

MÁSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES

“SUMINISTRO ENERGÉTICO SOSTENIBLE PARA GENERADORES DE AGUA ATMOSFÉRICA EN LA COMUNIDAD DE LA GUAJIRA, COLOMBIA”

ANEXOS

AUTORES G3

Mayra Alejandra CÓRDOVA GILES

Leonardo Enrique DÍAZ SARMIENTO

Paula IGLESIAS RIBEIRO

Nixon VILLANUEVA DELGADO

TUTORA:

Maitane URRUTIA APARICIO

Noviembre

2024

INDICE DE ANEXOS

Anexo I: Conceptos principales relacionados a las propiedades del aire	1
Anexo II: Tipos de tecnologías de generación de agua atmosférica (AWG)	2
Anexo III: Listado de tecnologías comerciales (AWG)	5
Anexo IV: Cálculos de flujo de aire necesario para la producción de agua en equipos AWG	6
Anexo V: Marco Regulatorio Asociado a Energías Renovables - Colombia	9
Anexo VI: Restricciones de ubicación del parque híbrido	13
Anexo VII: Análisis ambiental preliminar	18
Anexo VIII: Simulación WasP	20
Anexo IX: Simulación PVsyst	23
Anexo X: Parámetros y análisis de flujo de caja	31

ANEXOS

Anexo I: Conceptos principales relacionados a las propiedades del aire

A continuación, se mencionan las definiciones principales (Carlos E. Berg, 2016 y Edmundo Damario 2020):

- **Humedad Relativa:** relación entre la cantidad de vapor de agua en el aire y la cantidad máxima que puede contener a cierta temperatura. El 100% indica aire saturado, el 0% indica aire seco ($HR\% = H_{\text{actual}} / H_{\text{máx.}} \times 100$).
- **Temperatura de bulbo seco:** temperatura normal que se mide en un termómetro común expuesto al aire.
- **Temperatura de bulbo húmedo:** temperatura que se mide al pasar aire sobre un termómetro cubierto con paño húmedo. Viene a ser la temperatura más baja que puede llegar el aire mediante evaporación del agua en contacto con el mismo.
- **Temperatura de punto de rocío:** temperatura a la cual debe enfriar el aire para que se sature, es decir, el vapor de agua empieza a convertirse en agua líquida.
- **Condensación del vapor de agua:** proceso que ocurre cuando el vapor de agua cambia de estado gaseoso a líquido como consecuencia de enfriamiento de las masas de aire. Se pueden dar por:
 - Expansión del aire: corriente ascendente del aire en la atmosfera, haciendo que el aire sea sometido a una menor presión.
 - Enfriamiento directo: cuando existe un pasaje de aire caliente sobre una región fría o sobre suelo frío especialmente en noches con cielos despejados.
 - Mezcla de masas de aire: mezcla de dos masas de aire saturadas y a distinta temperatura. La condensación no se da en condiciones naturales, solo se llega a producir nubes o nieblas.

Tabla 1: Conceptos principales propiedades del aire atmosférico

Anexo II: Tipos de tecnologías de generación de agua atmosférica (AWG)

Tipo	Descripción	Tecnologías AWG	Etapas principales/Descripción	Características
1. Refrigeración activa	Consiste en el enfriamiento del aire atmosférico por debajo de su punto de rocío mediante un sistema de refrigeración por compresión convencional de vapor o enfriamiento termoeléctrico.	1.1. Refrigeración por compresión de vapor. (Raveesh et al., 2021)	1) Ingresa aire ambiental (a través de un ventilador controlado). 2) Enfriamiento de aire (por evaporación de refrigerante). 3) Condensación del aire (punto de rocío). 4) Recolección agua <i>Nota: el refrigerante recircula por ciclo de compresión (condensación) y expansión (evaporación)</i>	(+) El sistema también permite la utilización del condensado del sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado para la recuperación del agua. (+) Tecnologías más desarrollada en el mercado (-) Requiere ingreso aire caliente y húmedo para su mejor rendimiento, de lo contrario, se requeriría el acondicionamiento de una cámara climática para favorecer las condiciones climáticas. (-) Suelen consumir mucha energía, es por ello, que el uso de energías renovables es una opción sostenible.
		1.2. Enfriamiento termoeléctrico (basado efecto Peltier) (Raveesh et al., 2021)	1) Ingresa aire ambiental 2) Enfriamiento de aire (por zona fría del módulo peltier) 3) Condensación del aire (punto de rocío) 4) Recolección agua <i>Nota: el módulo Peltier genera una parte caliente y fría a partir de un voltaje eléctrico.</i>	(+) Se requieren menos equipos, es más compacto, menos mantenimiento y más silencioso. (+) No se requieren refrigerantes (-) Menor rendimiento, en evaluación de recubrimientos materiales hidrofóbicos como SiO ₂ e integración con otros sistemas como recolección de agua de lluvia y uso de energías renovables.
2. Colección pasiva	Consiste en la recolección de agua atmosférica a través de su rocío y niebla.	2.1. Colección de rocío (Raveesh et al., 2021)	1) Ingreso aire (alta humedad) 2) Condensación invisible vapor agua sobre sustrato (rocío) 3) Recolección agua <i>Nota: el sustrato se enfría de forma pasiva disipando su calor al exterior</i>	(+) Son técnicas menos complejas, menos inversión. (+) No requieren energía. (-) Restricción para condiciones de alta humedad relativa. (-) Su generación suele ser más lenta.
		2.2. Colección de niebla (Raveesh et al., 2021)	1) Ingreso de gotas de agua (nieblas de alta humedad) 2) Atrapamiento de niebla en mallas 3) Recolección agua (por gravedad) <i>Nota: diseño de mallas debe tener resistencia para evitar danos</i>	

3. Concentración de Vapor	Consiste en el aprovechamiento de vapor de agua de la atmosfera mediante el uso de un material higroscópico que pasan luego a condensarse.	3.1. Sorción (Raveesh et al., 2021)	1) Ingreso aire ambiental (noche) 2) Captura del vapor de agua mediante sorbente (hasta saturación) 3) Calentamiento del sorbente (día) 4) Liberación del vapor de agua del sorbente 5) Condensación del vapor de agua 6) Recolección	(+) Están teniendo relevancia ya que pueden funcionar en condiciones baja humedad relativa. (-) Aun en desarrollo e investigación de materiales sorbentes que cuenten con una alta capacidad de captura de agua, ciclo de operación rápidos y bajo consumo energético para su desorción.
		3.2. Membrana (Raveesh et al., 2021)	1) Ingreso aire ambiental (húmedo) 2) Filtración del vapor de aire mediante membrana 3) Condensación del vapor de agua (baja presión) 4) Recolección	(+) Están teniendo relevancia ya que pueden funcionar en condiciones baja humedad relativa. (-) Aun en investigación/prototipado.
4. Híbridas	Nuevos esfuerzos con enfoques híbridos e integrados para afrontar desafíos técnicos y económicos para poder afrontar la problemática de escasez de agua en varias regiones del mundo.	4.1. Extracción de agua potable de aire atmosférico mediante uso de destilador solar tubular. (Raveesh et al., 2021)	1) Ingreso aire ambiental 2) Captura del vapor de agua mediante sorbente (hasta saturación) 3) Calentamiento del sorbente (mediante concentrador solar parabólico) 4) Enfriamiento y condensación del vapor de agua 5) Recolección	(+) Uso de energía solar renovable. (-) Aun en investigación/prototipado.
		4.2. Planta de energía solar adaptada para producir agua dulce a partir de la atmósfera. (Raveesh et al., 2021)	Sistema de colectores solar adaptado a tipo tubos espirales negros conectado con una chimenea y equipado con una turbina eólica e hidráulica para aprovechar aire que fluye parte superior y agua que fluye en la parte inferior. Cuenta con una superficie porosa sólida en la parte superior de la chimenea para recolectar el agua formada por condensación.	(+) Uso de energías renovables solar; eólica e hidráulica.
		4.3. Recolección de niebla de la columna de torres de enfriamiento en plantas de energía térmica. (Raveesh et al., 2021)	Redes de niebla de diversas formas cerca de la salida de la torre de enfriamiento con diferentes inclinaciones respecto de la corriente de niebla entrante. Uso de agua como suplemento de reposición de torres de enfriamiento sin tratamiento adicional.	(+) Menor inversión, reaprovechamiento del recurso. (-) Aplicaciones específicas en plantas de energía térmica.

		4.4. Sistemas integrados con alimentación de biomasa. (Sky Source)	Consiste en un sistema compacto que integra un gasificador de biomasa, el cual va a liberar aire húmedo y caliente, a un sistema generador de aire atmosférico por procesos de enfriamiento y condensación para la obtención de agua potable.	(+) Uso de energía renovable. (-) Se requiere en lugar con alta disponibilidad de biomasa.
		4.5. Turbina de agua atmosférica. (Proyecto Yawa, 2018)	Consiste en una turbina eólica que convierte la humedad del viento en agua de forma mecánica, el aire que choca con las paletas se redirige a un eje de soporte donde es comprimido, enfriado, condensado y filtrado para su recolección final.	(+) Uso de energía renovable. (-) Se requiere mejora del sistema de filtración y aumento de capacidad, hasta 300L día.
		4.5. Hidro paneles (Source Hydropanel)	Sistema compuesto por paneles solares fotovoltaicos que generan energía eléctrica para activar unos ventiladores que aspiran el aire ambiental, el mismo se dirige a un material absorbente para atrapar el vapor de agua y posteriormente se condensa para la recolección del agua.	(+) Uso de energía renovable. (-) Limitado uso en el día.

