una referencia del costo para los siete aerogeneradores, estas cifras fueron agregadas a los activos para la corrida financiera, ya que es de gran importancia tener datos más reales con respecto a los costos.

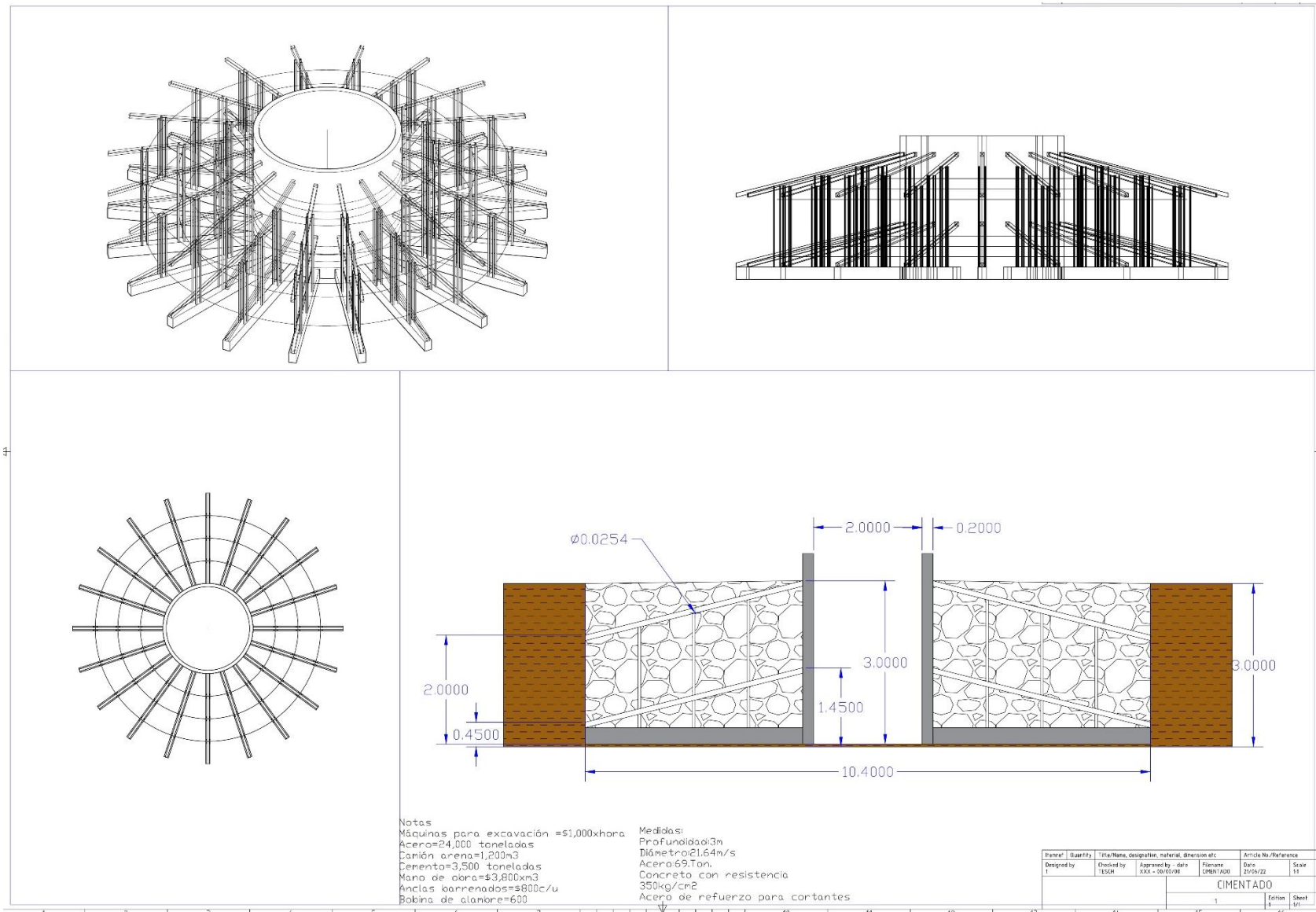


Figura 9.1 Cimentación de los AG

Asimismo, se realizaron los cálculos para los materiales que se requieren para lo AG, ya que en la Figura 9.1 solo se obtuvieron datos para el cimientado de un solo AG.

El precio total por los 7 AG es de \$184,300 por el material total, con respecto a la mano de obra se registró que por m³ son \$3,800 extra, es decir que para los 27 m³ de los 7 AG sería un total de \$102,600 pesos mexicanos.

