

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE  
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



“IMPLANTACIÓN DE AUTOABASTECIMIENTO  
ENERGÉTICO EN ZONAS RURALES  
DE PAÍSES SUBDESARROLLADOS”

TRABAJO FINAL DE GRADO

Febrero 2021

AUTOR: Araceli Bey Cabrera

DIRECTOR/ES: Damián Crespi Llorens





## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de fin de grado es la consecuencia de una etapa estudiantil de 4 años, donde se ha crecido personalmente con la adquisición de conocimientos. Este proceso de desarrollo es posible gracias a todos los profesores de la universidad de Miguel Hernández y personas referentes que han ayudado a conseguir mis objetivos con entusiasmo y mucho apoyo.

Este proyecto es dedicado a mi familia por su apoyo y especialmente a mi padre José Manuel Bey Cabrera, que siempre ha sido mi modelo a seguir y la persona que más me ha influido para estudiar ingeniería mecánica. Gracias a él, obtuve la idea de hacer este tipo de proyecto.

A mis amigos, Vero, Lorena, Inés, Macarena, Paula, Fran, Laura, Berta e Irene por el apoyo incondicional, además de nunca dejar de creer en mí, valorando mi dedicación y esfuerzos requeridos en la carrera y en el presente proyecto.

Gracias a mi tutor Damián Crespi Llorens por la flexibilidad y el entendimiento en muchos contratiempos que se me han presentado a la hora de realizar este proyecto.

Gracias de corazón a todos los implicados para conseguir mis objetivos.





## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	III
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	X
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	XIII
<b>RESUMEN</b> .....	XVII
<b>ABSTRACT</b> .....	XXIII
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	XVIII
1.1    Motivación .....	27
1.2    Objetivos del proyecto .....	27
1.3    Estructura del documento.....	28
<b>CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES Y CARACTERÍSTICA DE LA DEMANDA</b> .....	32
2.1    Introducción .....	32
2.1.1    Estudio demográfico .....	33
2.1.2    Marco económico y energético de Nigeria .....	34
2.2    Situación energética actual en Nigeria.....	38
2.3    Problemática energética en Ungwa Dogo .....	43
2.4    Aspectos políticos y legales.....	44
<b>CAPÍTULO 3: ALTERNATIVAS PLANTEADAS</b> .....	51
3.1    Tipos de sistemas de generación de energía renovable .....	51
3.2    Tipos de instalaciones .....	58
3.3    Sistemas híbridos de generación de energía .....	58
3.3.1    Introducción .....	58
3.3.2    Que son los sistemas híbridos .....	59
3.3.3    Tipos de sistemas híbridos .....	59
3.3.4    Ventajas e inconvenientes .....	59
3.3.5    Regulación de la energía eléctrica por hibridación .....	60
3.4    Índice de factores a considerar .....	61
<b>CAPÍTULO 4: REQUISITOS DE DISEÑO</b> .....	67
4.1    Climatología.....	67
4.1.1    Temperatura y precipitaciones .....	67
4.1.2    Viento .....	68
4.1.3    Radiación solar .....	70



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

4.2	Demanda por poblados .....	71
<b>CAPÍTULO 5: INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA EÓLICA .....</b>		<b>78</b>
5.1	Viento y su caracterización .....	78
5.1.1	Introducción .....	78
5.1.2	Medidas de viento.....	84
5.1.3	Ubicación de los sensores y aerogeneradores .....	86
5.1.4	Distribución de direcciones .....	88
5.1.5	Distribución de velocidades .....	89
5.2	Energía disponible en el viento .....	92
5.2.1	Potencia del viento.....	92
5.2.2	Potencia eólica aprovechables .....	93
5.3	Clasificación y tipos de aerogeneradores.....	101
5.3.1	Eje horizontal.....	101
5.3.2	Eje vertical .....	106
5.3.3	Clasificación según la potencia que suministra.....	109
5.4	Componentes de un aerogenerador .....	110
5.4.1	Rotor.....	110
5.4.2	Generador .....	111
5.4.3	Caja de cambios.....	112
5.4.4	Sistema hidráulico y de refrigeración.....	113
5.4.5	Sistema de orientación.....	113
5.4.6	Sistema de regulación .....	113
5.4.7	Sistema de frenado .....	114
5.4.8	Torre de soporte.....	114
<b>CAPÍTULO 6: INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA .....</b>		<b>117</b>
6.1	Sol como fuente de energía .....	117
6.1.1	Introducción .....	117
6.1.2	Efecto fotovoltaico .....	118
6.1.3	Radiación solar .....	119
6.1.4	Geometría solar.....	123
6.1.5	Distribución espectral de la radiación solar .....	124
6.2	Componentes de los módulos fotovoltaicos.....	126
6.2.1	Célula fotovoltaica.....	126



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

6.2.2	Tipos de Células fotovoltaicas .....	126
6.2.3	Modulo fotovoltaico.....	129
6.2.3.1	Elementos.....	130
6.2.3.2	Estructura .....	131
6.2.3.3	Parámetros y curva característica de un módulo fotovoltaico .....	134
6.2.3.4	Medida específica de potencia y parámetros específicos .....	135
6.2.3.5	Factores principales que afectan a los paneles.....	136
6.2.3.6	Interconexión de los módulos fotovoltaicos.....	137
<b>CAPÍTULO 7: ELEMENTOS DE UNA INSTALACIÓN AUTÓNOMAS .....</b>		<b>142</b>
7.1	Acumuladores de energía .....	142
7.2	Reguladores de carga .....	148
7.3	Inversores.....	155
7.4	Cableado.....	160
7.5	Protecciones.....	162
7.6	Sistema de monitorización.....	163
7.7	Esquema general de la instalación .....	164
<b>CAPÍTULO 8: DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN .....</b>		<b>168</b>
8.1	Diseño.....	168
8.1.1	Evaluación de energía principal y disponible .....	168
8.1.2	Dimensionado de los módulos fotovoltaicos .....	169
8.1.3	Dimensionamiento de los aerogeneradores.....	173
8.1.4	Dimensionado del regulador solar y eólico.....	191
8.1.5	Dimensionado del inversor .....	192
8.1.6	Dimensionado del sistema de acumulación.....	192
8.1.7	Dimensionado del cableado .....	194
8.1.8	Distancia entre módulos y aerogeneradores .....	200
8.2	Configuración de la instalación .....	204
8.3	Montaje y puesta en marcha .....	205
8.4	Mantenimiento y evaluación .....	207
8.4.1	Mantenimiento de la instalación .....	207
8.4.2	Evaluación de la instalación .....	210
<b>CAPÍTULO 9: PLANIFICACIÓN TEMPORAL.....</b>		<b>214</b>
9.1	Estructura de descomposición del proyecto.....	214



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

9.2	Diagrama de Gantt .....	217
<b>CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES .....</b>		<b>221</b>
<b>CAPÍTULO 11: PRESUPUESTO .....</b>		<b>225</b>
11.1	Presupuesto relacionado con la elaboración del TFG .....	225
11.2	Presupuesto relacionado con la instalación híbrida .....	226
<b>CAPÍTULO 12: IMPACTO DEL PROYECTO .....</b>		<b>236</b>
12.1	Impactos económicos.....	237
12.2	Impactos medioambientales.....	237
12.3	Impactos sociales .....	238
.....		241
<b>ANEJO.....</b>		<b>242</b>
I. Resumen de planos: .....		242
Plano de situación de la instalación .....		243
Plano del emplazamiento de la instalación.....		245
Plano de disposición de los módulos fotovoltaicos .....		247
Plano de configuración de la instalación.....		249
II. Especificaciones de los elementos de la instalación.....		251
Aerogenerador .....		252
Módulos fotovoltaicos .....		255
Regulador de carga solar.....		258
regu .....		259
Regulador de carga eólico .....		260
Acumulador .....		261
Inversor trifásico .....		270
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>274</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de configuración de los elementos de la instalación. FUNTE: Elaboración propia. ....	19
Figura 2: Situación de la instalación propuesta. FUENTE: Elaboración propia. ....	20
Figura 3: Mapa de África en función de la cantidad de población rural. FUENTE [3]. ....	32
Figura 4: mapa geográfico de Nigeria. FUENTE [4]. ....	34
Figura 5: Ranking a nivel mundial de IDH. FUENTE [5]. ....	35
Figura 6: Influencia de energías en Nigeria. FUENTE [9]. ....	39
Figura 7: Tipos de generación de energía en Nigeria. FUENTE [9]. ....	39
Figura 8: Crecimiento de la demanda de energía primaria y las emisiones de CO <sub>2</sub> en Nigeria. FUENTE [9]. ....	40
Figura 9: Comparación de energía demandada y producida en Nigeria. FUENTE [10]. ....	42
Figura 10: Oportunidades de instalaciones no conectadas a la red en Nigeria. FUENTE [10]. ....	43
Figura 11: Temperatura y precipitación en función de los meses del año. FUENTE [13]. ....	68
Figura 12: Velocidad de viento en función de los días que se produce al mes. FUENTE [13]. ...	69
Figura 13: Rosa de los vientos de Ungua Dogo. FUENTE [13] .....	69
Figura 14: Radiación solar por metro cuadrado en función de los meses del año. Fuente [14].	70
Figura 15: Escala de rugosidades. FUENTE [16]. ....	82
Figura 16: Distancia a tresbolillo. FUENTE [16]. ....	88
Figura 17: Rosa de los vientos, representación gráfica. FUENTE [16]. ....	88
Figura 18: Curva de duración de viento. FUENTE [16]. ....	90
Figura 19: Potencia disponible en función del diámetro. FUENTE [16]. ....	93
Figura 20: Potencia generada por una corriente de viento. FUENTE [16]. ....	96
Figura 21: Distribución de velocidades. FUENTE [16]. ....	97
Figura 22: Distribuciones de presiones. FUENTE [16]. ....	97
Figura 23: Coeficiente de potencia-K. FUENTE [16]. ....	100
Figura 24: Aerogenerador tripala. Fuente [16]. ....	102
Figura 25: Aerogenerador bipala. FUENTE [17] .....	102
Figura 26: Aerogenerador monopala. FUENTE [18]. ....	103
Figura 27: Orientación del aerogenerador. FUENTE [19]. ....	104
Figura 28: Torre de celosía. FUENTE: [20]. ....	105
Figura 29: Torres tubulares. FUENTE [21]. ....	105
Figura 30: Rotor Savonius. FUENTE [22]. ....	106
Figura 31: Rotor Darrieus. FUENTE [22]. ....	107
Figura 32: Rotor Giromill. FUENTE [23]. ....	108
Figura 33: Rotor Windside. FUENTE [24]. ....	108
Figura 34: Elementos de un aerogenerador. FUENTE [25]. ....	110
Figura 35: Representación gráfica de la radiación en función del mes. FUENTE: [26]. ....	120
Figura 36: Trayectoria y distancia entre el sol- tierra a lo largo del año. FUENTE [26]. ....	121
Figura 37: Fenómenos producidos por la radiación solar. FUENTE [26]. ....	122
Figura 38: componentes en función del movimiento del sol. FUENTE [26]. ....	123
Figura 39: Factores de masa de aire y altura solar. FUENTE [26]. ....	124

Figura 40: Distribución espectral de la radiación solar. FUENTE [28].	125
Figura 41: Tipos de células fotovoltaicas. FUENTE [29].	127
Figura 42: Elementos de un panel solar. FUENTE [30].	130
Figura 43: Diodos en condiciones normales y diodos con efecto sombra. FUENTE [31].	131
Figura 44: Estructura fija. FUENTE [32].	132
Figura 45: Estructuras con seguimiento solar. FUENTE [33].	132
Figura 46: Curva de productos corriente-voltaje y curva I-V. FUENTE [34].	134
Figura 47: Célula solar en circuito abierto y en cortocircuito. FUENTE [35].	134
Figura 48: Curvas de potencia para diferentes intensidades y voltajes. FUENTE [35].	136
Figura 49: Curva característica en función del voltaje y potencia. FUENTE [35].	137
Figura 50: Conexión en serie. FUENTE [36].	138
Figura 51: Conectados en paralelo. FUENTE [36].	139
Figura 52: Conexión en paralelo. FUENTE [37].	145
Figura 53: Conexión en serie. FUENTE [37].	146
Figura 54: Fases de carga del acumulador. FUENTE [38].	149
Figura 55: Reguladores de carga conectados en serie y paralelo. FUENTE [39].	152
Figura 56: Instalación mixta off-grid. FUENTE: [40].	164
Figura 57: Instalación mixta on-grid. FUENTE: [41].	165
Figura 58: Producción de energía fotovoltaica de la instalación. FUENTE: Elaboración propia.	172
Figura 59: Curva de potencia del aerogenerador del modelo E70 PRO. FUENTE [42].	174
Figura 60: Tabla de energía eólica aprovechable por el software de Enair. FUENTE [42].	180
Figura 61: Curva de potencia del aerogenerador de modelo E200L. FUENTE [42].	181
Figura 62: Tabla de energía eólica aprovechable por el software de Enair. FUENTE [42].	187
Figura 63: Producción de energía aprovechable en función de los meses del año. FUENTE: Elaboración propia.	190
Figura 64: Tabla de modelos de baterías en función de su capacidad y días de autonomía. FUENTE [43].	193
Figura 65: Esquema de disposición de elementos de la instalación autónoma. FUENTE: elaboración propia.	195
Figura 66: Tabla de la ITC-BT-19 sección de cable en función de la intensidad, tipo de cable y tipo de instalación. FUENTE: ITC-BT-19.	197
Figura 67: Distancia mínima de módulos fotovoltaicos. FUENTE [44].	200
Figura 68: Disposición de los módulos fotovoltaicos. Elaboración propia.	202
Figura 69: Colocación de aerogeneradores a tresbolillo. FUENTE [45].	203
Figura 70: Esquema de configuración de la instalación. FUENTE: elaboración propia.	204
Figura 71: Extensión del poblado rural de Ungua dogo. FUENTE: Elaboración propia.	206
Figura 72: Emplazamiento de la instalación. FUENTE: Elaboración propia.	206
Figura 73: Esquema de elaboración del proyecto. Fuente propia.	216
Figura 74: Diagrama de Gantt. Fuente propia.	218
Figura 75: Gráfica relacionado con el presupuesto de la instalación. Fuente propia.	228
Figura 76: Gráfica de los precios del kWh por país en dólares. FUENTE: [46].	230
Figura 77: Gráfica de la producción de energía eléctrica en combinación de las dos fuentes. Fuente propia.	231



Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Figura 78: Impactos ocasionados por la influencia del proyecto. Fuente propia. .... 236





## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cambio de políticas y legislación en Nigeria. Fuente [10].	47
Tabla 2: Cambio de políticas y legislación en Nigeria. Fuente [10].	48
Tabla 3: Ventajas e inconvenientes de la energía solar. FUENTE:[11]	52
Tabla 4: Ventajas e inconvenientes de la energía solar térmica. FUENTE:[11]	53
Tabla 5: Ventajas e inconvenientes de la energía eólica. FUENTE:[11]	54
Tabla 6: Ventajas e inconvenientes de la energía biomasa. FUENTE:[11]	55
Tabla 7: Ventajas e inconvenientes de la energía biomasa. FUENTE:[11]	56
Tabla 8: Ventajas e inconvenientes de la energía geotérmica. FUENTE:[11]	57
Tabla 9: Ventajas e inconvenientes de los sistemas híbridos. FUENTE:[12]	60
Tabla 10: Cálculo de puntuación de cada energía. FUENTE: Elaboración propia.	62
Tabla 11: Probabilidad de días de lluvia consecutivos. FUENTE: Elaboración propia.	68
Tabla 12: Cálculo de la demanda. FUENTE: Elaboración propia.	74
Tabla 13: Ventajas e inconvenientes de células de silicio monocristalino. FUENTE: Elaboración propia.	127
Tabla 14: Ventajas e inconvenientes de células de silicio policristalino. FUENTE: Elaboración propia.	128
Tabla 15: Ventajas e inconvenientes de células de silicio amorfo. FUENTE: Elaboración propia.	128
Tabla 16: Tipos de baterías. FUENTE: Elaboración propia.	143
Tabla 17: Ventajas e inconvenientes de los tipos de baterías. FUENTE: Elaboración propia.	144
Tabla 18: Tipos de reguladores. FUENTE: Elaboración propia.	150
Tabla 19: Distribución de producción de energía. FUENTE: Elaboración propia.	168
Tabla 20: Voltaje de la instalación en función de la energía demandada. FUENTE: Elaboración propia.	169
Tabla 21: Características del módulo fotovoltaico. FUENTE: Elaboración propia.	170
Tabla 22: Cálculo de número de módulos a partir de la irradiancia mensual. FUENTE: Elaboración propia y PVGIS.	170
Tabla 23: Cálculo de la energía extraída por los módulos fotovoltaicos. FUENTE: Elaboración propia.	171
Tabla 24: Características del aerogenerador de modelo E70 PRO. FUENTE: Elaboración propia.	173
Tabla 25: Rango de velocidades en función de la potencia. FUENTE: Elaboración propia.[42].	174
Tabla 26: Rango de velocidades en función del coeficiente de potencia. FUENTE: Elaboración propia. [42].	175
Tabla 27: Velocidad del viento en Ungua Dogo en función de los meses del año. FUENTE [13].	175
Tabla 28: Cálculo de energía aprovechable en el mes de enero. FUENTE: Elaboración propia.	176
Tabla 29: Cálculo de energía aprovechable en el mes de febrero. FUENTE: Elaboración propia.	176



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Tabla 30: Cálculo de energía aprovechable en el mes de marzo. FUENTE: Elaboración propia.	176
Tabla 31: Cálculo de energía aprovechable en el mes de abril. FUENTE: Elaboración propia.	177
Tabla 32: Cálculo de energía aprovechable en el mes de mayo. FUENTE: Elaboración propia.	177
Tabla 33: Cálculo de energía aprovechable en el mes de junio. FUENTE: Elaboración propia.	177
Tabla 34: Cálculo de energía aprovechable en el mes de julio. FUENTE: Elaboración propia.	178
Tabla 35: Cálculo de energía aprovechable en el mes de agosto. FUENTE: Elaboración propia.	178
Tabla 36: Cálculo de energía aprovechable en el mes de septiembre. FUENTE: Elaboración propia.	178
Tabla 37: Cálculo de energía aprovechable en el mes de octubre. FUENTE: Elaboración propia.	179
Tabla 38: Cálculo de energía aprovechable en el mes de noviembre. FUENTE: Elaboración propia.	179
Tabla 39: Cálculo de energía aprovechable en el mes de diciembre. FUENTE: Elaboración propia.	179
Tabla 40: Cálculo de energía aprovechable anual. FUENTE: Elaboración propia.	180
Tabla 41: Características del aerogenerador de modelo E200L. FUENTE [42].	181
Tabla 42: Rango de velocidades en función de la potencia. FUENTE [42].	182
Tabla 43: Rango de velocidades en función del coeficiente de potencia. FUENTE [42].	182
Tabla 44: Cálculo de energía aprovechable en el mes de enero. FUENTE: Elaboración propia.	183
Tabla 45: Cálculo de energía aprovechable en el mes de febrero. FUENTE: Elaboración propia.	183
Tabla 46: Cálculo de energía aprovechable en el mes de marzo. FUENTE: Elaboración propia.	183
Tabla 47: Cálculo de energía aprovechable en el mes de abril. FUENTE: Elaboración propia.	184
Tabla 48: Cálculo de energía aprovechable en el mes de mayo. FUENTE: Elaboración propia.	184
Tabla 49: Cálculo de energía aprovechable en el mes de junio. FUENTE: Elaboración propia.	184
Tabla 50: Cálculo de energía aprovechable en el mes de julio. FUENTE: Elaboración propia.	185
Tabla 51: Cálculo de energía aprovechable en el mes de agosto. FUENTE: Elaboración propia.	185
Tabla 52: Cálculo de energía aprovechable en el mes de septiembre. FUENTE: Elaboración propia.	185
Tabla 53: Cálculo de energía aprovechable en el mes de octubre. FUENTE: Elaboración propia.	186
Tabla 54: Cálculo de energía aprovechable en el mes de noviembre. FUENTE: Elaboración propia.	186
Tabla 55: Cálculo de energía aprovechable en el mes de diciembre. FUENTE: Elaboración propia.	186
Tabla 56: Cálculo de energía aprovechable anual. FUENTE: Elaboración propia.	187
Tabla 57: Cálculo de la energía aprovechable eólica por otro método. FUENTE: Elaboración propia.	188
Tabla 58: Energía eólica total aprovechable. FUENTE: Elaboración propia.	189



Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Tabla 59: Presupuesto relacionado con los recursos tangibles. Fuente propia.....	225
Tabla 60: Presupuesto relacionado con los recursos intangibles. Fuente propia.....	225
Tabla 61: Coste de elaboración del trabajo final de grado. Fuente propia.....	226
Tabla 62: Presupuesto relacionado con la instalación autónoma. Fuente propia.....	227
Tabla 63: Producción de energía eléctrica por la instalación autónoma. Fuente propia. ....	230







## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

### RESUMEN

En la actualidad podemos encontrar un índice de un 13% de población en África que no tiene acceso a la electricidad. Este recurso energético es de vital importancia para poder cubrir las necesidades básicas de las personas, sin poner riesgo a la salud. El consumo de combustibles tradicionales que además de ser costoso y contaminante para el medio ambiente perjudica la salud de las personas. Estos factores son los principales impedimentos para el desarrollo de estos países. Por estos motivos surgen estos tipos de proyecto, sobre todo de carácter social, para incentivar la universalización de la electricidad, promovido por las energías limpias y renovables.

Este proyecto se centra en el país de Nigeria, en concreto en la comunidad de Ungua Dogo situada al norte de este. Nigeria posee las mayores reservas de gas natural que se puedan encontrar en el continente africano, importa alrededor del 85% de su petróleo refinado, aunque las infraestructuras para desarrollar su extracción y distribución son escasas. Por otro lado, aunque la producción de hidrocarburos presenta un 8,19% del PIB nigeriano, se ha puesto de manifiesto la necesidad de diversificar la economía de este país, principalmente en el sector productivo y exportador, con el objetivo de reducir la dependencia de los hidrocarburos para la obtención de divisas. Por eso mismo el gobierno está apoyando fuertemente diversos sectores que permitan ampliar la base productiva y exportadora de la economía Nigeria, entre estos sectores se encuentra la producción de energía eléctrica, que ha cogido especial interés por el gobierno federal de crear redes independientes para las zonas rurales sin acceso a la red (off-grid), impulsado por las energías renovables. Estos motivos se desencadenan porque Nigeria cuenta con la menor electrificación per cápita de todo el continente africano. La generación, transmisión y distribución de electricidad alcanza menos del 1% del PIB y a la vez representa el 54% de la cuota de servicios públicos (como el suministro de agua o electricidad).

La problemática de la implantación de las energías renovables reside en que el avance tecnológico es dificultado por la ausencia de conocimientos técnicos y tecnológicos. La hidráulica tiene una presencia de un 20% del total de generación de energía en Nigeria y la energía eólica presenta un desarrollo menos que en la media del resto de países africanos, a pesar que el norte de Nigeria cuenta con un elevado potencial y que esta zona justamente cuenta con acceso reducido a la electricidad. Por otra parte, tenemos que muchas industrias financieras multilaterales apoyan este sector para su desarrollo.

El objetivo primordial de este proyecto es solventar los problemas encontrados en las zonas rurales con falta de electricidad abasteciendo a base de crear redes independientes mediante energías renovables, en concreto la comunidad de Ungua Dogo.

Para poder llevar a cabo este proyecto, electrificando la zona antes mencionada, se ha de elegir la mejor forma de obtención de la energía. Por eso mismo, se ha realizado un estudio climatológico del lugar, tanto de temperaturas, viento y precipitaciones como de radiación solar. Unos de los aspectos a mencionar son las elevadas temperaturas, pero sin demasiadas variaciones a lo largo del año, la velocidad del viento media y la radiación solar recibida gracias



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

a la situación en el “Cinturón del sol”. El siguiente paso es realizar un marco teórico con las hipótesis de las necesidades básicas energéticas para explicar de manera más fiable posible.

Esta demanda viene estimada por el número de personas, que son 495 personas aproximadamente. La comunidad presenta una potencia total al día de 27,314 kW y una producción de energía de 313,325 kWh al día. Estos valores han sido mayorados con incremento de un 20% para considerar pérdidas de la instalación al mismo tiempo que estipula el margen de error por las hipótesis presentadas en el marco crítico teórico.

Una vez realizado este estudio sobre la identificación y cuantificación de las necesidades eléctricas presentadas, se procede a la elección de la mejor alternativa para cubrir el abastecimiento energético de la comunidad. Este criterio de selección se ha realizado en base a un método que considera unos factores y estipula un peso y una puntuación. Estos factores son:

- Inversión inicial
- Coste de operación
- sostenibilidad con el medioambiente
- facilidad de mantenimiento
- potencia suministrada

Tras el análisis de las alternativas válidas para comunidades rurales aisladas, las alternativas escogidas es la implantación de la energía fotovoltaica y la energía eólica, en una combinación de ambas, ya que la producción solar se produce en horario diurno y la eólica su máxima producción en horario nocturno.

En la parte del diseño de la instalación, se ha realizado de manera teórica, es decir, varios capítulos que comprenden las descripciones de cada componente de la instalación, así como los parámetros principales a tener en cuenta a la hora de dimensionar. Seguidamente se desarrolla el cálculo de la instalación, el dimensionado utilizando el método del mes más desfavorable y teniendo presente el equilibrio y proporción justa de todos los equipos que la forman.

Al ser una instalación híbrida, se compone por dos tipos de generadores de energía, los aerogeneradores y los módulos fotovoltaicos, a cada una se le ha establecido un peso de producción de energía, la fotovoltaica consta del peso mayor teniendo un 60% de la producción, y la eólica la restante. Otra característica que se ha mencionado antes es que es una instalación de carácter autónoma por lo que cuenta con acumuladores de energía. Por la cantidad de demanda se ha establecido un voltaje de la instalación de 48 V.

La instalación se compone por un total de 112 módulos fotovoltaicos, que están conectados de manera que hay 4 filas en paralelo de 4 módulos en serie a un solo Regulador de carga solar, por lo que tendremos un total de 7 Reguladores solares por 4 líneas en paralelo, estos reguladores se conectan a las baterías de forma que regulan la descarga y recarga de esta los acumuladores



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

están compuestos por 10 líneas en paralelo de 12 vasos de 2 V. Por otro lado, los cuatro generadores eólicos están conectados también a otros cuatro reguladores de carga eólicos, con una resistencia que evita la sobrecarga para poder frenar el sistema. Estos reguladores tienen la misma función que los reguladores solares, estos reguladores junto con el sistema de acumulación van conectados al inversor que se encarga de transformar la tensión de entrada de corriente continua a corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada. A continuación, se muestra el esquema de configuración del sistema:



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

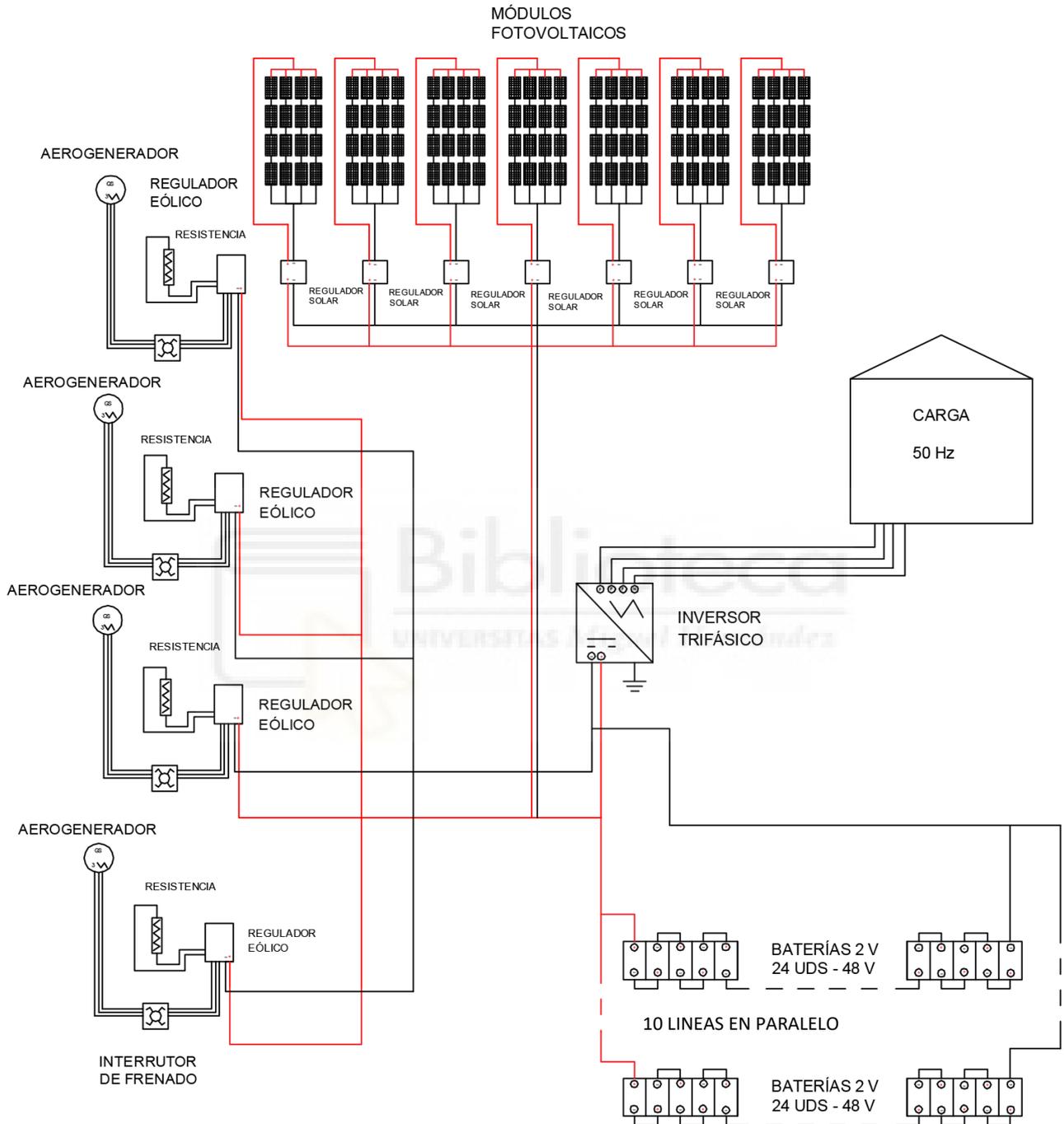


Figura 1: Esquema de configuración de los elementos de la instalación. FUNTE: Elaboración propia.

Para concluir con el proceso de dimensionamiento de la instalación, se explican el emplazamiento de la instalación en el que consta el montaje y puesta en marcha de la instalación, el mantenimiento y evaluación, siendo dos claves fundamentales para alcanzar con éxito el proyecto.

En la siguiente figura se puede observar el emplazamiento de la instalación próximo a Ungua Dogo, donde Ungua Dogo se compone de  $80 \text{ km}^2$  y la instalación de  $4,6 \text{ km}^2$ .



Figura 2: Situación de la instalación propuesta. FUENTE: Elaboración propia.

En la última parte se ha realizado el presupuesto de la instalación con una amortización de 17,75 años, siendo la vida mínima útil de la instalación 25 años. Además, se ha realizado una conclusión sobre este proyecto junto con un estudio de los impactos económicos, sociales y medioambientales. Se ha de recalcar que la intención de este proyecto es situarse frente al marco social y cultural de la comunidad de Ungua Dogo, para que puedan ser capaces de llevar una autogestión de la población. Gracias a estos podrán dar paso a un desarrollo y evolución, mejorando la calidad de vida y abrir las puertas para cumplir la universalización de la electricidad.





## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

### ABSTRACT

Currently, 13% of the population in Africa does not have access to electricity. This energy resource is of vital importance to be able to cover people's basic needs without putting their health at risk. The consumption of traditional fuels which, in addition to being costly and polluting for the environment, is detrimental to people's health. These factors are the main impediments to development in these countries. For these reasons, these types of projects arise, especially of a social nature, to encourage the universalisation of electricity, promoted by clean and renewable energies.

This project focuses on the country of Nigeria, specifically in the community of Ungua Dogo located in the north of the country. Nigeria has the largest reserves of natural gas to be found on the African continent, imports around 85% of its refined oil, although the infrastructures to develop its extraction and distribution are scarce. On the other hand, although hydrocarbon production accounts for 8.19% of Nigeria's GDP, there is a clear need to diversify the country's economy, mainly in the production and export sector, in order to reduce dependence on hydrocarbons for foreign exchange. For this reason, the government is strongly supporting various sectors that will allow it to broaden the productive and export base of the Nigerian economy, among these sectors is the production of electricity, which has taken special interest by the federal government to create independent networks for rural areas without access to the network (off-grid), driven by renewable energies. These reasons are triggered by the fact that Nigeria has the lowest per capita electrification on the African continent. Electricity generation, transmission and distribution account for less than 1% of GDP, while accounting for 54% of the share of public utilities (such as water and electricity supply).

The problem with the implementation of renewable energies lies in the fact that technological progress is hampered by the lack of technical and technological know-how. Hydropower accounts for 20% of total energy generation in Nigeria, and wind energy is less developed than the average for other African countries, despite the fact that northern Nigeria has a high potential and that this area has very limited access to electricity. On the other hand, many multilateral financial institutions are supporting the development of this sector.

The main objective of this project is to solve the problems encountered in rural areas with a lack of electricity by creating independent grids using renewable energies, in particular in the community of Ungua Dogo.

In order to carry out this project, electrifying the aforementioned area, the best way of obtaining energy has to be chosen. For this reason, a climatological study of the area has been carried out, both in terms of temperatures, wind and rainfall as well as solar radiation. Some of the aspects to be mentioned are the high temperatures, but without too many variations throughout the year, the average wind speed and the solar radiation received thanks to the location in the "Sun Belt". The next step is to make a theoretical framework with the hypotheses of the basic energy needs to explain as reliably as possible.



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

This demand is estimated by the number of people, which is approximately 495 people. The community has a total power per day of 27,314 kW and an energy production of 313,325 kWh per day. These values have been increased by 20% to take into account losses of the installation while stipulating the margin of error for the hypotheses presented in the theoretical critical framework.

Once this study on the identification and quantification of the electricity needs presented, the best alternative to cover the community's energy supply was chosen. This selection criterion is based on a method that considers a number of factors and stipulates a weight and a score. These factors are:

- Initial investment
- Operating cost
- environmental sustainability
- ease of maintenance
- power supplied

After the analysis of the valid alternatives for isolated rural communities, the alternatives chosen are the implementation of photovoltaic energy and wind energy, in a combination of both, since solar production takes place during the day and wind energy produces its maximum production during the night.

The design of the installation has been carried out in a theoretical manner, i.e. several chapters that include descriptions of each component of the installation, as well as the main parameters to be taken into account when sizing. This is followed by the calculation of the installation, the sizing using the worst-case month method and bearing in mind the balance and fair proportion of all the equipment that makes up the installation.

As it is a hybrid installation, it is made up of two types of energy generators, the wind turbines and the photovoltaic modules. Each one has been given a weight of energy production, with the photovoltaic having the greatest weight, accounting for 60% of the production, and the wind turbine for the remainder. Another characteristic that has been mentioned before is that it is an autonomous installation, which is why it has energy accumulators. Due to the amount of demand, an installation voltage of 48 V has been established.

The installation consists of a total of 112 photovoltaic modules, which are connected in such a way that there are 4 parallel rows of 4 modules in series to a single solar charge regulator, so we will have a total of 7 solar regulators by 4 parallel lines, these regulators are connected to the batteries so that they regulate the discharge and recharge of this accumulators are composed of 10 parallel lines of 12 2 V glasses.



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

On the other hand, the four wind generators are also connected to four other wind charge regulators, with a resistor that prevents overload in order to brake the system. These regulators have the same function as the solar regulators, these regulators together with the accumulation system are connected to the inverter which is responsible for transforming the input voltage from direct current to alternating current, with the desired magnitude and frequency. As can be seen in the annex in the section on plans, the number four being.

To conclude with the process of dimensioning the installation, the location of the installation is explained in which the assembly and start-up of the installation, maintenance and evaluation are explained, being two fundamental keys to the success of the project.

The following figure shows the location of the installation near Ungua Dogo, where Ungua Dogo is made up of  $80 \text{ km}^2$ . and the installation of  $4.6 \text{ km}^2$ . As can be seen in the annex in the section on plans, the number one being.

In the last part, the budget for the installation has been drawn up with an amortisation of 17.75 years, the minimum useful life of the installation being 25 years. In addition, a conclusion has been drawn on this project together with a study of the economic, social and environmental impacts. It should be emphasised that the intention of this project is to place itself in the social and cultural framework of the Ungua Dogo community, so that they will be able to manage their own population. Thanks to this, they will be able to give way to a development and evolution, improving the quality of life and opening the doors to achieve the universalisation of electricity.





# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN



## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Motivación

En el mundo existe aproximadamente un 13% de población que no tiene acceso la electricidad, para la obtención de energía normalmente recurren a combustibles fósiles dañinos para el medioambiente como puede ser el carbón o la madera. Si a esto le sumamos que tan solo el 17,5% de toda la energía que se consume en el mundo es de origen renovable. Son algunas de las conclusiones del estudio elaborado por la Agencia Internacional de la Energía (AIE), la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), la División de Estadística de las Naciones Unidas (UNSD), el Banco Mundial y la Organización Mundial de la Salud (OMS). [1]

Para el 2030 fijaron las anteriores organizaciones mundiales unos objetivos para fomentar el desarrollo sostenible, que combina la generación de energía a través de energías renovables y el acceso a la electricidad.

El eje central de motivación de este proyecto es mejorar la calidad de vida de las personas que no disponen de la posibilidad de tener acceso a la electricidad, mediante la implementación de energías renovables en poblados rurales donde todavía no están electrificados, ya sea porque la red nacional que es muy costosa o se encuentra muy alejada del poblado.

Es interesante realizar este proyecto en países subdesarrollados porque es donde existe más pobreza, tienen menos oportunidades para poder acceder a la energía por medios propios que no sean combustibles fósiles, lo que producirá una mejor calidad del medio ambiente debido a la utilización de combustibles renovables y la garantía de poder obtenerlo sin tener que malgastar los recursos finitos del planeta. (la tala de árboles).

En conclusión, se busca promover la realización de este tipo de proyectos, para avanzar en la electrificación universal, en la actualidad ya se están implementado muchos proyectos de este tipo.

### 1.2 Objetivos del proyecto

El objetivo primordial de este proyecto es la implementación de electricidad en poblados rurales en países subdesarrollados. Que cuentan con problemáticas como pueden ser los cortes de electricidad debido a que la generación de electricidad está muy por debajo de la necesaria, teniendo que muchas veces subcontratar energía a países vecinos o ya sea porque la acometida de la red nacional es muy lejana.

Para abordar esta gran problemática mundial, se debe de estudiar a fondo la situación energética actual que cuenta cada poblado, las empresas que complementan la demanda y la forma de abastecer la energía.



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Para desarrollar la solución a esta problemática es necesario hacer un estudio de los datos de partida que nos ofrece cada lugar en concreto, como la recopilación de los datos climatológicos y otros recursos con los que se puedan contar característicos de la zona. Seguidamente es necesario calcular la demanda eléctrica, para ello se necesitará saber la forma de vida y cultura del poblado, la cantidad de viviendas, zonas comunes, el alumbrado de las calles, etc.

Con todos estos datos podremos evaluar qué alternativa energética es más favorable. En la que se tendrá en cuenta, las limitaciones, restricciones y supuesto, el presupuesto, la sostenibilidad, la durabilidad, la no dependencia de otros recursos, etc.

A continuación, se selecciona la alternativa conveniente y se da paso al dimensionamiento y diseño de la misma. Esta parte es fundamental para realizar una correcta instalación, porque se ha de tener en cuenta la marcas y características técnicas de los equipos, el conexionado y cableado de cada uno de ellos, siempre teniendo en cuenta la calidad y el coste.

Se aportará también un breve análisis sobre el montaje, la puesta en marcha, lugar de emplazamiento de la instalación. Siempre bajo la mirada socio-ambiental y técnica.

Por último, también es fundamental realizar una buena inserción de esta energía en los habitantes del poblado para el buen mantenimiento y desarrollo de la instalación a corto y largo plazo.

### 1.3 Estructura del documento

El siguiente proyecto consta de doce capítulos, cuyo contenido es el detallado a continuación:

- **Capítulo 1: introducción**  
Representa la motivación, planteamiento del problema y objetivos fundamentales a llevar a cabo a lo largo del trabajo y la estructura del mismo.
- **Capítulo 2: Antecedentes y características de la demanda**  
Se describe el planteamiento de la situación en profundidad, planteando el problema y realizando un estudio de Nigeria desde el punto de vista económico y energético. Siempre centrado en las zonas rurales, especialmente en el poblado de Ungua Dogo.
- **Capítulo 3: Alternativas planteadas**  
En este capítulo se detalla las principales soluciones energéticas especialmente basado en las energías renovables.
- **Capítulo 4: Requisitos de diseño**  
Se realiza un estudio climatológico del emplazamiento característico, con los recursos que nos ofrece el mismo, además de caracterizar la demanda a suplir por la tecnología seleccionada.

- **Capítulo 5: Introducción a la tecnología eólica**  
Se detalla la tecnología eólica en general, con sus tipos de generadores eólicos, partes, etc. Además del potencial energético y las diversas formas de caracterizar el viento.
- **Capítulo 6: introducción a la tecnología fotovoltaica**  
Se realiza la recopilación de información sobre la energía solar, como se produce los tipos de materiales con los que se realiza y las diversas características que conforman esta tecnología.
- **Capítulo 7: Elementos de una instalación autónoma**  
Una vez detalla el tipo de instalación, se explican las características de los elementos que componen la instalación para que la energía generada por los generadores sea almacenada y transformada adecuadamente. Por otro lado, la protección del sistema y las conexiones entre aparatos es de vital importancia para la estabilidad de la instalación.
- **Capítulo 8: Dimensionamiento de la instalación**  
Se recogen todos los cálculos determinantes para la selección de aparatos a nivel cualitativo y cuantitativo siempre teniendo en cuenta la relación calidad-precio.
- **Capítulo 9: Conclusiones y desarrollos futuros**  
Se expone las conclusiones finales extraídas del proyecto y los posibles desarrollos de la instalación y su crecimiento a largo plazo.
- **Capítulo 10: Planificación temporal**  
Se utilizan dos herramientas (EDP y diagrama de Gantt) para describir todas las tareas que se han llevado a cabo para la realización del proyecto.
- **Capítulo 11: Presupuesto**  
Se estima brevemente los posibles recursos económicos consumidos en este trabajo, así como el valor del kWh y el tiempo de amortización de la instalación.
- **Capítulo 12: Impacto del proyecto**  
En este último capítulo se realiza un análisis sobre el impacto de la instalación, tanto negativo como positivo, el trabajo en el entorno de desarrollo del mismo.



# CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES Y CARACTERÍSTICAS DE LA



## NIGERIA

Unity and Faith, Peace and Progress

**179 million** Population

7th most populous country on earth

**38** Provinces

Capital : Abuja

Currency : Naira (NGN)

Languages : English, Hausa, Igbo, Fulah

## AFRICA



## CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES Y CARACTERÍSTICA DE LA DEMANDA

### 2.1 Introducción

El continente africano cuenta con una gran pobreza y sobre todo se concentra en las zonas rurales, aunque también se observa cada vez más un crecimiento económico.

La mayor parte de la población trabaja y vive en zonas rurales, que poseen terrenos cultivables y la agricultura representa el 65% del empleo en africa subsahariana. [2]

El siguiente mapa muestra como la población rural varía según la localización, el color más oscuro corresponde al valor más alto. El país con el valor más alto del mundo es Nigeria, con un valor de 95,263,560.00. Se han utilizado datos de la población urbana para estimar la población rural, provienen de las perspectivas de la urbanización mundial de la Naciones Unidas.

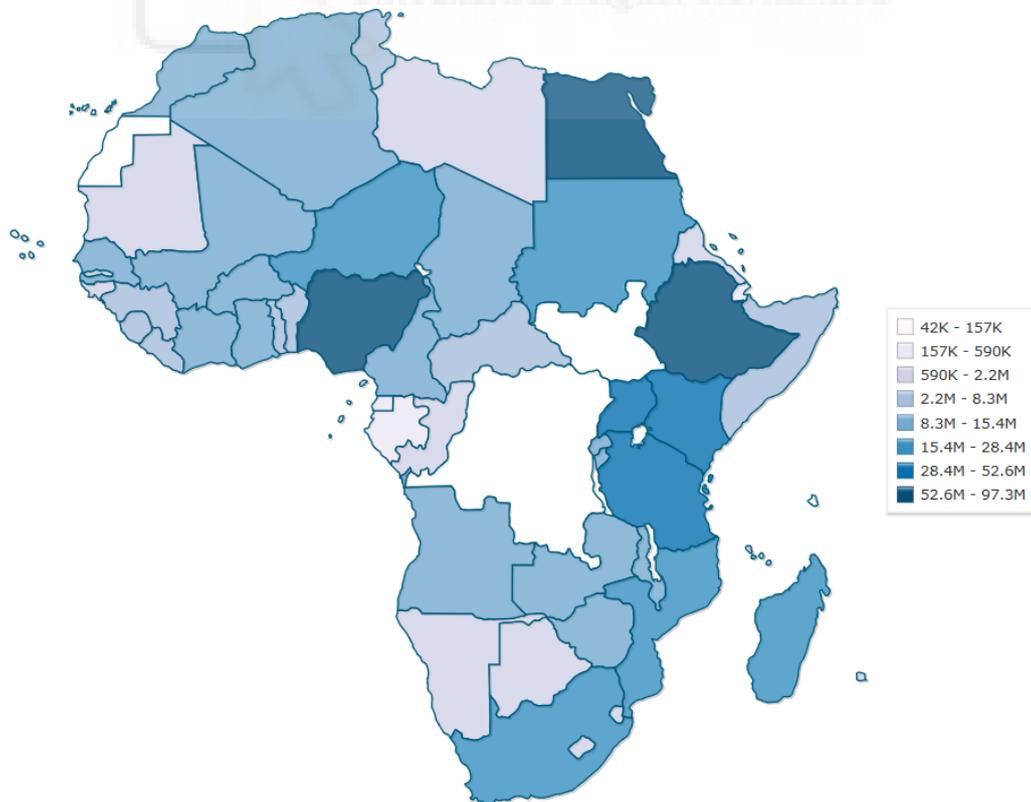


Figura 3: Mapa de África en función de la cantidad de población rural. FUENTE [3].



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Se ha de reconocer el potencial rural que existe en estas zonas realizando inversiones que puedan reforzar la autonomía gracias a enfoques integrados.

Para esto es necesario reforzar los sectores físicos y sociales como carreteras, energía, educación y servicios de salud.

Las inversiones deberían centrarse en:

- Implementación de competencias y apoyo necesario para la creación de empresas. A través de cooperaciones o financiación.
- Garantizar la seguridad y salud en el trabajo.
- Integración de la agricultura en el ámbito industrial.
- Aprovechar las sinergias de las nuevas tecnologías como la recopilación de información, el turismo, la biotecnología, la protección del medio ambiente y la producción de energía renovable.

A continuación, se detalla la situación y generalidades del país de objeto de estudio de este proyecto, teniendo en cuenta que es uno de los países donde existe más población rural en África. Para ello se describe, el marco económico, social, político, legal y energético

### 2.1.1 Estudio demográfico

La República Federal de Nigeria, situada al oeste de África, delimitada al norte por Niger, en el noroeste por el Chad, Camerún en el este y Benin al oeste. Su costa sur se encuentra en el golfo de Guinea en el océano Atlántico. La república contiene 36 estados y su capital, Abuja como se puede observar en la figura 4. Lagos es la ciudad más poblada del país y del continente africano, así como una de las áreas metropolitanas más grandes del mundo. El Yoruba, el Igbo y el Hausa son los principales idiomas de Nigeria, además del inglés, que se utiliza para fomentar la unidad en un país con numerosos grupos étnicos. Su moneda es Naira. La religión más abundante es el islam, seguido del cristianismo, aunque existen otras religiones como el animismo.

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados



Figura 4: mapa geográfico de Nigeria. FUENTE [4].

Nigeria ocupa una superficie aproximada de 923.770 Km<sup>2</sup>, con una población aproximada de 195.874.740 personas, es uno de los países más poblados del mundo con una densidad de población de 212 habitantes por Km<sup>2</sup>. La tasa de mortalidad es del 11,86%.

### 2.1.2 Marco económico y energético de Nigeria

Por un lado, contabilizamos la calidad de vida mediante un indicador que se conoce como PIB per cápita, que en Nigeria es de 1.721 euros, por lo que el puesto de esta cifra se sitúa en el puesto 146. Sus habitantes se encuentran con que existe un bajo nivel de vida en comparación con los 196 países del ranking.

Otro indicador que mide el desarrollo de un país, y lo clasifica en desarrollado o subdesarrollado es el Índice de desarrollo Humano o IDH, valora la economía, salud, educación, y los ingresos. Es elaborado por las Naciones Unidas, para Nigeria es de 0,532 puntos en 2016, este valor numérico corresponde a un intervalo entre 0 (malo) y 1 (ideal), en este caso se sitúa en el puesto 157. Se encuentra en una posición bastante vulnerable al ser uno de los peores puesto. Las tres variables que se tienen más en cuenta son: Vida larga y saludable, conocimientos y nivel de vida digno. Por lo que influye la esperanza de vida que es de 53,95 años y su tasa de mortalidad anteriormente mencionada, además de su renta per cápita de 1.745 euros.

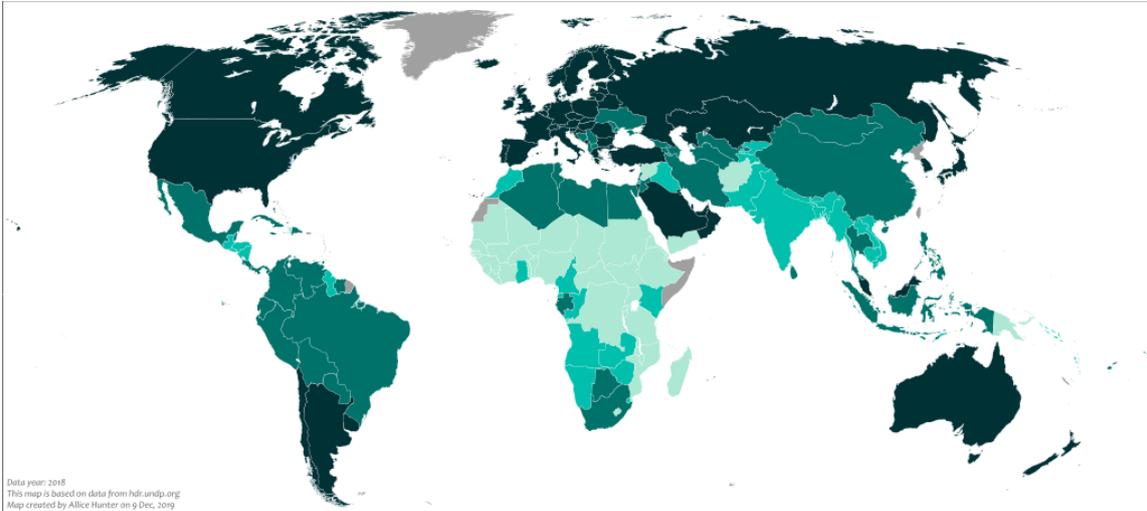


Figura 5: Ranking a nivel mundial de IDH. FUENTE [5].

En la siguiente figura 3 se contempla el ranking a nivel mundial del indicador IDH, donde el color oscuro son los países más desarrollados. Como se puede observar África es uno de los continentes con mayor existencia de países subdesarrollados. Todo esto es debido a los problemas que se generan en la economía, política, a nivel social y geográfico.

La causa más relacionada con el bajo nivel de vida de la población es debido a la falta de energía, es importante la provisión de electricidad para el desarrollo de un país. Esto tiene que ver con la dificultad de realizar proyectos de desarrollo e inversiones públicas como escuelas o centro comunitarios para el avance personal. No se puede dotar de aparatos eléctricos sin la existencia de una conexión fiable a la electricidad. Por otro lado, también es esencial para la carga de dispositivos móviles, el bombeo del agua o calentamiento de la misma, alumbrado de calles y calefacción.

Nigeria cuenta con que un 96% de los domicilios urbanos están conectados, pero solo el 18% de estas conexiones funcionan aproximadamente la mitad del tiempo, por los cortes de electricidad que se producen debido a la falta de generación de energía por parte de la industria energética. La brecha que existe entre la cobertura de la red y la provisión de energía es muy significativa, parte del problema es la mala gestión de los recursos energéticos por parte de los gobiernos y realizar un plan energético alcanzable. Además de que la carga por promover el acceso a la energía muchas veces recae más en la población que por parte de los gobiernos, con la compra conjunta de generador de combustible fósil, lo que lleva a una gran inversión, si a esto le sumamos el precio del combustible y las largas esperas en las gasolineras para poder comprar el combustible.

La facilidad de obtención de combustible no renovable, como puede ser la utilización de lámparas de queroseno, que generan graves problemas de salud, y otros productos la madera o carbón para la cocina o calefacción, hace que no se implementen las energías renovables, a pesar de que estos combustibles son costosos, ineficientes y contaminantes.



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

En 2013, Obama lanzó la iniciativa Power Africa con el objeto de que 50 millones de personas en África antes de 2020 puedan tener acceso a la electricidad.[6] Estas soluciones energéticas ayudan a que las compañías privadas inviertan en soluciones energéticas, así puedan ser desarrolladas para favorecer el acceso de energía sostenible y económica, con el fin de reducir la pobreza e impulsar el crecimiento económico.

Estos últimos años han surgido iniciativas locales por toda África subsahariana que facilitan la energía a través de energías renovables, estos proyectos pueden resolver el problema de necesidades domésticas, pero no para empresas africanas que necesitan una fuente potente de energía, además de constante y económica.

El apoyo estadounidense por parte de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). El resto serán aportaciones públicas que por parte del Banco Africano de Desarrollo (BAD), el grupo del Banco Mundial, el gobierno de Suecia y la Unión Europea (UE) que se han comprometido a aportar 12 mil millones en apoyo a las actividades de energía sostenible en toda la región.

Según la propia iniciativa Power Africa, ellos ya han firmado convenios de cooperación con los gobiernos de Noruega y Reino Unido, la Nueva Alianza de la Unión Africana para el desarrollo de África (NEPAD), la iniciativa de Naciones Unidas de energía sostenible para todos (SE4ALL) y la Agencia Internacional de la energía renovable (IRENA).

África puede ser la primera región del mundo que impulse su crecimiento económico con energías renovables, dejando por el camino los combustibles fósiles como el carbón y disminuyendo su dependencia del petróleo.

Las energías renovables como por ejemplo la energía solar, su cara inversión ha caído progresivamente estos últimos años. Esto beneficia África, ya que la demanda de energía crece continuamente. La bajada de precios del petróleo afecta grandemente a los países exportadores como Angola, Argelia, Libia y Nigeria que se están dando cuenta de que no pueden seguir ligando su desarrollo a la exportación de crudo y deben optar por nuevas tecnologías.

En el informe titulado África 2030, IRENA ofrece una especie de hoja de ruta para favorecer la transición del continente hacia las energías renovables. Según este documento, en el año 2030, el 22 % de la energía que África necesita podría provenir de medios locales, limpios y renovables. Esto representa cuatro veces más que el 5 % de hoy en día [7]. Si realmente se alcanzase este objetivo, se podría terminar con los cortes de electricidad tan frecuentes en muchas ciudades africanas, acercar la corriente hasta las zonas rurales, favorecer el crecimiento de la industria y de los emprendedores, y, en definitiva, generar prosperidad en todo el continente.

Las energías renovables es un tipo de energía que requiere de un combustible ilimitado como el viento, el sol, las mareas, etc. Normalmente son energías autóctonas, gratuitas, ilimitadas y responsables con el medioambiente, lo contrario a las energías “no renovables”. Los beneficios fundamentales que ofrecería la implantación de este tipo de energías son:

- No producen emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, esto reduce el efecto invernadero.

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

- No generan residuos de difícil tratamiento, como la energía nuclear.
- Son inagotables.
- Evita la dependencia energética exterior e interior.
- Crean puestos de trabajo.
- Mantenimiento sencillo.
- Realización de proyectos a grandes y menores escalas.
- Accesibles, coste reducido o sin coste de combustible.

Joint Research Centre (JRC) de la Comisión Europea realizó un mapa que estudia la capacidad de generación de energías renovables (solar, eólica, hidroeléctrica, y biomasa) en el continente africano.[7]

- **Energía solar**

Africa cuenta con el promedio más alto del mundo en cuanto a radiación solar todo el año. El 95% de la luz solar, de más de 6,5 kWh/m<sup>2</sup> que recibe el planeta en invierno, irradia sobre África.

El mapa del potencial de África de energía solar, basado en el Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica del JCR, muestra que, en muchas partes de este continente, el mismo panel fotovoltaico podría producir dos veces más electricidad que la que produciría en Europa Central.

- **Energía hidroeléctrica**

Las pequeñas plantas que existen en África ecuatorial tienen bastante potencial debido a la gran red de ríos permanentes y que las poblaciones se asientan cerca de ellos y solo se explota el 7% de esta energía en África.

- **Energía eólica**

La energía eólica ha empezado a desarrollarse en Túnez, Marruecos y Egipto. Este último país, es el de mayor capacidad para producir este tipo de energía, con unos 550 megavatios instalados.

El informe sugiere además que la energía eólica es la más explotable en gran escala en las zonas del norte de África. En particular, a lo largo de las costas mediterráneas y en las zonas más al sur del continente debido a la actual red de distribución de energía eléctrica.



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

- **Energía con biomasa**

La mayoría de países africanos obtienen más del 90% de la energía utilizada en los hogares de la biomasa, como la madera, el carbón, los excrementos de animales y los residuos de las cosechas.

El informe destaca la gran diferencia entre la Unión Europea y el África Subsahariana en relación a la producción y uso de este combustible. Además, analiza el desarrollo de un índice para la sostenibilidad de la madera como combustible, ya que la tala de árboles influye negativamente a la sostenibilidad del planeta y el potencial inexplorado de cosechas energéticas como la caña de azúcar.

### 2.2 Situación energética actual en Nigeria

Una de las principales fuentes desarrolladoras de la economía en Nigeria es en gran medida el petróleo. Según FMI, representa el 95% de las exportaciones y el 65% de los ingresos del gobierno.[8]

Otro combustible muy rico en el país por la cantidad de reservas que hay es el gas natural, por lo que es uno de los combustibles más exportados del país, aunque haya pocos medios para extraerlo. El gas natural, que se asocia con la producción de petróleo, sobre todo se quema, pero el Gobierno nigeriano, debate en la Asamblea Nacional la ley Industrial del Petróleo, diseñada para la reforma del sector de los hidrocarburos, para aumentar la producción de gas natural, racionalizar la toma de decisiones mediante la fragmentación de las competencias de la Nigerian National Petroleum Corporation (NNPC) y privatizar sus actividades. El proyecto de ley prevé ampliar el uso de gas natural destinado a la generación de electricidad doméstica.[8]

El gas podría diversificar la economía nigeriana para no depender del petróleo, porque tiene gran demanda a nivel internacional, incrementarían las divisas que son recuperadas por la bajada de precio del petróleo. El gran inconveniente es que se estaría incentivando el consumo de combustibles fósiles que son perjudiciales para la salud y el planeta.