Tabla 2: Tipos de tecnologías de generación de agua atmosférica (Elaboración propia)

Anexo III: Listado de tecnologías comerciales (AWG)

Empresa	Modelo	Capacidad [L/día]	Potencia [kW]	Consumo energético [KWh/L]	Dimensiones (L X A X H m)	Peso kg	Referencia	Condiciones ambientales	Precio (USD)
AWG Contracting (USA)	AWG-800	hasta 800	-	0,18	(16 units / 20")	544	https://awgcontractingus.com/	5°C – 55°C 20% – 99% RH	103 000
	AWG-5000	hasta 8400 5413 (30° y 80 HR)	36	0,16	(1 units / 20")	11 793	https://awgcontractingus.com/	5°C – 55°C 20% – 99% RH	450 000
Watergen (USA)	GEN-L	hasta 6000	Nominal: 60 Pico: 90	0,24 - 0,36 *0,35 (26.6° y 60 HR)	2,85 x 2,2 x 2,6 (2 units / 20")	2 850	https://www.watergen.com/	15°C a + 20% RH a +	267 702
	GEN-M PRO	hasta 900	5,6	0,35 (26.6° y 60 HR)	1,4 x 1,5 x 1,7 (4 - 8 units / 20")	780	https://www.watergen.com/	-10°C – 75°C 20% a + RH	89 990
Watair (UK)	PW HR-3000L	3000 (30° y 80 HR)	-	-	4 x 2,2 x 2,2 (1 units / 20")	2500	https://www.watairuk.co.uk/atmospheric-water-generators	15°C – 38°C 45% - 95% RH	-
	PW HR-5500L	hasta 5500	35	-	3,1 x 3,1 x 2,0 (1 units / 20")	3200	https://www.watairuk.co.uk/atmospheric-water-generators	15°C – 45°C 30% - 100% RH	-
Ecoblue	EC5000	hasta 5000 (30° y 80 HR)	180	0,43	6 x 2,6 x 2,4 (1 units / 20")	5000	https://talisa.co.za/ecolobue-5000/	0°C – 60°C 25% - 100% RH	-
	EC10000	hasta 10000 (30° y 80 HR)	300	0,43	12,1 x 2,6 x 2,4 (1 units / 40")	5900	https://talisa.co.za/ecolobue-10-000/	0°C – 60°C 25% - 100% RH	-
Cowwin (China)	COW-1000L-38	hasta 1000 (30° y 80 HR)	8,7	-	1,89 x 1,55 x 1,63 (4 units / 20")	700	https://www.alibaba.com/product-detail/Low-Consumption-commercial-solar-atmospheric-water_1600214561933.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.7c3413a0nFjmoC	15°C – 45°C 30% - 100% RH	15900
	COW-5000L-38	hasta 5000 (30° y 80 HR)	46	0,22	4,4 x 1,9 x 2,2 (1 units / 20")	2 800	https://french.alibaba.com/product-detail/5000L-atmospheric-Solar-air-water-generator-1601000284628.html	15°C – 45°C 25% - 100% RH	62 695
	COW-10000L-38	hasta 10000 (30° y 80 HR)	92	-	8,8 x 1,9 x 2,2 (1 units / 40")	-	https://french.alibaba.com/product-detail/5000L-atmospheric-Solar-air-water-generator-1601000284628.html	15°C – 45°C 25% - 100% RH	-
Dewstand (China)	DSXL-3000	hasta 3000 (30° y 80 HR)	-	-	-	-	https://dewstand.com/products/xl3000-industrial-atmospheric-water-generator	15°C – 45°C 25% - 100% RH	129 808
	DSXL-5000	hasta 5000 (30° y 80 HR)	116	-	5,3 x 2,2 x 2,2 (1 units / 20")	3200	https://dewstand.com/products/xl5000-industrial-atmospheric-water-generator	15°C – 40°C 35% - 95% RH	185 480

Tabla 3: Lista de tecnologías comerciales AWG (Elaboración propia)

Anexo IV: Cálculos de flujo de aire necesario para la producción de agua en equipos AWG

El proceso de refrigeración activa por compresión de vapor nos permite obtener agua mediante el enfriamiento y condensación del aire, para entender su funcionamiento es importante entender las variables de entrada (1) y salida (2) del evaporador (figura 20), donde:

- HR: humedad relativa (%)
- ω : humedad absoluta (g agua/kg aire seco o g agua/m³ aire)
- \dot{m}_{as} : flujo másico (kg aire seco/hr)
- \dot{m}_v : flujo de vapor (kg vapor/hr)
- \dot{m}_f : flujo masico del condensado (kg agua/hr)
- Tbs: temperatura del bulbo seco

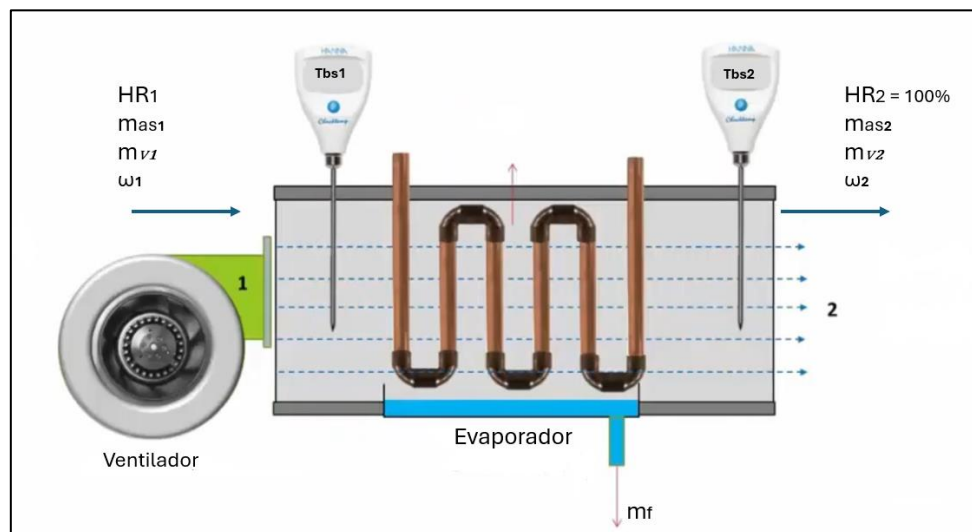


Figura 1: esquema que muestra el proceso de condensación en el evaporador de un sistema AWG (Ospino, 2023)

Ahora bien, considerando que no hay adición de aire extra tenemos que el balance de masa para el aire seco que pasa por el evaporador y el condensado serían:

$$\text{Ecuación 1 (Balance de masa aire seco): } \dot{m}_{as1} = \dot{m}_{as2} = \dot{m}_{as}$$

$$\text{Ecuación 2 (Balance de masa del condensado): } \dot{m}_{v1} = \dot{m}_{v2} + \dot{m}_f$$

Con ayuda de la carta psicrométrica y conociendo la humedad relativa y la temperatura de bulbo seco de entrada y salida, se obtiene la humedad absoluta “ ω ”, densidad del aire “ ρ ” la entalpía “ H ” y la temperatura de bulbo húmedo “ T_{bh} ” (tabla 28), la humedad relativa a la salida del evaporador será siempre del 100% (Ospino, 2023).

Parámetro	Condiciones de entrada de aire al evaporador	Condiciones de salida de aire del evaporador
HR (%)	80	100
Tbs (°C)	30	15
Tbh (°C)	27.09	1.217
H (kJ/kg)	85.31	42
ρ (kg/m³)	1.151	1.217
ω (g agua/kg aire seco)	21.574	10.645

Tabla 4: Condiciones del aire de entrada y salida del evaporador (Elaboración propia a partir de datos de Herramientas de ingeniería, 2024)

Para el cálculo del flujo de aire, partiremos de la ecuación de balance masa del aire seco y condensado y sabiendo que el flujo de vapor es igual a la humedad absoluta por el flujo másico de aire seco, obtenemos las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ecuación 3: } \dot{m}_f = \dot{m}_{v1} - \dot{m}_{v2} = \frac{(\dot{m}_{as1}\omega_1 - \dot{m}_{as2}\omega_2)}{1000} = \frac{\dot{m}_{as}(\omega_1 - \omega_2)}{1000}$$

$$\text{Ecuación 4: } \dot{m}_{as} = \frac{1000 \cdot \dot{m}_f}{(\omega_1 - \omega_2)}$$

Una vez obtenido el flujo másico, al afectarlo por la densidad podemos estimar el flujo volumétrico nominal (tabla) de los equipos seleccionados:

$$\text{Ecuación 5: } \dot{Q} = \frac{\dot{m}_{as}}{\rho} = \frac{1000 \cdot \dot{m}_f}{\rho(\omega_1 - \omega_2)}$$

Donde:

- \dot{Q} = Flujo volumétrico de aire en m³/s
- ρ = Densidad del aire en kg/m³

Aplicando estas ecuaciones, obtenemos los resultados de flujo volumétrico para cada equipo AWG seleccionado, el cual, usaremos para poder obtener la producción final en litros en diferentes escenarios de humedad y temperatura.

