UNIBA
Centro Universitario Internacional de Barcelona

Centro adscrito

UNIVERSITAT DE BARCELONA

La Universidad basada en ti

Máster en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética

Área: Investigación en materiales y almacenamiento de energía

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (LCA) para el estudio de las huellas de carbono e hídrica del parque eólico de 16.5 MWe, de Villonaco, Loja-Ecuador

Autor: Gil Alberto Tama Franco

Tutor: Dr. Miguel Villarrubia López

Curso académico: 2018 – 2019

AGRADECIMIENTOS

*A **Dios**,*
por su infinito amor y misericordia hacia mí.

*A mi Tutor, **Dr. Miguel Villarrubia López**,*
quien, con su ejemplo, con la participación de sus conocimientos y filosofías,
así como de sus críticas y sugerencias, han servido de inmenso e innegable valor
para mi continua formación y para la realización del presente trabajo.

*A los ingenieros **Mauro Intriago Legarda y Juan Pablo Peña**,*
Viceministro de Electricidad y Gerente de GENSUR respectivamente,
quienes gestionaron la entrega de la información necesaria para
la consecución del presente Trabajo Final de Máster.

*A **mis hijas, Valeria Carolina y Andrea Stephanie**,*
por estar siempre ahí, ser mi soporte, mi norte y sur y la verdadera razón de mi existir.

*A **Débora Elizabeth**,*
por su constante paciencia, apoyo y estímulo en esta difícil jornada.

*A **mis padres**, pilares fundamentales en mi formación,*
por todo cuanto entregaron e hicieron por mí.

*A **mi hermana Martha Elizabeth**,*
por su inocencia, humildad y su cariño desinteresado.

*A **Elektra**, mi inolvidable compañera de siempre,*
por su ejemplo singular, su amor incondicional y por la paz que transmitió.

*A **Antoine, Mateito y Toñita***
por esos hermosos momentos de cariño y felicidad que siempre me dan.

*A **mis estudiantes de ayer, de hoy y de siempre**,*
por haberme permitido aprender a enseñar y continuar estudiando.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS II
ÍNDICE DE TABLAS III
ÍNDICE DE ANEXOS IV
ACRÓNIMOS DE ENTIDADES V
ACRÓNIMOS DE UNIDADES VI
ACRÓNIMOS VARIOS VII
RESUMEN VIII
ABSTRACT VIII
1. Introducción 1
2. Objetivo y Alcance 1
3. Situación energética del Ecuador 2
3.1 Producción de energía primaria 2
3.2 Producción de energía final 4
3.3 Consumo de Energía 4
3.4 Las energías renovables en el Ecuador 5
3.4.1 Proyectos eólicos en el Ecuador 7
4. Análisis del Ciclo de Vida 9
4.1 Definición del Objetivo y Alcance 9
4.2 Herramienta Informática utilizada 10
5. Análisis del Ciclo de Vida del Parque Eólico Villonaco 11
5.1 Antecedentes 11
5.2 Etapas del Ciclo de Vida 12
5.3 Simulación en SimaPro 12
5.3.1 Construcción del aerogenerador 13
5.3.2 Etapa de Transporte 16
5.3.3 Montaje o levantamiento del parque eólico 21
5.3.4 Operación del parque eólico 23
5.3.5 Desmantelamiento del parque eólico 23
6. Resultados 25
6.1 Huella de carbono de la tecnología eólica 26
6.2 Huella hídrica de la tecnología eólica 27
7. El Análisis FODA de la tecnología eólica en el Ecuador 29
8. Conclusiones 29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución de la producción de energía primaria, periodo 2007-2017 3

Figura 2: Estructura Energética de Ecuador 2017 3

Figura 3: Evolución de la producción de energía secundaria, periodo 2007-2017 4

Figura 4: Evolución del consumo de energía por sectores, periodo 2007-2017 4

Figura 5: Evolución del consumo de energía por fuentes, periodo 2007-2017 5

Figura 6: Capacidad instalada, año 2017 6

Figura 7: Evolución de las emisiones de GEI por actividad, periodo 2007-2017 6

Figura 8: Parque Eólico San Cristóbal; Latitud: -0° 53' 30.6", Longitud: -89° 29' 55.7" 7

Figura 9: Parque Eólico Villonaco; Latitud: -4° 0' 8", Longitud: -79° 15' 31.7" 7

Figura 10: Diagrama unifilar de la Central Eólica Villonaco 8

Figura 11: Año 2018, Energía entregada al SIN y velocidad del viento promedio mensual 9

Figura 12: Esquema CV de una turbina eólica. 12

Figura 13: Principales proveedores de turbinas eólicas en el mercado mundial, año 2018 13

Figura 14: Partes de un aerogenerador 15

Figura 15: Ruta Beijing – Tianjing – Puerto Bolívar – Loja. 19

Figura 16: Transporte de componentes del aerogenerador GoldWind GW70 1.5MW 20

Figura 17: Ejecución de obras civiles para el parque eólico Villonaco 21

Figura 18: Crecimiento promedio anual de la demanda de energía primaria por combustible 35

Figura 19: Emisiones mundiales de dióxido de carbono, por fuente, relacionadas con la energía 36

Figura 20: Cambio en la generación eléctrica por fuente, periodo 2017-2018 36

Figura 21: Crecimiento de la demanda del petróleo por región, periodo 2017-2018 37

Figura 22: Histograma de velocidades del viento para un año (8,760 horas) 69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Potencia nominal y efectiva por tipo de fuente, año 2017 5
Tabla 2: Entradas conocidas desde la tecnosfera; inventario de materiales insumos para la construcción del aerogenerador 14
Tabla 3: Entradas dadas por SimaPro para la construcción del aerogenerador 15
Tabla 4: Dimensiones y peso de cada sección de la torre del aerogenerador 16
Tabla 5: Entradas de transporte asociadas a la producción de materiales en SimaPro para la construcción del aerogenerador 17
Tabla 6: Información sobre el peso de cada componente del aerogenerador 18
Tabla 7: Distancia para los transportes marítimo y terrestre 19
Tabla 8: Entradas en SimaPro correspondientes al transporte desde los centros de fabricación hasta el parque eólico 20
Tabla 9: Inventario para la producción de 1kWh eléctrico a partir de la energía eólica en el Ecuador 22
Tabla 10: Salidas correspondientes al desmantelamiento del aerogenerador 24
Tabla 11: Transportes correspondientes al tratamiento de los residuos del aerogenerador 25
Tabla 12: Resultados de la caracterización en la categoría cambio climático para las principales entradas en el proceso global de la tecnología eólica 27
Tabla 13: Resultados de la caracterización en el análisis de la huella hídrica para las principales entradas en el proceso global de la tecnología eólica 28
Tabla 14: Matriz de Análisis FODA para la tecnología eólica en el Ecuador 29
Tabla 15: Distribución de la Huella de Carbono y la Huella Hídrica por etapas funcionales 29
Tabla 16: Huella de Carbono y Huella Hídrica para diferentes fuentes de energía 30
Tabla 17: Resultados de la caracterización en la categoría cambio climático para las principales entradas en el proceso de construcción de un aerogenerador de 1.5 MW 61
Tabla 18: Resultados de la caracterización en la huella hídrica para las principales entradas en el proceso de construcción de un aerogenerador de 1.5 MW 65
Tabla 19: Demanda Acumulada de Energía para GW70/1500kW 68
Tabla 20: Energía eléctrica producida por el aerogenerador GW70/1500kW 68
Tabla 21: Tasa de Retorno Energético y Tiempo de Amortización 69

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Global Wind Report 2018 - Market Status 2018 34
Anexo 2: Perspectivas de los sectores energéticos a nivel internacional 35
Anexo 3: Potencial eólico bruto en el Ecuador 38
Anexo 4: Mapa del potencial eólico bruto en el Ecuador 39
Anexo 5: Potencial eólico factible a corto plazo en el Ecuador 40
Anexo 6: Mapa del potencial eólico factible en el Ecuador 41
Anexo 7: GW70/1500 Wind Turbine Technical Description 42
Anexo 8: BS 61400-1 Wind Turbines – Part 1: Design requirements 53
Anexo 9: Diagrama o árbol de red correspondiente a los resultados de la caracterización, categoría de cambio climático, para la producción de 1kWh (3.6 MJ) de electricidad a partir de la tecnología eólica en Ecuador 59
Anexo 10: Tabla 17 60
Anexo 11: Diagrama de red correspondiente a los resultados de la caracterización, en la categoría de cambio climático, para la etapa de construcción de un aerogenerador de 1.5MW. 62
Anexo 12: Diagrama de red correspondiente a los resultados de la caracterización, en la huella hídrica, para la producción de 1kWh (3.6 MJ) de electricidad a partir de la tecnología eólica en Ecuador. 63
Anexo 13: Tabla 18 64
Anexo 14: Diagrama o árbol de red correspondiente a los resultados de la caracterización, de la huella hídrica, para la construcción de un aerogenerador de 1.5MW 66
Anexo 15: El FODA como herramienta de Planificación Estratégica 67
Anexo 16: Demanda Acumulada de Energía y Tasa de Retorno Energético 68

ACRÓNIMOS DE ENTIDADES

AIE	*Agencia Internacional de Energía, ver también IEA*
ARCONEL	*Agencia de Regulación y Control de Electricidad*
BNL	*Brookhaven National Laboratory*
CELEC EP	*Corporación Eléctrica del Ecuador Empresa Pública*
EERSSA	*Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A.*
GENSUR	*Generadora del Sur*
GWEC	*Global Wind Energy Council*
IEA	*International Energy Agency, ver también AIE*
IEC	*International Electrotechnical Commission*
IIGE	*Instituto de Investigación Geológico y Energético*
ISO	*International Organization for Standardization*
MERNNR	*Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables*
MERR	*Ministerio de Electricidad y Energía Renovable*
NREL	*National Renewable Energy Laboratory*
OLADE	*Organización Latinoamericana de Energía*
RSC	*Royal Society of Chemistry*

ACRÓNIMOS DE UNIDADES

A	*Amperios*
BEP	*Barriles equivalentes de petróleo*
GWh	*Gigavatios-hora*
kBEP	*Miles de barriles equivalentes de petróleo*
kg	*Kilogramos*
kg CO_2 eq/kWh	*Kilogramos de CO_2 equivalentes por cada kWh*
km	*Kilómetros*
kV	*Kilovoltios*
kW	*Kilovatios*
kWh	*Kilovatios-hora*
kWh_{eq}	*Kilovatios-hora equivalentes*
m^2	*Metros cuadrados*
m^3	*Metros cúbicos*
m^3/kWh	*Metros cúbicos por cada kWh*
Mbbl	*Millones de barriles (10^6 barriles)*
MBEP	*Millones de barriles equivalentes de petróleo (10^6 barriles)*
MJ_{eq}	*Millones de Joules equivalentes*
m.s.n.m.	*Metros sobre el nivel del mar*
$MtCO_2$	*Millones de toneladas de dióxido de carbono*
Mtep	*Millones de toneladas equivalentes de petróleo*
MVA	*Megavoltiosamperios*
MW_e	*Megavatios eólicos*
MWh	*Megavatios-hora*
my	*Millas al año*
Ω	*Ohmios*
rpm	*Revoluciones por minuto*
tkm	*Toneladas por kilómetro*
ton	*Toneladas*
TWh/año	*Teravatios-hora/año*
V	*Voltios*

ACRÓNIMOS VARIOS

ACV	*Análisis de Ciclo de Vida, ver también LCA*
AEG	*Aerogenerador*
BS	*British Standard*
CED	*Cumulative Energy Demand, ver también DAE*
CEV	*Central Eólica Villonaco*
CV	*Ciclo de Vida*
DAE	*Demanda Acumulada de Energía, ver también CED*
ERNC	*Energías Renovables No Convencionales*
EROI	*Energy Return on Investment, ver también TRE*
FODA	*Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas*
GEI	*Gases de Efecto Invernadero*
GLO	*Global (código de región)*
GLP	*Gas Licuado de Petróleo*
GW	*GoldWind*
HC	*Huella de Carbono*
HH	*Huella Hídrica*
ICV	*Inventario del Ciclo de Vida*
LCA	*Life Cycle Assessment, ver también ACV*
MCI	*Motor de Combustión Interna*
MP's	*Materias Primas*
PE	*Parque Eólico*
RoW	*Rest of the World (código de región)*
SNI	*Sistema Nacional Interconectado*
TFM	*Trabajo Final de Máster*
TRE	*Tasa de Retorno Energético, ver también EROI*

RESUMEN

Se considera que la tecnología eólica se encuentra entre los tipos más prometedores de fuentes de energía renovables, y debido a los altos precios de petróleo, a la creciente preocupación sobre el cambio climático y la seguridad energética, ha sido objeto de amplias consideraciones en los últimos años, incluyendo cuestionamientos relacionados a la sostenibilidad relativa de la producción de electricidad cuando se tienen en cuenta los procesos de fabricación, montaje, transporte y desmantelamiento de dichas instalaciones.

El presente estudio evalúa los impactos medioambientales, emisiones de carbono y consumo de agua, derivados de la producción de energía eléctrica del parque eólico Villonaco, ubicado en Loja-Ecuador, durante su ciclo de vida completo, utilizando para efecto el Análisis del Ciclo de Vida.

Finalmente, se llega a la conclusión de que la energía eólica cuenta con mayores ventajas medioambientales, pues presenta valores inferiores de huellas de carbono e hídrica que otras fuentes de energía. Adicionalmente, con las técnicas de la Demanda Acumulada de Energía y la Tasa de Retorno Energético, se demuestra la sostenibilidad en la producción de electricidad a partir de la energía eólica en el Ecuador; y, que por temas de vulnerabilidad frente al cambio climático, es imprescindible la diversificación de su matriz energética considerando la inclusión de fuentes renovables no convencionales como la solar o la eólica, siendo éste, el único modo de reducir tanto la huella de carbono como la hídrica del suministro de energía.

ABSTRACT

Wind technology is considered to be among the most promising types of renewable energy sources, and due to high oil prices, growing concerns about climate change and energy security, it has been the subject of extensive considerations in recent years, including questions related to the relative sustainability of electricity production when the manufacturing, assembly, transportation and dismantling processes of these facilities are taken into account.

The present study evaluates the environmental impacts, carbon emissions and water consumption, derived from the production of electric energy of the Villonaco wind farm, located in Loja-Ecuador, during its entire life cycle, using the Life Cycle Analysis for this purpose.

Finally, it is concluded that wind energy has greater environmental advantages, since it has lower values of carbon and water footprints than other energy sources. Additionally, with the techniques Cumulative Energy Demand and Energy Return on Investment, sustainability in the production of electricity from wind power in Ecuador is demonstrated; and, that due to issues of vulnerability to climate change, the diversification of its energy matrix is essential considering the inclusion of non-conventional renewable sources such as solar or wind, this being the only way to reduce both the carbon footprint and the water supply power.

1. Introducción

El desarrollo de tecnologías energéticas más limpias y eficientes y el uso de fuentes de energía renovables desempeñarán un papel importante en el desarrollo sostenible de una futura estrategia energética. La promoción de las fuentes de energía renovables y el desarrollo de sistemas energéticos más limpios y eficientes son de alta prioridad para la seguridad y la diversificación del suministro energético, la protección del medio ambiente y la cohesión social y económica (Agencia Internacional de la Energía – AIE 2006).

En el 2018, los cinco principales mercados, para los cuales el sector de la energía eólica le correspondió ser el sector de la energía renovable de mayor crecimiento fueron: China, USA, Alemania, India y Brasil (GWEC – Global Wind Report 2018 – Market Status 2018, Anexo 1). La motivación cardinal para la adopción de esta tecnología se debe en gran medida a la búsqueda de formas de energía con bajas emisiones de carbono y que permitan una menor dependencia a los combustibles fósiles (Martínez et al., 2008).

"La energía sostenible es proporcionar la energía que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades" (Ghenai, 2012), basándose en la premisa de utilizar la energía cinética del viento para generar una forma limpia de electricidad, la energía eólica parece ser la solución ideal para este problema. Sin embargo, la tecnología ha sido recientemente objeto de examen debido a los cuestionamientos planteados sobre la sostenibilidad relativa de la energía eólica cuando se tienen en cuenta los procesos de fabricación, transporte y eliminación (Tremeac & Meanier, 2009). Tomando en consideración que estas turbinas están hechas de una combinación de metales, hormigón y fibra de vidrio, y los procesos asociados de transporte, instalación y desmantelamiento, se requiere una cantidad considerable de energía, derivada de los combustibles fósiles, durante las etapas de su ciclo de vida.

Una herramienta recomendable para cuantificar los impactos medioambientales de un sistema de energía renovable, en todas las etapas de su vida útil, es indudablemente el Análisis del Ciclo de Vida (LCA), la misma que también permite la comparación más precisa entre dicho sistema de energía con uno convencional. Este estudio, aplica dicha herramienta a un aerogenerador perteneciente a un parque eólico del Ecuador, ubicado en la región de Villonaco, en la provincia de Loja, y evalúa así las emisiones asociadas a su ciclo de vida.

2. Objetivo y Alcance

El objetivo principal de este TFM es evaluar los impactos medioambientales (emisiones de CO_2 y consumo de agua) derivados de la producción eléctrica de un parque eólico terrestre de 16.5 MW formado por 11 aerogeneradores GW70 de 1.5MW mediante el LCA.

*Para tal efecto, se practicará el Análisis de Ciclo de Vida (**LCA**, por su acrónimo en inglés de **"Life Cycle Assessment"**) a uno de los aerogeneradores que conforman dicho parque eólico, de marca GoldWind, emplazado a lo largo de la línea de cumbre del cerro Villonaco, provincia de Loja, a lo largo de todo su ciclo de vida; es decir, desde su construcción hasta su desmantelamiento final.*

El análisis se concentrará principalmente en la evaluación de las emisiones de dióxido de carbono y en el consumo de agua que comporta el ciclo de vida completo de esta tecnología; es decir, la determinación de su huella de carbono y de su huella hídrica. Cabe señalar que, en el Ecuador, no existen estudios sobre dicha aplicación; sólo se menciona, a través de dependencias gubernamentales, que la referida evaluación es importante, más no se han logrado efectuar estudios específicos en este ámbito, por lo que el presente trabajo constituye un punto de inicio en este tipo de análisis aplicado a la generación eólica en Ecuador.

La información utilizada para este TFM fue proporcionada por la Unidad de Negocio GENSUR de la Corporación Eléctrica del Ecuador - CELEC EP y consultada a la ARCONEL, Agencia de Regulación y Control de Electricidad, la cual, y en su mayoría, corresponde a 2017 y 2018, por lo que se puede considerar que este estudio es lo suficientemente actualizado.

Para el efecto, se llevarán a cabo una serie de simulaciones utilizando la herramienta informática SimaPro versión 9.0.0.35, de PRé Consultants, recreando todos y cada uno de los procesos necesarios para la producción de 1 kWh de electricidad a partir de la tecnología eólica, desde el procesamiento de los materiales utilizados en la construcción de la central, hasta la fase final de tratamiento de residuos tras el desmantelamiento de esta, incluyendo los transportes necesarios, así como lo concerniente a la operación y mantenimiento. Con todo esto, se podrá entonces identificar cuáles son las entradas y las salidas de materia y energía que se consideren más determinantes de cada fase, tanto en la contribución de emisiones de CO_2 como en el consumo de agua, tal como ya se lo mencionó anteriormente.

De esta manera, y con el presente estudio, se espera poder incentivar al Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, así como a la Agencia de Regulación y Control de Electricidad – ARCONEL, del Ecuador, para que repliquen lo concerniente al resto de las tecnologías que constituyen el mix energético ecuatoriano, para así poder compararlas y tomar las decisiones que correspondan en torno a sostenibilidad energética.

3. Situación energética del Ecuador

3.1 Producción de energía primaria

Para el periodo 2007-2017, en la matriz de demanda de energía primaria de Ecuador; y, de acuerdo a lo que se muestra en la Figura No.1, el recurso energético dominante fue el petróleo, alcanzando la producción del crudo su máximo histórico hasta el año 2014, con un volumen anual de 203 Mbbl y manteniendo un promedio de 190 Mbbl durante ese periodo de tiempo. Por otro lado, se tuvo una menor participación en la matriz de energía primaria lo concerniente a la producción de energía derivada de fuentes renovables, mostrando, sin embargo, un incremento de participación del 41% en el referido intervalo de tiempo, contando como principal componente a la energía hidráulica.

Como se puede apreciar, la evolución de la demanda energética en los últimos once años ha sido menor en comparación con la producción total de energía primaria del país, convirtiéndolo al Ecuador en un exportador neto de energía primaria. A pesar de aquello, el

país requiere la importación de energía final en forma de derivados de petróleo para poder abastecer la demanda energética sectorial.

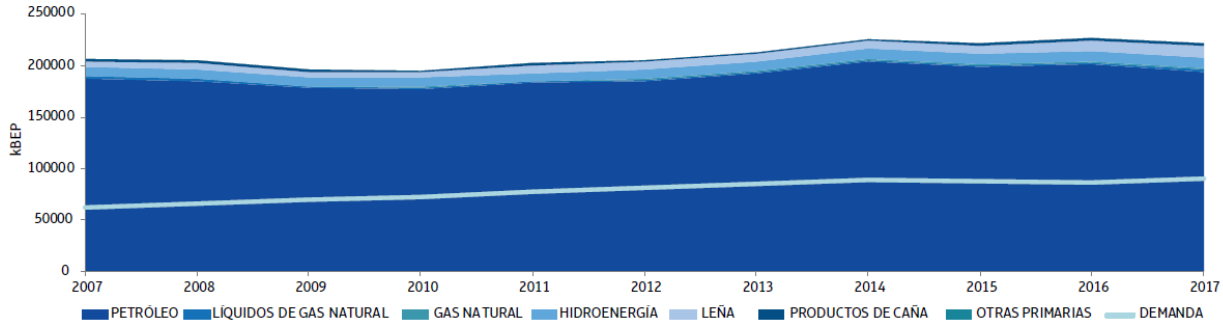


Figura 1: Evolución de la producción de energía primaria, periodo 2007-2017
Fuente: MERNNR

En el 2017, la producción de energía primaria alcanzó los 222 MBEP; es decir 32.44 Mtep. Del total producido, 87% corresponde al petróleo, 5% al gas natural, y 8% a energía de origen renovable (hidroenergía, leña, productos de caña, energía eólica y fotovoltaica), tal como se puede apreciar en la Figura 2, donde se muestra un diagrama de Sankey que relaciona la energía primaria y la final en el Ecuador en ese año. Cabe mencionar que, en 2017, con relación al 2016, y debido a una reducción de 3.4% en la producción de crudo, se produjo una disminución del orden de 2.1% en la producción primaria total. Por otro lado, en ese año, la producción de hidroenergía se incrementó en 26.9%, en tanto que la energía renovable proveniente de productos de caña, fuentes eólicas, fotovoltaicas y biogás aumentó 13.8%.

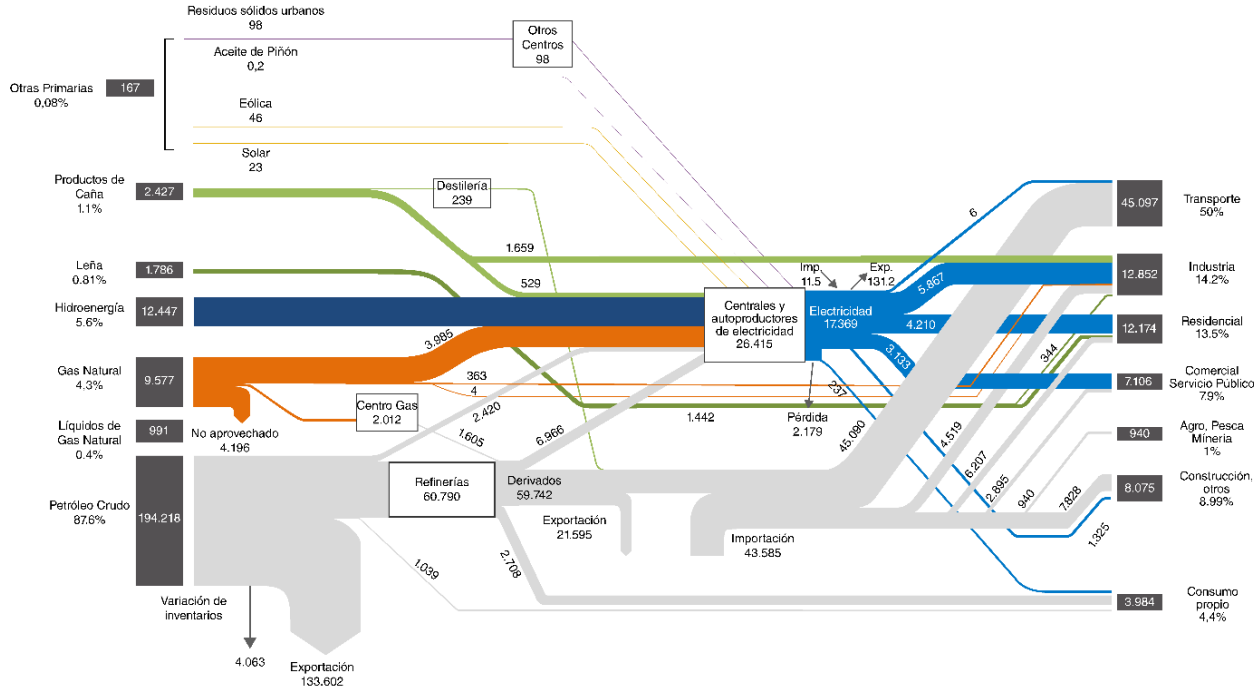


Figura 2: Estructura Energética de Ecuador 2017
Fuente: IIGE

3.2 Producción de energía final

En la Figura 3, se puede observar la producción de energía final en el país, comparada con la demanda energética entre 2007 y 2017, donde fácilmente se puede apreciar que, desde el 2009, la demanda energética sobrepasó a la producción de energía final, habiendo requerido la importación de productos energéticos para satisfacer una parte de la demanda existente.