Según los datos que nos ofrece el anuario estadístico de Repsol, se puede observar la influencia general de los diferentes tipos de energías:

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

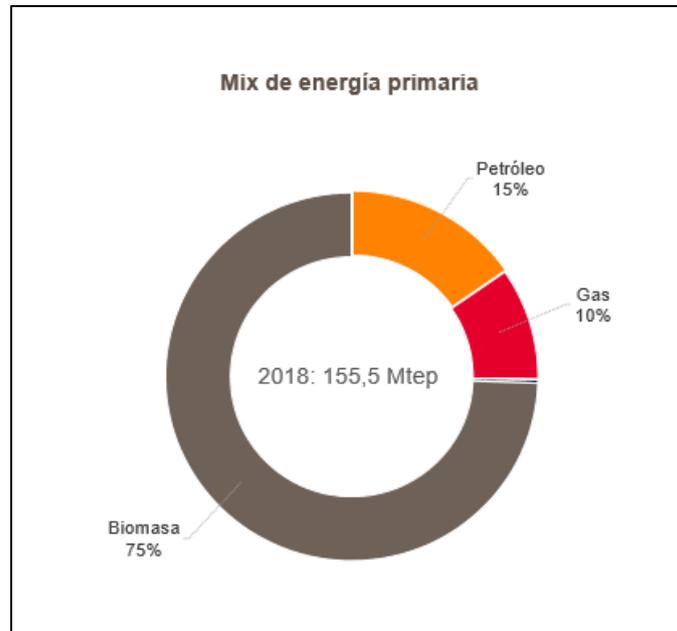


Figura 6: Influencia de energías en Nigeria. FUENTE [9].

Como podemos observar sus principales fuentes de energía son la biomasa, el petróleo y el gas. Como anteriormente hemos comentado el gran problema de la energía que procede de la biomasa es principalmente la madera, la consecuencia de esto es la tala de árboles que son uno de los factores más importantes para que todo el CO<sub>2</sub> generado sea absorbido y para la producción de oxígeno, además de la combustión generada provoca muchos gases dañinos.

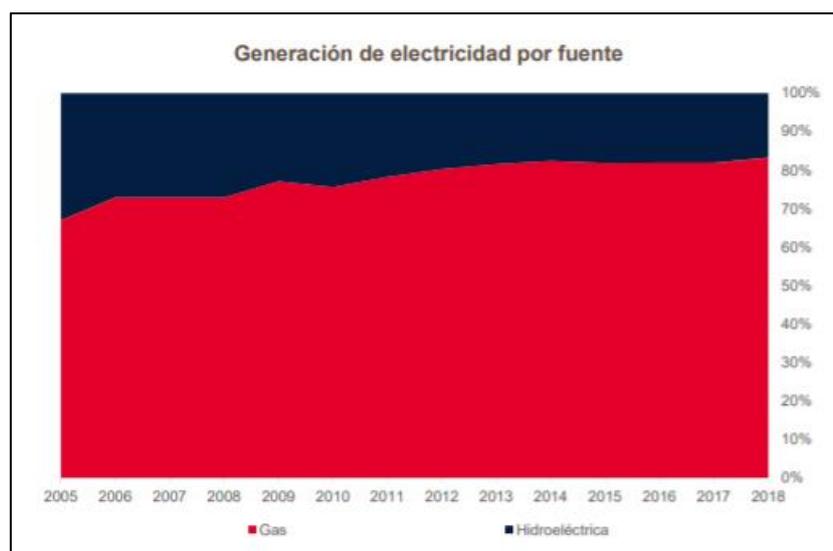


Figura 7: Tipos de generación de energía en Nigeria. FUENTE [9].

En el siguiente gráfico se muestra como anteriormente se comentado la mayor parte de generación de energía es mediante gas natural porque se encuentra muy rico en el país.

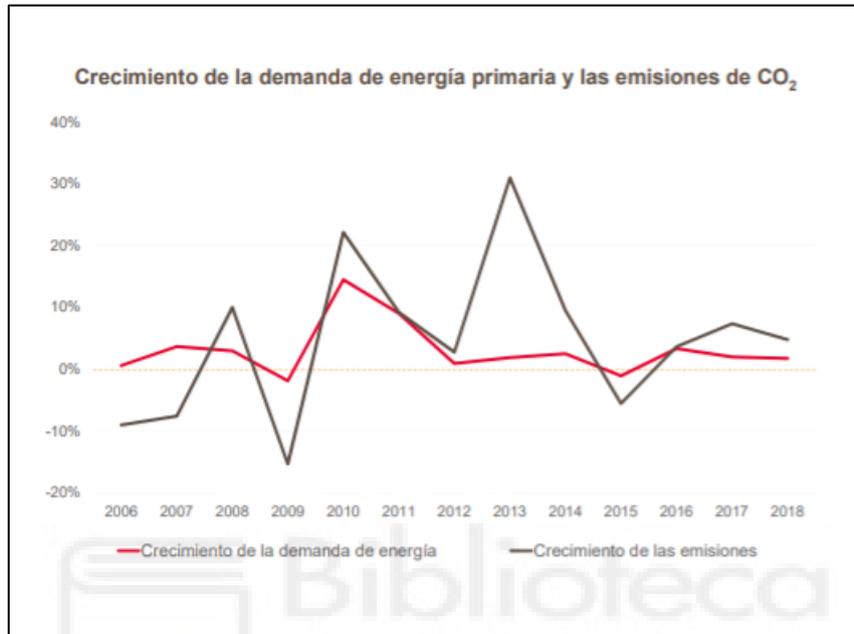


Figura 8: Crecimiento de la demanda de energía primaria y las emisiones de CO<sub>2</sub> en Nigeria. FUENTE [9].

En este gráfico se indican como la demanda es cada vez más reducida por la falta de producción de energía que existe en muchos poblados rurales, y por los cortes de electricidad en las grandes ciudades, y si la demanda baja las emisiones también.

El sector energético es uno de los problemas principales del país nigeriano, las estadísticas son muy pobres sobre el suministro de energía en la red para un país con casi 200 millones de personas. Mientras los problemas continúan aumentando en Nigeria en el sector energético, las oportunidades están aumentando para las empresas que operan en el sector de la energía fuera de la red del país. Respaldo por un sólido entorno regulador, un gobierno fuerte soportado por el centro y un aumento del capital de los inversores y donantes, el sector de la energía fuera de la red es la solución más encabezada a la victoria del sector energético. Con más de 90 millones de nigerianos fuera de la red y otros 30 millones con menos de cuatro horas al día de electricidad.

Según el instituto meteorológico de Nigeria (NIMET), la mayor economía que existe en africa, y aún falta por desarrollar, es el sol con un promedio diario anual de 6,25 horas. Esto significa que Nigeria tiene oportunidades ilimitadas para aprovechar esa fuente de energía. El auge de esta energía, la solar, y los avances tecnológicos en cuanto la mejora de la capacidad de las baterías está cambiando la vida de millones de personas que viven en zonas rurales e incluso en ciudades donde la red eléctrica es insuficiente.[10]



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Otra fuente de energía que tiene un vasto potencial sin explotar es la hidrología. El Gobierno de Nigeria se ha comprometido a completar numerosos proyectos de energía hidroeléctrica, incluyendo el Proyecto de Mambilla de 3.050 MW, 700 MW, Zungeru y 30MW Gurara. Hay varios proyectos hidroeléctricos más pequeños que están inactivos. Un estudio realizado en 2013 por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) Organización para el Desarrollo Industrial (ONUDI) mostraron que seis sitios de energía hidroeléctrica, incluyendo: La presa del desfiladero de Ikere, la presa de Oyan, Bakalori, la presa de Tiga, la presa de Challawa, la presa de Doma tiene un enorme potencial hidroeléctrico. La renovación de estas presas abandonadas alrededor del país entregará 350MW de energía hidroeléctrica poder que puede servir a unas 350.000 personas.[10]

Actualmente el plan de recuperación del sector eléctrico, que es un documento que recoge las directrices necesarias para mejorar la red eléctrica, afirma que la economía nacional está perdiendo 29.300 millones de dólares anuales debido a la falta de energía adecuada.

La oportunidad para aprovechar los sectores con mucho potencial en Nigeria como son la energía solar, eólica e hidráulica para poder cerrar la brecha energética.

Hay más de 80 millones de personas en las zonas rurales sin acceso a la energía y más de 40 millones de personas en las zonas semiurbanas con un suministro limitado de una red nacional que falla. La red nacional es tan frágil que la poca generación y la gran demanda provocan el colapso de la red. La única manera de salir de este problema es buscar alternativas viables.

En cuanto al acceso, trece estados del país todavía tienen tasas de acceso inferiores al 45%. Según el Banco Mundial estadísticas, Nigeria sigue siendo el segundo peor país en las tablas de acceso a la electricidad mundial.

Las limitaciones de gas y los problemas de liquidez a menudo cortan un tercio de la producción en un país en el que el 75% de la energía se genera a través de plantas de gas. Según el Informe de Rendimiento del Sector Eléctrico del Grupo Presidencial de Trabajo sobre Energía, en septiembre de 2018, el sector eléctrico experimentó una pérdida de energía de 107.340MW, (alrededor de 51.519 millones de nairas. en términos monetarios) debido a la insuficiencia de gas.[10]

En 2018, el número de centrales eléctricas inactivas aumentó de 7 a 15, como resultado de las limitaciones de gas, lo que dio lugar a un déficit de ingresos de 52.450 millones de Nairas en octubre el año pasado.

La realidad es que la actual transmisión de la estructura de la red en no refleja el objetivo de la mezcla de fuentes de energía promovido por el gobierno. Debería ser revisado para crear una red regional estructuralmente dividida, con la capacidad de tomar energía de fuentes diversificadas.

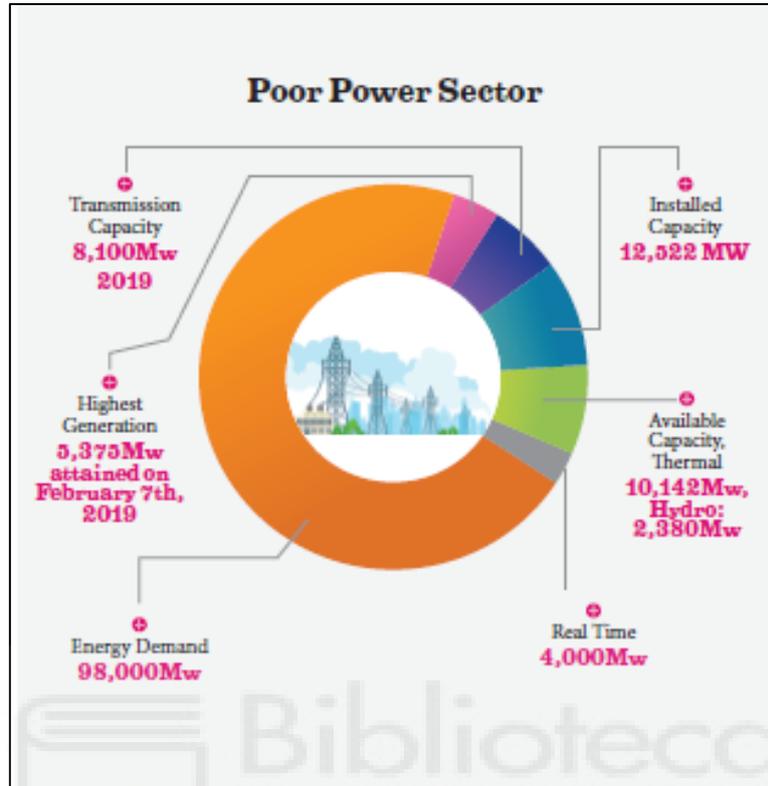


Figura 9: Comparación de energía demandada y producida en Nigeria. FUENTE [10].

Esta situación pone de manifiesto la revolución silenciosa en el mercado no estructurado de Nigeria. La magnitud del problema y estas empresas que se abren el camino a otras soluciones para que este malestar nacional que exige algo más que un interés pasajero en su trabajo. Exige una cuidadosa introspección sobre los modelos que funcionan, el plan de juego de los operadores y la conexión entre la política y las condiciones del mercado.

Como resultado, la Agencia de Electrificación Rural (REA), una agencia del gobierno bajo el Ministerio de Energía dice que los nigerianos y sus empresas gastan casi 14.000 millones de dólares (N 5 trillones) anualmente en una generación ineficaz que es cara (\$0.40/kWh o N140/kWh o más), de energía de baja calidad, ruidosa y contaminante.[10]

En un país con una red nacional débil, las oportunidades de mercado residen en el desarrollo de alternativas fuera de la red para complementar la red nacional. Según un estudio del Instituto de las Montañas Rocosas y REA, apoyado por la Fundación Rockefeller, proporcionar acceso a la energía podría crear una oportunidad de mercado de 9,2 billones de dólares anuales (N3,2 billones de dólares anuales) para las mini redes y los sistemas solares domésticos. Ahorrará 4,4 billones de dólares al año (N1,5T/año) para los hogares y negocios nigerianos.[10]

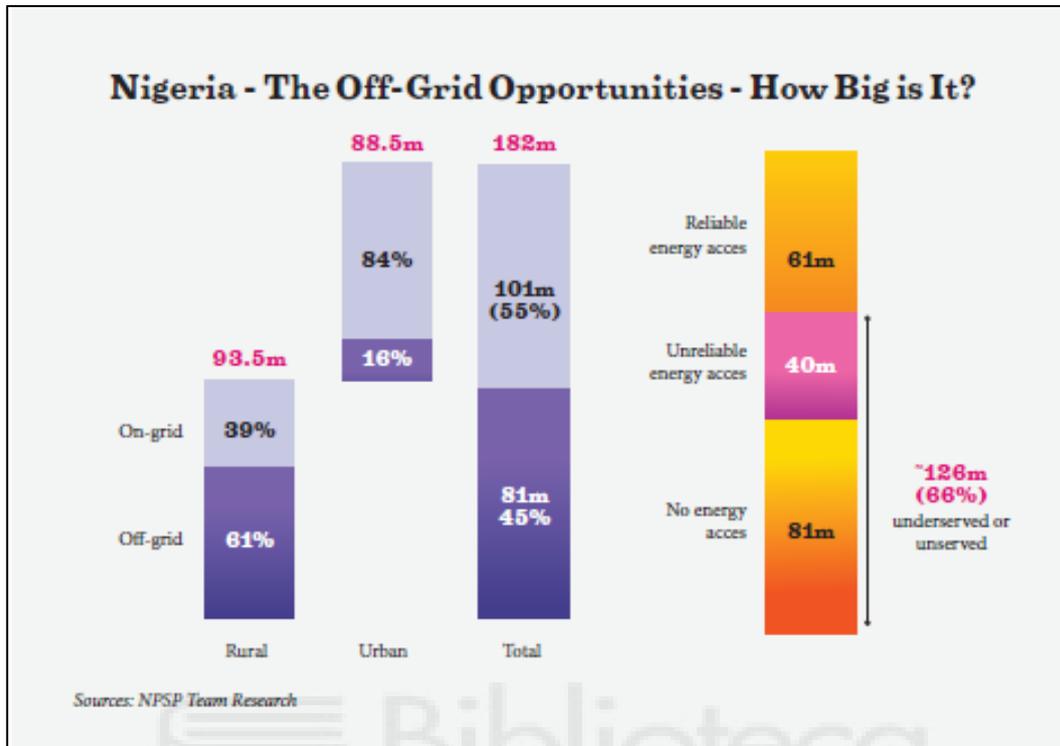


Figura 10: Oportunidades de instalaciones no conectadas a la red en Nigeria. FUENTE [10].

### 2.3 Problemática energética en Ungwa Dogo

La pobreza en Nigeria tiene particular incidencia en las zonas rurales, donde alcanza una tasa de 44,9%. [10] Los jóvenes no tienen oportunidades económicas, y los disturbios civiles esporádicos agravan la pobreza y la malnutrición.

Las mujeres y los hombres pobres del medio rural dependen de la agricultura: un 70 % de los habitantes de las zonas rurales son pequeños agricultores de subsistencia, que producen alrededor del 90 % del alimento de Nigeria en parcelas no irrigadas que dependen por completo de las precipitaciones.

En 2015, la agricultura representó un 21 % del producto interno bruto, pero numerosos obstáculos impiden el correcto desarrollo del sector. Apenas el 46 % de la tierra arable está cultivada. Dado que el 95 % de los terrenos agrícolas no tienen títulos, los agricultores no pueden acceder a financiación o invertir en mejoras. Las malas condiciones de los caminos rurales socavan la rentabilidad agrícola, aumentan los desechos e impiden acceder a los mercados, los insumos, los equipos y las nuevas tecnologías. Las escuelas rurales, la atención sanitaria y el suministro de agua limpia son inadecuados. El sobrecultivo, la deforestación y el sobrepastoreo han aumentado la degradación y la erosión de la tierra, y las sequías se han vuelto habituales en el norte. [10]



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Ungwa Dogo es una población rural, compuesta por unos 2.000 hogares, nunca ha sido conectada a la red eléctrica. Están muy necesitados de electricidad, normalmente tienen que viajar a otro pueblo, que está a 40 minutos, para cargar sus teléfonos móviles. La población que reside en el poblado es dedicada en gran medida a la agricultura de subsistencia, pero durante los períodos de sequía los jóvenes tienen que trasladarse a las zonas urbanas en busca de un trabajo para ganarse la vida.

La falta de electricidad provoca la migración hacia conseguir una vida mejor, Kaduna a más de 300 kilómetros del estado de Katsina, hay electricidad disponible, pero el suministro a veces viola las directrices de la comisión reguladora de electricidad de Nigeria.

En cuanto a iluminación se gastan aproximadamente 2.400 Nairas (6 euros) en baterías para las linternas de fabricación china en sustitución al queroseno, que su precio aumentó.

Esta comunidad se limita al uso de fuentes tradicionales de energía como la leña, el estiércol y los residuos de cultivos para la calefacción. y la cocina que son causas efectivas de la nociva contaminación del aire interior.

En cambio, el acceso a la electricidad mejora la calidad de vida y acelera el desarrollo de las comunidades rurales al permitir el acceso al agua potable, la mejora de las condiciones sanitarias y de salud, la seguridad alimentaria, así como la iluminación y la información. El acceso a la electricidad no sólo es fundamental para mejorar el nivel de vida, sino que se considera indispensable para erradicar la pobreza.

La energía renovable como una forma alternativa de energía que puede ser entregada fácil y convenientemente a millones de hogares nigerianos y a empresas pequeñas, medianas y grandes tanto en zonas urbanas como rurales.

### 2.4 Aspectos políticos y legales

El sector energético de Nigeria no ha estado corto de ideas políticas, pero han fallado sistemáticamente en abordar la pobreza energética en el país. La razón principal es que la política nacional siempre se ha centrado en la generación de energía convencional centralizada. Los subsidios a la red eléctrica y a la gasolina/diésel han obstaculizado las inversiones en energía alternativa, soluciones que crean un campo de juego desigual.

Ha habido contradicciones tanto en la formación como en la aplicación de las políticas. Algunas de las políticas más importantes introducidas por el ministerio del gobierno podrían ser hundida por las acciones de otras agencias del gobierno provocando un desajuste. Este es el caso de la tarifa de los paneles solares introducida en los últimos años por las aduanas nigerianas en un momento en que el Ministerio de Energía, Obras y Vivienda y la compañía eléctrica nigeriana Comisión Reguladora (NERC) estaban escribiendo reglamentos que eliminaban los incentivos para mejorar las energías alternativas, a través de la energía solar.



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

La aplicación de aranceles en el equipo de producción de energía solar tiene graves implicaciones a la hora de mejorar la facilidad de profundizar en el acceso de energía para la población. La preocupación reside en la imposición arbitraria de los aranceles, aceleran la destrucción del valor dentro de la industria emergente, lo que causa que los precios aumenten a niveles no competitivos para los habitantes de las zonas rurales que constituyen el grueso de usuarios de la energía solar, anula la ambición de energía limpia.

Para llevar a cabo esta nueva revisión de los aranceles, las aduanas nigerianas argumentaron que los paneles solares están compuestos por diminutas células fotovoltaicas que, cuando se juntan, pueden utilizarse para la generación de energía. Por lo tanto, cambió la clasificación e impuso un 5 por ciento de impuesto al valor agregado. La reclasificación pone efectivamente a los paneles solares usados para generar electricidad en la misma clase que generadores diésel.

Sin embargo, los operadores fallan en esta clasificación debido a que los paneles no son mecánicos componentes con partes móviles. También dijeron que, aunque la Aduana quiera reclasificar los paneles, debería darles una moratoria de al menos 6 meses en lugar de imponerles arbitrariamente derechos sin tener en cuenta su modelo de negocio.

La Aduana, así como algunos analistas, han argumentado que la imposición del arancel fomentará la fabricación local. Pero Nigeria no tiene actualmente capacidad para fabricar paneles solares, sino que realiza un montaje limitado en volúmenes que no pueden satisfacer hasta el 10% de la demanda del mercado en tan solo dos plantas - Auxano en Lagos y Blue Carmel en Kaduna. NASENI, una agencia gubernamental creada para ensamblar paneles solares, no produce para satisfacer la demanda comercial.[10]

Los países de África oriental ya están millas por delante de Nigeria en términos de energía solar atrayendo decenas de millones de dólares en nuevas inversiones. Ghana recientemente abolió el IVA y los impuestos sobre los paneles solares, Nigeria también debería.

La energía renovable es la nueva moda en Nigeria; está recibiendo una atención incalculable. Esto se debe en parte a que el gobierno Visión 30:30:30 que tiene como objetivo alcanzar 30.000MW de electricidad para el año 2030 con energía renovable contribuyendo 30% de la mezcla de energía. Su objetivo se ha redirigido se centran en el sector y en parte porque en la solución de la brecha de acceso a la energía del país, las soluciones de energía renovable.[10]

La legislación debe centrarse en la protección de la industria de los oportunistas, debe proteger a los jugadores existentes en el sector, debe incluir iniciativas de sostenibilidad a largo plazo que apoyará la fabricación local, se debe reconocer que el sector de la energía renovable es un sector en evolución. Incluye energías como la biomasa, la energía hidroeléctrica y la energía solar, todas ellas contribuyen a reducir la contaminación del medioambiente. En última instancia, la reducción de la pobreza energética de Nigeria junto con el acceso a una energía limpia, fiable y asequible es esencial para la construcción de la nación. Sus ventajas son reducir el desempleo vigorizando la economía, reduciendo la contaminación, contribuyendo a mejorar la salud y la educación como sólo unos pocos de los beneficios socioeconómicos. El impacto positivo no se puede enfatizar demasiado. Sin el crecimiento de la energía, el crecimiento de la nación será limitado.



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

A continuación, se muestra unas tablas que proporcionan la información sobre cómo han cambiado las políticas y la legislación en función del tiempo.



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Tabla 1: Cambio de políticas y legislación en Nigeria. Fuente [10].

	Desarrollo industrial (reducción del impuesto sobre la renta) Act, 2004.	Comisión de energía de Nigeria Act Cap E10 LFN 2004	La reforma del sector energético Act No. 6 de 2005 (EPSR Act)	Impuesto sobre la renta de las empresas Act 2007	reglamentos para las redes de distribución de electricidad independientes
Descripción	la ley derogó y volvió a promulgar la ley de desarrollo industrial (reducción del impuesto sobre la renta) y estableció disposiciones para los incentivos fiscales a determinadas industrias calificadas	la ley estableció la ECN que se encarga de la planificación estratégica y la coordinación de las políticas nacionales en el ámbito de la energía	La ley estableció NERC y prevé el establecimiento y la regulación de la generación-transmisión, las operaciones del sistema, la distribución y el comercio de electricidad en Nigeria.	la ley regula la recaudación de impuestos sobre los beneficios devengados, derivados, introducidos o recibidos en Nigeria.	el reglamento establece el marco para la concesión de licencias a todos los sistemas de distribución de electricidad independientes, los propietarios, operadores y usuarios de esos sistemas de distribución
Impacto específico en las energías renovables	Los fabricantes de equipos y aparatos que funcionan con energía solar que cumplan los requisitos necesarios tienen una exención fiscal por un período de 3 años y renovable por un período adicional de 2 años.	No aplicable	No aplicable	la desgravación fiscal para la investigación y el desarrollo subsidio de inversión para la reconstrucción subsidio de inversión rural alivio fiscal de la inversión descanso fiscal, desgravaciones de capital, dividendos libres de impuestos para las empresas de utilización de gas	No aplicable
Impacto específico en off-grid	Igual que arriba	No aplicable	la ley creó la REA y la REF para promover, apoyar y proporcionar programas de electrificación rural mediante la participación de los sectores público y privado	Igual que arriba	el reglamento define dos IEDN fuera de la red: "IEDN rural aislado fuera de la red" y "IEDN urbano aislado fuera de la red".

Tabla 2: Cambio de políticas y legislación en Nigeria. Fuente [10].

	reglamentos de generación de energía incorporada 2012	reglamentos sobre la tarifa de alimentación para la electricidad de fuentes de energía renovables 2015	reglamento de las mini-redes 2016	reglamento de clientes cualificados 2017
Descripción	El reglamento establece el marco para la concesión de licencias a operadores cualificados para que se dediquen a la generación integrada de electricidad en Nigeria	Los objetivos del reglamento son impulsar el suministro de energía y mejorar el objetivo nacional de electricidad de fuentes renovables estableciendo un precio garantizado para la electricidad generada a partir de fuentes renovables	El reglamento se aplica a las mini-redes con una capacidad de generación de energía de hasta 1 MW. Proporciona el marco para el registro y el funcionamiento de las minirredes en Nigeria.	El reglamento establece los marcos para la compra directa de electricidad por parte de los usuarios finales a las empresas de generación de energía
Impacto específico en las energías renovables	No aplicable	Garantía de extracción  Las fuentes de energía renovable de la PPA estándar de 20 años gozan de prioridad de compra  Los productores de energía renovable disfrutan de tarifas especiales que tendrán la duración de la PPA	No aplicable	No aplicable
Impacto específico en off-grid	No aplicable	Promueve la generación de energía fuera de la red	Promueve la generación y distribución de energía fuera de la red	Promueve la generación y distribución de energía fuera de la red



# CAPÍTULO 3: ALTERNATIVAS PLANTEADAS



Biblioreca  
UNIVERSITAS Miguel Hernández

## CAPÍTULO 3: ALTERNATIVAS PLANTEADAS

### 3.1 Tipos de sistemas de generación de energía renovable

Una vez expuesto los problemas que sufren en general en el continente africano y en concreto Nigeria, se puede concluir que el objetivo de este proyecto es solucionar las desigualdades energéticas que se plantean, haciendo hincapié en el desarrollo de las áreas rurales, que es donde se encuentran las primordiales carencias para optar a una vida digna. Estas carencias siempre vienen acompañadas por el factor energético que mejoraría las vidas de la población rural, en concreto el poblado de Ungua Dogo.

Como en el capítulo 2, se ha explicado las energías renovables son el futuro para los países subdesarrollados, ya que proporcionan una fuerte independencia de las redes nacionales a la cual es muy difícil acceder desde una zona rural.

Las principales ventajas de las energías renovables son:

- Ayudan a potenciar el autoconsumo
- Beneficiosas para el medio ambiente
- Recursos naturales gratuitos e inagotables
- Las energías renovables pueden llegar a lugares aislados
- Logran la independencia energética

Los principales inconvenientes son:

- Algunas fuentes de energía son intermitentes, a veces necesitan una fuente de apoyo para que puedan garantizar la producción continua de energía.
- No están disponibles en todas las ubicaciones. Cada zona dispone de sus mejores recursos naturales.
- Algunas fuentes de energía renovable necesitan grandes construcciones que afectan al ecosistema. No obstante, su impacto ambiental, es siempre menos que el producido por las energías de carácter convencional.

Los diferentes tipos de energías renovables que existen con sus ventajas e inconvenientes específicos para cada una son:

- **Energía solar fotovoltaica**

- ✓ Tecnología: genera energía eléctrica a través del sol.
- ✓ Aplicación: electricidad residencial e industrial e iluminación.
- ✓ Lugar de aplicación: mayormente urbano y rural.

Tabla 3: Ventajas e inconvenientes de la energía solar. FUENTE:[11]

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recursos ilimitados.</li> <li>• Su producción de energía no produce gases contaminantes para la atmosfera.</li> <li>• Los costes de operación son bajos</li> <li>• Mantenimiento sencillo y de bajo coste.</li> <li>• No solo se puede incorporar en construcciones nuevas, si no en las ya existentes.</li> <li>• Módulos de todos los tamaños</li> <li>• Transporte de componente sencillo</li> <li>• Los costes disminuyen en función del desarrollo.</li> <li>• Es idóneo para las zonas donde no llega electricidad</li> <li>• No generan ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran inversión inicial.</li> <li>• Lugares con características idóneas para las placas fotovoltaicas para que puedan ser eficientes.</li> <li>• Recolectar energía a gran escala requiere de grandes extensiones de terreno.</li> <li>• Falta de almacenadores de energía económicos y fiables.</li> <li>• El sol es una fuente discontinua de generación de energía.</li> </ul>

- **Energía solar térmica**

- ✓ Tecnología: Aprovecha la energía del sol para calentar el agua sanitaria.
- ✓ Aplicación: electricidad residencial e industrial.
- ✓ Lugar de aplicación: mayormente urbano.

Tabla 4: Ventajas e inconvenientes de la energía solar térmica. FUENTE:[11]

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuente de energía gratuita e inagotable.</li> <li>• Reduce emisión de gases contaminantes.</li> <li>• Ahorro de consumo eléctrico</li> <li>• Valor adicional para la vivienda o industria.</li> <li>• Independiente de los altos costos del gas y la electricidad.</li> <li>• Su coste de instalación se recupera a medio plazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La instalación puede tardar varios meses.</li> <li>• Para mejor aprovechamiento ha de instalarse en terrenos extensos, que podrían utilizarse para otras actividades.</li> <li>• El sol es una fuente discontinua de generación de energía.</li> <li>• Su uso es de apoyo, es decir, se utiliza fundamentalmente para calentar el agua, y en las épocas donde es más eficiente no necesitamos tanto su uso.</li> <li>• Flexibilidad y mantenimiento.</li> </ul>

- **Energía eólica**

- ✓ Tecnología: Su fuente de energía es el viento y produce energía eléctrica.
- ✓ Aplicación: electricidad residencial e industrial.
- ✓ Lugar de aplicación: urbano y rural.

Tabla 5: Ventajas e inconvenientes de la energía eólica. FUENTE:[11]

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energía renovable y limpia.</li> <li>• Autóctona, está disponible en casi todo el planeta, por lo tanto, fomenta la riqueza y la generación de empleo local.</li> <li>• Adaptable para casi cualquier espacio.</li> <li>• Rápida instalación si se trata de minieólica.</li> <li>• Autoalimentación de viviendas</li> <li>• Se considera energía barata, permite rentabilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condiciones de viento variables, se mejora mediante la implementación de almacenadores de energía.</li> <li>• La velocidad no puede exceder un límite, puede provocar daños en el eje y la producción se ve disminuida, requiere sistemas de control para desconectar el aerogenerador cuando esto ocurre.</li> <li>• Construir líneas de alta tensión para conducir el máximo de energía generada los parques eólicos</li> <li>• Parques eólicos ocupan grandes áreas.</li> <li>• Impacto ambiental, causa daños y muertes de aves y murciélago.</li> <li>• Impacto visual sobre los parajes.</li> </ul>

• **Biomasa**

- ✓ Tecnología: Materia orgánica de origen animal o vegetal, procedente de procesos biológicos que pueden ser provocados de manera natural o artificial y es utilizado como fuente de energía
- ✓ Aplicación: cocina e iluminación
- ✓ Lugar de aplicación: rural

Tabla 6: Ventajas e inconvenientes de la energía biomasa. FUENTE:[11]

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite eliminar y aprovechar. residuos orgánicos e inorgánicos.</li> <li>• Energía no contaminante.</li> <li>• Disminución de las emisiones de CO2.</li> <li>• Aunque genere combustión, y gases contaminantes, se considera que es la misma cantidad que fue captada por las plantas durante su crecimiento.</li> <li>• No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados, ni apenas partículas sólidas.</li> <li>• Reciclaje y disminución de residuos de otras actividades.</li> <li>• Los cultivos energéticos sustituirán a cultivos excedentarios en el sector alimenticio. Esto puede ser una gran oportunidad para la industria primaria agrícola.</li> <li>• Introducción de cultivos de gran valor rotacional frente a monocultivos cerealista</li> <li>• Aumento económico en el medio rural</li> <li>• disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La incineración puede resultar peligrosa, al producir emisiones de sustancias tóxicas. Es necesario la utilización de filtros y realizar la combustión a temperaturas mayores de 900 °C.</li> <li>• No existen demasiados lugares idóneos para su aprovechamiento ventajoso. Requiere de grandes espacios</li> <li>• Es necesaria mayor cantidad de biocombustible que de combustible fósil.</li> <li>• Deforestación de bosques y la destrucción de los hábitats naturales.</li> <li>• Dificultades de transporte y almacenamiento</li> <li>• Las redes y los canales de distribución no se encuentran tan desarrollados como los de los combustibles líquidos y sólidos.</li> </ul>

- **Hidráulica**

- ✓ Tecnología: se obtiene energía eléctrica a partir de las corrientes de agua
- ✓ Aplicación: iluminación y procesos para industrias pequeñas
- ✓ Lugar de aplicación: rural

Tabla 7: Ventajas e inconvenientes de la energía biomasa. FUENTE:[11]

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexible. Se puede adaptar el flujo del agua que pasa por las turbinas dependiendo de las necesidades eléctricas</li> <li>• Limpia. No produce residuos</li> <li>• No necesita de combustibles fósiles y no se ve afectada por las variaciones de precios del petróleo, el carbón o el gas natural.</li> <li>• Segura. Riesgos de escape de agua son bastantes reducidos, por la toma de medidas de seguridad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectos medioambientales. Consecuencias ambientales para la flora y la fauna.</li> <li>• Inversión inicial muy grande, aunque una vez construida su mantenimiento es sencillo y económico</li> <li>• Depende de las condiciones ambientales. Las sequias son un gran problema para esta fuente de energía.</li> <li>• No se puede construir en cualquier lugar, requiere de un entorno específico.</li> </ul>

• **Geotérmica**

- ✓ Tecnología: Es la energía que se obtiene mediante el aprovechamiento y extracción del calor interno de la tierra. Se usa específicamente para la eficiencia de bombas de calor.
- ✓ Aplicación: electricidad residencial
- ✓ Lugar de aplicación: urbano

Tabla 8: Ventajas e inconvenientes de la energía geotérmica. FUENTE:[11]

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio bajo y no supone riesgos</li> <li>• Evita dependencia energética del exterior, gracias a la reducción de consumo de electricidad</li> <li>• Residuos mínimos</li> <li>• Totalmente funcional</li> <li>• No genera ruidos, por lo tanto, no existe contaminación acústica</li> <li>• Inagotable</li> <li>• Su distribución no está sujeta a legislación internacional, por lo que se pueden aplicar precios a nivel nacional o local</li> <li>• Las instalaciones de las plantas geotérmicas son más pequeñas que otras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfriamiento repentino de las piedras calientes ha derivado en una fisuración, por lo que se producen microseísmos</li> <li>• Peligro por salida de gases contaminantes como el ácido sulfhídrico, que normalmente se detecta por el fuerte olor, aunque en algunas zonas no se perciba y su inhalación puede ser letal</li> <li>• Contaminar las aguas cercanas con elementos como el arsénico o amoníaco</li> <li>• La contaminación térmica puede deteriorar el paisaje de la zona</li> <li>• No se puede transportar, por ser una energía primaria</li> <li>• Localizada en zonas concretas</li> </ul>

Las energías renovables son recursos ilimitados, sostenibles y limpios que pueden proveer al ser humano de energía, sin dañar el medioambiente y respetando al máximo el impacto que se genera sobre el planeta en el largo plazo. Debido a su carácter autóctono, reducen la dependencia energética de países y comunidades del exterior, favoreciendo el crecimiento y la generación de empleo a nivel local. Además, permiten a los ciudadanos disponer de su propia fuente de generación eléctrica a través de pequeñas instalaciones de bajo coste, como son el caso de la energía solar fotovoltaica o la mini eólica, a través del autoconsumo.



### 3.2 Tipos de instalaciones

Los siguientes tipos de instalaciones y sus aplicaciones son:

- **Conectado a la red (On-grid)**

Puede tener o no almacenamiento de energía

Son usados para instalaciones como:

- Edificación bioclimática
- Centrales eléctricas
- Instalaciones en edificaciones, para suministro a la red eléctrica
- Para refuerzo en finales de línea
- Sistemas de concentración

- **No está conectado a la red (Off-grid)**

Necesitan almacenamiento de energía.

son usados para:

- Iluminación de viviendas e instalaciones aisladas
- Bombeo de agua
- Aplicaciones agrarias diversas
- Instalaciones de comunicación, señalización y otros
- Vehículos experimentales
- Productos de consumo
- Protección catódica
- Sistemas mixtos o híbridos
- Sistemas con módulos flexibles
- Aplicaciones en países subdesarrollados.

### 3.3 Sistemas híbridos de generación de energía

#### 3.3.1 Introducción

La expectativa de crear un mundo sostenible y paliar el cambio climático hacen surgir nuevos métodos de obtención de energía efectivas. Desde instituciones como la ONU y la Unión Europea buscaron diferentes soluciones alternativas para reducir la producción de dióxido de carbono, cada país se adapta para cumplir los objetivos.

### 3.3.2 Que son los sistemas híbridos

Un sistema de energía híbrido es de aquel que entremezcla dos tipos de sistemas de producción de energía, que al menos uno de ellos suele ser de origen renovable.

Estos sistemas no prescinden completamente de la red eléctrica, necesitan baterías aisladas, estas absorben la producción extra de energía generada por la planta híbrida, y la utilizan en otra ocasión en la que la producción de energía sea insuficiente o también existen los sistemas que están conectados a la red eléctrica y venden el sobrante de energía. En ocasiones también se puede llegar a utilizar un grupo electrógeno de apoyo a la instalación (Moreno Guacaneme, Trujillo Rodríguez, & Peña Suesca, 2007).

Las tecnologías que emplean energía renovable, aunque se están desarrollando sistemas más eficientes y de bajo coste todavía no puede desbancar a los sistemas interconectados, todavía están en pleno desarrollo. Las mejores combinaciones a nivel mundial son la eólica y la fotovoltaica, que no solo mejoran la fiabilidad de los sistemas aislados, sino que es más rentable que usarlas por separado.

### 3.3.3 Tipos de sistemas híbridos

Todas estas disposiciones de combinaciones de fuentes de energía se suman sus ventajas e inconvenientes individuales.

- Fovovoltaica y eólica
- Fovovoltaica e hidráulica
- Hidráulica y eólica
- Termosolar y biomasa

### 3.3.4 Ventajas e inconvenientes

En todos los sistemas de producción de energía nos podemos encontrar con una serie de ventajas y desventajas, las de los sistemas híbridos de generación de energía son:

Tabla 9: Ventajas e inconvenientes de los sistemas híbridos. FUENTE:[12]

Ventajas	Inconveniente
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promover las energías renovables las cuales son limpias y no contaminantes</li> <li>• Reducir el efecto invernadero bajando la producción de dióxido de carbono y otros gases</li> <li>• Disminuir la carga de producción de energía de la red eléctrica</li> <li>• Al combinar diferentes fuentes de energía esta puede ser almacenada en baterías.</li> <li>• Estos sistemas no suelen requerir grandes mantenimientos, en concreto los sistemas combinados eólicos y solares, los solares necesitan limpieza de los paneles y los eólicos lubricación de sus piezas móviles y una inspección sobre la rotación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La meteorología es cambiante y la mayoría de veces resulta impredecible, por lo que los sistemas híbridos de energía renovable en situaciones críticas no deben de usarse como fuente de energía principal, como por ejemplo en hospitales</li> <li>• Puede haber días en los que no se produzca energía y es necesario recurrir a la red eléctrica tradicional</li> <li>• Si la energía no es suficiente para recargar durante un tiempo prolongando la batería, no podrán ser utilizadas</li> <li>• En algunos casos se incrementan los costos de instalación</li> </ul>

### 3.3.5 Regulación de la energía eléctrica por hibridación

A nivel internacional, estos son los principales requerimientos de los desarrolladores a los organismos reguladores para sacar el máximo potencial a la hibridación:

- Un claro marco regulatorio, empezando con una definición de las diferentes plantas de generación híbrida.
- Una estandarización de los requisitos de conexión a la red, medición y procedimientos de trazabilidad de energía renovable en los proyectos de hibridación.
- Cuando se hibride una planta ya existente, los desarrolladores deben poder instalar una capacidad de energía renovable total superior a la capacidad de conexión a la red acordada.



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

### 3.4 Índice de factores a considerar

La necesidad de encontrar una alternativa eficiente y establecer una comparativa entre ellas, hace que se aplique un método cuantitativo, el método de los factores ponderados. Lo primero de todo es identificar los factores que tienen un papel importante a la hora de desarrollar el proyecto y para implantar el tipo de tecnología en Ungwa Dogo. Estos factores son:

- Inversión inicial
- Coste de operación
- sostenibilidad con el medioambiente
- facilidad de mantenimiento
- potencia suministrada

Lo siguiente es asignar un porcentaje característico a cada factor que muestre la importancia relativa que tiene en la toma de decisión. En los porcentajes que se muestran a continuación se ha tenido en cuenta el enfoque central, es decir, una pequeña instalación aislada en el norte de Nigeria. Todos los porcentajes se toman por criterio personal después de haber valorado lo que era más esencial en una instalación de generación de electricidad en Ungwa Dogo.

- Inversión inicial 15%
- Coste de operación 15%
- Sostenibilidad con el medioambiente 25%
- Facilidad de mantenimiento 35%
- Potencia suministrada 5%

Se ha considerado los factores más significativos la facilidad de mantenimiento porque al ser un poblado con poca formación sobre las de instalaciones de autoconsumo, además que la dependencia de un personal externo para la revisión y mantenimiento de la planta, se convierte en una opción limitante. La sostenibilidad es lo que buscamos para el bien común a nivel internacional, existen ayudas a nivel internacional además de nacional para el desarrollo de

instalaciones de energías renovables y sobre todo aprovechar los recursos naturales que nos ofrece el país, evitando la dependencia energética a nivel internacional. La inversión inicial no tiene tanto peso, como es una instalación pequeña cuyo precio nunca será desorbitado si se realiza un buen dimensionamiento, también es importante considerar el coste de los transportes de los elementos que componen la instalación. El coste de operación viene dado por el consumo de combustible principalmente, es fundamental tener esto en cuenta porque supone una elevación del precio de la energía eléctrica suministrada a causa de la dependencia con otros países y las variaciones del precio del combustible. Por último, esta el factor de la potencia suministrada, que tiene el menos porcentaje de importancia ya que Ungua Dogo es una zona rural, no demanda tanta energía como podría ser una zona urbana, porque los dispositivos eléctricos son limitados, ya que solo se tienen en cuenta los que son esenciales para tener una vida digna.

El siguiente paso será evaluar los factores con puntuaciones del 1 al 10, con las alternativas propuestas. El 1 equivale a la peor calificación o menos favorable y el 10 la mejor.

La puntuación de cada propuesta ( $P_{TOTAL1}$ ,  $P_{TOTAL2}$ , ...,  $P_{TOTALm}$ ) se consigue haciendo la suma de las puntuaciones de cada factor ( $f_1, f_2, \dots, f_n$ ) ponderadas ( $p_1, p_2, \dots, p_n$ ) de acuerdo al grado de importancia, donde n es el numero de factores y m el número de alternativas. La siguiente formula sirve para calcular la puntuación total de cada alternativa.

$$P_{TOTALm} = (f_1 \times \frac{p_1}{100}) + (f_2 \times \frac{p_2}{100}) + \dots + (f_n \times \frac{p_n}{100})$$

A continuación, se muestra la tabla con las puntuaciones finales de cada alternativa, teniendo en cuenta principalmente la hidráulica, eólica, fotovoltaica y biomasa, ya que la energía solar térmica y geotérmica, son un apoyo para la reducción de energía consumida pero no para la producción.

Tabla 10: Cálculo de puntuación de cada energía. FUENTE: Elaboración propia.

Factores	(%) de relevancia	Hidráulica	Eólica	fotovoltaica	biomasa
Inversión inicial	15	5	5	4	6
Coste de operación	15	1	7	9	5
Sostenibilidad con el medioambiente	25	7	9	9	4
Facilidad de mantenimiento	35	7	7	9	6
Potencia suministrada	5	6	5	10	7
	Puntuación total	5,4	6,75	7,85	5.1

La fuente de biomasa e hidráulica tienen las peores calificaciones, seguida de la eólica y la mejor la fotovoltaica. La biomasa requiere de una inversión inicial grande por la necesidad de aparatos costosos para la producción de energía, por otro lado, la energía hidráulica necesita de grandes construcciones (las presas) para poder desarrollarse, en cambio la energía fotovoltaica y eólica, requieren de inversiones medias ya que gracias al desarrollo tecnológico los precios han disminuido y son más asequibles.

El coste de operación se ha evaluado de forma que como no existen ríos cercanos cerca del emplazamiento, el coste de operación se eleva debido a el transporte del agua. La biomasa necesita grandes potencias para las calderas, además de que, Aunque el potencial energético existente en el planeta sería suficiente para cubrir todas las necesidades energéticas, esta no se puede utilizar en su totalidad, ya que exigiría el aprovechamiento a gran escala de los recursos forestales. Esto haría imposible mantener el consumo por debajo de la capacidad de regeneración, lo cual reduciría muy considerablemente la energía neta resultante y conduciría a un agotamiento de dichos recursos a la vez que daría lugar a efectos medioambientales negativos. En cambio, para la energía solar y fotovoltaica solo hace falta que el lugar donde se instale cuente con unos beneficiosos recursos naturales (sol y viento) por eso sus puntuaciones son elevadas.

A la hora de evaluar la sostenibilidad del medioambiente, que es el factor que tiene más peso, además que es uno de los factores que se persiguen en este proyecto, se puede observar en la tabla que la peor calificación corresponde para la biomasa ya que su recurso, aunque sea biológico y incrementa la producción de CO<sub>2</sub> que es dañina para las personas, así como se ha explicado antes, la deforestación de bosques y explotación de recursos. Las fuentes eólicas y solares son consideradas como las mejores alternativas, y la hidráulica consta de un impacto ambiental por la construcción de presas o embalses.

En cuanto a la facilidad de mantenimiento, como es una zona rural, con poca capacitación sobre las instalaciones, se busca que no sean complejas, con larga vida útil y con poco mantenimiento, las tecnologías eólica, solar e hidráulica han obtenido una elevada puntuación, en cambio la biomasa la peor, por la dificultad de su almacenamiento y distribución.

Por último, la potencia suministrada significa la facilidad con la que se puede cubrir la demanda del poblado. La deforestación de bosques y los inconvenientes como la necesidad de mucha más cantidad de bio combustible para esta central térmica que con una central térmica convencional hacen que la biomasa no sea un recurso que nos pueda proporcionar fin a la solución de este proyecto. La hidráulica al no existir ríos cercanos, tampoco recibe una gran importancia en este factor. Como el poblado se encuentra en una zona característica que dispone de recursos naturales promovidos por el viento y el sol, esto explica que la puntuación sea tan alta.

Todos estos factores plantean una idea clara de cómo cubrir las necesidades energéticas en Ungua Dogo, teniendo en cuenta que se sitúa en una zona rural con incapacidad de acceder la red nacional, la mejor opción es una instalación de autoconsumo independiente de ninguna otra energía tradicional proveniente del estado. Otra característica importante para poder recalcar el tipo de sistema de generación de energía a usar, son las condiciones climáticas existente en el poblado, dado que tiene un clima tropical donde la influencia del sol es una de sus ventajas,



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

situaría a la energía solar como primera opción. El inconveniente fundamental es la continuidad de producción dado que varía dependiendo de si los días son lluviosos, nublados, o soleado y puesto que en horario nocturno no produce energía. La mejor forma de solucionar este problema es mediante la implantación de un sistema híbrido donde se produzca una compensación de energía, por la variabilidad de la generación de energía continua de las energías renovables. Esto, abre las puertas a la energía eólica para que acompañe energéticamente a la fotovoltaica, dado que las mayores velocidades de viento se encuentran en horario nocturno. Con la creación de una minired para abastecer al poblado, utilizando paneles fotovoltaicos y mini-eólica, facilitando el montaje de la instalación y el mantenimiento en cuanto eólica y solar.







**CAPÍTULO 4:  
REQUISITOS DE DISEÑO.**



## CAPÍTULO 4: REQUISITOS DE DISEÑO

### 4.1 Climatología

Nigeria es un país con un clima que se puede presentar de dos formas distintas: el clima propio de la costa y el de la zona centro y norte del país. En la costa es un clima ecuatorial y en la zona de centro y norte un clima tropical. Aunque en la zona norte se caracteriza por ser un clima tropical seco debido a la influencia del desierto del Sahara. En grandes rasgos el clima de Nigeria es un clima cálido con escasa amplitud térmica.

Por consiguiente, la zona geográfica que es de objeto de estudio en este proyecto es la zona norte. La zona norte se caracteriza porque el clima va cambiando considerablemente. Como anteriormente se ha mencionado es un clima tropical de sabana, con una estación seca muy larga. Este calor se acentúa con la masa de aire cálido proveniente del desierto del Sahara que arrastra vientos muy secos y cargados de polvo (conocidos como harmattan). Las temperaturas medias máximas anuales pueden variar entre 12 °C y 42 °C con bajadas fuertes de temperatura durante las noches. Por otro lado, las precipitaciones, la media anual es hasta los 600-700 mm. Los meses que la lluvia tiene mayor presencia son los que van de abril a septiembre.

#### 4.1.1 Temperatura y precipitaciones

Las temperaturas de Ungwa Dogo son bastante elevadas, la temperatura mínima que nos podemos encontrar es 12 °C y la máxima que nos podemos encontrar son 42 °C. Durante la estación seca se alcanzan las temperaturas más bajas. Esta bajada de temperatura se produce por los vientos que se arrastran del desierto del Sahara, como anteriormente se ha mencionado es conocido como harmattan, se caracteriza por ser un viento seco, fresco y va cargado de polvo. Por lo tanto, la estación seca se caracteriza por los meses donde existe un mayor margen de temperaturas. Donde enero, febrero, octubre, noviembre y diciembre son los meses más cálidos y durante la estación de lluvias, que son los meses más fríos del año, la amplitud de temperaturas es menor, oscilando de 23°C a 32 °C. Todo esto se refleja en la siguiente tabla:

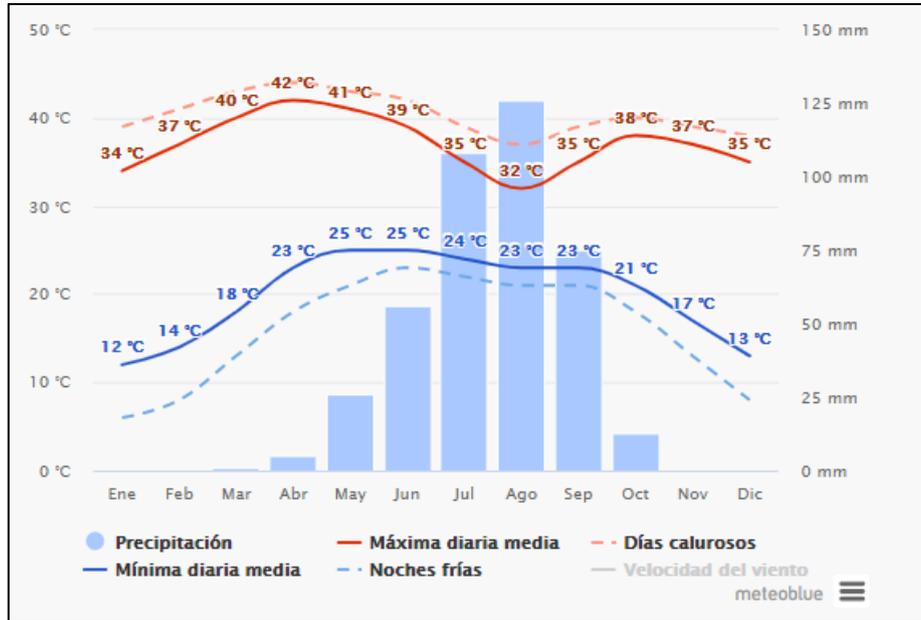


Figura 11: Temperatura y precipitación en función de los meses del año. FUENTE [13].

Mediante un cálculo probabilístico obtenemos la probabilidad de días consecutivos de lluvia:

Tabla 11: Probabilidad de días de lluvia consecutivos. FUENTE: Elaboración propia.

Días desfavorables en el mes más desfavorable	Probabilidad independiente	Días consecutivos	Probabilidad días consecutivos
5 de enero	63%	1 día	63%
6 de enero	63%	2 días	39%
7 de enero	63%	3 días	25%
8 de enero	63%	4 días	15%
9 de enero	63%	5 días	0.99%

Tabla 11: Probabilidad de días de lluvia consecutivos. FUENTE: Elaboración propia

#### 4.1.2 Viento

A continuación, se refleja las velocidades de viento en función de los días que se producen al mes. Se observa que este recurso es suficiente para tener en cuenta como una de las alternativas a ejecutar.

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

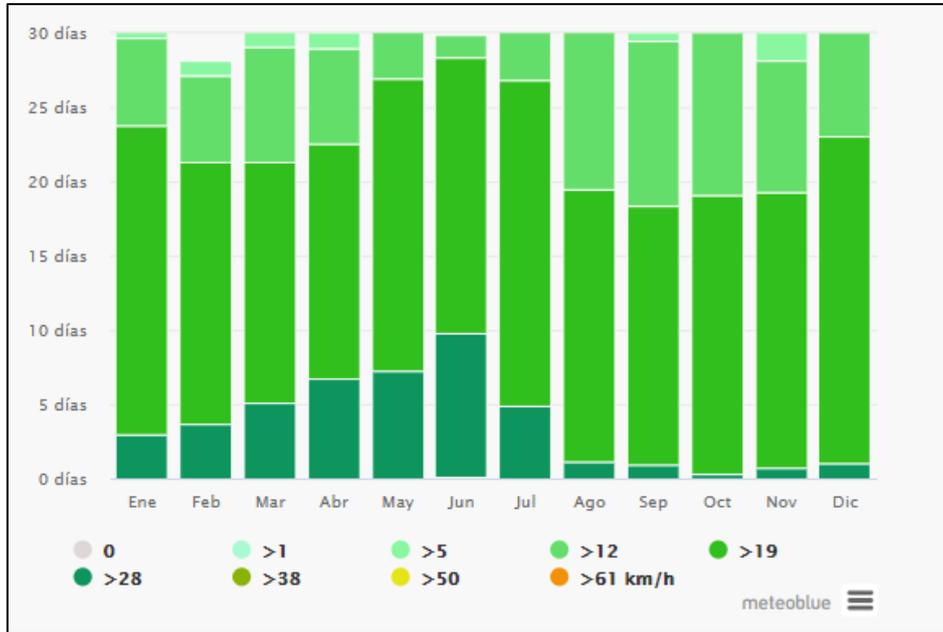


Figura 12: Velocidad de viento (km/h) en función de los días que se produce al mes. FUENTE [13].

Por otro lado, se presenta la rosa de los vientos para Ungua Dogo que muestra el número de horas al año que el viento sopla en cada dirección indicada.

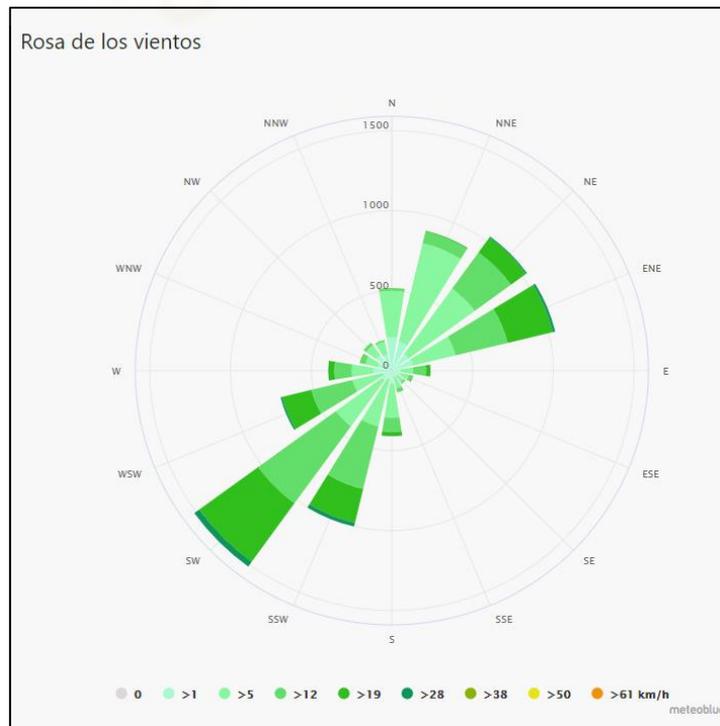


Figura 13: Rosa de los vientos de Ungua Dogo. FUENTE [13]

#### 4.1.3 Radiación solar

Esta sección trata sobre la energía solar de onda corta incidente diario total que llega a la superficie de la tierra en un área amplia, tomando en cuenta las variaciones estacionales de la duración del día, la elevación del sol sobre el horizonte y la absorción de las nubes y otros elementos atmosféricos. La radiación de onda corta incluye luz visible y radiación ultravioleta.

La energía solar de onda corta incidente promedio diaria tiene variaciones estacionales leves durante el año.

El período más resplandeciente del año dura 2,0 meses, del 20 de febrero al 22 de abril, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado superior a 6,4 kWh. El día más resplandeciente del año es el 2 de abril, con un promedio de 6,7 kWh.

El periodo más obscuro del año dura 2,3 meses, del 2 de julio al 13 de septiembre, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado de menos de 5,6 kWh. El día más obscuro del año es el 13 de agosto, con un promedio de 5,3 kWh.

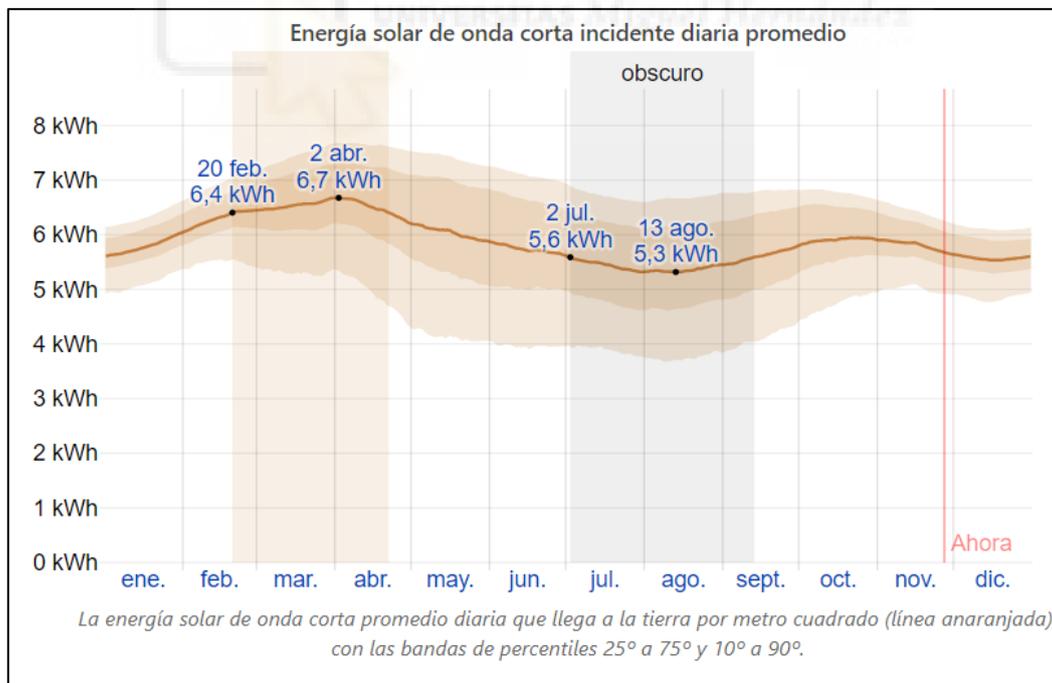


Figura 14: Radiación solar por metro cuadrado en función de los meses del año. Fuente [14].