Proveedor	AWG Contracting (USA)	Watergen (USA)	Cowwin (China)
Modelo	AWG-5000	GEN-L	COW-5000L-38
Condiciones de entrada (Tbs 30°C y HR 80%)			
$\omega 1$ (hum. abs. g agua/kg aire seco)	21,57	21,57	21,57
$\rho 1$ (densidad aire kg/m3)	1,151	1,151	1,151
Condiciones de salida (Tbs 15°C y HR 100%)			
$\omega 2$ (hum. abs. g agua/kg aire seco)	10,65	10,65	10,65
$\rho 2$ (densidad aire kg/m3)	1,217	1,217	1,217
Condensado final (acorde a capacidad cada equipo)			
Capacidad. (L/día)	5413	6000	5000
Densidad agua. (kg/l)	1	1	1
m_f (flujo masico del condensado en kg/hr)	226	250	208
Cálculo de flujo de aire seco			
mas: Flujo aire kg/hr	20637	22875	19062
Q: flujo aire m3/s	4,98	5,52	4,60
Cálculo de flujo de vapor			
m_{v1} Kg/hr vapor	445	494	411
m_{v2} Kg/hr vapor	220	244	203

Tabla 5: Cálculo del flujo de aire para condiciones de diseño

Anexo V: Marco Regulatorio Asociado a Energías Renovables - Colombia

Leyes / Decretos / Resoluciones	Permisos / Licencias	Año	Marco regulatorio	Objetivos	Incentivos y Beneficios	Entidades Responsables	Impacto Ambiental	Participación del sector privado
Ley 1715	No aplica	2014	"Por la cual se regula la generación de energías renovables no convencionales."	Fomentar la inversión, investigación, aprovechamiento y desarrollo de las Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCER).	- Exención del IVA - Exoneración de aranceles - Deducción tributaria	Ministerio de Minas y Energía	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.	Inversión en proyectos de energías renovables.
	Permiso de Uso del Suelo		"Por la cual se establece el régimen de uso del suelo."	Autorizar el uso del suelo para proyectos de energías renovables.	No aplica	Municipalidades provinciales y distritales	Evaluación de impacto ambiental	Cumplimiento de regulaciones ambientales
	Licencia de construcción		"Por la cual se establece el régimen de construcción."	Autorizar la construcción de proyectos de energías renovables.	No aplica	Municipalidades provinciales y distritales	Evaluación de impacto ambiental	Cumplimiento de regulaciones ambientales
	No aplica		"Por la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional."	Regular la integración de las energías renovables no convencionales a la red nacional.	No aplica	Ministerio de Minas y Energía	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero	Cumplimiento de regulaciones ambientales
Resolución CREG 024	No aplica	2015	"Por lo cual se regula la autogeneración eléctrica a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional."	Regular la inyección de electricidad de fuentes no convencionales de energías renovables a la red nacional.	No aplica	Ministerio de Minas y Energía	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.	Cumplimiento de regulaciones de estado

Resolución CREG 030	No aplica	2019	"Por la cual se establecen condiciones técnicas y comerciales que deben cumplir los sistemas de fuentes no convencionales de energías renovables."	Establece tarifas de inyección y retiro de energía de la Red eléctrica.	No aplica	Ministerio de Minas y Energía	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero	Cumplimiento de regulaciones de estado
Ley 2029	No aplica	2021	"Por la cual se fomenta la eficiencia energética y la transición hacia energías renovables."	Fomentar la eficiencia energética y la transición hacia energías renovables.	Incentivos fiscales, financiamiento o para proyectos de eficiencia energética.	Ministerio de Minas y Energía	Reducción de consumo de energía, emisiones de gases de efecto invernadero.	Inversión en proyectos de eficiencia energética.
Ley 1753	No aplica	2015	"Por la cual se regula el derecho de consulta previa y la participación de las comunidades indígenas y afrodescendientes en proyectos que afecten sus territorios y derechos."	Regula el derecho a la consulta previa y participación de comunidades indígenas y afrodescendientes en proyectos dentro de su territorio	No aplica	Ministerio del Interior	Evita que se generen conflictos sociales	Cumplimiento de regulaciones de estado
Resolución 1312	Licencia ambiental	2016	"Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental. "	Regular la evaluación de impacto ambiental para proyectos de energías renovables	No aplica	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Evaluación y mitigación de impactos ambientales	Cumplimiento de regulaciones ambientales
Decreto 2820			"Por lo cual se establece un enfoque más estricto en la evaluación ambiental."	Regular la evaluación de impacto ambiental para proyectos de infraestructura	No aplica	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Evaluación y mitigación de impactos ambientales	Cumplimiento de regulaciones ambientales

Ley 1653		2013	"Por lo cual se regula la evaluación de impacto ambiental para proyectos de infraestructura"	Regular la evaluación de impacto ambiental para proyectos de infraestructura	No aplica	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Evaluación y mitigación de impactos ambientales	Cumplimiento de regulaciones ambientales
Decreto 1076		2015	"Por el cual se reglamenta la evaluación de impacto ambiental para proyectos de energías renovables"	Reglamentar la evaluación de impacto ambiental para proyectos de energías renovables	No aplica	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Evaluación y mitigación de impactos ambientales	Cumplimiento de regulaciones ambientales
Resolución 1457		2015	"Por la cual se establecen lineamientos para la evaluación de impacto ambiental de proyectos de energías renovables"	Establecer lineamientos para la evaluación de impacto ambiental de proyectos de energías renovables	No aplica	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Evaluación y mitigación de impactos ambientales	Cumplimiento de regulaciones ambientales
Resolución 1283	Certificado de Beneficio Ambiental	2016	"Por lo cual se establece el procedimiento y requisitos (planos, estudios de impacto ambiental e informe de beneficio ambiental) para la expedición de esta certificación"	Reconocer los beneficios ambientales de proyectos de energías renovables	Incentivos fiscales y financieros	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, UPME	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero	Inversión en proyectos de energías renovables
Decreto 1341	No aplica	2016	"Por lo cual establece los requisitos para la autorización de proyectos de energías renovables en áreas protegidas"	Reglamentar la autorización de proyectos de energías renovables en áreas protegidas	No aplica	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Protección de áreas de reserva hidrocarburífera	Cumplimiento de regulaciones ambientales

Resolución 0404	No aplica	2017	"Por la cual se establecen requisitos para la autorización de proyectos de energías renovables en áreas de reserva hidrocarburífera"	Establecer requisitos para la autorización de proyectos de energías renovables en áreas de reserva hidrocarburífera	No aplica	Agencia Nacional de Hidrocarburos	Protección de áreas de reserva hidrocarburífera	Cumplimiento de regulaciones ambientales
Decreto 2492	No aplica	2014	"Por el cual se reglamenta la implementación de mecanismos de respuesta de la demanda"	Reglamentar la implementación de mecanismos de respuesta de la demanda	No aplica	Ministerio de Minas y Energía	Eficiencia energética	Inversión en proyectos de eficiencia energética
Decreto 2469	No aplica	2014	"Por el cual se reglamenta la entrega de excedentes de autogeneración"	Reglamentar la entrega de excedentes de autogeneración	No aplica	Ministerio de Minas y Energía	Fomento de la autogeneración	Inversión en proyectos de autogeneración
Resolución UPME 0281	No aplica	2015	"Por la cual se establecen límites máximos de potencia para autogeneración a pequeña escala"	Establecer límites máximos de potencia para autogeneración a pequeña escala	No aplica	Unidad de Planeación Minero-Energética	Fomento de la autogeneración	Inversión en proyectos de autogeneración
NTC 2050	No aplica	1998	"Por lo cual se establecen condiciones técnicas que deben cumplir los sistemas de generación de energía solar fotovoltaica."	Garantiza la seguridad estableciendo requisitos para el diseño, la instalación, operación y mantenimiento instalaciones de energía solar	No aplica	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC	Reducción de riesgos eléctricos y mejora en la calidad de instalaciones	Cumplimiento de regulaciones técnicas
Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)	No aplica	2024	"Por la cual se actualiza y mejora la norma técnica para adaptarse a nuevas tecnologías."	Simplifica los tramites y accesos a certificaciones	No aplica	Ministerio de Minas y Energía	Mejora la seguridad y eficiencia de instalaciones electricas	Cumplimiento de normas

Tabla 6: Resumen de normativas Colombia (Elaboración propia)

Anexo VI: Restricciones de ubicación del parque híbrido

Resulta de gran valor precisar las restricciones generales que deben de considerarse para poner en marcha el presente proyecto motivo de este TFM.

A continuación, se precisan dichas restricciones organizadas en los aspectos normativos, técnicos, sociales, geológico, económicos y ambientales

A **nivel normativo**, el proyecto debe de ser implementado considerando permisos y licencias ambientales, por ejemplo, considerados en el Decreto 2820 (Congreso de la República de Colombia, 2010). Dichos documentos deben de ser gestionados de forma oportuna, ya que su obtención es obligatoria y están sujetos al establecimiento de ciertos procesos técnicos.

A **nivel técnico**, se deben de considerar las restricciones vinculadas a aspectos clave como la distancia a infraestructuras tales como aeropuertos, estaciones eléctricas, carreteras, viviendas, así como la realización de un estudio detallado de viabilidad.

En el aspecto **social**, considerando *Decreto N.º 1320 (1998) por el cual se reglamenta la consulta previa con las comunidades indígenas y negras para la explotación de los recursos naturales dentro de su territorio* y que el área de impacto del proyecto se encuentra cerca de la zona que habitan algunas comunidades étnicas como los wayúu, es fundamental realizar consultas previas con estas comunidades. Dicha consulta debe de gestionarse a partir de la comunicación asertiva, la empatía, la flexibilidad y adaptación, así como el despliegue de habilidades interculturales para generar una adecuada comprensión de los beneficios e implicaciones de la realización del proyecto, por supuesto, considerando la diversidad e idiosincrasia cultural y social de dichas comunidades.