Entre 2007 y 2017 la producción de energía final aumentó en un 11.1%, pasando de 68 MBEP a 75 MBEP. Evidentemente, durante el periodo de estudio, la fuente principal de energía final producida en Ecuador ha sido el fuel oíl, le siguen: la electricidad, el diésel (gasóleo) y la gasolina, respectivamente.

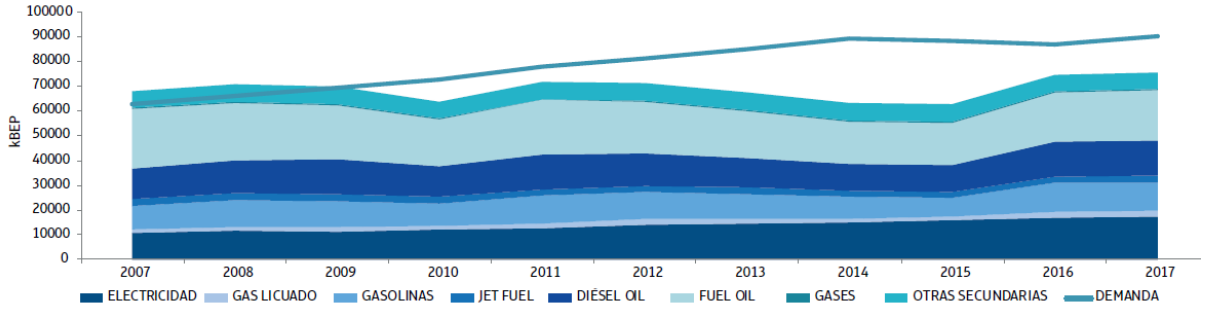


Figura 3: Evolución de la producción de energía secundaria, periodo 2007-2017
Fuente: MERNNR

3.3 Consumo de Energía

La demanda de energía en el Ecuador ha registrado un incremento de 43.8% durante el período de análisis, pasando de 63 MBEP en el año 2007 a 90 MBEP en 2017. De acuerdo a la tendencia histórica, el sector transporte es el mayor demandante de energía, con una estimación promedio de 34 MBEP en los últimos once años. Por su parte, los sectores industrial y residencial se presentan, respectivamente, como el segundo y el tercer mayor requeridor energético, correspondiéndoles a cada uno, y en ese mismo orden, un valor promedio de 12 MBEP y 11 MBEP en este mismo período de tiempo.

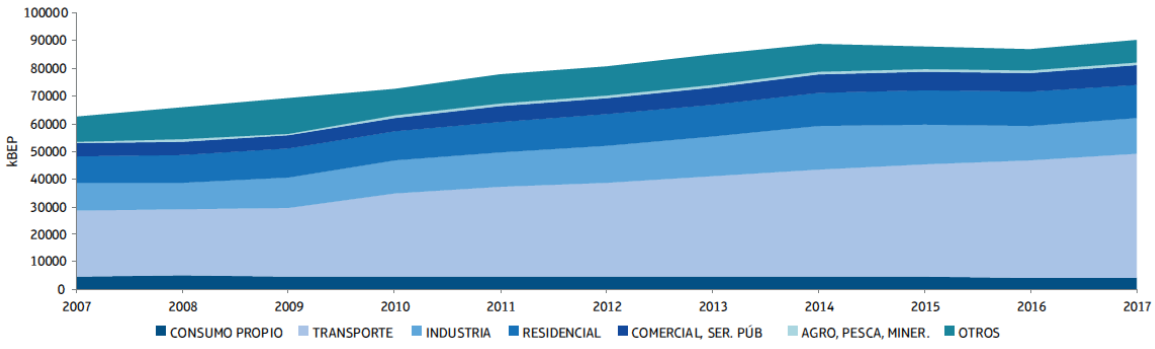


Figura 4: Evolución del consumo de energía por sectores, periodo 2007-2017
Fuente: MERNNR

Por otro lado, puede apreciarse en la Figura 5 cómo ha evolucionado la demanda de energía por fuente en el Ecuador. Los energéticos mayormente requeridos en el país han sido los combustibles fósiles, sosteniendo una participación media del 78% entre 2007 y 2017. Las fuentes de mayor participación han sido el diésel y la gasolina, mostrando un incremento entre 2007 y 2017 del 44 % y 77 %, respectivamente. Por otra parte, la demanda de energía eléctrica durante el período de estudio experimentó un crecimiento del 83%. Por último, el gas licuado de petróleo (GLP), principal energético consumido en la cocción, obtuvo un aumento durante el mismo período del 13%.

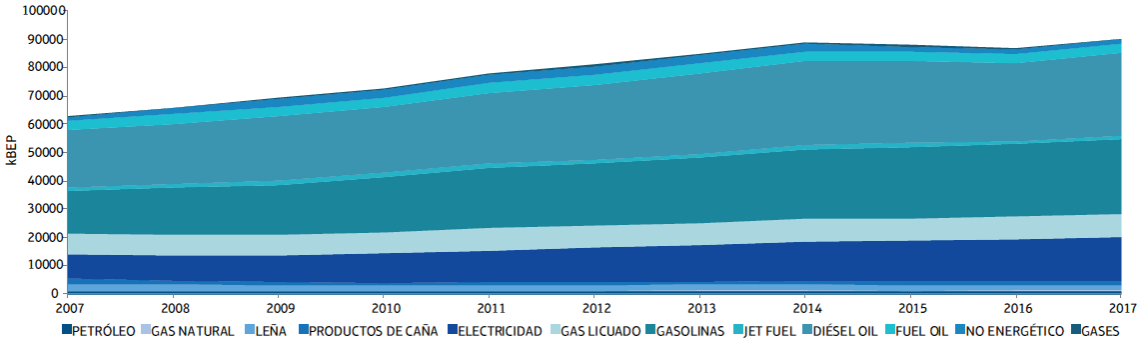


Figura 5: Evolución del consumo de energía por fuentes, periodo 2007-2017
Fuente: MERNNR

3.4 Las energías renovables en el Ecuador

A escala mundial, y Ecuador no es la excepción, durante los años próximos, las energías renovables tendrán un rol muy importante con el fin de que pueda llevarse a cabo la transición energética. La energía eléctrica en el Ecuador proviene de fuentes renovables y fuentes no renovables. Aquella que se produce mediante fuentes renovables, está compuesta por centrales hidroeléctricas, fotovoltaicas, eólicas y termoeléctricas que consumen biomasa y biogás; mientras que las de tipo no renovables utilizan combustibles fósiles y son clasificadas en turbogás, turbovapor y motores de combustión interna (MCI). En el 2017, las fuentes de energía renovables representaron más del 62 % de la potencia efectiva a nivel nacional, tal como se puede apreciar en la Tabla 1.

Tipo Fuente	Tipo de Central	Tipo de Unidad	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva	
				(MW)	%
Renovable	Hidráulica	Hidráulica	4.515,96	4.486,41	60,34
	Biomasa	Turbovapor	144,30	136,40	1,83
	Fotovoltaica	Fotovoltaica	26,48	25,59	0,34
	Eólica	Eólica	21,15	21,15	0,28
	Biogás	MCI	7,26	6,50	0,09
Total Renovable			**4.715,15**	**4.676,05**	**62,89**
No Renovable	Térmica	MCI	1.937,48	1.551,47	20,87
		Turbogás	921,85	775,55	10,43
		Turbovapor	461,87	431,74	5,81
Total No Renovable			**3.321,19**	**2.758,76**	**37,11**
Total general			**8.036,34**	**7.434,81**	**100,00**

Tabla 1: Potencia nominal y efectiva por tipo de fuente, año 2017
Fuente: ARCONEL

La potencia nominal para generación eléctrica casi duplicó su valor entre 2007 y 2017, pasando de 4,478 MW a 8,036 MW. En la figura 6 se encuentra representado lo correspondiente a capacidad instalada para 2017, donde se puede apreciar una participación del 56% de hidroeléctricas, 41% de térmica y el resto corresponde a otras plantas de energías renovables.

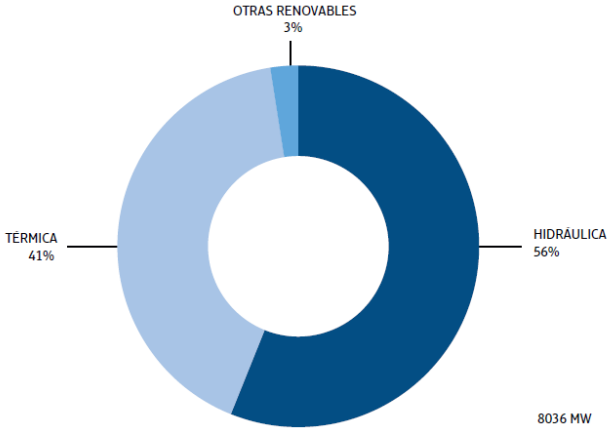


Figura 6: Capacidad instalada, año 2017.
Fuente: MERNNR

Las energías renovables han ido aumentando su relevancia en el mix de la generación eléctrica nacional de manera continua a lo largo de la última década. Comparando la generación de energía eléctrica entre 2017 y 2016, la generación hidroeléctrica incrementó en 27%, mientras que la energía eléctrica proveniente de otras fuentes renovables se redujo en 7%, la termoelectricidad se redujo en 32% y la importación disminuyó en 77%. A pesar de esta gestión, las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) han venido aumentando en el tiempo, debido al incremento en la producción de energía para abastecer una demanda que también ha crecido en los últimos 11 años. Es así, que de 29.92 $MtCO_2$ equivalentes emitidas en 2007, se alcanzó un valor de 38.21 $MtCO_2$ equivalente en el 2017, lo cual representa un incremento de 27.7% en este periodo de tiempo. Para 2017 el sector con mayores emisiones es el transporte, al ser este el principal demandante de energía proveniente de fuentes fósiles, generando 50% del total de emisiones de GEI. Otros sectores con emisiones importantes son el sector residencial y el sector industrial con 9% cada uno.

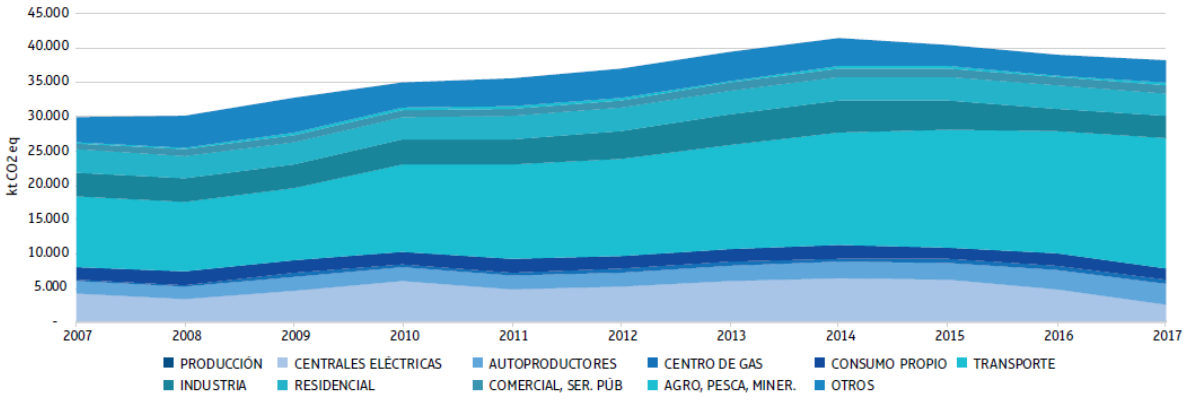


Figura 7: Evolución de las emisiones de GEI por actividad, periodo 2007-2017
Fuente: MERNNR

3.4.1 Proyectos eólicos en el Ecuador

Debido a la relevancia medioambiental del Archipiélago de Galápagos, ubicado en la región insular ecuatoriana, el gobierno a través de su Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, estableció como meta satisfacer toda su demanda eléctrica con energías renovables. Es así que el primer parque eólico del país, de 2.4 MW de capacidad, ubicado en la isla San Cristóbal del Archipiélago de Galápagos, se inauguró en octubre de 2007, conformado por tres aerogeneradores Made AE-59 de 800 kW. En el 2014 se incorporó el segundo parque eólico, de 2.25 MW de capacidad, proyectado a 12 MW y conformado inicialmente por tres aerogeneradores de 750 kW, ubicados en la isla Baltra del Archipiélago de Galápagos y que se conectan con el sistema eléctrico de la isla Santa Cruz a través del Sistema de Interconexión Eléctrica Baltra – Santa Cruz de 34.5 kV y 50 km de longitud.

Figura 8: Parque Eólico San Cristóbal; Latitud: -0° 53' 30.6", Longitud: -89° 29' 55.7"
Fuente: The Wind Power – Wind Energy Market Intelligence

El primer parque eólico construido en territorio continental ecuatoriano es la Central Eólica Villonaco – CEV, ubicado en la provincia de Loja a 14 km de su capital; específicamente construida a lo largo de la línea de cumbre del cerro Villonaco, a una altura aproximada de 2,720 m.s.n.m., conformado por once aerogeneradores GoldWind modelo GW70 de 1.5 MW, contando con una potencia instalada de 16.5 MW.

Figura 9: Parque Eólico Villonaco; Latitud: -4° 0' 8", Longitud: -79° 15' 31.7"
Fuente: The Wind Power – Wind Energy Market Intelligence

En la actualidad, estaría por construirse un Parque Eólico de 51.75 MW de capacidad, conformado por 15 aerogeneradores GAMESA G132/3.45 MW emplazados en la zona denominada Minas de Huascachaca de la provincia de Loja.

A pesar de que la tecnología eólica tiene una pequeña participación, tanto a nivel de generación de electricidad como de potencia instalada, se ha determinado que el Ecuador cuenta con un Potencial Eólico Disponible Bruto Total del orden de 1.7 GW, y un Potencial Eólico Factible a corto plazo de 0.9 GW, simultáneamente con una producción energética asociada de 2.9 TWh/año y 1.5 TWh/año respectivamente, tal como se lo indica en la columna Integración Acumulada contenida en los correspondientes Anexos 3 y 4.

En cada aerogenerador de la CEV se encuentra instalado un transformador del tipo Pad-Mounted, que eleva la tensión de 620 V a 34.5 kV; a continuación, en la subestación eléctrica Villonaco se eleva la tensión de 35 kV a 69 kV con un transformador de potencia de 25 MVA a partir del cual se entrega la energía al Sistema Nacional Interconectado (SNI) a través de la subestación Loja. En la siguiente figura se muestra el diagrama unifilar de dicha central.

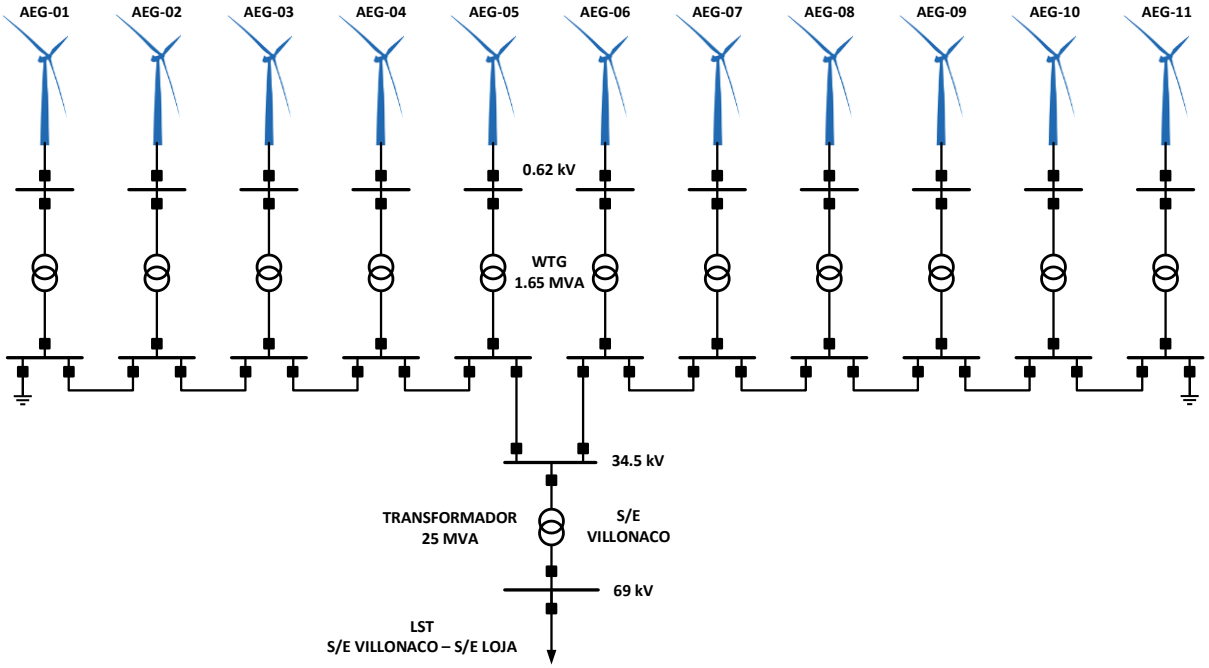


Figura 10: Diagrama unifilar de la Central Eólica Villonaco
Fuente: elaboración propia, datos proporcionados por EERSA & CELEC EP GENSUR

La orografía de Ecuador divide el territorio en cuatro zonas climáticas bien definidas. De Este a Oeste, estas zonas climáticas son las siguientes: la zona Oriental o Amazónica, la zona de la Sierra, la zona de la Costa y las islas Galápagos o Región Insular. En la Sierra ecuatoriana, la Cordillera de los Andes provoca una compresión de los vientos, ocasionando una aceleración de los mismos. Estos fuertes vientos, que de acuerdo a Global Wind Atlas tienen una dirección dominante de 90º hacia el Este, se producen en emplazamientos muy elevados, donde además de la dificultad del acceso a los mismos, la energía del viento disminuye proporcionalmente al descenso de la densidad que se produce con la altitud.

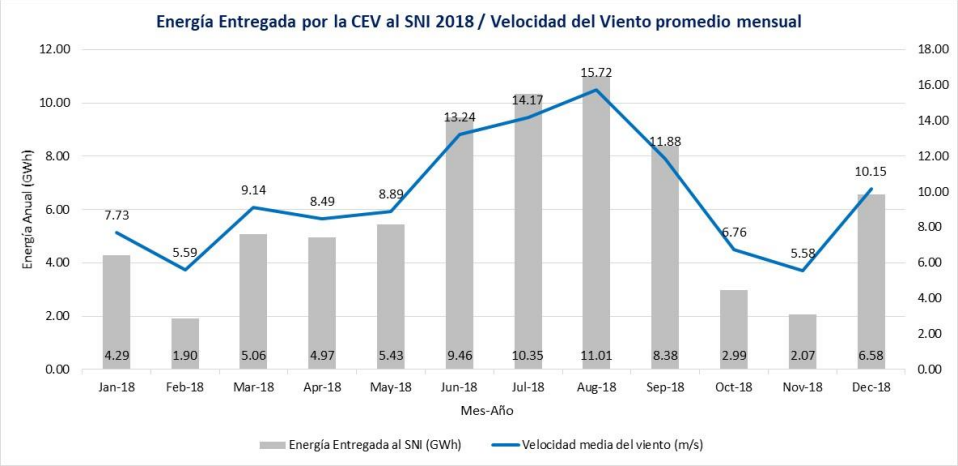


Figura 11: Año 2018, Energía entregada al SIN y velocidad del viento promedio mensual
Fuente: elaboración propia, datos proporcionados por CELEC EP GENSUR

En la zona de emplazamiento del PE Villonaco existe una marcada estacionalidad donde se hacen presente vientos fuertes en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, tal como se puede apreciar en la Figura 11. Aun cuando la provincia de Loja se encuentra ubicada en el ecuador equinoccial, por la misma topografía de las montañas del sector se generan áreas de dicho territorio con alta densidad de energía. Con un factor de planta de 62.5%, un total de 72.49 GWh fueron entregados por la CEV al SNI en el 2018, superando así el valor de 41.6% de factor de planta garantizado, declarado en el estudio de factibilidad. De esta manera, y por las condiciones previamente expuestas, la referida central de generación eólica se encuentra generando un 52% por encima de lo planificado. Es por ello, entre otras razones, por lo que se ha decidido que este proyecto verse sobre esta última tecnología.

Con la finalidad de conocer un poco más acerca del aerogenerador que ha sido seleccionado para el presente ACV, se ha incluido en el Anexo 7, la Descripción Técnica que realiza su fabricante, la empresa Gold Wind Science & Creation Wind Power Equipment Co.Ltd.

4. Análisis del Ciclo de Vida

4.1 Definición del Objetivo y Alcance

La finalidad del presente LCA es evaluar y ponderar los potenciales impactos ambientales, asociados a la generación eléctrica a partir de la energía eólica en Ecuador, específicamente relacionados a sus huellas hídrica y de carbono, con el propósito de incentivar al Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables – MERNNR, así como a la Agencia de Regulación y Control de Electricidad – ARCONEL, para que repliquen lo concerniente al resto de las tecnologías que constituyen el mix energético ecuatoriano, y así poder compararlas para tomar las decisiones que correspondan en torno a sostenibilidad energética.

*En cuanto al **alcance**, para el ACV de la energía eólica, se estudiará el Parque Eólico Villonaco, ubicado en Loja-Ecuador. Específicamente, el estudio se concentrará en el ACV de un aerogenerador de 1.5 MW de potencia, fabricado por la empresa GoldWind, modelo*

GW70. En cuando a la vida útil del parque eólico, se considerará que es de 20 años. Esto corresponde a la vida útil de diseño de la turbina GW70 de 1.5 MW y se aplica a todos los componentes del parque eólico, excepto a ciertas piezas de recambio. Este valor de vida útil es el establecido por la norma ***BS 61400-1: Wind Turbines – Part 1: Design requirements*** *contenida en el Anexo 8. Sin embargo, como la industria de las turbinas eólicas es medianamente joven (habiéndose iniciado en 1979, hace 40 años), el tiempo de vida real de un parque eólico, en particular, es incierto y se espera alguna variación en torno a esta cifra de 20 años. Así, GoldWind tiene conocimiento directo de que algunas de sus turbinas superan la vida útil de diseño de 20 años. Los efectos de la variación de la vida útil de un parque eólico sobre los posibles impactos ambientales serán brevemente discutidos más adelante.*

Con relación a los límites o fronteras, se ha determinado que éste se realice "de la cuna a la tumba"; es decir, desde la fabricación de los materiales que componen el precitado aerogenerador hasta el fin de su vida útil; así también, desde la extracción misma de las materias primas, continuando a la fabricación de los diferentes componentes y la construcción de la central eólica, hasta llegar a su operación y, finalmente, su desmantelamiento, incluyendo -claro está- en cada una de las etapas todos los transportes necesarios.

Como parte del estudio y uso de la correspondiente herramienta informática es importante definir lo que es la Unidad Funcional que corresponde al parámetro que cuantifica la acción del producto o sistema cuando se ejecuta la función asociada. La Norma ISO 14040:1999 define a la Unidad Funcional como ***"Desempeño cuantificado de un sistema producto para usarlo como una unidad de referencia en un estudio de análisis de ciclo de vida"****. Dado que la función de los aerogeneradores es la producción eléctrica; y, dado que estas máquinas se fabrican con distintas características, la Unidad Funcional a utilizarse en este ACV es el kWh de energía entregada a la red. Así, el consumo energético que se registre para las distintas etapas del ciclo de vida del aerogenerador GW70 (producción, instalación, operación y mantenimiento, y final de vida útil) será referido a dicha cantidad de energía.*

4.2 Herramienta Informática utilizada

Con el propósito de poder llevar a cabo las simulaciones necesarias en el presente estudio; y, tomando en consideración a los objetivos que fueron declarados anteriormente, se ha decidido que la herramienta informática más apropiada para tal efecto es el software SimaPro v9.0.0.35 - 2019. Este programa ha sido desarrollado por la empresa holandesa PRé Consultants y es sin duda alguna el más utilizado en todo el mundo a la hora de efectuar el Análisis de Ciclo de Vida. La referida herramienta está equipada con muchos datasets de Inventario de Ciclo de Vida (ICV), permitiendo combinar bases de datos propias elaboradas por el usuario con aquellas bibliográficas que vienen incluidas en el paquete del programa, como lo son: la reconocida base de datos ECOINVENT, ELCD, USLCI, AGRI-FOOTPRINT, EU & DK Database, entre otras. Dichas bases de datos contienen una inmensa cantidad de información en relación a las entradas y salidas de materia y energía de una gran variedad de procesos y sustancias entre los que se encuentran materiales de todo tipo y productos relacionados con el transporte y la generación energética. Esta información es proporcionada gracias a los diversos acuerdos que ECOINVENT mantiene tanto con instituciones públicas como con instituciones privadas (García Oca & Tapia Fernández, 2008).