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

### 4.2 Demanda por poblados

Naciones Unidas estableció el período de 2014-2024 como la década de la energía sostenible para todos. Lo que significa que es una oportunidad para el desarrollo energético sostenible que necesita el continente africano para poder erradicar la pobreza.

El consumo de energía eléctrica por habitante en los países más pobres se sitúa en torno a 0.22 kWh/día, mientras que en los países más desarrollados el consumo es muy superior. A este respecto, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) considera que para alcanzar una vida digna es preciso un consumo mínimo de 0.5 kWh / día de electricidad por habitante.

Para que la energía sea eficaz y contribuya al desarrollo de las personas de manera sostenible, su uso debe priorizarse a las necesidades básicas de las personas en cuanto salud y bienestar, por lo que es conveniente el uso doméstico, social y productivo para generar ingresos de los colectivos más vulnerables, estas necesidades están enumeradas a continuación:

- **Hogares:** iluminación, energía para calentar la vivienda y realizar la comida.
- **Salud:** iluminación de hospitales o centros sanitarios, refrigeración de medicinas, equipamiento eléctrico médico, etc.
- **Educación y formación:** iluminación de escuelas y aparatos didácticos.
- **Bombeo de agua:** agua potable, regadío de cultivos, ganadería y otras actividades productivas.
- **Otros,** como centros comunitarios, para carga de baterías, electrificación e iluminación de instituciones públicas y calles.

El inconveniente que tenemos para plantear una solución eficaz y eficiente, es la falta de información a la hora de llevar una cuantía de personas, instituciones, su forma de vida y cuando y cuales aparatos utilizan electricidad por lo que realizaremos un marco teórico con una serie de consideraciones o hipótesis para poder establecer un marco crítico, donde se explique la distribución de consumo. Estas consideraciones son las siguientes:

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

- El número de viviendas se ha estimado en función de la herramienta de vista satélite, y se ha contabilizado el número de viviendas que aproximadamente son 110.
- El número de personas que residen en cada casa se ha estimado en función de una base de datos estadística que establece 4,5 personas por vivienda, que son aproximadamente 540 personas.[15]
- los números de aparatos de la vivienda se han establecido en función de ese número aproximado de convivientes.
- Los números de aparatos de los demás establecimientos, se establece en función del número de población aproximada y la cantidad de gente que puede permanecer en el establecimiento.
- El consumo de la vivienda corresponde con los horarios de finalización de la jornada laboral.
- Se establece un único perfil diario de consumo, sin distinguir si es laboral o festivo.
- Se ha distinguido los periodos estacionales sobre todo para la calefacción o el ventilador que nunca irán simultáneamente.
- Los valores del número de aparatos y los periodos de utilización, se han estimado teniendo en cuenta la jornada laboral y la caída del sol
- La jornada laboral será de 7 de la mañana a 19 de la tarde.
- Las horas de sol aproximadas comprenden de las 7 de la mañana a las 19 de la tarde.
- Los centros sociales se han estimado que se abrirán a lo largo del día de 10 de la mañana a 22 de la noche.
- Los centros sanitarios también permanecerán abiertos a lo largo del día y la noche casos excepcionales de emergencia, por lo que su periodo 7 de la mañana a 22 de la tarde.
- Se establece un centro sanitario, un centro social, una escuela, para todo el poblado.
- Se contabiliza otras actividades como la soldadura, panadería y supermercados, para cumplir con un margen de error.
- El bombeo de agua se produce para el consumo del agua por persona, agricultura y ganadería, teniendo en cuenta unos valores aproximados en función de los habitantes de la zona y sus actividades que mayormente son oficios de agricultura y ganadería, a excepción de algunas otras actividades.

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

- La escuela abrirá de las 7 de la mañana a 14 de la tarde.
- El resto de actividades productivas seguirán el horario laboral.
- Se establecen los aparatos eléctricos básicos para el bienestar y cuidado de las personas
- se conforman unos parámetros de potencia para evacuar el agua aproximada por bombeo para las actividades.
- En aparatos médicos eléctricos esenciales:
  - Monitor signos vitales: potencia de 30 W
  - Desfibrilador: potencia de 190 W
  - Respirador artificial: potencia de 12 W
- La cocina es de las viviendas es de gas o biomasa.
- El ventilador es de techo.
- La refrigeración se compone de congelador y nevera.
- El número de farolas se estima en función de los tramos de calle.
- Se escogió el bombeo de 1,5 por un proyecto similar.
- No se ha contabilizado la calefacción dado que consume mucha potencia, además de que existe una temperatura aproximadamente constante.

A continuación, se presenta una tabla con los cálculos proyectados de la demanda energética:

Tabla 12: Cálculo de la demanda. FUENTE: Elaboración propia.

Equipo	Potencia (W)	Uds.	Rango horario	Periodo estacional	Nº de horas (h)	Potencia total (kW)	Energía consumida Al día de cada equipo (kWh)
<b>VIVIENDA*</b>							
Iluminación	14	4	19-23	Todo el año	4	0,056	0,224
Refrigeración	75	1	24 hr	Todo el año	24	0,075	1,8
Ventilador	10	2	10-19	verano	9	0,020	0,18
<b>ILUMINACIÓN DE CALLES</b>							
Farolas	26	92	19-6	Todo el año	11	2,392	26,312
<b>BOMBEO DE AGUA</b>							
Consumo humano	550	1	10-22	Todo el año	10	1,6*	5,5
Agricultura	550	1	7-17	Todo el año	10	1,6*	5,5
Ganadería	550	1	7-17	Todo el año	10	1,6*	5,5
<b>ESCUELA</b>							
Televisión	65	1	7-14	Todo el año	7	0,065	0,455
DVD	50	1	7-14	Todo el año	7	0,05	0,35
Antena	50	1	7-14	Todo el año	7	0,05	0,35
Ventilador	10	5	7-14	Todo el año	7	0,05	0,35
Iluminación	14	10	7-14	Todo el año	7	0,140	0,98
<b>CENTRO SOCIAL</b>							
Ordenadores	100	5	10-22	Todo el año	10	0,5	5
Televisión	65	2	10-22	Todo el año	10	0,13	1,3
Radio	10	2	10-22	Todo el año	10	0,02	0,2
Wifi	25	1	10-22	Todo el año	10	0,025	0,25
DVD	50	1	10-22	Todo el año	10	0,05	0,5
Antena	50	1	10-22	Todo el año	10	0,05	0,5
Iluminación	14	6	19-22	Todo el año	3	0,084	0,252
Ventilador	10	3	10-19	verano	9	0,03	0,27
Refrigeración	75	1	24	Todo el año	24	0,075	1,8
Otros	20	8	10-22	Todo el año	10	0,16	1,6
<b>CENTRO SANITARIO</b>							
Refrigeración	75	1	24	Todo el año	24	0,075	1,8
Ventilador	10	2	10-19	verano	9	0,02	0,18
Iluminación	14	6	19-23	Todo el año	4	0,084	0,336
Aparatos médicos	240	5	-	Todo el año	3	1,2	3,6
<b>OTRAS ACTIVIDADES (MARGEN DE ERROR)</b>							
Panadería	454	1	7-14	Todo el año	7	0,454	3,2
Supermercado	200	1	10-14	Todo el año	24	0,200	4,8
<b>TOTAL CONSUMIDO EN UN DÍA</b>						27,314	313,325



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

\*En la tabla aparece el consumo de una vivienda, este consumo se multiplica por 110 que son el número de hogares aproximados.

\*la bomba tiene un pico de arranque 3 veces más grande 1650 por cada bomba, hay 3.

otra forma de contabilizar la demanda del poblado, sería estableciendo unos datos de partida generales.

- Número de viviendas teniendo en cuenta la geolocalización vista satélite, aproximadamente 110 hogares.
- Numero de convivientes en cada casa 4,5. [15]
- Total de población 495 personas.
- Consumo mínimo de electricidad para una vida digna por habitante 0.5 kWh/día
- Total de energía mínima: 250 kWh/día.

La problemática de esta posibilidad es que no tenemos el perfil diario de electricidad, teniendo en cuenta los aparatos eléctricos simultáneos, las horas de utilización, actividades productivas de la zona, etc. Sirve para llevar una estimación lógica comparativa, para realizar una buena estimación de datos y tener en cuenta el mínimo de energía necesaria.





# CAPÍTULO 5: INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA EÓLICA



## CAPÍTULO 5: INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA EÓLICA

### 5.1 Viento y su caracterización

#### 5.1.1 Introducción

El viento es el movimiento de masas de aire en la troposfera, la capa de la atmósfera más cercana a la tierra. En ella, los vientos que son de objeto de estudio para la producción eólica son los que se producen en la superficie del planeta.

Ese movimiento de masas de aire se produce por la incidencia de la radiación solar que provoca un gradiente de temperaturas, de otra manera las capas de aire caliente ascienden dejando hueco libre para las capas de aire frío, generando así el movimiento de las capas del aire.

Hay que diferenciar entre el gradiente horizontal de presión, que es el que hemos hablado anteriormente y es el que tiene más magnitud. Pero también existe un gradiente de presión vertical pero no de tanta magnitud.

Las principales características del viento son:

- **Gradiente horizontal de presión**

viene dado en los mapas meteorológicos mediante las isobaras, que son líneas que unen puntos con una misma presión. Otra manera de representar estas presiones son los mapas isohipsas. En ellos se representa la altura a la cual se tiene una determinada presión.

Los movimientos de estas masas de aire compensan las diferencias de presión, de modo que, a mayor gradiente de presión mayor velocidad de viento.

Este movimiento de masas de aire se realiza de las altas a las bajas presiones, perpendicularmente a las isobaras. En cambio, el viento sopla en la atmósfera libre en paralelo a las isobaras, lo que ocurre que en las zonas de altas presiones se sitúan a la derecha y las bajas a la izquierda en el hemisferio norte. Se debe a la presencia de la fuerza de Coriolis:

$$f = 2 \cdot \Omega \cdot \text{sen}(\phi \cdot v)$$

$\Omega$ : velocidad angular de la tierra

$\phi$ : la latitud

$v$ : velocidad del viento

En las zonas libres de la atmosfera, la fuerza del gradiente de presión quedará equilibrada con la de Coriolis.

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial n} = 2 \cdot \Omega \cdot \text{sen}(\phi \cdot v)$$

Al viento ideal que cumple esta igualdad se le llama viento geostrófico, y su velocidad, velocidad geostrófica.

$$V_g = \frac{g}{2} \cdot \frac{1}{\Omega \cdot \text{sen}\phi} \cdot \frac{\partial z}{\partial n} = \frac{1}{\frac{\partial p}{\partial n} \cdot 2 \cdot \Omega \cdot \text{sen}\phi}$$

$\partial z/\partial n$ : representa la pendiente de las superficies isobáricas de los mapas de isohipsa.

Estas fórmulas no son aplicables a zonas cerca del ecuador porque su latitud se aproxima cero

El rozamiento con la superficie es otro factor que influye sobre la distribución de velocidades. El rozamiento hace disminuir la velocidad del viento, y por tanto, la fuerza de Coriolis también disminuye, alcanzándose un nuevo equilibrio. De esta forma, el viento cortará oblicuamente a las isobaras desde las altas a las bajas presiones, dejando las altas a la derecha y las bajas a la izquierda en el hemisferio norte.

Verticalmente este efecto se ve minimizado, con lo que la velocidad aumentará y también la fuerza de Coriolis, alcanzándose la velocidad geostrófica. Asimismo, el ángulo con el que el viento cortará a las isobaras variará con la altura. La curva de variación vertical del viento se llama espiral de Eckman.

- **Estabilidad atmosférica**

A medida que se asciende en altitud, la temperatura desciende. Por una parte, la atmósfera emite más radiación que la que absorbe, y por otra, las capas bajas de la atmósfera se calientan como consecuencia de la radiación emitida por el suelo. El gradiente vertical de temperatura es de 0.98°C/100 m, para aire seco y de 0.65°C/100 m

para la atmósfera estándar. Cuando una masa de aire a altura  $z_1$ , con  $\rho_1, P_1, T_1$  asciende hasta una altura  $z_2$ , puede ocurrir:

1. El aire a altura  $z_2$ , tiene la misma temperatura que el aire que se ha elevado de forma adiabática.  $T_2 = T_2'$ , por tanto,  $\rho_2 = \rho_2'$ . El aire no tenderá ni a subir ni a bajar. Es una atmósfera neutra.
2. El aire a altura  $z_2$ , tiene una temperatura mayor que la del aire que ha ascendido adiabáticamente. Por tanto,  $\rho_2 < \rho_2'$ . La masa que ha ascendido volverá a su posición inicial. Es una atmósfera estable.
3. El aire a altura  $z_2$ , tiene una temperatura menor que la del aire que ha ascendido adiabáticamente. Por tanto,  $\rho_2 > \rho_2'$ . La atmósfera será inestable. La masa de aire seguirá ascendiendo, y el aire más denso tenderá a descender y a ocupar el hueco dejado por la masa que ha ascendido. Se producirán movimientos verticales que tenderán a mezclar la atmósfera, dando lugar a un movimiento más rápido del aire.

Durante la noche, la atmósfera se encuentra estable, y no hay transferencia de cantidad de movimiento de las capas superiores a las inferiores. Durante el día, debido al calentamiento de las masas de aire, la atmósfera se inestabiliza, con lo que el viento en superficie aumentará.

- **Rugosidad del terreno**

La rugosidad de una superficie se determina por el tamaño y distribución de los elementos de rugosidad que contiene. Se evalúa mediante el parámetro denominado longitud de rugosidad  $z_0$ , que nos da la altura a la cual la velocidad media es cero cuando el viento tiene una variación logarítmica con la altura:

$$z_0 = \frac{0.5 \cdot S \cdot h}{A_h} \text{ (Lettau, 1969)}$$

Con  $h$ ,  $S$ : altura y sección cara al viento de los elementos de rugosidad.  
 $A_h$ : área horizontal media correspondiente a cada obstáculo.

La expresión anterior da valores razonables cuando  $A_h \gg S$ , pero sobreestima  $z_0$  cuando son del mismo orden, por ejemplo, en ciudades y bosques, donde los elementos de rugosidad están muy juntos, en cuyo caso, habría de considerarse un desplazamiento equivalente a una elevación del terreno, d.

- **Variación vertical del viento**

La variación vertical del viento está estrechamente relacionada con los gradientes verticales de temperatura, es decir, con la estabilidad atmosférica. Se han determinado expresiones empíricas, como la ley potencial:

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^\alpha$$

$\alpha$ : es un parámetro que depende del tipo de superficie.

1. Atmósfera neutra y homogénea y en terreno horizontal, válida en alturas inferiores a 100 m.

$$v = \frac{v^*}{k \cdot \ln(z/z_0)}$$

$v^*$ : representa la velocidad de fricción,  $k$  es una constante.

$z_0$ : es la longitud de rugosidad superficial.

2. Atmósfera no neutra

$$v = \frac{v^*}{k \cdot \ln(z/z_0 - \psi \cdot (z/L))}$$

$\psi$ : es una función correctora por la estabilidad atmosférica. Su valor es  $-4.7 \cdot z/L$  para atmósfera estable ( $L \geq 0$ ) y  $(1 - 16 \cdot \frac{z}{L})^{\frac{1}{4}}$  para atmósfera estable ( $L < 0$ )

$L$ : es la longitud de Monin-Obukhov, cuyo valor es:

$$L = \left(\frac{C_p}{k}\right) \cdot \left(\frac{T_0}{g}\right) \cdot \left(\frac{v^{*3}}{H_0}\right)$$

$C_p$ : es el calor específico del aire a presión constante.

$T_0$ : la temperatura absoluta

$H_0$ : el flujo de calor en la superficie del suelo.

El método seguido tradicionalmente es suponer atmósfera neutra y hacer una estimación de la longitud de rugosidad, y a partir de las medidas de viento a un nivel  $z$ , estimar los resultados a otra altura  $z'$ , con la expresión:

$$\frac{v(z)}{v(z')} = \frac{\ln z' - \ln z_0}{\ln z - \ln z_0}$$

En la siguiente tabla, aparecen los valores de rugosidad asociados a cada una de las distintas superficies.

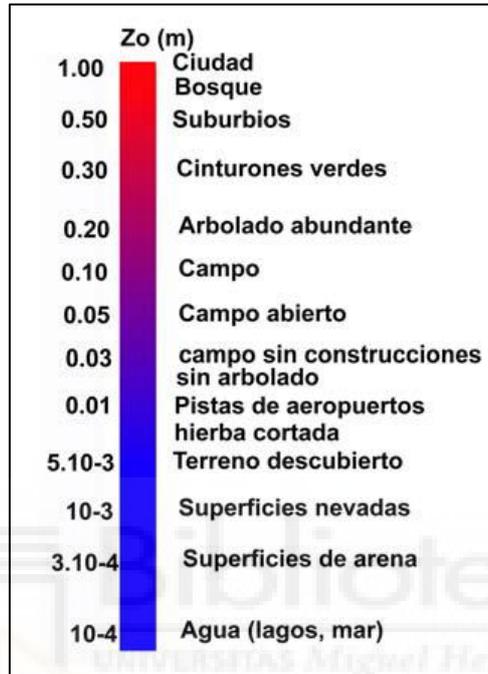


Figura 15: Escala de rugosidades. FUENTE [16].

- **Circulación general**

Cada una de las zonas en que puede dividirse el planeta Tierra viene caracterizada por un determinado régimen de vientos.

- Cerca del ecuador, la baja atmósfera se calienta, creando una depresión que succiona viento de ambos hemisferios. Esta zona de baja presión está ligeramente desplazada hacia el norte.
- A ambos lados de la zona de baja presión soplan los vientos alisios, de componente este. Son vientos muy regulares y se dirigen hacia el ecuador. Se extienden hasta los 30º de latitud.
- En los 30º se producen las altas presiones tropicales, siendo zonas de vientos muy débiles.
- Desde las altas presiones tropicales hasta los polos dominan los vientos del oeste, mucho menos constantes que los alisios, tanto en dirección como en intensidad. Además, se ven afectados por la irregular forma de los continentes.
- En las regiones polares los vientos tienen dirección noroeste.

Todas estas zonas se desplazan sobre los océanos según las estaciones. La Península Ibérica podríamos englobarla dentro de la zona de vientos del oeste. Son vientos muy influidos.

- **Efectos locales**

Aparte de las condiciones generales, existen efectos locales responsables de vientos de cierta importancia, tanto más, cuanto menor importancia tienen los vientos generales. Incluso existen ciertas regiones del mundo donde los vientos locales encubren totalmente a los generales.

Los efectos locales pueden tener dos orígenes:

- Origen térmico

- Brisas, debidas al diferente calentamiento de la tierra y el mar. El viento sopla hacia tierra durante el día, siendo el sentido contrario durante la noche.
- Viento de ladera y valle. Al amanecer, se calientan las laderas del valle y comienzan sobre ellas los flujos de aire ascendentes. A mediodía las corrientes ascendentes ya son fuertes y el aire comienza a subir valle arriba. Tras la puesta de sol se producen vientos de ladera descendentes, y finalmente, vientos descendentes a lo largo del valle.

Los vientos de origen térmico no tienen suficiente contenido energético, por lo que no son susceptibles de ser aprovechados, salvo en aquellos emplazamientos de cierta regularidad de viento.

- Origen geográfico

Las colinas, acantilados y pequeños valles pueden dar lugar a la formación de vientos con suficiente contenido energético susceptibles de ser aprovechados energéticamente. Es el caso de las canalizaciones como las que se producen en el Valle del Ebro, o en el Estrecho de Gibraltar, que dan lugar generalmente, a vientos fuertes.



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

### 5.1.2 Medidas de viento

Los instrumentos de medida necesarios en energía eólica son:

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

En general, la señal proviene de los aparatos de medida está conectada a un sistema de registro de diversos tipos:

- Un dispositivo de integración
- Un indicador
- Un dispositivo de grabación, por ejemplo, el soporte magnético o electrónico.

#### 1. Anemómetros

Son los instrumentos que determinan la velocidad del viento. Se clasifican según su principio de operación

- **De rotación.**
  - Cazoletas: consiste en tres o cuatro cazoletas montadas simétricamente alrededor de un eje vertical. La fuerza ejercida por el aire en el lado cóncavo es mayor que en el convexo, lo que provoca que la cazoleta se ponga a girar. La velocidad de rotación es proporcional a la velocidad del viento. Este movimiento rotacional puede medirse de diferentes modos: contando mecánicamente el número de vueltas, conectando con un eje, un pequeño generador eléctrico y midiendo el voltaje o desde un interruptor óptico eléctrico y midiendo su salida. Su principal ventaja son que miden las dos componentes horizontales del viento

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

- **De hélice:** se utiliza cuando se quiere conocer la velocidad del viento en una dirección particular. Normalmente se colocan dos o tres anemómetros de hélice en planos perpendiculares para obtener las componentes de velocidad sobre los ejes principales (horizontales y verticales). A veces se utiliza un anemómetro de hélice asociado a un sistema de orientación tipo veleta, para medir la componente horizontal de la velocidad de viento
- **De presión:** las medidas se registran mediante efectos de las variaciones de presión que ejerce el aire cuando está en movimiento. Estos aparatos persiguen tanto la velocidad del viento como medir la rafagosidad, mediante galgas extensométricas acopladas a una esfera perforada, midiendo así la magnitud y dirección del viento.
- **De hilo caliente:** mide la velocidad mediante los efectos de enfriamiento del viento. Cuentan con la ventaja de su pequeña constante de tiempo, pero, por el contrario, son equipos muy delicados
- **Basados en efecto sónico:** el sonido que produce el aire en reposo a una velocidad determinada. Pero, cuando el aire está en movimiento esta velocidad aumenta o disminuye correlativamente. Son aparatos con una constante de tiempo alta y de gran resolución en la medida, aunque son caros y no pueden trasladarse.
- **Otras técnicas** de medida de viento son mediante un anemómetro láser, ultrasónico y el anemómetro SODAR, de efecto Doppler.

### 2. Medida de la dirección del viento

El elemento que se emplea desde tiempos inmemorables para medir la dirección del viento es la veleta, que consiste en un dispositivo montado sobre un eje vertical y de giro libre, de modo que se mueve cuando el viento cambia su dirección. Su movimiento se amortigua para prevenir cambios rápidos de dirección.

Así mismo, puede obtenerse una medida de la dirección del viento resolviendo los registros de salida de dos anemómetros de hélice dispuestos ortogonalmente.

### 3. Medida de la temperatura

Se utiliza primordialmente para determinar la potencia suministrada, así como para evaluar la climatología local en los emplazamientos de la instalación. Los termómetros corrientes basados en un elemento de resistencia de platino son los que más se utilizan.

### 4. Medida de la presión atmosférica

La presión atmosférica determina la potencia suministrada. Normalmente se utiliza un barómetro meteorológico.

La frecuencia y duración de estas medidas dependen esencialmente del uso destinado de sus datos. A continuación, se indican unas directrices:

- Medir durante un periodo de tiempo lo más largo, práctica y económicamente posible.
- Intentar medir en cada estación del año, dado que los patrones de la velocidad y dirección del viento son relativamente estacionales.
- Comparar con las medidas de otros lugares vecinos donde estén disponibles datos correspondientes a largos periodos de tiempo.
- Comparar las medidas con las tendencias regionales a largo plazo, ya que existen evidencias de que ocurren significantes variaciones climatológicas en la velocidad del viento.

Los factores imprescindibles para elegir un aparato de medida del viento son los siguientes:

- Coste y fiabilidad.
- Sensibilidad.
- Calibración adecuada, para garantizar la fiabilidad de los datos de salida.
- Robustez, soportar posibles daños.
- Compatibilidad de las especificaciones de sensibilidad y fiabilidad del sistema completo.
- Accesibilidad del emplazamiento y disponibilidad y calidad de los datos.

### 5.1.3 Ubicación de los sensores y aerogeneradores

La ubicación de los sensores han de estar en lugares expuestos a todas las direcciones y sin obstáculos en los alrededores.

La altura estándar para la medición son 10 metros sobre el suelo, con el fin de poder establecer comparaciones homogéneas.

Si se quiere evaluar una determinada máquina, es necesario realizar las medidas a la altura del buje, con el fin de reducir las posibles incertidumbres.

Por otra parte, las instalaciones aisladas no se tienen en cuenta normalmente la distancia entre aerogeneradores, ya que el área que barren los aerogeneradores de pequeña potencia no crea turbulencias importantes. Cuando el número de aerogeneradores excede de uno, además de que se quiere tener en cuenta la distancia entre ellos para considerar las pérdidas por el efecto sombra se puede utilizar el modelo de "PARK turbine wake", que es el siguiente:

- Pérdida de velocidad en la primera turbina:

$$\delta V_{01} = U_0 \cdot (1 - \sqrt{1 - C_t}) \cdot \left[ \frac{D_0}{D_0 + 2 \cdot k \cdot X_{01}} \right]^2 \cdot \frac{A_{solape}}{A_{restante}}$$

$D_0$ : Diámetro del rotor

$U_0$ : Velocidad del viento en la turbina de diámetro de rotor  $D_0$

$C_t$ : Coeficiente de empuje

$X_{01}$ : Distancia horizontal entre las dos turbinas

$k$ : Constante de amortiguamiento de la onda (0,075 en tierra y 0,04 en mar)

$A_{solape}$ : Área de interferencia entre las dos turbinas

- El coeficiente de empuje  $C_t$  tiene la siguiente expresión

$$C_t = \frac{8 \cdot F_t}{\rho \cdot \pi \cdot D_0^2 \cdot U_0^2}$$

$F_t$ : Fuerza de empuje

$\rho$ : densidad del aire

$U_0$ : Velocidad del viento en la turbina  $D_0$  de diámetro de rotor  $D_0$

- La fuerza de empuje se expresa de la siguiente forma:

$$F_T = \frac{\pi \cdot D_0}{D_\emptyset} \cdot U_0$$

$D_\emptyset$ : Distancia en diámetros de aspas (si la distancia entre aerogeneradores es de  $2 \cdot D$ ,  $D_\emptyset = 2$ )

Si la instalación excede de más de un aerogenerador es necesario instalarlos en tresbolillo siempre que sea posible

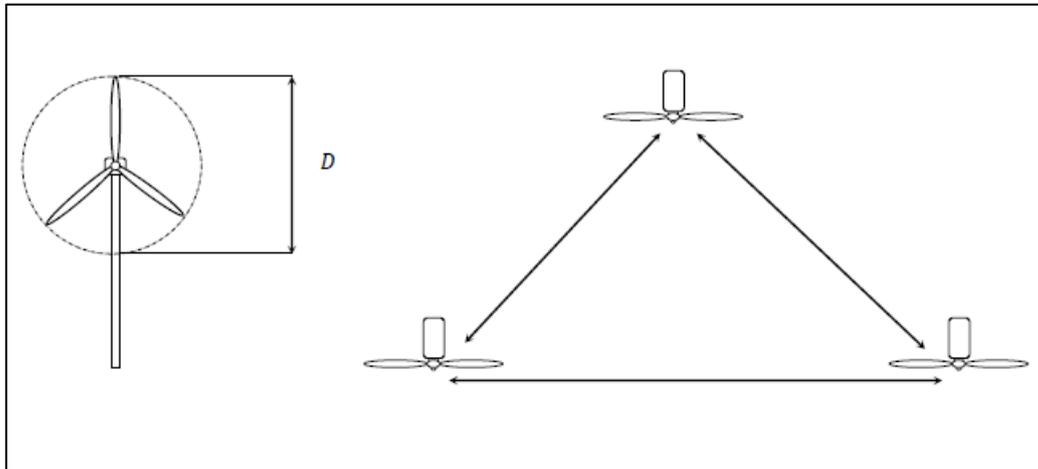


Figura 16: Distancia a tresbolillo. FUENTE [16].

#### 5.1.4 Distribución de direcciones

La distribución de direcciones de viento es de vital importancia a la hora de ubicar las turbinas eólicas en terrenos no uniformes o formando varios conjuntos de ellas, e incluso para conocer la variabilidad direccional del régimen de vientos al que debe responder el sistema de orientación de la máquina.

La representación más habitual es la de la rosa de los vientos, en la que se expresa el porcentaje de tiempo en el que el viento tiene una determinada dirección. Normalmente, también se refleja la distribución de velocidades de viento para cada intervalo direccional.

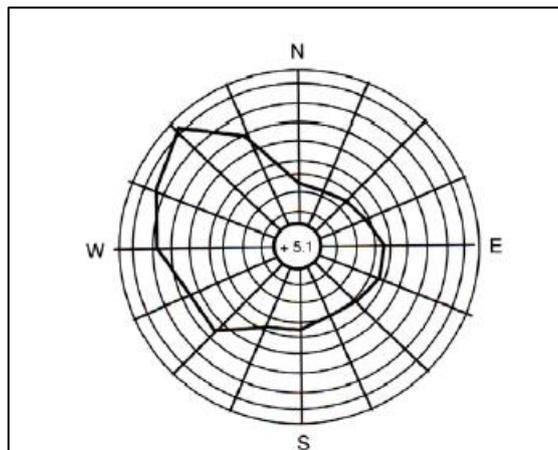


Figura 17: Rosa de los vientos, representación gráfica. FUENTE [16].

### 5.1.5 Distribución de velocidades

El conocimiento de la distribución de probabilidades de velocidades de viento  $p(v)$  es muy importante a la hora de determinar el potencial eólico disponible, además de para otros parámetros energéticos de interés.

Si no se dispone de las series temporales medidas en el emplazamiento, o si se quieren extrapolar datos a otro lugar, este procedimiento ofrece ciertas ventajas.

- **Distribución de Rayleigh**

La distribución de densidad viene dada por la expresión:

$$P(u) = \frac{U}{\sigma^2} \cdot e^{-\left(\frac{u^2}{2 \cdot \sigma^2}\right)}$$

Siendo  $U$  la velocidad del viento y  $\sigma$  la desviación angular estándar.

La distribución de probabilidades acumuladas, que mide la probabilidad de que la velocidad del viento sea inferior a un valor dado  $V$  se determina mediante la siguiente expresión:

$$P(u > v) = e^{-\left(\frac{v^2}{2 \cdot \sigma^2}\right)}$$

Si no se dispone de información sobre la desviación estándar, las expresiones anteriores pueden transformarse en:

$$P(u) = \left(\frac{u^2 \cdot \pi}{2 \cdot u}\right) \cdot e^{-\left(\frac{u^2 \cdot \pi}{4 \cdot u^2}\right)}$$

$$P(u > v) = \exp\left(\frac{\pi \cdot v^2}{4 \cdot u^2}\right)$$

- **Distribución de Weibull**

La expresión analítica más utilizada en los estudios de energía eólica es la distribución de Weibull, cuya forma general es:

$$P(v) = \left(\frac{k}{c}\right)^{k-1} \cdot \left(\frac{v}{c}\right) \cdot C \cdot \exp\left(-\frac{v}{c}\right)^k$$

Donde:

$P(v)$  representa la probabilidad estadística de que ocurra una determinada velocidad  $v$

$C$  es el factor de escala (m/s) cuyo valor es cercano a la velocidad media

$K$  es el factor adimensional de forma

La distribución de Rayleigh es un caso particular de la distribución de Weibull con  $k=2$ .

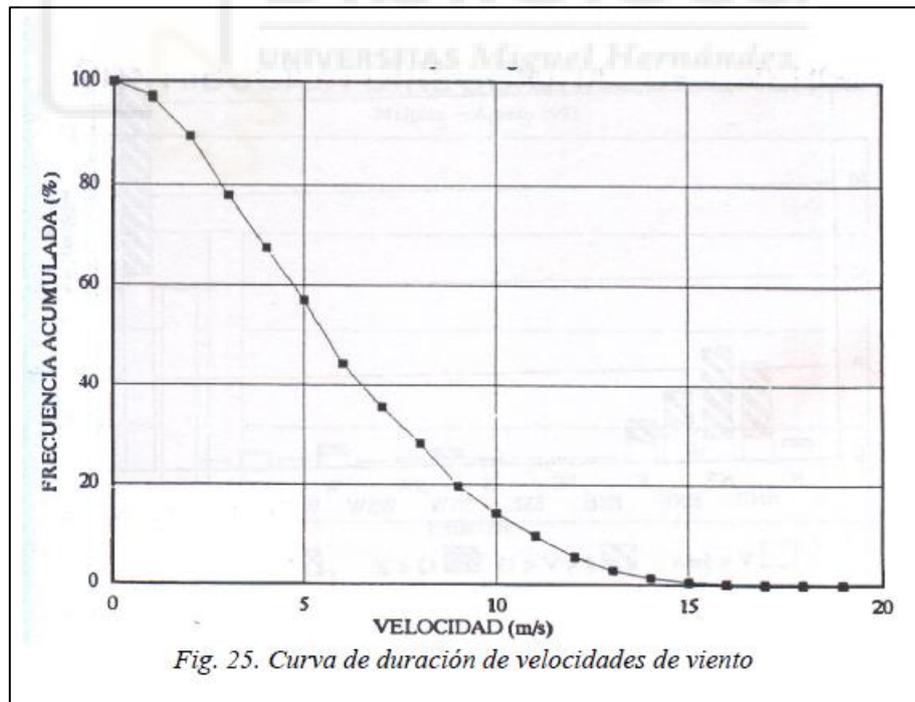


Figura 18: Curva de duración de viento. FUENTE [16].

Aplicaciones:

- Probabilidad de que existan velocidades de viento superiores a una dada  $v_x$ :

$$P(v \geq v_x) = e^{-\left(\frac{v_x}{c}\right)^k}$$

- Probabilidad de que existan velocidades de viento entre dos límites de interés:

$$P(v_x < v < v_y) = e^{-\left(\frac{v_x}{c}\right)^k} - e^{-\left(\frac{v_y}{c}\right)^k}$$

- La velocidad media se obtiene de la distribución de Weibull mediante:

$$\bar{v} = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$$

- La desviación estándar se obtiene:

$$\sigma^2 = c^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]$$

- La velocidad media cúbica viene dada por:

$$\bar{v}^3 = c^3 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right)$$

- El factor de potencia eólica, FPE, viene dado por:

$$FPE = \frac{\bar{v}^3}{\bar{v}^3} = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right)}{\Gamma^3\left(1 + \frac{1}{k}\right)}$$

- El índice de variabilidad se obtiene mediante

$$IV = \frac{\sigma}{\bar{v}} = \sqrt{\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right)}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} - 1}$$

## 5.2 Energía disponible en el viento

### 5.2.1 Potencia del viento

Una masa de aire en movimiento a una velocidad  $v$  tiene una energía cinética:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

La energía cinética por unidad de volumen será:

$$e = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

$\rho$ : Densidad del aire, se puede suponer que es prácticamente constante.

El flujo de aire a través de una superficie es:

$$\phi = v \cdot A$$

$v$ : velocidad del flujo de aire

$A$ : superficie por donde pasa el fluido

La energía que fluye por unidad de tiempo o potencia eólica disponible en una sección de área  $A$  perpendicular a la corriente de aire con una velocidad  $v$  será el flujo de energía cinética, es decir:

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot v \cdot A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Por tanto, la potencia disponible en las masas de aire en movimiento es directamente proporcional a la densidad, al área perpendicular enfrentada al rotor y al cubo de la velocidad. En unidades del S.I, dicha potencia vendrá expresada en W.

Representando gráficamente la potencia disponible en función del diámetro de la máquina, con la densidad  $\rho$ , con valor  $1.225 \text{ Kg/m}^3$ , tendremos:

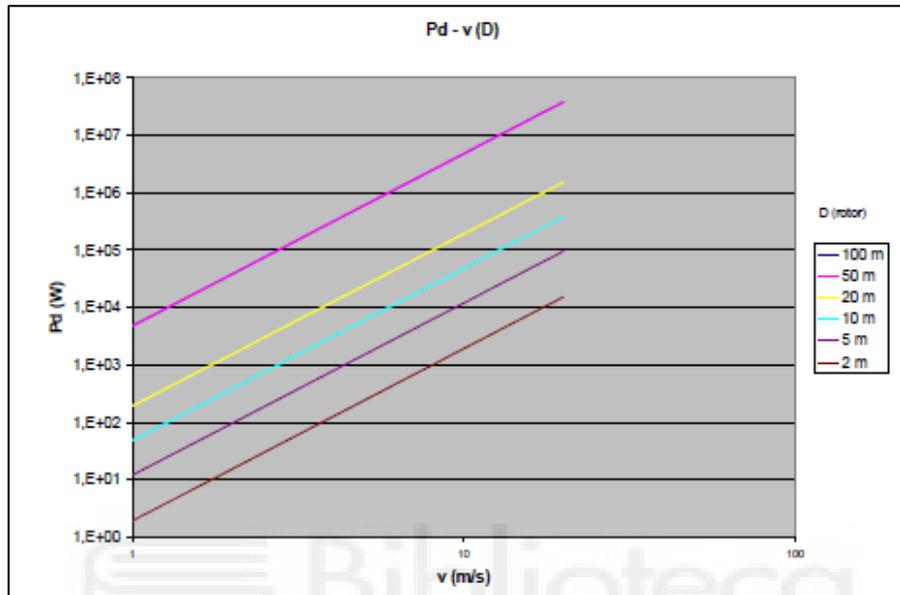


Figura 19: Potencia disponible en función del diámetro. FUENTE [16].

De a grafica se observa que a medida que aumenta el diámetro del rotor enfrentado al aire, y a medida que aumente la velocidad, la potencia disponible en el viento aumenta.

### 5.2.2 Potencia eólica aprovechables

Anteriormente se detallado la energía que existe en una masa de aire en movimiento. La ecuación de conservación de la masa nos dice que toda esta potencia disponible no es del todo aprovechada.

La potencia eólica aprovechable depende de las pérdidas mecánicas en la transmisión y la eficiencia eléctrica del generador.

El coeficiente de potencia ( $C_p$ ) de un aerogenerador se define como el cociente entre la potencia contenida en el viento y la que realmente es capturada por el aerogenerador. Es una medida de la eficiencia de la máquina.

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p$$

$P_d$ : Potencia disponible

$\rho$ : Densidad del viento

$A$ : Área expuesta al viento incidente

$v$ : velocidad del viento incidente

El valor del coeficiente de potencia nunca puede alcanzar el 100% respecto a la potencia incidente. El valor máximo fue determinado por Betz, en el año 1927 a partir de la aplicación de la ecuación de cantidad de movimiento.

Un procedimiento más fiable para evaluar el potencial eólico aprovechable es a partir de la curva característica del coeficiente de potencia de una máquina determinada  $C_p(v)$  y de la distribución de probabilidades de velocidad de viento en un lugar,  $p(v)$ .

$$\bar{P}_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot \int_0^{\infty} v^3 \cdot p(v) \cdot C_p(v) \cdot dv$$

El factor de capacidad,  $C_f$  es la relación entre la potencia eólica media aprovechable por la máquina, y la potencia nominal durante el periodo considerado.

$$C_f = \int_0^{\infty} \frac{C_p(v) \cdot v^3 \cdot p(v) \cdot dv}{C_p(v_n) \cdot v_n^3}$$

La energía eólica extraíble también se puede expresar mediante el concepto de horas equivalentes de producción, como el cociente entre la energía total suministrada y la potencia nominal instalada.

❖ Teoría de la cantidad de movimiento. El límite de Betz.

La teoría de Cantidad de Movimiento supuso una primera aproximación sencilla al problema de un rotor inmerso en una corriente de aire, pero a la vez, un gran paso adelante, ya que permitió obtener resultados globales muy generales, a partir de pocos parámetros y que proporcionan una información muy útil para comprender el fenómeno que estamos tratando.

Como toda teoría que se precie, parte de una serie de hipótesis simplificadoras, en este caso, las Hipótesis de Rankine y Froude, que son:

- El aire es considerado como un fluido ideal sin viscosidad en todo el campo fluido excepto en las proximidades del rotor.
- El fluido es considerado incompresible. El viento se moverá a régimen subsónico, por tanto, la densidad podemos tomarla como constante. El problema térmico, además, estará desacoplado del problema fluidodinámico.
- El estudio se realizará en régimen estacionario. Las variables dependerán del punto de trabajo que se tome y no del tiempo.
- No se considera la velocidad de giro del rotor ni la de su estela.
- Se considera al rotor como un disco poroso fijo, compuesto por infinitas palas de espesor despreciable.
- Las magnitudes empleadas para representar las variables fluidas en una sección recta determinada del tubo de corriente considerado son magnitudes equivalentes de su perfil de distribución a lo ancho de dicha sección considerada.

➤ **Potencia del viento**

Veamos cual es la potencia generada por una corriente uniforme de viento que atraviesa un área  $A$ , a velocidad  $v$ .

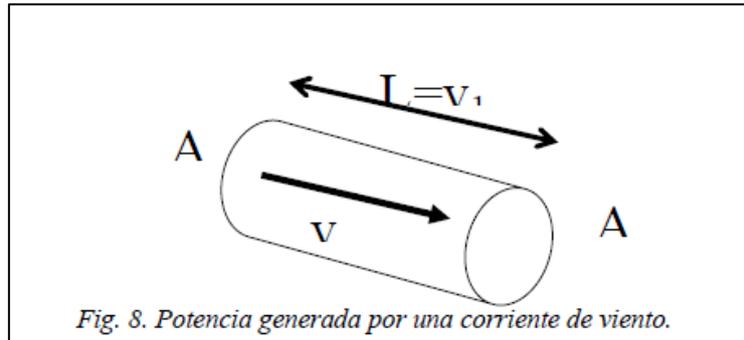


Figura 20: Potencia generada por una corriente de viento. FUENTE [16].

La sección  $A$  se encuentra fija. Sea la sección  $A'$  de igual área que la sección  $A$ , que se mueve a velocidad  $v_1$  hasta coincidir con la sección  $A$ . Eso ocurrirá pasado un instante  $\Delta T$  desde la posición inicial en que se encontraba. La longitud  $L$  recorrida será  $L = v_1 \cdot \Delta T$ . La masa de aire contenida en el cilindro será  $M = \rho \cdot v_1 \cdot \Delta T \cdot A$ , y la energía cinética asociada a la misma:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v_1^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1 \cdot \Delta T \cdot A \cdot v_1^2$$

Y la potencia:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3$$

El fenómeno físico que se produce en esta situación es el siguiente. Sea  $A$  el área del rotor colocada perpendicularmente al flujo de viento. El aire se desplazará por el interior del tubo de corriente y cederá parte de la energía.

El flujo es subsónico, por lo que la presencia del rotor perturbará el flujo aguas arriba, lo que hace que la sección  $A_1$ , situada aguas arriba, tenga un área inferior al área del rotor, y a su vez, inferior al área  $A_2$  situadas aguas abajo del rotor. Además, al ser la densidad constante y el flujo estacionario (conservación del gasto másico), se conservará el caudal, y por tanto, la relación de velocidades conforme se avanza a lo largo del tubo de corriente será  $v_1 > v > v_2$ .

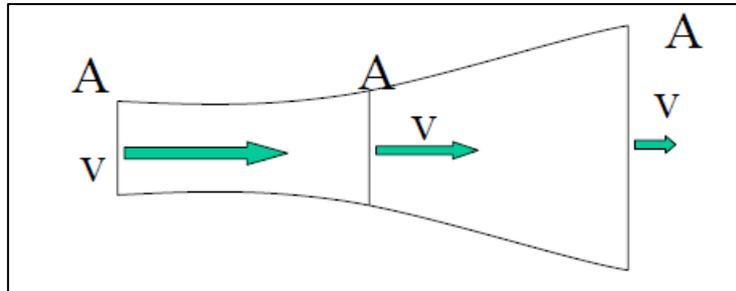


Figura 21: Distribución de velocidades. FUENTE [16].

Analizando la presión, se observa la siguiente gráfica:

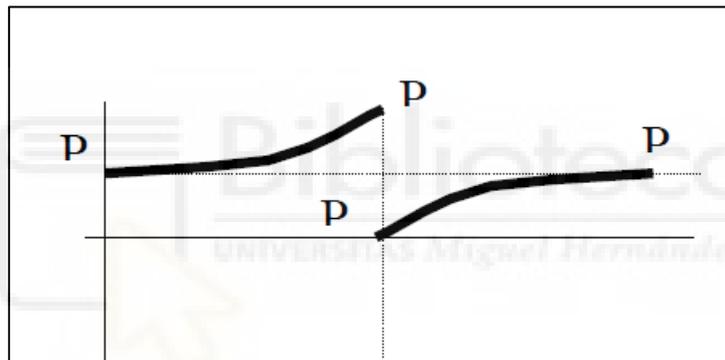


Figura 22: Distribuciones de presiones. FUENTE [16].

La presión evoluciona desde el valor de la presión ambiente  $P_1$  hasta un valor superior en la cara anterior del rotor. En este, se produce una caída de presión y a partir de él, la presión vuelve a aumentar hasta alcanzar de nuevo la presión ambiente,  $P_2$ .

### ➤ Ecuaciones

- ✓ Ecuación de continuidad:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad (1)$$

- ✓ Gasto másico

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \quad (2)$$

- ✓ Fuerza sobre el rotor

$$F = \dot{m} \cdot \Delta v = \rho \cdot A \cdot v \cdot (v_1 - v_2) \quad (3)$$

$$F = A \cdot (P^+ - P^-) \quad (4)$$

- ✓ Ecuación de Bernoulli:

Entre  $A_1$  y la sección anterior del disco:

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = P^+ + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (5)$$

Entre la sección posterior del tubo y  $A_2$ :

$$P^- + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 \quad (6)$$

- ✓ Presiones:

$$P_2 = P_1 \quad (7)$$

Restando (5)-(6):

$$P^+ - P^- = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad (8)$$

Una vez teniendo estas ecuaciones, se deduce que la fuerza sobre el rotor será:

$$F = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad (9)$$

Igualando la ecuación (3) y (9):

$$\frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot (v_1^2 - v_2^2) = \rho \cdot A \cdot v \cdot (v_1 - v_2) \quad (10)$$

$$\frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot (v_1 - v_2) \cdot (v_1 + v_2) = \rho \cdot A \cdot v \cdot (v_1 - v_2) \quad (11)$$

Despejamos  $v$  y se obtiene:

$$v = \frac{1}{2} \cdot (v_1 + v_2) \quad (12)$$

La potencia absorbida por el rotor será el producto de la fuerza ejercida por el viento sobre el rotor por la velocidad del fluido en el rotor.

$$W = F \cdot v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot \frac{1}{2} \cdot (v_1 + v_2)$$

$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1 + v_2)$  corresponde al gasto másico entre las secciones 1 y 2

$\frac{1}{2} \cdot (v_1^2 - v_2^2)$  corresponde a la pérdida de energía cinética entre las secciones 1 y 2

### ➤ Máxima potencia extraíble

La potencia depende del área del rotor y de las velocidades del viento aguas arriba y aguas abajo del rotor.  $v_1$  viene dada por la velocidad del viento incidente y  $v_2$  por la velocidad aprovechable de las palas del rotor.

Sea  $k = \frac{v_2}{v_1}$ . La expresión de potencia quedará:

$$w = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \cdot (1 + k) \cdot (1 - k^2)$$

Para obtener la potencia máxima derivaremos respecto a  $k$  e igualaremos a cero:

$$\frac{\partial W}{\partial k} = 0$$

Se llega a la ecuación de segundo grado  $3 \cdot k^2 + 2 \cdot k \cdot 1 = 0$ , que, resolviendo, y tomando la solución positiva, se llega a  $k$  equivale a  $1/3$ .

Sustituyendo en la expresión de la potencia:

$$W_{max} = \frac{8}{27} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3$$

Sustituyendo en la expresión del coeficiente de potencia, se llega a una expresión para  $C_p$ :

$$C_p = \frac{1}{2} \cdot (1 + k) \cdot (1 - k^2)$$

Representando gráficamente esta expresión en función de k, se tiene la siguiente gráfica:

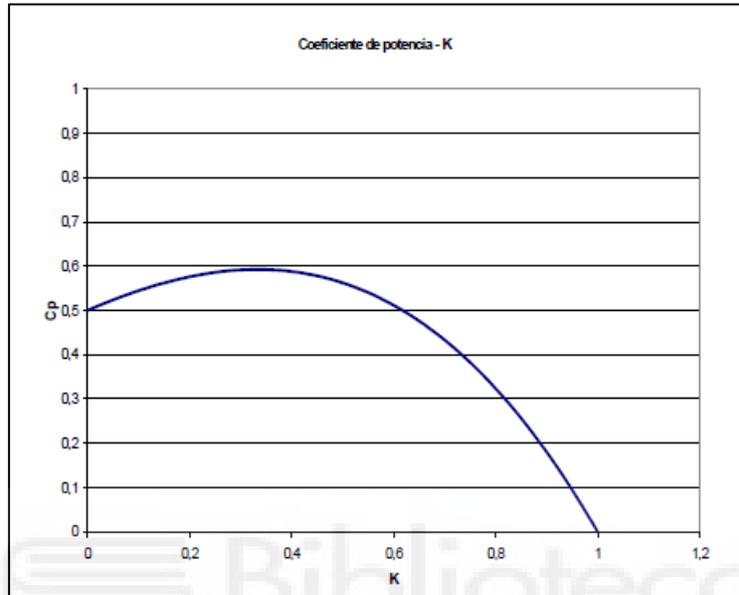


Figura 23: Coeficiente de potencia-K. FUENTE [16].

Dicha gráfica presenta un máximo en las proximidades de 0.6. Si damos valores numéricos se llega a la fórmula de Betz:

$$C_{p \max} = \frac{\frac{8}{27} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3} = 0.5925$$

Por tanto, como máximo, solo puede extraerse el 59.25% de la energía cinética que contiene una masa de aire en movimiento.

➤ **Limitaciones de la teoría de cantidad de movimiento**

La teoría de cantidad de movimiento es una teoría simplificativa y tiene las siguientes limitaciones:

- No considera los efectos viscosos del fluido
- Las magnitudes son magnitudes equivalentes en cada sección recta del tubo de corriente. No permite cálculos locales en zonas determinadas del rotor, ni tiene en cuenta los cambios de la velocidad incidente con la altura
- No tiene en cuenta el número de palas del aerogenerador
- No tiene en cuenta el giro del rotor ni calcula pares ni fuerza. En particular, no calcula el par motor del rotor
- No considera fenómeno no estacionarios como ráfagas o variación de la velocidad del aire con el tiempo, o variación de giro del rotor, etc.

### 5.3 Clasificación y tipos de aerogeneradores

#### 5.3.1 Eje horizontal

Normalmente las turbinas eólicas que se diseñan para ser conectadas a la red se constituyen por la composición de tres palas que giran transversalmente entorno a un punto. Este tipo de aerogeneradores alcanzan una gran eficiencia energética y llegan hasta velocidades de rotación muy altas, lo que quiere decir que deben de tener una relación de transmisión del giro inferior. Otra ventaja son sus elevadas torres que producen una mayor incidencia del viento gracias a la altura de ellas.

Los tipos de aerogeneradores de eje horizontal se clasifican en función de:

- **Numero de palas empleado**
  - Tripala: El más usado actualmente, se caracteriza por tener 3 palas alrededor de un eje formando un ángulo de 120 grados una respecto de la contigua. Cuanto más número de palas mayor es el peso y el precio del aerogenerador, no se suelen fabricar con mayor número de palas a no ser que sea para otras aplicaciones, como por ejemplo el bombeo del agua.



Figura 24: Aerogenerador tripala. Fuente [16].

- **Bipala:** Dado que está compuesto por dos palas, su coste y peso se reducen, en cuanto a la velocidad de giro, debe de ser mayor que en las tripalas, para conseguir la misma producción de energía. Su diseño es más complejo por el factor desestabilizador, por eso tienen un rotor basculante y amortiguadores para que las palas no toquen a la torre, y así no causar daños.



Figura 25: Aerogenerador bipala. FUENTE [17]

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

- Monopala: Prácticamente tienen los mismos inconvenientes que los aerogeneradores bipala, como solamente se componen de una pala necesitan un contrapeso para estar en equilibrio, esto quiere decir que una de sus ventajas no es la reducción de peso.



Figura 26: Aerogenerador monopala. FUENTE [18].

- **La orientación respecto la dirección predominante del viento**

- Barlovento: Cuando el rotor se encuentra en la dirección predominante del viento se consigue una mayor generación de energía, necesitan un mecanismo de orientación para tomar la dirección adecuada del viento.
- Sotavento: en esta dirección el aerogenerador se encuentra situado en la dirección opuesta a la dirección dominante del viento, la góndola y la torre reduce el aprovechamiento del viento, pero la góndola es orientada por la acción de la fuerza del viento, por lo que no es necesario un mecanismo de orientación, aunque se usa como sistema de control. Tiene que construirse la torre y la góndola con una mayor flexibilidad que cuando son orientadas en la dirección dominante del viento.



Figura 27: Orientación del aerogenerador. FUENTE [19].

Figura 27: Orientación del aerogenerador. FUENTE [19].

- **El tipo de torre que se utiliza**

- **Torres de celosía:** construidas con estructuras de perfiles de acero con unas uniones atornilladas. Bajo precio y facilidad a la hora de instalarlas. Aunque necesitan revisiones de mantenimiento de las uniones. Requieren de una zona extra para los sistemas de control o equipos eléctricos, el acceso a la góndola es mediante unas escaleritas en la propia estructura. No es utilizado en zonas septentrionales o aplicaciones de gran potencia.



Figura 28: Torre de celosía. FUENTE: [20].

- Torres tubulares: están fabricados de acero y tienen forma troncocónica, en su interior están huecos para poder acceder a reparar elementos del interior del aerogenerador. La instalación es complicada y costosa, pero no requieren de un gran mantenimiento que las torres de celosía. Suelen utilizarse para aplicaciones de gran escala de generación de energía.



Figura 29: Torres tubulares. FUENTE [21].

### 5.3.2 Eje vertical

Presenta una ventaja característica con respecto a los aerogeneradores de eje horizontal y es que están orientados omnidireccionalmente y todos sus sistemas eléctricos están al ras del suelo, esto hace que sea fácil para acceder para repararlo, realizar el mantenimiento y su montaje. Su clara desventaja es que son menos eficientes, algunos modelos necesitan un sistema de arranque y si es necesario desmontar el rotor por tareas de mantenimiento se ha de desmontar el aerogenerador entero.

- Rotor Savonius: consta de un rotor sencillo, un conjunto de cilindros huecos desplazados respecto de su eje, lo que significa que el empuje del viento se sitúa en la parte cóncava, y su parte convexa tiene una menor resistencia al giro. Para mejorar el diseño se deja un espacio entre ambas caras para que no se genere una sobre presión dentro del interior de la parte cóncava. Se construyen superponiendo varios elementos sobre el eje de giro. No se utilizan para la producción de electricidad debido a su elevada resistencia al aire. Su bajo coste y fácil construcción les hace útiles para aplicaciones mecánicas.

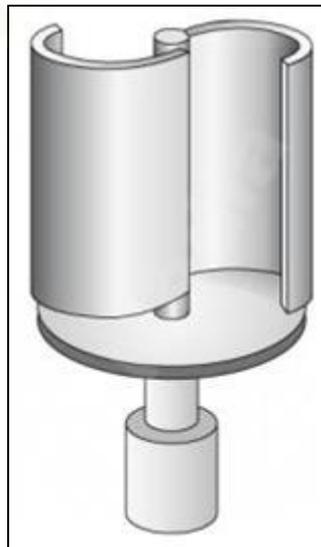


Figura 30: Rotor Savonius. FUENTE [22].

- **Rotor Darrieus:** Patentado por G.J.M. Darrieus en 1931, es el modelo de los aerogeneradores de eje vertical con mayor éxito en el mercado. Se compone de un eje vertical sobre el rotor, con dos o más finas palas curvas unidas al eje por los dos extremos, el diseño de las palas es simétrico y parecido a de las alas de un avión, el modelo de curva utilizado para la unión de las palas entre los extremos del rotor es el de Troposkien, aunque pueden utilizarse también catenarias. Evita la necesidad de diseños complejos en las palas como los necesarios en los generadores de eje horizontal, permite mayores velocidades que las del rotor Savonius, aunque sin alcanzar las generadas por los modelos de eje horizontal, pero necesita de un sistema externo de arranque.



Figura 31: Rotor Darrieus. FUENTE [22].

- **Rotor giromill:** Este tipo de aerogeneradores también fue patentado por G.J.M. Darrieus. Consta de unas palas verticales unidas al eje por unos brazos horizontales, que salen por la parte externa del aspa y también de su parte central. La orientación de las palas se produce mediante la modificación del giro del rotor para aprovechar la fuerza del viento.



Figura 32: Rotor Giromill. FUENTE [23].

- Rotor windside: Es un sistema similar al rotor Savonius, no hay estructura cilíndrica para aprovechamiento del viento, si no que tiene un perfil alabeado con torsión que asciende por el eje vertical. La principal diferencia frente a otros sistemas de eje vertical es el aprovechamiento del concepto aerodinámico, siendo su eficiencia cercana a la de las turbinas eólicas de eje horizontal.



Figura 33: Rotor Windside. FUENTE [24].

### 5.3.3 Clasificación según la potencia que suministra

- **Baja potencia:**

Son los asociados a utilización mecánica o como suministro de equipos aislados, como puede ser el bombeo de agua. Comprenden unos rangos de potencia alrededor de los 50 kW, aunque se pueden utilizar equipos adyacentes para aumentar su potencia. También se puede utilizar en zonas rurales o edificios junto con motores de gasolina para garantizar la cobertura energética, ya sean conectados a la red o con almacenamiento.

- **Media potencia:**

se encuentran en un rango de producción alrededor de los 150 kW. Son utilizados de manera parecida a los equipos de baja potencia, pero para mayores requerimientos energéticos. No suelen estar conectados a baterías de almacenamiento, por lo que se utilizan conectados a la red o junto con un sistema de respaldo.

- **Alta potencia:**

Son utilizados para producción de energía de manera comercial, aparecen conectados a la red y en grupos conformando plantas eólicas, ya sea en mar o en tierra. Su producción llega hasta el orden del gigavatio. Normalmente se utilizan aerogeneradores del tipo de eje horizontal, tripala, orientados a barlovento y con torre tubular.

## 5.4 Componentes de un aerogenerador

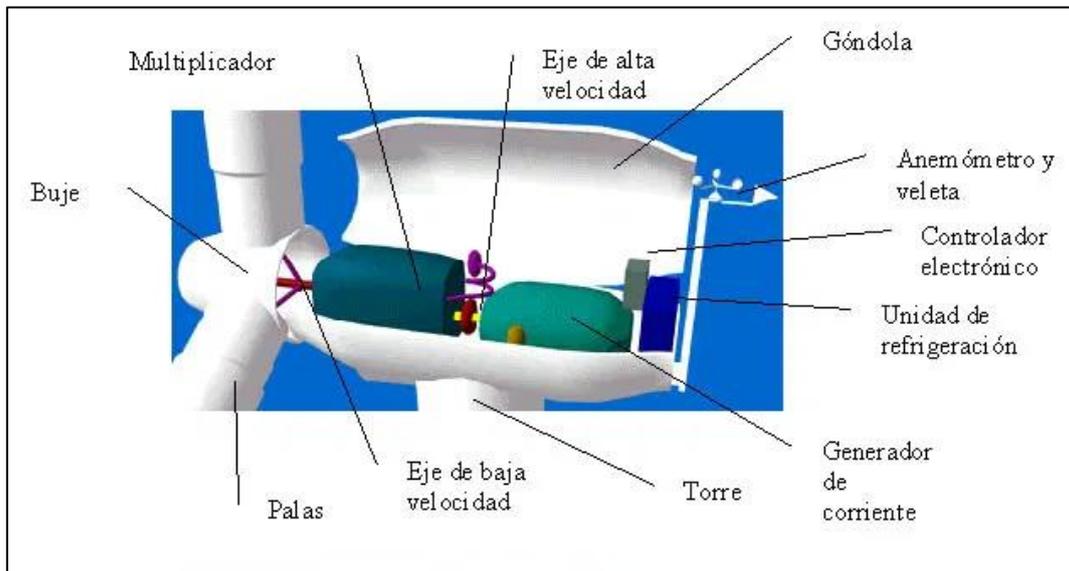


Figura 34: Elementos de un aerogenerador. FUENTE [25].