A **nivel económico**, para el desarrollo de este proyecto se deben considerar las 4 principales restricciones económicas. La primera, vinculada a costos iniciales de instalación y conexión a la Red eléctrica pueden ser elevados, la cual requiere una inversión considerable en tecnologías tanto Eólica como fotovoltaica. Segundo, el financiamiento difícil de asegurar, especialmente si se depende de

subsidios gubernamentales e inversión privada, las cuales pueden ser inciertas. Tercero, los costos de operación y mantenimiento a largo plazo, considerando que los equipos siempre deben estar en óptimas condiciones. Cuarto, el impacto en la comunidad local, el cual se refleja en la generación de empleos y el potencial desplazamiento de actividades económicas tradicionales. Estos cuatro factores requieren de una cuidadosa planificación financiera para asegurar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto.

A **nivel geológico**, el terreno debe ser adecuado, con bajas pendientes y accesos seguros para la instalación de los equipos.

En relación con el **impacto ambiental**, es crucial mantener una distancia segura a las áreas naturales protegidas y viviendas para minimizar el ruido y las sombras, además de evaluar los impactos en el suelo, el agua y la biodiversidad local; es necesario implementar un plan de gestión de residuos eficiente para mitigar cualquier impacto negativo en el entorno.

Dentro de la evaluación realizada se han identificado las siguientes restricciones.

Licencia ambiental. El Decreto 2820 del 2010 establece un enfoque más estricto en la evaluación ambiental, siendo así el licenciamiento un paso obligatorio para todos los proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables. (Asociación de energías renovables de Colombia, 2017.). La misma que se complementa con la Resolución 1312 del 11 de agosto del 2016 emitida por el ministerio del Ambiente, en la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental, siendo este un requisito para obtener la licencia ambiental para proyectos de energía renovables.

En la evaluación del potencial eólico y solar fotovoltaico se debe tener en cuenta, además de los impactos ambientales, aspectos técnicos, sociales y económicos (Tegou et al, 2010).

Criterio de restricción		Tipo de criterio	Fuente de la información
Distancia a la red vial (incluye ferrovías)	< 100 m	Económico	IGAC-Invias
Distancia a aeropuertos	< 3000 m	Ambiental	IGAC
Distancia a áreas urbanas/rurales	< 2000 m/ < 500 m	Ambiental	IGAC
Distancia a áreas naturales protegidas	< 2000 m	Ambiental	IGAC-Sinap
Distancia a cuerpos de agua (ríos, ciénagas, lagunas, lagos)	< 1500 m	Ambiental	IGAC
Distancia a manglares	< 1500 m	Ambiental	IGAC
Distancia a la línea costera/límites	< 200 m	Ambiental	IGAC
Elevación	> 2000 m	Técnico/económico	ALOS
Pendiente del terreno	> 25 %	Técnico/económico	ALOS
Distancia a minas	< 200 m	Ambiental	IGAC
Distancia a sitios arqueológicos	< 500 m	Ambiental	Incah
Distancia al SIN (red eléctrica)	< 100 m	Técnico/económico	IGAC-UPME

Tabla 7: Criterios de restricción para identificar zonas con potencial eólico en La Guajira (Guerrero et al. 2019)

Áreas con restricciones excluyentes para el desarrollo de proyectos de energía renovable

Además, en el presente estudio se analizaron las restricciones naturales, políticas y sociales concernientes a los sistemas de generación eólico y solar fotovoltaico.

- **Áreas naturales protegidas:** Establecidas por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), el área de estudio se encuentra libre y alejada de áreas naturales protegidas, siendo la más cercana a una distancia de 8031 m del Área Natural Protegida Pastos Marinos Sawairu; Por lo tanto, el desarrollo del proyecto está ubicado fuera de la zona de influencia de las áreas naturales protegidas y no representa una amenaza.
- **Presencia de grupos étnicos:** En el área de estudios se establece la presencia de diversos grupos étnicos como los Wayuu con complejidad cultural, ambiental y social únicas. Mediante una solicitud al Ministerio del Interior se solicita la certificación de presencia o no de comunidades

étnicas en el área de interés del proyecto al Ministerio del Interior. Posteriormente se realizan trabajos de campo para establecer la realidad del territorio para posteriormente realizar la consulta previa a dichas comunidades según la Ley 1753 de 2015 la cual regula el derecho de consulta previa y la participación de las comunidades indígenas y afrodescendientes en proyectos que afecten sus territorios y derechos. (Asociación de energías renovables de Colombia, 2017.)

- **Distancia a viviendas:** Según la Resolución 627 del 2006, la cual establece el máximo estándar permisible de ruido de aerogeneradores eléctricos en 50-65 db en zonas pobladas en el ámbito urbano y rural. (MINAM, 2006). Se recomienda una distancia entre 250 y 500 metros entre una vivienda y un aerogenerador, dependiendo de los decibeles que este genere. (Asociación de energías renovables de Colombia, 2017). El aerogenerador proyectado en el presente TFM, está ubicado a una distancia de 862 metros de la ranchería más cercana cumpliendo así este requisito. Con respecto a los sistemas solares fotovoltaicos, en Colombia no hay una restricción de distancia hacia viviendas y áreas naturales protegidas.

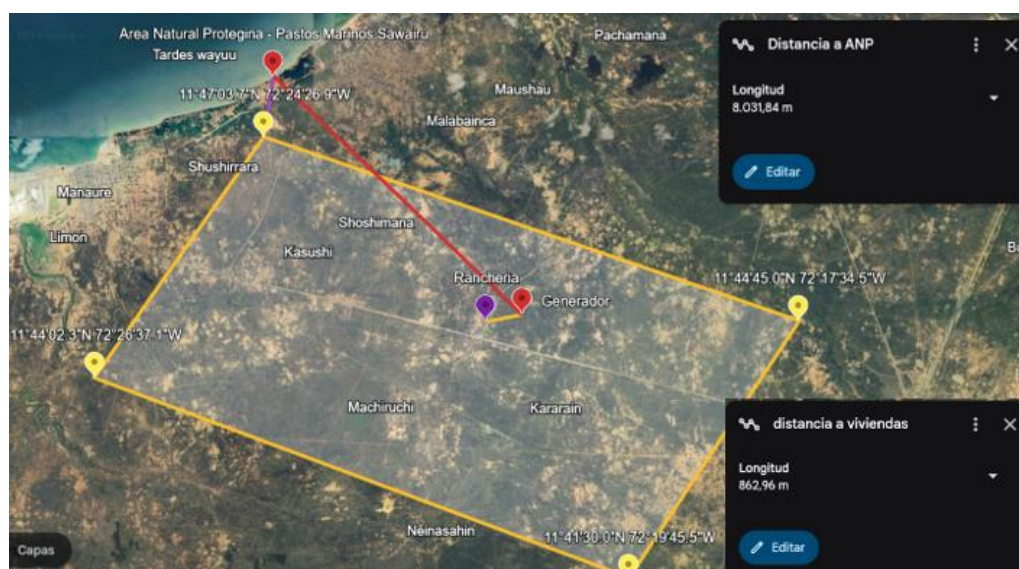


Figura 2: Distancia del parque híbrido a área Natural Protegida y a viviendas
(Elaboración propia a partir de datos de Google Earth)

- **Pendiente:** Para la construcción de un parque eólico y un parque fotovoltaico, las altas pendientes son un factor determinante, ya que dificultan la accesibilidad de la maquinaria para construir y de esta manera aumentan los costos de construcción. Se consideran óptimas las zonas planas y de bajas pendientes, que las zonas con altas pendientes (Tomado de Guerrero et al. 2019). El área de estudio del proyecto se encuentra en una región costera plana de baja pendiente, de tal manera que no afectaría a nivel de costos ni de accesibilidad.

Anexo VII: Análisis ambiental preliminar

Este análisis integra criterios técnicos, sociales y ambientales de un área específica, que finalmente permiten escoger el mejor sitio para ubicar el proyecto de generación eléctrica eólica y solar fotovoltaica.

Se evaluó las características geológicas, atmosféricas, faunísticas, florísticas y socioeconómicas del área de influencia del proyecto.

Componente	Posibles Impactos Ambientales		
	Sistema Eólico	Sistema fotovoltaico	Sistemas AWG
Sobre el suelo	Compactación del suelo y alteración del suelo durante la construcción del aerogenerador.	Alteración del suelo, dejando desprotegido y expuesto a la erosión del viento, principalmente durante la instalación de los paneles.	Alteración y compactación del suelo durante la instalación del contenedor y los equipos.
Calidad de las aguas	Posible contaminación por derrame de aceite del aerogenerador.	Riesgo de contaminación bajo, principalmente durante la construcción.	Riesgo mínimo de contaminación, posibles residuos líquidos durante el mantenimiento de equipos.
Sobre la atmósfera	Emisiones mínimas de gases de efecto invernadero y material particulado durante la construcción; operación casi sin emisiones.	Emisiones mínimas de gases de efecto invernadero y material particulado durante la producción e instalación de los paneles respectivamente; en operación sin emisiones.	Emisiones mínimas de gases de efecto invernadero y material particulado en la instalación, operación sin emisiones.
Generación de residuos sólidos	Residuos comunes, de construcción y mantenimiento del aerogenerador, incluido aceites y lubricantes.	Residuos comunes, de instalación, de mantenimiento, de fábrica y desecho de paneles al final de su vida útil.	Residuos de embalaje, instalación y mantenimiento de los equipos.
Fauna	Perturbación del hábitat durante la construcción, y durante la operación existe riesgo de colisión para aves y murciélagos.	Alteración del hábitat por desbroce de especies arbustivas durante la construcción, alteración mínima durante la instalación y operación.	Alteración mínima del hábitat durante la instalación, operación de los equipos.
Vegetación	Desbroce de vegetación mínima para la instalación del aerogenerador.	Desbroce limitado al aérea de instalación de los paneles, una hectárea aproximadamente.	Impacto bajo, debido al desbroce limitado al área de instalación del equipo
Visual	Impacto significativo debido a la altura del aerogenerador. se convertirá en un elemento dominante en el entorno, el cual modifica la estética natural.	Impacto visual moderado, específicamente en el área donde se instalarían los paneles.	Impacto moderado debido a la presencia del contenedor en el paisaje

Socioeconómico	Generación de empleo local y desarrollo económico.	Generación de empleo local y desarrollo económico.	Generación de empleo local y desarrollo económico.
Sonoro	El impacto es bajo, debido a la distancia que se encuentra el aerogenerador y las viviendas (862 metros), según. Asociación de energías renovables de Colombia, 2017, la distancia mínima 250 a 500 metros	Sin ruido significativo durante la operación.	El impacto es bajo debido ruido generado por el ventilador durante la operación, además se encuentran ubicados a una distancia considerable de las viviendas (862 metros).