Para el desarrollo del TFM, y con la intención de complementar aquella información que no se logró obtener por fuentes directas; y, por considerarla la más completa y la más reconocida a nivel internacional en lo concerniente al LCA, se ha utilizado la base de datos ECOINVENT v3.5, cuya más reciente compilación fue realizada en agosto de 2018.

Por otra parte, para el cálculo de la huella de carbono para la tecnología eólica, se va a utilizar el método de análisis de impacto europeo ***"ILCD 2011 Midpoint+ v1.10 / EC-JRC Global, equal weighting"****. Este método permite efectuar la evaluación de hasta catorce categorías de impacto distintas, sin embargo, nuestro análisis se focalizará exclusivamente en la categoría de cambio climático, pues es la única que es de interés por determinar la cantidad de las emisiones de CO_2 equivalente que se ha generado. De la misma manera, para el cálculo de la huella hídrica se utilizará el conocido y recomendado método de impacto* ***"Berger et al., 2014, Water Scarcity, v1.0"*** *dedicado exclusivamente al análisis de esta categoría.*

5. Análisis del Ciclo de Vida del Parque Eólico Villonaco

5.1 Antecedentes

Con el propósito de evaluar y cuantificar el impacto ambiental, así como determinar el valor de las emisiones evitadas al medio ambiente y su contribución en la no afectación al cambio climático por parte de la tecnología eólica, durante el pasar de los años se han llevado a efecto números estudios sustentados en la metodología del ACV; entre ellos, los más destacados, y que han servido de base para la realización del presente trabajo, son los siguientes:

"Life-cycle assessment of a 2-MW rated power wind turbine: CML method" *estudio realizado en el 2009 por: Eduardo Martínez, Félix Sanz, Stefano Pellegrini, Emilio Jiménez y Julio Blanco, profesores de la Universidad de La Rioja – España.*

"Análisis de Ciclo de Vida de 1kWh Generado por un Parque Eólico Onshore GAMESA G90-2.0MW"*, llevado a efecto por José Ramón Muro Pereg y Javier Fernández de la Hoz Múgica, mayo-2013.*

"Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V100-2.0 MW Wind Plant"*, llevado a efecto por la empresa Vestas Wind Systems A/S, diciembre-2015, autores: Priyanka Razdan, Peter Garrett.*

Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V112-3.45 MW Wind Plant"*, llevado a efecto por la empresa Vestas Wind Systems A/S, julio-2017, autores: Priyanka Razdan, Peter Garrett.*

"Life Cycle Assessment of Offshore and Onshore Sited Wind Farms"*, llevado a efecto por Elsam Engineering A/S, (2004), Report by Vestas Wind Systems A/S of the Danish Elsam Engineering.*

5.2 Etapas del Ciclo de Vida

En la figura adjunta, se esquematiza el ciclo de vida, incluyendo todas las etapas que atravesará una turbina eólica, desde la extracción de la primera materia prima hasta su reciclaje o eliminación final, las mismas que pueden ser agrupadas en 7 etapas claramente diferenciadas; a saber: Aprovisionamiento de Materias primas y Componentes, Fabricación, Distribución, Montaje, Operación, Mantenimiento y Desmantelamiento (Fin de Vida).

Sin embargo, para el presente trabajo y con el propósito de facilitar la comprensión de los resultados, se han agrupado las 7 etapas en 5 fases, de la siguiente manera:

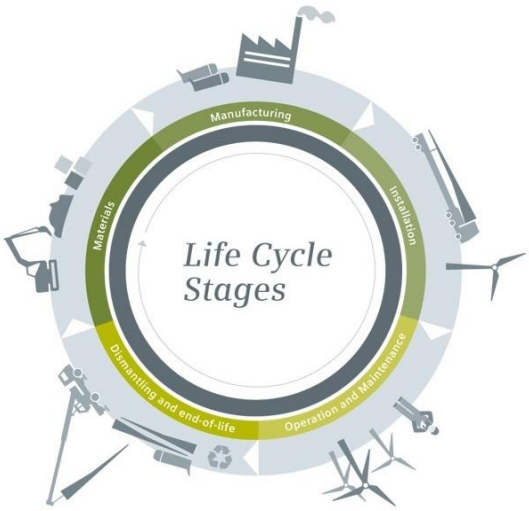


Figura 12: Esquema CV de una turbina eólica.
Fuente: Siemens Wind Power

Fase de Construcción: *en la cual se incluye la parte de aprovisionamiento de MP's y componentes necesarios para los diferentes elementos que conforman el parque eólico y para la consiguiente fabricación de cada una de los componentes del aerogenerador, incluyendo los conductores requeridos para la conexión eléctrica.*

Fase de Distribución: *en la cual se incluye tanto transporte de las materias primas para la fabricación de los aerogeneradores, como el transporte al lugar de emplazamiento, y todo el transporte que se requiere durante el tiempo de operación del parque eólico.*

Fase de Montaje o levantamiento del parque eólico: *la misma que considera todos los trabajos que se requieren realizar para erigir e instalar los aerogeneradores.*

Fase de Operación y Mantenimiento: *referida al mantenimiento del parque eólico, considerando los mantenimientos preventivos y correctivos necesarios, básicamente lo concerniente a cambios de aceite y lubricación.*

Fase de Desmantelamiento y "Fin de Vida": *incluye el desmontaje del parque eólico, así como el transporte para la eliminación de residuos y/o el reciclaje de los componentes que pueden ser aprovechables.*

5.3 Simulación en SimaPro

Para realizar la simulación en SimaPro, relacionada a la tecnología eólica, se ha utilizado el aerogenerador de marca GoldWind, modelo GW70 de 1.5 MW, empresa fabricante que en el año 2018 ocupó el segundo lugar entre las 15 principales compañías proveedoras de turbinas eólicas en el mercado mundial, tal como se puede apreciar en la Figura 13. Con relación al inventario de materiales y otra información sensible requerida, fueron proporcionadas por la Unidad de Negocio GENSUR de la Corporación Eléctrica del Ecuador, CELEC EP, unidad que administra la operación y mantenimiento del Parque Eólico Villonaco. Adicionalmente,

se ha tomado como referencia el Análisis del Ciclo de Vida realizado en el 2009 por: Eduardo Martínez, Félix Sanz, Stefano Pellegrini, Emilio Jiménez y Julio Blanco, profesores de la Universidad de La Rioja – España, en lo que sea pertinente, por supuesto.

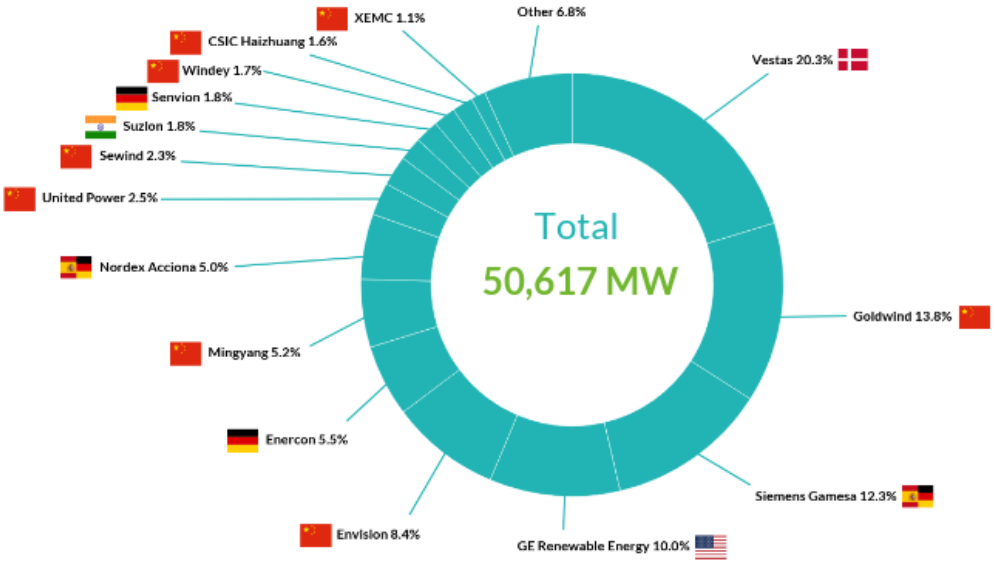


Figura 13: Principales proveedores de turbinas eólicas en el mercado mundial, año 2018
Fuente: Global Wind Energy Council – GWEC

5.3.1 Construcción del aerogenerador

Aunque el presente ACV fue declarado para ser realizado "de la cuna a la tumba" (Jeroen B. Guinée, 2001); y, al no poder contar con información específica en lo tocante a las materias primas así como en lo relacionado con el procesamiento de las mismas, con el propósito de elaborar los distintos insumos con los que fabrican cada uno de los componentes del aerogenerador en estudio, se iniciará directamente el ACV con la fase de manufactura de dichos componentes, soportado por la información proporcionada por la empresa GoldWind. En cuanto a los procesos de producción de los materiales insumos para fabricar los componentes del aerogenerador, se han tomado aquellos que se tenían en la base ***ECOINVENT****, considerando las respectivas modificaciones a los procesos y adaptándolos, claro está, al correspondiente mix energético; teniendo en cuenta que las turbinas eólicas fueron fabricadas íntegramente en Beijing, China, que es donde se asienta la fábrica de dichos equipos.*

A manera de precisión, en SimaPro se encuentran disponibles dos tipos de procesos; a saber: el proceso "market" y el proceso "transformation". La diferencia fundamental entre uno y otro es que en el proceso market ya se incluyen las emisiones relacionadas al transporte, mientras que en el proceso transformation, no están consideradas. Precisión importante que se debe tomar en cuenta al momento de efectuar la simulación. De esta manera, el inventario de materiales que debe ser ingresado para el proceso de construcción del referido aerogenerador es el que se detalla en la Tabla 2, obtenida a partir de la información primaria proporcionada por GoldWind y complementada con la base ECOINVENT.

Material	Entrada en SimaPro	Cantidad	Componentes
Aluminio Aleación fundida	Aluminium, cast alloy {GLO}| market for | APOS, U	0.54 ton	Para conexión a la red, Transformador, grúa auxiliar, Blade pitch system.
Aluminio Aleación forjada	Aluminium, wrought alloy {GLO}| market for | APOS, U	1.14 ton	
Hierro fundido	Cast iron {GLO}| market for | APOS, U	20.61 ton	En el buje, la góndola y la cimentación.
Acero reforzado	Reinforcing steel {GLO}| market for | APOS, U	46.90 ton	En la góndola, en el eje principal y en la cimentación.
Cobre	Copper {GLO}| market for | APOS, U	2.81 ton	En los cables, en el transformador y en el generador.
Hormigón armado	Concrete, high exacting requirements {RoW}| market for | APOS, U	348.05 m^3	En la cimentación.
Acero de baja aleación	Steel, low-alloyed {GLO}| market for | APOS, U	195.43 ton	En la torre, crane system, Yawing system.
Resina epóxica	Epoxy resin, liquid {GLO}| market for | APOS, U	9.43 ton	En las palas, el cono y la cubierta de la góndola.
Fibra de vidrio	Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded {GLO}| market for | APOS, U	14.14 ton	
Polietileno alta densidad	Polyethylene, high density, granulate {GLO}| market for | APOS, U	3.08 ton	
Soldadura	Welding, arc, steel {GLO}| market for | APOS, U	294.92 m	Para soldar cada placa de acero, luego las secciones roladas entre sí para formar la torre. Valor estimado.
Aluminio laminado	Sheet rolling, aluminium {GLO}| market for | APOS, U	1.67 ton	Yawing system.
Zinc	Zinc {GLO}| market for | APOS, U	202.26 kg	Para la preparación del recubrimiento de zinc.
Pintura de Zinc	Zinc coat, pieces {GLO}| market for | APOS, U	976.11 m^2	Superficie estimada para aplicársele recubrimiento de zinc. Cn un diámetro de 4m y una altura de la torre 78 m, respectivamente.

Tabla 2: Entradas conocidas desde la tecnosfera; inventario de materiales insumos para la construcción del aerogenerador

En la tabla anterior, se detalla: el tipo de material, el proceso de entrada en SimaPro, la cantidad de cada material que es necesaria para construir la turbina eólica; así como se presenta un detalle de los componentes donde dichos materiales se encuentran presentes. Además, con la finalidad de facilitar la comprensión de dicha tabla, en la Figura 14 se presenta un esquema con todas las partes que componen dicho aerogenerador.

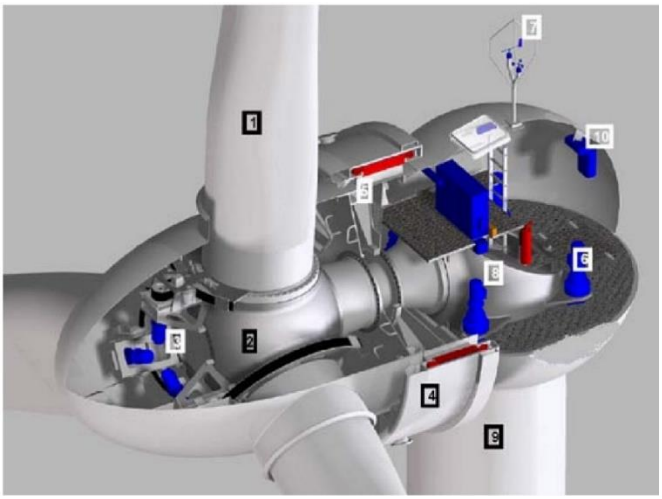


Figura 14: Partes de un aerogenerador
Fuente: GoldWind

Adicionalmente al inventario detallado en la Tabla 2, se incluye todo lo concerniente a dispositivos electrónicos necesarios para la posterior automatización y control del aerogenerador; así como también, incluir, la cantidad de energía eléctrica demandada durante el proceso de construcción de dicha unidad eólica, valor que ha sido tomado de la base de datos ECOINVENT. De esta forma, se tendrían cinco entradas adicionales, como sigue:

Entrada en SimaPro	Cantidad	Unidad
Electronics, for control units {GLO}| market for | APOS, U	*438.40*	*kg*
Excavation, hydraulic digger {GLO}| market for | APOS, U	*348.72*	*m^3*
Road {CH}| market for road | APOS, U	*67.09*	*my*
Road {RoW}| market for road | APOS, U	*7,903.75*	*my*
Electricity, medium voltage {RoW}| market for | APOS, U	*143,773.34*	*kWh*

Tabla 3: Entradas dadas por SimaPro para la construcción del aerogenerador

Cabe señalar que, para esta etapa de construcción, en la herramienta informática SimaPro, se ha considerado la construcción de una vía de acceso al sitio donde se sitúa el parque eólico, tomando en cuenta también la excavación del terreno mediante un martillo hidráulico que permitirá efectuar las cimentaciones en las cuales se colocarán las bases de cada uno de los aerogeneradores.

De esta manera, la combinación de estas entradas, aquellas indicadas en las Tablas 2 y 3, que consideran la información proporcionada por la empresa GoldWind con los datos recopilados por la base ECOINVENT, constituye el proceso de construcción de la turbina eólica, representado por: ***Wind turbine, 2MW, onshore {GLO}| construction | APOS, U.***

5.3.2 Etapa de Transporte

5.3.2.1 Transporte asociado a la producción de los materiales

Aunque el presente ACV fue declarado para ser realizado "de la cuna a la tumba" (Jeroen B. Guinée, 2001); y, al no poder contar con información específica en lo tocante a las materias primas así como en lo relacionado con el procesamiento de las mismas, con el propósito de elaborar los distintos insumos con los que se fabrican cada uno de los componentes del aerogenerador en estudio, se iniciará directamente el ACV con la fase de manufactura de dichos componentes, soportado por la información proporcionada por la fuente primaria que es la empresa GoldWind, fabricante de estos aerogeneradores. En cuanto a los procesos de producción de los materiales insumos para fabricar los componentes del aerogenerador, se han tomado aquellos que se tenían en la base ***ECOINVENT****, considerando las respectivas modificaciones a los procesos y adaptándolos, claro está, al correspondiente mix energético; teniendo en cuenta que las turbinas eólicas fueron fabricadas íntegramente en Beijing, China, que es donde se asienta la fábrica de dichos equipos.*

A diferencia de lo que hacen en otros países; a saber, España, por ejemplo, para el parque eólico Villonaco de Loja – Ecuador, la torre de cada aerogenerador fue comprada y no fue fabricada en el lugar de destino, contando con tres secciones cilíndricas, cuyo proceso de soldadura fue aplicado en fábrica, siendo ensambladas mediante un complejo sistema de pernería y contando con las dimensiones que se indican en la siguiente tabla.

GW70 – 1.5 MW	*Sección 1*	*Sección 2*	*Sección 3*	*Total*
Longitud [m]	*15*	*22.8*	*25*	*62.8*
ϕ [m]	*4.80*	*3.45*	*3.00*	*---*
Peso [ton]	*40.38*	*36.12*	*25.76*	*102.26*

Tabla 4: Dimensiones y peso de cada sección de la torre del aerogenerador

Debido a que no se conoce todo lo concerniente a las materias primas y a su respectivo transporte para la producción de los materiales con los que se construirá el aerogenerador, se tomó la decisión de mantener la información que viene predefinida por la base ECOINVENT, suponiéndose además que estos materiales han sido obtenidos en el Continente Asiático. De esta manera, y; con el propósito de producir 1 kg de cada uno de los materiales, a continuación, se presentan las principales entradas de transporte en los procesos "market" de SimaPro que son recogidas y agrupadas en la Tabla 5.

Material	Entrada en SimaPro	Toneladas por kilómetro [tkm]
Aluminio Aleación fundida	Transport, freight train {GLO}| market group for | APOS, U	0.3448
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	0.3614
Aluminio Aleación forjada	Transport, freight train {GLO}| market group for | APOS, U	0.3448
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	0.3614
Hierro fundido	Transport, freight train {GLO}| market group for | APOS, U	0.1903
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	0.2065
Acero reforzado	Transport, freight train {GLO}| market group for | APOS, U	0.1903
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	0.2065
Cobre	Transport, freight train {GLO}| market group for | APOS, U	0.3861
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	0.1739
Hormigón armado	Transport, freight train {GLO}| market group for | APOS, U	13.394
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	142.252
Acero de baja aleación	Transport, freight train {GLO}| market group for | APOS, U	0.1903
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	0.2065
Resina epóxica	Transport, freight train {GLO}| market group for | APOS, U	0.2887
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	0.4504
Fibra de vidrio	Transport, freight, light commercial vehicle {GLO}| market for | APOS, U	0.0246
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	0.3857
Polietileno de alta densidad	Transport, freight train {GLO}| market group for | APOS, U	0.2887
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	0.4504

Tabla 5: Entradas de transporte asociadas a la producción de materiales en SimaPro para la construcción del aerogenerador

5.3.2.2 Transporte desde los centros de fabricación hasta el parque eólico

Como antes ya se ha indicado, dado que no se dispone de datos del transporte desde el lugar en el que se procesan los materiales hasta los centros de fabricación de los diversos componentes; entonces, la siguiente etapa de transporte en la que se focalizará el presente ACV, será la relacionada con los traslados de las distintas partes que conforman el aerogenerador desde los centros de fabricación hasta el lugar donde se levantará el parque eólico.

*En nuestro caso, los diferentes componentes de la turbina fueron manufacturados en el Parque Industrial de GoldWind, fabricante del modelo del aerogenerador al que se le está aplicando el LCA, ubicado en la Zona de Desarrollo Tecnológico de Beijing, China, donde opera la filial "**Beijing Goldwind Science & Creation Windpower Equipment Co., Ltd."**, siendo enviados desde allí hasta Loja, Ecuador, lugar donde se levanta el Parque Eólico Villonaco.*

Para la determinación de las toneladas por kilómetro, asociadas a cada componente, se tuvo que obtener las distancias que se cubrirían en el transporte de los mismos y los diferentes tipos de transporte involucrados. Cada componente será transportado por carretera desde la ciudad de Beijing-China hasta el Puerto Tianjín-China; de este último y por vía marítima, hasta Puerto Bolívar-Ecuador; y de aquí, por la antigua carretera Catamayo-Loja, hasta el sitio donde está ubicado el Parque Eólico Villonaco. Para tal efecto, y, en primer lugar, se procederá a enumerar e indicar el peso de cada uno de los componentes de cada aerogenerador, tal como se lo precisa en la Tabla 6.

Componentes	Masa (ton)
Góndola	12.77
Buje	14.19
Palas	5.72 x 3 = 17.16
Torre (3 secciones)	102.26
Generador y otros	45.90
Aerogenerador TOTAL	192.28

Tabla 6: Información sobre el peso de cada componente del aerogenerador

De esta manera y con la ayuda del portal de Searates se han obtenido las distancias por las vías marítima y terrestre; que tendrán que ser transportados cada uno de los componentes, de cada uno de los aerogeneradores, que conforman el Parque Eólico Villonaco; los cuales, se resumen en la Tabla 7.

Figura 15: Ruta Beijing – Tianjin – Puerto Bolívar – Loja.
Fuente: Searates

Origen	Destino	Distancia [km]	Tipo de transporte
Beijing	**Tianjin**	172.43	Terrestre
Tianjin	**Puerto Bolívar**	16,751.92	Marítimo
Puerto Bolívar	**Villonaco – Loja**	236.76	Terrestre

Tabla 7: Distancia para los transportes marítimo y terrestre

Finalmente, a partir del peso de cada componente de cada aerogenerador y de la distancia que ha sido obtenida y que fue detallada en la tabla anterior, se determinará por multiplicación directa las toneladas por kilómetro, como entradas de SimaPro, relacionadas a esta etapa; las cuales, se detallan en la Tabla 8.

Material	Entrada en SimaPro	Toneladas por kilómetro [tkm]
Góndola	Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}| market for | APOS, U	213,838.26
	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 {GLO}| market for | APOS, U	5,223.31
Buje	Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}| market for | APOS, U	237,709.74
	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 {GLO}| market for | APOS, U	5,806.41

Generador	*Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}| market for | APOS, U*	*768,913.13*
	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 {GLO}| market for | APOS, U	*18,781.82*
Torre Sección 1	*Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}| market for | APOS, U*	*676,392.27*
	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 {GLO}| market for | APOS, U	*16,521.86*
Torre Sección 2	*Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}| market for | APOS, U*	*605,062.60*
	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 {GLO}| market for | APOS, U	*14,779.53*
Torre Sección 3	*Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}| market for | APOS, U*	*431,462.45*
	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 {GLO}| market for | APOS, U	*10,539.10*
Pala 1	*Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}| market for | APOS, U*	*95,820.98*
	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO}| market for | APOS, U	*2,340.57*
Pala 2	*Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}| market for | APOS, U*	*95,820.98*
	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO}| market for | APOS, U	*2,340.57*
Pala 3	*Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}| market for | APOS, U*	*95,820.98*
	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO}| market for | APOS, U	*2,340.57*

Tabla 8: Entradas en SimaPro correspondientes al transporte desde los centros de fabricación hasta el parque eólico

Figura 16: Transporte de componentes del aerogenerador GoldWind GW70 1.5MW
Fuente: Unidad de Negocio GENSUR, CELEC EP

Todos estos subprocesos de transporte agregados al proceso de construcción de la turbina eólica, se encuentra definidos por: Wind turbine, 2MW, onshore {GLO}| construction | APOS, U, y constituyen -para la simulación de la herramienta informática SimaPro- el proceso de tipo "market" denominado: ***Wind turbine, 2MW, onshore {GLO}| market for | APOS, U***

5.3.2.3 Transporte durante la operación del parque eólico

En virtud de que no se ha podido contar con datos concretos en relación al transporte durante la operación del parque eólico, se ha tenido que utilizar la información proporcionada por la base ECOINVENT en SimaPro. En dicha base, se considera que, a lo largo de toda la vida útil del aerogenerador, estimada en 20 años (norma BS 61400-1, ver Anexo 8), se ocasionará un cambio de aceite lubricante, una vez al año; lo cual, representará efectuar dos transportes de mantenimiento a la planta (uno de ida y otro de retorno) de 200 kilómetros cada uno, aproximadamente. En síntesis, una vez al año el aceite lubricante es transportado y cambiado. El referido proceso se encuentra en el simulador definido por la siguiente entrada:

Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 {GLO}| market for | APOS, U

5.3.3 Montaje o levantamiento del parque eólico

En muchos LCA, tal como ya se ha indicado, esta etapa ya se encuentra considerada dentro de las etapas de construcción o transporte; sin embargo, y con el propósito de brindar una claridad meridiana al presente estudio, se lo va a tratar como un punto aparte.

La referida etapa, engloba todos los aspectos ambientales relacionados con la construcción y obra civil del parque eólico, los caminos de acceso pertinentes, el acondicionamiento de vías para el acceso de maquinaria al emplazamiento, la excavación del terreno, la construcción de cimentaciones, así como todos los trabajos de obra relacionados con estos conceptos, incluyendo consumos energéticos, materias primas y gestión de residuos de proceso de montaje.

Figura 17: Ejecución de obras civiles para el parque eólico Villonaco
Fuente: Unidad de Negocio GENSUR, CELEC EP

Elaborados todos los componentes de cada aerogenerador en sus respectivos centros de fabricación; y, siendo transportados hasta el lugar en el que se ha planificado efectuar el despliegue del parque eólico, se procederá al ensamblado de las turbinas eólicas, cuyo proceso se encuentra representado en SimaPro, por:

Wind turbine, 2MW, onshore {GLO}| market for | APOS, U

De esta manera, se tendrá que incluir lo concerniente al cableado que se requerirá para realizar las diferentes interconexiones eléctricas, se deberá también considerar las tareas de mantenimiento que se realizarán durante toda la vida útil del referido parque eólico; así como las distintas actividades que se deban llevar a cabo derivadas de éstas; verbigracia, el transporte indicado en la sección 5.3.2.3.