MATERIAL	PRECIO	NO.	TOTAL 7 AG
Acero (24.000 ton)	\$3,500	24	\$84,000
Arena 6m3	\$1,500	7	\$10,500
Grava 6m3	\$1,800	7	\$12,600
Cemento 3,500 ton	\$200	70	\$14,000
Anclas barrenadas	\$800	49	\$39,200
Bobina alambre	\$40	600	\$24,000
TOTAL			\$184,300

Tabla 9.1 Costo de los materiales para el cimientado

10 ANEXO

10.1 ANEXO

	kW	Diámetro (m)	Radio	Velocidad (m/s)	P. eólico	P. eólico (kW)
BAJA POTENCIA	0.4	1.12	0.56	3.19	19.1889072	0.019
	1.6	2	1	3.19	61.1891172	0.061
	3	3.8	1.9	3.19	220.892713	0.221
	5	4.3	2.15	3.19	282.846694	0.283
	10	7	3.5	3.19	749.566686	0.750
	20	9.8	4.9	3.19	1469.15071	1.469
	60	15.9	7.95	3.19	3867.30518	3.867
ALTA POTENCIA	100	20	10	3.19	6118.91172	6.119
	150	23	11.5	3.19	8092.26076	8.092
	200	25	12.5	3.19	9560.79957	9.561
	225	29	14.5	3.19	12865.0119	12.865
	270	27	13.5	3.19	11151.7166	11.152
	400	34.8	17.4	3.19	18525.6171	18.526
	500	42	21	3.19	26984.4007	26.984
	600	44	22	3.19	29615.5327	29.616
	850	47	23.5	3.19	33791.69	33.792
	1500	63.6	31.8	3.19	61876.8829	61.877
	1650	82	41	3.19	102858.906	102.859
	1750	66	33	3.19	66634.9487	66.635
	1800	100	50	3.19	152972.793	152.973
	2000	120	60	3.19	220280.822	220.281
	2100	116	58	3.19	205840.19	205.840
	2200	120	60	3.19	220280.822	220.281
	2600	100	50	3.19	152972.793	152.973
	2750	100	50	3.19	152972.793	152.973
	3000	112	56	3.19	191889.072	191.889
	3075	112	56	3.19	191889.072	191.889
	3300	155	77.5	3.19	367517.135	367.517
	3450	136	68	3.19	282938.478	282.938
	3600	117	58.5	3.19	209404.456	209.404
4000	150	75	3.19	344188.785	344.189	
4500	150	75	3.19	344188.785	344.189	
5600	162	81	3.19	401461.798	401.462	

	6000	162	81	3.19	401461.798	401.462
	6800	165	82.5	3.19	416468.429	416.468
	7000	164	82	3.19	411435.624	411.436
	8000	164	82	3.19	411435.624	411.436

Tabla 10.1 Clasificación de los AG de acuerdo a la potencia

10.2 ANEXO

VELOCIDAD	W	CP		Kw
2.5	39	0.11	1000	0.039
3	102	0.16	1000	0.102
3.5	229	0.23	1000	0.229
4	399	0.26	1000	0.399
4.5	596	0.28	1000	0.596
5	848	0.29	1000	0.848
5.5	1151	0.29	1000	1.151
6	1510	0.3	1000	1.51
6.5	1938	0.3	1000	1.938
7	2403	0.3	1000	2.403
7.5	2949	0.3	1000	2.949
8	3602	0.3	1000	3.602
8.5	4306	0.3	1000	4.306
9	5071	0.3	1000	5.071
9.5	5960	0.29	1000	5.96
10	6856	0.29	1000	6.856
10.5	7849	0.29	1000	7.849
11	8863	0.28	1000	8.863
11.5	9928	0.28	1000	9.928
12	10885	0.27	1000	10.885
12.5	11619	0.25	1000	11.619
13	12019	0.23	1000	12.019
13.5	12276	0.21	1000	12.276
14	12395	0.19	1000	12.395
14.5	12449	0.17	1000	12.449
15	12495	0.16	1000	12.495
15.5	12508	0.14	1000	12.508
16	12546	0.13	1000	12.546
16.5	12555	0.12	1000	12.555
17	12503	0.11	1000	12.503
17.5	12528	0.1	1000	12.528
18	12442	0.09	1000	12.442
18.5	12396	0.08	1000	12.396
19	12208	0.08	1000	12.208
19.5	11878	0.07	1000	11.878
20	11989	0.06	1000	11.989
20.5	11495	0.06	1000	11.495