Tabla 8: Tabla resumen de los posibles impactos ambientales de los sistemas eólico y fotovoltaico.

Anexo VIII: Simulación WasP

10/27/24, 11:35 PM

Turbine site report for 'Proyecto AWG Guajira 2024'

'Proyecto AWG Guajira 2024' Turbine site report

Produced on 27/10/2024 at 23:35:00 by licenced user: Universidad Europea using WAsP Version: 12.09.0032

Site information

Hub height a.g.l	100m
Elevation a.s.l	21,4 m
Net altitude a.s.l	121,4 m
Mean air density	1,141 kg/m³

The Turbine site is located at co-ordinates (788370,1299972) in a map called 'GWA3 for (11,74572; -72,3554)'.



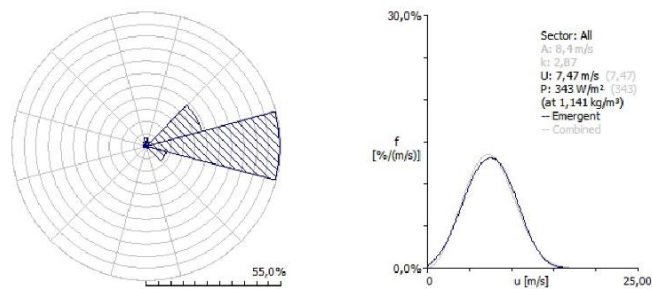
Site effects

Sector	Angle [°]	Or.Spd [%]	Or.Tur [°]	Or.Ti [%]	Or.Inc [°]	Obs.Spd [%]	Rgh.Spd [%]	Rix [%]
1	0	0,0	0,0	-1,0	-9.999,0	0,0	-5,4	0,0
2	30	0,0	0,1	-1,0	-9.999,0	0,0	-4,2	0,0
3	60	0,2	0,1	-1,0	-9.999,0	0,0	-0,3	0,0
4	90	0,3	0,0	-1,0	-9.999,0	0,0	0,3	0,0
5	120	0,3	-0,1	-1,0	-9.999,0	0,0	0,6	0,0
6	150	0,1	-0,1	-1,0	-9.999,0	0,0	0,0	0,0
7	180	0,0	0,0	-1,0	-9.999,0	0,0	0,0	0,0
8	210	0,0	0,1	-1,0	-9.999,0	0,0	0,6	0,0
9	240	0,2	0,1	-1,0	-9.999,0	0,0	1,0	0,0
10	270	0,3	0,0	-1,0	-9.999,0	0,0	-2,0	0,0
11	300	0,3	-0,1	-1,0	-9.999,0	0,0	-4,3	0,0
12	330	0,1	-0,1	-1,0	-9.999,0	0,0	-5,1	0,0

The all-sector RIX (ruggedness index) for the site is 0,0%

The predicted wind climate at the turbine site

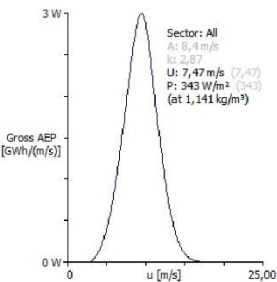
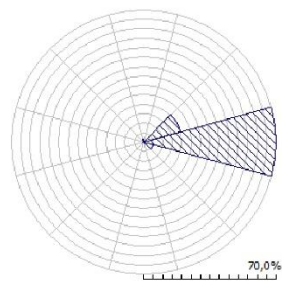
-	Total	Wind at maximum power density distribution
Mean wind speed	7,47 m/s	10,08 m/s
Mean power density	343 W/m²	52 (W/m²)/(m/s)



Results

Site	Location [m]	Turbine	Height [m]	Air density [kg/m³]	Net AEP [GWh]	Wake loss [%]	Capacity factor [%]
Proyecto AWG Guajira 2024	(788369,8, 1299972,0)	Vestas V136-3.45	100	1,141	15,574	0,00	51,5%

The combined (omnidirectional) Weibull distribution predicts a gross AEP of 15,338 GWh and the emergent (sum of sectors) distribution predicts a gross AEP of 15,574 GWh. (The difference is 1,51%)

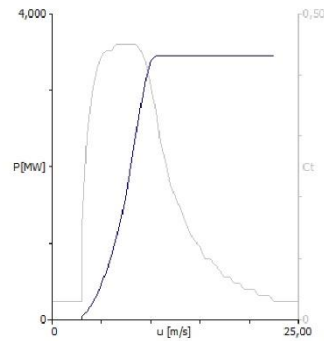


Sector: All
A: 6,9 m/s
k: 2,87
U: 7,47 m/s (7,47)
P: 343 W/m² (343)
(at 1,141 kg/m³)

Performance table

Generated by interpolation/extrapolation from one performance table (for air density 1,168 kg/m³), using IEC. (Site air density 1,141 kg/m³)

Speed [m/s]	P [kW]	Ct
3	32	0,15
3,5	108	0,30
4	205	0,37
4,5	321	0,41
5	461	0,43
5,5	629	0,44
6	830	0,44
6,5	1,069	0,45
7	1,345	0,45
7,5	1,660	0,45
8	2,012	0,45
8,5	2,398	0,45
9	2,800	0,44
9,5	3,149	0,42
10	3,393	0,38
10,5	3,450	0,34
11	3,450	0,29
11,5	3,450	0,26
12	3,450	0,22
12,5	3,450	0,20
13	3,450	0,18
13,5	3,450	0,16
14	3,450	0,14
14,5	3,450	0,13
15	3,450	0,12
15,5	3,450	0,10
16	3,450	0,10
16,5	3,450	0,09
17	3,450	0,08
17,5	3,450	0,07
18	3,450	0,07
18,5	3,450	0,06
19	3,450	0,06
19,5	3,450	0,05
20	3,450	0,05
20,5	3,450	0,05
21	3,450	0,04
21,5	3,450	0,04



22	3,450	0,04
22,5	3,450	0,03

Wind turbine generator and adaptation policy

A wind turbine generator called 'Vestas V136-3.45' was used to calculate the AEP.
The turbine is pitch controlled.
The turbine has a rated power of 3,450 MW.
The WTG's only performance table was used for calculations with adaptation (extrapolation). The table used has an air density of 1,168 kg/m³.
The IEC method was used.

Data origins information

The Vector map "GWA3 for (11,74572; -72,3554)" associated with this Turbine site contains the following vector data layers:

- Elevation. There is no information about the origin of the GWA3 for (11,74572; -72,3554) Vector map associated with this Turbine site.
- Unexpected data type. There is no information about the origin of the GWA3 for (11,74572; -72,3554) Vector map associated with this Turbine site.

There is no information about the origin of the 'GWA3 download for 11.74572, -72.35540' Generalised wind climate associated with this Turbine site.

The Wind turbine generator 'Vestas V136-3.45' associated with this Turbine site was imported by '22371577' from a file called 'C:\Users\22371577\Desktop\V136-3.45.wtg' , on a computer called 'Simulacion-86'. The Wind turbine generator file data were last modified on the 25/10/2024 at 23:49:26

WAsP project parameters

All of the WAsP project parameters have default values.
The Turbine site is in a project called 'GWA3 for (11,74572; -72,3554)'.

Terrain analysis (IBZ) parameters

All of the Terrain analysis (IBZ) parameters have default values.