Así pues, y con la finalidad de producir 1kWh de energía eléctrica por medio de la energía eólica en Ecuador, se han debido incluir en la simulación las entradas que se describen en la Tabla 9, cuyos datos son proporcionados por la base ECOINVENT.

Entrada en SimaPro	Cantidad	Unidad
Wind turbine, 2MW, onshore {GLO}| market for | APOS, U	1.1636E-8	p
Wind turbine network connection, 2MW, onshore {GLO}| market for network connection, turbine 2MW, onshore | APOS, U	1.1636E-8	p
Lubricating oil {GLO}| market for | APOS, U	3.6653E-5	kg
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 {GLO}| market for | APOS, U	1.7060E-12	tkm

Tabla 9: Inventario para la producción de 1kWh eléctrico a partir de la energía eólica en el Ecuador

A pesar de que en SimaPro se indica que se trata de un proceso para una turbina de 2MW, también especifica que el modelo, para el ACV, de este tipo de tecnología, puede ser tomado como referencia para turbinas de viento con capacidad entre 1MW y 3MW; por lo tanto, la selección de dicho proceso es válida porque en nuestro caso cada aerogenerador tiene una capacidad de 1.5MW. ***De la tabla anterior, se infiere que para generar 1kWh de electricidad a partir de energía eólica, se requerirán 1.1636E-8 aerogeneradores del modelo que se está analizando; es decir GW70 1.5MW****. De esta manera, el número de horas equivalentes a plena carga de funcionamiento anual, supuesta una vida útil del aerogenerador de 20 años, se determinaría de la siguiente manera:*

$$HE = \frac{1\,kWh}{1.1636\times10^{-8}\,aerogeneradores \times 1{,}500\,\frac{kW}{aerogenerador} \times 20\,años} = 2{,}865\ \left[h/año\right]$$

Lo anterior es una justificación de que el valor del número de aerogeneradores, necesarios para la producción de 1 kWh, es un dato coherente ya que 2,865 h/año es un valor que refleja fielmente el número de horas equivalentes de funcionamiento de un parque situado en un lugar apropiado y explotado correctamente.

5.3.4 Operación del parque eólico

La fase de explotación comprende los 20 años de vida útil anteriormente declarados, la cual comienza desde que termina la instalación de los aerogeneradores en el sitio de emplazamiento y puesta en funcionamiento, hasta cuando se produce el desmantelamiento y gestión adecuada de cada uno de sus componentes en su fin de vida. Resulta poco verosímil que un aerogenerador termine su ciclo de vida útil sin que se haga presente algún tipo de incidencia a lo largo de ella; pues aquellas, pueden variar desde una leve incidencia, como el reapriete de un perno, hasta un correctivo o modificativo inclusive.

Esta fase tiene una alta ponderación medioambiental, debido a que corresponde al intervalo de tiempo durante el cual la máquina producirá energía. Siendo 1kWh de energía generada y volcada a la red, la unidad funcional del sistema, se considera que un factor determinante en el perfil medioambiental del aerogenerador GW70, durante su vida útil, es su capacidad de generación eléctrica. De esta manera, la suma de todas las entradas de la tabla anterior compondrá el proceso principal en el que se ha focalizado el presente ACV, mismo que se lo ha denominado en la herramienta SimaPro de la siguiente manera:

Electricity, high voltage {EC}| electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore | APOS, U

Con todo esto y a pesar de que el estudio plantea ser lo más próximo al escenario real, se ha decidido que para la modelización de la presente etapa se tendrán fundamentalmente en consideración todas las acciones de mantenimiento que se realizarán a lo largo de la vida útil de cada aerogenerador; pero, focalizado exclusivamente en el cambio anual del aceite lubricante, como ya fue descrito en el numeral 5.3.2.3.

Valga recalcar que, durante el tiempo de operación, el aceite lubricante utilizado será el único residuo que produzca esta tecnología eólica. El proceso de mantenimiento para el presente ACV, se lo describe en SimaPro de la siguiente manera:

***Lubricating oil {GLO}| market for | APOS, U**.*

5.3.5 Desmantelamiento del parque eólico

Esta etapa de fin de vida, incluye el desmontaje del parque eólico, así como el transporte para la eliminación de residuos y/o el reciclaje de los componentes que pueden ser aprovechables. Considera todos los impactos medioambientales que se producen desde el desmantelamiento del parque eólico hasta que todos los materiales son reutilizados, reciclados, revalorizados o finalmente, eliminados. También se tomó en cuenta el impacto asociado al transporte de todos los componentes del aerogenerador hasta su gestor autorizado, y los consiguientes impactos o créditos asociados al tratamiento final que se aplicará a cada componente.

Al no disponerse de información relacionada con las salidas producto del desmantelamiento de los aerogeneradores, se decidió que para la modelización de la presente etapa se tomarán como base aquellas salidas que vienen predefinidas en SimaPro, guardando la debida

congruencia con aquellos materiales que forman parte de las entradas para la construcción del referido aerogenerador, misma que se encuentra dentro del siguiente proceso:

Wind turbine, 2MW, onshore {GLO}| construction | APOS, U

Salidas en SimaPro	Cantidad	Unidad
*Electronics scrap from control units {GLO}| market for	APOS, U*	*438.40*	*kg*
*Scrap copper {RoW}| market for scrap copper	APOS, U*	*2,805.74*	*kg*
*Scrap steel {RoW}| market for scrap steel	APOS, U*	*208,906.69*	*kg*
*Waste glass {RoW}| market for waste glass	APOS, U*	*7,071.44*	*kg*
*Waste plastic, mixture {RoW}| market for waste plastic, mixture	APOS, U*	*7,071.44*	*kg*
*Waste polyethylene {RoW}| market for waste polyethylene	APOS, U*	*3,076.74*	*kg*
*Waste polyethylene/polypropylene product {RoW}| market for waste polyethylene/polypropylene product	APOS, U*	*9,428.58*	*kg*
*Waste reinforced concrete {RoW}| market for waste reinforced concrete	APOS, U*	*863,839.53*	*kg*

Tabla 10: Salidas correspondientes al desmantelamiento del aerogenerador

De igual manera, y como se lo mencionó al inicio de este apartado, para el tratamiento de estos residuos se requerirá los transportes indicados en la Tabla 11, recordando que dicha información viene expresada en toneladas por kilómetro por cada kilogramo de material residual.

Residuo	Entrada en SimaPro	Toneladas por kilómetro [tkm]
Componentes electrónicos	*Transport, freight train {GLO}| market group for	APOS, U*	*0.112*
	*Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for	APOS, U*	*0.1932*
Aluminio	*Transport, freight train {GLO}| market group for	APOS, U*	*0.112*
	*Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for	APOS, U*	*0.1932*
Cobre	*Transport, freight train {RoW}| market for	APOS, U*	*0.00484*
	*Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for	APOS, U*	*0.1932*

Acero	*Transport, freight train {RoW}| market for | APOS, U*	*0.00484*
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	*0.1932*
Vidrio	*Transport, freight train {RoW}| market for | APOS, U*	*0.00484*
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	*0.1932*
Plástico	*Transport, freight train {RoW}| market for | APOS, U*	*0.00484*
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	*0.1932*
Polietileno	*Transport, freight train {RoW}| market for | APOS, U*	*0.00484*
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	*0.1932*
Polietileno/Polipropileno	*Transport, freight train {RoW}| market for | APOS, U*	*0.00484*
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	*0.1932*
Hormigón	*Transport, freight train {RoW}| market for | APOS, U*	*0.00484*
	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market for | APOS, U	*0.1932*

Tabla 11: Transportes correspondientes al tratamiento de los residuos del aerogenerador

Para el presente LCA, los residuos de los metales (ya sean férricos o no) pueden reciclarse en su totalidad. Con relación al plástico correspondiente a la fibra de vidrio, se puede reciclar en un 90%. Los componentes eléctricos/electrónicos se reciclan en un 50%, los cables eléctricos casi en su totalidad. Finalmente, es preciso indicar que hoy en día, no es posible reciclar las palas de los aerogeneradores; y así que, cuando se cumple la vida útil de estos, las palas deberán ser desmanteladas en piezas más pequeñas, las mismas que serán llevadas hasta depósitos de residuos controlados. Referencia: Elsam. 2004b. Life Cycle Assessment of turbines PSO 1999. Elsam Engineering A/S, Fredericia, Denmark.

6. Resultados

*Con el propósito de determinar la contribución de impacto al cambio climático, un parámetro utilizado es el denominado **Huella de Carbono – HC**, el cual permite representar el volumen de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) relacionados a una empresa, evento, actividad o al ciclo de vida de un producto o de un servicio. A pesar de aquello, la terminología correcta, o al menos adecuada, debería ser huella de carbono equivalente o emisiones de CO_2 equivalente, toda vez que no sólo pondera las emisiones de carbono; sin embargo, en la práctica y comúnmente, se utiliza simplemente el término carbono.*

*Para la determinación de la huella de carbono del aerogenerador GW70 1.5MW, se ha utilizado el método de análisis de impacto europeo **"ILCD 2011 Midpoint+ v1.10 / EC-JRC Global, equal weighting"**, precisando que nuestro análisis se focalizará exclusivamente en la categoría de cambio climático, pues es la única que es de interés para determinar la cantidad de CO_2 equivalente generado. Dicha metodología de cálculo permite generar resultados en formatos de caracterización, normalización, ponderación y puntuación única.*

Dado que los formatos de normalización, ponderación y puntuación única no aportan información relevante en el presente análisis, se decidió prescindir de aquellos y considerar que la información obtenida para su respectivo análisis, sea presentada en el formato de caracterización.

*Situación similar sucede para el análisis de la huella hídrica, donde para su determinación se utilizará la metodología de impacto **"Berger et al., 2014, Water Scarcity, v1.0"**; misma que es dedicada al análisis de esta categoría y únicamente permite mostrar los resultados en el formato de caracterización.*

6.1 Huella de carbono de la tecnología eólica

En el Anexo 9, se puede apreciar el diagrama o árbol de red correspondiente a los resultados obtenidos de la caracterización en la categoría de cambio climático para la producción de 1kWh (3.6 MJ) de energía eléctrica a partir de la tecnología eólica en Ecuador, donde se muestran -con una resolución del 7.5% en SimaPro- las entradas de mayor relevancia en la emisión de CO_2, distinguiéndose con flechas más gruesas aquellos subprocesos que más ponderación o más contribución tengan en relación a aquella variable.

De esta forma, y tal como se puede apreciar en el referido diagrama, se ha determinado que para la producción de 1kWh de electricidad por medio de la referida tecnología, se emiten un total de 0.0155 kg de CO_2 eq; pudiendo perfectamente observarse en el precitado diagrama, que la mayor parte de esa emisión le corresponde al proceso de construcción del aerogenerador, incluyendo lo relacionado al transporte de cada uno de sus componentes.

De la misma manera, en el proceso de construcción del aerogenerador, denominado en la simulación como Wind turbine, 2MW, onshore {GLO}| market for | APOS, U, que tal como se lo había manifestado anteriormente, dicho proceso incluye el transporte de los componentes del referido aerogenerador, donde se aprecia que de los 0.0152 kg CO_2 eq que genera este proceso, le corresponden 0.0147 kg CO_2 eq al proceso de construcción de la turbina eólica propiamente dicho, perteneciendo al transporte de los componentes únicamente apenas la emisión de 0.0005 kg CO_2 eq.

Con la finalidad de apreciar la contribución de las emisiones de CO_2 eq, en la Tabla 12 se ha listado, de manera ordenada y de mayor a menor contribución, el resto de las entradas que conforman el proceso global de producción de electricidad y que no se muestran en el citado diagrama de red por la resolución seleccionada.

Entrada en SimaPro	*Caracterización Cambio Climático [kg CO_2 eq]*
Wind turbine, 2MW, onshore {GLO}| market for | APOS, U	*0.0152*
Wind turbine network connection, 2MW, onshore {GLO}| market for network connection, turbine 2MW, onshore | APOS, U	*0.000144*
Waste mineral oil {RoW}| market for waste mineral oil | APOS, U	*6.9E-5*
Lubricating oil {GLO}| market for | APOS, U	*5.17E-5*
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 {GLO}| market for | APOS, U	*3.71E-13*
Electricity, high voltage {EC}| electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore | APOS, U	*0.0155*

Tabla 12: Resultados de la caracterización en la categoría cambio climático para las principales entradas en el proceso global de la tecnología eólica

Queda claro que, desde el punto de vista de emisiones de CO_2 eq, a la construcción del aerogenerador, le siguen: la conexión de éste a la red, el residuo del aceite mineral utilizado, el aceite lubricante para el mantenimiento del parque eólico; y, el camión utilizado para transportarlo, en ese orden. Es por ello que, en base a los resultados del presente ACV, se decidió focalizarse en el proceso de construcción de la turbina eólica y determinar los resultados caracterizados en la categoría cambio climático, mismos que ordenados de manera descendente en la contribución de las emisiones de CO_2, se listan en la Tabla 17, contenida en el Anexo 10. Adicionalmente, el correspondiente Diagrama o árbol de red relacionado a los resultados de la caracterización, en la categoría de cambio climático para la construcción del aerogenerador, se encuentra contenido en el Anexo 11.

De esta manera, los subprocesos con mayor contribución a la emisión de dióxido de carbono en la generación eólica resultan ser también la producción de acero, seguido de la fibra de vidrio y de la construcción de la carretera de acceso al parque eólico.

6.2 Huella hídrica de la tecnología eólica

En el Anexo 12, se encuentra contenido el diagrama o árbol de red correspondiente a los resultados de la caracterización, en la categoría de huella hídrica, para la producción de 1kWh (3.6 MJ) de energía eléctrica a partir de la tecnología eólica en Ecuador, donde se muestran -con una resolución del 7.41% en SimaPro- las entradas de mayor relevancia en el consumo de metros cúbicos de agua, distinguiéndose con flechas más gruesas aquellos subprocesos que mayor ponderación tengan en relación a aquella variable.

De esta forma, y tal como se puede apreciar en el referido diagrama, se ha determinado que para la producción de 1kWh de electricidad por medio de la referida tecnología, la herramienta informática SimaPro ha calculado que en total se requieren de 8.72E-5 m^3 de agua; pudiendo perfectamente y de nuevo, observarse en el precitado diagrama, que la mayor parte de ese requerimiento le corresponde al proceso de construcción del aerogenerador. Adicionalmente, en el presente análisis, la conexión a la red eléctrica presenta una mayor importancia que en la huella de carbono; esto es debido al requerimiento del líquido vital para el tratamiento de los residuos que producen el plástico de los conductores eléctricos.

Para mostrar la contribución de cada entrada del proceso global en la presente categoría, en la Tabla 13 se ha listado, los resultados de manera ordenada de mayor a menor contribución, de las entradas que conforman el proceso global de producción de electricidad, tanto aquellas que se muestran, como las que no se muestran en el diagrama de red, por la resolución seleccionada. Queda claro que, a la construcción de la turbina eólica, le siguen: la conexión de la misma a la red, el residuo del aceite mineral utilizado, el aceite lubricante para el mantenimiento del parque eólico; y, el camión utilizado para transportarlo, en ese orden.

Entrada en SimaPro	***Caracterización Huella Hídrica [m^3]***
Wind turbine, 2MW, onshore {GLO}| market for | APOS, U	*8.6E-5*
Wind turbine network connection, 2MW, onshore {GLO}| market for network connection, turbine 2MW, onshore | APOS, U	*9.05E-7*
Lubricating oil {GLO}| market for | APOS, U	*2.74E-7*
Waste mineral oil {RoW}| market for waste mineral oil | APOS, U	*6.22E-9*
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 {GLO}| market for | APOS, U	*5.09E-16*
Electricity, high voltage {EC}| electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore | APOS, U	*8.72E-5*

Tabla 13: Resultados de la caracterización en el análisis de la huella hídrica para las principales entradas en el proceso global de la tecnología eólica

Similar a lo ocurrido en la huella de carbono, lo concerniente a transportes no tiene una ponderación relevante en lo que se refiere a consumo de agua en la tecnología eólica. Por ello, y en base a los resultados del presente ACV, se decidió focalizarse nuevamente en el proceso de construcción de la turbina eólica y determinar los resultados caracterizados en la huella hídrica, mismos que ordenados de mayor a menor contribución, se listan en la Tabla 18 contenida en el Anexo 13; adicionalmente, el Diagrama o árbol de red correspondiente a los resultados de la caracterización de la huella hídrica para la construcción del aerogenerador están contenidos en el Anexo 14. De esta manera, los subprocesos con mayor contribución en lo relacionado al consumo de agua, en la generación eólica, resultan ser la producción de la fibra de vidrio, seguida de la producción de acero y la de la resina epóxica.

7. El Análisis FODA de la tecnología eólica en el Ecuador

Con la finalidad de determinar el estado de situación de la tecnología eólica en el Ecuador, se procederá a realizar un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas); que, sin lugar a dudas, cuenta con un adecuado nivel de detalle, por cuanto se realizaron entrevistas a importantes actores del sector eléctrico ecuatoriano, sin dejar de mencionar, claro está, los criterios vertidos por el autor de el presente documento. En el Anexo 15, se ha detallado brevemente en qué consiste esta técnica de planeación estratégica.

Análisis Interno	**Fortalezas** ✓ El recurso eólico es gratuito, abundante y se renueva de manera continua. ✓ Recurso energético inagotable. ✓ La producción de energía eólica, no contamina. Al no existir combustión no genera emisiones contaminantes a la atmósfera, no destruye la capa de ozono y no genera residuos. ✓ La energía eólica para la generación de electricidad presenta una incidencia nula sobre las características físicoquímicas del suelo. ✓ Las instalaciones de los parques eólicos son fácilmente reversibles. ✓ Menor tiempo de construcción y de desarrollo de un parque eólico en comparación con otras tecnologías energéticas. ✓ Continuo desarrollo tecnológico de los aerogeneradores. ✓ Se trata de una tecnología madura en otros países y se puede aprender de ellos.	**Debilidades** ✓ Ecuador se encuentra en la etapa inicial de desarrollo en cuanto a su aprovechamiento. ✓ Dispersión del recurso eólico. ✓ Incertidumbre en la producción de energía eléctrica debido a la intermitencia, aliatoriedad y falta de predictibilidad del recurso eólico. ✓ Imposibilidad o dificultad de almacenamiento de la energía eléctrica producida. ✓ Falta de regulaciones que incentiven a los inversionistas nacionales y extranjeros en la participación de nuevos proyectos. ✓ Los costos de generación eléctrica mediante la tecnología eólica son mayores que mediante las tecnologías convencionales. ✓ Problemas ecológicos relacionados a impacto visual, ruido y sombra de los aerogeneradores.
Análisis Externo	**Oportunidades** ✓ Diversificación de la matriz energética. ✓ Elevado potencial y disponibilidad del recurso eólico en el país. ✓ La normativa estatal incentiva el aumento de la participación de la energía eólica para la diversificación de la matriz energética. ✓ Los avances tecnológicos permitirán disminuir los costos de inversión para emplazar un parque eólico. ✓ La elevada dependencia a los combustibles fósiles y los altos costos de energía, harán viable y factible económicamente la puesta en marcha de proyectos eólicos. ✓ Por las características del viento, la energía off-shore o marina, cuenta con un alto potencial de desarrollo.	**Amenazas** ✓ El cambio climático. ✓ Dificultad de abastecimiento de aerogeneradores, por parte de las empreas fabricantes, debido al aumento de su demanda mundial en un periodo de tiempo reducido. ✓ La percepción social negativa para este tipo de proyectos de energías renovables. ✓ Elevada penetración de la tecnología hidráulica. ✓ Inlexibilidad de precios de equipos materiales para la construcción de plantas eólicas. ✓ Depreciación tecnológica. ✓ Posibilidad de crear monopolios en el mercado eléctrico ✓ Cualquier desequilibrio económico mundial influirá en los costos de implementación de la tecnología eólica.

Tabla 14: Matriz de Análisis FODA para la tecnología eólica en el Ecuador

8. Conclusiones

Luego del ACV completo de la tecnología renovable eólica en Ecuador; se concluye que las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de agua, durante la etapa de transporte, se pueden considerar prácticamente despreciables para dicha fuente de energía, donde buena parte se encontraría presente en las etapas de construcción y montaje que supone una aportación del 94.84% en lo concerniente a emisiones de CO_2 y del 97.82% en lo relacionado a consumo de agua, tal como se detalla en la Tabla 15.

		HC en kg CO_2 eq/kWh		HH en m^3/kWh	
ETAPAS	Construcción y Montaje	0.0147	94.84%	8.53×10^{-5}	97.82%
	O&M y Fin de Vida	0.0008	5.16%	0.19×10^{-5}	2.18%
	Total	0.0155	100%	8.72×10^{-5}	100%

Tabla 15: Distribución de la Huella de Carbono y la Huella Hídrica por etapas funcionales

Es indiscutible que todo tipo de energía tiene sus consecuencias y la energía eólica no es la excepción. Las emisiones de gases de efecto invernadero se producen cuando se fabrican, se montan, se mantienen y se desmantelan las turbinas eólicas. Pero estas emisiones durante el ciclo de vida de las tecnologías solar, eólica y nuclear son considerablemente menores y menos variables que las emisiones de las tecnologías basadas en la combustión de gas natural y carbón. La fuente de energía eólica cuenta con una de las huellas de carbono más pequeñas, entre 11 y 14 g de CO_2 eq/kWh, y sólo superada por la energía nuclear. Lo mismo se puede afirmar del comportamiento de su huella hídrica.

Fuente de Energía	HC en g CO_2 eq/kWh	HH en m^3/kWh
Carbón	980	$2.84 \times 10^{-4} – 75.60 \times 10^{-4}$
Gas Natural	465	$2.74 \times 10^{-4} – 44.64 \times 10^{-4}$
Solar	14 – 45	$2.30 \times 10^{-5} – 1.09 \times 10^{-3}$
Nuclear	12	$6.48 \times 10^{-5} – 5.22 \times 10^{-3}$
Eólica	11 – 14	$7.2 \times 10^{-7} – 75.6 \times 10^{-4}$
PEV	15.5	8.72×10^{-5}

Tabla 16: Huella de Carbono y Huella Hídrica para diferentes fuentes de energía
Fuente: Elaboración propia, datos tomados de la Investigación de NREL y BNL

Un factor considerado clave e influyente en la generación de energía, a lo largo de la vida útil de un aerogenerador, y, por lo tanto, en el impacto medioambiental de cada kWh generado, es la ubicación del parque eólico. Así, si en el emplazamiento del PE el viento es suave, se produce una reducción en la capacidad de generación, aumentando el impacto medioambiental por cada kWh generado. Por otro lado, las dimensiones de un parque eólico tienen una gran influencia sobre el impacto medioambiental; donde en términos generales, se considera más sostenible la construcción de parques más grandes; es decir, a mayor número de aerogeneradores que se erijan, el resultado es un menor impacto medioambiental por kWh de energía eólica generada.

De acuerdo al Anexo 16, para el presente caso se demuestra que a una turbina eólica le toma 1.19 años generar toda la electricidad que consumirá durante todo su ciclo de vida útil que es de 20 años. Por lo cual, el aerogenerador GW70/1500kW es capaz de generar 16.74 veces la misma cantidad de energía que consumiría durante todo su ciclo de vida; es decir, aquella energía consumida desde la extracción de materias primas y componentes hasta el fin de vida y proceso de su desmantelamiento final.

Respecto a las fuentes convencionales de energía eléctrica, el despliegue de parques eólicos constituye, indiscutiblemente, una mejora medioambiental. No sólo en Ecuador sino en diversos países del mundo, y por temas de vulnerabilidad frente al cambio climático, es imprescindible la diversificación de la matriz energética considerando las fuentes RNC como la solar o la eólica; siendo éste, el único modo de reducir tanto la huella de carbono como la hídrica de nuestro suministro de energía. Uno de los retos claves, sin duda, será considerar el almacenamiento eficiente de energía para responder a tiempo a la oferta y la demanda.

Bibliografía

Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2018). *Atlas del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2017.* ARCONEL. Obtenido de https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/10/atlas%20reducido.pdf

Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2018). *Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2017.* ARCONEL. Obtenido de https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/02/Revista-Digital-2017.pdf

Álvarez Gallego, S. (2017). *La huella de carbono y el análisis de ciclo de vida* (Primera ed.). AENOR ediciones.