### 5.4.1 Rotor

El rotor está compuesto por las palas que capturan el viento y transmiten su potencia hacia el buje, este está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador. El eje de baja velocidad conecta el buje del rotor al multiplicador, que contiene conductos del sistema hidráulico para permitir el funcionamiento de frenos aerodinámicos. Las partes fundamentales del rotor son:

- **Las palas**

Estas rotan normalmente en el sentido de las agujas del reloj, se unen al rodamiento del buje mediante una corona de pernos que permite el giro longitudinal del eje de la misma. Según el tipo de anclaje existen dos tipos:

- De paso fijo: no admiten rotación de la pala sobre su eje.
- De paso variable: admiten la rotación controlada sobre su eje.

- **El buje**

Es el que transmite la energía que incide sobre las palas a la multiplicadora, a través del eje principal que el que gira más lento. Este componente está hueco porque ahí reside el sistema de regulación de control del movimiento de rotación sobre el eje principal.

Existen varios tipos de turbinas con tres, dos o una pala. Normalmente se usa tres palas por la estabilidad del giro que proporciona. las palas son de un material compuesto de matriz polimérica (poliéster) con refuerzo de fibra de vidrio o carbono para elevar la resistencia y aportar ligereza a la hora del montaje. Su altura puede tener desde el rango de 1 m a 100 metros y van conectados al buje del rotor. En el buje hay dentro elementos mecánicos que varían el ángulo de incidencia de las palas

Los rotores más utilizados son de eje horizontal y pueden tener articulaciones, la más utilizada es la de cambio de paso. La mayoría están orientadas a barlovento, por el hecho de que las cargas cíclicas sobre las aspas se reducen. Por esto mismo los orientado a sotavento son de celosía metálica por que el viento puede pasar libremente por ellas.

#### 5.4.2 Generador

Es la parte que transforma la el movimiento mecánico de las aspas del rotor a energía eléctrica.

Los tres tipos de turbinas fundamentales varían únicamente en cómo se comportan cuando el molino se encuentra en condiciones por encima de la nominal. Estos tipos son:

- **Generador de inducción por jaula de ardilla**

Es uno de los primeros que se usaran para la fabricación de turbinas eólicas. Como existe una diferencia de giro entre el generador y rotor, se hace necesario la implantación de una caja de cambios. El devanado del estator se encuentra conectado a la red. Mantienen una velocidad contante, a pesar de que el generador de inducción de jaula de ardilla tenga variaciones de velocidad del eje del molino, también denominado deslizamiento. Un generador de jaula de ardilla parte de la desventaja de que consume la potencia reactiva de la red, por esto mismo se acoplan condensadores al generador.

- **Generador de inducción bifásico**

Se denomina de inducción bifásico porque está doblemente alimentados, establecen el concepto de velocidad variable. Mediante la electrónica de potencia se cede una corriente en el devanado del rotor, que está directamente conectado a la red. La frecuencia de la corriente que se inyecta en el devanado es variable, lo que quiere decir que se desacoplan las frecuencias eléctricas y mecánicas. Esto favorece que el generador trabaje con velocidad variable. Gracias a la caja de cambio se adaptan las diferentes velocidades del generador y del rotor

- **Generador síncrono**

Estos generadores también trabajan con velocidad variable. Una de las diferencias que existen con los otros modelos de generadores es que no necesitan caja de cambios. La red y la turbina eólica quedan desacoplados totalmente mediante electrónica de potencia. Con esta configuración también se puede trabajar con velocidad variable. Depende de la aplicación se usan generadores especiales que operan a bajas revoluciones. Son reconocibles por sus diámetros relativamente grandes, colocados cerca del rotor de la turbina.

#### 5.4.3 Caja de cambios

El generador tiene un régimen de giro superior al que proporciona el giro de las palas por lo que se establece una caja multiplicadora para que aumente las revoluciones a un régimen óptimo para la generación eléctrica por parte del rotor.

Esta está conectada a dos ejes importantes:

- **Eje de baja velocidad**

Está conectado del buje del rotor a la multiplicadora. Por el interior, discurren conductos del sistema hidráulico o eléctrico, para accionar el sistema de frenos aerodinámicos, del paso variable y de control de los sensores del rotor.

- **Eje de alta velocidad**

Gira aproximadamente a 1500 rpm a una frecuencia de 50 Hz, si existieran velocidades menores habría que aumentar el número de pares de polos del generador, pero aumentaría su precio. Esta velocidad permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia.

#### 5.4.4 Sistema hidráulico y de refrigeración

- **Sistema hidráulico**

- Grupo de presión: se encarga de suministrar el fluido hidráulico a una presión determinada para permitir el accionamiento de sistemas de captación, orientación o transmisión.
- Conductos hidráulicos: canalizan el fluido hidráulico hasta el punto de aplicación.
- Válvulas de control: adaptan la presión y caudal del fluido en base al actuador a accionar.

- **Sistema de refrigeración**

- Ventiladores: funcionan con las necesidades del controlador para crear una circulación de aire
- Intercambiadores de calor: disipan el calor del componente a refrigerar (generador, multiplicador o central hidráulica) hacia la corriente de aire creada por los ventiladores.

#### 5.4.5 Sistema de orientación

Los aerogeneradores están automatizados de manera que tienen un sistema de control a través de ordenadores. Se puede manejar la información que proporciona la veleta y el anemómetro colocados encima de la góndola para poder orientar el molino a barlovento o sotavento, además de también poder orientar las palas de forma que se produzca una eficiencia a la hora de generar energía eléctrica. Toda la información sobre el estado del generador se puede enviar de forma remota a un servidor central.

#### 5.4.6 Sistema de regulación

Posee toda la electrónica necesaria para controlar las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación. En caso de cualquier disfunción (por ejemplo, sobrecalentamiento en el multiplicador o en el generador). Además de controlar otros muchos parámetros que ofrece el generador, multiplicadora, anemómetro, veleta, sistema de frenado, producción de energía, etc.



#### 5.4.7 Sistema de frenado

Los aerogeneradores tienen sistemas de seguridad muy desarrollados. El sistema de freno del aerogenerador dispone de dos tipos de freno: uno aerodinámico que forman las palas en la posición de bandera en máquinas de paso variable o abren el aerofreno en las de paso fijo y otro de disco que actúa sobre el eje rápido de la multiplicadora (y que se pondría en funcionamiento para el acceso al buje).

#### 5.4.8 Torre de soporte

La torre tiene como función elevar la altura de la góndola para conseguir mayor incidencia de viento. Su material suele ser acero y estar hueca en su interior para reducir peso y acceder más fácilmente al interior del aerogenerador para labores de mantenimiento. Normalmente es de acero tubular u hormigón armado, actualmente se realizan estructuras mixtas para ahorrar en costes y mejorar estabilidad este tipo de estructuras son para aplicaciones de alta y media potencia, mientras que de baja potencia se suelen usar las torres de celosía.



A large, dark solar panel is the central focus, tilted upwards and supported by a metal frame. The panel's surface is covered in a grid of white lines, creating a pattern of rectangular cells. The background shows a vast, open field of tall, golden-brown grass under a dramatic, cloudy sky with soft light filtering through. The overall scene conveys a sense of clean, renewable energy in a natural setting.

**CAPÍTULO 6:  
INTRODUCCIÓN A LA  
TECNOLOGÍA EÓLICA**



## CAPÍTULO 6: INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

### 6.1 Sol como fuente de energía

#### 6.1.1 Introducción

La energía solar es transformada de forma directa en electricidad mediante células fotovoltaicas. Esto se debe a el fenómeno del efecto fotovoltaico, se basa en que al incidir la luz sobre unos materiales semiconductores se produce un flujo de electrones en su interior y esto es aprovechado para producir energía eléctrica.

Las placas fotovoltaicas estas constituidas por varias células fotovoltaicas conectadas entre sí en serio, paralelo o serie-paralelo, todo ello depende del nivel de voltaje e intensidad deseados.

Las características de estas instalaciones son:

- Simples y fácil montaje.
- Ser modulares.
- Tener larga vida útil, suele ser superior a 30 años.
- No necesita exhaustivo mantenimiento.
- Elevada fiabilidad, ya que es una de las energías renovables con mayor desarrollo y experiencia.
- No incrementa el efecto invernadero, gracias a que no produce ningún gas contaminante.
- Funcionamiento silencioso.

Las aplicaciones son:

- Electrificación autónoma.
- Instalaciones de conexión a red (centrales solares fotovoltaicas, edificios con instalaciones integradas).
- Otras aplicaciones: señalización, telecomunicaciones y alimentación de equipos remotos, protección catódica, navegación, farolas solares, etc.



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

### 6.1.2 Efecto fotovoltaico

Las aplicaciones de la energía fotovoltaica están basadas en el efecto fotovoltaico. Se produce gracias a que la radiación solar que incide sobre los materiales semiconductores extrínsecos (Si, Ge, GaAs, CdTe, InSe<sub>2</sub>). Los fotones provocan un movimiento caótico de electrones en el interior del material. Un fotón es una partícula de luz radiante.

Al unir dos regiones de un semiconductor al que artificialmente se había dotado de concentraciones diferentes de electrones, mediante elementos dopantes, estos forman un campo electroestático constante que reconduce el movimiento de electrones.

Para poder explicar bien el funcionamiento de este efecto es necesario que distingamos las siguientes características que nos proporciona el material. Según la clasificación del nivel de conductividad de los materiales existen los cuerpos conductores, que son aquellos cuyos átomos permiten fácilmente el paso de electrones por su interior, como puede ser el cobre que en su cuarta órbita hay un electrón inestable con gran tendencia a desprenderse. Mientras que los cuerpos aislantes son los que no permiten el flujo de electrones y los semiconductores se encuentran en una resistencia intermedia.

El silicio (Si), la característica esencial de este material es que posee cuatro electrones en su órbita de valencia, además de su estructura cristalina. Esto hace que el átomo sea inestable, para poder estabilizarse, o bien se desprende de los 4 electrones sobrantes o absorbe otros 4 para poder estabilizarse, esta formación de moléculas es gracias a el enlace covalente. En estas circunstancias, al estabilizarse, debería trabajar como un buen aislante, pero conforme sea más mayor la temperatura aumenta la agitación de los electrones y se rompen los enlaces covalentes, esto hace que los electrones circulen libremente y que haya huecos.

Como anteriormente hemos recalado se utilizan materiales semiconductores extrínsecos, que básicamente son semiconductores intrínsecos que se le añaden impurezas dado que los portadores libres son de bajo valor, esto ocurre porque las corrientes que se producen a temperatura ambiente son insignificantes.

Se utilizan dos tipos de semiconductores:

- **Tipo N:** son aquellos obtenidos por la adición de dopantes, que son impurezas pentavalentes, es decir, que son donadoras. En cada átomo de ese elemento dopante quedará un electrón sin formar enlace. Este electrón puede saltar a la banda de conducción, pero no deja ningún hueco, en la banda de conducción quedaran más cargas negativas que positivas (huecos).

- **Tipo P:** En este tipo de semiconductores la situación es la contraria al tipo N se utilizan elementos con menos valencias que los semiconductores de partida. Por ejemplo, en el silicio se utiliza dopantes trivalentes, estos son aceptadores de electrones, pues existen huecos en la banda de valencia donde puede pasar electrones que absorben energía en vez de hacerlo a la banda de conducción. Por consiguiente, se forma un balance neto de cargas positivas (huecos) en la banda de valencia superior a las cargas negativas (electrones) en la banda de conducción.

Al unir estos dos tipos de semiconductores, según la ley de difusión de los electrones de la zona N, donde hay alta concentración de cargas negativas, tienden a dirigirse a la zona P. y lo mismo pasa con la zona P los huecos tienden a dirigirse a la zona N. esto ocasiona su encuentro y neutralización en la zona de unión. Cuando un electrón encuentra un hueco desaparece el electrón libre que pasa a ocupar el hueco. Formándose una unión con una estructura estable y neutra.

Antes de la unión la zona N era neutra y después de juntarla con la zona P pierde los electrones libres, hace que cada vez vaya siendo más positiva, mientras que la zona P al perder huecos se hace cada vez más negativa. Esto produce una diferencia de potencial entre las zonas N y P, separadas por la zona de unión que es neutra. El voltaje que se encuentra entre las zonas se denomina barrera potencial, se opone a la ley de difusión, puesto que el potencial positivo que se va creando en la zona N repele a los huecos que se aproximan a P, el potencial negativo de la zona P repele a los electrones de la zona N. Cuando las zonas han perdido cierta cantidad de portadores mayoritarios que han recombinado, la barrera potencial creada impide la continuación de la difusión de electrones, a consecuencia de esto se produce la igualación de las concentraciones en ambas zonas.

### 6.1.3 Radiación solar

El sol genera cierta cantidad de energía constante, que la superficie terrestre recibe, dicha energía pierde potencia por los fenómenos ambientales que ocurren alrededor del planeta.

La potencia que genera el sol es de  $1376 \text{ W/m}^2$ , denominada constante solar, no es lo que al final se transmite completamente al planeta, sino que, debido al desarrollo de los fenómenos atmosféricos, actividad humana, forma de la tierra, movimientos de traslación y rotación de la Tierra y su órbita elíptica.

Además de la radiación solar, hay que tener en cuenta la irradiancia e irradiación. La irradiancia viene definida como potencia por unidad de superficie (kW/), mientras que la irradiación se entiende como la energía por unidad de superficie (kW/).

En la siguiente imagen se puede observar que en el color amarillo claro la irradiación es mayor que está cerca de del cinturón solar que es la zona de la Tierra donde se recibe más radiación solar. Es interesante para estas zonas la generación de electricidad solar, produciendo y

consumiendo electricidad en el mismo punto, reduciendo así las pérdidas producida en el transporte y dependencia energética.

En la siguiente imagen podemos observar la variación de potencia radiante, como va variando en función de los meses del año, con sus respectivas estaciones climatológicas.

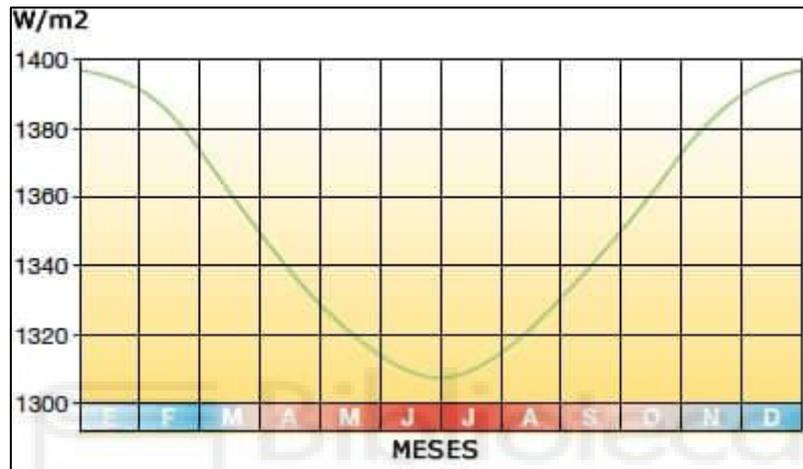


Figura 35: Representación gráfica de la radiación en función del mes. FUENTE: [26].

Esto se debe a la órbita elíptica de la Tierra, la radiación que llega a la atmósfera es mayor en los meses de invierno (color azul) que verano (color rojo), porque el planeta está más cerca del sol en unos meses que en otros como aparece en la siguiente imagen

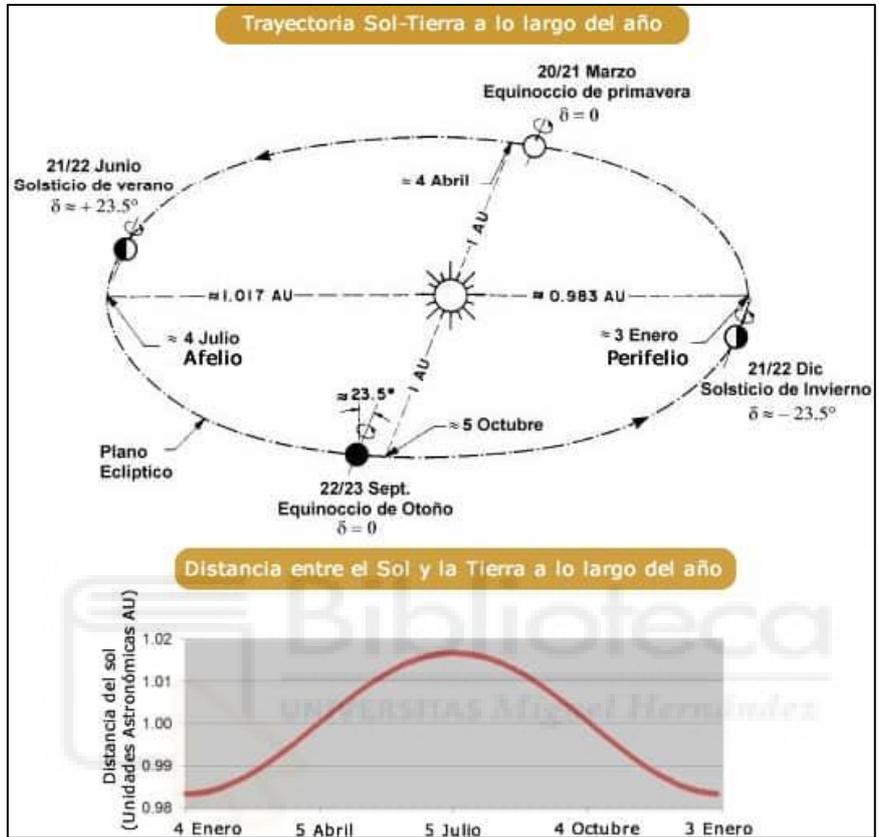


Figura 36: Trayectoria y distancia entre el sol- tierra a lo largo del año. FUENTE [26].

Las unidades AU son “Unidades Astronómicas” y es la distancia promedio entre el Sol y la Tierra (150 millones de Kilómetros).

La atmósfera reduce la radiación del sol gracias a los fenómenos de reflexión, absorción y difusión, que es cómo se comporta una onda al incidir en un medio. En la siguiente figura aparece los distintos fenómenos en medios diferentes.

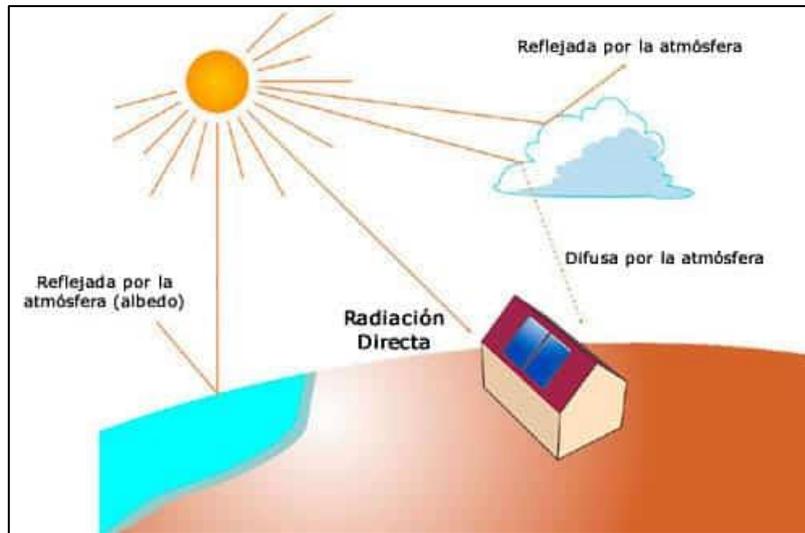


Figura 37: Fenómenos producidos por la radiación solar. FUENTE [26].

La difusión se produce por la presencia de elementos contaminantes en el aire, presentes en la atmósfera, depende mayormente de la ubicación del sitio dependiendo de si es una zona urbana o zona rural, zona industrial, etc. También influye los fenómenos meteorológicos como puede ser la nieve, la nubosidad y la lluvia. A estas condiciones desfavorables se ve afectada en la irradiancia solar.

Tipos de radiación solar:

- La radiación directa actúa bajo el fenómeno de absorción, es la que recibimos directamente del sol. Varía en la misma manera como hemos comentado en el párrafo anterior, de la estación del año, la zona y las componentes meteorológicas.
- La radiación de albedo que es la que se refleja dependiendo del medio donde incida.
- Radiación difusa celeste, es la radiación por unidad de tiempo y unidad de área que, que procede de la dispersión solar directa a través de las moléculas de aire, partículas sólidas, etc, incidente sobre una superficie.
- Radiación solar global, es la suma de la radiación directa y difusa
- Radiación solar media, es la integral de la radiación solar global incidente sobre una superficie en un período de tiempo.

Además de los tipos de radiaciones, los rayos solares si no inciden perpendicularmente sobre las células fotovoltaicas, se disminuye la eficiencia de la placa y no genera la energía máxima deseada, estas pérdidas vienen dadas por los fenómenos de reflexión y absorción en las capas anteriores a la célula, como el vidrio, el encapsulante y capa antireflexiva. Por otro lado, tienen

que llevar un buen mantenimiento de las placas, por suciedad o por sombras. Dado que las células responden a los fotones que inciden y por cada longitud de onda se genera una corriente determinada.

Conociendo todos estos parámetros se puede saber que en las condiciones favorables un día despejado, a mediodía tiene una irradiancia de  $1000 \text{ W/m}^2$ , en un plano horizontal.

Por lo tanto, para hacer una instalación fotovoltaica, la radiación solar juega un papel importante, que está relacionada con el lugar, la hora y la estación del año. Esto quiere decir que la producción de energía nunca va a ser constante durante el año.

#### 6.1.4 Geometría solar

Para poder saber cuánta producción de energía podemos obtener, es necesario conocer la irradiancia solar en el lugar concreto de la instalación y la trayectoria del sol en las diferentes épocas del año, la situación del sol viene expresada por su altura y su azimut.

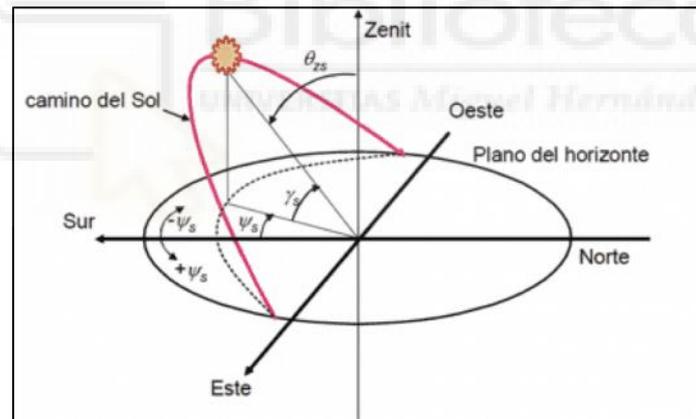


Figura 38: componentes en función del movimiento del sol. FUENTE [26].

Como se ha explicado en el punto anterior cuanto más perpendicular se encuentra el sol con respecto a la superficie terrestre (cuanto menor sea el ángulo Zenit\*), menor es la trayectoria de la radiación solar por la atmosfera. En contra, tenemos que para ángulos mayores (menor altura solar) el camino a seguir por la radiación solar en la atmosfera es mayor, lo que implica que la intensidad de la radiación es menor.

Por eso se define la masa de aire (AM) como el cociente entre la trayectoria óptica de un rayo solar y el correspondiente a la normal respecto a la superficie terrestre (ángulo Zenit 0) y que está relacionada con la altura solar.

En la siguiente figura podemos ver como varían los factores de masa de aire y altura solar

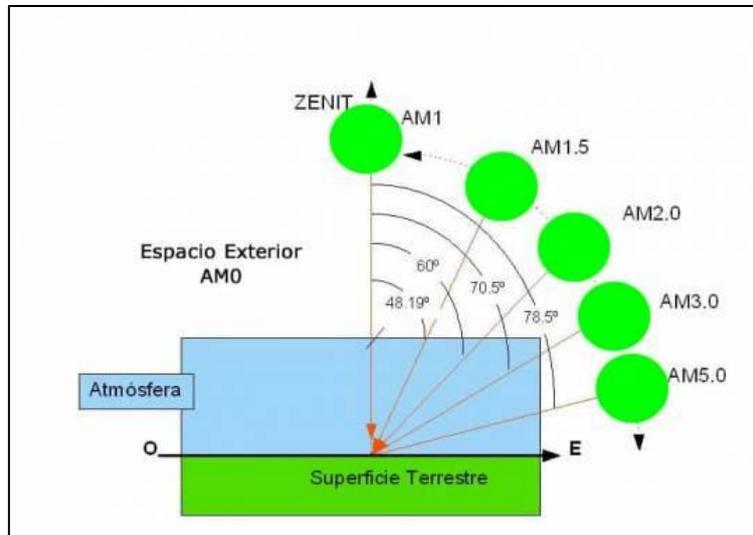


Figura 39: Factores de masa de aire y altura solar. FUENTE [26].

En conclusión, a diferencia de la orientación e inclinación del panel solar, que podemos adaptarlas para conseguir que la irradiancia sea máxima, pero el efecto de absorción de la atmósfera es algo que no se puede controlar, por lo que la cantidad de energía solar que se recibe realmente en la superficie terrestre es siempre inferior a la que se recibiría justo por encima de la atmósfera. Además de que a la latitud que nos encontremos la altura solar será diferente en cada día del año.

#### 6.1.5 Distribución espectral de la radiación solar

El sol genera su energía a través de reacciones nucleares de fusión en su núcleo. Esta generación proviene de la pérdida de masa en el sol, y esta se transforma en energía, como aparece reflejada en la ecuación de Albert Einstein publicada en la revista Times en 1946.

Esta energía se transmite en forma de radiación electromagnética, comportándose como una onda y una partícula, estas producen la oscilación de una carga eléctrica. Se propaga independientemente del medio, por eso la radiación producida por el sol incide sobre los planeta y estrellas. La longitud de onda y la frecuencia vienen relacionadas con la expresión:

$$\text{Longitud de onda} \cdot \text{frecuencia} = \text{Velocidad de la luz (C)}$$

Estas dos propiedades son necesarias para indicar su energía, visibilidad, poder de penetración, etc. La expresión anterior nos indica que da igual cual sea la frecuencia y longitud de la onda, todas se desplazan independientemente a la velocidad de la luz que es aproximadamente 299,792 km/s.

La radiación se emite sobre un espectro de longitudes de onda, cada una con una carga de energía diferente, la longitud de onda de la luz se expresa en nanómetros (nm) al ser longitudes muy cortas. Por lo que se puede ordenar un espectro en diferentes longitudes de onda. “El espectro electromagnético no tiene definidos límites superior ni inferior y la energía de una fracción diminuta de radiación, llamada fotón, es inversamente proporcional a su longitud de onda, entonces a menor longitud de onda mayor contenido energético.” [27]

En la siguiente imagen se puede observar como el sol se emite en las bandas de UV, visible y parte de infrarrojo, con longitudes de onda desde 200 nm a 3.000 nm. Entorno estas longitudes se encuentra la mayoría de flujo de energía. En muchas aplicaciones el sol se considera un cuerpo negro a 6000°K para la simplificación de los cálculos.

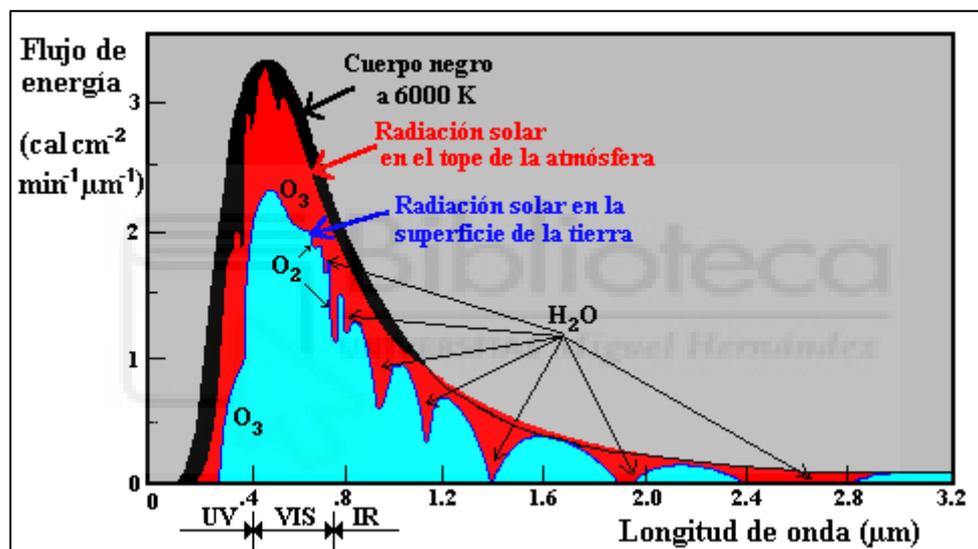


Figura 40: Distribución espectral de la radiación solar. FUENTE [28].

En conclusión, la caracterización de la radiación solar que incide sobre la Tierra es una tarea compleja, por estas 3 razones:

- La radiación solar se comporta de manera incierta, que hace impreciso determinarla
- El movimiento relativo del sol, dirigido por ecuaciones complejas, que determinan la posición del sol en cualquier punto del día respecta a cualquier lugar del planeta.
- La cantidad de modelos para poder caracterizar la radiación, obliga a utilizar cada uno depende de la aplicación.



## 6.2 Componentes de los módulos fotovoltaicos

### 6.2.1 Célula fotovoltaica

Las células fotovoltaicas son dispositivos de material semiconductor elaborados a base de silicio puro con dopantes químicos. Generan electricidad gracias a la radiación solar.

Esto ocurre porque la incidencia de la radiación solar, aparece como una tensión análoga a la que se produce entre las bornas de una pila. Mediante contactos metálicos en cada una de las caras puede extraerse la energía eléctrica que se utilizará para alimentar una carga.

Estas células están encapsuladas entre un vidrio templado y varias capas de material plástico. El conjunto se refuerza con perfiles metálicos de aluminio, formando un marco exterior, que su objetivo es dar firmeza y facilitar la fijación del módulo a la estructura del soporte.

Estos dispositivos se suelen montar en serie sobre módulos fotovoltaicos o paneles fotovoltaicos para conseguir el voltaje requerido. Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión y otra parte por transmisión, y el resto hace saltar de una capa a otra los electrones creando una corriente proporcional a la radiación incidente.

La mayor parte de los paneles se construyen asociando primero células en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado, y luego asociando en paralelo varias asociaciones en serie para alcanzar el nivel de corriente deseado.

### 6.2.2 Tipos de Células fotovoltaicas

El material que se utiliza habitualmente en la fabricación de células fotovoltaicas es el silicio (Si), es el material más abundante después del oxígeno; la combinación de ambos forma el 60% de la corteza terrestre.

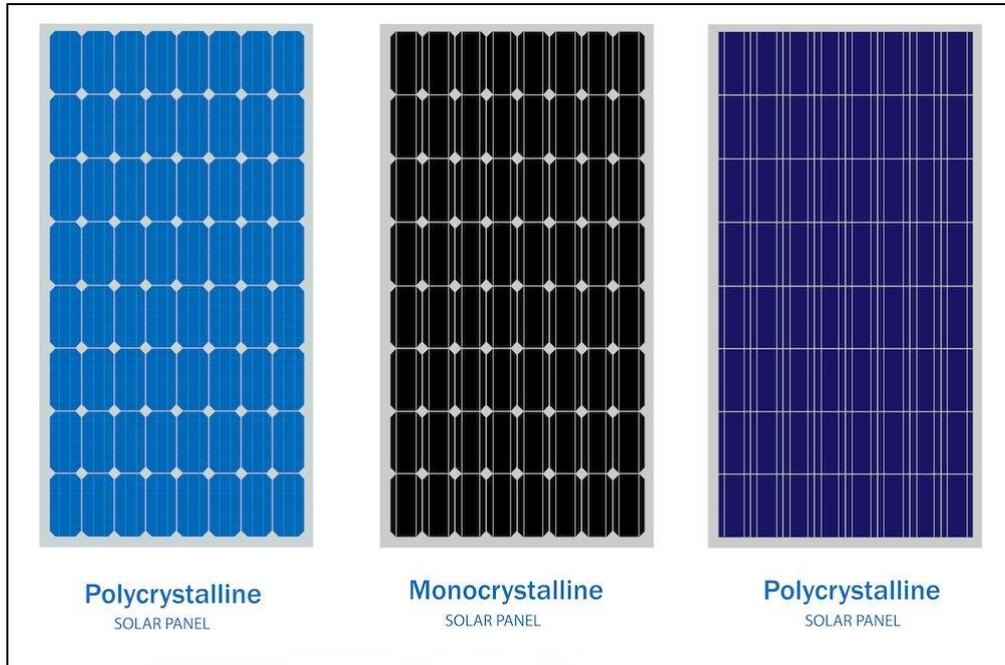


Figura 41: Tipos de células fotovoltaicas. FUENTE [29].

Existen tradicionalmente tres tipos de células de silicio:

- **Silicio monocristalino:** utiliza lingotes puros de silicio. Se producen mediante silicio fundido que después de solidifica formando un único cristal de grandes dimensiones. Luego se corta el cristal en delgadas capas que dan lugar a las células, son los más eficientes con rendimientos superiores al 20 %.

Tabla 13: Ventajas e inconvenientes de células de silicio monocristalino. FUENTE: Elaboración propia.

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buen rendimiento de 16% al 18%</li> <li>• Buena relación potencia-superficie (<math>170 \text{ W}_p/\text{m}^2</math>, lo que ahorra espacio en caso necesario)</li> <li>• Número de fabricantes elevado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste más elevado</li> </ul>

- **Silicio policristalino:** se fabrica a partir de restos de piezas de silicio monocristalino. Durante su enfriamiento se forman varios cristales. Su rendimiento es algo inferior, pero su menor coste ha contribuido a aumentar su uso.

Tabla 14: Ventajas e inconvenientes de células de silicio policristalino. FUENTE: Elaboración propia.

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Células cuadradas (con bordes redondeados en el caso de Silicio monocristalino) que aportan un mejor funcionamiento.</li> <li>• Eficiencia de conversión óptima, alrededor de <math>160 \text{ W}_p/\text{m}^2</math>, pero un poco menor que en el monocristalino, rendimiento alrededor del 16%).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo rendimiento en condiciones de baja iluminación.</li> </ul>

- **Silicio amorfo:** se obtiene por deposición de capas delgadas sobre vidrios. El rendimiento es bastante menor que los anteriores, por lo que se limita a aplicaciones de pequeña potencia.

Tabla 15: Ventajas e inconvenientes de células de silicio amorfo. FUENTE: Elaboración propia.

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funciona con una luz difusa baja (incluso en días nublados).</li> <li>• Un poco menos costosa que otras tecnologías.</li> <li>• Integración sobre soporte flexible o rígido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendimiento a pleno sol del 5% al 7%.</li> <li>• Rendimiento decreciente con el tiempo (~ 7%)</li> </ul>

Avanzando el desarrollo y la tecnología de las células fotovoltaicas se encuentran otro tipo de célula, denominada multi unión. Este tipo tiene una alta eficiencia y han sido desarrolladas para aplicaciones espaciales. Las células multiunión están formadas por varias capas delgadas.

Una célula de triple unión, se compone de semiconductores GaAs, Ge y GaInP2. Cada tipo de semiconductores se caracterizan por un máximo de longitud de onda, pasando de ese valor no es capaz de convertir los fotones en energía eléctrica.

Por otro lado, debajo de esa longitud de onda, el exceso de energía se pierde. Por eso se utiliza una selección específica de materiales para que la longitud de onda se acerque lo máximo



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

posible del uno al otro, de forma que absorba la mayoría de espectro solar, generando un máximo de electricidad a partir del flujo solar.

Actualmente se han obtenido eficiencias del 40%, pero se espera poder incrementarlo con células de puntos cuánticos todavía en fase de laboratorio.

### 6.2.3 Módulo fotovoltaico

Un módulo fotovoltaico produce electricidad en corriente continua, sus parámetros fundamentales son la intensidad y el voltaje, que a su vez estos fluctúan debido a la radiación solar y temperatura ambiente. Aún que la electricidad producida este en corriente continua, existen dispositivos conversores que transforman la corriente continua en corriente alterna. Esta conversión es necesaria para algunos aparatos que funcionan en dichas condiciones o bien ser transformada a las mismas características que la electricidad de la red eléctrica tradicional, estos dispositivos reciben el nombre de inversores.

La intensidad de la corriente de cortocircuito se comporta de forma proporcional al variar la intensidad de la radiación, es decir, si aumenta una aumenta la otra en la misma proporción.

La temperatura está relacionada de manera inversamente proporcional con la tensión en vacío, esto quiere decir que si el valor de la tensión baja, la temperatura aumenta.

### 6.2.3.1 Elementos

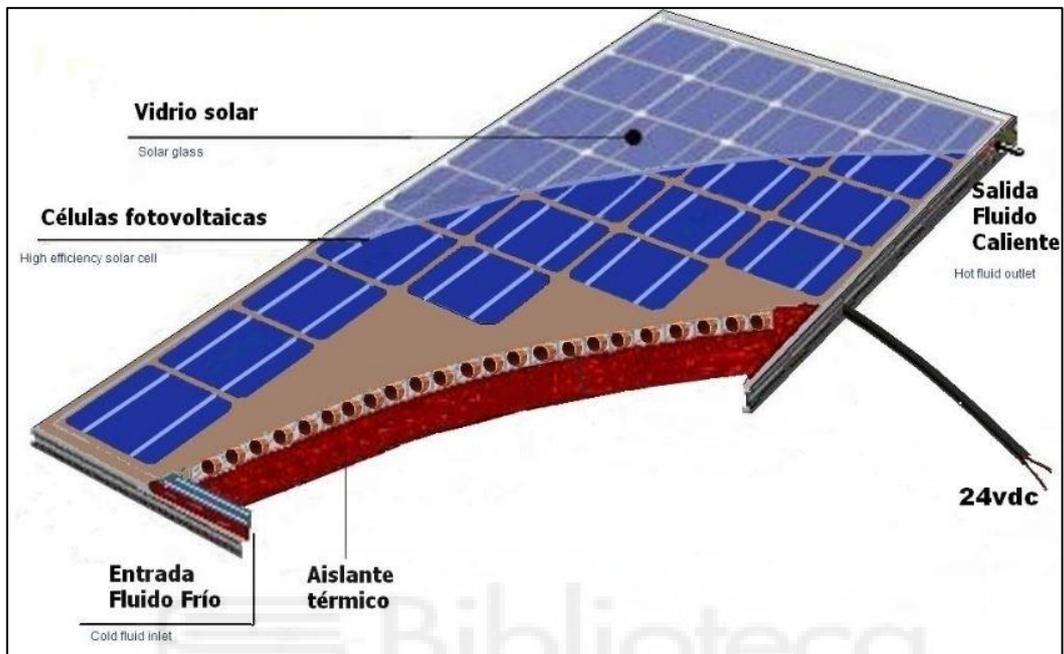


Figura 42: Elementos de un panel solar. FUENTE [30].

- **Cubierta exterior:** es la parte externa en la que incide directamente el sol. Elaborada con vidrio y favorece la transmisión de los rayos solares. Tiene que tener bajo porcentaje en hierro y resistente.
- **Cápsula:** suele estar fabricada con silicona. Su función es la de encapsular las radiaciones y que no se produzca ninguna pérdida.
- **Celda fotovoltaica:** está situada en el centro, el material más utilizada en su fabricación es el silicio con estructura cristalina.
- **Plancha de la base:** es el apoyo de todo el panel y se fabrica con revestimiento de un polímero termoplástico, y en su interior con aluminio o vidrio.
- **Cableado salida a tierra:** su papel es proteger de la conductividad eléctrica de los paneles.

- Los diodos de bypass:** estos elementos evitan que en caso de sombreado de parte del módulo se produzcan resistencias o puntos calientes. Su funcionamiento se caracteriza porque en condiciones normales sin sombras, se crea una tensión de negativo a positivo en el diodo de bypass, es decir, el diodo no conduce la corriente y es como si no estuviese conectado, en cambio cuando produce sombras parte de las células dejan de generar tensión y se comporta como una resistencia provocando una caída de tensión que invertirá la polaridad en el diodo, el diodo se abre y permite el paso de la corriente a través de él. En la siguiente figura podemos observar este efecto.

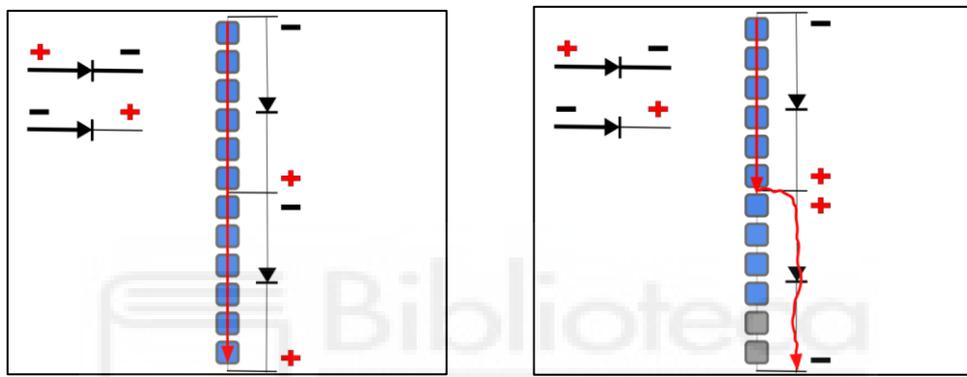


Figura 43: Diodos en condiciones normales y diodos con efecto sombra. FUENTE [31].

### 6.2.3.2 Estructura

Los parámetros característicos de la estructura es su orientación y el ángulo de inclinación que ofrece para cada módulo fotovoltaico, tiene que ser fácil de montar y desmontar para su modificación o mantenimiento. La estructura tiene que aportar la máxima producción de energía por eso los factores que hay que tener en cuenta son una buena orientación e inclinación, y ausencia de sombras.

Los tipos de estructuras que existen son:

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

- **Estructuras fijas:** la orientación depende de en qué emplazamiento se situó la instalación si nos situamos arriba de la línea del ecuador se orientará hacia el sur y si nos situamos por debajo hacia el norte. El inconveniente de que sea fija es que la posición del sol varía conforme suceden los días entorno a un año.



Figura 44: Estructura fija. FUENTE [32].

- **Estructuras con seguimiento solar:** Las estructuras móviles se sitúan en la posición óptima para que la irradiación solar recibida por el generador fotovoltaico, sea máxima a lo largo del día.



Figura 45: Estructuras con seguimiento solar. FUENTE [33].

Las normativas y requisitos de las estructuras de módulos fotovoltaicos La estructura soporte deberá cumplir requisitos de montaje de acuerdo con la normativa básica de edificación NBE-AE-88.

- Deberá ser capaz de resistir con los módulos instalados, las sobrecargas del viento y nieve; la estructura deberá estar protegida superficialmente contra la acción de agentes ambientales.
- En lo que se refiere al diseño, la construcción de la estructura y el sistema de fijación de los módulos, deberemos asegurar que el conjunto soporte es capaz de aguantar las dilataciones térmicas necesarias, sin que se transmitan cargas que afecten la integridad de los módulos.
- Para la sujeción del módulo deberemos tener en cuenta el área de apoyo y posición relativa, de manera que no se produzcan flexiones superiores a las permitidas para el diseño específico del módulo.
- La tornillería deberá cumplir la normativa MV-106; en caso de tratarse de una estructura galvanizada, se admitirá el uso de tornillos galvanizados, excepto las sujeciones de los módulos a la estructura, que deberán ser de acero inoxidable.
- Se dispondrán las estructuras soportes necesarias para montar los módulos sobre superficies planas, como integrados sobre tejado, para minimizar el efecto del sombreado.
- En caso de instalaciones integradas en cubierta de edificios, el diseño de la estructura y la estanquidad entre los módulos se ajustarán a las exigencias de las normas básicas de la edificación y a las técnicas usuales en la construcción de cubiertas.
- Si está construida con perfiles de acero laminado en frío, cumplirá la normativa MV-102 para garantizar todas sus características mecánicas y de composición química.
- Si es de tipo galvanizada en caliente, cumplirá las normas UNE 37-501 y UNE 37-508, con un espesor mínimo de 80 micras para eliminar las necesidades de mantenimiento y prolongar su vida útil.

6.2.3.3 Parámetros y curva característica de un módulo fotovoltaico

La irradiancia que incide en los módulos fotovoltaicos genera una energía para poder ser aprovechada en cualquier dispositivo que funcione mediante electricidad, esta energía genera valores de tensión y corriente que varían en función de la temperatura e irradiancia.

A continuación, tenemos que en la siguiente figura que corresponde a la curva característica de la placa fotovoltaica, que ella se puede observar cómo se relacionan sus parámetros característicos, esencialmente la intensidad y el voltaje.

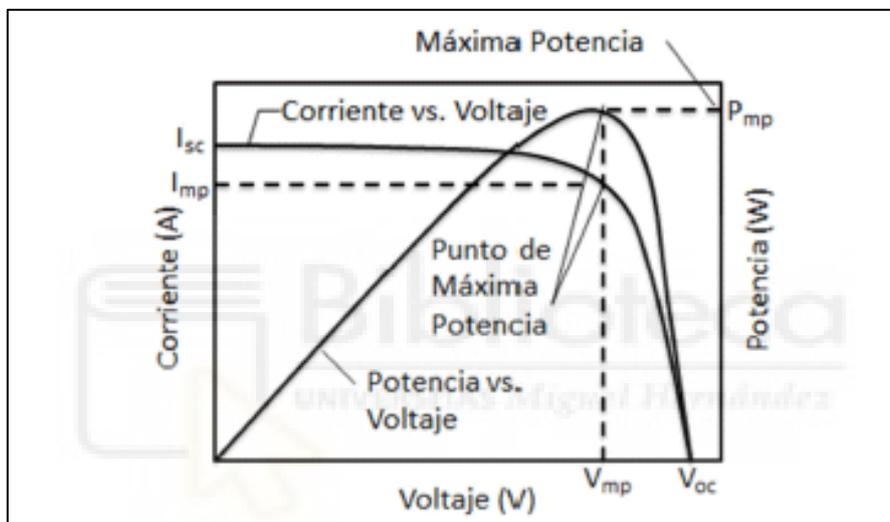


Figura 46: Curva de productos corriente-voltaje y curva I-V. FUENTE [34].

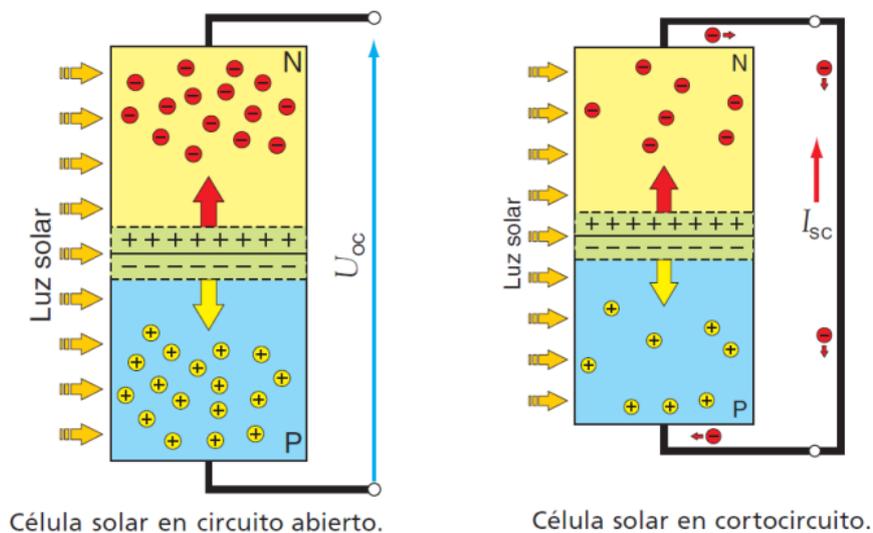


Figura 47: Célula solar en circuito abierto y en cortocircuito. FUENTE [35].

Los parámetros más destacados son:

- **Potencial nominal o máxima** ( $P_{mp}$ ), es la potencia pico, el máximo valor de potencia que puede generar un módulo. Se obtiene por la multiplicación del voltaje e intensidad máxima, con valores estándar de prueba.
- **Tensión de circuito abierto** ( $V_{oc}$ ), es el valor de máxima tensión si no circulara corriente por los bornes del panel, es decir, la intensidad es nula.
- **Intensidad de cortocircuito** ( $I_{sc}$ ), su valor es máximo en estas condiciones y la tensión es nula.
- **Tensión en el punto de máxima potencia** ( $V_{mp}$ ), normalmente está en 80% en función de la de vacío.
- **Intensidad de corriente máxima** ( $I_{mp}$ ), el valor de intensidad en máxima potencia.
- **Temperatura de operación nominal** (NOCT), es la temperatura que alcanza las células en condiciones normales, es decir, a 20°C y con una irradiancia de 800 W/m<sup>2</sup>. Esta temperatura tiene relación en cuanto influye en cuanto a la potencia, si esta es menor se generará más potencia
- **Factor de forma** (FF) es la relación que existe entre la potencia máxima y el producto de la intensidad de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) y la tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ). Si su valor es alto es porque se trata de una célula eficaz. Cuando es bajo el valor quiere decir que la célula no está funcionando correctamente, debido a pérdidas de eficiencia. Una célula tiene buena calidad a partir de valores superiores a 0,7.
- **La eficiencia**, es la relación entre la potencia extraída del módulo y la potencia de radiación que se extrae del sol.

#### 6.2.3.4 Medida específica de potencia y parámetros específicos

Los módulos se miden en unas condiciones determinadas denominadas condiciones estándar: 1000 W/m<sup>2</sup> de radiación solar y 25 °C de temperatura de las células fotovoltaicas. La potencia máxima generada en estas condiciones se mide en  $W_p$  (vatios pico). A esta potencia se le denomina como potencia nominal del módulo. Produce una corriente continua comprendida entre 3 y 4A, una tensión aproximadamente de 0,5V y una potencia correspondiente de 1,5-2 $W_p$ .

La energía producida por estos sistemas solares se calcula multiplicando su potencia nominal por el número de horas sol pico, dado que no en todas las horas de sol se produce la misma intensidad considerada como pico (1000 W/m<sup>2</sup>). El número de horas de sol pico de un día

concreto se obtendrá dividiendo toda la energía producida en ese día ( $\text{Wh/m}^2$ ) entre  $1000 \text{ W/m}^2$ .

### 6.2.3.5 Factores principales que afectan a los paneles

Anteriormente se ha comentado los diferentes parámetros que definen las características de los módulos, estos parámetros son influyentes a la hora de su funcionamiento.

Por lo que en función de la carga que se alimente, la temperatura, el grado de inclinación con los rayos solares, la radiación solar en el lugar determinado de la instalación, el módulo producirá una potencia eléctrica determinada.

Los factores que más intervienen en el funcionamiento del módulo son la radiación incidente que como se ha explicado en el apartado 6.1.5, varía durante el día y la época del año, además de la temperatura del panel en exposición al sol. Cuanto menos sea la radiación menos potencia generará el panel, en cambio con la temperatura sucede, al contrario, a menor temperatura mayor potencia extraerá.

En las siguientes gráficas podemos observar cómo varía la potencia en función de los dos parámetros fundamentales como se ha explicado en el apartado 6.2.3.3, estas gráficas son las curvas características de los paneles fotovoltaicos para diferentes valores de potencia y voltaje e intensidad y voltaje.

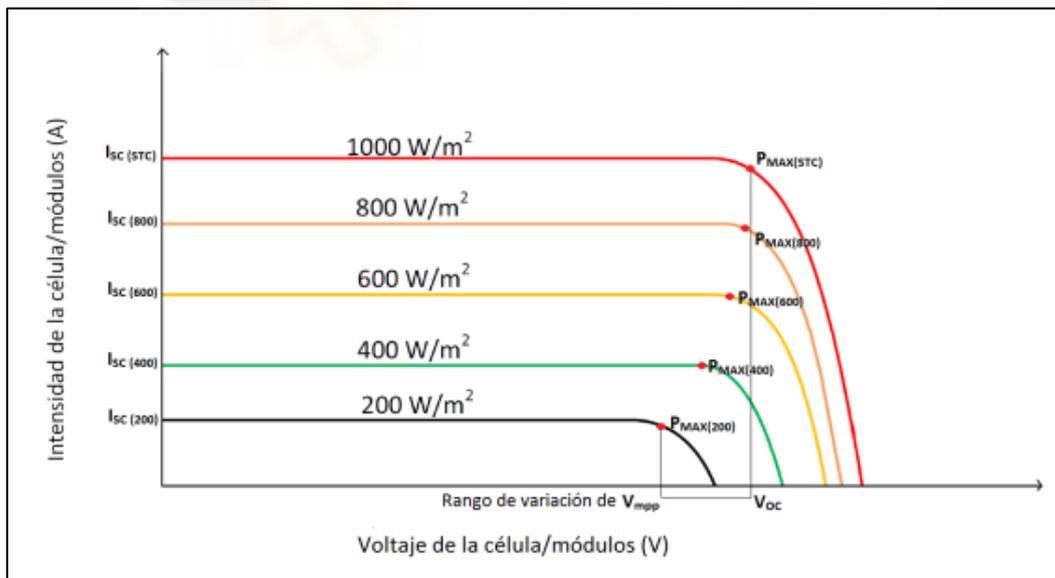


Figura 48: Curvas de potencia para diferentes intensidades y voltajes. FUENTE [35].

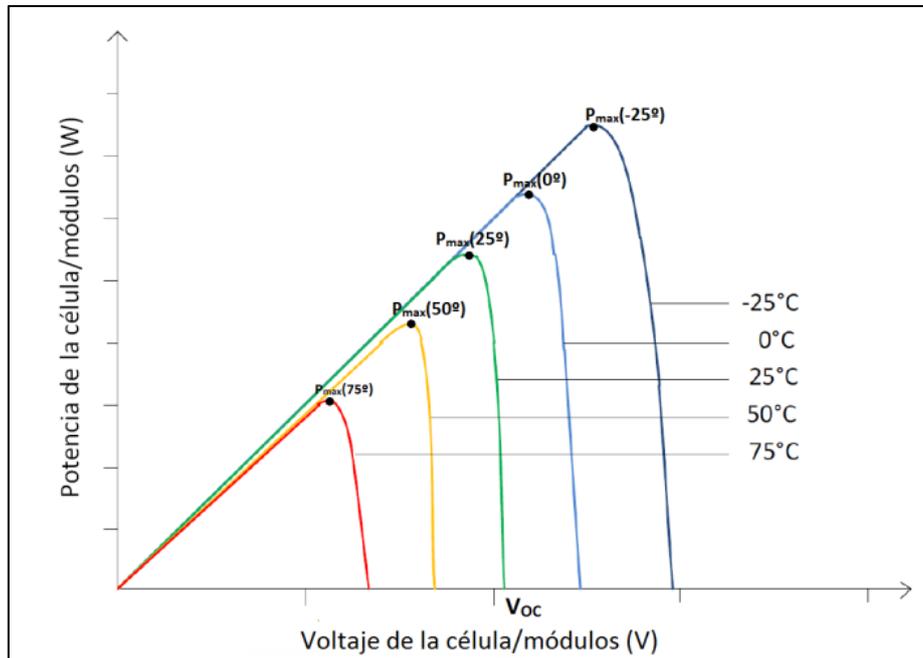


Figura 49: Curva característica en función del voltaje y potencia. FUENTE [35].

### 6.2.3.6 Interconexión de los módulos fotovoltaicos

En el dimensionamiento de cualquier instalación, para calcular la potencia es preciso tener en cuenta más de un módulo en la conexión para poder generar la potencia específica que necesita producir la instalación. Hay dos tipos de conexiones estas son en serie y paralelo o combinadas, adaptando la intensidad y la tensión en función del inversor y/o regulador.

Varios módulos en serie se conocen como string o cadena y varios string conectados en paralelo forman un campo o array. A demás para poder interconectar los módulos deben de tener las mismas curvas característica y evitar las pérdidas que pueden producir el conjunto de placas.

- **Módulos en serie:** la conexión se realiza de forma que la entrada positiva se conecta la entrada negativa del módulo siguiente y así sucesivamente. La salida del string será la conexión positiva del primer módulo.

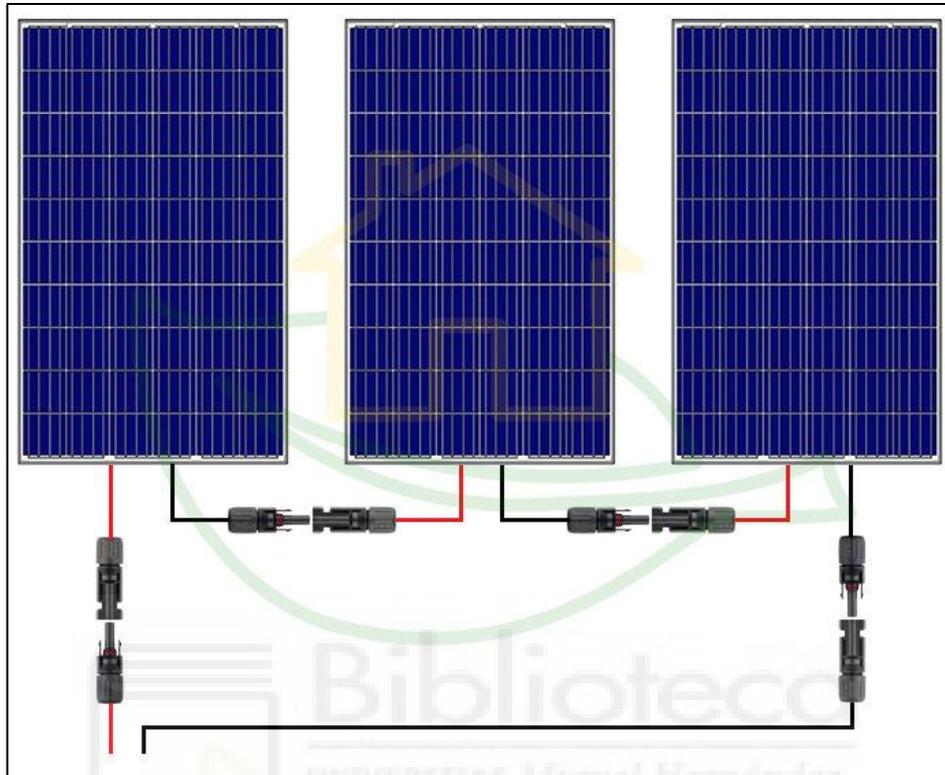


Figura 50: Conexión en serie. FUENTE [36].

- **Módulos en paralelo:** en este caso se conectan todas las entradas positivas y todas las entradas negativas y la salida será la entrada positiva y negativa de cualquier módulo. Todos los módulos tienen el mismo voltaje, pero la intensidad es la suma de todas las intensidades de todos los módulos.