GWC Profile model

Using the EWA WAsP profile model, with:

- Heat flux (land): -40 W/m²
- Heat flux RMS (land): 100 W/m²
- Heat flux (water): -8 W/m²
- Heat flux RMS (water): 30 W/m²

Geostrophic wind shear vectors:

Sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Direction [°]	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Magnitude [m/s]												

Anexo IX: Simulación PVsyst



Version 7.4.8

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: AWG 5000

Variant: Nueva variante de simulación

No 3D scene defined, no shadings

System power: 3013 kWp

Casa Azul - Colombia

Author

Universidad Europea (Spain)

**PVsyst V7.4.8**

VC0, Simulation date:
09/11/24 16:21
with V7.4.8

Project: AWG 5000

Variant: Nueva variante de simulación

Universidad Europea (Spain)

Project summary**Geographical Site**

Casa Azul

Colombia

Situation

Latitude 11.75 °N
Longitude -72.36 °W
Altitude 23 m
Time zone UTC-5

Project settings

Albedo 0.20

Weather data

Casa Azul
PVGIS api TMY

System summary**Grid-Connected System****PV Field Orientation**

Fixed plane
Tilt/Azimuth 13 / 0 °

No 3D scene defined, no shadings**Near Shadings**

No Shadings

User's needs

Unlimited load (grid)

System information**PV Array**

Nb. of modules 5022 units
Pnom total 3013 kWp

Inverters

Nb. of units 9 units
Pnom total 2475 kWac
Pnom ratio 1.217

Results summary

Produced Energy 5601418 kWh/year Specific production 1859 kWh/kWp/year Perf. Ratio PR 84.96 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	4
Loss diagram	5
Predef. graphs	6
Single-line diagram	7
CO ₂ Emission Balance	8

**PVsyst V7.4.8**

VC0, Simulation date:
09/11/24 16:21
with V7.4.8

Project: AWG 5000

Variant: Nueva variante de simulación

Universidad Europea (Spain)

General parameters**Grid-Connected System****No 3D scene defined, no shadings****PV Field Orientation****Orientation**

Fixed plane

Tilt/Azimuth

13 / 0 °

Sheds configuration

No 3D scene defined

Models used

Transposition

Diffuse

Circumsolar

Perez

Imported

separate

Horizon

Free Horizon

Near Shadings

No Shadings

User's needs

Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics**PV module**

Manufacturer

Generic

Model

JKM-600N-66HL4M-BDV

(Original PVsyst database)

Unit Nom. Power

600 Wp

Number of PV modules

5022 units

Nominal (STC)

3013 kWp

Modules

186 string x 27 In series

At operating cond. (50°C)

Pmpp

2795 kWp

U mpp

1010 V

I mpp

2767 A

Total PV power

Nominal (STC)

3013 kWp

Total

5022 modules

Module area

13554 m²

Inverter

Manufacturer

Generic

Model

SUN2000-330KTL-H2

(Original PVsyst database)

Unit Nom. Power

275 kWac

Number of inverters

9 units

Total power

2475 kWac

Operating voltage

500-1500 V

Max. power (=>30°C)

330 kWac

Pnom ratio (DC:AC)

1.22

Power sharing within this inverter

Total inverter power

Total power

2475 kWac

Max. power

2970 kWac

Number of inverters

9 units

Pnom ratio

1.22

Array losses**Thermal Loss factor**

Module temperature according to irradiance

Uc (const)

20.0 W/m²K

Uv (wind)

0.0 W/m²K/m/s

DC wiring losses

Global array res.

6.0 mΩ

Loss Fraction

1.5 % at STC

Module Quality Loss

Loss Fraction

-0.8 %

Module mismatch losses

Loss Fraction

2.0 % at MPP

Strings Mismatch loss

Loss Fraction

0.1 %

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

**PVsyst V7.4.8**

VC0, Simulation date:
09/11/24 16:21
with V7.4.8

Project: AWG 5000

Variant: Nueva variante de simulación

Universidad Europea (Spain)

Main results**System Production**

Produced Energy

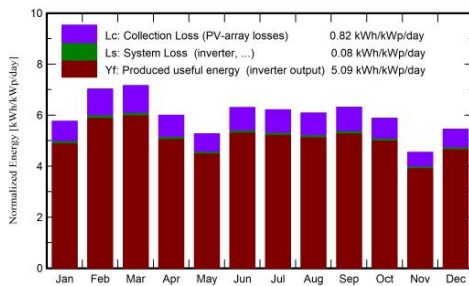
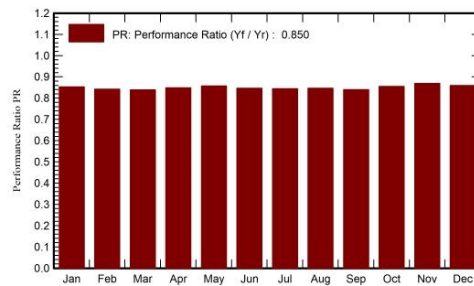
5601418 kWh/year

Specific production

1859 kWh/kWp/year

Perf. Ratio PR

84.96 %

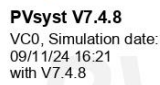
Normalized productions (per installed kWp)**Performance Ratio PR****Balances and main results**

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	158.0	50.93	26.66	178.8	174.7	466979	459719	0.853
February	179.5	42.08	27.54	196.7	193.2	507477	499317	0.842
March	214.6	51.84	28.55	222.2	218.2	571137	561933	0.839
April	183.2	78.89	28.33	179.9	176.2	467655	460308	0.849
May	172.1	86.82	27.97	163.4	159.5	428610	422037	0.857
June	205.9	57.53	28.96	189.1	184.5	490202	482555	0.847
July	207.2	61.14	29.47	192.6	188.1	498091	490267	0.845
August	196.1	61.83	28.59	188.6	184.4	489064	481352	0.847
September	187.4	61.75	29.85	189.4	185.5	487525	479714	0.841
October	172.2	65.85	26.92	182.2	178.9	477173	469654	0.855
November	125.0	66.02	25.64	136.2	133.2	362266	356792	0.869
December	148.0	49.93	25.55	168.9	165.2	444637	437768	0.860
Year	2149.3	734.60	27.83	2187.9	2141.7	5690815	5601418	0.850

Legends

GlobHor Global horizontal irradiation
DiffHor Horizontal diffuse irradiation
T_Amb Ambient Temperature
GlobInc Global incident in coll. plane
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray Effective energy at the output of the array
E_Grid Energy injected into grid
PR Performance Ratio



Variant: Nueva variante de simulación

Universidad Europea (Spain)

Loss diagram

Energy Level (kWh)	Loss (%)	Loss Description
2149 kWh/m ²	+1.8%	Global horizontal irradiation
2142 kWh/m ² * 13554 m ² coll.	-2.11%	Global incident in coll. plane
efficiency at STC = 22.24%		IAM factor on global
6454786 kWh		Effective irradiation on collectors
	-0.46%	PV conversion
	-9.14%	Array nominal energy (at STC effic.)
	+0.75%	PV loss due to irradiance level
	-2.10%	PV loss due to temperature
	-1.17%	Module quality loss
5690815 kWh		Mismatch loss, modules and strings
	-1.57%	Ohmic wiring loss
	0.00%	Array virtual energy at MPP
	0.00%	Inverter Loss during operation (efficiency)
	0.00%	Inverter Loss over nominal inv. power
	0.00%	Inverter Loss due to max. input current
	0.00%	Inverter Loss over nominal inv. voltage
	0.00%	Inverter Loss due to power threshold
	0.00%	Inverter Loss due to voltage threshold
	0.00%	Night consumption
5601418 kWh		Available Energy at Inverter Output
5601418 kWh		Energy injected into grid



PVsyst V7.4.8

VC0, Simulation date:
09/11/24 16:21
with V7.4.8

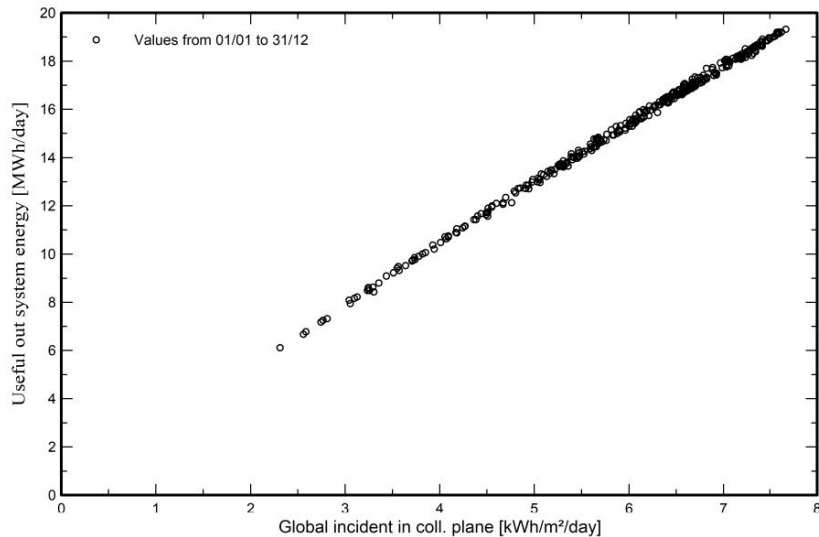
Project: AWG 5000

Variant: Nueva variante de simulación

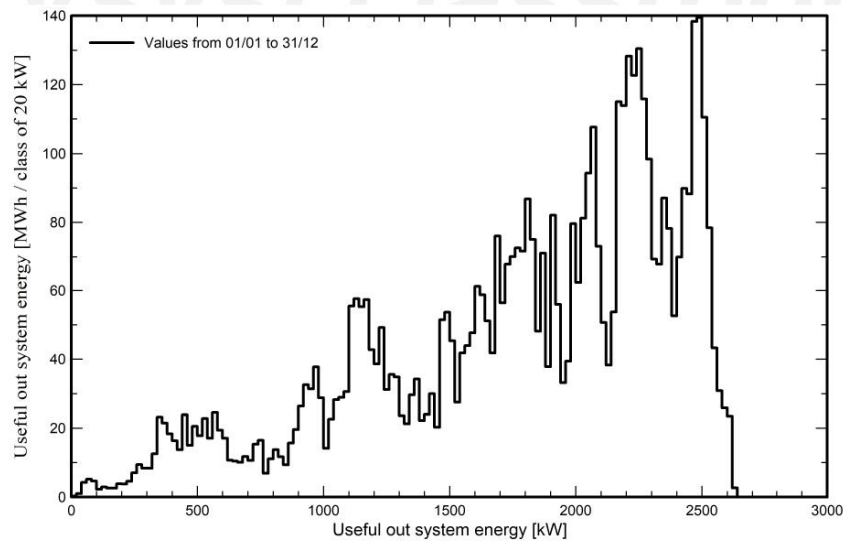
Universidad Europea (Spain)