Ecoinvent. (2018). 3.4. Obtenido de https://www.ecoinvent.org/

Elsam Engineering A/S. (Marzo de 2004). Life Cycle Assessment of offshore and onshore sited wind farms. Obtenido de https://www.vestas.com/~/media/vestas/about/sustainability/pdfs/lca_v80_2004_uk.ashx

García Oca, L., & Tapia Fernández, C. (Junio de 2008). *Análisis de Ciclo de Vida en la aplicación intensiva de energías renovables en el ciclo de agua.* Universidad Politécnica de Cataluña. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/5502

Garvin Heath, P. (13 de Enero de 2016). *NREL National Renewable Energy Laboratory.* Obtenido de https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/65645.pdf

Ghenai, C. (Febrero de 2012). Life Cycle Analysis of Wind Turbine. *Researchgate.* doi:10.5772/29184

GoldWind. (s.f.). GW70/1500 WIND TURBINE TECHNICAL DESCRIPTION. Obtenido de http://www.goldwind.cn

GoldWind. (s.f.). PMDD Wind Turbine 1.5 MW. Obtenido de http://www.goldwindamericas.com/sites/default/files/Goldwind-Brochure-1.5-Web.pdf

Guinée, J. B., Gorreé, M., Heijungs, R., Huppes, G., & Huijbregts, M. A. (Diciembre de 2001). Life cycle assessment: An operational guide to ISO standards. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/313604835_Life_cycle_assessment_An_operational_guide_to_ISO_standards

GWEC Global Wind Energy Council. (2019). Global Wind Report 2018. Obtenido de https://gwec.net/wp-content/uploads/2019/04/GWEC-Global-Wind-Report-2018.pdf

International Energy Agency. (2019). *Global Energy & CO2 Status Report 2018.* IEA. Obtenido de https://webstore.iea.org/global-energy-co2-status-report-2018

International Energy Agency. (2019). *World Energy Outlook 2018.* IEA. Obtenido de https://webstore.iea.org/download/summary/190?fileName=Spanish-WEO-2018-ES.pdf

López-Vico, V. (Mayo de 2009). Análisis DAFO del sector de la energía eólica en España. *ResearchGate*, 1-10. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/46560253_Analisis_DAFO_del_sector_de_la_energia_eolica_en_Espana

Martínez Martínez, Ó., & Taddei B., J. L. (2016). *Evaluación de Ciclo de Vida en Energía Eléctrica; Ciclo Combinado y Energía Solar Fotovoltaica: Un Análisis Comparativo.* (Primera ed.). Publicia. Obtenido de https://my.editorial-publicia.com/catalogue/details/es/978-3-8416-8130-0/evaluación-de-ciclo-de-vida-en-energía-eléctrica?search=Evaluacion%20de%20Ciclo%20de%20Vida

Martínez, E., Sanz, F., Pellegrini, S., Jiménez, E., & Blanco, J. (2008). Life-cycle assessment of a 2-MW rated power wind turbine: CML method. *Researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/240139630_Life-cycle_assessment_of_a_2MW_rated_power_wind_turbine_CML_method

Mekonnen, M. M., Gerbens-Leenes, P., & Hoekstra, A. Y. (9 de Marzo de 2015). *Royal Society of Chemistry.* doi:10.1039/c5ew00026b

Miglieta, P. P., Morrone, D., & De Leo, F. (17 de Enero de 2018). The Water Footprint Assessment of Electricity Production: An Overview of the Economic-Water-Energy Nexus in Italy. *ResearchGate*, 14. doi:10.3390/su10010228

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2014). *Atlas Eólico del Ecuador.* MEER. Obtenido de https://es.scribd.com/document/228987678/Atlas-Eolico-Ecuador-Meer-2013

Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2018). *Balance Energético Nacional Final Diagramado 2017.* MERNNR. Obtenido de https://es.scribd.com/document/419855489/Balance-Energe-tico-Nacional-2017-FINAL-DIAGRAMADO

Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (s.f.). *Balance Energético Nacional 2017.* MERNNR.

Muro Pereg, J. R., & Fernández de la Hoz Múgica, J. (Mayo de 2013). Análisis de Ciclo de Vida de 1kWh Generado por un Parque Eólico Onshore GAMESA G90-2.0MW. Obtenido de https://docplayer.es/816612-Ecowind-analisis-de-ciclo-de-vida-de-1kwh-generado-por-un-parque-eolico-onshore-gamesa-g90-2-0-mw.html

OLADE Organización Latinoamericana de Energía. (2018). Anuario de 2017 Estadísticas Energéticas. Obtenido de http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0396.pdf

OLADE Organización Latinoamericana de Energía. (2019). *Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2018.* Obtenido de http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0416b.pdf

Razdan, P., & Garrett, P. (31 de Julio de 2017). Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V100-2.0 MW Wind Plant. Obtenido de https://www.vestas.com/~/media/vestas/about/sustainability/pdfs/v1123%2045mw_mk3a_iso_lca_final_31072017.pdf

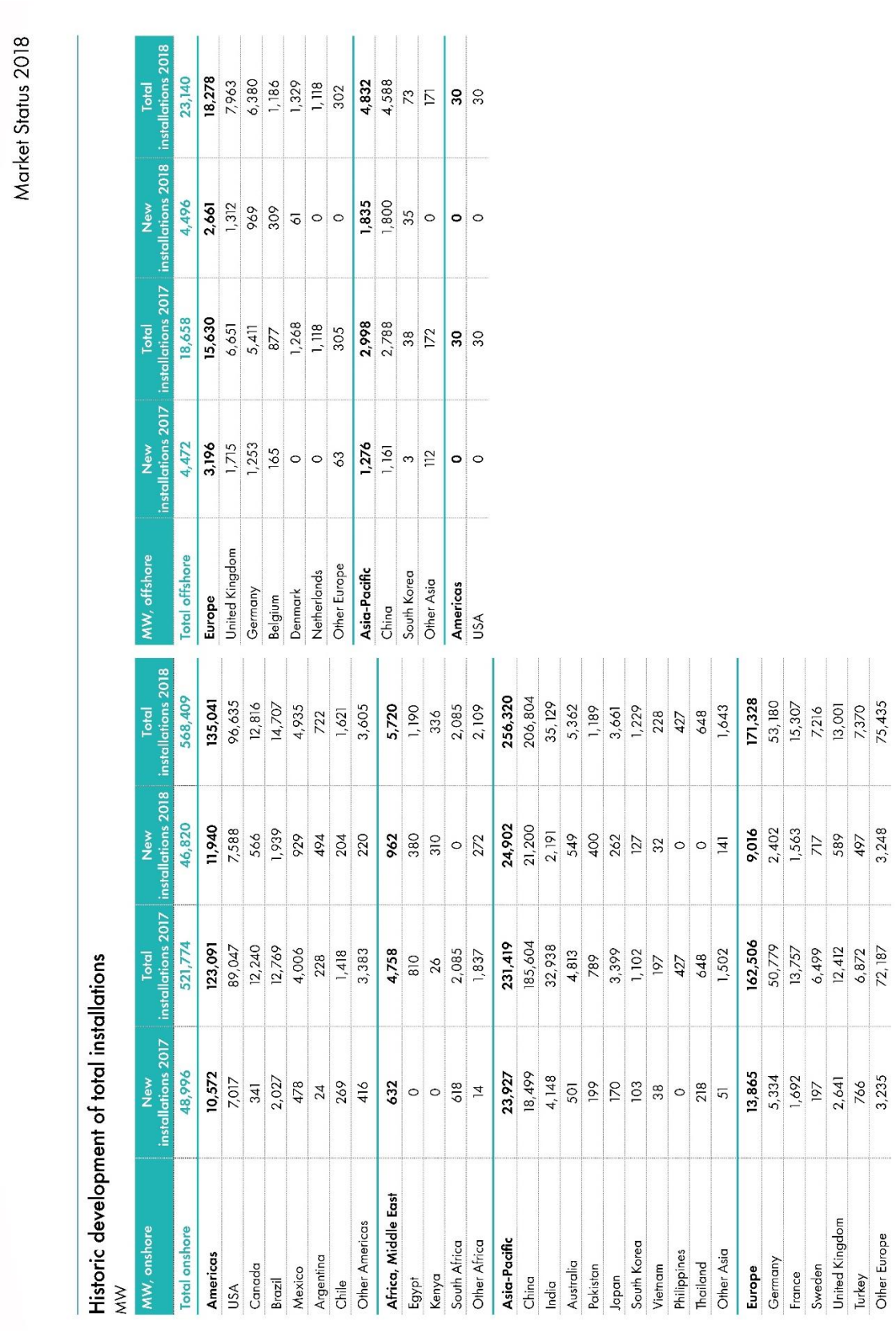
Razdan, P., & Garrett, P. (Julio de 2017). Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V112-3.45 MW Wind Plant. Obtenido de https://www.vestas.com/~/media/vestas/about/sustainability/pdfs/v1123%2045mw_mk3a_iso_lca_final_31072017.pdf

Sánchez Relaño, L. (2018). *Análisis de ciclo de vida de las tecnologías eólica e hidráulica en España.* Proyecto de Fin de Grado, Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de http://oa.upm.es/52844/1/PFG_Lorena_Sanchez_Relano.pdf

Schipani, V. (14 de Marzo de 2018). *FactCheck.* Obtenido de https://www.factcheck.org: https://www.factcheck.org/2018/03/wind-energys-carbon-footprint/

Tremeac, B., & Meunier, F. (Septiembre de 2009). Life cycle analysis of 4.5 MW and 250 W wind turbines. *Researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/240423604_Life_cycle_analysis_of_45_MW_and_250_W_wind_turbines

Anexo 1: Global Wind Report 2018 - Market Status 2018



Market Status 2018

Historic development of total installations

MW

MW, onshore	New installations 2017	Total installations 2017	New installations 2018	Total installations 2018
Total onshore	48,996	521,774	46,820	568,409
Americas	**10,572**	**123,091**	**11,940**	**135,041**
USA	7,017	89,047	7,588	96,635
Canada	341	12,240	566	12,816
Brazil	2,027	12,769	1,939	14,707
Mexico	478	4,006	929	4,935
Argentina	24	228	494	722
Chile	269	1,418	204	1,621
Other Americas	416	3,383	220	3,605
Africa, Middle East	**632**	**4,758**	**962**	**5,720**
Egypt	0	810	380	1,190
Kenya	0	26	310	336
South Africa	618	2,085	0	2,085
Other Africa	14	1,837	272	2,109
Asia-Pacific	**23,927**	**231,419**	**24,902**	**256,320**
China	18,499	185,604	21,200	206,804
India	4,148	32,938	2,191	35,129
Australia	501	4,813	549	5,362
Pakistan	199	789	400	1,189
Japan	170	3,399	262	3,661
South Korea	103	1,102	127	1,229
Vietnam	38	197	32	228
Philippines	0	427	0	427
Thailand	218	648	0	648
Other Asia	51	1,502	141	1,643
Europe	**13,865**	**162,506**	**9,016**	**171,328**
Germany	5,334	50,779	2,402	53,180
France	1,692	13,757	1,563	15,307
Sweden	197	6,499	717	7,216
United Kingdom	2,641	12,412	589	13,001
Turkey	766	6,872	497	7,370
Other Europe	3,235	72,187	3,248	75,435

MW, offshore	New installations 2017	Total installations 2017	New installations 2018	Total installations 2018
Total offshore	4,472	18,658	4,496	23,140
Europe	**3,196**	**15,630**	**2,661**	**18,278**
United Kingdom	1,715	6,651	1,312	7,963
Germany	1,253	5,411	969	6,380
Belgium	165	877	309	1,186
Denmark	0	1,268	61	1,329
Netherlands	0	1,118	0	1,118
Other Europe	63	305	0	302
Asia-Pacific	**1,276**	**2,998**	**1,835**	**4,832**
China	1,161	2,788	1,800	4,588
South Korea	3	38	35	73
Other Asia	112	172	0	171
Americas	**0**	**30**	**0**	**30**
USA	0	30	0	30

Fuente: GWEC – Global Wind Energy Council

Anexo 2: Perspectivas de los sectores energéticos a nivel internacional

De acuerdo a las estimaciones de la Agencia Internacional de la Energía (IEA, "International Energy Agency"), el consumo de energía a nivel mundial aumentó un 2.3% en 2018, lo cual corresponde a casi el doble de la tasa promedio de crecimiento desde 2010, como producto de una economía global más robusta y por una mayor demanda de calefacción y refrigeración, debido a temperaturas extremas que se han registrado en algunas regiones del mundo.

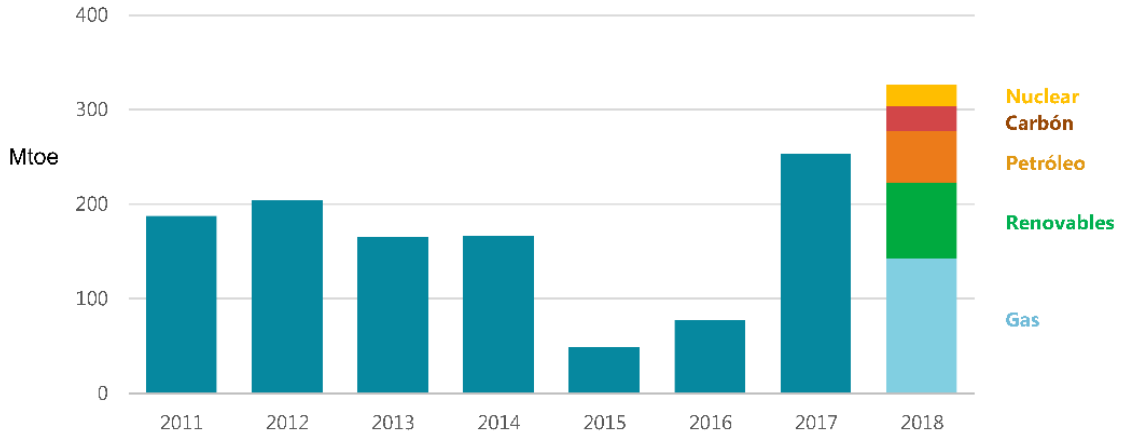


Figura 18: Crecimiento promedio anual de la demanda de energía primaria por combustible
Fuente: International Energy Agency – IEA

Por su parte, la demanda de todos los combustibles se elevó, especialmente para el caso del gas natural, mostrándose como el responsable del 45% del aumento de la demanda total de energía, aun cuando la energía solar y eólica doblaron su crecimiento. En el caso de los combustibles fósiles, estos consiguieron por segundo año consecutivo un crecimiento de casi el 70%. Las energías renovables, por su parte, crecieron a un ritmo de dos dígitos, sin embargo, esto no fue lo suficientemente rápido como para satisfacer el aumento mundial experimentado por la demanda de electricidad.

La mayor demanda de electricidad se presentó debido al crecimiento de las necesidades energéticas de la población. Por su parte, la eficiencia energética, mostró una mejora mediocre; y, como resultado de un mayor consumo de energía, las emisiones globales de CO_2, relacionadas con la energía, incrementaron a 33.1 Gt CO_2, 1.7% más, llegando a un máximo histórico, tal como se aprecia en la Figura 19. Es así que, el mayor emisor individual, para la generación de energía, continúa siendo el carbón, con un 30% del global de emisiones de CO_2 relacionadas con la energía. La expansión global de la economía con un 2.7% en 2018 impulsó a una mayor demanda de energía, siendo su ritmo de crecimiento promedio anual más alto desde 2010.

A pesar de esto, el incremento de las emisiones de CO_2 no fue universal. Aunque la mayoría de las principales economías experimentaron un aumento; en otras, se observaron descensos, tal como ocurrió con Estados Unidos, Reino Unido, México y Japón. El mayor

descenso correspondió a los Estados Unidos, siendo la causa principal un mayor despliegue de energías renovables, así como a los progresivos adelantos en eficiencia energética; y también, por supuesto, a los cambios estructurales en la economía global.

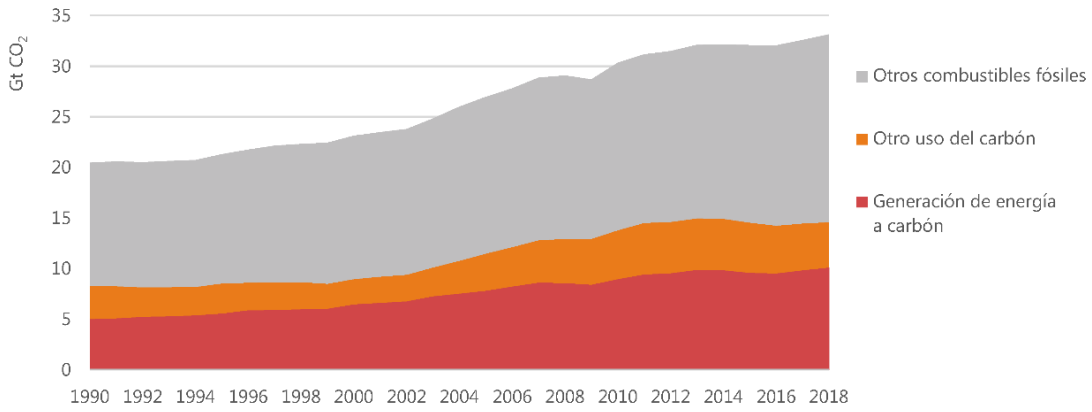


Figura 19: Emisiones mundiales de dióxido de carbono, por fuente, relacionadas con la energía
Fuente: IEA

Por otro lado, la demanda mundial de electricidad se incrementó en un 4% en 2018; es decir, un total de 900 TWh de incremento en la demanda de electricidad, un aumento del casi el doble de rapidez que la demanda total de energía desde 2010. La mayor parte de ese crecimiento correspondió a las energías renovables y la energía nuclear. Sin embargo, se observó un aumento considerable en la generación de energía a partir de centrales eléctricas de carbón y gas, aumentando en un 2.5% las emisiones de CO_2 del sector; con lo cual, en la generación de energía, alcanzaron en el año 2018 alrededor de 13 Gt, o el 38% de las emisiones totales de CO_2 referidas a la energía.

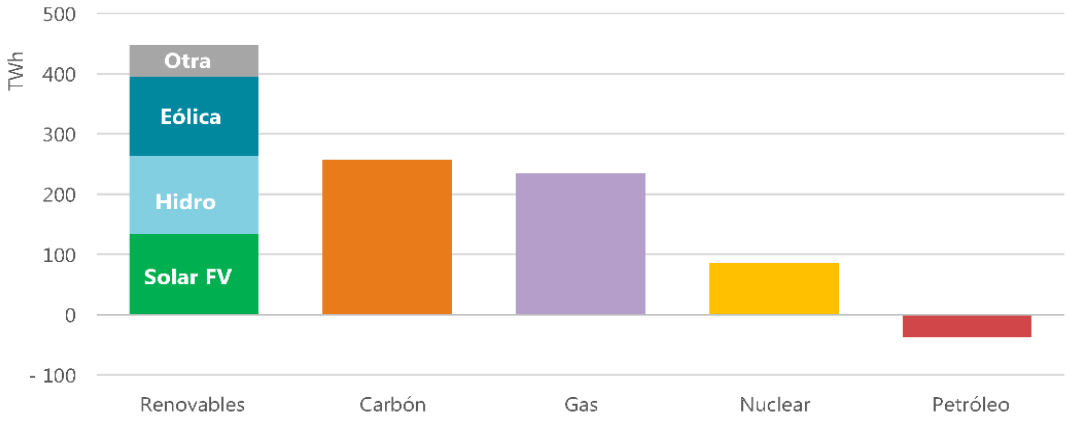


Figura 20: Cambio en la generación eléctrica por fuente, periodo 2017-2018
Fuente: IEA

Del sector eléctrico se originó la mitad del crecimiento de la demanda mundial de energía, como respuesta a un consumo mayor de electricidad; así, aproximadamente, el 20% del crecimiento en la demanda de electricidad puede atribuirse a las condiciones climáticas. El

2018 se ubicó como el cuarto año más caluroso que se ha registrado; y por ello, la demanda de aire acondicionado durante el verano 2018 subió considerablemente. De igual manera, los inviernos más fríos que el promedio en el hemisferio norte, ocasionaron un incremento de la demanda de calefacción.

En relación al crecimiento de la demanda mundial de petróleo, en el 2018 se produjo una desaceleración debido a sus altos precios. La demanda creció 1.3 Mbb/d en 2018, menos que el aumento de 1.5 Mbb/d en 2017. La demanda de petróleo en las economías avanzadas se mantuvo casi sin cambios; pero, en mercados emergentes, la demanda se redujo notablemente en el 2018. Los precios promedio del petróleo Brent fueron un 30% más altos en 2018 que en 2017.

Por su parte, la Agencia Internacional de Energía, manifiesta en su Perspectiva Energética Mundial 2018 que todo el crecimiento de la demanda global de petróleo tendrá su origen en economías en desarrollo, encabezadas por China e India; y, en promedio, para las economías avanzadas, dicho consumo caería en más de 0.4 Mbb/d cada año al 2040, alcanzando un máximo de 106.3 Mbb/d. Además, está previsto que la demanda de petróleo para vehículos de pasajeros se reduzca, como resultado de las mejoras en eficiencia energética, así como al desarrollo de los biocombustibles y la presencia de los vehículos eléctricos.

Es por ello que la AIE mantiene su pronóstico en torno a que para el 2040 existirán 300 millones de vehículos eléctricos en las carreteras del mundo, con la esperanza de que esos autos reduzcan la demanda de petróleo en 3.3 Mbb/d. Con esta premisa, en el 2040, para el sector transporte, la demanda de petróleo llegaría a los 44.9 Mbb/d, un incremento desde los 41.2 Mbb/d de 2017. En tanto que para el sector industrial y de la petroquímica, la demanda alcanzaría los 23.3 Mbb/d para ese año, desde 17.8 Mbb/d de 2017.

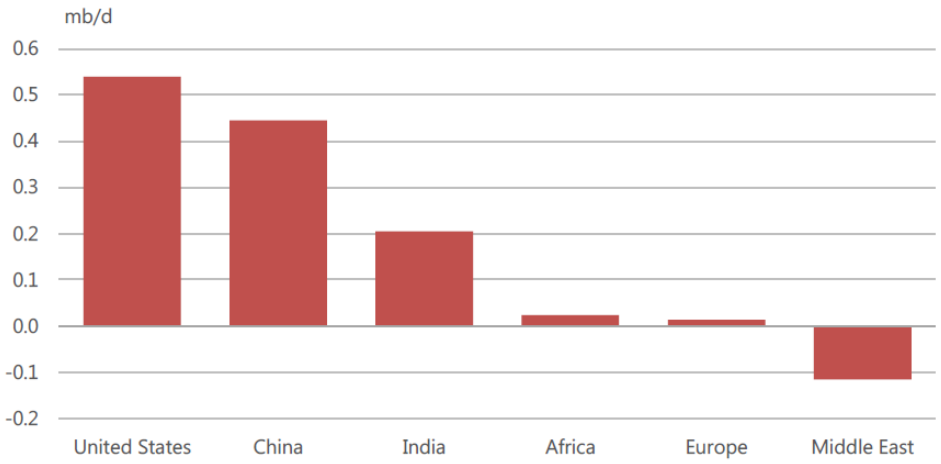


Figura 21: Crecimiento de la demanda del petróleo por región, periodo 2017-2018
Fuente: IEA

Anexo 3: Potencial eólico bruto en el Ecuador

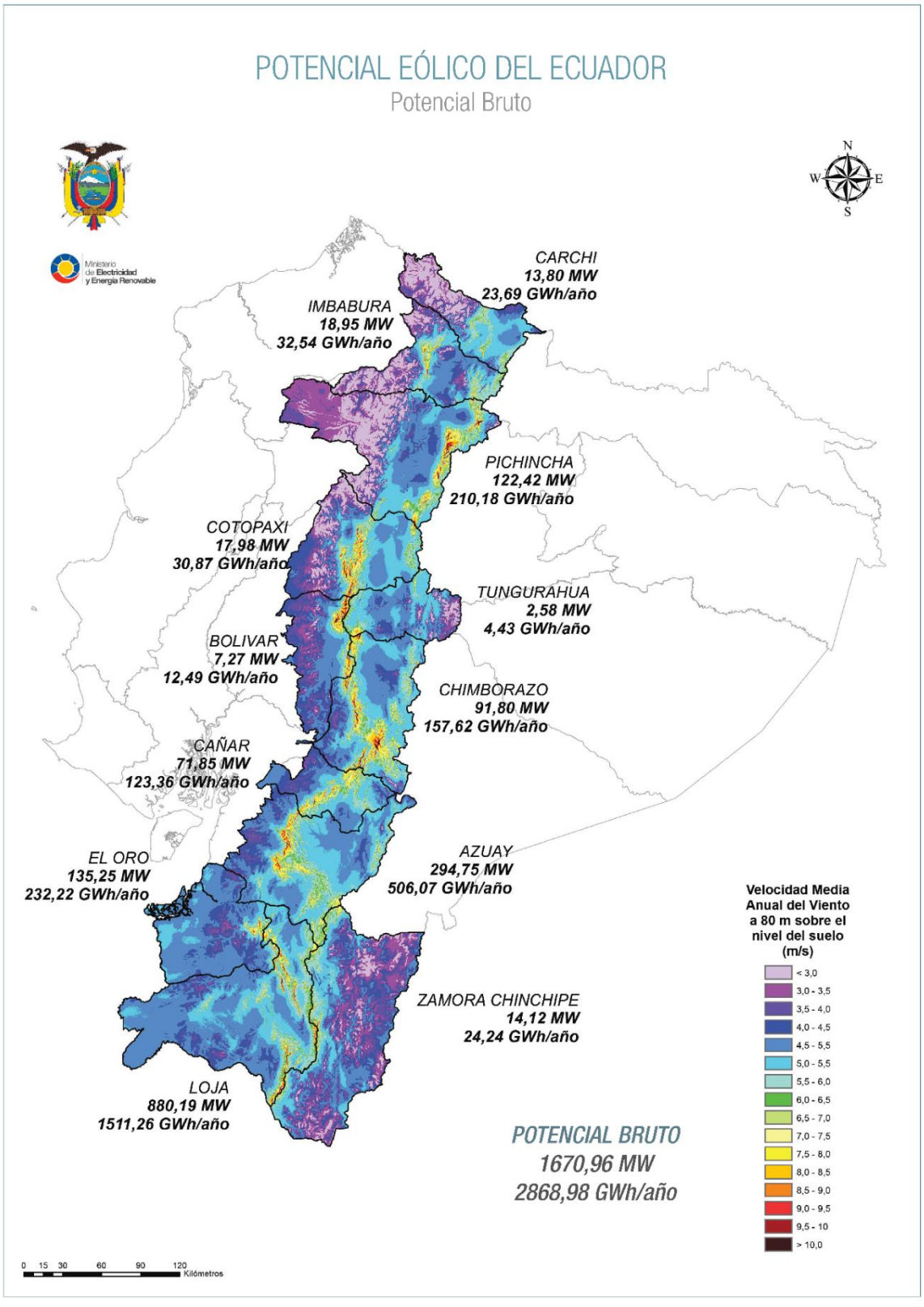
POTENCIAL EÓLICO - ELÉCTRICO ESTIMADO DEL ECUADOR