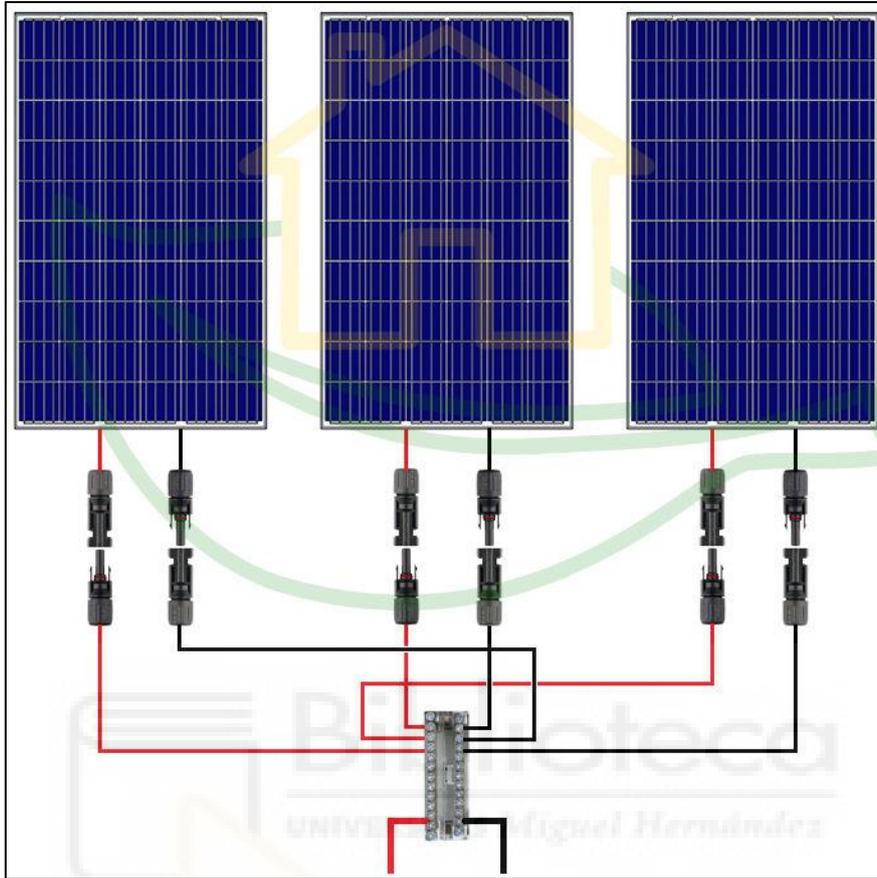


Figura 51: Conectados en paralelo. FUENTE [36].





**CAPÍTULO 7:  
ELEMENTOS DE LAS  
INTALACIONES  
ENERGÉTICAS  
AUTÓNOMAS**

Biblioteca  
Universitarias Miguel Hernández

## CAPÍTULO 7: ELEMENTOS DE UNA INSTALACIÓN AUTÓNOMAS

### 7.1 Acumuladores de energía

Los acumuladores de energía o baterías son un gran apoyo en instalaciones autónomas de sistemas de generación de energía. Proporcionan la energía a las instalaciones durante los periodos sin luz solar, viento o cuando las condiciones climatológicas no son idóneas para la producción de energía. Acumulan energía para la instalación.

Este hecho hace necesario la utilización de un equipo de almacenamiento de energía para los momentos en que no se produzca generación de energía.

Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. El funcionamiento en una instalación será la siguiente:

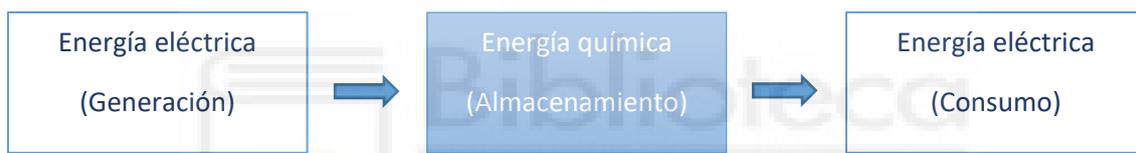


Figura 49: Esquema de funcionamiento del acumulador. FUENTE: Elaboración propia.

Se recargan de forma que la electricidad producida por los generadores de energía, a través de un regulador de carga, y entregan su energía a la salida de la instalación, donde será consumida.

Las misiones fundamentales de las baterías son:

- Almacenar energía durante un determinado número de días.
- Proporcionar una potencia instantánea elevada
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

El parámetro más importante de los acumuladores de energía es la capacidad. Se define como la cantidad de electricidad que es capaz de acumular partiendo de un estado de carga total del mismo. Las unidades de medida son los amperios hora (Ah), y se calcula como el producto de la intensidad de descarga de la batería durante el tiempo en el que está actuando:  $C=t \cdot I$ .

Los otros parámetros característicos son:

- **Eficiencia de carga:** es la relación que existe entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Interesa que sea un valor lo más alto posible (próximo al 100%, lo que significa que está preparado para que sea factible de ser empleada en la salida de la instalación). Si la eficiencia es baja, será necesario aumentar el número de paneles solares para obtener los resultados deseados.
- **Autodescarga:** proceso mediante el cual el acumulador tiende a descargarse
- **Profundidad de descarga:** cantidad de energía, en tanto por ciento, que se obtiene de la batería durante una determinada descarga, partiendo del acumulador totalmente cargado. Está relacionada con la duración o vida útil del acumulador. Si los ciclos de descargas son cortos (en torno al 20%, por ejemplo), la duración del acumulador será mayor que si les somete a descargas profundas (por ejemplo, del 80%).

A continuación, tenemos las características principales de una batería a utilizar en una instalación:

- Buena resistencia al ciclado (proceso de carga-descarga)
- Bajo mantenimiento
- Buen funcionamiento con corrientes pequeñas
- Amplia reserva de electrolito
- Depósito para materiales desprendidos
- Vasos transparentes
- Tener larga vida útil.

Las baterías se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados como aparece en la siguiente tabla:

Tabla 16: Tipos de baterías. FUENTE: Elaboración propia.

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	Nº de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5%	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20%	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20%	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6%	Medio-bajo	110-160 Wh/kg	Alto

Las más utilizadas son las de plomo-ácido, por las características que presentan. Dentro de este tipo de baterías, existen diferentes modelos. En la siguiente tabla aparecen los diferentes modelos de baterías de plomo-ácido que se utilizan, con sus ventajas e inconvenientes.

Tabla 17: Ventajas e inconvenientes de los tipos de baterías. FUENTE: Elaboración propia.

Tipo	Ventajas	Inconvenientes
Tubular estacionaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciclado profundo</li> <li>• Tiempos de vida largos</li> <li>• Reserva de sedimentos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio elevado</li> <li>• Disponibilidad escasa en determinados lugares</li> </ul>
Arranque (SLI, automóvil)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio</li> <li>• disponibilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes</li> <li>• Tiempo de vida corto</li> <li>• Escasa reserva de electrolito</li> </ul>
Solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricación similar a SLI</li> <li>• Amplia reserva de electrolito</li> <li>• Buen funcionamiento en ciclados medios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo de vida medios</li> <li>• No recomendada para ciclados profundos y prolongados</li> </ul>
Gel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escaso mantenimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de V-I</li> </ul>

En las instalaciones que tengan descargas profundas y se necesiten gran capacidad, el mejor tipo de batería a usar son las tubulares estacionarias. Normalmente en viviendas autónomas

Si la instalación es de pequeñas dimensiones, o de difícil mantenimiento, las baterías de gel son las más apropiadas, pero es necesario vigilar que no se produzcan ciclos de descargas profundos.

Es importante conocer que el efecto de la temperatura influye en el funcionamiento de los acumuladores. La capacidad aumenta a medida que sube la temperatura, y al revés, disminuye cuando baja la temperatura del lugar donde se encuentra ubicados.

La implantación de la batería se realiza conectando vasos individuales hasta obtener las condiciones de tensión y capacidad correspondientes de la instalación, en el caso de las tubulares estacionarias. En las baterías monoblock, la tensión de trabajo debe estar acorde con la de la instalación y la potencia que va a consumir la misma.

La conexión de las baterías se produce de dos formas diferentes:

- **Conexión en paralelo:** permite obtener una salida dos veces de la capacidad d las baterías individuales, manteniendo el mismo voltaje.

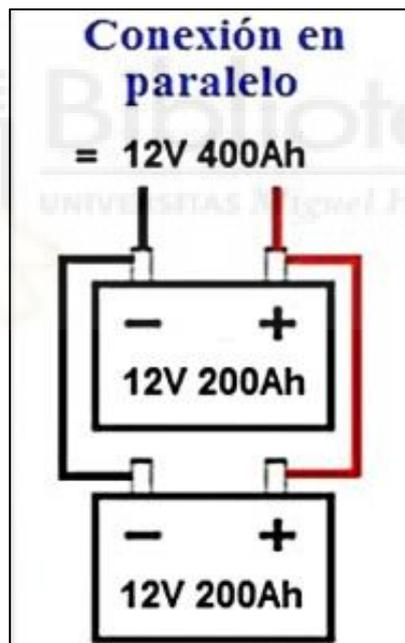


Figura 52: Conexión en paralelo. FUENTE [37].

- **Conexión en serie:** en este caso las baterías conectadas de esta forma consiguen dos veces la tensión, manteniendo la misma capacidad. Es necesario para cumplir con el voltaje requerido para el funcionamiento óptimo de la instalación.

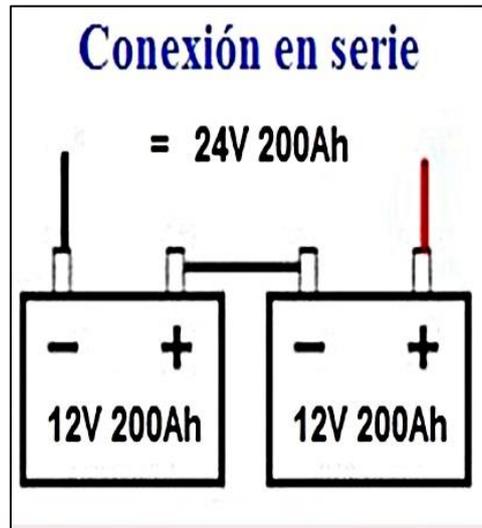


Figura 53: Conexión en serie. FUENTE [37].

Las características específicas para una batería en una instalación de conexión aislada son:

- **La tensión de operación**
- **La autodescarga**, es decir la pérdida de carga de la batería cuando está en circuito abierto, se expresa como el porcentaje de la capacidad nominal, medida durante un mes a temperatura ambiente de 25°C.
- **La capacidad nominal:**  $C_{20}$  (Ah), que es posible extraer de una batería en 20 horas y a temperatura ambiente, hasta que la tensión entre sus terminales llegue a 1.8V/vaso. Para todos los regímenes de carga, se pueden usar las relaciones empíricas siguientes.

$$\frac{C_{100}}{C_{20}} = 1,25$$

$$\frac{C_{40}}{C_{20}} = 1,14$$

- **La capacidad útil** definida como la capacidad disponible o utilizable de la batería. Se define como el producto de la capacidad nominal y la profundidad máxima de descarga permitida, PDmax.
- **El estado de carga**, definido como el cociente entre la capacidad de una batería parcialmente cargada y su capacidad nominal.

- **La profundidad de descarga  $P_D$** , se define como el cociente entre la carga extraída de una batería y su capacidad nominal. Se expresa habitualmente como porcentaje (%).
- **El régimen de carga o descarga**, es el parámetro que relaciona la capacidad nominal de la batería y el valor de la corriente a la cual se carga o descarga la batería. Normalmente lo expresamos en horas, y se utiliza un subíndice en el símbolo de la capacidad y de la corriente. Por ejemplo, si una batería de 100Ah se descarga a 20 horas a una corriente de 5A, se dice que el régimen de descarga es 20 horas, por lo que,  $C_{20} = 100\text{Ah}$ , y la corriente se expresa como  $I_{20} = 5\text{A}$ .
- **Las baterías serán de Pb-ácido**. No se permitirá el uso de baterías de arranque.
- Para asegurar una adecuada recarga de las baterías, **la capacidad nominal del acumulador no excederá 25 veces la corriente de cortocircuito en CEM del generador fotovoltaico**. En el caso de que la capacidad del acumulador elegido sea superior a dicho valor, por ejemplo, para ampliar la autonomía del sistema, se justificará en la memoria de la solicitud.
- La **máxima capacidad de descarga** respecto a la capacidad nominal del acumulador, no excederá **el 80%** en instalaciones donde se prevea que descargas tan profundas no serán frecuentes.
- En las instalaciones donde la sobredescarga sea habitual, como alumbrado público, la **máxima profundidad de descarga no superará el 60%** de su capacidad nominal.
- Las baterías se **protegerán** especialmente frente a sobredescargas, mediante el uso de **un electrolito gelificado** de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
- La **capacidad inicial del acumulador será superior al 90% de la capacidad nominal**. En cualquier caso, deberemos seguir las recomendaciones del fabricante para aquellas baterías que requieran cierta carga inicial.
- La autodescarga del acumulador a **25°C**, no excederá **el 6% de su capacidad nominal** por mes.
- La **vida** del acumulador, antes de que su capacidad residual caiga por debajo del 80% de su capacidad nominal, debe ser **superior a 1000 ciclos**, cuando se descarga el acumulador **hasta una profundidad del 50%**.

- El **acumulador se instalará siguiendo las instrucciones del fabricante**. En cualquier caso, ha de tenerse en cuenta lo siguiente:
  - El acumulador se situará en un lugar ventilado y con acceso restringido
  - Se adoptarán las medidas de protección necesarias para evitar los cortos circuitos accidentales de los terminales del acumulador.
  
- Cada **batería o vaso**, deberá estar **etiquetado**, al menos con la siguiente información:
  - Tensión nominal (V)
  - Polaridad de los terminales
  - Capacidad nominal (Ah)
  - Fabricante y número de serie

## 7.2 Reguladores de carga

Nexo de unión entre los sistemas de generación de energía, la batería y los elementos de consumo de la instalación. Se encarga también de proteger a los acumuladores ante sobrecargas con el fin de alargar su vida útil. Proporciona a su salida la tensión continua para la instalación. Fija el valor de la tensión nominal a la que trabaja la instalación.

El regulador por lo tanto trabaja en dos zonas. En la parte relacionada con la carga, su misión es de garantizar una carga suficiente al acumulador y evitar situaciones de sobrecarga, y en la parte de descarga se ocupará de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería.

Dado que los sistemas de energía tienen una tensión nominal de funcionamiento mayores y distintas que de la batería, si o existiera el regulador se podría producir sobrecargas.

El motivo de que esta tensión nominal de los sistemas de generación de energía sea así se debe fundamentalmente a que puede atenuar posibles disminuciones de tensión debido al aumento de la temperatura y asegurar la carga correcta de la batería.

El dimensionamiento de la instalación se realiza de forma que en las peores condiciones climatológicas que no sean idóneas para que asegure el suministro de energía. Por eso se tienen en cuenta las condiciones más desfavorables en el mes más desfavorable del año. Esto le da importancia al regulador ya que se dimensiona en las peores condiciones, pero cuando las condiciones son favorables la instalación puede llegar a producir el doble de energía, si no estuviera el regulador crearía un exceso de corriente que podría llegar a hacer hervir el electrolito de los acumuladores, con el riesgo que eso conlleva.

la regulación de la intensidad de carga de las baterías dependiendo de las funciones del regulador:

- **Igualación:** el regulador de carga permite automáticamente la igualación de cargas de los acumuladores tras un periodo de tiempo en el que el estado de carga ha sido bajo, reduciendo al máximo la gasificación de electrolito en caso contrario.
- **Carga profunda:** Tras la igualación, el regulador de carga permite la entrada de corriente de carga a los acumuladores sin interrupción, hasta que se alcanza el nivel máximo de carga, es entonces cuando interrumpiendo la carga, el sistema de control del regulador pasa a la siguiente fase de flotación. Cuando se alcanza el punto máximo de carga, la batería ha alcanzado un nivel de carga próximo al 90% de su capacidad total, en la siguiente fase de flotación se completará el 100% de la capacidad total de carga de la batería.
- **Carga final y flotación:** La carga final de la batería se hace en una zona denominada banda de flotación dinámica (BFD), el BFD es el rango de tensión cuyos valores se fijan entre la capacidad total de carga y la tensión nominal de la batería. Una vez alcanzado el voltaje total de carga de la batería, el regulador de corriente inyecta una corriente mínima al sistema, denominada corriente de flotación, tal que permita mantener la batería a plena carga, y en caso de que el sistema consuma energía, se compensa la autodescarga de las baterías.

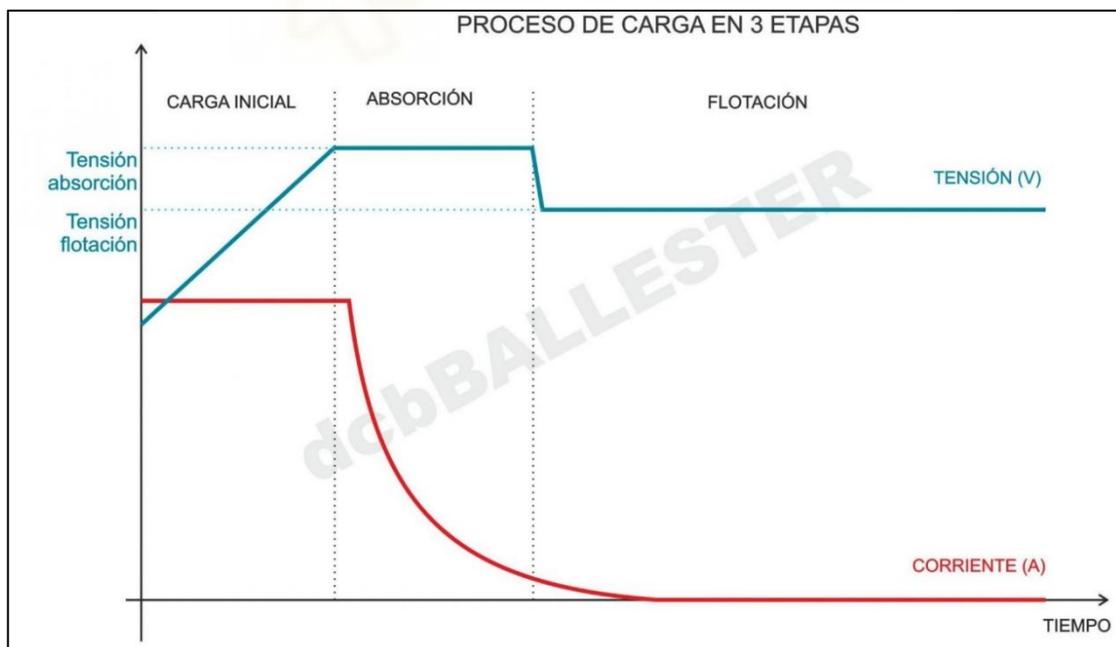


Figura 54: Fases de carga del acumulador. FUENTE [38]

Todos estos detalles quedan recogidos en estas dos características principales de funcionamiento de los reguladores de carga:

- **El voltaje de desconexión de las cargas de consumos**, el cual corresponde al valor de carga de la batería por debajo del cual se interrumpe el suministro de electricidad a los consumos.
- **El voltaje final de carga**, es el valor de la tensión de la batería por encima del cual se interrumpe la conexión entre el generador FV y la batería o se reduce gradualmente la corriente media entregada por el generador FV.

Los tipos de reguladores en función de cómo se clasifican aparece en la siguiente tabla:

Tabla 18: Tipos de reguladores. FUENTE: Elaboración propia.

	TIPO DE REGULADOR
Según tecnología del interruptor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relé electromagnético</li> <li>• Estado sólido (MOSFET, IGBT...).</li> </ul>
Según estrategia de desconexión del consumo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por tensión</li> <li>• Por algoritmos de cálculo del estado de carga.</li> <li>• Por otros algoritmos de gestión de la energía</li> </ul>
Según posición del interruptor de control de generación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Serie</li> <li>• paralelo</li> </ul>

En el mercado podemos encontrarnos dos tipos de reguladores de carga:

- **Regulador de carga PWM (modulación por anchura de pulsos):**

se caracteriza porque en su interior dispone de un solo diodo, por los que los módulos trabajan a la misma tensión que las baterías solares. Esto produce que los módulos no trabajen en su punto de máxima potencia, sino en el que impone la batería según su estado de carga, produciendo pérdida de potencia, que puede llegar a 25-30%.

La principal ventaja es que son capaces de llenar por completo la batería gracias a que introduce la carga de forma gradual, a pulsos de tensión, en la fase de flotación, fase de llenado último de la batería, así la corriente se almacena de manera óptima y estable.

- **Regulador de carga MPPT o maximizador solar disponible:**

se compone de un diodo de protección, de un convertidor de tensión CC-CC y de un seguidor del punto de máxima potencia. Esto permite dos cosas:

- El convertidor de tensión CC-CC (de alta tensión en el campo fotovoltaico a baja tensión en las baterías) permite trabajar a tensiones diferentes en el campo fotovoltaico y en las baterías.
- El seguidor del punto de máxima potencia adapta la tensión de funcionamiento en el campo fotovoltaico a la que proporcione la máxima potencia

En conclusión, el regulador MPPT la energía que entra y sale del regulador es igual a la de los reguladores de PWM, pero la tensión y la corriente son diferentes a un lado y a otro. Con esto se consigue aumentar la tensión del panel solar y aumentar la producción solar hasta un 30% respecto a los PWM. Se reducen las pérdidas energéticas ocasionadas con bajas tensiones, por lo que los reguladores MPPT se utilizan en aplicaciones para potencias fotovoltaicas elevadas, donde se busca generar el máximo de energía.

En instalaciones aisladas el regulador solar se puede elegir libremente en función de los objetivos de la instalación.

Los fabricantes nos proporcionan los valores de trabajo del regulador sobre una hoja de características. En las hojas aparecerán:

- Características físicas del regulador: peso, dimensiones, material empleado en su construcción, etc.
- Características eléctricas: tensión nominal, intensidad máxima en generación, intensidad máxima de consumo, pérdida máxima de generación/consumo, sobrecarga, autoconsumo, etc.
- Normas de seguridad que cumple.

También se tienen en cuenta otros aspectos como las medidas de seguridad, etc. El regulador debe proteger tanto la instalación como a las personas que la manejan, por lo que tienen que tener sistemas que proporcionen medidas de seguridad adecuadas para cada caso. Esto es información muy importante debidamente aportada por el fabricante.

En los catálogos aparece el tipo de regulación que tiene (serie o paralelo), el tipo de batería que podemos conectar a la salida del equipo, así como todas las alarmas que proporciona ante un mal funcionamiento, y las protecciones que lleva.

El principio de funcionamiento se basa en el paso que toma la corriente de carga, respecto al banco de baterías. En paralelo el voltaje de la batería alcanza un valor predeterminado, quiere decir, que la batería está cargada, la corriente de los generadores es desviada a un circuito que está en paralelo con las baterías, en circuito consta de una resistencia que se encarga de disipar

la energía eléctrica en forma de calor. Cuando la tensión de carga de las baterías baja por debajo de un valor mínimo que establece el fabricante, el proceso de carga se reestablece.

Tanto en el control en paralelo como en serie, el máximo valor de la intensidad de la carga depende del voltaje entre la salida de los paneles y el de las baterías. En paralelo la intensidad de carga existe o se anula completamente. En el control en serie, depende de su diseño, ya que tiene un proceso muy parecido o de valor variable.

Como anteriormente se ha explicado el diseño depende de la corriente de carga. Las características comunes que presentan son las siguientes:

- Alternan periodos activos de cargas con periodos de inactividad
- La acción del circuito depende del estado de carga del banco de baterías

Durante el periodo activo, algunos modelos usan un voltaje de carga constante, mientras que en otros el voltaje está limitado por la diferencia de voltaje que existe entre los generadores y las baterías. La configuración del regulador en serie, suele utilizarse cuando se trata de una carga grande, mientras que la configuración en paralelo suele ser utilizada cuando la carga es pequeña; en este caso, el circuito está protegido frente cortocircuitos.

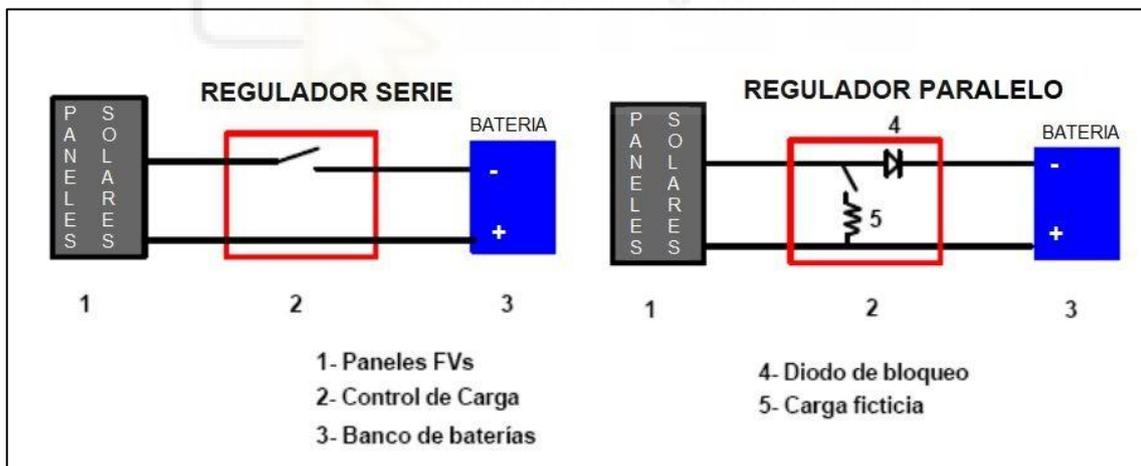


Figura 55: Reguladores de carga conectados en serie y paralelo. FUENTE [39].

Las diferencias que existen entre las dos configuraciones son:

- El regulador en paralelo impide que las variaciones de corriente de carga de la batería aparezcan en el generador
- La energía disipada en forma de calor en el regulador en serie aumenta en proporción directa con la carga de la batería, mientras que en el regulador en paralelo disminuye al aumentar la carga

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

- El regulador en paralelo incorpora un elemento más, que evita la rotura del generador en caso de que falte la carga, además de disipar calor. Por lo que, para una entrada y salida determinada con carga idéntica, la potencia la potencia entregada por el generador fotovoltaico es mayor que el caso del regulador de carga en serie.
- El regulador en paralelo tiene mayor rendimiento que el regulador en serie.
- A medida que el voltaje de la batería es cercano al estado de flotación del regulador, la corriente de carga disminuye hasta anularse al abrirse el interruptor en serie. Cuando esto ocurre, el voltaje de la batería baja alcanzando el mínimo de su diseño, y el interruptor se cierra, repitiéndose la secuencia de carga- flotación- descarga. Cuando la disminución de voltaje es despreciable (batería cargada) el control permanece abierto. El valor del voltaje de flotación, dependiendo del modelo del regulador, y de los detalles de la batería, puede ser fijo o ajustarse externamente.

Un factor importante es la temperatura a la que trabaja el aparato y la posible influencia que puede tener esta sobre el correcto funcionamiento del mismo.

A continuación, se detallan propiedades necesarias para un regulador de carga en una instalación aislada:

- Las **baterías deberán estar protegidas frente a sobrecargas y descargas profundas**. En general, estas protecciones se dispararán automáticamente en el regulador de carga, aunque estas funciones podrán incorporarse a otros equipos siempre y cuando se asegure una protección equivalente.
- Los **reguladores de carga que utilicen la tensión del acumulador como referencia de control de regulación**, deberán verificar los siguientes requisitos:
  - La tensión de desconexión del consumo, deberá elegirse para que la interrupción del suministro de electricidad, se produzca cuando la batería haya alcanzado la profundidad máxima de descarga permitida, sin superar en ningún caso este límite. Esta tensión de desconexión debe permanecer constante dentro de todo el margen de variación posible de la temperatura ambiente.
  - La tensión final de carga debe asegurar un factor de recarga de la batería superior al 90%.
  - La tensión final de carga debe corregirse por temperatura a razón de 4 a 5 mV/°C/vaso, y estar en el intervalo de más o menos 1% del valor especificado.
  - Se permitirán sobrecargas controladas del acumulador para evitar la estratificación del electrolito o para realizar carga de igualación.
- Los reguladores de cargas estarán **protegidos frente a cortocircuitos** del acumulador.

- La selección del regulador de carga, se hará para que pueda **resistir sin daños una sobrecarga simultánea** de:
  - Corriente en la línea de generador: un 25% superior a la corriente de cortocircuito del generador FV en CEM.
  - Corriente en línea de consumo: un 25% superior a la corriente máxima de la carga de consumo.
  
- El regulador de carga debe estar protegido contra la posibilidad de operación sin acumulador, con el generador operando y con cualquier carga de alimentación DC. En estas condiciones, el regulador debe **asegurar, además de su propia protección, la de las cargas conectadas.**
  
- **Las caídas internas de tensión** del regulador entre sus terminales de generador y acumulador, serán **inferiores al 4% de la tensión nominal**, en las siguientes condiciones: corriente nula en la línea de consumo y corriente igual a la corriente máxima especificada para el regulador en la línea generador FV-acumulador. Si las caídas de tensión fueran superiores a este valor, por ejemplo, si el regulador incorporara un diodo de bloqueo, se justificaría el motivo en la memoria de la solicitud.
  
- Las **pérdidas de energía diarias** causadas por el auto consumo del regulador en condiciones normales de operación deben **ser inferiores al 3%** del consumo diario de energía.
  
- El regulador de carga deberá estar **etiquetado** al menos con la siguiente información:
  - Tensión nominal (V).
  - Corriente máxima (A).
  - Fabricante y número de serie.
  - Polaridad de terminales y conexiones.



### 7.3 Inversores

Concierte la corriente continua del sistema en corriente alterna, a 220 V de valor eficaz y frecuencia de 50 HZ, igual a la de la red eléctrica. Alimenta los aparatos que trabajan con corriente continua.

Las características deseables para un inversor DC-AC son las siguientes:

- **Alta eficiencia:** debe funcionar correctamente para un rango amplio de potencias
- **Bajo consumo en vacío:** cuando no hay cargas conectadas
- **Alta fiabilidad:** resistencia a los picos de arranque
- **Protección contra cortocircuitos**
- **Seguridad**
- **Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida,** que como ya hemos comentado debe ser compatible con la red eléctrica

Algunos inversores funcionan también como reguladores de carga de las baterías. En este caso no sería necesario incluir ningún regulador en la instalación.

El cableado correspondiente cumple con los colores estándares utilizados en las conexiones. La parte continua, para el polo positivo utilizaremos el cable de color rojo, y para la negativa, el cable de color negro. En la parte alterna, tendremos tres conductores:

- El de color amarillo-verde para la conexión a tierra
- El de color azul para el neutro de la instalación
- El de color marrón para la fase

Las características proporcionadas por el fabricante son las siguientes:

- **Tensión de entrada:** debe coincidir con la tensión nominal de las baterías
- **Potencia nominal:** es la potencia que es capaz de entregar el inversor a la instalación. Siempre será mayor que la que hayamos calculado como consumo de los equipos que van a funcionar en alterna.
- **Corriente en reposo**
- **Rendimiento máximo:** indica la potencia real entregada por el convertidor, que siempre es menos que la potencia nominal del mismo. Es el factor a tener en cuenta cuando se haga el dimensionado de la instalación.
- **Forma de onda:** normalmente se utilizan inversores con una salida de onda senoidal, aunque también se utilizan de onda cuadrada, que no son usado en instalaciones conectadas a la red eléctrica.
- **Distorsión:** indica la posible degradación de la onda.
- **Frecuencia de la señal:** debe coincidir con la de la red eléctrica y ser muy estable.

Los tipos de inversores que existen en el mercado se pueden clasificar en:

- **Inversores conmutados de línea:**

Usan interruptores tiristores, capaces de controlar el tiempo de activación de la conducción, pero no el tiempo de parada. Para detener la conducción es necesario una fuente o circuito adicional que reduzca hasta cero la corriente que circula por él.

- **Inversores autoconmutados:**

Los más utilizados por su versatilidad en aplicaciones de energía distribuidas a red, esto es porque cumplen una serie de especificaciones establecidas por las compañías eléctricas. Usan transistores de tipo IGBT y MOSFET, el uso de dispositivos de conmutación hace que controlen libremente los estados de conducción y no conducción de los transistores.

Estos inversores usan la modulación de ancho PWM, e incluyen transformación de línea o de alta frecuencia, pudiendo controlar libremente de forma de onda de la tensión y la corriente en la parte de alterna, ajustan el factor de potencia y reducen la corriente armónica, siendo resistentes a las distorsiones procedentes de la red.

Los inversores de esta categoría se subdividen en inversores de fuente de corriente CSI

Y en inversores de fuente de tensión VSI. Los inversores CSI disponen de una fuente de corriente prácticamente constante a la entrada de continua, mientras que los de VSI, la fuente constante de entrada es de tensión

- **Convertidores multinivel:**

Esta tecnología está basada en la síntesis de la tensión alterna de salida a partir de la obtención de varios niveles de tensión del bus de continua, cuanto mayor es el número de niveles de tensión de entrada en continua, más escalonada es la forma de la onda de la tensión de salida, de modo que la onda tienda más a una señal senoidal pura, minimizándose la distorsión

Por este continuo aumento de niveles de potencia en equipos fotovoltaicos, cada vez se tiende más hacia la conexión en serie de paneles solares con niveles medios de tensión.

Permiten incrementar el nivel de potencia a partir del uso de dispositivos de baja tensión. Aunque en la teoría todo resulta práctico, en la práctica se producen ciertas dificultades técnicas que complican el funcionamiento de los inversores, las principales limitaciones se sitúan cuando el número de niveles aumentan, el control es complejo y los problemas de desequilibrio de las tensiones de los condensadores de bus en continua.

La seguridad y la normativa empleada en un inversor es la siguiente:

- Cortocircuito en alterna.
- Tensión y frecuencia de red fuera de rango
- Protección contra sobre tensiones mediante el uso de varistores o similares dispositivos.
- Protecciones contra perturbaciones en la red como microcortes, pulsos, defectos de ciclo, ausencia y retorno de la red, etc.

Cada inversor dispondrá de la correcta señalización para su uso y operación, incorporando los controles automáticos que garanticen su adecuada supervisión y manejo, incorporando como mínimo los siguientes controles manuales:

- Encendido y apagado general del inversor.
- Conexión y desconexión a la interfaz AC.

De acuerdo con el pliego de condiciones técnicas de seguridad para sistemas solares fotovoltaicos el I.D.A.E establece las siguientes características de rendimiento:

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

- El inversor seguirá entregando potencia a la red de forma continuada en condiciones de irradiación solar de un 10% superior a las CEM. Además de soportar picos de un 30% superior a las CEM durante periodos de hasta 10 segundos.
- Los valores de eficiencia del 25 al 100% de la potencia de salida nominal deberán ser superiores al 85% y 88%, respectivamente (valores medidos incluyendo el transformador de salida si lo hubiere) para inversores de potencia inferior a 5kW y del 90% al 92% para inversores de potencia de salida mayor a 5kW.
- El autoconsumo de los equipos, pérdidas de vacío en stand by o en modo nocturno, deberán ser inferior a un 2% de su potencia de salida nominal.
- El factor de potencia de la potencia generada deberá ser superior a 0.95 entre el 25 y el 100% de la potencia nominal.
- El inversor deberá inyectar en red, potencias superiores al 10% de su potencia nominal.
- Los inversores tendrán un grado de protección mínima IP 22 para inversores de interior de edificios y lugares inaccesibles, IP 32 para lugares accesibles y de IP 65 para inversores instalados a la intemperie.
- Los inversores deben estar garantizados para su operación en condiciones ambientales entre 0 y 40°C de temperatura y de 0 a 85% de humedad relativa.

Las características exigidas por los inversores para instalaciones aisladas son las siguientes:

- Deberá tener una potencia de entrada variable siendo capaz de extraer en todo momento la máxima potencia que el generador fotovoltaico pueda proporcionar durante el periodo de captación de radiación solar.
- Principio de funcionamiento en fuente de corriente.
- Deberá ser auto conmutado
- Deberá poseer un seguidor automático del punto de máxima potencia del generador fotovoltaico.
- No deberá funcionar en modo aislado o en isla.
- Deberán cumplir con las directivas comunitarias de Seguridad Eléctrica y compatibilidad electromagnética certificada por el fabricante, incorporando protecciones frente a cortocircuito.

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

- I. Tensión y frecuencia de red fuera de rango.
  - II. Sobre tensiones mediante varistores o similares.
  - III. Perturbaciones presentes en la red, como microcortes, pulsos, defectos de ciclo, ausencia y retorno de la red.
  - IV. Cada inversor dispondrá de las señalizaciones necesarias para su correcta operación e incorporará los controles automáticos imprescindibles para asegurar su adecuada supervisión.
- El inversor incorporará como mínimo controles de encendido y apagado general, y conexión de desconexión del inversor de la interfaz de AC.
  - El inversor seguirá entregando potencia de forma continuada a la red, en condiciones de irradiancia solar y temperatura que den lugar a una potencia en los paneles un 10% superior a la potencia en CEM (power capacity in standar conditions). Además de ser capaces de soportar picos de potencia de 30% superior a la potencia en CEM durante periodos de hasta 10 segundos.
  - Los valores de eficiencia al 25 y al 100% de la potencia de salida nominal deberán ser superiores al 85 y 88%, respectivamente para inversores de potencia inferior s 5kW y del 0% al 92% para inversores con potencia superior a 5kW.
  - El auto consumo de los equipos en stand by o modo nocturno, deberá ser inferior al 2% de su potencia nominal de salida.
  - El factor de potencia de la potencia generada, deberá ser superior a 0.5 entre 25 y el 100%.
  - El inversor deberá inyectar en red, para potencias superiores del 10% de su potencia nominal.
  - Los inversores tendrán un grado de protección IP22 cuando sean instalados en edificios o lugares inaccesibles, IP32 cuando estén instalados en lugares accesibles, y con IP 65 cuando estén instalados a la intemperie.
  - Debe garantizarse la operación de los inversores a 0 °C y 40 °C de temperatura y a 0% y 85% de humedad relativa.

## 7.4 Cableado

Es el elemento más importante para el transporte de energía eléctrica entre los diferentes elementos de la instalación.

Existe una pérdida de energía en forma de calor, debido a que la resistencia eléctrica del conductor nunca es nula. Para elegir el cableado es necesario tener en cuenta la relación entre un valor bajo de resistencia del material con el que está constituido y su coste.

Dentro de los diferentes tipos de materiales del cableado, el cobre es una buena solución, porque es un material muy ligero, y esto favorece para las líneas de transmisión de electricidad.

La resistencia de un material conductor viene expresada en la siguiente fórmula:

$$r = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

Donde:

$r$ : es el valor de la resistencia en  $\Omega$ , y depende del material conductor y de la temperatura de trabajo que alcanza el mismo.

$\rho$ : resistencia del material

$L$ : la longitud del conductor en m

$A$ : es el área de la sección del conductor en  $m^2$

Esta fórmula expresa que, para una longitud determinada, un aumento de diámetro dignifica una menor caída de tensión en el cable (menor pérdida de energía). Para diseñar el cableado se tiene que tener en cuenta las caídas de voltaje que se produce en el material conductor. Lo que significa que se debe calcular en función de la máxima potencia de pérdidas admisibles para la instalación.

Para esta instalación los conductores de la parte de corriente continua, deben de tener sección suficiente para que tenga una caída de tensión inferior a 1,5% y los conductores de corriente alterna para que la caída de tensión sea inferior al 0,5%. En términos generales debe respetarse lo establecido por el REBT 2002 (reglamento electrónico de baja tensión), que en líneas generales establece tres criterios para determinar la sección de los conductores en una instalación eléctrica.

- **Criterio térmico:** el material conductor debe de tener la capacidad de disipar el calor generado por la intensidad circundante durante régimen permanente.
- **Criterio de caída de tensión:** debe de ser menor que las especificadas por las condiciones de diseño.
- **Criterio de intensidad de cortocircuito:** la temperatura que llega a tener el conductor no debe de exceder el límite de temperatura máxima admisible de corta duración para el aislante del conductor. Los cables positivos y negativos de los elementos deben de ir separados y protegidos de acuerdo la norma vigente, y todo el cableado de continua tendrá el doble de aislamiento y será el adecuado para su uso en intemperie, el aire o enterrado, de acuerdo a la normativa UNE 21123.

El cableado para una instalación de generación de energía aislada de la red cumplirá con lo establecido en la legislación vigente.

- ✓ Los conductores tendrán la sección adecuada para reducir las caídas de tensión y los calentamientos.
- ✓ Para cualquier condición de trabajo, los conductores de la parte de DC deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior, incluyendo cualquier terminal intermedio, a los valores especificados a continuación.
  - Caída de tensión máximas entre generador y regulador: 3%
  - Caída de tensión máxima entre regulador y batería: 1%
  - Caída de tensión máxima entre regulador e inversor: 1%
  - Caída de tensión máxima entre inversor y batería: 1%
  - Caída máxima entre inversor/regulador y carga: 3%
- ✓ Se incluirá toda la longitud de cables necesaria para cada aplicación, evitando esfuerzos sobre los elementos de la instalación.
- ✓ Los positivos y negativos de la parte de DC de la instalación se conducirán separados, protegidos y señalizados de acuerdo a la normativa vigente.

## 7.5 Protecciones

El sistema de protecciones debe de cumplir con la reglamentación vigente, y deberá acreditarse mediante la descripción técnica de los elementos de protección y conexión previstos en la instalación, son los siguientes:

- Interruptor general manual: interruptor magnetotérmico con intensidad de cortocircuito superior a la indicada por la empresa distribuidora en el punto de conexión. A este interruptor podrá acceder la empresa distribuidora con el fin de su desconexión manual.
- Interruptor automático diferencial: situado lo más cerca posible del punto de conexión, para proteger a las personas en todo el tramo AC.
- Interruptor automático de interconexión: para la conexión-desconexión automática de la instalación fotovoltaica, junto a un relé de enclavamiento, en caso de pérdidas de tensión o frecuencia en la red.
- Interruptor automático para cada inversor.
- Protecciones de sobretensiones: en la entrada DC de cada inversor.
- Fusibles seccionadores: en cada polo de cada rama del generador fotovoltaico en la parte de DC, como elementos que permiten labores de mantenimiento.
- Configuración flotante del sistema DC: (los polos aislados de tierra), con el fin de garantizar la seguridad de las personas en caso de fallo a tierra en la parte de DC.
- Equipo de vigilancia de aislamiento.
- En conexiones de red trifásica, las protecciones para interconexión máxima y mínima frecuencia, y máxima y mínima tensión, que se instalarán en cada fase.
- Rearme del sistema de conmutación, para que la conexión a la red sea automática, una vez reestablecidas las condiciones idóneas de la red.



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

A continuación, se explicará las indicaciones necesarias para la puesta a tierra que es un tipo de protección de la red.

- La puesta a tierra de las instalaciones de generación de energía, se realizará de manera que no intervenga la puesta a tierra de la red de la empresa distribuidora, tal que no se produzca transferencias por los defectos a la red de distribución.
- La instalación deberá disponer de separación galvánica entre la red de distribución de baja tensión y la instalación fotovoltaica, bien mediante un transformador de aislamiento o cualquier medio que cumpla la misma función.
- Las masas de la instalación, estarán conectadas a una tierra independiente de la del neutro de la empresa distribuidora, de acuerdo con el reglamento electrónico para tensión, así como de las masas del resto del suministro.

### 7.6 Sistema de monitorización

Los sistemas de generación de energía de conexión aislada deben estudiar las siguientes variables:

- Tensión y corriente DC y AC de los generadores.
- Potencia DC consumida, incluyendo el consumo del inversor.
- Potencia AC consumida.
- Contador volumétrico de agua para instalaciones de bombeo.
- Radiación solar incidente en los módulos.
- Temperatura ambiente.

## 7.7 Esquema general de la instalación

El Esquema general de la instalación consta de todos los elementos mencionados en este capítulo y de los generadores de energía del tipo eólico y solar. Se ha de recalcar que al ser una instalación autónoma no va conectada a la red, la gran diferencia entre una instalación y la otra es que las instalaciones off-grid tienen la necesidad de acumuladores para almacenar la energía y aprovecharla en otro momento en el que los generadores no estén produciendo energía, por otro lado, también existe la posibilidad de acompañar la instalación con un grupo electrógeno para poder garantizar que se cubre la demanda energética. En las instalaciones on-grid no tienen esta necesidad, ya que trabajan conjuntamente con la red y en momentos en que la instalación no pueda cubrir la necesidad energética se verá suplida por la red. Por otro lado, siempre que esté disponible una red cercana se conectará a esta para evitar el coste de baterías, además que el de mantenimiento y sobre todo para asegurar el suministro de energías.

Otra diferencia es el inversor que tiene que tener la misma tensión de salida que la red eléctrica, es decir, que estén en fase. Siempre con una medida de protección por si en la red hubiera una caída de tensión, el inversor debe dejar de funcionar.

A continuación, se presenta un esquema de una instalación autónoma y otra conectada a la red:

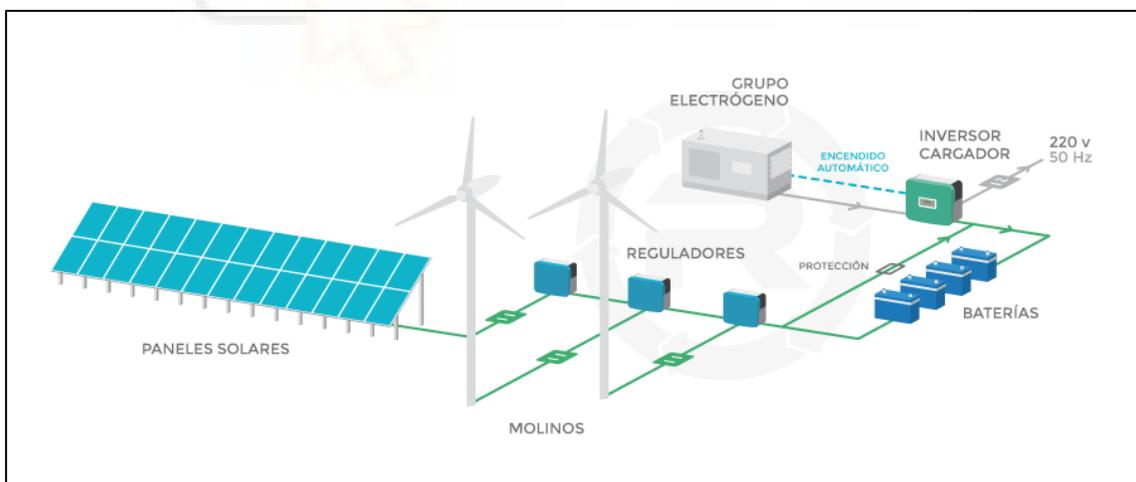


Figura 56: Instalación mixta off-grid. FUENTE: [40]

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

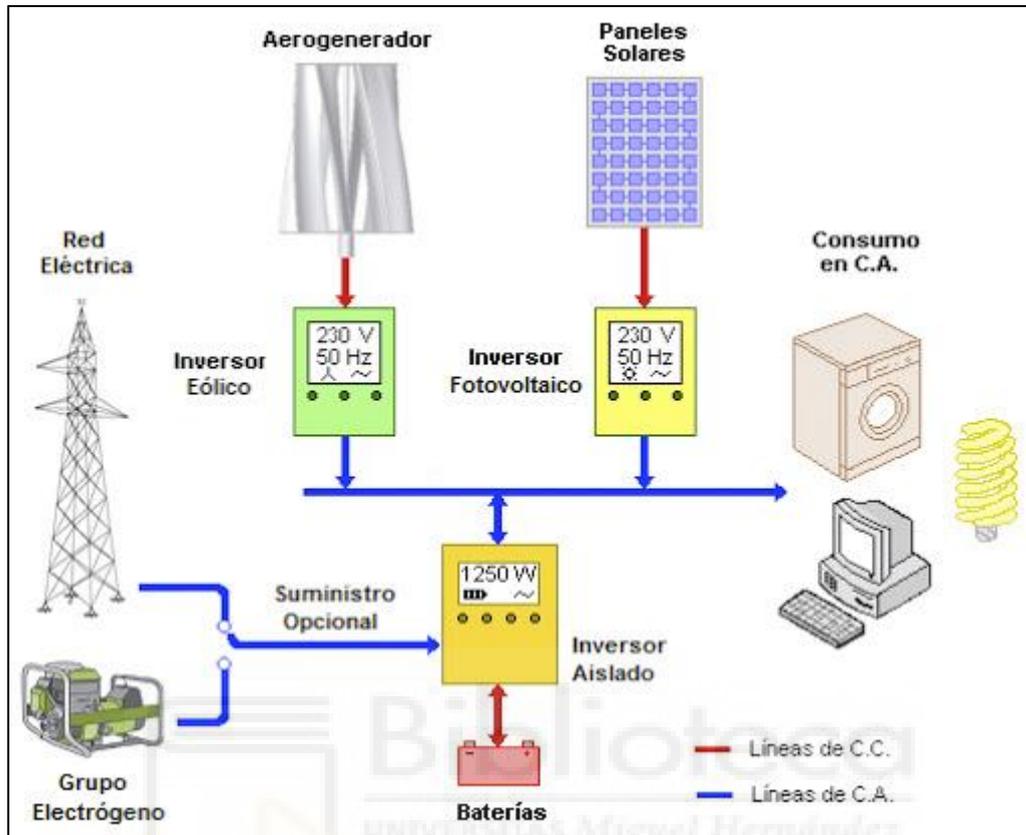


Figura 57: Instalación mixta on-grid. FUENTE: [41]



# CAPÍTULO 8: DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

 **Biblioteca**  
UNIVERSIDAD Miguel Hernández



## CAPÍTULO 8: DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

### 8.1 Diseño

El objetivo fundamental de este capítulo es el cálculo de los equipos y sus parámetros presentes en la instalación para asegurar la fiabilidad de esta. Es necesario ajustar a las necesidades concretas, aunque en algunas situaciones habrá que asegurar un sobredimensionamiento para que la instalación funcione correctamente, pero siempre teniendo en cuenta que es un proyecto social y no se debe de aumentar excesivamente la inversión inicial.

El método a utilizar es utilizar el mes más desfavorable, es decir, donde la demanda sea la mayor y el mes con menos radiación solar y menor velocidad de viento. De esta manera, se asegura la fiabilidad de la instalación durante todos los meses del año

#### 8.1.1 Evaluación de energía principal y disponible

Como en el capítulo 4 se ha explicado en el apartado 4.2, que la demanda estimada son 313,252 Kwh/día aproximadamente y dado que la energía demandada mínima por el otro método es 250 Kwh/día, como aparece en el capítulo 4, apartado 4.2, se puede confirmar que la instalación cumple con el requisito de energía mínima para una vida digna. Debido a las pérdidas provocadas por la instalación, en cuanto a aparatos, cableado, etc. Se toma un margen de un 20% por encima del valor de energía consumida para suplir estos efectos, por lo tanto, la energía demanda por la instalación se estima en 376 Kwh/día.

Esta instalación es un sistema híbrido combinado por dos energías renovables, eólica y solar, por lo que se divide la producción de energía para cada sistema. Como la influencia del sol es mayor con respecto a la del viento, se estima que la generación eólica le corresponde un 40% de la demanda estimada y el restante se encargará la energía solar de producir la energía.

Tabla 19: Distribución de producción de energía. FUENTE: Elaboración propia.

	%	Producción de energía/día
Eólica	40%	150,4 Kwh/día
Solar	60%	225,6 Kwh/día

Otro dato importante es conocer la tensión nominal y la frecuencia de suministro a baja tensión en Nigeria, ya que estos valores dependen del país, que son 230V-50Hz.

Antes de dimensionar los elementos de la instalación, se tiene que evaluar un voltaje para la misma dependiendo de la energía demandada diariamente, este criterio aparece en la siguiente tabla:

Tabla 20: Voltaje de la instalación en función de la energía demandada. FUENTE: Elaboración propia.

Energía demandada (wh/día)	Voltaje del sistema (V)
<b>1 a 200</b>	12
<b>2001 a 4000</b>	24
<b>Más de 4001</b>	48

Como la energía que se necesita es mayor de 4001 wh/día utilizaremos un voltaje de 48 V. de modo que pueda funcionar a una corriente menor y disminuir las pérdidas se ha optado por esa configuración

### 8.1.2 Dimensionado de los módulos fotovoltaicos

Para realizar el dimensionamiento es necesario calcular el ángulo de inclinación óptimo o adecuado para la instalación, que más tarde servirá para la obtención de la irradiancia en el emplazamiento correspondiente a través de un software.

Cálculo de Angulo óptimo de inclinación y orientación

Para el cálculo del ángulo óptimo se utiliza la siguiente formula:

$$\beta_{op} = 3,7 + 0,69 \cdot \phi$$

$\phi$ : latitud del emplazamiento

Siendo la latitud 12.38 y la longitud 8.783, sustituyendo en la formula se obtiene una inclinación de 12,24 °. Por efectos de la caída de lluvia en los paneles fotovoltaicos, escogemos una inclinación de 15°. Su orientación es hacia el sur. No obtenemos pérdidas con la orientación porque el poblado cuenta con mucho terreno donde orientar fácilmente las placas fotovoltaicas.

Características generales del módulo fotovoltaico que se va a utilizar son las que aparecen en la siguiente tabla, estas características aparecen en la ficha técnica ofrecida por el fabricante.

Tabla 21: Características del módulo fotovoltaico. FUENTE: Elaboración propia.

Módulo fotovoltaico	
Potencia nominal (Pmax)	400 W
Tipo de célula	monocristalina
Tensión máx. potencias (VMPP)	41,6 V
Corriente máx. potencia (IMPP)	9,62 A
Tensión circuito abierto (VOC)	49,1 V
Corriente corto circuito (ISC)	10,10 A
Temperatura nominal de operación	45±2 °C
Protección	IP68
Dimensiones	2015×1002×40 mm
Peso	23 Kg

Utilización del software de PVGIS para hallar la irradiancia solar por meses en el emplazamiento correspondiente con una inclinación de 15°, de aquí sacamos las horas pico (HSP), y en función de numero de paneles cada mes.

$$HSP = \frac{\text{irradiancia diaria} \left( \frac{Wh}{m^2} \right)}{1000 \left( \frac{W}{m^2} \right)}$$

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{\text{energía demandada}}{HSP \cdot \text{Pot. módulo}}$$

Tabla 22: Cálculo de número de módulos a partir de la irradiancia mensual. FUENTE: Elaboración propia y PVGIS.

Mes	Irradiancia/mes (kWh/ m <sup>2</sup> )	Horas solares pico	Nº de paneles fotovoltaicos
Enero	241,61	7,79	73
Febrero	216,75	7,74	73
Marzo	213,27	6,87	82
Abril	210,61	7,02	80
Mayo	199,22	6,42	88
Junio	168,42	5,61	100
Julio	161,72	5,21	109
Agosto	172,77	5,57	101
Septiembre	191,09	6,36	88
Octubre	221,9	7,15	79
Noviembre	217,76	7,25	77
Diciembre	217,72	7,02	80

Se escoge el número de paneles dependiendo del mes más desfavorable, es decir, el que necesite un mayor número de paneles para conseguir la producción de energía estimada, en este caso es el mes de julio con 109 paneles fotovoltaicos. Por otro lado, para conseguir una buena configuración del sistema se dimensionará la instalación con 112 paneles fotovoltaicos, cumpliendo con las pérdidas que proporciona el panel y la instalación.

Por otro lado, obtenemos la energía producida por los paneles fotovoltaicos en función de las horas solares pico de cada mes con la siguiente fórmula:

$$\text{Energía aprovechable} = n^{\circ} \text{módulos} \cdot P_p \cdot HSP \cdot \eta_{int} \cdot \eta_{inv}$$

Donde:

$P_p$ : potencia pico del módulo fotovoltaico es 0,4 kwp

$HSP$ : horas solares pico de cada mes

$n^{\circ} \text{módulos}$ : número de módulos fotovoltaicos es 112

$\eta_{int}$ : rendimiento de la instalación es 0,9

$\eta_{inv}$ : rendimiento del inversor es 0,9

Tabla 23: Cálculo de la energía extraída por los módulos fotovoltaicos. FUENTE: Elaboración propia.

Meses	HSP	Energía aprovechable (kWh/día)	Energía aprovechable (kWh/mes)
Enero	7,79	279,1936	8655,0016
Febrero	7,74	277,4016	8322,048
Marzo	6,87	246,2208	7632,8448
Abril	7,02	251,5968	7547,904
Mayo	6,42	230,0928	7132,8768
Junio	5,61	201,0624	6031,872
Julio	5,21	186,7264	5788,5184
Agosto	5,57	199,6288	6188,4928
Septiembre	6,36	227,9424	6838,272
Octubre	7,15	256,256	7943,936
Noviembre	7,25	259,84	7795,2
Diciembre	7,02	251,5968	7799,5008
		<b>TOTAL ANUAL</b>	<b>87676,4672</b>

En la gráfica siguiente se puede observar visualmente la variación de producción de energía por los módulos fotovoltaicos en relación con las horas solares pico promedio de cada mes.

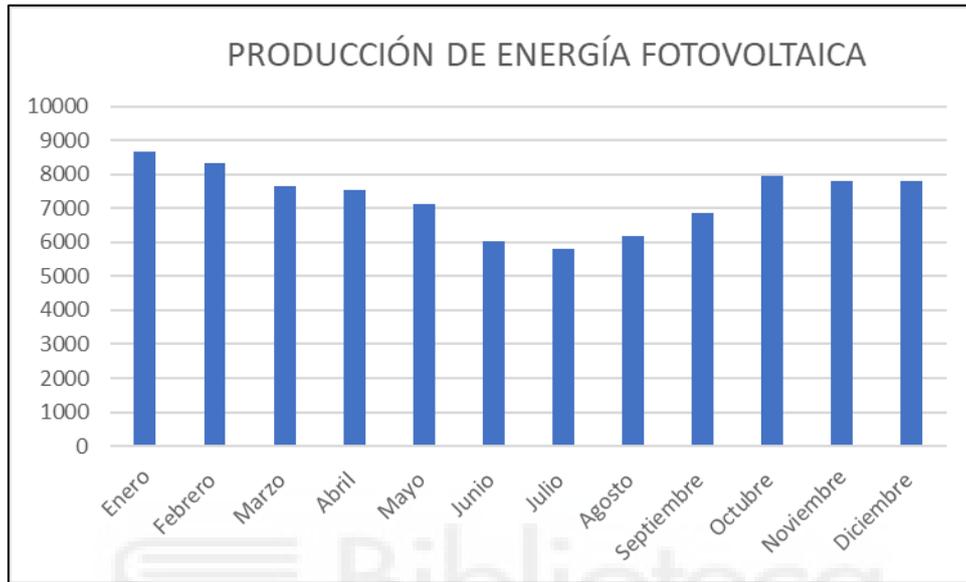


Figura 58: Producción de energía fotovoltaica de la instalación. FUENTE: Elaboración propia.

A continuación, calcularemos el grado de sobredimensionamiento de la parte fotovoltaica teniendo en cuenta el margen de error aplicado a la demanda por pérdidas en la instalación, aparatos, etc. A demás de las pérdidas de las mismas en la producción de energía por los paneles fotovoltaicos. Mediante la siguiente expresión calculamos el sobredimensionamiento:

$$\text{Grado de sobredimensionamiento} = \frac{P_p \cdot HSP \cdot n^{\circ} \text{ módulos} \cdot \eta_{int} \cdot \eta_{inv}}{E_c \cdot 0,8}$$

Donde:

$P_p$ : potencia pico del módulo fotovoltaico

$HSP$ : horas solares pico en el mes más desfavorable

$n^{\circ} \text{ módulos}$ : número de módulos fotovoltaicos

$\eta_{int}$ : rendimiento de la instalación

$\eta_{inv}$ : rendimiento del inversor

$E_c$ : Energía consumida por el poblado al día

$$\text{Grado de sobredimensionamiento} = \frac{0,400 \cdot 5,21 \cdot 112 \cdot 0,9 \cdot 0,9}{225,6 \cdot 0,8} = 1,047$$

El dimensionamiento cumple el margen en el mes más desfavorable significando un excedente de producción en el resto de meses.

### 8.1.3 Dimensionamiento de los aerogeneradores

Para poder calcular el número de aerogeneradores es necesario conocer la velocidad del viento en el emplazamiento correspondiente y la curva de potencia del aerogenerador empleado.

Realizaremos este cálculo para dos modelos de aerogeneradores:

- Marca Enair y modelo E70 PRO

Las características y la curva de potencia son las siguientes:

Tabla 24: Características del aerogenerador de modelo E70 PRO. FUENTE: Elaboración propia.