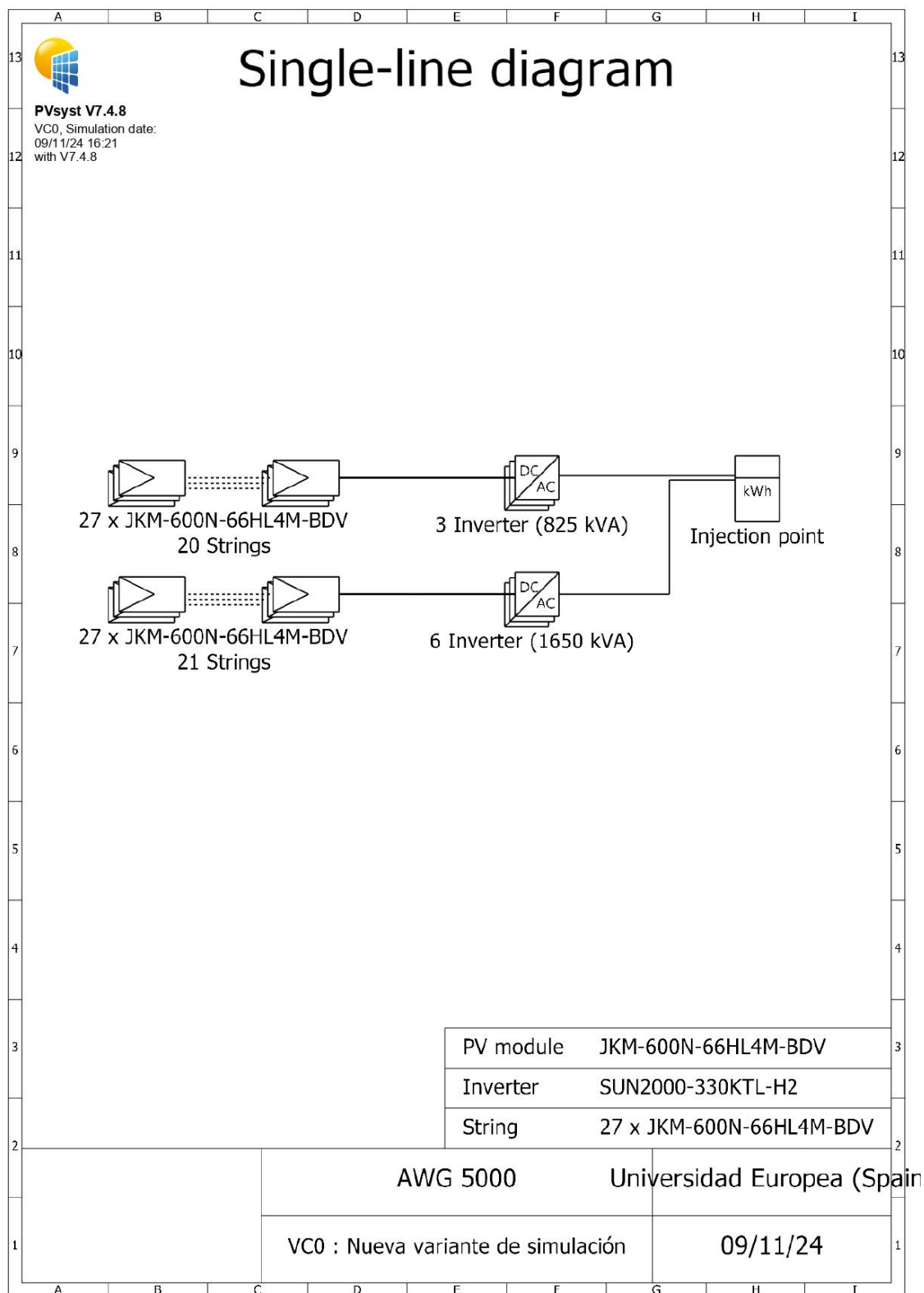
Predef. graphs

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de potencia de salida del sistema







PVsyst V7.4.8

VC0, Simulation date:
09/11/24 16:21
with V7.4.8

Project: AWG 5000

Variant: Nueva variante de simulación

Universidad Europea (Spain)

CO₂ Emission Balance

Total: 19366.4 tCO₂

Generated emissions

Total: 2941.74 tCO₂

Source: Detailed calculation from table below

Replaced Emissions

Total: 25710.5 tCO₂

System production: 5601.42 MWh/yr

Grid Lifecycle Emissions: 153 gCO₂/kWh

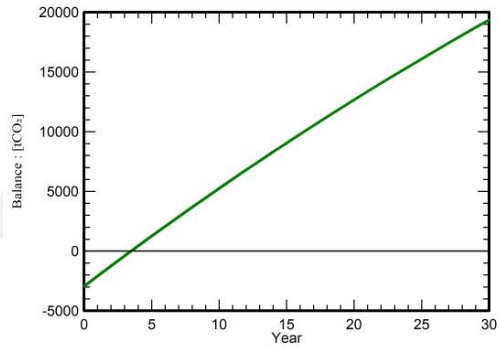
Source: IEA List

Country: Colombia

Lifetime: 30 years

Annual degradation: 1.0 %

Saved CO₂ Emission vs. Time



System Lifecycle Emissions Details

Item	LCE	Quantity	Subtotal
			[kgCO ₂]
Modules	1713 kgCO ₂ /kWp	1700 kWp	2912309
Supports	1.02 kgCO ₂ /kg	28340 kg	28921
Inverters	101 kgCO ₂ /	5.00	506

Anexo X: Parámetros y análisis de flujo de caja

Tarifa Bolsa RED (Peso Colombiano/kWh)	587,0
Tarifa agua (Peso Colombiano/L)	250
Tasa de financiación (%)	13%
Periodo de amortización (años)	10
Porcentaje a financiar	80%
Tasa de reducción de productividad	0,20%
Costo de capital	5,0%

Tabla 9: Variables para el análisis de flujo de caja (Elaboración propia)

Periodo	Costes de Inversion (USD)	Intereses por amortización	Saldo del credito	Ventas Agua (USD)	Ventas Energía (USD)	Costos de O&M Agua (USD)	Costos de O&M Energía (USD)	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado	Con costo de capital						
										Razon actualización de capital	Inversión	Intereses por amortización	Ventas	Costos de O&M	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
0	13 409 301		10 727 441					-13 409 301	-13 409 301	1,00	13 409 301				-13 409 301	-13 409 301
1		1 394 567	10 145 053	978 931	2 492 103	301 956	844 644	929 867	-12 479 434	0,95	0	1 328 159	3 305 747	1 092 000	885 588	-12 523 713
2		1 318 857	9 486 954	1 001 323	2 544 009	308 862	863 965	1 053 648	-11 425 786	0,91	0	1 196 242	3 215 721	1 063 789	955 690	-11 568 024
3		1 233 304	8 743 303	1 024 227	2 596 996	315 927	883 727	1 188 265	-10 237 521	0,86	0	1 065 374	3 128 149	1 036 306	1 026 468	-10 541 556
4		1 136 629	7 902 977	1 047 656	2 651 086	323 154	903 941	1 335 018	-8 902 504	0,82	0	935 108	3 042 964	1 009 534	1 098 322	-9 443 233
5		1 027 387	6 953 409	1 071 620	2 706 304	330 546	924 618	1 495 373	-7 407 131	0,78	0	804 985	2 960 102	983 453	1 171 664	-8 271 570
6		903 943	5 880 397	1 096 132	2 762 671	338 106	945 768	1 670 986	-5 736 145	0,75	0	674 536	2 879 498	958 047	1 246 915	-7 024 655
7		764 452	4 667 893	1 121 204	2 820 212	345 840	967 401	1 863 724	-3 872 421	0,71	0	543 281	2 801 091	933 296	1 324 514	-5 700 141
8		606 826	3 297 764	1 146 851	2 878 952	353 751	989 529	2 075 697	-1 796 725	0,68	0	410 724	2 724 822	909 185	1 404 913	-4 295 228
9		428 709	1 749 518	1 173 084	2 938 916	361 843	1 012 164	2 309 284	512 559	0,64	0	276 350	2 650 631	885 697	1 488 585	-2 806 643
10		227 437	0	1 199 917	3 000 128	370 119	1 035 316	2 567 172	3 079 731	0,61	0	139 627	2 578 463	862 815	1 576 021	-1 230 622
11		0	0	1 227 364	3 062 615	378 586	1 058 997	2 852 396	5 932 127	0,58	0	0	2 508 262	840 525	1 667 737	437 115
12		0	0	1 255 438	3 126 404	387 245	1 083 221	2 911 376	8 843 502	0,56	0	0	2 439 973	818 811	1 621 163	2 058 278
13		0	0	1 284 155	3 191 521	396 103	1 107 998	2 971 574	11 815 077	0,53	0	0	2 373 546	797 657	1 575 889	3 634 167
14		0	0	1 313 529	3 257 994	405 164	1 133 343	3 033 017	14 848 094	0,51	0	0	2 308 930	777 050	1 531 880	5 166 047
15		0	0	1 343 574	3 325 852	414 431	1 159 267	3 095 729	17 943 823	0,48	0	0	2 246 074	756 976	1 489 098	6 655 145
16		0	0	1 374 307	3 395 124	423 911	1 185 784	3 159 736	21 103 559	0,46	0	0	2 184 931	737 420	1 447 512	8 102 657
17		0	0	1 405 743	3 465 838	433 607	1 212 907	3 225 066	24 328 625	0,44	0	0	2 125 455	718 369	1 407 086	9 509 743
18		0	0	1 437 898	3 538 025	443 526	1 240 651	3 291 746	27 620 371	0,42	0	0	2 067 599	699 810	1 367 788	10 877 531
19		0	0	1 470 788	3 611 716	453 671	1 269 030	3 359 803	30 980 174	0,40	0	0	2 011 319	681 731	1 329 588	12 207 119
20		0	0	1 504 431	3 686 941	464 048	1 298 057	3 429 266	34 409 441	0,38	0	0	1 956 573	664 119	1 292 454	13 499 574
										13 409 301	7 374 386	51 509 851	17 226 590			