POTENCIAL BRUTO

	POTENCIAL INSTALABLE					INTEGRACIÓN ACUMULADA			
PROVINCIA	RANGO VELOCIDAD m/s	ÁREA [km²]	POTENCIA INSTALABLE [MW]	FACTOR DE CAPACIDAD	ENERGÍA ANUAL [GWh/ año]	VIENTO [m/s]	ÁREA [km²]	POTENCIA INSTALABLE [MW]	ENERGÍA ANUAL [GWh/ año]
Carchi	7,0 - 7,5	1,24	3,72	0,20	6,39	> 7	4,60	13,80	23,69
	7,5 - 8,0	1,56	4,68	0,25	10,04	> 7,5	3,36	10,08	21,63
	8,0 - 8,5	0,96	2,88	0,30	7,42	> 8	1,80	5,40	13,91
	> 8,5	0,84	2,52	0,35	7,57	> 8,5	0,84	2,52	7,57
Imbabura	7,0 - 7,5	2,46	7,39	0,20	12,68	> 7	6,32	18,95	32,54
	7,5 - 8,0	1,75	5,24	0,25	11,26	> 7,5	3,86	11,57	24,83
	8,0 - 8,5	1,47	4,40	0,30	11,34	> 8	2,11	6,32	16,28
	> 8,5	0,64	1,92	0,35	5,77	> 8,5	0,64	1,92	5,77
Pichincha	6,5 - 7,0	0,39	1,16	0,20	1,99	> 6,5	41,19	123,58	212,18
	7,0 - 7,5	21,25	63,76	0,20	109,48	> 7	40,81	122,42	210,18
	7,5 - 8,0	12,01	36,02	0,25	77,31	> 7,5	19,55	58,65	125,88
	8,0 - 8,5	5,08	15,23	0,30	39,23	> 8	7,54	22,63	58,29
	> 8,5	2,47	7,40	0,35	22,23	> 8,5	2,47	7,40	22,23
Cotopaxi	7,0 - 7,5	2,51	7,54	0,20	12,95	> 7	5,99	17,98	30,87
	7,5 - 8,0	1,84	5,52	0,25	11,85	> 7,5	3,48	10,44	22,41
	8,0 - 8,5	0,80	2,40	0,30	6,18	> 8	1,64	4,92	12,67
	> 8,5	0,84	2,52	0,35	7,57	> 8,5	0,84	2,52	7,57
Tungurahua	6 - 6,5	4,48	13,44	0,20	23,08	> 6	5,34	16,02	27,51
	6,5 - 7,0	0,71	2,13	0,20	3,66	> 7	0,86	2,58	4,43
	7,0 - 7,5	0,15	0,45	0,25	0,97	> 7,5	0,15	0,45	0,97
Bolívar	7,0 - 7,5	1,02	3,05	0,20	5,23	> 7	2,42	7,27	12,49
	7,5 - 8,0	0,48	1,44	0,25	3,09	> 7,5	1,41	4,22	9,07
	8,0 - 8,5	0,48	1,44	0,30	3,71	> 8	0,93	2,78	7,17
	> 8,5	0,45	1,34	0,35	4,04	> 8,5	0,45	1,34	4,04
Chimborazo	7,0 - 7,5	14,97	44,91	0,20	77,10	> 7	30,60	91,80	157,62
	7,5 - 8,0	8,97	26,92	0,25	57,78	> 7,5	15,63	46,90	100,65
	8,0 - 8,5	4,58	13,75	0,30	35,42	> 8	6,66	19,97	51,44
	> 8,5	2,07	6,22	0,35	18,68	> 8,5	2,07	6,22	18,68
Cañar	7,0 - 7,5	11,50	34,49	0,20	59,21	> 7	23,95	71,85	123,36
	7,5 - 8,0	7,09	21,26	0,25	45,62	> 7,5	12,45	37,36	80,18
	8,0 - 8,5	3,16	9,47	0,30	24,39	> 8	5,37	16,10	41,48
	> 8,5	2,21	6,63	0,35	19,94	> 8,5	2,21	6,63	19,94
Azuay	7,0 - 7,5	62,16	186,47	0,20	320,17	> 7	98,25	294,75	506,07
	7,5 - 8,0	26,90	80,71	0,25	173,22	> 7,5	36,09	108,28	232,38
	8,0 - 8,5	7,16	21,47	0,30	55,29	> 8	9,19	27,56	70,99
	> 8,5	2,03	6,10	0,35	18,31	> 8,5	2,03	6,10	18,31
Loja	7,0 - 7,5	106,92	320,77	0,20	550,75	> 7	293,40	880,19	1511,26
	7,5 - 8,0	69,46	208,39	0,25	447,25	> 7,5	186,47	559,42	1200,64
	8,0 - 8,5	43,76	131,27	0,30	338,07	> 8	117,01	351,03	904,06
	> 8,5	73,25	219,76	0,35	660,32	> 8,5	73,25	219,76	660,32
Zamora Chinchipe	7,0 - 7,5	1,97	5,91	0,20	10,15	> 7	4,71	14,12	24,24
	7,5 - 8,0	2,39	7,17	0,25	15,38	> 7,5	2,74	8,21	17,62
	8,0 - 8,5	0,35	1,04	0,30	2,68	> 8	0,35	1,04	2,68
El Oro	7,0 - 7,5	20,32	60,97	0,20	104,67	> 7	45,08	135,25	232,22
	7,5 - 8,0	10,82	32,45	0,25	69,64	> 7,5	24,76	74,29	159,44
	8,0 - 8,5	7,16	21,49	0,30	55,35	> 8	13,95	41,84	107,75
	> 8,5	6,78	20,35	0,35	61,14	> 8,5	6,78	20,35	61,14
				TOTAL ESTIMADO PARA EL ECUADOR [MW]		> 7	556,99	1670,96	2868,98
						> 7,5	309,96	929,87	1995,68
						> 8	166,54	499,61	1286,72
						> 8,5	91,59	274,76	825,57

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable – MEER

Anexo 4: Mapa del potencial eólico bruto en el Ecuador



Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable – MEER

Anexo 5: Potencial eólico factible a corto plazo en el Ecuador

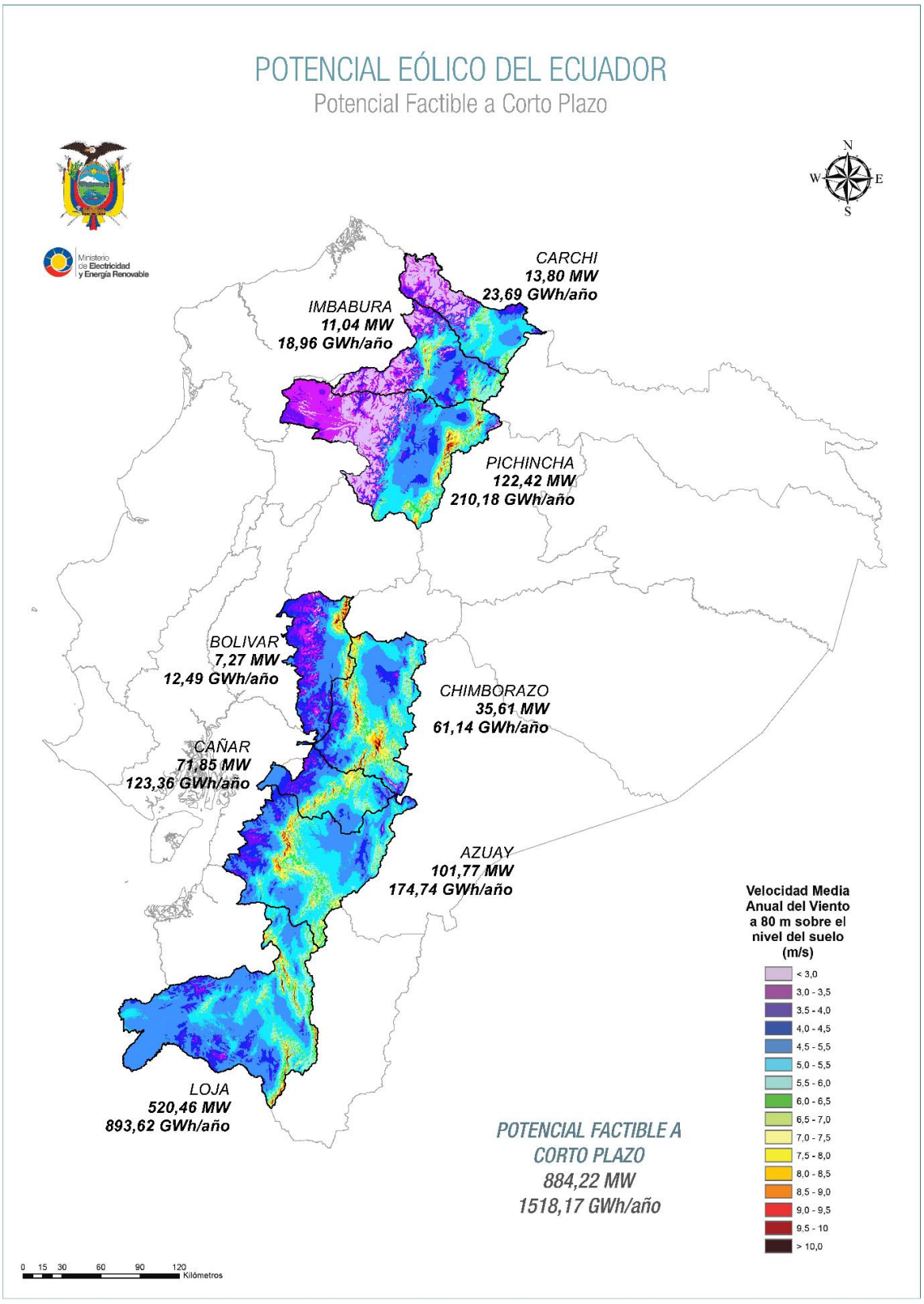
POTENCIAL EÓLICO - ELÉCTRICO ESTIMADO DEL ECUADOR

POTENCIAL FACTIBLE A CORTO PLAZO

	POTENCIAL INSTALABLE					INTEGRACIÓN ACUMULADA			
PROVINCIA	RANGO VELOCIDAD m/s	ÁREA [km²]	POTENCIA INSTALABLE [MW]	FACTOR DE CAPACIDAD	ENERGÍA ANUAL [GWh/ año]	VIENTO [m/s]	ÁREA [km²]	POTENCIA INSTALABLE [MW]	ENERGÍA ANUAL [GWh/año]
Carchi	7,0 - 7,5	1,24	3,72	0,20	6,39	> 7	4,60	13,80	23,69
	7,5 - 8,0	1,56	4,68	0,25	10,04	> 7,5	3,36	10,08	21,63
	8,0 - 8,5	0,96	2,88	0,30	7,42	> 8	1,80	5,40	13,91
	> 8,5	0,84	2,52	0,35	7,57	> 8,5	0,84	2,52	7,57
Imbabura	7,0 - 7,5	1,08	3,24	0,20	5,56	> 7	3,68	11,04	18,96
	7,5 - 8,0	1,00	3,00	0,25	6,44	> 7,5	2,60	7,80	16,74
	8,0 - 8,5	1,04	3,12	0,30	8,04	> 8	1,60	4,80	12,36
	> 8,5	0,56	1,68	0,35	5,05	> 8,5	0,56	1,68	5,05
Pichincha	7,0 - 7,5	21,25	63,76	0,25	109,48	> 7	40,81	122,42	210,18
	7,5 - 8,0	12,01	36,02	0,30	77,31	> 7,5	19,55	58,65	125,88
	8,0 - 8,5	5,08	15,23	0,35	39,23	> 8	7,54	22,63	58,29
	> 8,5	2,47	7,40	0,20	22,23	> 8,5	2,47	7,40	22,23
Bolívar	7,0 - 7,5	1,02	3,05	0,20	5,23	> 7	2,42	7,27	12,49
	7,5 - 8,0	0,48	1,44	0,25	3,09	> 7,5	1,41	4,22	9,07
	8,0 - 8,5	0,48	1,44	0,30	3,71	> 8	0,93	2,78	7,17
	> 8,5	0,45	1,34	0,35	4,04	> 8,5	0,45	1,34	4,04
Chimborazo	7,0 - 7,5	7,31	21,93	0,20	37,66	> 7	11,87	35,61	61,14
	7,5 - 8,0	3,25	9,76	0,25	20,94	> 7,5	4,56	13,67	29,35
	8,0 - 8,5	1,19	3,56	0,30	9,16	> 8	1,31	3,92	10,08
	> 8,5	0,12	0,36	0,35	1,08	> 8,5	0,12	0,36	1,08
Cañar	7,0 - 7,5	11,50	34,49	0,20	59,21	> 7	23,95	71,85	123,36
	7,5 - 8,0	7,09	21,26	0,25	45,62	> 7,5	12,45	37,36	80,19
	8,0 - 8,5	3,16	9,47	0,30	24,39	> 8	5,37	16,11	41,48
	> 8,5	2,21	6,64	0,35	19,94	> 8,5	2,21	6,64	19,94
Azuay	7,0 - 7,5	21,38	64,14	0,20	110,13	> 7	33,92	101,77	174,74
	7,5 - 8,0	8,29	24,86	0,25	53,34	> 7,5	12,54	37,63	80,77
	8,0 - 8,5	2,90	8,70	0,30	22,40	> 8	4,26	12,78	32,91
	> 8,5	1,36	4,08	0,35	12,26	> 8,5	1,36	4,08	12,26
Loja	7,0 - 7,5	71,46	214,38	0,20	368,08	> 7	173,49	520,46	893,62
	7,5 - 8,0	42,20	126,59	0,25	271,70	> 7,5	102,03	306,09	656,92
	8,0 - 8,5	22,48	67,45	0,30	173,72	> 8	59,83	179,49	462,27
	> 8,5	37,35	112,04	0,20	336,65	> 8,5	37,35	112,04	336,65
TOTAL ESTIMADO PARA EL ECUADOR [MW]						**> 7**	**294,74**	**884,22**	**1518,17**
						> 7,5	158,50	475,51	1020, 54
						> 8	82,64	247,91	638,47
						> 8,5	45,35	136,06	408,81

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable – MEER

Anexo 6: Mapa del potencial eólico factible en el Ecuador



Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable – MEER

Anexo 7: GW70/1500 Wind Turbine Technical Description

GOLDWIND

GW70/1500 Technical Description

GW70/1500 Technical Description

1. General Information

The Goldwind GW70/1500 wind turbine is a gearless wind energy converter and is equipped with a three-blade rotor, pitch control with a rated output of 1500 kW. This converter generates electric current that is fed directly into a step up transformer and ultimately the public grid. Optimum aerodynamic rotor efficiency, at every wind speed, is achieved by using variable speed technology.

Highlights:

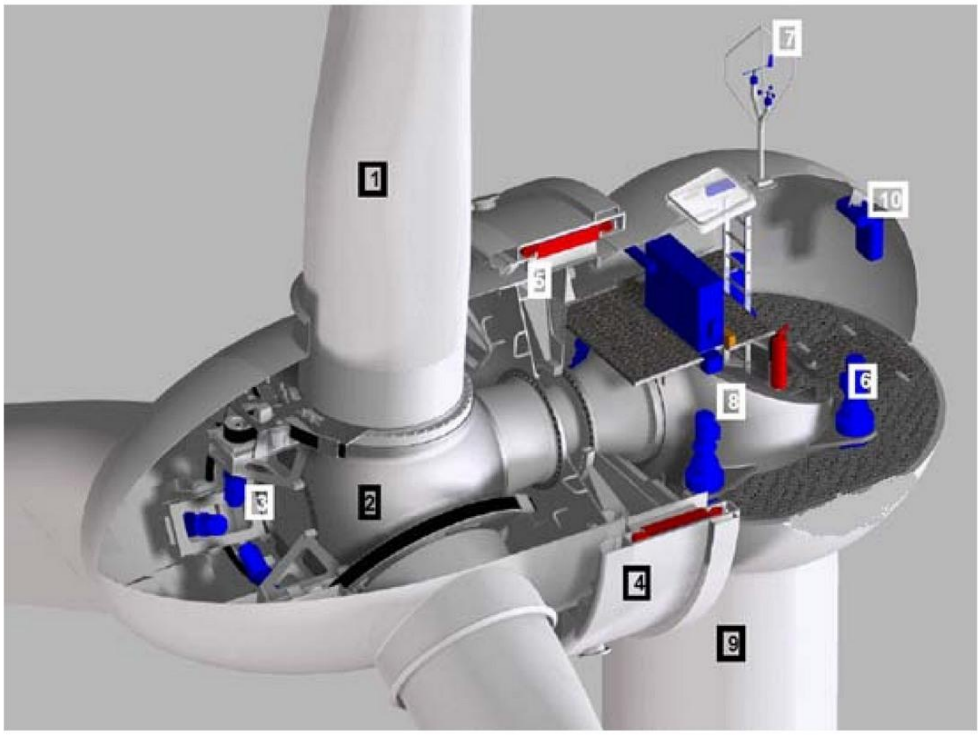
Highly efficient multipole generator

- Direct coupling of the multipole generator to the rotor
  - No gearbox required
  - Practical application of advanced technologies
- Synchronous generator with permanent magnet excitation
  - High efficiency, particularly at partial load
  - No energy losses because of an external excitation
  - No slip rings for external excitation needed
- External runner concept
  - Compact design, small generator diameter
- Passive air-cooling system
  - Highly efficient cooling without any additional energy

Blade pitch system and safety system

- Blade pitch system with tooth belts
  - Lubrication not required
  - Minimum play in blade drive tracks
  - Minimum wear
  - Maintenance free
- Double-layer capacitor for emergency re-pitching
  - No heavy lead-gel accumulators required
  - Brush-less pitch motor
  - Increased lifetime
  - Maintenance free

2. Tower Head



1	Rotor blade	6	Yawing system
2	Cast hub	7	Wind measurement system
3	Blade pitch system	8	Machine base
4	Generator-rotor	9	Tower
5	Generator-stator	10	Auxiliary crane

Rotor

The Goldwind GW70/1500 aerodynamic rotor blades convert translational air motion into a motion of the rotor. This motion is initiated by aerodynamic lift forces.

The wind energy converter Goldwind GW70/1500 has a three-bladed rotor that is equipped with active blade pitch system. The rotor are made of reinforced fiberglass, have a rotor diameter of 70 m, and a swept area of 3850m2. The blades possess integrated lightning protection. Potential lightning strikes will be conducted from the rotor blade through the cast parts and the tower to the foundation.

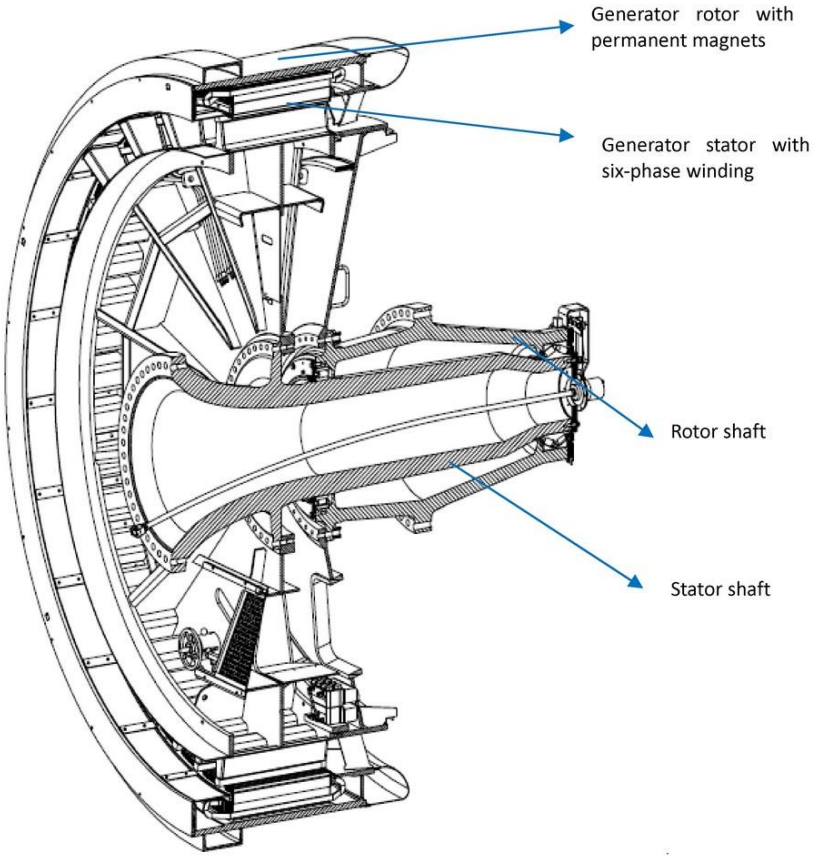
Each rotor blade has a pitch bearing that connects the blade to the cast hub. The rotor blades will be automatically pitched according to the wind speed, to limit the rotor power output or to brake the rotor down wear-free. For maintenance, the rotor can be locked.

Multipole Synchronous Generator

The generator converts the rotational energy of the rotor into electrical energy. It is a multipole synchronous generator with permanent magnet excitation. The turbine rotor drives the generator rotor directly (i.e. no gearbox).

The generator consists of the following components:
- Generator stator with six-phase winding
- Generator rotor with permanent magnets

The generator is fully maintenance and wear-free (with the exception of the main bearing).

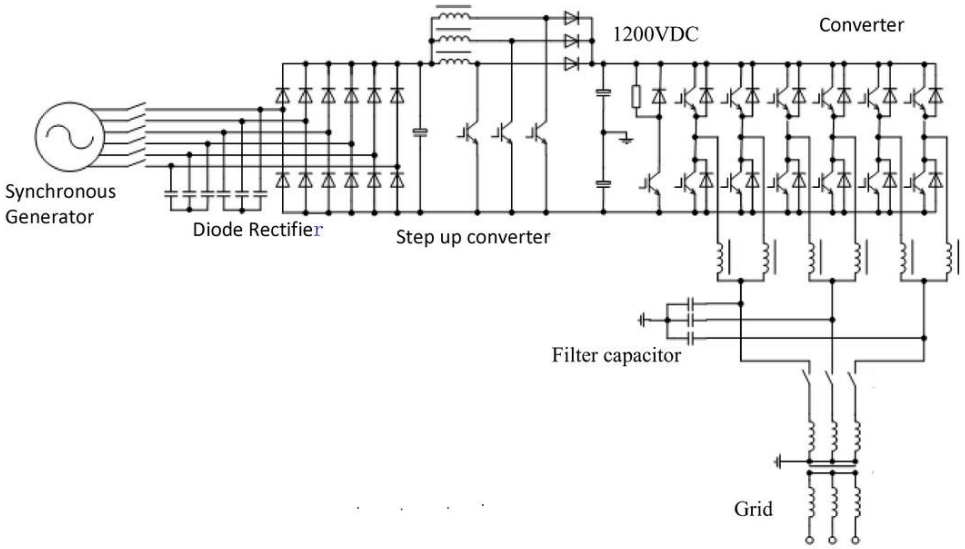


Frequency Converter

The connection to the public grid is done by a frequency converter system and a transformer. The frequency converter has been specially designed for the use together with synchronous generators.

It allows a complete separation of the generator operation from the grid conditions. Variable speed operation of the generator in a speed range of 10.2 to 19rpm is possible. This provides a better energy yield at partial load. At rated load and above the structural loads on the turbine are reduced by this technology. At the generator output side, a 12 – pulse uncontrolled rectifier with a subsequent step-up converter is used to avoid voltage peaks (du/dt loads) in the generator windings, which has a very simple, but robust layout.

On the grid-side two separate IGBT-twigs per phase are used which reduces harmonics. The whole converter system is air-cooled.