Características	Tipo de valores
Nº de palas	3
Potencia	5500 W
Potencia nominal	4000 W
Tensión	24/48/220 V
Diámetro	4,3 m
Área de barrido	14,5 m <sup>2</sup>
Peso	165 Kg
Velocidad de arranque	2 m/s
Velocidad nominal	11 m/s
Rango de generación eficiente	2 a 60 m/s
Coefficiente de potencia	0,45

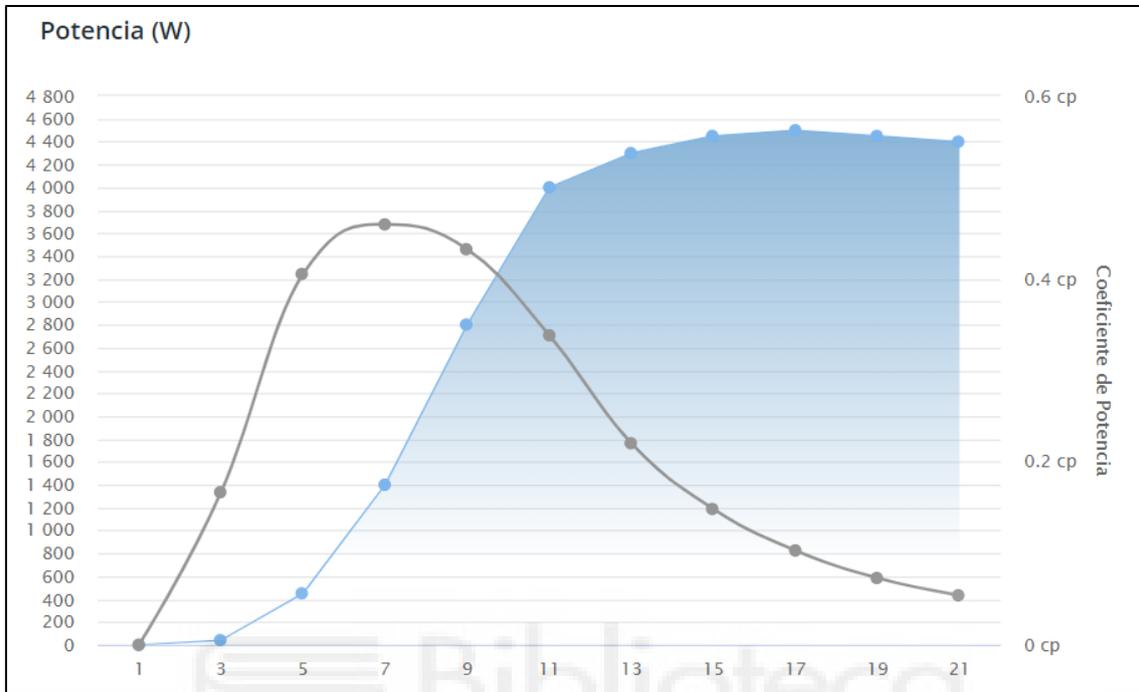


Figura 59: Curva de potencia del aerogenerador del modelo E70 PRO. FUENTE [42].

Se ha de recalcar que además de que la potencia varía en función de la velocidad del viento, el coeficiente de potencia también, por lo tanto, se adjuntan las siguientes tablas con los rangos de velocidades en función de la potencia y el coeficiente de potencia.

- Tabla de rango de velocidades en función del rango de potencia

Tabla 25: Rango de velocidades en función de la potencia. FUENTE: Elaboración propia.[42].

Rango de velocidades de viento (m/s)	Rango de potencia (W)
[1 – 3]	[0 – 40]
[3 – 5]	[40 – 450]
[5 – 7]	[450 – 1400]
[7 – 9]	[1400 – 2800]
[9 – 11]	[2800 – 4000]
[11 – 13]	[4000 – 4300]
[13 – 15]	[4300 – 4450]
[15 – 17]	[4450 – 4500]
[17 – 19]	[4500 – 4450]
[19 – 21]	[4450 – 4400]

- Tabla de rango de velocidades en función del rango del coeficiente de potencia

Tabla 26: Rango de velocidades en función del coeficiente de potencia. FUENTE: Elaboración propia. [42]

Rango de velocidades de viento (m/s)	Rango de coeficiente de potencia
[1 – 3]	[0 – 0,1668]
[3 – 5]	[0,1668 – 0,4053]
[5 – 7]	[0,4053 – 0,4595]
[7 – 9]	[0,4595 – 0,4324]
[9 – 11]	[0,4324 – 0,3383]
[11 – 13]	[0,3383 – 0,2203]
[13 – 15]	[0,2203 – 0,1484]
[15 – 17]	[0,1484 – 0,1031]
[17 – 19]	[0,1031 – 0,0730]
[19 – 21]	[0,0730 – 0,0541]

A continuación, se presenta la tabla que relaciona la velocidad del viento en función de los días durante los meses del año:

Tabla 27: Tiempo en días de la velocidad del viento en Ungua Dogo en función de los meses del año. FUENTE [13].

Velocidad del viento (m/s)	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ags.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
>0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>1,38	1,3	1,1	1,9	1,1	0,4	0	0	0,4	0,5	1	1,8	1
>3,3	5,9	5,8	7,8	6,4	3,7	1,5	4,1	11,2	11,1	10,9	8,9	7
>5,27	20,8	17,6	16,2	15,9	19,7	18,6	21,9	18,4	17,5	18,8	18,6	22,1
>7,7	3	3,7	5,1	6,7	7,2	9,7	4,9	1,1	0,9	0,3	0,7	1
>10,5	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0
>13,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Por consiguiente, las siguientes tablas relacionan todos los parámetros descritos para calcular la energía aprovechable por el modelo del aerogenerador escogido. A partir de la velocidad promedio del rango de velocidades obtenemos el coeficiente de potencia y la potencia para ese promedio y lo siguiente será aplicar la siguiente fórmula:

$$E_{aprovechable} = C_p \cdot P \cdot t$$

$C_p$ : Coeficiente de potencia

$P$ : Potencia del aerogenerador en función de la velocidad del viento

$t$ : tiempo en horas que se produce dicha velocidad al mes

- Enero

Tabla 28: Cálculo de energía aprovechable en el mes de enero. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	31,2	0,111	26,8	0,0928
[3,33 – 5,27]	4,28	141,6	0,319	303,015	13,68
[5,27 – 7,77]	6,48	499,2	0,4455	1155,375	256,94
[7,77 – 10,55]	9,1	72	0,427	2860	87,92
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,27045	4172,5	0
<b>Energía aprovechable en el mes de enero (kWh/mes)</b>					<b>358,65</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de enero (kWh/día)</b>					<b>11,56</b>

- Febrero

Tabla 29: Cálculo de energía aprovechable en el mes de febrero. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	26,4	0,111	26,8	0,0785
[3,33 – 5,27]	4,28	139,2	0,319	303,015	13,45
[5,27 – 7,77]	6,48	422,4	0,4455	1155,375	217,41
[7,77 – 10,55]	9,1	88,8	0,427	2860	108,44
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,27045	4172,5	0
<b>Energía aprovechable en el mes de febrero (kWh/mes)</b>					<b>339,39</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de febrero (kWh/día)</b>					<b>11,70</b>

- Marzo

Tabla 30: Cálculo de energía aprovechable en el mes de marzo. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	45,6	0,111	26,8	0,13565
[3,33 – 5,27]	4,28	187,2	0,319	303,015	18,095
[5,27 – 7,77]	6,48	388,8	0,4455	1155,375	200,12
[7,77 – 10,55]	9,1	122,4	0,427	2860	149,47
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,27045	4172,5	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Marzo (kWh/mes)</b>					<b>367,83</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Marzo (kWh/día)</b>					<b>11,86</b>

- Abril

Tabla 31: Cálculo de energía aprovechable en el mes de abril. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	26,4	0,111	26,8	0,0785
[3,33 – 5,27]	4,28	153,6	0,319	303,015	14,847
[5,27 – 7,77]	6,48	381,6	0,4455	1155,375	196,41
[7,77 – 10,55]	9,1	160,8	0,427	2860	196,37
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,27045	4172,5	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Abril (kWh/mes)</b>					<b>407,71</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Abril (kWh/día)</b>					<b>13,59</b>

- Mayo

Tabla 32: Cálculo de energía aprovechable en el mes de mayo. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	9,6	0,111	26,8	0,0285
[3,33 – 5,27]	4,28	88,8	0,319	303,015	8,583
[5,27 – 7,77]	6,48	472,8	0,4455	1155,375	243,35
[7,77 – 10,55]	9,1	172,8	0,427	2860	211,02
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,27045	4172,5	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Mayo (kWh/mes)</b>					<b>462,99</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Mayo (kWh/día)</b>					<b>14,9354</b>

- Junio

Tabla 33: Cálculo de energía aprovechable en el mes de junio. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	0	0,111	26,8	0
[3,33 – 5,27]	4,28	36	0,319	303,015	3,479
[5,27 – 7,77]	6,48	446,4	0,4455	1155,375	229,77
[7,77 – 10,55]	9,1	232,8	0,427	2860	284,30
[10,55 – 13,88]	12,15	2,4	0,27045	4172,5	2,70
<b>Energía aprovechable en el mes de Junio (kWh/mes)</b>					<b>520,25</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Junio (kWh/día)</b>					<b>17,34</b>

- Julio

Tabla 34: Cálculo de energía aprovechable en el mes de julio. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	0	0,111	26,8	0
[3,33 – 5,27]	4,28	98,4	0,319	303,015	9,51
[5,27 – 7,77]	6,48	525,6	0,4455	1155,375	270,53
[7,77 – 10,55]	9,1	117,6	0,427	2860	143,61
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,27045	4172,5	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Julio (kWh/mes)</b>					<b>423,66</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Julio (kWh/día)</b>					<b>13,66</b>

- Agosto

Tabla 35: Cálculo de energía aprovechable en el mes de agosto. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	9,6	0,111	26,8	0,0285
[3,33 – 5,27]	4,28	268,8	0,319	303,015	25,98
[5,27 – 7,77]	6,48	441,6	0,4455	1155,375	227,30
[7,77 – 10,55]	9,1	26,4	0,427	2860	32,24
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,27045	4172,5	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Agosto (kWh/mes)</b>					<b>285,55</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Agosto (kWh/día)</b>					<b>9,21</b>

- Septiembre

Tabla 36: Cálculo de energía aprovechable en el mes de septiembre. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	12	0,111	26,8	0,0356
[3,33 – 5,27]	4,28	266,4	0,319	303,015	25,75
[5,27 – 7,77]	6,48	420	0,4455	1155,375	216,18
[7,77 – 10,55]	9,1	21,6	0,427	2860	26,37
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,27045	4172,5	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Septiembre (kWh/mes)</b>					<b>268,34</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Septiembre (kWh/día)</b>					<b>8,94</b>

- Octubre

Tabla 37: Cálculo de energía aprovechable en el mes de octubre. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	24	0,111	26,8	0,071
[3,33 – 5,27]	4,28	261,6	0,319	303,015	25,28
[5,27 – 7,77]	6,48	451,2	0,4455	1155,375	232,24
[7,77 – 10,55]	9,1	7,2	0,427	2860	8,79
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,27045	4172,5	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Octubre (kWh/mes)</b>					<b>266,39</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Octubre (kWh/día)</b>					<b>8,59</b>

- Noviembre

Tabla 38: Cálculo de energía aprovechable en el mes de noviembre. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	43,2	0,111	26,8	0,128
[3,33 – 5,27]	4,28	213,6	0,319	303,015	20,64
[5,27 – 7,77]	6,48	446,4	0,4455	1155,375	229,77
[7,77 – 10,55]	9,1	16,8	0,427	2860	20,51
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,27045	4172,5	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Noviembre (kWh/mes)</b>					<b>271,062</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Noviembre (kWh/día)</b>					<b>9,03</b>

- Diciembre

Tabla 39: Cálculo de energía aprovechable en el mes de diciembre. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	24	0,111	26,8	0,071
[3,33 – 5,27]	4,28	168	0,319	303,015	16,23
[5,27 – 7,77]	6,48	528	0,4455	1155,375	271,77
[7,77 – 10,55]	9,1	24	0,427	2860	29,30
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,27045	4172,5	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Diciembre (kWh/mes)</b>					<b>317,39</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Diciembre (kWh/día)</b>					<b>10,23</b>

Mediante la siguiente fórmula calcularemos cuantos aerogeneradores son necesarios para la instalación híbrida

$$\text{N}^{\circ} \text{ de aerogeneradores} = \frac{\text{consumo de energía}}{\text{energía aprovechable por el aerogenerador}}$$

Tabla 40: Cálculo de energía aprovechable anual. FUENTE: Elaboración propia.

Meses	Energía aprovechable promedio al mes	Energía aprovechable promedio al día	Nº de aerogeneradores
Enero	358,36	11,56	13
Febrero	339,3	11,70	12
Marzo	367,66	11,86	12
Abril	407,7	13,59	11
Mayo	462,83	14,93	10
Junio	520,2	17,34	8
Julio	423,46	13,66	11
Agosto	285,51	9,21	16
Septiembre	268,2	8,94	16
Octubre	266,29	8,59	17
Noviembre	271,05	9,035	16
Diciembre	317,3	10,23	14
<b>Energía aprovechable anual por aerogenerador (kWh/año)</b>	<b>4287,95</b>		

Todos estos datos calculados, se pueden obtener directamente a través de un atlas eólico, que nos proporciona la misma empresa que suministra los aerogeneradores, estos cálculos que nos proporciona tienen un margen de error del 15%.

La siguiente tabla muestra los datos calculados por el software de la empresa Enair

	Producción eólica en kWh													Average	Anual
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec			
Wind speed (m/s)	4.2	4.1	4.1	4.2	4.1	4.1	3.9	3.1	3.1	3.0	3.5	4.1	3.8		
kWh/day	10.3	10.0	9.8	10.3	10.0	9.5	8.2	4.4	4.1	4.0	6.0	10.0	8.1	2948 kWh/year	
kWh/month	320	284	303	310	311	285	255	137	124	123	181	311	246		

Figura 60: Tabla de energía eólica aprovechable por el software de Enair. FUENTE [42].

Existe una distorsión en los datos, ya que las velocidades de viento en función de los días del mes se obtuvieron de otra fuente de datos, además de que se ha utilizado el promedio de los rangos de velocidades que ofreció dicha fuente. en vez de toda la distribución del conjunto de datos del rango de velocidades. Esto significa, que los datos calculados son bastante aproximados ya que los cálculos por el software se realizan en función de la velocidad promedio en el mes.

- Marca Enair y modelo E200L

Se realizarán para este modelo los mismos cálculos para poder comparar que opción es la más indicada para nuestra instalación.

Tabla 41: Características del aerogenerador de modelo E200L. FUENTE [42].

Características	Tipo de valores
Nº de palas	3
Potencia	20 kW
Potencia nominal	10 kW
configuración	3 fases- 500 V – Transmisión directa
Diámetro	9,8 m
Área de barrido	75,4 m <sup>2</sup>
Peso	1000 Kg
Velocidad de arranque	1,85 m/s
Velocidad nominal	11 m/s

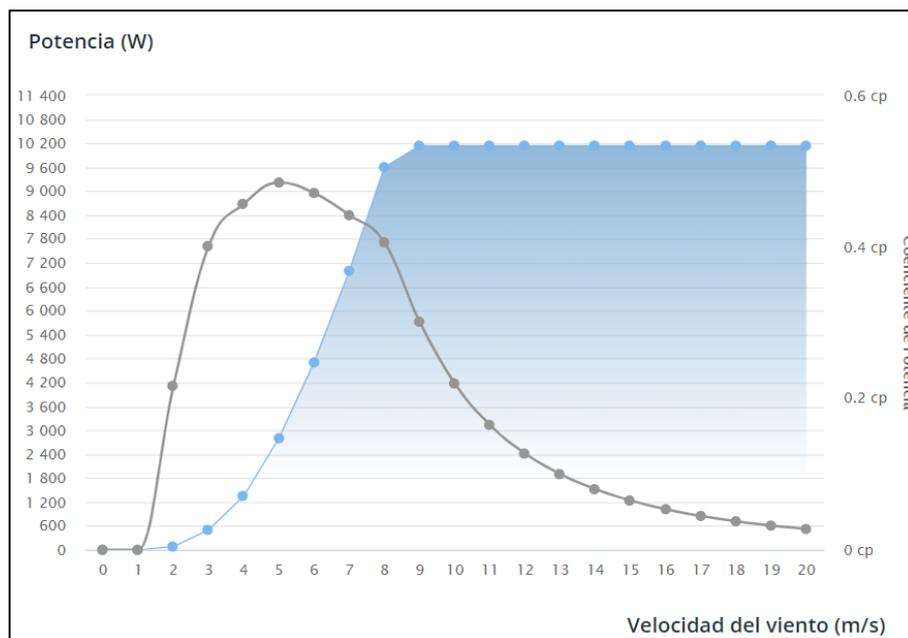


Figura 61: Curva de potencia del aerogenerador de modelo E200L. FUENTE [42].

- Rango de velocidades en función de la potencia del aerogenerador.

Tabla 42: Rango de velocidades en función de la potencia. FUENTE [42].

Rango de velocidades (m/s)	Rango de potencia (W)
[1 – 2]	[0 – 80]
[2 – 3]	[80 – 500]
[3 – 4]	[500 – 1350]
[4 – 5]	[1350 – 2800]
[5 – 6]	[2800 – 4700]
[6 – 7]	[4700 – 7000]
[7 – 8]	[7000 – 9600]
[8 – 9]	[9600 – 10140]
> 9	10140

- Rango de velocidades en función del coeficiente de potencia.

Tabla 43: Rango de velocidades en función del coeficiente de potencia. FUENTE [42].

Rango de velocidades	Rango de coeficientes de potencia
[1 – 2]	[0 – 0,2165]
[2 – 3]	[0,2165 – 0,4009]
[3 – 4]	[0,4009 – 0,4567]
[4 – 5]	[0,4567 – 0,485]
[5 – 6]	[0,485 – 0,471]
[6 – 7]	[0,471 – 0,441]
[6 – 7]	[0,441 – 0,405]
[7 – 8]	[0,405 – 0,301]
[8 – 9]	[0,301 – 0,219]
[9 – 10]	[0,219 – 0,164]
[10 – 11]	[0,164 – 0,127]
[11 – 12]	[0,127 – 0,099]
[12 – 13]	[0,099 – 0,080]
[13 – 14]	[0,080 – 0,065]
[14 – 15]	[0,065 – 0,053]
[15 – 16]	[0,053 – 0,044]
[16 – 17]	[0,044 – 0,037]
[17 – 18]	[0,037 – 0,032]
[18 – 19]	[0,037 – 0,027]

- Enero

Tabla 44: Cálculo de energía aprovechable en el mes de enero. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	31,2	0,2791	222,8	1,94
[3,33 – 5,27]	4,28	141,6	0,4647	1760,35	115,83
[5,27 – 7,77]	6,48	499,2	0,42354	5815,5	1229,57
[7,77 – 10,55]	9,1	72	0,2135	10140	155,87
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,09615	10140	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Enero (kWh/mes)</b>					<b>1503,22</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Enero (kWh/día)</b>					<b>48,49</b>

- Febrero

Tabla 45: Cálculo de energía aprovechable en el mes de febrero. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	26,4	0,2791	222,8	1,641
[3,33 – 5,27]	4,28	139,2	0,4647	1760,35	113,87
[5,27 – 7,77]	6,48	422,4	0,42354	5815,5	1040,41
[7,77 – 10,55]	9,1	88,8	0,2135	10140	192,24
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,09615	10140	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Febrero (kWh/mes)</b>					<b>1348,16</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Febrero (kWh/día)</b>					<b>46,48</b>

- Marzo

Tabla 46: Cálculo de energía aprovechable en el mes de marzo. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	45,6	0,2791	222,8	2,83
[3,33 – 5,27]	4,28	187,2	0,4647	1760,35	153,13
[5,27 – 7,77]	6,48	388,8	0,42354	5815,5	957,65
[7,77 – 10,55]	9,1	122,4	0,2135	10140	264,98
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,09615	10140	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Marzo (kWh/mes)</b>					<b>1378,60</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Marzo (kWh/día)</b>					<b>44,47</b>

- Abril

Tabla 47: Cálculo de energía aprovechable en el mes de abril. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	26,4	0,2791	222,8	1,641643872
[3,33 – 5,27]	4,28	153,6	0,4647	1760,35	125,6501215
[5,27 – 7,77]	6,48	381,6	0,42354	5815,5	939,9177656
[7,77 – 10,55]	9,1	160,8	0,2135	10140	348,114312
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,09615	10140	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Abril (kWh/mes)</b>					<b>1415,32</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Abril (kWh/día)</b>					<b>47,17</b>

- Mayo

Tabla 48: Cálculo de energía aprovechable en el mes de mayo. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	9,6	0,2791	222,8	10,32
[3,33 – 5,27]	4,28	88,8	0,4647	1760,35	58,64
[5,27 – 7,77]	6,48	472,8	0,42354	5815,5	112,54
[7,77 – 10,55]	9,1	172,8	0,2135	10140	41,13
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,09615	10140	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Mayo (kWh/mes)</b>					<b>1611,88</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Mayo (kWh/día)</b>					<b>51,99</b>

- Junio

Tabla 49: Cálculo de energía aprovechable en el mes de junio. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	0	0,2791	222,8	0
[3,33 – 5,27]	4,28	36	0,4647	1760,35	29,44
[5,27 – 7,77]	6,48	446,4	0,42354	5815,5	1099,52
[7,77 – 10,55]	9,1	232,8	0,2135	10140	503,98
[10,55 – 13,88]	12,15	2,4	0,09615	10140	2,33
<b>Energía aprovechable en el mes de Junio (kWh/mes)</b>					<b>1635,30</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Junio (kWh/día)</b>					<b>54,51</b>

- Julio

Tabla 50: Cálculo de energía aprovechable en el mes de julio. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	0	0,2791	222,8	0
[3,33 – 5,27]	4,28	98,4	0,4647	1760,35	80,49
[5,27 – 7,77]	6,48	525,6	0,42354	5815,5	1294,60
[7,77 – 10,55]	9,1	117,6	0,2135	10140	254,59
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,09615	10140	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Julio (kWh/mes)</b>					1629,68
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Julio (kWh/día)</b>					52,57

- Agosto

Tabla 51: Cálculo de energía aprovechable en el mes de agosto. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	9,6	0,2791	222,8	0,5969
[3,33 – 5,27]	4,28	268,8	0,4647	1760,35	219,88
[5,27 – 7,77]	6,48	441,6	0,42354	5815,5	1087,70
[7,77 – 10,55]	9,1	26,4	0,2135	10140	57,15
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,09615	10140	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Agosto (kWh/mes)</b>					1365,34
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Agosto (kWh/día)</b>					44,04

- Septiembre

Tabla 52: Cálculo de energía aprovechable en el mes de septiembre. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	12	0,2791	222,8	0,7462
[3,33 – 5,27]	4,28	266,4	0,4647	1760,35	217,92
[5,27 – 7,77]	6,48	420	0,42354	5815,5	1034,50
[7,77 – 10,55]	9,1	21,6	0,2135	10140	46,76
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,09615	10140	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Septiembre (kWh/mes)</b>					1299,93
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Septiembre (kWh/día)</b>					43,33

- Octubre

Tabla 53: Cálculo de energía aprovechable en el mes de octubre. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	24	0,2791	222,8	1,492
[3,33 – 5,27]	4,28	261,6	0,4647	1760,35	213,99
[5,27 – 7,77]	6,48	451,2	0,42354	5815,5	1111,34
[7,77 – 10,55]	9,1	7,2	0,2135	10140	15,58
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,09615	10140	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Octubre (kWh/mes)</b>					<b>1342,42</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Octubre (kWh/día)</b>					<b>43,30</b>

- Noviembre

Tabla 54: Cálculo de energía aprovechable en el mes de noviembre. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	43,2	0,2791	222,8	2,68
[3,33 – 5,27]	4,28	213,6	0,4647	1760,35	174,73
[5,27 – 7,77]	6,48	446,4	0,42354	5815,5	1099,52
[7,77 – 10,55]	9,1	16,8	0,2135	10140	36,37
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,09615	10140	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Noviembre (kWh/mes)</b>					<b>1313,31</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Noviembre (kWh/día)</b>					<b>43,77</b>

- Diciembre

Tabla 55: Cálculo de energía aprovechable en el mes de diciembre. FUENTE: Elaboración propia.

Rango de velocidad del viento (m/s)	Promedio del rango de velocidades (m/s)	Horas (h)	Coefficiente de potencia (Cp)	Potencia E70 PRO (W)	Energía aprovechable (kWh)
[1,38 – 3,33]	2,34	24	0,2791	222,8	1,49
[3,33 – 5,27]	4,28	168	0,4647	1760,35	137,42
[5,27 – 7,77]	6,48	528	0,42354	5815,5	1300,51
[7,77 – 10,55]	9,1	24	0,2135	10140	51,95
[10,55 – 13,88]	12,15	0	0,09615	10140	0
<b>Energía aprovechable en el mes de Diciembre (kWh/mes)</b>					<b>1491,39</b>
<b>Energía aprovechable al día en el mes de Diciembre (kWh/día)</b>					<b>48,10</b>

Tabla 56: Cálculo de energía aprovechable anual. FUENTE: Elaboración propia.

Meses	Energía aprovechable promedio al mes	Energía aprovechable promedio al día	Nº de aerogeneradores
Enero	1503,19	48,49	3
Febrero	1347,92	46,48	3
Marzo	1378,57	44,47	3
Abril	1415,1	47,17	3
Mayo	1611,87	51,99	3
Junio	1635,3	54,51	3
Julio	1629,67	52,57	3
Agosto	1365,24	44,04	3
Septiembre	1299,9	43,33	4
Octubre	1342,3	43,30	4
Noviembre	1304,1	43,47	4
Diciembre	1491,37	48,11	3
<b>Energía aprovechable anual por un aerogenerador (kWh/año)</b>	<b>17324,54</b>		

Si dividimos la demanda estimada en el mes más desfavorable, que es septiembre, que le corresponde al aerogenerador por la potencia que ofrece un aerogenerador, obtenemos el número de aerogeneradores que necesitaríamos para la instalación.

Una vez se ha realizado los cálculos para este modelo comparamos, como anteriormente se ha recalado los datos ofrecidos por el software de Enair.

	Producción eólica en kWh													Average	Anual
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec			
Wind speed (m/s)	4.4	4.3	4.3	4.4	4.3	4.2	4.0	3.3	3.2	3.2	3.6	4.3	4.0		
kWh/day	71.6	69.7	67.8	71.6	69.7	65.9	57.1	30.8	28.6	27.6	41.9	69.7	56.0	20459 kWh/year	
kWh/month	2221	1969	2102	2149	2161	1978	1771	954	858	854	1258	2161	1705		

Figura 62: Tabla de energía eólica aprovechable por el software de Enair. FUENTE [42].

Otra forma de calcular la energía obtenida anual puede realizarse con la siguiente expresión, teniendo en cuenta que la energía puede ser hasta un 20% mayor. Donde la velocidad media según el atlas eólico proporcionado por global wind atlas es de 4,46 m/s. Esta es expresión es la siguiente:

$$E = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot (\bar{v})^3 \cdot A \cdot \left( \frac{1}{1000} (W \rightarrow kW) \right) \cdot \left( 365 \text{ días} \cdot \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \right)$$

Tabla 57: Cálculo de la energía aprovechable eólica por otro método. FUENTE: Elaboración propia.

Modelo	Área (m <sup>2</sup> )	Densidad del aire (Kg/m <sup>3</sup> )	Coefficiente de potencia (C <sub>p</sub> )	Velocidad media anual (m/s)	Energía aprovechable (kWh/año)
E200L	75,4	1,25	0,4708	4,46	17524,35
E70 PRO	14,5	1,25	0,3409	4,46	2400,95

Si se tiene en cuenta el excedente de energía que proporciona la expresión:

$$E_{E70 \text{ PRO}} = 2400,95 \cdot 1,2 = 2881,14 \text{ kWh/año}$$

$$E_{E200L} = 17524,35 \cdot 1,2 = 21029,22 \text{ kWh/año}$$

Como podemos observar la energía aprovechable por los aerogeneradores, se aproxima a los cálculos realizados por el otro método, pero aun así es menos preciso, por lo que este método queda descartado.

Como se puede observar la energía aprovechable calculada por este método del modelo E70 PRO queda muy por encima de la calculada por este método y por el software de Enair, en cambio la energía aprovechable calculada es muy aproximada por los dos métodos y el software de Enair. Esto significa, que la variación de los datos del viento dependiendo de la fuente es importante a la hora de realizar estos cálculos, teniendo una variación significativa en uno de los modelos. Por otro lado, el método utilizando la velocidad promedio anual del emplazamiento puede ser de ayuda para estimar un cálculo rápido de la producción de energía de un aerogenerador, pero no se aproxima del todo a la realidad, ya que la velocidad del viento varía durante todo el año.



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Por otro lado, el factor de capacidad es la relación que existe entre la energía generada anual y la energía obtenida a través de la potencia nominal equivalentes a un periodo de tiempo anual. Este factor ayuda a identificar la viabilidad del modelo del aerogenerador en el emplazamiento determinado. El factor de capacidad viene expresado por la siguiente fórmula:

$$FC = \frac{\text{Energía generada anualmente}}{\text{Energía nominal}} = \frac{\text{Energía generada}}{\text{Potencia nominal} \cdot 365 \text{ días} \cdot 24 \text{ horas}}$$

Siendo las potencias nominales 10 kW y 4 kW de los modelos E200L Y E70 PRO, respectivamente. Por lo que su factor de capacidad para el modelo E200L, es de aproximadamente el 20% y del modelo E70 PRO, es de 12% aproximadamente.

Las razones por la que se escoge el aerogenerador de modelo E200L, es porque ofrece una tecnología que emula a modelos de la gran eólica, pero adaptada para pequeños aerogeneradores que son más manejables y de fácil montaje. Como se puede observar en la curva de potencia este modelo ofrece mayores potencias para un rango de velocidades más bajas, mientras que el modelo E70 PRO comprende un rango de velocidades más altas para su producción eficiente, además que requiere de menor número de aerogeneradores para producir la energía que necesitamos. Por otro lado, el factor de capacidad con un valor más alto le corresponde al modelo E200L, lo que significa que este modelo se adapta mejor al emplazamiento. Por lo que, se empleara este modelo y el número de aerogeneradores necesarios son 4.

Por lo tanto, la energía aprovechable por la parte de la instalación eólica aparece en la siguiente tabla y gráfica:

Tabla 58: Energía eólica total aprovechable. FUENTE: Elaboración propia.

Mes	Energía aprovechable (kWh/mes)
Enero	6012,76
Febrero	5391,68
Marzo	5514,28
Abril	5660,4
Mayo	6447,504
Junio	6541,2
Julio	6518,68
Agosto	5460,96
Septiembre	5199,6
Octubre	5369,2
Noviembre	5216,4
Diciembre	5965,516
<b>TOAL ANUAL (kWh/año)</b>	<b>69298,18</b>

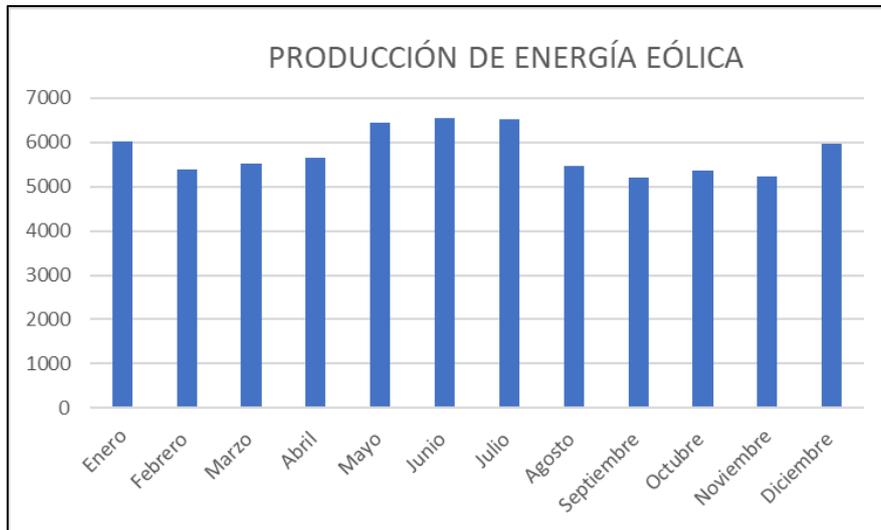


Figura 63: Producción de energía aprovechable en función de los meses del año. FUENTE: Elaboración propia.

Considerando la solución planteada se va a calcular el grado de sobredimensionamiento de producción de energía sobre el consumo. Utilizando la siguiente formula:

$$\text{Grado de sobredimensionamiento} = \frac{E_p \cdot n^{\circ} \text{ aerogeneradores} \cdot \eta_{int} \cdot \eta_{inv}}{E_c \cdot 0,8}$$

Donde:

$E_p$ : Energía producida al día por un aerogenerador en el mes más desfavorable

$n^{\circ}$  aerogeneradores: número de aerogeneradores

$\eta_{int}$ : rendimiento de la instalación

$\eta_{inv}$ : rendimiento del inversor

$E_c$ : Energía consumida por el poblado al día

$$\text{Grado de sobredimensionamiento} = \frac{43,33 \cdot 4 \cdot 0,9 \cdot 0,9}{150,4 \cdot 0,8} = 1,16$$

Conviene subrayar que en esta fórmula se han aplicado las pérdidas que produce la instalación y los inversores, al mismo tiempo que el margen de error por estas pérdidas en el cálculo de la energía consumida por el poblado que era un 20% de margen.

#### 8.1.4 Dimensionado del regulador solar y eólico

Para conocer que regulador es el indicado, se ha de tener en cuenta los criterios de tensión nominal, que es la tensión a la que trabaja la instalación y corriente máxima que debe soportar. Se sabe que el valor de tensión es de 48 V.

La corriente aportada por la instalación fotovoltaica son las 4 líneas en paralelo para un regulador de carga, obteniéndose así 7 reguladores de carga por cada 16 paneles fotovoltaicos, por lo tanto:

$$I_{solar} = n^{\circ} \text{ de líneas en paralelo} \cdot I_{modulo}$$

$$I_{solar} = 4 \cdot 9,6 = 38,4 \text{ A}$$

Por otro lado, la corriente aportada por el aerogenerador es:

$$I_{aerogenerador} = \frac{P_{max} \cdot k_s}{V_{inst}}$$

Donde:

$I_{aerogenerador}$ : intensidad del aerogenerador.

$P_{max}$ : potencia máxima del aerogenerador.

$k_s$ : coeficiente de sobredimensionamiento

$V_{inst}$ : voltaje de la instalación

$$I_{aerogenerador} = \frac{20000 \cdot 1,1}{48} = 458,5 \text{ A}$$

En conclusión, se utilizará un regulador solar de marca SRNE que soporta un máximo de 250 V y una intensidad de 70 A, para la parte de fotovoltaica. Para el regulador eólico se utilizará uno en función de la potencia máxima que puede llegar a generar, para así poder soportar la corriente calculada, es decir un regulador eólico específico de 20 kW

#### 8.1.5 Dimensionado del inversor

El inversor que se utilizará para este tipo de instalación, tiene que contener unas características específicas que tienen que ver con el voltaje al que trabaja la instalación que son 48 V y con al menos 30 kW.

#### 8.1.6 Dimensionado del sistema de acumulación

Para adecuar el total de baterías es necesario determinar cuántos días de autonomía escoger para el buen funcionamiento de la instalación, lo recomendado para una instalación mixta de estas características es un máximo de 3 días, con lo que el conjunto de baterías necesario será el siguiente:

$$C_{72} = \frac{N_{aut} \cdot \text{consumo máximo diario}}{\text{profundidad de descarga}}$$

$$C_{72} = \frac{3 \cdot 8703,703}{0,6} = 43518 \text{ Ah}$$

Se necesita hacer una configuración de acumuladores que cumpla con la capacidad calculada, la profundidad de descarga y con una tensión de la instalación a 48 V. utilizando un banco de baterías de marca Sunlight, calculamos las baterías necesarias en paralelo para cubrir la capacidad. En la ficha técnica se sitúan unas tablas en función de la capacidad y los días de autonomía, además de otras características.

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Type	Positive Plates		Number of Poles	Rated Capacity (Ah at 20°C)					Dimensions (mm)				Poles Distance (mm)	Wet Weight (kg)	Dry Weight (kg)	Internal Resistance (mOhm)	Short Circuit Current (A)	
	Number	Size (Ah)		C240 1.85 Vpc	C120 1.85 Vpc	C48 1.80 Vpc	C24 1.80 Vpc	C12 1.80 Vpc	Length	Width	Height 1	Height 2						
Cells	2V 2 RES OPzS 185	2	50	2	196	187	172	153	131	103	206	355	383	-	15.5	8.2	1.430	1420
	2V 3 RES OPzS 260	3		2	273	262	244	217	188	103	206	355	383	-	17.0	10.6	0.950	2120
	2V 4 RES OPzS 300	4		2	310	300	285	256	224	103	206	355	383	-	17.5	12.8	0.740	2720
	2V 5 RES OPzS 375	5		2	391	379	359	323	281	124	206	355	383	-	21.2	15.3	0.590	3420
	2V 6 RES OPzS 450	6		2	469	454	431	387	338	145	206	355	383	-	24.9	18.0	0.510	3940
	2V 5 RES OPzS 550	5		70	2	574	553	527	474	413	124	206	471	499	-	28.6	20.6	0.540
	2V 6 RES OPzS 660	6	2		688	662	630	567	494	145	206	471	499	-	33.5	24.2	0.460	4400
	2V 7 RES OPzS 750	7	2		779	750	717	646	564	166	206	471	499	-	38.5	27.6	0.410	4950
	2V 5 RES OPzS 900	5	2		947	904	845	748	639	145	206	646	674	-	42.3	29.3	0.510	3950
	2V 6 RES OPzS 965	6	2		1006	966	916	816	703	145	206	646	674	-	46.5	33.7	0.430	4700
	2V 7 RES OPzS 1290	7	4		1266	1230	1154	1024	877	191	210	646	674	80	59.4	42.3	0.360	5600
	2V 8 RES OPzS 1275	8	100	4	1330	1278	1213	1083	934	191	210	646	674	80	63.5	46.7	0.310	6500
	2V 9 RES OPzS 1480	9		4	1547	1484	1403	1250	1076	233	210	646	674	110	73.5	52.3	0.280	7250
	2V 10 RES OPzS 1590	10		4	1656	1592	1511	1349	1185	233	210	646	674	110	77.7	56.7	0.250	8100
	2V 11 RES OPzS 1885	11		4	1974	1888	1776	1576	1350	275	210	646	674	140	87.7	62.4	0.240	8450
	2V 12 RES OPzS 1905	12		4	1966	1908	1810	1614	1391	275	210	646	674	140	91.9	66.8	0.220	9250
	2V 11 RES OPzS 2285	11		4	2369	2286	2173	1957	1698	275	210	797	825	140	108.9	77.0	0.230	8800
	2V 12 RES OPzS 2225	12	125	4	2296	2226	2142	1944	1701	275	210	797	825	140	114.0	82.4	0.220	9200
	2V 14 RES OPzS 2785	14		6	2868	2789	2639	2381	2069	399	214	772	800	2x110	145.8	100.3	0.190	10650
	2V 15 RES OPzS 2920	15		6	3018	2921	2797	2531	2208	399	214	772	800	2x110	150.9	105.9	0.170	11900
	2V 16 RES OPzS 2970	16		6	3064	2973	2861	2500	2279	399	214	772	800	2x110	156.1	111.4	0.156	12950
	2V 18 RES OPzS 3780	18		8	3916	3780	3589	3236	2811	487	212	772	800	3x110	183.7	128.6	0.137	14750
	2V 20 RES OPzS 4075	20		8	4217	4076	3885	3510	3057	487	212	772	800	3x110	194.0	139.5	0.122	16550
	2V 22 RES OPzS 4455	22	125	8	4615	4457	4247	3833	3335	576	212	772	800	3x140	219.6	153.7	0.114	17700
	2V 24 RES OPzS 4620	24		8	4770	4620	4430	4014	3508	576	212	772	800	3x140	229.8	164.9	0.105	19250
	2V 26 RES OPzS 4730	26		8	4869	4733	4564	4156	3656	576	212	772	800	3x140	240.1	175.8	0.098	20600

Figura 64: Tabla de modelos de baterías en función de su capacidad y días de autonomía. FUENTE [43].

Los días de autonomía aparecen en la parte superior de la tabla, que resultan ser: 12, 24, 48, y 120 con una temperatura específica de 20 °C. En este caso no aparecen en la tabla los 3 días de autonomía que son 72 horas, por lo que se interpola entre 120 y 48 horas para obtener la capacidad de cada vaso que son 2 voltios, el modelo a usar es RES 8 SOPzV 1360.

Interpolando se obtiene:

$$\frac{120 - 48}{72 - 48} = \frac{4733 - 4564}{C_{72} - 4564}$$

$$C_{72} = 4620,33 \text{ Ah}$$

Obteniendo un número de acumuladores en paralelo de:

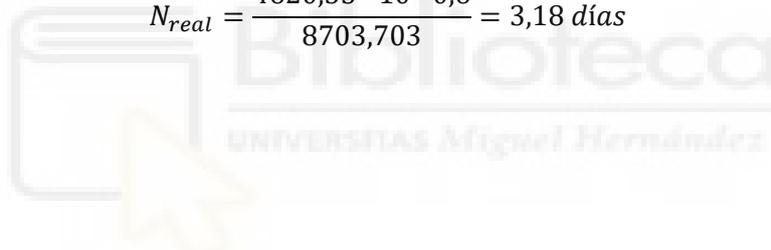
$$N^{\circ} \text{ de acumuladores} = \frac{43518,515}{4620,33} = 9,41 \cong 10$$

En definitiva, la configuración de los acumuladores quedaría conectados 24 vasos de 2 voltios cada vaso en serie para conseguir el voltaje de la instalación que es de 48 V, y en paralelo se conectan 10 acumuladores para cumplir con los días de autonomía y la capacidad a cubrir por la demanda del poblado.

La capacidad real de autonomía que tendría el sistema de acumulación es:

$$N_{real} = \frac{\text{capacidad batería} \cdot \text{profundidad de descarga}}{\text{capacidad máxima demandada}}$$

$$N_{real} = \frac{4620,33 \cdot 10 \cdot 0,6}{8703,703} = 3,18 \text{ días}$$



Por lo que el grado de sobredimensionamiento quedaría:

$$\text{grado de sobredimensionamiento} = \frac{n^{\circ} \text{ de baterías en paralelo} \cdot C_{72}}{\text{capacidad de la demanda}}$$

$$\text{grado de sobredimensionamiento} = \frac{10 \cdot 4620,33}{43518,51} = 1,06$$

#### 8.1.7 Dimensionado del cableado

En este apartado se procede a calcular la sección mínima del conexionado que existe entre los dispositivos para el buen funcionamiento de la instalación utilizando la guía técnica de aplicación para instalaciones interiores o receptoras.

La longitud del cableado se ha tenido en cuenta a partir de esta disposición de los elementos:

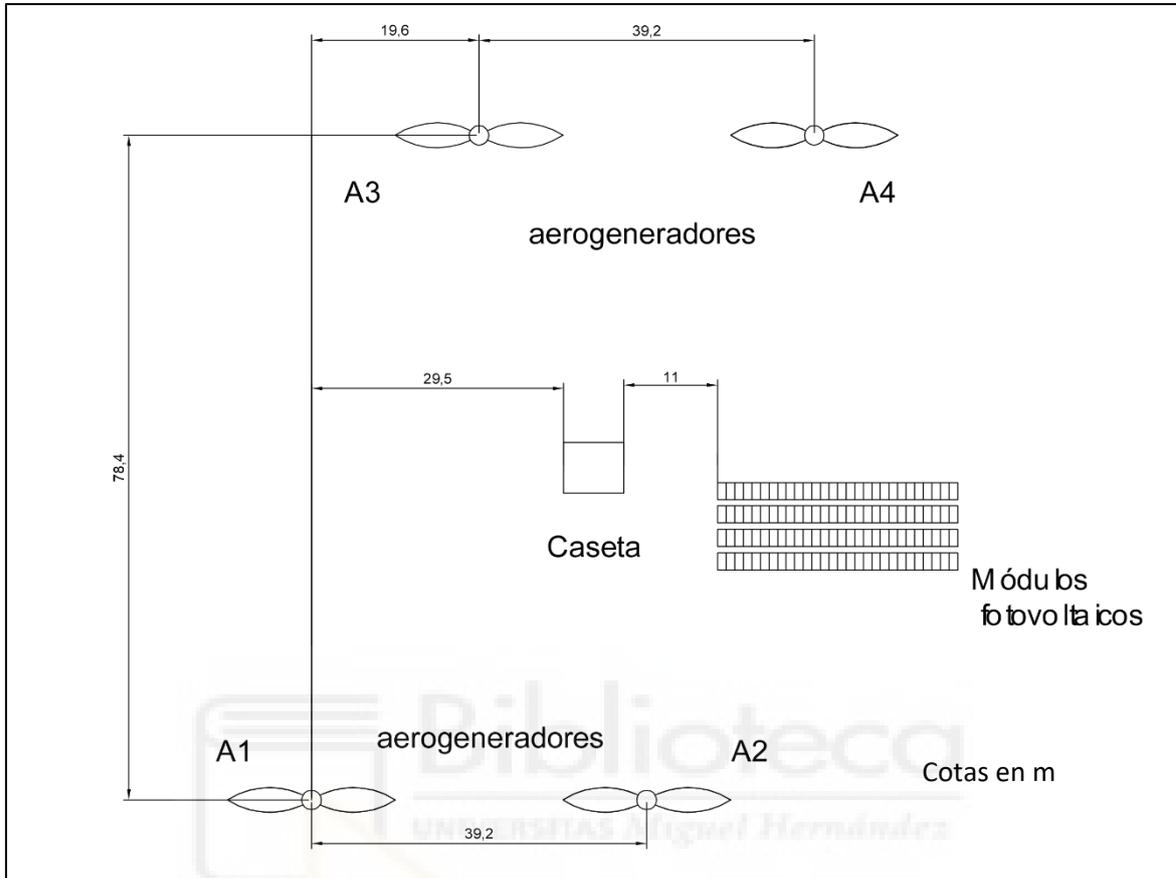


Figura 65: Esquema de disposición de elementos de la instalación autónoma. FUENTE: elaboración propia.

Cabe destacar que los elementos como reguladores de carga, baterías, inversor junto con los elementos de protección y medición del sistema están situados dentro de la caseta para su protección adecuada.

- **Sección aerogenerador-regulador**

Para el cableado de esta parte de la instalación, hay que tener en cuenta la distancia a la que se sitúan los aerogeneradores entre ellos y en conexión con el regulador. Por lo que se considera una longitud aproximada de 49 m para todos los aerogeneradores de cable hacia la caseta donde residen todos los elementos como baterías, reguladores, caja de protecciones (con los elementos descritos en el capítulo 7) e inversor. Por otro lado, el cable a usar es de cobre con una resistividad de  $0,017 \Omega$ .

Sabiendo que la sección tiene que cumplir el criterio de caída de tensión se calcula con la siguiente expresión:

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{\Delta V}$$

Para poder aplicar la fórmula, se ha de calcular la intensidad máxima que circula por el circuito, que es de:

$$I_{max} = \frac{S_{max}}{V} = \frac{20000 \cdot 1,1}{48} = 458,3 \text{ A}$$

Con lo que la sección mínima según la caída de tensión es:

$$S = \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 49 \cdot 458,3}{48 \cdot 0,03} = 530,22 \text{ mm}^2$$

La sección según ITC-BT-19:

La sección adecuada que se ha de escoger, está relacionada con el tipo de instalación que se va a realizar y el material aislante de los conductores, siendo una instalación de tipo B, es decir, conductores aislados en tubos de montaje superficial.

En la siguiente tabla se puede obtener la sección del cable en función de la intensidad máxima que puede transferir el cableado.

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes											
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
B2		Cables multiconductores en tubos en montaje superficial o empotrados en obra		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR		2x XLPE o EPR				
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared <sup>9</sup>				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
E		Cables multiconductores al aire libre <sup>9</sup> . Distancia a la pared no inferior a 0,3D <sup>9</sup>				3x PVC			2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
F		Cables unipolares en contacto mutuo <sup>9</sup> . Distancia a la pared no inferior a D <sup>9</sup>					3x PVC				3x XLPE o EPR <sup>9</sup>		
G		Cables unipolares separados mínimo D <sup>10</sup>								3x PVC <sup>10</sup>		3x XLPE o EPR	
		mm <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
		2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
		4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
		6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
		10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
		16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	103	-
		25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
		35	77	86	96	104	110	119	131	144	154	166	206
		50	94	103	117	125	133	145	159	175	188	200	250
		70			149	160	171	188	202	224	244	271	321
		95			180	194	207	230	245	271	296	331	391
		120			208	225	240	267	284	314	348	395	455
		150			236	260	278	310	338	363	404	452	525
		185			268	297	317	354	386	415	464	521	601
		240			315	350	374	419	455	490	552	611	711
		300			360	404	423	484	524	565	640	721	821

Figura 66: Tabla de la ITC-BT-19 sección de cable en función de la intensidad, tipo de cable y tipo de instalación.

FUENTE: ITC-BT-19.

Según la ITC-BT-19 como la salida del aerogenerador es trifásica se escogen los valores de 3x XLPE o EPR, con un valor de intensidad de 524 A le corresponde una sección de 300 mm<sup>2</sup>, aunque en el criterio según la caída de tensión nos ofrece una sección más elevada ya que la longitud del cable hacia la caseta donde esta almacenados los aparatos es considerablemente larga. Por lo que se escoge el valor de sección calculado por la caída de tensión.

Siendo la caída de tensión para este conexionado de:

$$\Delta V = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 49 \cdot 458,3}{531} = 1,43 \text{ V}$$

En % es:

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V}{V} = \frac{1,43 \cdot 100}{48} = 2,97\%$$

- **Sección paneles-regulador**

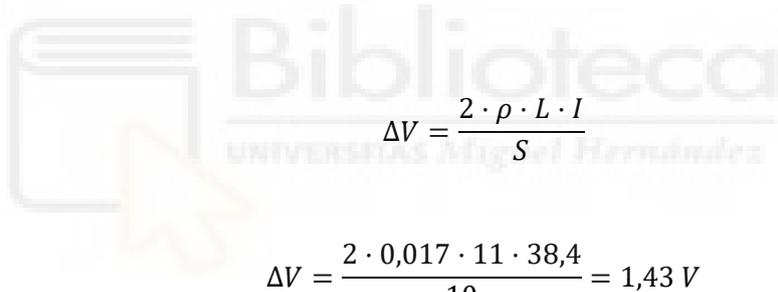
En este caso se necesita conocer la intensidad máxima que circula por este tramo del circuito, que es de 38,4 A.

Siendo la sección mínima según la caída de tensión de:

$$S = \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 11 \cdot 38,4}{48 \cdot 0,03} = 9,97 \text{ mm}^2$$

Según la ITC-BT-19 la sección para 38,3 A es de 10  $\text{mm}^2$ , por lo que se escoge la mayor sección de los dos métodos, en este caso es de 10  $\text{mm}^2$ .

La caída de tensión considerando esta sección resulta ser de:



$$\Delta V = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 11 \cdot 38,4}{10} = 1,43 \text{ V}$$

En % es:

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V}{V} = \frac{1,43 \cdot 100}{48} = 2,97\%$$

- **Sección regulador-acumuladores**

Según el criterio de la caída de tensión se necesita un conductor de la siguiente tensión:

$$S_{solar} = \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 2 \cdot 70}{48 \cdot 0,03} = 3,305 \text{ mm}^2$$

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

$$S_{eólico} = \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 2 \cdot 91}{48 \cdot 0,03} = 4,29 \text{ mm}^2$$

Según la REBT para las intensidades de 70 y 91 amperios le corresponden unas secciones de 25 y 35  $\text{mm}^2$  respectivamente, pero se escogerá la establecida por el reglamento de electrificación de baja tensión.

Siendo la caída de tensión para este conexionado de:

$$\Delta V = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{S}$$

$$\Delta V_{solar} = \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 2 \cdot 70}{25} = 0,19 \text{ V}$$

$$\Delta V_{eólico} = \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 2 \cdot 91}{35} = 0,17 \text{ V}$$

En % es:

$$\Delta V_{solar}(\%) = \frac{\Delta V}{V} = \frac{0,19 \cdot 100}{48} = 0,39 \%$$

$$\Delta V_{eólico}(\%) = \frac{\Delta V}{V} = \frac{0,17 \cdot 100}{48} = 0,35 \%$$

- **Sección inversor-acumulador**

Según el criterio de caída de tensión se tiene una sección de conductor de:

$$S_{solar} = \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 48}{48 \cdot 0,03} = 6,8 \text{ mm}^2$$

Según la REBT la intensidad que le corresponde es de valor de sección de 50  $\text{mm}^2$ , siendo esta el valor más grande y el que se ha de escoger.

La caída de tensión considerando esta sección resulta ser de:

$$\Delta V = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 2 \cdot 144}{50} = 0,19 \text{ V}$$

En % es:

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V}{V} = \frac{0,19 \cdot 100}{48} = 0,39 \%$$

#### 8.1.8 Distancia entre módulos y aerogeneradores

A la hora de ejecutar la colocación de los dos tipos de generadores, se debe hacer hincapié en aspectos que puedan influir en su correcto funcionamiento, por eso mismo se estiman unas series de distancias mínimas entre módulos y aerogeneradores. Si la colocación es ineficiente, las pérdidas de la instalación aumentan considerablemente no llegando a cubrir la demanda esperada. Estas pérdidas se deben principalmente al fenómeno efecto sombra.

Para la colocación de los módulos fotovoltaicos el principal objetivo es la solapación de sombras que puede generar una fila de módulos con respecto a otra por la influencia de la radiación solar sobre una generando sombra en la siguiente fila.

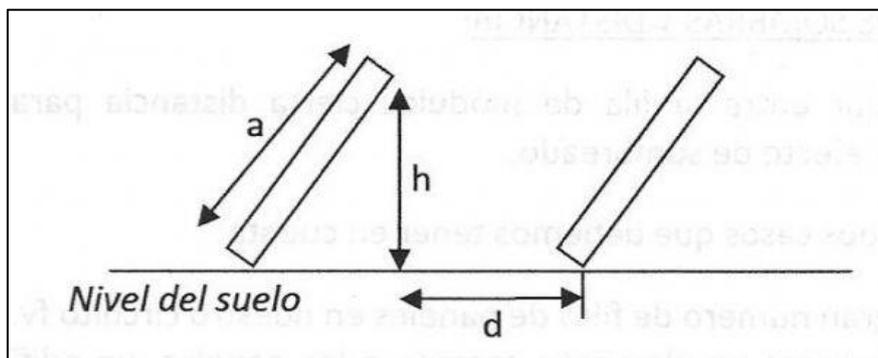


Figura 67: Distancia mínima de módulos fotovoltaicos. FUENTE [44].



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

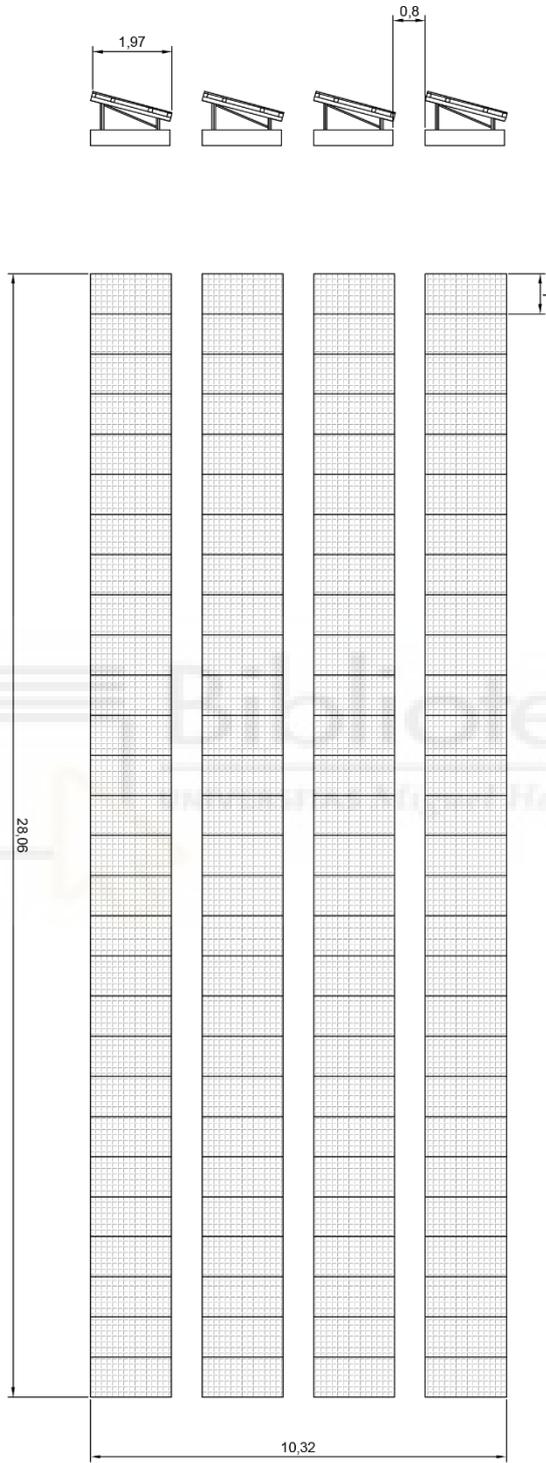
Mediante la siguiente fórmula calculamos la distancia mínima entre módulos:

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg}(61 - \text{latitud})} = \frac{0,52773}{\operatorname{tg}(61 - 12,38)} = 0,4649 \text{ m}$$

Por otro lado, la disposición de las placas fotovoltaicas se hará de tal manera que habrá cuatro filas de módulos fotovoltaicos y en cada fila habrá 28 módulos fotovoltaicos, como aparece en la siguiente figura:



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados



Cotas en m

Figura 68: Disposición de los módulos fotovoltaicos. Elaboración propia.

La posición de los aerogeneradores se colocará a tresbolillo. Donde los 4 aerogeneradores se repartirán en 2 filas y en cada fila se situarán 2 aerogeneradores. La distancia entre las filas de estos se ha fijado en 8 veces el diámetro del aerogenerador seleccionado, que es 78,4 m. Mientras que la distancia entre los aerogeneradores dispuestos en una misma fila se ha establecido en 4 veces el diámetro del aerogenerador, o lo que es lo mismo un total de 39,2 m. como aparece en la figura x



Figura 69: Colocación de aerogeneradores a tresbolillo. FUENTE [45].