Tabla 10: Flujo de caja del proyecto con tecnología AWG Contracting (Elaboración Propia)

Periodo	Costes de Inversion (USD)	Intereses por amortización	Saldo del credito	Ventas Agua (USD)	Ventas Energia (USD)	Costos de O&M Agua (USD)	Costos de O&M Energia (USD)	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado	Con costo de capital						
										Razon actualización de capital	Inversión	Intereses por amortización	Ventas	Costos de O&M	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
0	10 302 211		8 241 769					-10 302 211	-10 302 211	1,00	10 302 211				-10 302 211	-10 302 211
1		1 071 430	7 794 327	1 007 583	2 302 670	415 354	844 644	978 824	-9 323 387	0,95	0	1 020 410	3 152 621	1 199 999	932 213	-9 369 998
2		1 013 263	7 288 718	1 030 630	2 350 630	424 855	863 965	1 079 178	-8 244 209	0,91	0	919 059	3 066 903	1 168 997	978 846	-8 391 152
3		947 533	6 717 379	1 054 205	2 399 589	434 573	883 727	1 187 961	-7 056 248	0,86	0	818 515	2 983 517	1 138 797	1 026 205	-7 364 946
4		873 259	6 071 766	1 078 319	2 449 568	444 513	903 941	1 306 173	-5 750 075	0,82	0	718 433	2 902 401	1 109 377	1 074 592	-6 290 354
5		789 330	5 342 224	1 102 984	2 500 588	454 681	924 618	1 434 944	-4 315 132	0,78	0	618 460	2 823 493	1 080 717	1 124 316	-5 166 039
6		694 489	4 517 841	1 128 213	2 552 671	465 081	945 768	1 575 546	-2 739 585	0,75	0	518 238	2 746 733	1 052 797	1 175 697	-3 990 342
7		587 319	3 586 288	1 154 020	2 605 839	475 720	967 401	1 729 419	-1 010 166	0,71	0	417 397	2 672 061	1 025 599	1 229 066	-2 761 276
8		466 218	2 533 634	1 180 417	2 660 113	486 601	989 529	1 898 182	888 016	0,68	0	315 554	2 599 422	999 103	1 284 765	-1 476 511
9		329 372	1 344 134	1 207 418	2 715 519	497 732	1 012 164	2 083 669	2 971 685	0,64	0	212 316	2 528 760	973 292	1 343 151	-133 360
10		174 737	0	1 235 036	2 772 078	509 117	1 035 316	2 287 944	5 259 629	0,61	0	107 274	2 460 020	948 148	1 404 599	1 271 239
11		0	0	1 263 286	2 829 815	520 762	1 058 997	2 513 342	7 772 971	0,58	0	0	2 393 152	923 653	1 469 499	2 740 738
12		0	0	1 292 183	2 888 755	532 674	1 083 221	2 565 043	10 338 013	0,56	0	0	2 328 103	899 791	1 428 312	4 169 050
13		0	0	1 321 740	2 948 923	544 858	1 107 998	2 617 806	12 955 819	0,53	0	0	2 264 823	876 545	1 388 278	5 557 328
14		0	0	1 351 973	3 010 343	557 322	1 133 343	2 671 652	15 627 471	0,51	0	0	2 203 266	853 900	1 349 366	6 906 694
15		0	0	1 382 898	3 073 043	570 070	1 159 267	2 726 605	18 354 076	0,48	0	0	2 143 384	831 840	1 311 544	8 218 238
16		0	0	1 414 530	3 137 049	583 109	1 185 784	2 782 686	21 136 762	0,46	0	0	2 085 131	810 350	1 274 781	9 493 018
17		0	0	1 446 886	3 202 388	596 447	1 212 907	2 839 920	23 976 682	0,44	0	0	2 028 463	789 415	1 239 048	10 732 066
18		0	0	1 479 982	3 269 088	610 090	1 240 651	2 898 329	26 875 011	0,42	0	0	1 973 337	769 021	1 204 315	11 936 381
19		0	0	1 513 835	3 337 177	624 046	1 269 030	2 957 937	29 832 948	0,40	0	0	1 919 710	749 154	1 170 556	13 106 937
20		0	0	1 548 463	3 406 684	638 320	1 298 057	3 018 770	32 851 717	0,38	0	0	1 867 543	729 800	1 137 742	14 244 680
										10 302 211	5 665 656	49 142 844	18 930 297			

Tabla 11: Flujo de caja del proyecto con tecnología Watergen (Elaboración Propia)

Periodo	Costes de Inversion (USD)	Intereses por amortización	Saldo del credito	Ventas Agua (USD)	Ventas Energía (USD)	Costos de O&M Agua (USD)	Costos de O&M Energía (USD)	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado	Con costo de capital						
										Razon actualización de capital	Inversión	Intereses por amortización	Ventas	Costos de O&M	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
0	7 681 684		6 145 347					-7 681 684	-7 681 684	1,00	7 681 684				-7 681 684	-7 681 684
1		798 895	5 811 719	1 008 374	2 301 297	420 952	844 644	1 245 179	-6 436 505	0,95	0	760 852	3 152 067	1 205 330	1 185 885	-6 495 799
2		755 523	5 434 719	1 031 439	2 349 229	430 581	863 965	1 330 599	-5 105 906	0,91	0	685 282	3 066 365	1 174 191	1 206 892	-5 288 907
3		706 513	5 008 709	1 055 032	2 398 159	440 430	883 727	1 422 520	-3 683 386	0,86	0	610 313	2 982 996	1 143 857	1 228 827	-4 060 080
4		651 132	4 527 318	1 079 165	2 448 108	450 505	903 941	1 521 695	-2 161 691	0,82	0	535 688	2 901 896	1 114 306	1 251 902	-2 808 178
5		588 551	3 983 346	1 103 850	2 499 098	460 809	924 618	1 628 969	-532 722	0,78	0	461 145	2 823 004	1 085 519	1 276 340	-1 531 838
6		517 835	3 368 658	1 129 099	2 551 149	471 350	945 768	1 745 296	1 212 574	0,75	0	386 416	2 746 258	1 057 475	1 302 367	-229 472
7		437 926	2 674 060	1 154 926	2 604 285	482 132	967 401	1 871 753	3 084 327	0,71	0	311 225	2 671 601	1 030 156	1 330 220	1 100 748
8		347 628	1 889 165	1 181 344	2 658 528	493 160	989 529	2 009 554	5 093 881	0,68	0	235 288	2 598 976	1 003 542	1 360 146	2 460 894
9		245 591	1 002 233	1 208 366	2 713 900	504 440	1 012 164	2 160 070	7 253 951	0,64	0	158 310	2 528 327	977 616	1 392 400	3 853 294
10		130 290	0	1 236 006	2 770 425	515 979	1 035 316	2 324 846	9 578 797	0,61	0	79 987	2 459 601	952 360	1 427 254	5 280 548
11		0	0	1 264 278	2 828 128	527 781	1 058 997	2 505 627	12 084 425	0,58	0	0	2 392 745	927 757	1 464 988	6 745 536
12		0	0	1 293 197	2 887 033	539 854	1 083 221	2 557 155	14 641 580	0,56	0	0	2 327 708	903 789	1 423 920	8 169 456
13		0	0	1 322 777	2 947 165	552 202	1 107 998	2 609 741	17 251 322	0,53	0	0	2 264 441	880 440	1 384 002	9 553 458
14		0	0	1 353 034	3 008 549	564 833	1 133 343	2 663 407	19 914 729	0,51	0	0	2 202 896	857 694	1 345 202	10 898 659
15		0	0	1 383 984	3 071 211	577 753	1 159 267	2 718 175	22 632 904	0,48	0	0	2 143 025	835 536	1 307 489	12 206 148
16		0	0	1 415 641	3 135 179	590 969	1 185 784	2 774 067	25 406 971	0,46	0	0	2 084 783	813 951	1 270 832	13 476 980
17		0	0	1 448 022	3 200 479	604 486	1 212 907	2 831 107	28 238 078	0,44	0	0	2 028 126	792 923	1 235 203	14 712 183
18		0	0	1 481 144	3 267 139	618 313	1 240 651	2 889 318	31 127 397	0,42	0	0	1 973 010	772 438	1 200 571	15 912 754
19		0	0	1 515 023	3 335 188	632 457	1 269 030	2 948 725	34 076 121	0,40	0	0	1 919 393	752 483	1 166 911	17 079 665
20		0	0	1 549 678	3 404 653	646 923	1 298 057	3 009 351	37 085 472	0,38	0	0	1 867 235	733 043	1 134 193	18 213 858
										7 681 684	4 224 508	49 134 455	19 014 405			

Tabla 12: Flujo de caja del proyecto con tecnología Cowwin (Elaboración Propia)