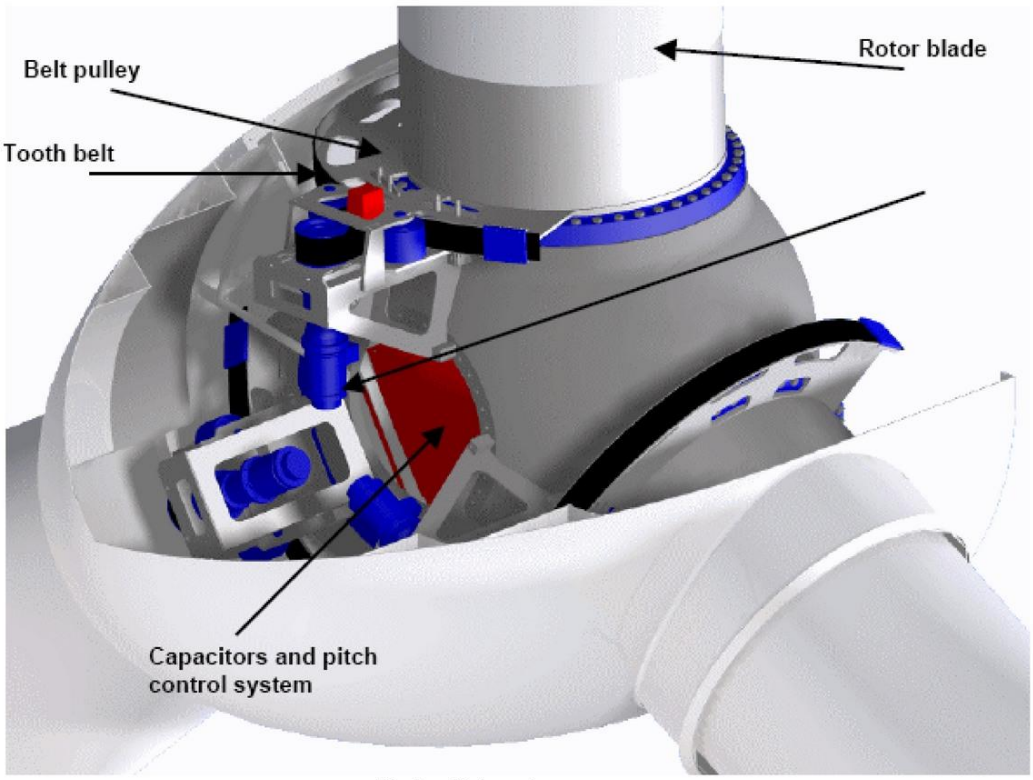
Blade-pitch and brake system

The blade-pitch system of the Goldwind GW70/1500 allows each blade to be pitched independently. This provides power control and aerodynamic braking capabilities for the wind energy converter. At rated wind speed and above the power input of the rotor will be limited by the pitch system to 1,500 kW. This feature avoids overloading of generator and converter system. The controller monitors power output, blade pitch angles and wind conditions as well as variable speed operation to ensure optimal operating performance.

The three blade pitch mechanisms of the turbine also serve as a rotor brake. Moving the rotor blades into feathering position reduces the rotor torque and acts as a brake.

The blade pitch system consists of three independent electrical drive trains with energy storage and a tooth belt power train. Each drive train consists of a three phase brush-less motor, a converter, a power supply unit, a position sensor and a capacitance storage system.

The capacitors eliminate the need for heavy and lead accumulators. The drives used work brush-less. All signals are transmitted by a DC-isolated profibus port, which is protected against over-voltage. Unique to the Goldwind GW70/1500 is the tooth belt transmission between the drive motor and rotor blade. This connection is insensitive to shock loading because, as opposed to gear transmission, several teeth are always in contact. The tooth belt does not require lubrication and is insensitive to moisture and dirt.



Blade pitch system

Nacelle Design

The nacelle has to transmit all static and dynamic loads of the rotor and the generator to the tower. In addition, the nacelle houses the control cabinet, the service crane, the yawing system, and supports the wind monitoring system (anemometer / wind-vane). Essentially, the housing consists of three parts: a cast part for transmission, a walk able base platform, and a shell made of reinforced fiberglass.

The cast part is connected to the tower via a yaw bearing that also forms the connection between tower and rotor resp. generator. The generator-stator and the axis with the bearing are fixed to the cast part, whereas the generator-rotor and with it the machine-rotor are connected pivot-able to the axis. All necessary system components are mounted to the platform that is fixed to the cast part. The shell protects the sensitive components against weather.

The yawing system is bolted directly to the cast part. The nacelle can be reached via a ladder from the highest tower platform. There is enough room for the service staff and all components can be reached easily. A hatch in the bottom of the shell on the opposite side of the machine-rotor allows loads to be lifted into the nacelle with the service crane.

Yawing System

The yawing system aligns the rotor with the wind direction, which is given by a wind vane installed on top of the nacelle. This wind data provides the basis for yaw corrections via electrical operated

yaw motors. These motors are geared to the external teeth of the yaw bearing between the tower and the cast machine base.

The nacelle is held in its position by hydraulic operated brake callipers, that hold a brake disk which is connected with the tower. At high wind speeds, the nacelle is adjusted to the wind direction even if the wind energy converter is stopped to reduce the occurring loads.

Control System

The Goldwind GW70/1500 has a microprocessor based control unit that independently adjusts and controls the turbine's operating parameters. As such, outside data entry or control is not required.

The control unit uses sensors to retrieve information about external conditions (wind speed, wind direction) and all operating parameters of the wind energy converter (power, rotor speed, blade pitch). Basing on this data, the plant management controls the turbine to optimize energy yield and to ensure safe turbine operation. At partial load the rotor speed is adjusted by modifying the generator output. At rated load and above the nominal power capacity is achieved with blade pitch adjustment.

As such, gusts can be converted into an increased rotational speed rather than increasing torque. The latter behavior is typical for conventional fixed speed technology. The Goldwind GW70/1500 is able to "absorb" wind speed changes and act as an energy cache memory. The turbine operates in a wind speed range of 3 m/s to 25 m/s. The wind turbine automatically stops operating outside this velocity range.

External monitoring of the operating performance of the turbine is possible by a PC modem and a telephone connection. Thus, all operating data, records and turbine conditions can be retrieved.

Tower

The steel tower supports the nacelle and the rotor and transfers the loads and forces of the turbine into the foundation.

The tower consists of segments held together by screw flange connections. It is connected to the foundation by the foundation insert. The yaw bearing is bolted directly on the top tower flange.

The control cabinet, converter, transformer and the medium voltage switchgear are mounted at the tower base. The tower is equipped with an internal cat ladder c/w a fall guardrail. Relax or safety platforms are installed at regular distances in the tower. The top platform has a cat ladder allowing access to the nacelle. The tower and the nacelle are lighted. In case of power failure, an emergency light ensures good working conditions.

Inside the tower there are also power and signal cables. The signal cables are trouble-free optical fiber. The cables hang in the upper section to allow the yawing of the nacelle and after several yaw rotations the wind energy converter will automatically untwist the cables. The base of the tower is accessible from outside by a stair and a door.

Foundation

The foundation secures and stabilizes the WEC. It is designed as a so-called raft or floating foundation. The rotor loads are transferred by the tower and the tower section to the foundation. The foundation section is a short steel tube which is integrated in the foundation. The upper layer of the steel reinforcement at the concrete runs through radial holes in the foundation section.

3. Technical parameters

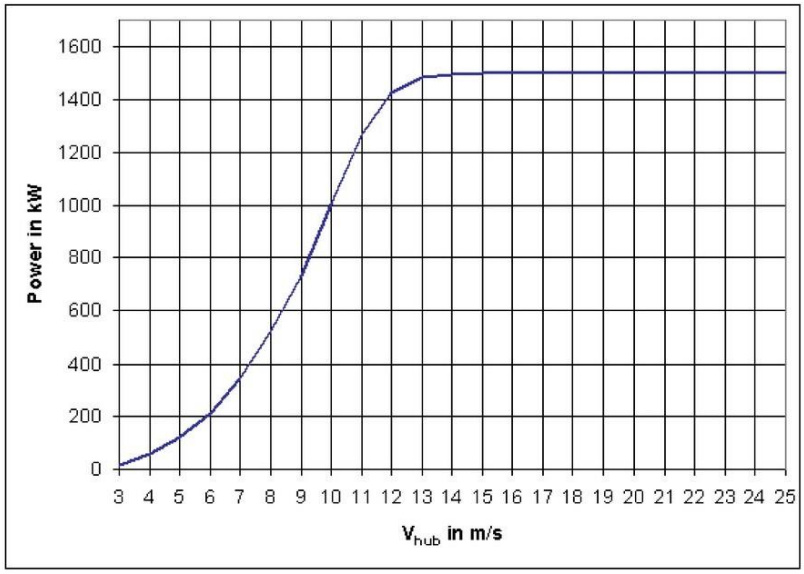
Goldwind GW70/1500wind turbine technical specification

	TYPE	GOLDWIND GW70/1500
Operation parameters	Rated power	1500 kW
	Cut-in wind speed	3 m/s
	Rated wind speed	11.8m/s
	Cut-out wind speed	25m/s (10 min) 32 m/s (5 sec)
	Survival wind speed（3s）	70m/s (IEC IA), 59.5m/s(IEC IIA)
	Design lifetime	≥20year
	Operating ambient temperature	-30° C to +40° C
	Standby ambient temperature	-40° C to +50° C
Rotor	Rotor	
	Diameter	70 m
	Swept area	3850m^2
	Speed range	10.2～19 rpm
	Number of blades	3
	Blade type	LM34P or similar
Generator	Type	Multipole synchronous generator, permanent magnet excited
	Rated power	1500 kW
	Design	Direct drive
	Rated current	660 A
	Rated rotation speed	19 rpm
	Protection class	IP23
	Insulation category	F
Converter	Type	IGBT-converter
	Protection class	IP54
	Output power factor regulated range	-0.95～+0.95
	Rated output voltage	620/690V
	Rated output current	1397/1255A
Yawing system	Design concept	electrical drive motor
	Rated of movement	0.45°/sec
	Yawing system	Brake 10-hold
Brake system	Aerodynamic braking	blade pitch triple-redundant
	Mechanical braking	hydraulic-brake system braking
Control system	Type	PLC
Lightning protection	Design Standards	According to IEC1024 ,comply with GL standard
	Earth resistance	≤4Ω
Tower	Type	steel tube
	Hub height	65 m/85m/100m

4. Power Curve and Thrust Coefficient Curve

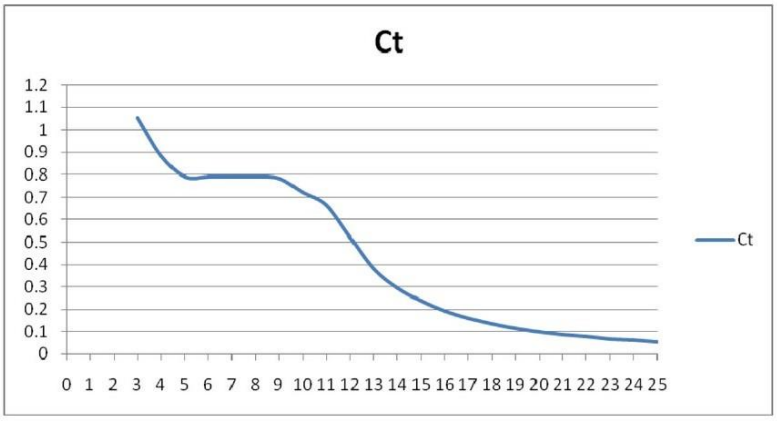
Air density: 1.225 kg/m3 (static state calculation power curve)

P=1.225kg/m3	
wind (m/s)	power (kW)
3	11
4	58
5	126
6	223
7	359
8	541
9	774
10	1039
11	1323
12	1500
13	1500
14	1500
15	1500
16	1500
17	1500
18	1500
19	1500
20	1500
21	1500
22	1500
23	1500
24	1500
25	1500



P=1.225kg/m3			
wind (m/s)	Ct	wind (m/s)	Ct
3	1.05594	23	0.06836
4	0.88535	24	0.06096
5	0.79101	25	0.0547
6	0.79102		
7	0.79103		
8	0.79104		
9	0.7823		
10	0.72075		
11	0.66325		
12	0.52306		
13	0.38186		
14	0.29613		
15	0.23713		
16	0.19408		
17	0.1616		
18	0.13641		
19	0.1166		
20	0.10069		
21	0.08779		
22	0.07718		

Thrust coefficient



Wind speed m/s

5. Certification and test report

Wind turbine design assessment

Type	Power	HH	WEA-Class	Blade	Certification	Status
GW 70/1500	1500	65.0	IEC IA	LM 34	CGCC	Complete
			IEC IIA	LM 34	TÜV-Nord	Complete
				APX 70	TÜV-Nord	Complete
				HT 34	CGCC	Complete
		85.0	IEC IIA	LM 34	TÜV-Nord	Complete
				APX 70	TÜV-Nord	Complete

CGCC: China General Certification Center

Wind turbine performance test report

Type	Power	Test Item	Standard	Testing Organization
GW 70/1500	1500	Measurement of power curve of wind turbine	IEC61400-12-1	WINDTEST
		Measurement of electrical characteristics of wind turbine	IEC61400-21	WINDTEST
		Acoustical emissions of wind turbine	IEC61400-11	WINDTEST

6. GW1500kW WTG transportation requirement

		Weight (kg)	Dimension(mm)	Truck	Crane	Note
Nacelle		12765	4050×3900×3770	>35T	>50T	
Generator		45900	5002×4982×3410	>45T	>100T	
Hub		14190	4500×4000×3500	>35T	>50T	
Blade		5720		>10T	>20T	Need special truck, the length is 31m
Tower	65m(HH)	40380	15 x Ø 4.80	>40T	>50T	Need special truck
		36120	22.8 x Ø 3.45	>50T	>100T	Need special truck
		25760	25 x Ø 3.00	>50T	>100T	Need special truck

Contact us:

Xin Jiang Goldwind Science & Technology Co.,Ltd.
No.107 Shanghai Road
Economy & Technology Development Zone
Urumqi, Xinjiang 830026, P.R. China
T: +86(0)991-3703506
F: +86(0)991-3703505
W: www.goldwind.cn
E-mail: infor@goldwind.cn

Anexo 8: BS 61400-1 Wind Turbines – Part 1: Design requirements

Licensed Copy: University College London, University College London, 01/12/2010 20:58, Uncontrolled Copy, (c) BSI

BRITISH STANDARD

BS EN 61400-1:2005

Wind turbines —

Part 1: Design requirements

The European Standard EN 61400-1:2005 has the status of a British Standard

ICS 27.180

NO COPYING WITHOUT BSI PERMISSION EXCEPT AS PERMITTED BY COPYRIGHT LAW

BSI British Standards

Licensed Copy: University College London, University College London, 01/12/2010 20:58, Uncontrolled Copy, (c) BSI

National foreword

This British Standard is the official English language version of EN 61400-1:2005. It is identical with IEC 61400-1:2005. It supersedes BS EN 61400-1:2004 which is withdrawn.

The UK participation in its preparation was entrusted to Technical Committee PEL/88, Windturbine systems, which has the responsibility to:

— aid enquirers to understand the text;

— present to the responsible international/European committee any enquiries on the interpretation, or proposals for change, and keep UK interests informed;

— monitor related international and European developments and promulgate them in the UK.

A list of organizations represented on this committee can be obtained on request to its secretary.

Cross-references

The British Standards which implement international or European publications referred to in this document may be found in the *BSI Catalogue* under the section entitled "International Standards Correspondence Index", or by using the "Search" facility of the *BSI Electronic Catalogue* or of British Standards Online.

This publication does not purport to include all the necessary provisions of a contract. Users are responsible for its correct application.

Compliance with a British Standard does not of itself confer immunity from legal obligations.

Summary of pages

This document comprises a front cover, an inside front cover, the EN title page, pages 2 to 87 and a back cover.

The BSI copyright notice displayed in this document indicates when the document was last issued.

Amendments issued since publication

Amd. No.	Date	Comments

This British Standard was published under the authority of the Standards Policy and Strategy Committee on 24 January 2006

© BSI 24 January 2006

ISBN 0 580 47146 2

Licensed Copy: University College London, University College London, 01/12/2010 20:58, Uncontrolled Copy, (c) BSI

EUROPEAN STANDARD **EN 61400-1**

NORME EUROPÉENNE

EUROPÄISCHE NORM November 2005

ICS 27.180 Supersedes EN 61400-1:2004

English version

Wind turbines
Part 1: Design requirements
(IEC 61400-1:2005)

Eoliennes
Partie 1: Exigences de conception
(CEI 61400-1:2005)

Windenergieanlagen
Teil 1: Auslegungsanforderungen
(IEC 61400-1:2005)

This European Standard was approved by CENELEC on 2005-10-01. CENELEC members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration.

Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Central Secretariat or to any CENELEC member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CENELEC member into its own language and notified to the Central Secretariat has the same status as the official versions.

CENELEC members are the national electrotechnical committees of Austria, Belgium, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

CENELEC
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung

Central Secretariat: rue de Stassart 35, B - 1050 Brussels

© 2005 CENELEC - All rights of exploitation in any form and by any means reserved worldwide for CENELEC members.

Ref. No. EN 61400-1:2005 E

Licensed Copy: University College London, University College London, 01/12/2010 20:58, Uncontrolled Copy, (c) BSI

Foreword

The text of document 88/228/FDIS, future edition 3 of IEC 61400-1, prepared by IEC TC 88, Wind turbines, was submitted to the IEC-CENELEC parallel vote and was approved by CENELEC as EN 61400-1 on 2005-10-01.

This European Standard supersedes EN 61400-1:2004.

The main changes with respect to EN 61400-1:2004 are listed below:

– the title has been changed to “Design requirements” in order to reflect that the standard presents safety requirements rather than requirements for safety or protection of personnel;

– wind turbine class designations have been adjusted and now refer to reference wind speed and expected value of turbulence intensities only;

– turbulence models have been expanded and include an extreme turbulence model;

– gust models have been adjusted and simplified;

– design load cases have been rearranged and amended;

– the inclusion of turbulence simulations in the load calculations is emphasized and a scheme for extreme load extrapolation has been specified;

– the partial safety factors for loads have been adjusted and simplified;

– the partial safety factors for materials have been amended and specified in terms of material types and component classes;

– the requirements for the control and protection system have been amended and clarified in terms of functional characteristics;

– a new clause on assessment of structural and electrical compatibility has been introduced with detailed requirements for assessment, including information on complex terrain, earthquakes and wind farm wake effects.

The following dates were fixed:

– latest date by which the EN has to be implemented at national level by publication of an identical national standard or by endorsement	(dop)	2006-07-01
– latest date by which the national standards conflicting with the EN have to be withdrawn	(dow)	2006-11-01

Annex ZA has been added by CENELEC.

_____

Licensed Copy: University College London, University College London, 01/12/2010 20:58, Uncontrolled Copy, (c) BSI

Endorsement notice

The text of the International Standard IEC 61400-1:2005 was approved by CENELEC as a European Standard without any modification.

In the official version, for Bibliography, the following notes have to be added for the standards indicated:

IEC 60034	NOTE	Harmonized in EN 60034 series (not modified).
IEC 60038	NOTE	Harmonized as HD 472 S1:1989 (modified).
IEC 60146	NOTE	Harmonized in EN 60146 series (not modified).
IEC 60173	NOTE	Harmonized as HD 27 S1:1978 (not modified).
IEC 60227	NOTE	The HD 21 series is related to, but not directly equivalent with the IEC 60227 series.
IEC 60245	NOTE	The HD 22 series is related to, but not directly equivalent with the IEC 60245 series.
IEC 60269	NOTE	Harmonized in EN/HD 60269 series (modified).
IEC 60439	NOTE	Harmonized in EN 60439 series (not modified).
IEC 60446	NOTE	Harmonized as EN 60446:1999 (not modified).
IEC 60529	NOTE	Harmonized as EN 60529:1991 (not modified).
IEC 60898	NOTE	Harmonized in EN 60898 series (modified).
IEC 61310-1	NOTE	Harmonized as EN 61310-1:1995 (not modified).
IEC 61310-2	NOTE	Harmonized as EN 61310-2:1995 (not modified).

Licensed Copy: University College London, University College London, 01/12/2010 20:58, Uncontrolled Copy, (c) BSI

Table 1 – Basic parameters for wind turbine classes[1]

Wind turbine class		I	II	III	S
V_{ref}	(m/s)	50	42,5	37,5	Values
A	I_{ref} (-)	0,16			specified
B	I_{ref} (-)	0,14			by the
C	I_{ref} (-)	0,12			designer

In Table 1, the parameter values apply at hub height and

V_{ref} is the reference wind speed average over 10 min,

A designates the category for higher turbulence characteristics,

B designates the category for medium turbulence characteristics,

C designates the category for lower turbulence characteristics and

I_{ref} is the expected value of the turbulence intensity[2] at 15 m/s.

In addition to these basic parameters, several other important parameters are required to completely specify the external conditions to be used in wind turbine design. In the case of the wind turbine classes I_A through III_C, later referred to as the standard wind turbine classes, the values of these additional parameters are specified in 6.3, 6.4 and 6.5.

The design lifetime for wind turbine classes I to III shall be at least 20 years.

For the wind turbine class S the manufacturer shall, in the design documentation, describe the models used and values of design parameters. Where the models in Clause 6 are adopted, statement of the values of the parameters will be sufficient. The design documentation of wind turbine class S shall contain the information listed in Annex A.

The abbreviations added in parentheses in the subclause headings in the remainder of this clause are used for describing the wind conditions for the design load cases defined in 7.4.

6.3 Wind conditions

A wind turbine shall be designed to safely withstand the wind conditions defined by the selected wind turbine class.

The design values of the wind conditions shall be clearly specified in the design documentation.

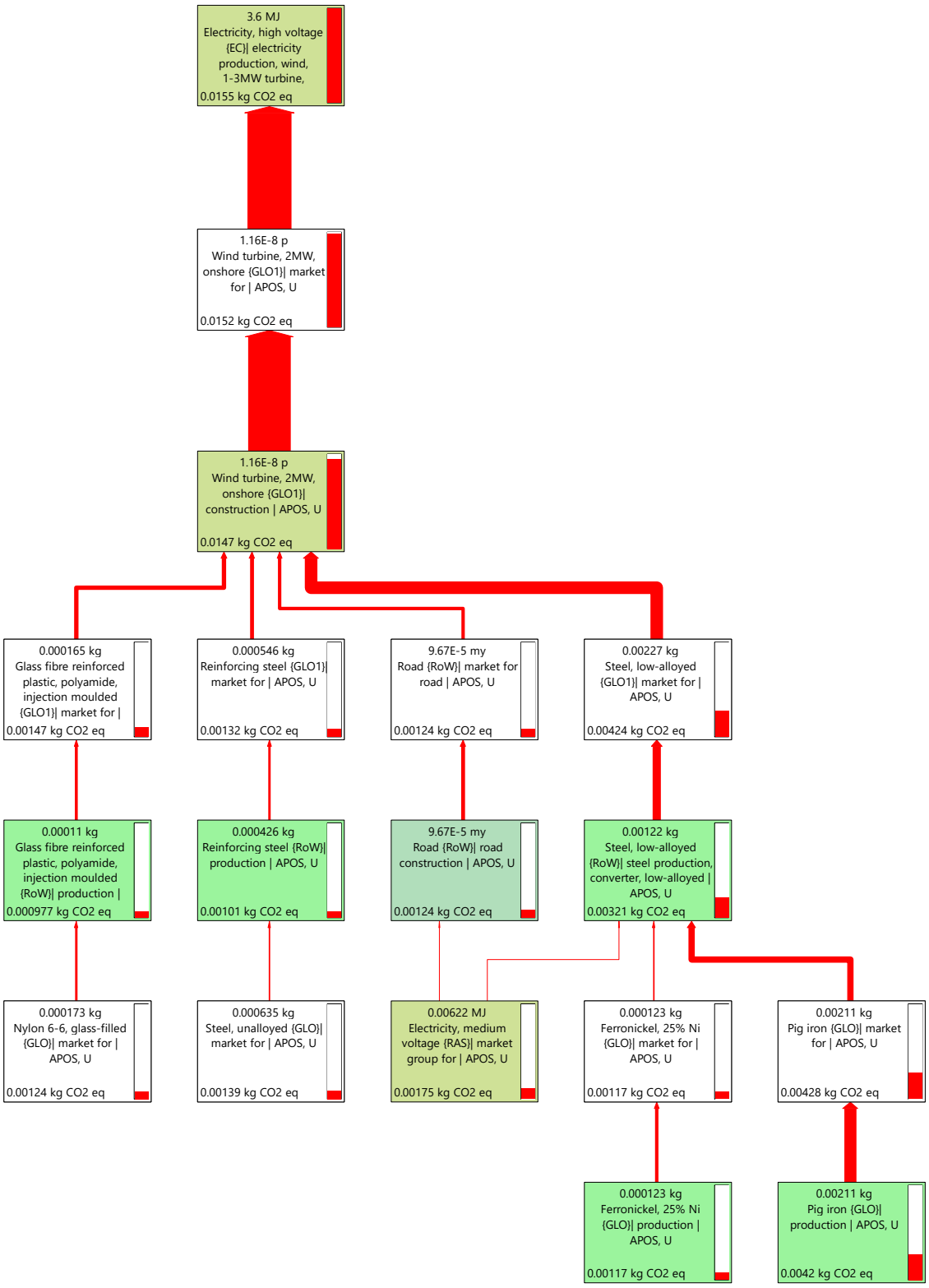
The wind regime for load and safety considerations is divided into the normal wind conditions, which will occur frequently during normal operation of a wind turbine, and the extreme wind conditions that are defined as having a 1-year or 50-year recurrence period.

---

1 The annual average wind speed no longer appears in Table 1 as a basic parameter for the wind turbine classes in this edition of the standard. The annual average wind speed for wind turbine designs according to these classes is given in equation (9).