## 8.2 Configuración de la instalación

A continuación, se presenta el esquema unifilar del conexionado de todos los elementos de la instalación:

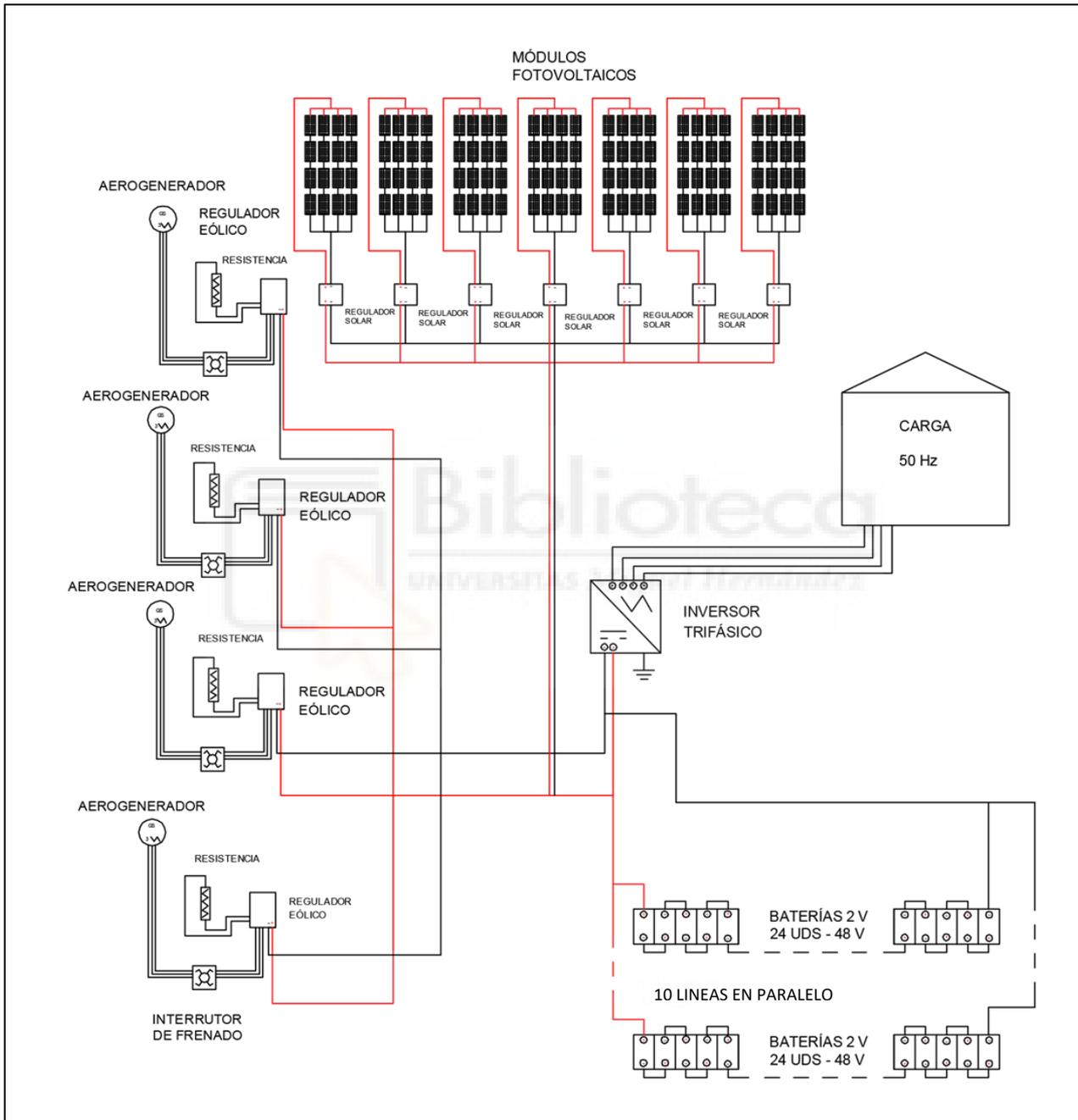


Figura 70: Esquema de configuración de la instalación. FUENTE: elaboración propia

### 8.3 Montaje y puesta en marcha

Como resultado del dimensionamiento de la instalación y elección de equipos, el próximo paso es el montaje de la misma. La ejecución y puesta en marcha de la misma, es una de las fases de vital importancia para la participación de la comunidad del poblado, para alcanzar con éxito este proyecto. Para contar con una generación de empleo a nivel local, se deberá contratar mano de obra local y posibles cursos de formación, para el conocimiento de la instalación, y provocar un sentimiento de responsabilidad y pertenencia, ahorrando costes en traslado de profesionales al emplazamiento de la instalación. No debe haber duda en el funcionamiento y se dejará documentado todos los detalles precisos de la instalación, para una correcta comprensión de la misma, esta documentación estará al alcance de los usuarios y personal de mantenimiento de la instalación.

Los objetivos fundamentales para el correcto montaje de la instalación son:

- Determinar la situación de la instalación desde un punto de vista técnico y social.
- Adquirir los equipos, incluyendo compra y transporte de los mismos.
- Obra civil del aerogenerador y colocación de estructuras de los paneles fotovoltaicos (se elevarán ligeramente para reducir la limpieza y permitir la circulación del aire para refrigerar).
- Colocación de los paneles y su conexionado.
- Diseño de una caseta para proteger las baterías, equipos de control, regulación y para almacenar elementos necesarios de mantenimiento.
- Conexión del tendido de cables y protección de los mismos.
- Pruebas de funcionamiento.
- Puesta en marcha.

A continuación, se definirá el lugar de emplazamiento de la planta de generación de energía a través de las fuentes de energía fotovoltaica y eólica. El resto de puntos comentados no se desarrollarán más en profundidad pues quedan fuera del marco de estudio de este proyecto.

Realizando un estudio de mapeo, la población de Ungua dogo cuenta con una extensión de viviendas de  $80 \text{ km}^2$  como aparece en la siguiente figura.



Figura 71: Extensión del poblado rural de Unguadogo. FUENTE: Elaboración propia.

La instalación cuenta con área de  $4,6 \text{ km}^2$  aproximadamente y se situará a 500 metros del poblado para tener en cuenta la expansión de la comunidad y cerca del acceso de la carretera, para que a la hora del montaje se pueda acceder con facilidad Como aparece en la siguiente imagen.



Figura 72: Emplazamiento de la instalación. FUENTE: Elaboración propia.

## 8.4 Mantenimiento y evaluación

Una vez ejecutada la instalación es habitual y de gran importancia realizar un seguimiento de la instalación, ya que influye en el carácter social como económico.

Para mantener una instalación energética, hay que tener en cuenta su correcto funcionamiento, prevención de riesgos de la instalación y sobre todo evitar pérdidas que dificulten la producción de energía. Desde el punto de vista técnico es inevitable que ocurra algún problema, por lo que es muy importante la involucración de los propios consumidores de la instalación como de los responsables de la misma.

Como se trata de un proyecto de relevancia en el aspecto social, la evaluación resulta algo crítico para que tenga éxito. Esta fase, debería tener una duración de dos a tres años iniciándose al comenzar el funcionamiento de la instalación. Fundamentalmente para analizar el estado de integración e impacto social el proyecto, la modificación de cambios en los hábitos, el desarrollo de la misma, teniendo influencia positiva y como ha reaccionado esta, en cuanto a producción de energía, necesidades específicas de mantenimiento teniendo en cuenta el emplazamiento, fiabilidad, etc.

### 8.4.1 Mantenimiento de la instalación

En este apartado se detalla el plan de mantenimiento, donde se detalla las comprobaciones que se deben de hacer periódicamente para que los elementos funcionen correctamente, así como el conjunto de la instalación, para tener una larga vida útil y prevenir el riesgo de averías. Los fabricantes en los manuales técnicos de los aparatos también están obligados a ofrecer un plan de mantenimiento para garantizar la garantía del aparato.

Se pueden distinguir varios tipos de funcionamiento:

- **Mantenimiento correctivo:** es aquel que corrige los defectos de averías o de las instalaciones y equipos para volver a reestablecer la operativa de los mismos. Estos fallos no pueden planificarse en el tiempo, por lo que implican costes de reparación y repuestos no presupuestados.
- **Mantenimiento preventivo:** son todas las acciones necesarias para reducir o evitar las averías del conjunto de la instalación. Este tipo de mantenimiento es el que evita averías inesperadas y puede evitar costes producidos por estos fallos.

Por otro lado, se definirá los tipos de acciones a realizar en función de cada aparato perteneciente a la instalación:

- **Módulos fotovoltaicos**

- ✓ Limpieza del panel: con el tiempo la acumulación de polvo puede provocar una reducción de su rendimiento, aunque a veces no muy significativa, se realizará una limpieza de los mismos cada tres meses con el fin de reducir lo máximo posible las pérdidas.
- ✓ Inspección visual: de forma trimestral se realizará esta inspección para comprobar los siguientes puntos: rotura de cristal, que las células fotovoltaicas no estén en mal estado, que no exista oxidación, ni deformaciones en la estructura.
- ✓ Control de conexionado y partes eléctricas: de forma anual se realizarán las siguientes comprobaciones: ausencia de óxido en los contactos del panel, estado de la caja de conexiones para asegurar la estanqueidad, se comprobará con una cámara termográfica que ninguna de las células excede la temperatura recomendada por el fabricante.
- ✓ Control de la estructura: de forma anual se ha de comprobar que no exista ni deformaciones ni degradaciones en la estructura que sujeta los paneles, que la unión entre cubierta y estructura tenga un correcto apriete para que el panel no se mueva.

- **Aerogenerador**

El mantenimiento preventivo se realizará cada seis meses y se debe ejecutar las siguientes comprobaciones:

- ✓ Inspeccionar visualmente la torre comprobando que no está alterada a causa de ningún daño o modificaciones estructurales.
- ✓ Reapriete de los elementos del aerogenerador como de la torre.
- ✓ Comprobar el punto de conexión entre el aerogenerador y los conductores
- ✓ Comprobar que se produzca un buen giro de las aspas, en caso contrario se realizará la limpieza y engrase de las mismas.
- ✓ Comprobar visualmente que las aspas no sufren daños.

- **Inversor**

Ya que es el encargado de convertir la energía en corriente continua a corriente alterna para alimentar todos los receptores, se debe de hacer hincapié en el mantenimiento de este elemento, que se realiza mediante los siguientes procedimientos.

- ✓ Comprobar una vez al mes que el estado del alojamiento del inversor es correcto y se mantiene ventilado y sin humedad.
- ✓ Cada seis meses se revisará el estado de las rejillas de ventilación, comprobando que no hay un exceso de suciedad.
- ✓ Comprobar cada seis meses los filtros de aire.
- ✓ Comprobar una vez al año la eficiencia de la transformación.
- ✓ Comprobar de forma semestral el estado de los contactos del inversor, asegurando que no están oxidados y mantienen un par de apriete correcto.

- **Regulador**

Para los reguladores se comprobarán los siguientes puntos:

- ✓ Verificar cada seis meses que el recinto donde se encuentra este bien ventilado y sin humedad.
- ✓ Comprobar de forma semestral que no existe polvo o suciedad sobre ninguna de las partes del regulador.
- ✓ Comprobar cada seis meses que los contactos del regulador no tienen oxido y están bien apretados.

- **Acumulador**

Las baterías necesitan el siguiente mantenimiento:

- ✓ Comprobar cada tres meses el nivel de líquido.
- ✓ Limpiar de forma trimestral los bornes de las baterías.
- ✓ Comprobar cada seis meses el estado de apriete de las conexiones de las baterías.
- ✓ Comprobar cada tres meses el estado de la estancia donde se alojan las baterías, de manera que no haya humedad o calor excesivo.



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

### 8.4.2 Evaluación de la instalación

En este proyecto la evaluación y seguimiento de la instalación es determinante para evitar el fracaso del mismo. Muchos proyectos similares, al estar en países poco próximos, se han desentendido los responsables de la instalación con el país receptor. Es fundamental realizar este seguimiento del proyecto debido a dos factores: los problemas ofrecidos en la puesta en marcha son sencillos de resolver si se hace lo más pronto posible, por el contrario, si se van dejando atrás conducirá al fracaso del proyecto. El otro factor determinante es el aprendizaje para los próximos proyectos sobre la satisfacción y demanda de la comunidad, para la sostenibilidad de la instalación.

Por eso mismo, la evaluación y seguimiento engloba aspectos técnicos y sociales, lo que implica que los responsables de la tecnología y sociología deberán visitar la instalación como mínimo durante dos o tres años.

Una manera para solventar el seguimiento es realizando un departamento de atención al cliente, donde se recoja información sobre sus opiniones, problemas que hayan surgido, cómo evoluciona la calidad de vida, etc. Es fundamental incluir a las personas más representativas de la ciudad y distintos estilos de grupos sociales.

La evaluación técnica tiene como tareas principales:

- Comprobación de si se realiza un buen mantenimiento, tanto de los usuarios como el personal especializado. Gracias a la documentación del mantenimiento se puede realizar un seguimiento del proceso que se ha llevado a cabo y la frecuencia de su realización. Es necesario una conciencia social sobre el buen uso y mantenimiento de la instalación
- Establecer estudios sobre el consumo que se haya realizado respecto al estimado inicialmente. Para ello se necesita medidores de la capacidad (Ah) en puntos clave de la instalación sobre la energía aportada y la consumida, recogidos diariamente.
- Preservar las posibles demandas del poblado sobre el aumento de energía disponible, en la medida de lo posible. Al ser tecnología modular, siempre se puede plantear una posible inversión en nuevos paneles solares.

En cuanto al aspecto social es uno de los puntos determinantes para el beneficio de la instalación, donde se realizará un estudio exhaustivo sobre la comunidad como el realizado previamente a la implantación del proyecto, con objeto de estudio principalmente los cambios en la vida económica y productiva, así como los grupos sociales favorecidos, etc. Se ha de



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

recaltar el desarrollo y modificaciones socioculturales y socioeconómicas que tenga influencia a lo largo de la puesta en marcha del proyecto. La aceptación del proyecto por la comunidad es uno de los puntos clave, tanto de los nuevos servicios gracias a la implantación de la instalación como de satisfacer al usuario.

En conclusión, se puede decir que el objetivo principal es comprobar la evolución social, es decir, si el proyecto realmente ha contribuido al desarrollo y avance de la comunidad.





**CAPÍTULO 9:  
PLANIFICACIÓN  
TEMPORAL**



Biblioteca  
UNIVERSIDAD Miguel Hernández





## CAPÍTULO 9: PLANIFICACIÓN TEMPORAL

Para conseguir la realización con éxito de un trabajo final de grado se ha de marcar unos objetivos a cumplir en un espacio temporal definido. Es necesario definir una estrategia y establecer objetivos a corto y medio plazo para conseguir nuestro fin último que es la realización de este proyecto.

*“Primero, ten un ideal práctico claro y definido; Una meta, un objetivo. Segundo, ten los medios necesarios para lograr tus fines; Sabiduría, dinero, materiales y métodos. En tercer lugar, ajusta todos tus medios para ese fin”* de Aristóteles.

*“Un objetivo sin un plan es sólo un deseo”* de Larry Elder.

Se utilizarán dos métodos empleados para la planificación de cualquier tipo de proyecto:

- EDP (estructura de descomposición de un proyecto) división jerárquica de tareas que se deben realizar.
- Diagrama de Gantt, es un recurso gráfico que permite situar cada acción o objetivo a corto plazo en un eje cronológico. El eje horizontal corresponde a los tiempos asignado de duración de la tarea y el vertical son las tareas a realizar.

### 9.1 Estructura de descomposición del proyecto

La cronología de acciones a realizar para conseguir la realización del proyecto es:

- Primera etapa: elegir el proyecto que más se adapte a tus necesidades, en este caso el proyecto no fue ofrecido por la universidad, sino se escogió un tema de interés estudiantil para su posterior conocimiento.
- Segunda etapa: recolección de información, es la parte clave del proyecto y la que más tiempo se ha invertido. La información obtenida de proyectos similares en todo el mundo ha sido una gran referencia para la realización de este proyecto. El aspecto negativo es que en muchos aspectos se ha tenido que suponer marcos teóricos por la falta de información.
- Tercera etapa: conocimiento, esta etapa también ha sido de larga duración debido a la falta de conocimiento en algunos ámbitos. Se ha realizado la mayor parte de forma autodidacta y en algunos detalles puntuales ayuda del tutor o algunos profesionales



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

dedicados a estos campos. Los conocimientos adquiridos han sido principalmente en el campo eólico e instalaciones aisladas.

- Cuarta etapa: toma de decisiones, esta es una parte esencial del trabajo. Habiendo realizado investigación de varias alternativas energéticas, se necesita una elección personal y objetiva de las mejores soluciones para ejecutar una buena instalación atendiendo a la eficiencia de producción, calidad y reducidos costos.
- Última etapa: resultados y análisis: es importante la realización de la planta, pero más aún el desarrollo de la misma en el futuro y cómo es posible complementar la misma.

A continuación, se muestra un esquema de las etapas a seguir:



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

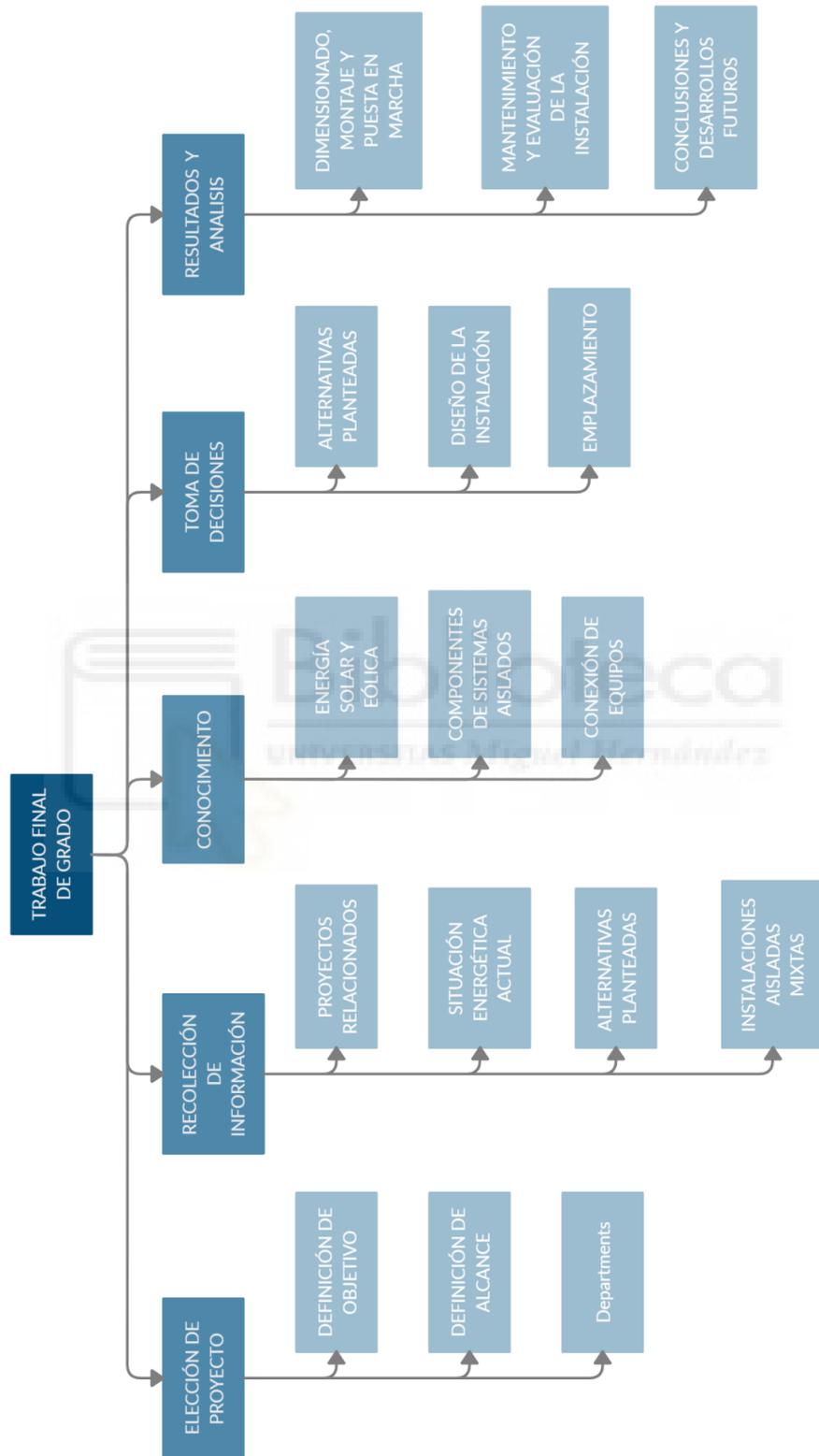


Figura 73: Esquema de elaboración del proyecto. Fuente propia.



## 9.2 Diagrama de Gantt

Esta herramienta presenta una secuencia de las actividades a realizar en un marco temporal.

Al comienzo de septiembre, con la lista de todos los trabajos propuestos por la universidad y con sus tutores relacionados, se toma la decisión de hacer un proyecto sobre energía eólica, ya que no obtuve formación sobre el tema y siempre ha sido un tema de interés para mí. En un principio mi proyecto de final de grado sería el dimensionamiento de un rotor de un aerogenerador, pero dado que mi interés circulaba por otros ámbitos energéticos, le planteé a mi tutor la realización de una planta combinada con las fuentes de energía solar y eólica para un poblado sin la oportunidad de acceso a la electricidad.

Una vez elegido el tema, mediante una llamada telefónica se concreta con el tutor los objetivos a seguir, las líneas de búsqueda de información, las posibles soluciones energéticas, los métodos de cálculo de demanda, etc.

Finalizando el mes de septiembre, la búsqueda de información se centra en la situación energética actual de Nigeria, noticias de proyectos relacionados en países subdesarrollados y planificación de la estructura del proyecto.

Entrado el mes de octubre se realiza una investigación exhaustiva de todas las alternativas ofrecidas por las energías renovables y la combinación de ellas.

Una vez estudiadas, el planteamiento se centra en los recursos que nos ofrece el país, en concreto Ungwa Dogo, atendiendo a estos recursos naturales, el planteamiento se centra en las fuentes de solar y eólica. El mes de noviembre es dedicado completamente al estudio de ellas y de los componentes de sistemas de generación aislada.

Seguidamente el mes de diciembre es objeto de estudio el análisis de todos los datos recaudados, que relacionan la solución para realizar un diseño estructurado de una planta de autoabastecimiento.

La redacción de la memoria se realiza simultáneamente a partir de las primeras búsquedas de información sobre la situación actual en Nigeria.

A continuación, se plasma gráficamente toda esta explicación sobre la realización del proyecto junto con su marco temporal.

### Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

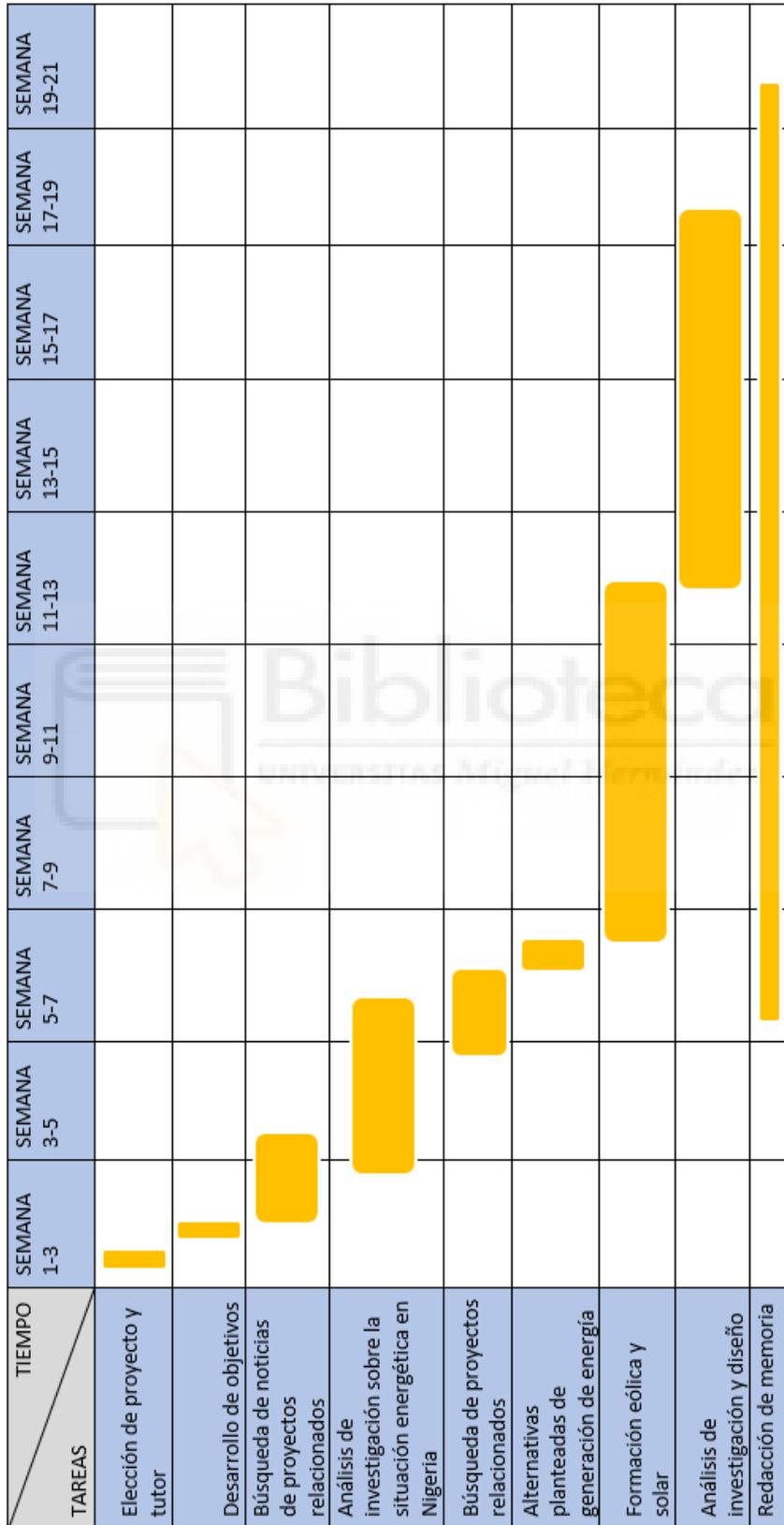


Figura 74: Diagrama de Gantt. Fuente propia



# CAPÍTULO 10: CONCLUSIÓN



Biblioteca  
UNIVERSITAS Miguel Hernández



## CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES

El objetivo fundamental de este proyecto era provisionar a Ungua Dogo, situado en Nigeria, de energía eléctrica, al mismo tiempo que aprovechar los recursos naturales del emplazamiento para cubrir dichas necesidades, escogiendo la mejor alternativa de generación de energía. De esta forma la calidad de vida de los habitantes aumenta considerablemente y el desarrollo del país, respetando siempre el modelo de vida tradicional.

Como resultado de este estudio energético se puede obtener las siguientes conclusiones:

- El acceso a la electricidad es un condicionante del desarrollo y calidad de vida en todos los países. La cantidad de generación, transmisión y distribución de electricidad en Nigeria es menos del 1% del PIB y la tasa de electrificación se estima en un 41%, por otro lado, las únicas conexiones que tienen son mediante una desviación de una instalación colindante. Esto repercute a que se produzcan elevadas caídas y subidas de tensión, dificulta la implantación de la electricidad además de que se producen averías en los aparatos. También genera una limitación social, porque el horario es durante las horas de sol.
- Garantizar la sostenibilidad del medioambiente, buscando alternativas de fuentes renovables y no utilizar fuentes de energía convencionales. En esta situación la energía solar y eólica garantizan el suministro de energía, son una buena complementación ya que los recursos ofrecidos por el emplazamiento destacan en esas fuentes. Este proyecto causará influencia en otras zonas e incluso otros países para implantar estas fuentes de energía y poder dejar atrás poco a poco los combustibles fósiles.
- La comisión europea promueve mediante ayudas las energías renovables en Nigeria, para garantizar el acceso de la población nigeriana a las energías renovables, al tiempo que persigue un modelo energético más eficiente en los hogares y en las pymes, así con la pretensión de disminuir el número de población rural sin acceso a la electricidad de forma significativa y mejorar las instalaciones de aquellos que si disponen de ella.
- El diseño y dimensionamiento de esta instalación se ha realizado con un margen de error sobredimensionando algunos elementos, sin escatimar la potencia consumida por los aparatos y simultaneidad de cada uno. De esta forma se asegura un buen funcionamiento bajo cualquier posible situación.
- Siempre se ha de buscar los elementos con las mejores características técnicas, es decir, una buena relación de los aspectos técnicos de los elementos y su precio. Elegir aparatos evaluando únicamente su precio puede conllevar a la ineficiencia de la instalación y a una menos vida útil.

## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

- La situación del emplazamiento a elegir es un aspecto importante para que no produzca repercusiones al poblado al mismo tiempo que la limitación de información sobre las viviendas genera incertidumbre en el sitio idóneo a instalar. Gracias a la herramienta ofrecida por Google maps, se ha podido decidir la mejor alternativa.
- Es necesario la inculcación social y el compromiso con la instalación para generar un buen mantenimiento y así poder ofrecer una larga vida útil y rentabilización de la instalación.
- Por último, respecto al montaje, mantenimiento y evaluación, siempre se ha optado por el apoyo al plano laboral y oportunidades del propio país. No solo se busca la autonomía de este, sino que influya en la creación de puestos de trabajo a nivel local. La introducción de todos los usuarios en la instalación, desde la primera fase hasta la última, se consigue desarrollar el sentimiento de responsabilidad y propiedad de cada uno.

Para finalizar se expondrán brevemente los posibles desarrollos futuros en relación con el proyecto realizado.

la idea de utilizar energías renovables en este caso, las fuentes solar y eólica, hacen que, si existe la necesidad de que la demanda aumentase y la energía producida sea un limitante, se podría aumentar la energía añadiendo más módulos fotovoltaicos y aerogeneradores. Por lo que este proyecto sería un comienzo para el desarrollo progresivo de la implantación de energía en el país. La manera de aumentar la oferta es conectando los generadores y el resto de elementos en serie o paralelo. Las fases nuevas a realizar son fáciles y rápidas, mucho más que al comienzo del proyecto.

Este fenómeno social y económico es característico en este tipo de instalaciones, por lo tanto, tendrá que tenerse en cuenta. Por otro lado, la ampliación de esta instalación es objeto de posterior investigación, una vez que se consiguen todos los datos del resto de poblados.



# CAPÍTULO 11: PRESUPUESTO



## CAPÍTULO 11: PRESUPUESTO

### 11.1 Presupuesto relacionado con la elaboración del TFG

La elaboración de este trabajo de fin de grado se contado con recursos tanto materiales como humanos, la dedicación de tiempo y la implicación de estos recursos generan unos costes que se recogerán a continuación en la siguiente tabla.

- Costes relacionados con recursos materiales: la estimación de estos costes es complejo, por lo que se realizará una estimación de su vida útil a lo largo de cinco años y se calcula el coste de este en base horaria.

Tabla 59: Presupuesto relacionado con los recursos tangibles. Fuente propia.

Concepto	5 años	1 año	1 hora	Cantidad de horas	Importe final (€)
Ordenador portátil	1200 €	240 €	0,022 €	300	6,6 €
Software	50 €	10 €	0,0011 €	200	0,22 €
Consumo eléctrico	-	550 €	0,0627	300	18,81 €
<b>TOTAL</b>					<b>25,63 €</b>

- Costes asociados a recursos humanos: este tipo de costes relacionan las horas de trabajo invertidas por el estudiante en la realización del proyecto.

Tabla 60: Presupuesto relacionado con los recursos intangibles. Fuente propia.

Concepto	Cantidad de horas	Precio unitario (€/h)	Importe final (€)
Sueldo profesional	300	9,5	2.850 €
Sueldo directivo	40	30	1.200 €
<b>TOTAL</b>			<b>4050 €</b>

El coste total de la realización del proyecto es:  $(25,63 + 4050) * 1,21 = 4931,51 €$

Tabla 61: Coste de elaboración del trabajo final de grado. Fuente propia.



## 11.2 Presupuesto relacionado con la instalación híbrida

En la realización del presupuesto relacionado con la instalación híbrida aislada, se ha hecho de manera aproximada de la inversión inicial relacionada con el montaje y mantenimiento de la misma, como aparece en la siguiente tabla:

Tabla 62: Presupuesto relacionado con la instalación autónoma. Fuente propia.

Concepto	Marca	Uds.	Precio unitario	Coste
Estructura placas solares	Alusínsol	112	30 €	3.360 €
Módulos fotovoltaicos	Seraphim	112	150 €	16.800 €
Aerogeneradores + estructura de celosía + resistencia de protección de regulador de carga	Enair	4	51.070€	204.300 €
Inversor	Riello sirio	1	3.776,93 €	3.776,93 €
Baterías	24 RES OPzS , Sunlight	240	246 €	59.040 €
Regulador de carga solar	SRNE	7	534,26 €	3.739,82 €
Regulador de carga eólico	AMG power solutions	4	2.376,8 €	9.507,2 €
Cables de distintos grosores	-	-	13.000 €	13.000 €
Otros equipos (cajas de protecciones + casetas)	-	-	2.000€	2.000€
			<b>TOTAL</b>	<b>315.524 €</b>

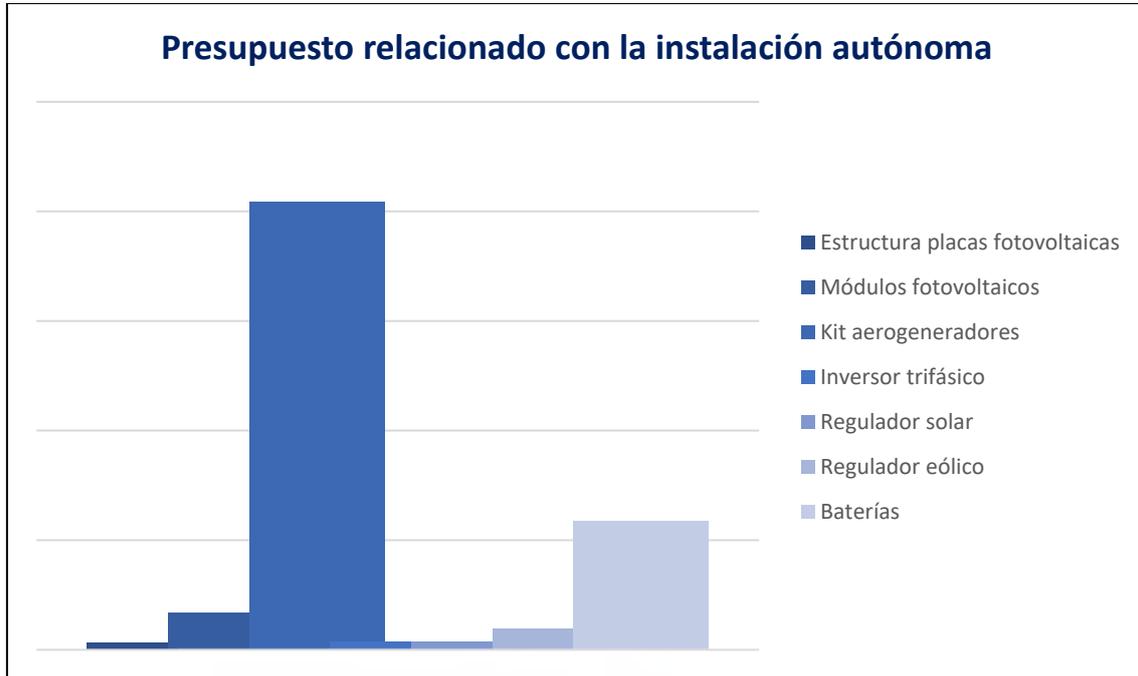


Figura 75: Gráfica relacionado con el presupuesto de la instalación. Fuente propia.

Los costes indicados son una estimación de la inversión inicial y el coste de los operarios de mantenimiento. Como se puede observar los aerogeneradores constan el precio más elevado, por lo que, si se considera una reducción de presupuesto, se debería incrementar el número de módulos fotovoltaicos y reducir el número de aerogeneradores. Esto supondría una bajada considerable del presupuesto de la instalación.

Por último, uno de los datos más significativos en lo que se refiere a costes es al coste del kWh. Se distingue entre el precio por la instalación y el precio por la energía producida. Por eso mismo se ha de aplicar los cálculos en un espacio temporal definido, teniendo en cuenta:

- Inversión inicial de la instalación
- Coste de reposición de los elementos
- Energía consumida

Las garantías ofrecidas por los fabricantes definen una vida útil de 25 años con respecto a los generadores de energía, por lo que según estas premisas podemos situarlo en tal escenario temporal. La siguiente formula nos define el coste producido en 25 años:

$$C_t = C_i + C_{inv} + C_{bat} + C_{reg.e} + C_{reg.s}$$

$C_t$ : Coste total a los 25 años

$C_i$ : Coste de la inversión inicial de la instalación

$C_{inv}$ : Coste inversor

$C_{bat}$ : Coste batería

$C_{reg.s}$ : Coste regulador solar

$C_{reg.e}$ : Coste regulador eólico

$$\text{Coste total} = 315.524 + 3.776,93 + 59.040 + 3.739,82 + 9.507,20 = 391.588 \text{ €}$$

Se considera que el coste relacionado con el mantenimiento anual lo realiza el propietario de la instalación, por lo que no se tiene en cuenta estos costes adicionales.

Para calcular el coste de kWh se aplicará la siguiente fórmula:

$$\text{Coste kWh} = \frac{\text{coste total a los 25 años}}{\text{energía consumida diaria} \cdot 365 \text{ días} \cdot 25 \text{ años}}$$

$$\text{Coste kWh} = \frac{391.588 \text{ €}}{376 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \cdot 365 \text{ días} \cdot 25 \text{ años}} = 0,11 \text{ €/kWh}$$

A continuación, calcularemos el periodo de amortización con respecto al presupuesto de la instalación en periodo de 25 años que es la garantía de los sistemas de generación de energía.

Para realizar este cálculo, es necesario saber el precio de la electricidad en el país determinado, este precio viene dado en la siguiente tabla:

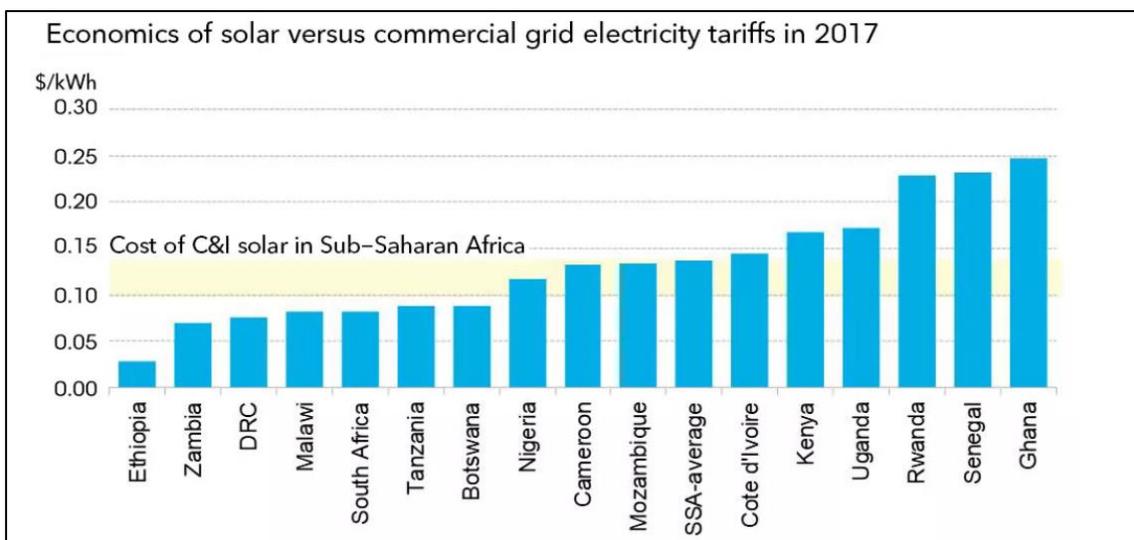


Figura 76: Gráfica de los precios del kWh por país en dólares. FUENTE: [46]

Como se puede observar en la tabla el precio de la electricidad corresponde a 0,12 €/kWh.

Otro dato necesario es la cantidad de energía producida por las dos fuentes de energía conjuntamente como aparece en la siguiente tabla:

Tabla 63: Producción de energía eléctrica por la instalación autónoma. Fuente propia.

Meses	Energía producida por fotovoltaica (kwh/mes)	Energía producida por eólica (kwh/mes)	Energía total producida al mes (kwh/mes)
Enero	6012,7	8655	14667,7
Febrero	5391,6	8322	13713,7
Marzo	5514,2	7632,8	13147,1
Abril	5660,4	7547,9	13208,3
Mayo	6447,5	7132,8	13580,3
Junio	6541,2	6031,8	12573
Julio	6518,68	5788,5	12307,1
Agosto	5460,96	6188,4	11649,4
Septiembre	5199,6	6838,2	12037,8
Octubre	5369,2	7943,9	13313,1
Noviembre	5216,4	7795,2	13011,6
Diciembre	5965,5	7799,5	13765
<b>Total anual (kWh/año)</b>	<b>69298,1</b>	<b>87676,4</b>	<b>156974,6</b>

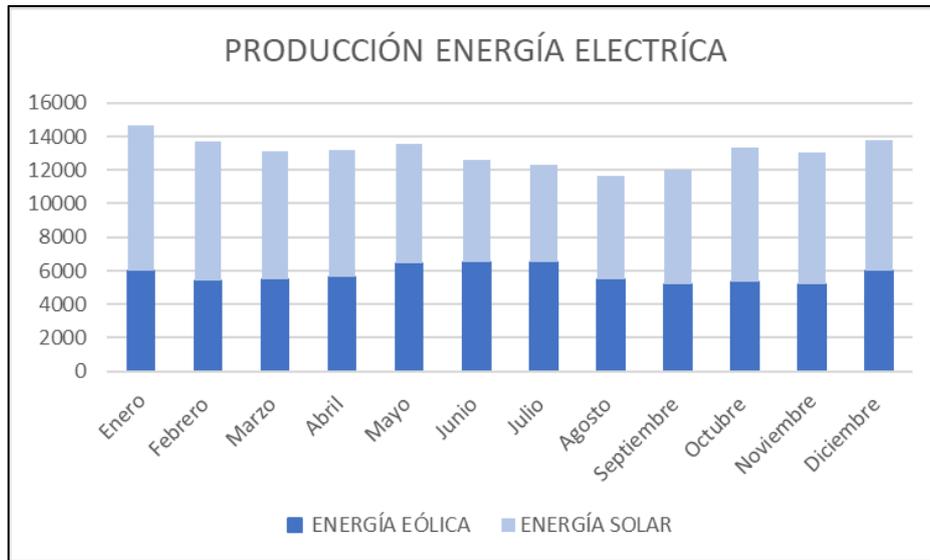


Figura 77: Gráfica de la producción de energía eléctrica en combinación de las dos fuentes. Fuente propia.

Para analizar un proyecto es importante analizar la posible rentabilidad que se obtiene de él, es decir, si es viable o no. Dos parámetros muy significativos son el VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno).

El VAN se conoce como la diferencia entre el dinero genera el proyecto menos los gastos netos y la cantidad que se invierte en un mismo proyecto inicialmente, para comprobar si realmente el proyecto puede dar beneficios. También depende de la tasa de descuento que esta depende a su vez de como se financie la inversión.

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

$I_0$ : Inversión inicial

$Q_n$ : Flujos de caja en un periodo determinado

$i$ : Tasa de descuento

$n$ : número de flujos de cajas

El TIR, es la tasa de descuento en el que el VAN es cero, su función es señalar la tasa a la cual recuperaremos la inversión inicial de nuestro negocio transcurrido cierto tiempo.

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+TIR)^n}$$

Para este proyecto tenemos los siguientes datos:

- Inversión inicial: 315.524 €
- Tasa de descuento: 3%
- Flujos de caja:

Mediante la siguiente fórmula se calcula la cantidad de beneficio que se gana anualmente por la producción de energía eléctrica.

$$\text{Beneficio anual} = E_{\text{producida}} \cdot \text{precio del kWh} \cdot \text{IVA}$$

$$\text{Beneficio anual} = 156974,647 \cdot 0,12 \cdot 1,21 = 22.792,71 \text{ €}$$

Por otro lado, los gastos se contabilizarán en:

- ✓ Reposición de los elementos como el inversor, reguladores cargar solares y eólicos cada 12,5 años
- ✓ Reposición de baterías cada 20 años
- ✓ Costes de mantenimiento y evaluación 1.200 € cada año

AÑO	INGRESOS	GASTOS	BENEFICIO NETO
1	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
2	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
3	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
4	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
5	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
6	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
7	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
8	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
9	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
10	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
11	22.792,71 €	18.223,95 €	4.573,76 €
12	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
13	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
14	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
15	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
16	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
17	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
18	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
19	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
20	22.792,71 €	59.000 €	-37.447,29 €
21	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
22	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
23	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
24	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €
25	22.792,71 €	1200 €	21.592,71 €



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Teniendo estos datos, nos sale un VAN de 15,96 € como su valor es mayor que 0, indica que se puede recuperar la inversión y el proyecto es viable, ya que el valor actual de flujos es mayor al desembolso inicial, por otro lado, la TIR representa un 3,485%, esto quiere decir que como es mayor que la tasa de descuento el proyecto será aceptado. En caso de que la tasa de descuento supere el TIR, el proyecto será rechazado.





**CAPÍTULO 12:  
IMPACTO DEL  
PROYECTO**



## CAPÍTULO 12: IMPACTO DEL PROYECTO

En la realización de cualquier tipo de proyecto tendremos impactos positivos y negativos, en mayor o menor medida, dependiendo de cómo se ejecute y el entorno. Este estudio se centrará en tres impactos muy importantes que afectan a una sociedad cuando implica un cambio en algunos de sus hábitos, estos impactos son el social, económico y ambiental.

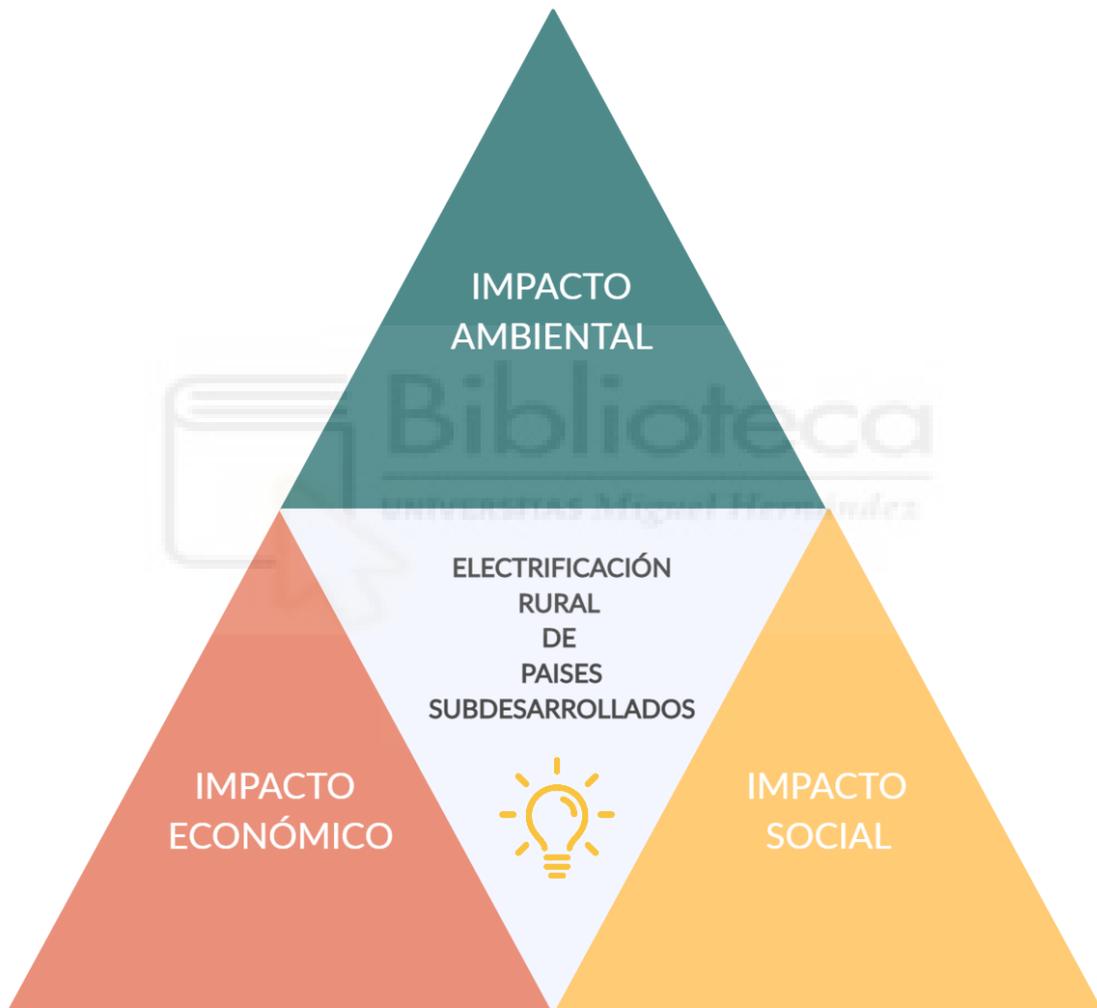


Figura 78: Impactos ocasionados por la influencia del proyecto. Fuente propia.

Figura 79: Impactos ocasionados por la influencia del proyecto. Fuente propia.

### 12.1 Impactos económicos

Este impacto es importante ya que les confiere una producción propia de energía sin tener que recurrir a la línea eléctrica estatal, además de que incrementa la producción energética del país reduciendo la dependencia energética de países vecinos. Por eso mismo, se hace fundamental este impacto porque modifica la estructura vertical jerárquica de la sociedad y promueve la horizontalidad de esta.

Otro de los beneficios que nos ofrece la instalación es la producción de nuevos puestos de trabajo, como podría ser el montaje y mantenimiento de la misma, enriqueciendo la economía local y apoyando a los grupos sociales marginados.

Otro suplemento que confiere el crecimiento económico de la instalación en el ámbito económico es el cobro por el consumo de la electricidad, esto implica que los usuarios obtengan un mayor compromiso al cuidado de la instalación. Sin embargo, será un valor simbólico, el cual no suplirá la inversión inicial requerida para la puesta en marcha de la instalación.

### 12.2 Impactos medioambientales

Normalmente, en esta rama de proyectos de carácter ingenieril en los que se ejecuta una implantación de una instalación industrial, siempre van acompañados con un pliego con información sobre los posibles impactos y la magnitud de ellos. Para detallar los impactos que se producen se procede a realizar una división específica de cada parte del proyecto.

- **Preparación del terreno:** antes de realizar el montaje de la instalación se debe de facilitar unas condiciones específicas del terreno. Ya que nos encontramos en una zona con baja vegetación y terreno prácticamente sin elevaciones significativas, además de que se encuentra con una accesibilidad fácil, por la existencia de carreteras, no será necesario la utilización de grandes máquinas para modificar el terreno. Esto no significa que no se produzca un impacto ambiental negativo, aunque sea mínimo por la eliminación de la vegetación y allanamiento del terreno. Una de las consecuencias serán las nubes de polvo y aumento de los niveles de ruido de la comunidad. Aunque estas consecuencias son negativas, son mínimas en comparación con otros proyectos.
- **Montaje de la instalación:** se lleva a cabo toda la construcción y disposición de elementos para su implantación. Las repercusiones que puede provocar son las siguientes: condensación de tráfico en las carreteras debido a la circulación de los vehículos que transporta todo lo necesario para montar la instalación, construcción de estructuras tanto la de las placas fotovoltaicas como las de los aerogeneradores y casetas auxiliares y levantamiento de vallas de protección y seguridad de la instalación y de las personas. Todo esto provoca un impacto visual que puede producir un efecto negativo, pero no supondrá un efecto demasiado importante, emisiones de productos contaminantes de los vehículos y aumento de ruido y polvo.

- **Puesta en marcha y operación:** una vez montada la instalación comienza la etapa de la puesta en marcha de la instalación donde se comprueba que funciona correctamente y produce los niveles de energía esperados. Los impactos específicos que produce son: producción de aguas residuales ligadas al mantenimiento del equipo que aumenta el consumo de agua, generación de energía eléctrica renovable favoreciendo a la sostenibilidad del medioambiente, la generación de ruido de las turbinas eólicas, la posibilidad de la muerte prematura de aves y murciélagos, impacto visual en cuanto a las dimensiones del terreno de la instalación. El impacto positivo que produce es la generación de energía renovable como se ha explicado anteriormente ya que en comparación con impactos producidos por otras fuentes eran muy significativos como la utilización de grupos electrógenos y la biomasa provocando la deforestación.
- **Desmantelamiento:** en esta etapa se resume en las acciones a tener en cuenta para dejar la zona de emplazamiento de la instalación tal t como estaba antes de la construcción de la misma. Será necesario la desinstalación de todos los equipos que la componen e inversamente a lo realizado en el montaje y con los mismos impactos que esta, pero desechando adecuadamente todos los equipos. Las baterías juegan un papel importante debido a que el líquido del que son compuestas es contaminante para aguas y suelos. A demás de que las casetas auxiliares se pueden reutilizar para otros fines, si son modulares se podrán desechar fácilmente. Para finalizar la adecuación del terreno a condiciones parecidas a la anterioridad de la adecuación del terreno para la instalación, en el que se podría cubrir de cultivos de vegetación autóctona o cultivos dependiente, gracias al aplanamiento de este.

### 12.3 Impactos sociales

El principal objetivo de este proyecto es provocar un cambio social, dando la oportunidad a los más desfavorecidos, para vivir en condiciones de una vida digna. Por eso mismo una de las propiedades que se ha intentado respetar durante toda la ejecución del proyecto es el marco social y cultural, ya que al final está pensado la utilización de la planta para las personas y su propio beneficio.

Siguiendo con lo comentado, se explicarán las posibles consecuencias que producirá en la sociedad, la implantación de esta tecnología en una comunidad rural aislada como es Ungua Dogo. Estos cambios no son espontáneos, se puede prever el desarrollo social y cultural que provoca esta implantación

El cambio de horario en la vida de esta comunidad hace que, ya que puedan ejercer actividades fuera del horario de la salida y caída del sol, la iluminación y comunicación rompe con la idea de marginación social. De esta forma, también disminuye el aislamiento de la población, gracias a que pueden acceder a los medios de comunicación con televisores, radio, internet, etc. Además del desarrollo de conocimiento por la tecnología anteriormente mencionada. También se debe respetar los patrones y las necesidades que tienen los países subdesarrollados.



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

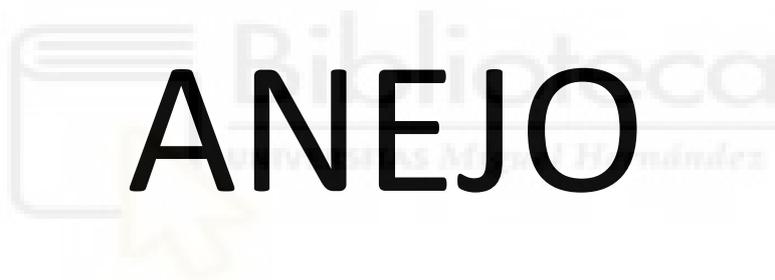
Como se ha mencionado en el impacto económico la distribución jerárquica vertical existente en la zona de Ungua Dogo se puede ver modificada. La no dependencia de las clases sociales más altas con la capacidad de acceso a energía, y por lo tanto, este proyecto puede contribuir a cambiar la verticalidad haciendo la sociedad más horizontal.

El impacto más importante es la capacidad de autoabastecimiento energético. Esto significa que la población de Ungua Dogo pueda desarrollarse y evolucionar, creando un alto grado de independencia.





# ANEJO





Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

## ANEJO

- I. Resumen de planos:

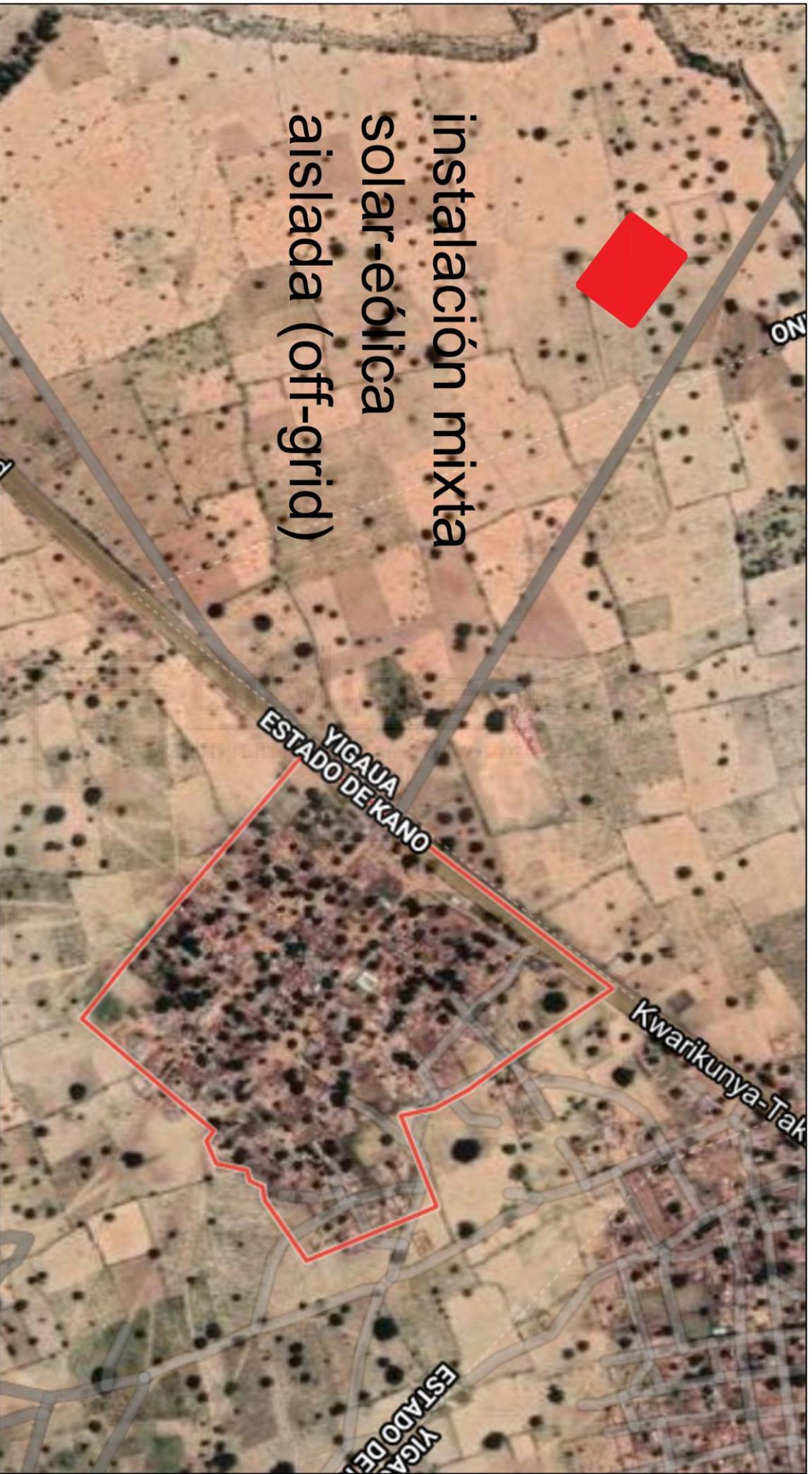




## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Plano de situación de la instalación





instalación mixta  
solar-eólica  
aislada (off-grid)

TÍTULO : Proyecto de instalación mixta solar-eólica, Ungwa Dogo, Nigeria.