Tabla 10.2 Velocidades de un aerogenerador de 10Kw

10.3 ANEXO

MESES	DIA	Precio marginal local (\$/MWh) (promedio)	Componente de energía (\$/MWh) (promedio)	Componente de pérdidas (\$/MWh) (promedio)	Componente de congestión (\$/MWh) (promedio)
ENERO	día 5	542.043333	523.12875	18.4204167	0.497083333
	día 10	517.2238	501.7508	12.56667	2.906667
	día 15	664.546667	631.04125	16.455	17.05166667
	día 20	705.34	693.635	11.6633333	0.0425
	día 25	1023.05875	908.125833	40.435	74.5
FEBRERO	día 5	802.9208	734.3375	30.96792	37.61667
	día 10	1002.468	813.7696	38.74167	149.9571
	día 15	2261.31	2224.741	38.28208	-1.714167
	día 20	2112.046	2079.733	32.73083	-0.415833
	día 25	783.9079	766.4696	15.36583	2.072917
MARZO	día 5	880.8183	846.7346	24.46917	9.61625
	día 10	615.3075	604.185	10.8975	0.225
	día 15	686.8583	624.0488	23.41958	39.39292
	día 20	512.2654	506.5313	5.628333	0.107083
	día 25	680.1338	656.0938	22.18083	1.86
ABRIL	día 5	547.29	538.7179	8.556667	0.015833
	día 10	605.8221	591.4371	14.42917	-0.045
	día 15	772.0429	751.7258	18.95	1.366667
	día 20	638.9333	622.8617	16.21542	-0.14125
	día 25	608.9617	590.4375	18.445	0.079583
MAYO	día 5	690.1796	673.3525	16.76375	0.064583
	día 10	859.5504	825.1829	34.23583	0.13375
	día 15	608.2433	600.9354	7.393333	-0.08375
	día 20	659.5958	634.11	16.3475	0.13875
	día 25	632.6854	615.1883	17.30333	0.194583
JUNIO	día 5	759.8958	649.8871	23.40875	86.60125
	día 10	846.4054	727.6975	27.58458	91.1225
	día 15	1119.086	1087.308	31.77833	0
	día 20	586.9829	557.225	20.84792	8.91
	día 25	651.6883	633.4571	18.23167	0.00125
JULIO	día 5	1777.126	1667.777	66.18958	43.16125
	día 10	807.2338	737.2338	21.47208	48.61333
	día 15	751.6392	732.2488	19.38583	0.005

	día 20	1425.908	1331.826	42.8275	51.25667
	día 25	694.7854	674.2754	20.50958	0.00125
AGOSTO	día 5	842.1788	767.9075	29.15458	45.11917
	día 10	749.3446	726.5313	22.67292	0.14125
	día 15	1037.579	994.1271	33.44167	10.01125
	día 20	727.2046	705.3196	21.88333	0
	día 25	864.365	838.8388	25.54458	0.002917
SEPTIEMBRE	día 5	804.55	781.2271	23.36458	-0.040417
	día 10	847.4883	832.0858	15.51833	-0.114583
	día 15	942.0217	916.1742	25.94208	-0.094583
	día 20	954.9963	923.1758	30.23667	1.58375
	día 25	836.4542	819.2521	17.19792	0.007917
OCTUBRE	día 5	1010.185	972.3196	37.86417	0.001667
	día 10	990.5021	933.2429	46.00025	11.25708
	día 15	1209.752	1053.08	55.03542	101.6358
	día 20	939.8517	873.3896	36.08875	30.37375
	día 25	2493.706	1365.424	71.48167	1056.801
NOVIEMBRE	día 5	1083.341	1050.816	32.35	0.177083
	día 10	1515.897	1378.274	56.33042	81.29333
	día 15	1038.799	1015.2	2357208	0.027083
	día 20	943.2263	938.4796	26.21375	-21.46708
	día 25	987.0488	1013.624	24.94833	-51.52292
DICIEMBRE	día 5	829.2558	809.3125	19.89417	0.050417
	día 10	1181.994	1033.187	49.585	99.22333
	día 15	814.4217	996.9946	22.82375	-205.3929
	día 20	793.6242	788.3638	21.32083	-16.05917
	día 25	610.4188	584.7967	25.51292	0.110417

Tabla 10.3 Promedio de los precios marginales