2 Note that I_{ref} is defined as the mean value in this edition of the standard rather than as a representative value.

Anexo 9: Diagrama o árbol de red correspondiente a los resultados de la caracterización, categoría de cambio climático, para la producción de 1kWh (3.6 MJ) de electricidad a partir de la tecnología eólica en Ecuador



Electricity, high voltage {EC}| electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore | APOS, U

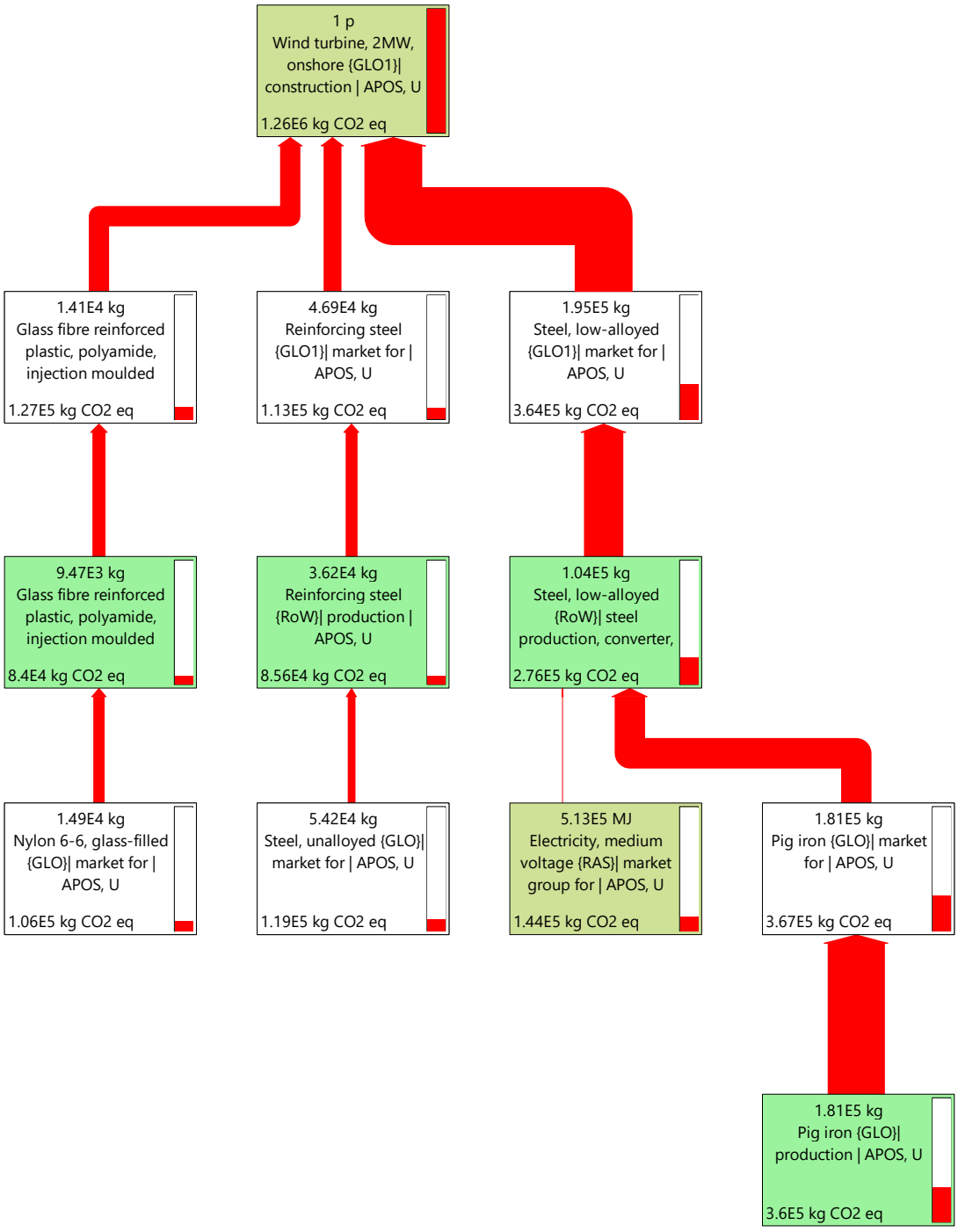
Anexo 10: Tabla 17

Entrada en SimaPro	***Caracterización Cambio Climático [kg CO_2 eq]***
Steel, low-alloyed {GLO}| market for | APOS, U	*3.64E5*
Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded {GLO}| market for | APOS, U	*1.27E5*
Reinforcing steel {GLO}| market for | APOS, U	*1.13E5*
Road {RoW}| market for road | APOS, U	*1.01E5*
Concrete, high exacting requirements {RoW}| market for | APOS, U	*9.85E4*
Electricity, medium voltage {RoW}| market for | APOS, U	*9.31E4*
Sheet rolling, steel {GLO}| market for | APOS, U	*8.19E4*
Epoxy resin, liquid {GLO}| market for | APOS, U	*6.43E4*
Steel, chromium steel 18/8 {GLO}| market for | APOS, U	*6.42E4*
Cast iron {GLO}| market for | APOS, U	*4.29E4*
Copper {GLO}| market for | APOS, U	*2.51E4*
Aluminium, wrought alloy {GLO}| market for | APOS, U	*2.12E4*
Electronics, for control units {GLO}| market for | APOS, U	*1.57E4*
Waste reinforced concrete {RoW}| market for waste reinforced concrete | APOS, U	*1.11E4*
Sheet rolling, chromium steel {GLO}| market for | APOS, U	*8.79E3*
Zinc coat, pieces {GLO}| market for | APOS, U	*7.57E3*
Polyethylene, high density, granulate {GLO}| market for | APOS, U	*6.2E3*
Aluminium, cast alloy {GLO}| market for | APOS, U	*3.03E3*
Waste polyethylene/polypropylene product {RoW}| market for waste polyethylene/polypropylene product | APOS, U	*2.77E3*
Waste plastic, mixture {RoW}| market for waste plastic, mixture | APOS, U	*2.76E3*
Wire drawing, copper {GLO}| market for | APOS, U	*2.18E3*
Scrap steel {RoW}| market for scrap steel | APOS, U	*1.68E3*

Scrap copper {RoW}| market for scrap copper | APOS, U	*1.64E3*
Aluminium scrap, post-consumer {GLO}| market for | APOS, U	*1.35E3*
Sheet rolling, aluminium {GLO}| market for | APOS, U	*1.21E3*
Zinc {GLO}| market for | APOS, U	*978*
Waste polyethylene {RoW}| market for waste polyethylene | APOS, U	*894*
Road {CH}| market for road | APOS, U	*588*
Electronics scrap from control units {GLO}| market for | APOS, U	*513*
Waste glass {RoW}| market for waste glass | APOS, U	*205*
Excavation, hydraulic digger {GLO}| market for | APOS, U	*189*
Concrete, normal {CH}| market for | APOS, U	*107*
Welding, arc, steel {GLO}| market for | APOS, U	*60.2*
Wind turbine, 2MW, onshore {GLO1}| construction | APOS, U	*1.26E6*

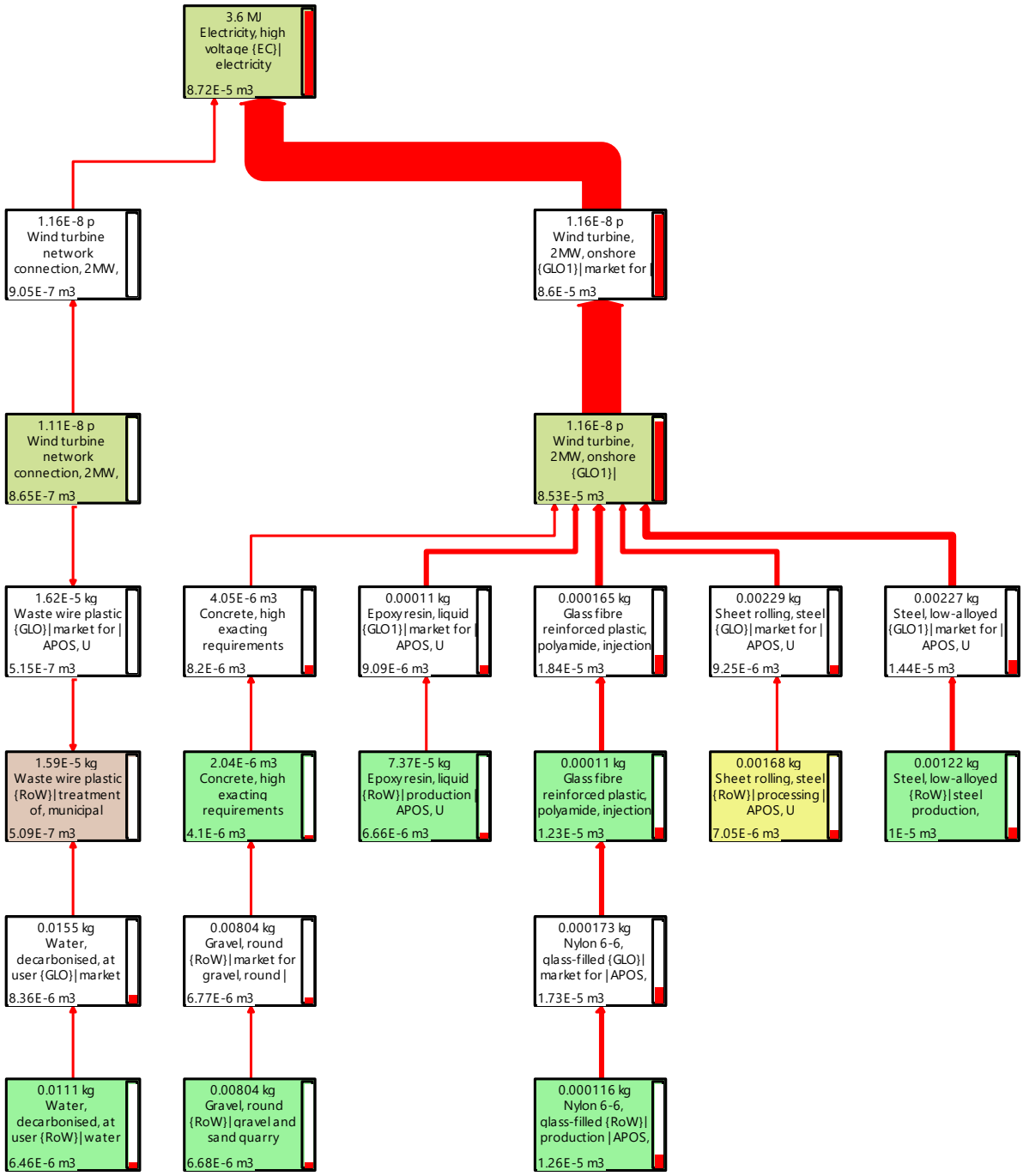
Tabla 17: Resultados de la caracterización en la categoría cambio climático para las principales entradas en el proceso de construcción de un aerogenerador de 1.5 MW

Anexo 11: Diagrama de red correspondiente a los resultados de la caracterización, en la categoría de cambio climático, para la etapa de construcción de un aerogenerador de 1.5MW.



Wind turbine network connection, 2MW, onshore {GLO}| construction | APOS, U.

Anexo 12: Diagrama de red correspondiente a los resultados de la caracterización, en la huella hídrica, para la producción de 1kWh (3.6 MJ) de electricidad a partir de la tecnología eólica en Ecuador.



Electricity, high voltage {EC}| electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore | APOS, U

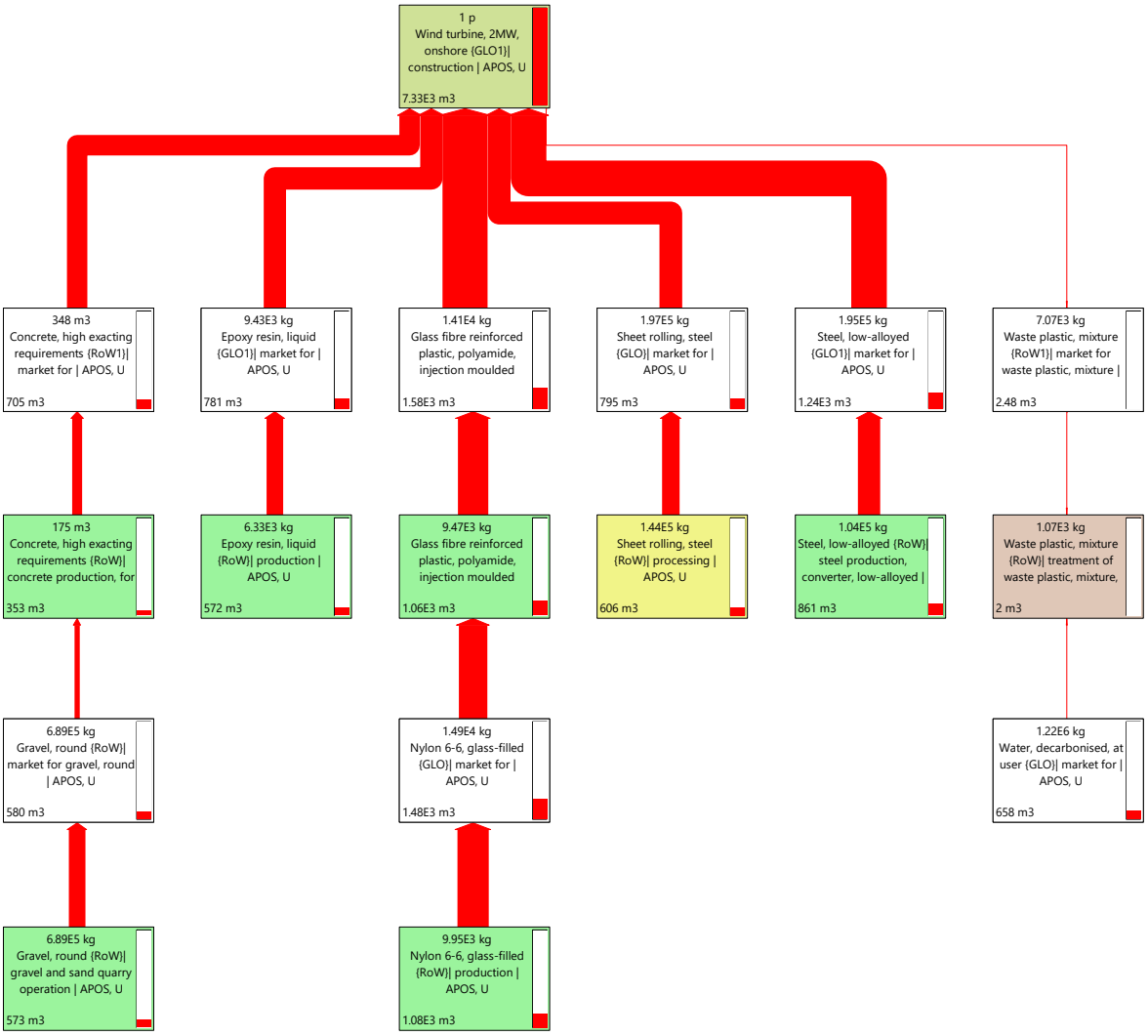
Anexo 13: Tabla 18

Entrada en SimaPro	*Caracterización Huella Hídrica [m^3]*
Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded {GLO}| market for | APOS, U	*1.58E3*
Steel, low-alloyed {GLO}| market for | APOS, U	*1.24E3*
Sheet rolling, steel {GLO}| market for | APOS, U	*790*
Epoxy resin, liquid {GLO}| market for | APOS, U	*781*
Concrete, high exacting requirements {RoW}| market for | APOS, U	*705*
Reinforcing steel {GLO}| market for | APOS, U	*534*
Road {RoW}| market for road | APOS, U	*499*
Electricity, medium voltage {RoW}| market for | APOS, U	*430*
Copper {GLO}| market for | APOS, U	*199*
Steel, chromium steel 18/8 {GLO}| market for | APOS, U	*122*
Cast iron {GLO}| market for | APOS, U	*94.2*
Sheet rolling, chromium steel {GLO}| market for | APOS, U	*64.7*
Electronics, for control units {GLO}| market for | APOS, U	*59.3*
Waste reinforced concrete {RoW}| market for waste reinforced concrete | APOS, U	*48.4*
Aluminium, wrought alloy {GLO}| market for | APOS, U	*39.8*
Zinc coat, pieces {GLO}| market for | APOS, U	*28.4*
Scrap steel {RoW}| market for scrap steel | APOS, U	*21.3*
Polyethylene, high density, granulate {GLO}| market for | APOS, U	*20.9*
Wire drawing, copper {GLO}| market for | APOS, U	*17*
Aluminium scrap, post-consumer {GLO}| market for | APOS, U	*15*
Aluminium, cast alloy {GLO}| market for | APOS, U	*13.6*
Scrap copper {RoW}| market for scrap copper | APOS, U	*7.76*

Zinc {GLO}| market for | APOS, U	*3.95*
Road {CH}| market for road | APOS, U	*3.71*
Sheet rolling, aluminium {GLO}| market for | APOS, U	*3.41*
Waste plastic, mixture {RoW}| market for waste plastic, mixture | APOS, U	*2.48*
Waste polyethylene/polypropylene product {RoW}| market for waste polyethylene/polypropylene product | APOS, U	*1.57*
Waste glass {RoW}| market for waste glass | APOS, U	*1.02*
Concrete, normal {CH}| market for | APOS, U	*0.994*
Electronics scrap from control units {GLO}| market for | APOS, U	*0.605*
Waste polyethylene {RoW}| market for waste polyethylene | APOS, U	*0.496*
Welding, arc, steel {GLO}| market for | APOS, U	*0.435*
Excavation, hydraulic digger {GLO}| market for | APOS, U	*0.211*
Wind turbine, 2MW, onshore {GLO}| construction | APOS, U	*7.33E3*

Tabla 18: Resultados de la caracterización en la huella hídrica para las principales entradas en el proceso de construcción de un aerogenerador de 1.5 MW

Anexo 14: Diagrama o árbol de red correspondiente a los resultados de la caracterización, de la huella hídrica, para la construcción de un aerogenerador de 1.5MW



Wind turbine network connection, 2MW, onshore {GLO}| construction | APOS, U.

Anexo 15: El FODA como herramienta de Planificación Estratégica

El Análisis FODA

Esta herramienta, permite efectuar un análisis tanto a nivel interno como externo en términos de fortalezas, oportunidades, debilidades, y amenazas relacionadas a la situación actual de una empresa u organización o de un proyecto en particular, entre otros; con lo cual, es posible obtener un diagnóstico, con el propósito de permitirnos tomar decisiones que guarden relación con los objetivos y políticas formulados.

*Las **fortalezas** son aquellas capacidades específicas con que cuenta la empresa u organización o un proyecto en particular, se trata de las ventajas con que cuenta en relación a la competencia; a saber: habilidades, recursos disponibles, actividades que se desarrollan de manera efectiva, entre otras.*

*Las **debilidades** son todos aquellos factores que inducen a una situación desfavorable en relación a la competencia; a saber: recursos no disponibles, habilidades con las que no se cuentan, actividades que no se desarrollan de manera efectiva, entre otras.*

*Las **oportunidades** son aquellas circunstancias que se traducen como positivas o favorables, las cuales deben ser detectadas o descubiertas en el entorno en el que se desenvuelve la empresa u organización o el proyecto en particular, las mismas que permiten generar ventajas competitivas.*

*Las **amenazas** son aquellas circunstancias o elementos del entorno en el que se desenvuelve la empresa u organización o el proyecto en particular; y que podrían atentar, causar problemas o inconvenientes al normal desarrollo de aquellos.*

Anexo 16: Demanda Acumulada de Energía y Tasa de Retorno Energético

*La Demanda Acumulada de Energía (**CED**, por su acrónimo en inglés de **"Cumulative Energy Demand"**), es una metodología de puntuación única, por medio de la cual se tiene la capacidad de determinar la cantidad de energía que se consume durante todo el ciclo de vida del aerogenerador, considerando todas sus etapas, desde la obtención de materias primas y componentes, hasta el fin de vida y el desmantelamiento del mismo. El resultado que arroja la herramienta informática SimaPro se obtiene en MJ equivalentes y según el análisis que se quiere llegar a hacer, se lo puede presentar de manera global o desglosado por el tipo de fuente del que se haya obtenido dicha energía. Para los fines que se persigue en el presente estudio, sólo interesa mostrarlo en su forma global; es decir, como sigue.*

CATEGORÍA DE IMPACTO	Unidad	TOTAL DEL CICLO DE VIDA
DEMANDA ACUMULADA DE ENERGÍA	MJ_{eq}	0.215

Tabla 19: Demanda Acumulada de Energía para GW70/1500kW

En base a la información obtenida a partir de la Curva de Potencia del aerogenerador GW70/1500kW, contenida en el Anexo 7 y proporcionada por el fabricante GoldWind, se procederá a obtener la energía eléctrica producida por dicha unidad de generación, considerando que en la ubicación en la que se encuentra se tendría una velocidad media anual a la altura del buje de 8 m/s, asumiéndose además una distribución de velocidades de Rayleigh (k =2) y vida útil de 20 años.

Distribución Rayleigh (k=2) velocidad media anual: <v>=8.0 m/s						
v (m/s)	P(v)	P(v) (h/año)	F(v)	F(v) (h/año)	P (kW)	E (kWh)
1	0.02424	212.4	0.0122	106.8	0	0
2	0.04674	409.4	0.0479	419.6	0	0
3	0.06593	577.6	0.1046	916.0	11	6,353
4	0.08067	706.7	0.1783	1561.7	58	40,988
5	0.09030	791.0	0.2642	2314.4	126	99,665
6	0.09467	829.3	0.3571	3128.3	223	184,942
7	0.09416	824.9	0.4519	3958.8	359	296,133
8	0.08952	784.2	0.5441	4766.0	541	424,265
9	0.08175	716.1	0.6299	5518.0	774	554,281
10	0.07194	630.2	0.7069	6192.3	1039	654,787
11	0.06116	535.7	0.7735	6775.6	1323	708,787
12	0.05031	440.7	0.8292	7263.6	1500	661,081
13	0.04010	351.3	0.8743	7659.0	1500	526,959
14	0.03101	271.6	0.9098	7969.5	1500	407,439
15	0.02327	203.9	0.9368	8206.2	1500	305,821
16	0.01697	148.7	0.9568	8381.4	1500	222,987
17	0.01203	105.4	0.9712	8507.5	1500	158,027
18	0.00829	72.6	0.9812	8595.7	1500	108,898
19	0.00556	48.7	0.9881	8655.6	1500	72,997
20	0.00362	31.7	0.9926	8695.3	1500	47,613
21	0.00230	20.2	0.9955	8720.9	1500	30,228
22	0.00142	12.5	0.9974	8736.9	1500	18,682
23	0.00086	7.5	0.9985	8746.7	1500	11,244
24	0.00050	4.4	0.9991	8752.5	1500	6,590
25	0.00029	2.5	0.9995	8755.9	1500	3,763
E_{anual} aerogenerador (MWh)						**5,553**

Tabla 20: Energía eléctrica producida por el aerogenerador GW70/1500kW

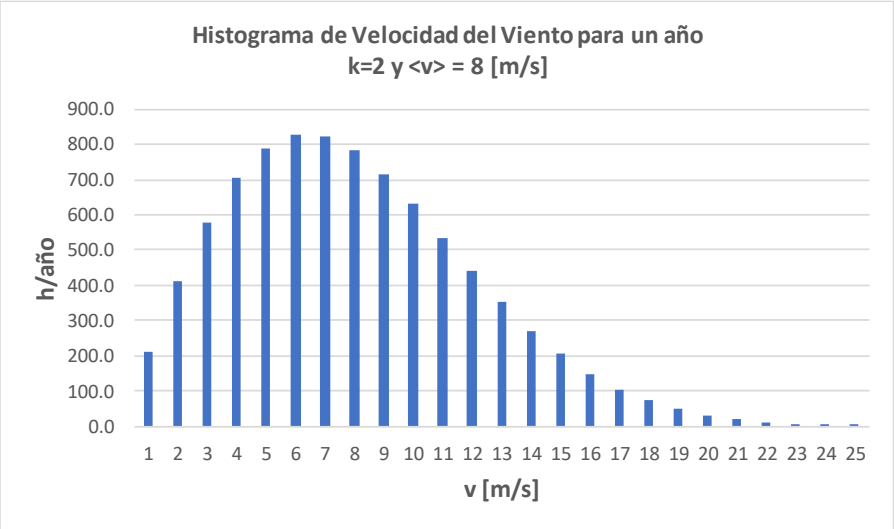


Figura 22: Histograma de velocidades del viento para un año (8,760 horas)

*Por su parte, la Tasa de Retorno Energético – TRE (**EROI** por su acrónimo en inglés de **"Energy Return on Investment"**) se lo conoce como a la razón o relación entre la cantidad de energía total que es capaz de producir una determinada fuente de energía, en nuestro caso eólica, y la cantidad de energía que es necesaria emplear o aportar para explotar dicho recurso energético; de esta forma, se obtiene la información que para los fines pertinentes ha sido resumida en la Tabla 21.*

DESCRIPCIÓN	***IEC – II <v> = 8.0 m/s***
DEMANDA ACUMULADA DE ENERGÍA [kWh_{eq}]	*6,632,188.16*
ENERGÍA GENERADA DURANTE LA VIDA ÚTIL [kWh]	*111,050,596.55*
TASA DE RETORNO ENERGÉTICO (EROI)	*16.74*
TIEMPO DE AMORTIZACIÓN [AÑOS]	*1.19*
TIEMPO DE AMORTIZACIÓN [MESES]	*14.33*

Tabla 21: Tasa de Retorno Energético y Tiempo de Amortización