DISEÑADO : Araceli Bey Cabrera

FECHA:

febrero 2021

ESCALA: 1:5000

Nº: 1



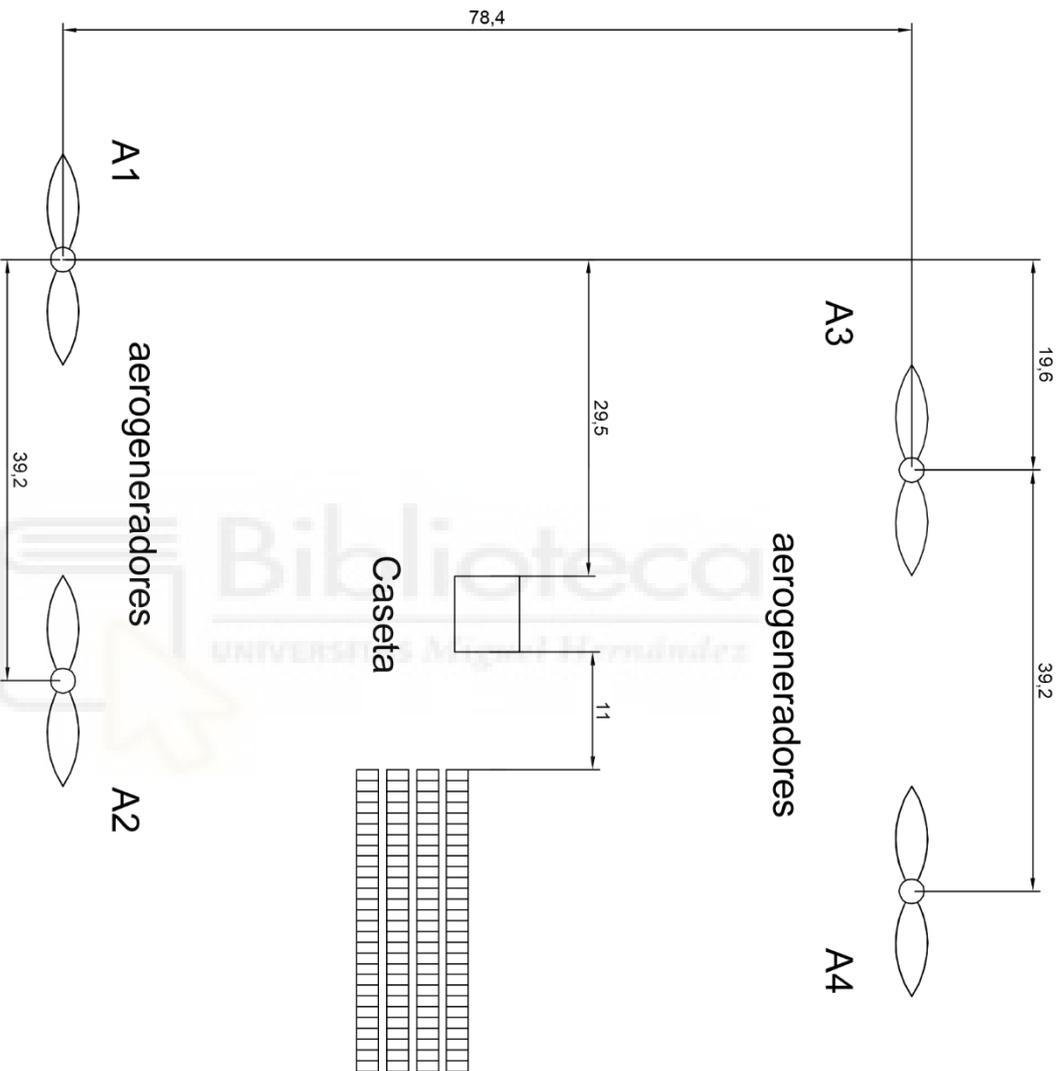
Plano de situación de la  
instalación mixta solar-eólica



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Plano del emplazamiento de la instalación





Módulos  
fotovoltaicos

Cotas en m

TÍTULO : Proyecto de instalación mixta solar-eólica. Ungwa Dogo, Nigeria.

DISEÑADO: Arceli Bey Cabrera

FECHA:

febrero 2021

ESCALA: 1:700

Nº: 2



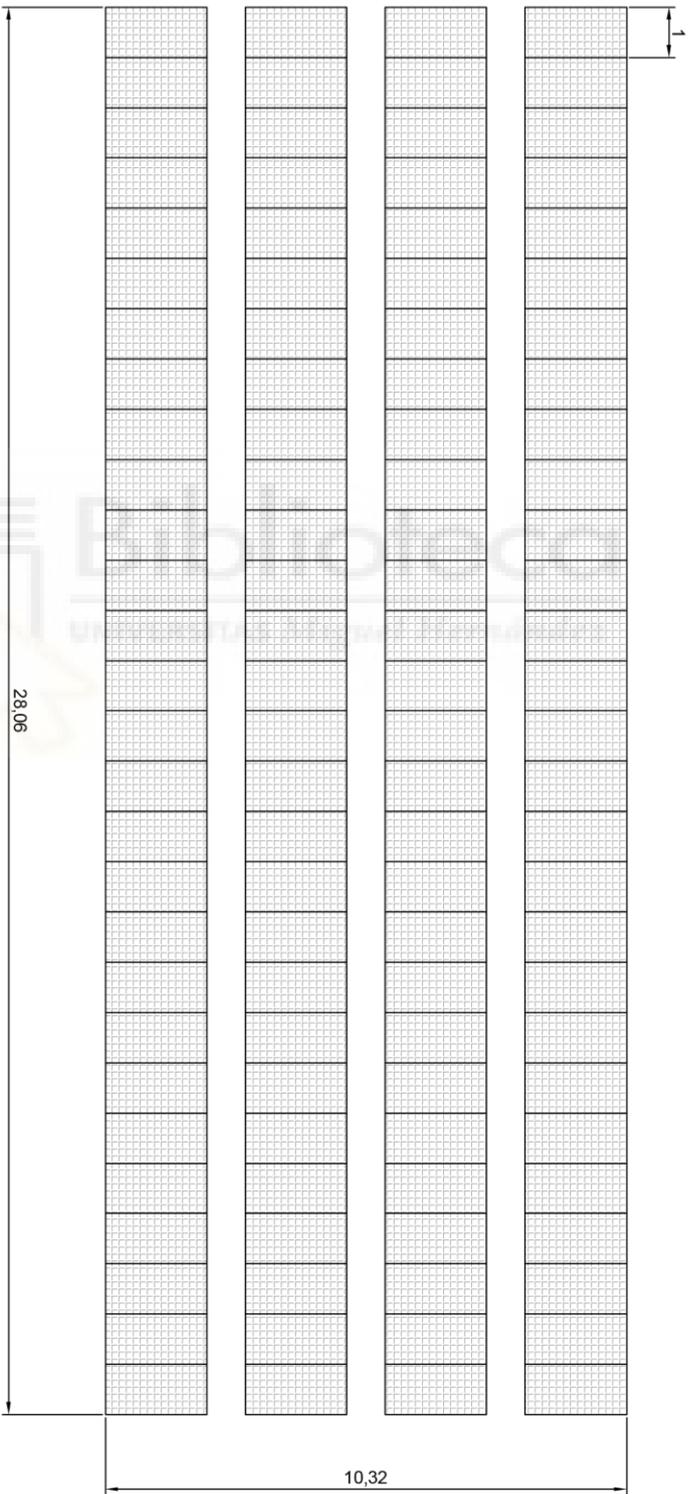
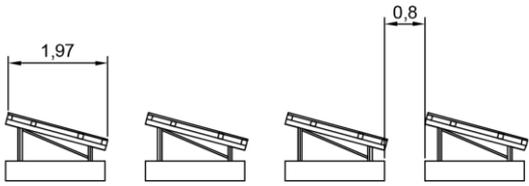
Plano de emplazamiento  
de la instalación mixta  
solar-eólica. (off-grid)



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Plano de disposición de los módulos fotovoltaicos





Cotas en m

TÍTULO : Proyecto de instalación mixta solar-édica, Ungua Dogo, Nigeria.

DISEÑADO: Araceli Bey Cabrera

FECHA:

febrero 2021

ESCALA: 1:150

Nº: 3



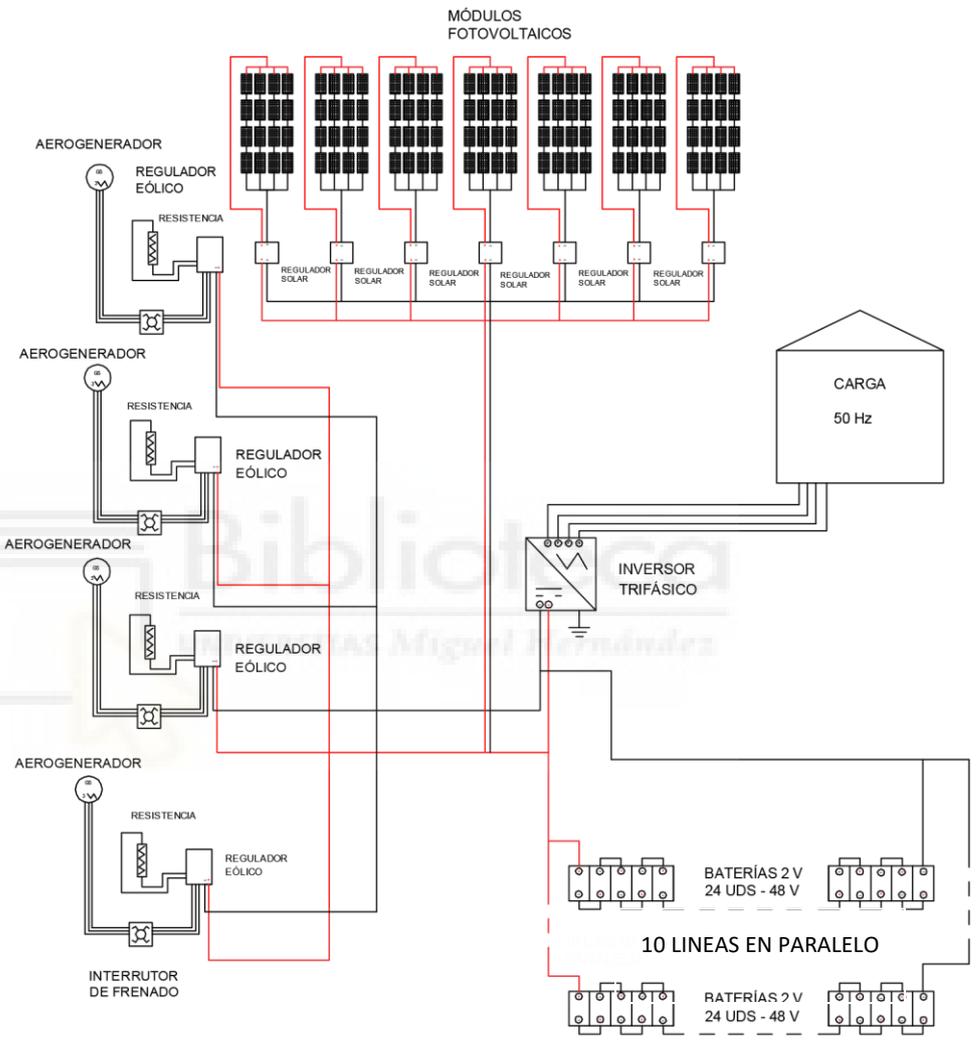
Plano de disposición de los módulos fotovoltaicos



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Plano de configuración de la instalación





TÍTULO : Proyecto de instalación mixta solar-eólica, Ungwa Dogo, Nigeria.

DISEÑADO: Araceli Bey Cabrera

FECHA:  
febrero 2021

ESCALA:

Nº: 4



Plano de configuración de  
elementos de la instalación  
mixta solar-eólica. (off-grid)



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

II. Especificaciones de los elementos de la instalación.





## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

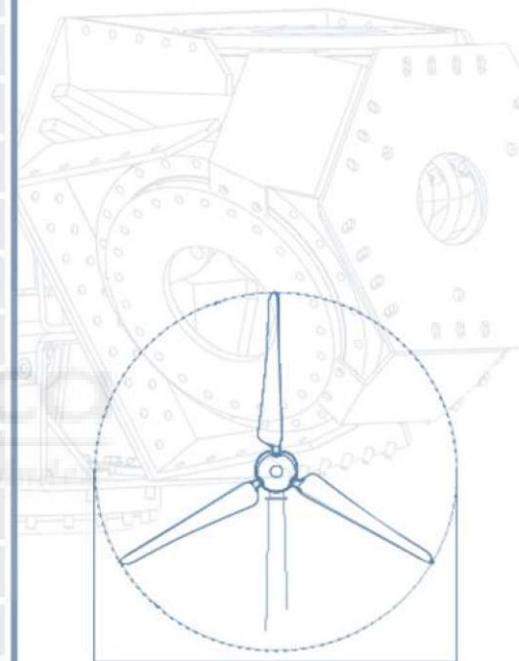
Aerogenerador



Nuestra tecnología patentada es una inteligente adaptación de los principales sistemas que tiene la gran eólica adaptada a potencias de 10 a 60kW. Alta seguridad, máximo control y eficiencia

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO

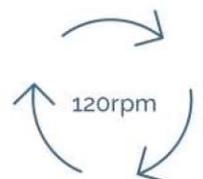
GENERADOR	Potencia	20kW
	Configuración	3 fases - 500V - transmisión directa
AEROGENERADOR	Configuración	3 palas, eje horizontal sotavento
	Potencia nominal	10kW - IEC 61400, limitada por software
	Aplicaciones	Conexión a red - Micro red
	Velocidad rotación	120rpm
	Inicio de rotación	1.85m/s
	Corte producción	30m/s
	Protección	Ip-65/alta protección ambiental
	Peso	1000kg
ROTOR	Orientación	Orientación aerodinámica
	Diámetro	9.8m
	Área de barrido	75.4m <sup>2</sup>
	Longitud de pala	4.5m
	Material de pala	Fibra de vidrio, resina flex con poliuretano
SISTEMA DE SEGURIDAD DE FRENADO	Tipo de control	Paso variable activo, regul. electrónica y freno
	Paso	Paso variable con control activo Por viento y potencia
	Freno	Freno electromecánico de seguridad
CONTROL DE LA TURBINA	Control electrónico de:	- Velocidad de viento - Temperatura (opc.) - Voltaje - Fallos en la red - Fallo de sensores
	Sistema electrónico	Sistema programable para adaptar la turbina Registro de alarmas
INVERSORES	Software	Software personalizado. Pantalla datos (opc.)
	Inversor	Compatible con los inversores solares de tensión constante a 500V



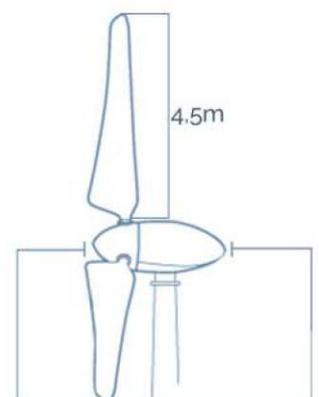
9.8m



1000kg



120rpm



4.5m

2.3m

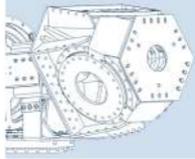
# E200L Wind Turbine FICHA TÉCNICA

LA TECNOLOGÍA DE LA GRAN EÓLICA ADAPTADA EN LA PEQUEÑA EÓLICA

Vida útil de 25 años!!

CLASS I WIND TURBINE IEC 61400-2/NVI-A

## CONTROL DE PASO VARIABLE ACTIVO



Tecnología patentada

### Características:

- Robusto
- Alta resistencia
- Control de paso variable de ángulo completo
- Muelle pasivo de seguridad ante cualquier fallo en el sistema
- Accionamiento hidráulico

Tecnología escalable de 5 a 100kW de potencia, puntos clave:

- Simple
- Muy Seguro y con control total

## CONTROL ELECTRÓNICO



Funciones multiprograma:

Control total de:

- rpm - Nm
- Hz - V AC/DC
- m/s

Control sobre los parámetros de la turbina, lo que le permite decidir las mejores acciones para optimizar la producción y su seguridad.

El software permite implementar diferentes configuraciones en función de las condiciones de viento para así aumentar su eficiencia.



## PASO VARIABLE ACTIVO Y PROTECCIÓN PASIVA

El sistema de paso variable activo permite que la posición de la pala varíe para cada velocidad del viento adaptándose al mismo para ganar eficiencia de producción. Las ventajas de la simplicidad mecánica y electrónica avanzada se combinan para hacer una unión perfecta y maximizar la producción de energía, siempre con un alto nivel de seguridad

## LOS DISEÑOS AERODINÁMICOS Y CFD

Se ha hecho un estudio aerodinámico completo del aerogenerador, utilizando las últimas técnicas de dinámica de fluidos computacional. Contando con los mejores expertos en la tecnología CFD y el uso de grandes centros de procesamientos de cálculo para analizar las complejas condiciones que puede sufrir una turbina eólica

## SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

El completo sistema de control, permite monitorizar y gestionar más de 600 parámetros del aerogenerador, de forma que podemos personalizar el funcionamiento del aerogenerador a cada lugar en función de las condiciones de viento del mismo, para maximizar su producción de energía

\*\* Este sistema es opcional y personalizable en varios niveles

\*Las especificaciones técnicas descritas en este documento están sujetas a modificaciones/cambios sin previo aviso por parte del fabricante. \*\*Las imágenes que aparecen en este documento no son contractuales

- Mínimo ruido**  
 El perfil aerodinámico de las palas está basado en la serie de perles FX, y su diseño es para maximizar la producción y minimizar el ruido.
- Máxima eficiencia**  
 El sistema de control permite extraer la potencia máxima disponible desde el inicio de la rotación y pueda adaptarse a cualquier entorno
- Anticorrosivo**  
 3 sistemas de seguridad, activos y pasivos: freno electromecánico activo, aerodinámico y muelle pasivo, que actúan en cualquier condición.
- Hermético**  
 Los materiales utilizados están fabricados con un tratamiento de tropicalización para instalar en islas, desiertos o ambientes agresivos.
- Robusto**  
 De acuerdo con la norma IEC 61400-2 el diseño del Aerogenerador esta clasificado como Clase 1, con factores de seguridad en los componentes críticos de un Fs=9.



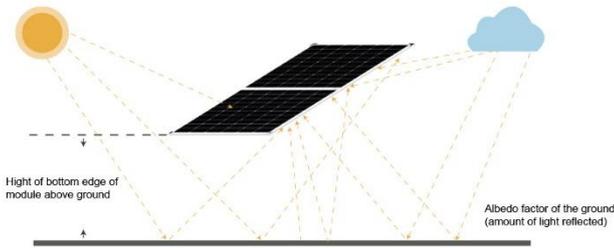
## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Módulos fotovoltaicos



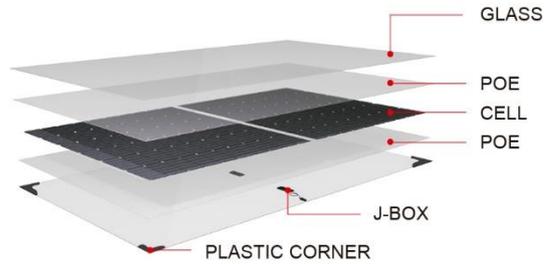
## Maximum Power Output

Uses reflected and scattered light to increase energy generation by an additional 10-30%.



## Upgraded Module Design

A lighter, 2.0mm tempered AR-coated glass was selected to maintain the same snow and wind load as standard modules, while reducing transportation costs and installation difficulty.



## More Benefits



Higher Durability and Reliability



Enhanced safety by excellent fire resistance



Dual-glass structure minimizes micro-cracks, snail trails, and UV aging



Lower internal current, lower mismatch loss



Frameless design solving the problematic issue of PID



Unique circuit design, better shading tolerance.

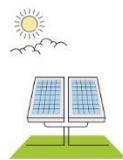
## Perfect for Highly—reflective Project Sites



WATER



SANDY



GRASSLAND



WHITE PAINTED GROUND

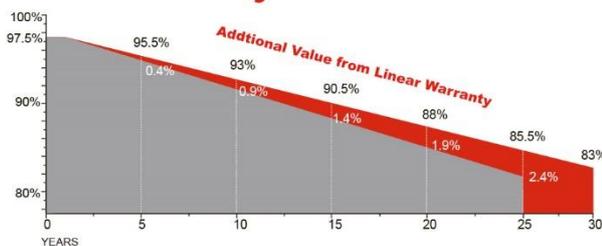
## Certifications



## Insurances



## Warranty



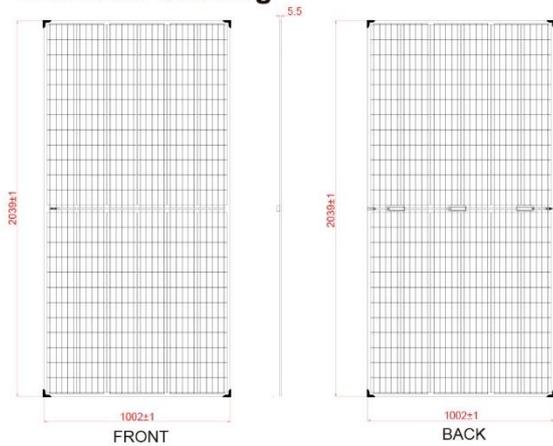
**15 YEARS**

Guarantee on product material and workmanship

**30 YEARS**

linear power output warranty

### Technical drawing



\* All Dimensions in mm  
 \* The above drawing is a graphical representation of the product.  
 For engineering quality drawings please contact SERAPHIM.

### Mechanical Specifications

External Dimension	2039 x 1002 x 5.5mm
Weight	24.0kg
Solar Cells	PERC Mono crystalline 158.75 x 79.375 mm (144pcs)
Front / Back Glass	2.0mm AR coating semi-tempered glass, low iron
Frame	Frameless
Junction Box	IP68, 3 diodes
Output Cables	4.0 mm <sup>2</sup> , Portrait:255mm(+)/355mm(-);Landscape:1200mm
Connector	MC4 Compatible

### Packing Configuration

Container	40'HQ
Pieces per Pallet	34
Pallets per Container	22
Pieces per Container	748

### Electrical Characteristics

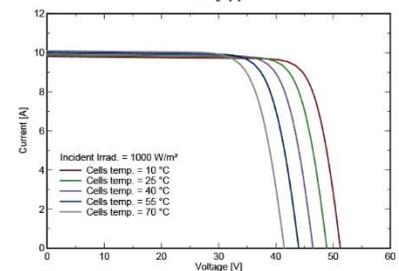
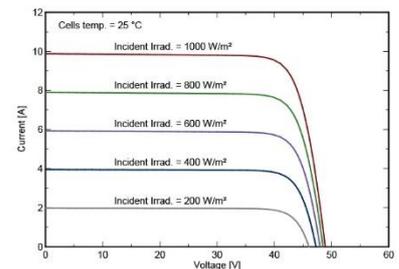
Module Type	SRP-390-BMA-BG		SRP-395-BMA-BG		SRP-400-BMA-BG		SRP-405-BMA-BG	
	Front	Back	Front	Back	Front	Back	Front	Back
STC								
Maximum Power -P <sub>mp</sub> (W)	390	292	395	296	400	300	405	304
Open Circuit Voltage -V <sub>oc</sub> (V)	49.1	48.7	49.3	48.9	49.5	49.1	49.7	49.3
Short Circuit Current -I <sub>sc</sub> (A)	9.96	7.44	10.04	7.49	10.12	7.55	10.19	7.61
Maximum Power Voltage -V <sub>mp</sub> (V)	41.3	41.4	41.5	41.6	41.7	41.8	41.9	42.0
Maximum Power Current -I <sub>mp</sub> (A)	9.45	7.06	9.52	7.12	9.60	7.18	9.67	7.24
Module Efficiency STC-η <sub>m</sub> (%)	19.09		19.33		19.58		19.82	
Power Tolerance (W)	(0, +4.99)							
Pmax Temperature Coefficient	-0.36 %/°C							
Voc Temperature Coefficient	-0.28 %/°C							
Isc Temperature Coefficient	+0.05 %/°C							

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup> module temperature 25°C AM=1.5

### Rear Side Power Gain(SRP-400-BMA-BG)

Power Gain	10%	15%	20%	25%	30%
Maximum Power -P <sub>mp</sub> (W)	440	460	480	500	520
Open Circuit Voltage -V <sub>oc</sub> (V)	49.5	49.5	49.5	49.5	49.5
Short Circuit Current -I <sub>sc</sub> (A)	11.14	11.65	12.15	12.65	13.15
Maximum Power Voltage -V <sub>mp</sub> (V)	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7
Maximum Power Current -I <sub>mp</sub> (A)	10.56	11.04	11.52	11.99	12.47

### I-V Curve



### Application Conditions

Maximum System Voltage	1500VDC
Maximum Series Fuse Rating	20A
Operating Temperature	-40~+85 °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C
Bifaciality	70%±5%
Mechanical Load	2400Pa



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Regulador de carga solar



## MPPT Solar Charge Controller

MC4860N15/MC4870N15/MC4860N25/MC4870N25

### Product Accessories

RM-7 display, USB to TTL cable, BTS temperature sensor.



### Product Characteristics



30% higher than PWM mode.



PV short-circuit protection, charge over-current protection.



RS485 Modbus protocol  
Built-in bluetooth module.



12/24V/36/48 identification.



Historical data storage.



MPPT tracking efficiency is up to 99.9%.



Built-in temperature detection.



Lead-acid batteries, colloidal batteries, open-ended batteries, lithium batteries.



Current-limiting charging mode.

### Product Parameters

Model	SR-MC4860N15	SR-MC4870N15	SR-MC4860N25	SR-MC4870N25
System voltage	12V/24/36/48V			
Static power consumption	0.54W			
Maximum input voltage of solar energy (25°C)	150V		250V	
Voltage Range at MPP (Maximum Power Point)	Battery voltage +2~ 120V		Battery voltage +2~ 180V	
Charging current	60A	70A	60A	70A
Solar panel power (12V battery)	800W	920W	800W	920W
Solar panel power (24V battery)	1600W	1840W	1600W	1840W
Solar panel power (48V battery)	3200W	3680W	3200W	3680W
Support battery type	Lead-acid batteries, colloidal batteries, open-ended batteries, lithium batteries			
Temperature compensation coefficient	-3mV/°C/2V (default, settable lead-acid); no temperature compensation for lithium battery.			
Operating temperature range	-35°C - 60°C			
Humidity	95%, no condensation			
Protection grade	IP32			
Weight	3.6kg			
Communication mode	TTL(3.3V)/RS485/Bluetooth Module			
Product Dimensions	Conventional: 266*194*119mm MC4: 266*226*119mm			
Terminal blocks	35mm <sup>2</sup> /2AWG			

Regulador de carga eólico



## SPECIFICATIONS



Modelo de producto	WWS200-220-N	WWS200-240-N
Voltaje nominal de la batería	220V	240V
Potencia nominal de entrada de turbina eólica	20kW	20kW
Potencia máxima de entrada de turbina eólica	30kW	30kW
Turbina de viento de freno actual	91A	84A
Energía de entrada Solar clasificada	6kW	6kW
Flotante voltaje de carga	266V	290V
Modo de visualización	LCD	
Corriente de reposo	≤ 20mA	
La temperatura ambiente y humedad	-20~+ 55°C/35~85% RH(Sin condensación)	
Modo de comunicación (opcional)	RS232、RS485、RJ45、GPRS (opcional)	
Función de compensación de temperatura (opcional)	-4mV/°C/2V;-35°C~ + 80°C ;Precisión:± 1°C	
Dimensiones (largo x ancho x Alto)	Caja del controlador: 440 × 300 × 170mm; Caja de carga: 680 × 420 × 675mm	
Peso neto	Caja del controlador: 10kg ; Dumpload Caja: 75kg	



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Acumulador



# Reserve Power RES OPzS Batteries

Cyclic Applications



SOLAR PV



GENSET



WIND

# Reserve Power

As a member of a strong and developing business ecosystem, SUNLIGHT relies on its modern infrastructure, continuous innovation and its passion for excellence, to develop and supply reliable battery solutions.

At the core of the company's growth lies its state-of-the-art manufacturing plant in Northern Greece, covering an area of 142.000 m<sup>2</sup>. The company has consistently invested in developing one of the most advanced industrial plants in Europe, running highly specialized production and assembly lines. The plant is fully compliant with the strictest international standards and is certified for Quality, Occupational Health & Safety and Environmental management systems.

The products are developed by SUNLIGHT's R&D team which constantly designs and evaluates new innovative solutions to better meet market needs based on the latest technological trends, industry developments and market feedback.

SUNLIGHT's products and services have gained international recognition by ensuring uninterrupted and reliable operations in a wide range of critical applications for a broad spectrum of industries, such as Telecom and Power networks.



## The complete Reserve Power portfolio consists of:



## Vented Tubular Plate Batteries for Renewable Energy Applications

RES OPzS is a **premium battery range**, developed for applications **requiring regular deep cycling**. It is a **low maintenance** energy storage solution that offers significant benefits in terms of **cost per cycle**, combined with the highest level of **reliability** and **performance** even for remote installations where long discharges occur and excellent recharging properties are essential.

Optimum design, exclusive use of high quality materials, robust construction and state-of-the-art manufacturing processes make RES OPzS batteries the **ideal solution for demanding Renewable Energy Storage applications**.



Telecom Networks



Residential Installations



Traffic Signalling



Smart-Grids

## Indicative Battery-Based Power Supply Systems

**Telecom Networks**

Autonomous remote communication hubs such as cellular base stations, repeaters and VSATs.

**Smart-Grids**

Demand-driven selection of power source providing higher efficiency.

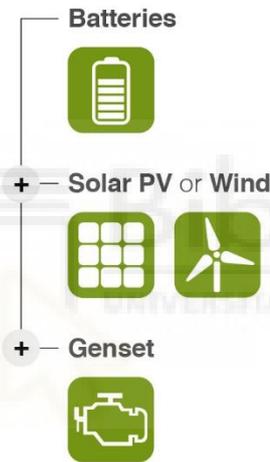
**Residential Installations**

Off-grid or smart grid connected power systems electrifying homes, hotels, hospitals and schools.

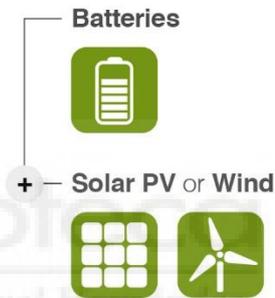
**Traffic Systems**

Signalling and lighting to roads, railways, airports and marines.

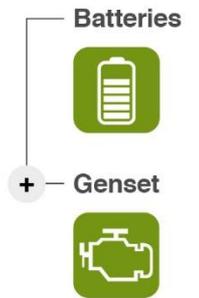
### SYSTEM 1



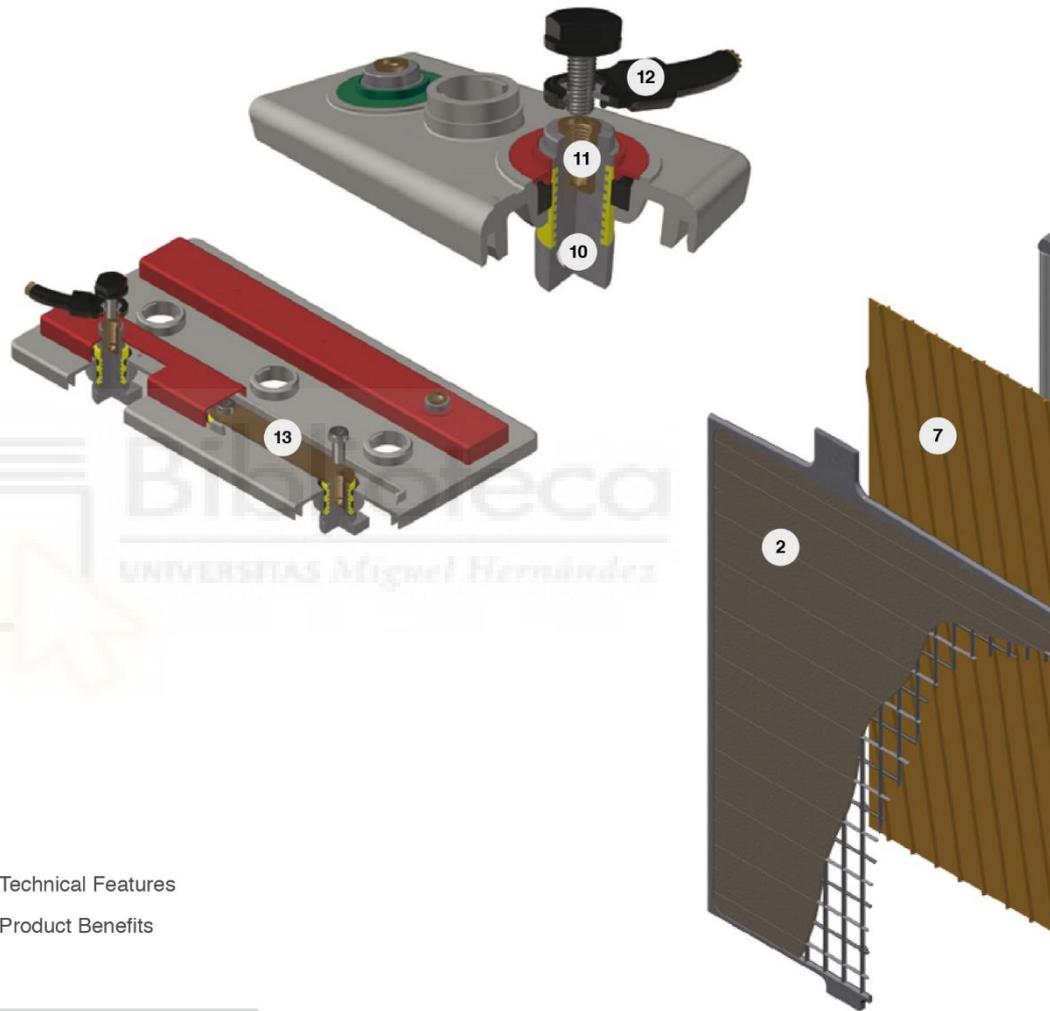
### SYSTEM 2



### SYSTEM 3



## Technical features & product benefits



**1 Positive Plates**

- ⚙️ Tubular plate design
- ⚙️ Special low antimony lead alloy ( $\leq 1.65\%$  Sb)
- ⚙️ Red Lead in-house production by 99,9% Pure Lead
- ⚙️ Dry Filling process
- ✓ Long cycle life
- ✓ Excellent cycling properties
- ✓ Quality and homogeneity
- ✓ High capacity performance
- ✓ Reduced corrosion
- ✓ Reduced self-discharge rate
- ✓ Increased tolerance even in cases of poor charging conditions

- ⚙️ Technical Features
- ✓ Product Benefits

**2 Negative Plates**

- ⚙️ Paste mixture ensures high adherence and cohesion
- ⚙️ Pasted negative plates of grid design
- ⚙️ Optimized low antimony lead alloy
- ⚙️ Robust construction
- ⚙️ Long life expander
- ✓ Stability
- ✓ Increased cyclic performance
- ✓ Long battery life
- ✓ Increased tolerance even in cases of poor charging conditions

**3 Gauntlet**

- ⚙️ Highly microporous material
- ⚙️ Fine pore structure
- ⚙️ Low electrical resistance
- ✓ Effective active material retention
- ✓ Eliminates active mass shedding

**4 Bottom Bar**

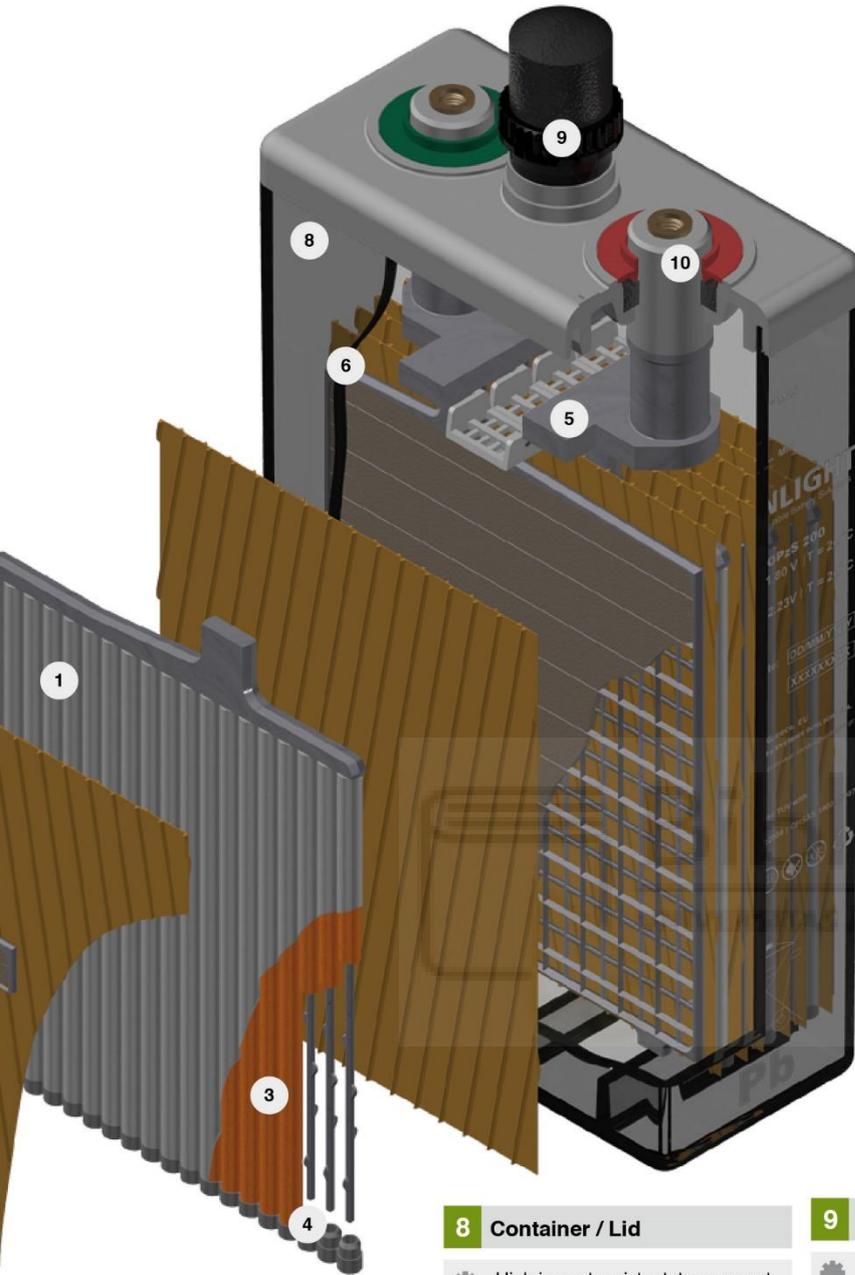
- ⚙️ Ultrasonic welding
- ✓ Secured fit to the gauntlet
- ✓ Long battery life

**5 Pole Bridge**

- ⚙️ Welding with high quality alloy
- ⚙️ Optimized design
- ✓ Increased robustness and durability
- ✓ Consistent and uniform polesbridge-plate block connection

**6 Electrolyte**

- ⚙️ High purity sulphuric acid with nominal density of 1.24 +/- 0,01 kg/l (20°C)
- ✓ Low self discharge rates
- ✓ Excellent performance on deep discharges



### 7 Separators

- ⚙️ High porosity grade material
- ⚙️ Allow migration of ions during charge/discharge
- ⚙️ More acid in the surrounding area of the plates
- ✓ Secured protection against short circuits
- ✓ High temperature stability
- ✓ Mechanical strength
- ✓ Low internal resistance

### 8 Container / Lid

- ⚙️ High impact resistant, transparent SAN (Styrene Acrylonitrile) for the container
- ⚙️ Robust ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) Material for the lid
- ⚙️ Optionally flame retardant (Class V0) material
- ⚙️ Sealing between container - lid with polyurethane resin
- ⚙️ 100% leakage quality control with high precision equipment
- ✓ Easy visual electrolyte level monitoring
- ✓ Long term leakage free operation
- ✓ Unsurpassed mechanical strength
- ✓ Robust and durable battery construction

### 9 Vent Plugs

- ⚙️ Ceramic plugs available as an option
- ⚙️ Low maintenance design
- ⚙️ Flame arresting
- ⚙️ Ceramic funnel plugs and recombination plugs also available as an option
- ✓ Efficient containment of acid fumes
- ✓ No electrolyte spillage
- ✓ Reduced water evaporation
- ✓ Funnel plugs allow topping-up and electrolyte density measuring without plug removal
- ✓ Increased safety
- ✓ Available also with taller poles with extra space for measurements

### 10 Sliding Poles

- ⚙️ Premium sliding design with rubber seal in the lid
- ⚙️ Corrosion resistance
- ✓ Effectively prevents top lid cracks and acid leakages
- ✓ Positive plate's expansion is safely absorbed
- ✓ Optimum current conductivity
- ✓ Perfect sealing
- ✓ Allow impedance measurements
- ✓ Safe and long operational life

### 11 Pole Insert

- ⚙️ Brass insert
- ⚙️ Threaded female M10 terminal posts
- ✓ High conductivity
- ✓ Maximum torque retention

### 12 External Intercell Connectors

- ⚙️ Flexible
- ⚙️ Copper
- ⚙️ Fully insulated
- ⚙️ Fixed with plastic head safety bold and probe hole on the top
- ✓ High conductivity
- ✓ Maximum torque retention

### 13 Monoblocks' Internal Intercell Connectors

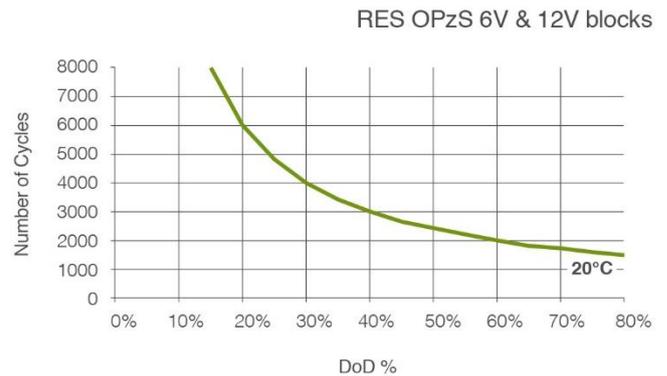
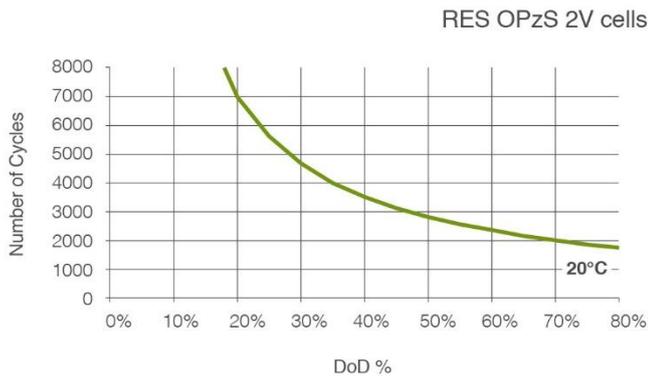
- ⚙️ Copper bars premium design
- ⚙️ Outside of the container connection
- ✓ High conductivity
- ✓ Safe and long operational life

## The ideal energy solution for Renewable Energy Storage applications

### Long cycle life

Tubular positive plates, unique sliding pole design and special alloys composition offer a 60% DoD cycle life of 2300 cycles for 2V cells and 2000 cycles for 6V & 12V blocks.

#### Number of Cycles vs. DoD



### Outstanding performance and reliability

Products of optimum design made of high quality raw materials in European state-of-the-art production facilities and cumulative experience on advanced submarine battery manufacturing, ensure reliability in applications requiring high performance.

### Minimum maintenance

Low maintenance design with reduced topping up requirements. Transparent container for easy visual electrolyte level monitoring.

### Space optimization

Racks designed for optimal space utilization, quick installation and easy battery maintenance.

### Flexibility

Design and production of customized products and services, high volume orders handling capability, fast delivery.

### Operational safety

Extensive compliance testing performed under European and Global norms and verified by independent 3rd party certification agencies.

### Complete battery solution

Complete and ready to install systems, batteries in filled and charged or dry charged state with all the necessary accessories. Extensive range of adding value products and services.

### Peace-of-mind

24x7 experienced pre-sales and after sales support through SUNLIGHT Global Partners Network.

### Optimum Total Cost of Ownership (TCO)

Low cost per cycle. Lifetime value maximized especially at hybrid systems where using batteries can greatly reduce the Genset daily run time resulting on fuel savings and less CO<sub>2</sub> emission.

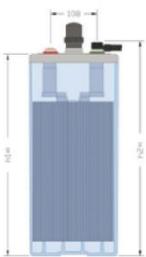
**Certified  
Quality**

- Compliant with **IEC 61427** requirements for photovoltaic energy systems
- Fully compliant with **IEC 60896-11** requirements for vented lead-acid batteries
- Full conformity to **DIN 40736-1** specifications for OPzS cells and **DIN 40737-3** for OPzS blocks
- Compliant with the safety requirements of **IEC 62485-2** for stationary batteries
- Manufactured at SUNLIGHT's European production facilities, certified with **ISO 9001, ISO 14001, BS OHSAS 18001**

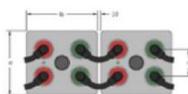
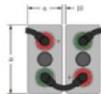
Type	Positive Plates		Number of Poles	Rated Capacity (Ah at 20°C)					Dimensions (mm)				Poles Distance (mm)	Wet Weight (kg)	Dry Weight (kg)	Internal Resistance (mOhm)	Short Circuit Current (A)			
	Number	Size (Ah)		C240 1.85 Vpc	C120 1.85 Vpc	C48 1.80 Vpc	C24 1.80 Vpc	C12 1.80 Vpc	Length	Width	Height 1	Height 2								
<b>Cells</b>	2V 2 RES OPzS 185	2	50	2	196	187	172	153	131	103	206	355	383	-	15.5	8.2	1.430	1420		
	2V 3 RES OPzS 260	3		2	273	262	244	217	188	103	206	355	383	-	17.0	10.6	0.950	2120		
	2V 4 RES OPzS 300	4		2	310	300	285	256	224	103	206	355	383	-	17.5	12.8	0.740	2720		
	2V 5 RES OPzS 375	5		2	391	379	359	323	281	124	206	355	383	-	21.2	15.3	0.590	3420		
	2V 6 RES OPzS 450	6		2	469	454	431	387	338	145	206	355	383	-	24.9	18.0	0.510	3940		
	2V 5 RES OPzS 550	5		70	2	574	553	527	474	413	124	206	471	499	-	28.6	20.6	0.540	3750	
	2V 6 RES OPzS 660	6	2		688	662	630	567	494	145	206	471	499	-	33.5	24.2	0.460	4400		
	2V 7 RES OPzS 750	7	2		779	750	717	646	564	166	206	471	499	-	38.5	27.6	0.410	4950		
	2V 5 RES OPzS 900	5	2		947	904	845	748	639	145	206	646	674	-	42.3	29.3	0.510	3950		
	2V 6 RES OPzS 965	6	2		1006	966	916	816	703	145	206	646	674	-	46.5	33.7	0.430	4700		
	2V 7 RES OPzS 1230	7	100		4	1286	1230	1154	1024	877	191	210	646	674	80	59.4	42.3	0.360	5600	
	2V 8 RES OPzS 1275	8		4	1330	1278	1213	1083	934	191	210	646	674	80	63.5	46.7	0.310	6500		
	2V 9 RES OPzS 1480	9		4	1547	1484	1403	1250	1076	233	210	646	674	110	73.5	52.3	0.280	7250		
	2V 10 RES OPzS 1590	10		4	1656	1592	1511	1349	1165	233	210	646	674	110	77.7	56.7	0.250	8100		
	2V 11 RES OPzS 1885	11		4	1974	1888	1776	1576	1350	275	210	646	674	140	87.7	62.4	0.240	8450		
	2V 12 RES OPzS 1905	12		4	1986	1908	1810	1614	1391	275	210	646	674	140	91.9	66.8	0.220	9250		
	<b>Blocks</b>	2V 11 RES OPzS 2285	11	125	4	2369	2286	2173	1957	1698	275	210	797	825	140	108.9	77.0	0.230	8800	
		2V 12 RES OPzS 2225	12		4	2296	2226	2142	1944	1701	275	210	797	825	140	114.0	82.4	0.220	9200	
		2V 14 RES OPzS 2765	14		6	2868	2769	2639	2381	2069	399	214	772	800	2x110	145.8	100.3	0.190	10650	
		2V 15 RES OPzS 2920	15		6	3018	2921	2797	2531	2208	399	214	772	800	2x110	150.9	105.9	0.170	11900	
		2V 16 RES OPzS 2970	16		6	3064	2973	2861	2600	2279	399	214	772	800	2x110	156.1	111.4	0.156	12950	
		2V 18 RES OPzS 3780	18		8	3916	3780	3589	3236	2811	487	212	772	800	3x110	183.7	128.6	0.137	14750	
		2V 20 RES OPzS 4075	20		8	4217	4076	3885	3510	3057	487	212	772	800	3x110	194.0	139.5	0.122	16550	
		2V 22 RES OPzS 4455	22		8	4615	4457	4247	3833	3335	576	212	772	800	3x140	219.6	153.7	0.114	17700	
		2V 24 RES OPzS 4620	24		8	4770	4620	4430	4014	3508	576	212	772	800	3x140	229.8	164.9	0.105	19250	
		2V 26 RES OPzS 4730	26		8	4869	4733	4564	4156	3656	576	212	772	800	3x140	240.1	175.8	0.098	20600	
<b>Blocks</b>		6V 3 RES OPzS 240	3		50	2	251	242	231	209	184	233	224	345	394	-	41.1	30.5	3.18	1900
		6V 4 RES OPzS 280	4			2	293	284	275	251	223	272	205	332	375	-	46.4	34.1	2.52	2420
		6V 5 RES OPzS 385	5			2	403	389	373	338	298	380	205	332	375	-	59.8	42.0	2.13	2860
		6V 6 RES OPzS 405	6			2	422	408	398	364	323	380	205	332	375	-	66.8	49.3	1.86	3260
<b>Blocks</b>	12V 1 RES OPzS 85	1	50	2	90	86	81	73	65	272	205	332	375	-	41.0	27.8	17.20	700		
	12V 2 RES OPzS 130	2		2	137	132	128	118	106	272	205	332	375	-	48.4	37.0	8.61	1400		
	12V 3 RES OPzS 190	3		2	199	191	186	172	155	380	205	332	375	-	68.7	52.2	6.09	2000		

Height 2 includes installed connectors and bolts.  
All dimensions and weights shown are subject to manufacturing tolerances.

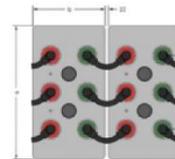
### 2V RES OPzS



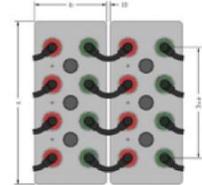
- 2V 2 RES OPzS 185
- 2V 3 RES OPzS 260
- 2V 4 RES OPzS 300
- 2V 5 RES OPzS 375
- 2V 6 RES OPzS 450
- 2V 5 RES OPzS 550
- 2V 6 RES OPzS 660
- 2V 7 RES OPzS 750
- 2V 5 RES OPzS 900
- 2V 6 RES OPzS 965



- 2V 7 RES OPzS 1230
- 2V 8 RES OPzS 1275
- 2V 9 RES OPzS 1480
- 2V 10 RES OPzS 1590
- 2V 11 RES OPzS 1885
- 2V 12 RES OPzS 1905
- 2V 11 RES OPzS 2285
- 2V 12 RES OPzS 2225

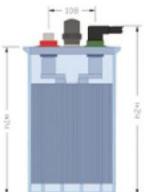


- 2V 14 RES OPzS 2765
- 2V 15 RES OPzS 2920
- 2V 16 RES OPzS 2970

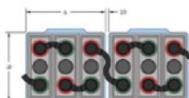


- 2V 18 RES OPzS 3780
- 2V 20 RES OPzS 4075
- 2V 22 RES OPzS 4455
- 2V 24 RES OPzS 4620
- 2V 26 RES OPzS 4730

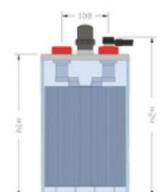
### 6V 3 RES OPzS 240



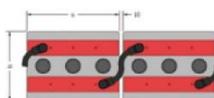
### 6V 3 RES OPzS 240



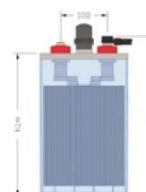
### 6V RES OPzS



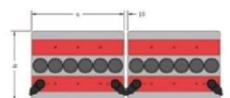
- 6V 4 RES OPzS 280
- 6V 5 RES OPzS 385
- 6V 6 RES OPzS 405



### 12V RES OPzS



- 12V 1 RES OPzS 85
- 12V 2 RES OPzS 130
- 12V 3 RES OPzS 190





Manufactured in Europe  
delivered in more than **100** countries



Manufacturing Plant in Xanthi, Northern Greece

SYSTEMS SUNLIGHT reserves the right to change or revise without notice any information or detail given in this publication

[www.systems-sunlight.com](http://www.systems-sunlight.com)

**Headquarters**

2 Ermou & Nikis Street, Syntagma Square  
105 63 Athens, Greece, EU  
T +30 210 6245400  
F +30 210 6245409

**Manufacturing Plant**

Neo Olvio  
672 00 Xanthi, Greece, EU  
T +30 25410 48100  
F +30 25410 95446

**Service Department**

366 Tatoiou Street  
136 73 Acharnes, Attica, Greece, EU  
T +30 210 6245600  
F +30 210 6245619

Member of SUNLIGHT GLOBAL PARTNERS NETWORK



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

Inversor trifásico





Three Phase & Dual MPPT SIRIO 30KTL

Intelligent, Reliable & Ultimately Efficient

Application: Large-scale Industrial and Commercial Sites



**High Efficiency**

- ◆ Max efficiency 98.5%, European efficiency 98.0%
- ◆ Four independent MPPT to reduce solar panel power loss
- ◆ ECO mode (patent technology) to improve power generation capacity



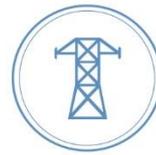
**Secured Reliability**

- ◆ Integrated type II DC/AC surge protection to guarantee security
- ◆ Top-ranking high quality components to guarantee the long product service life



**Intelligent Maintenance**

- ◆ Small size with aluminum enclosure and easy for installation
- ◆ Intelligent one key self-test for grid connection
- ◆ Intelligent Multiple-string level failure detection for fast fault positioning



**Excellent Grid Compatibility**

- ◆ Advanced grid impedance algorithm to support parallel operation with multiple devices at large-scale power stations
- ◆ Real-time grid dispatching to meet grid-connection requirements
- ◆ Extremely low current harmonics without affecting grid quality



Model	SIRIO 30.0
<b>Efficiency</b>	
Max. Efficiency	98.20%
European Efficiency	97.70%
<b>Input (PV)</b>	
Max. Input Voltage	1000V
Rated Input Voltage	620V
Max. Input Current	2*37.5A
Max.Short Circuit Current	84A(2*42A)
Start Input Voltage/ Min. Operating Voltage	250V/180V
MPPT Operating Voltage Range	180V-950V
MPPT Operating Voltage Range (Full.Load)	480V-800V
Max. Number of PV Strings	6(3/3)
No. of MPPTs	2
<b>Output (Grid)</b>	
Rated AC Active Power	30,000W
Max. AC Apparent Power	33,000VA
Max. AC Active Power (PF=1)	33,000W
Max. AC Output Current	3*48A
Rated AC Voltage	380V/400V,3W+N+PE
AC Voltage Range*	277V-520V(adjustable)
Rated Grid Frequency	50Hz/60Hz
Grid Frequency Range**	45Hz-55Hz/55Hz-65Hz
THDI	<3% ( Rated Power )
DC Current Injection	<0.5%In
Power Factor	> 0.99 Rated power (Adjustable 0.8 LG - 0.8 LD)
<b>Protection</b>	
DC switch	Support
Anti-islanding protection	Support
AC overcurrent protection	Support
AC short circuit protection	Support
DC reverse connection	Support
Surge Arrester	DC Type II /AC Type II
Insulation detection	Support
Leakage current protection	Support
<b>General</b>	
Topology	Transformerless
IP Rating	IP65
Night Self Consumption	<1W
Cooling	Fan cooling
Operating Temperature Range	-25°C-60°C
Relative Humidity Range	0-100%
Max. Operating Altitude	4000m(>2000m derating )
Noise	<50dB(Measured at 1m)
Dimensions (W*H*D)	555mm*446mm*270mm
Weight	40Kg
<b>HMI &amp; COM</b>	
Display	Wireless & APP +LED, LCD(Optional)
Communication	WiFi(Optional),RS485,GPRS(Optional)
<b>Certification</b>	
Safety	IEC62109-1, IEC62109-2
EMC	EN 61000-6-2 , EN 61000-6-4
Grid Code	VDE-AR-N 4105 , IEC61727 , IEC62116 , VDE 0126-1-1, RD413/2014
<b>Warranty</b>	<b>5 Years/10 Years (Optional)</b>

Remarks

- The range of output voltage and frequency may vary depending upon different grid codes.
- Specifications are subject to change without advance notice.





## BIBLIOGRAFÍA

[1] <<El 13% de la población mundial aún no tiene acceso a la electricidad, El país>> Disponible: [https://elpais.com/economia/2018/05/02/actualidad/1525257286\\_099135.html](https://elpais.com/economia/2018/05/02/actualidad/1525257286_099135.html)

[2] <<La necesidad de invertir en la transformación rural de África, Organización internacional del trabajo>> Disponible: [https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS\\_235544/lang--es/index.htm](https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_235544/lang--es/index.htm)

[3] <<Datos mundiales, Index mundi>> Disponible: <https://www.indexmundi.com/es/datos/indicadores/SP.RUR.TOTL/map/africa>

[4] <<Estados y territorios de Nigeria, Wikipedia>> Disponible: [https://es.wikipedia.org/wiki/Estados\\_y\\_territorios\\_de\\_Nigeria](https://es.wikipedia.org/wiki/Estados_y_territorios_de_Nigeria)

[5] <<Países según el índice de desarrollo humano, Wikipedia>> Disponible: [https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Países\\_por\\_índice\\_de\\_desarrollo\\_humano](https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Países_por_índice_de_desarrollo_humano)

[6] <<Luz para África, El país>> Disponible: [https://elpais.com/elpais/2016/02/19/africa\\_no\\_es\\_un\\_pais/1455865200\\_145586.html](https://elpais.com/elpais/2016/02/19/africa_no_es_un_pais/1455865200_145586.html)

[7] <<Potencial de las energías renovables en África, Twenergy, energías renovables>> Disponible: <https://twenergy.com/energia/energias-renovables/potencial-de-las-energias-renovables-en-africa-533/>

[8] <<Nigeria - Principales sectores - Energía (incl. energías renovables), AFRICA infomarket>> Disponible: [http://www.africainfomarket.org/site\\_content/54-mas-informacion-pais/12399-nigeria-principales-sectores-energia-incl-energias-renovables](http://www.africainfomarket.org/site_content/54-mas-informacion-pais/12399-nigeria-principales-sectores-energia-incl-energias-renovables)

[9] <<Lo que hay detrás de la falta de acceso a la electricidad en África, Iberdrola>> Disponible: <http://www.itd.upm.es/iberdrola/lo-que-hay-detras-de-la-falta-de-acceso-a-la-electricidad-en-africa/>

[10] << The Nigerian energy report by sterling bank>>

[11] << Diseño de un sistema híbrido de generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía [Caso de Boca de Lurá] Miguel Him Díaz>> Disponible: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/512/html>

[12] <<Energía híbrida, Iberdrola>> Disponible: <https://www.iberdrola.com/innovacion/energia-hibrida>

[13] <<Archivo meteorológico de Ungua Dogo, Nigeria, Meteoblue>> Disponible: [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/ungua-dogo\\_nigeria\\_2320294](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/ungua-dogo_nigeria_2320294)

[14] <<Clima promedio en Kano, Nigeria, Weather Spark>> Disponible: <https://es.weatherspark.com/y/58596/Clima-promedio-en-Kano-Nigeria-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Precipitation>



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

- [15]<<Tamaño promedio del hogar en Nigeria, ArcGIS Hub>> Disponible: <https://hub.arcgis.com/datasets/fbb3c5c5fa9f4429be56af8b11ef4643>
- [16]<<Energía eólica, Renovables verdes>> Disponible: <https://www.renovablesverdes.com/energia-eolica-el-aerogenerador-i/>
- [17]<<División Energía, EBR, electrobombas rosario SRL>> Disponible: <http://www.ebr.com.ar/division-energia/Energias-renovables/Aerogenerador-Bipala/26>
- [18] << ENERGÍA EÓLICA: TURBINAS EÓLICAS PENDULARES, ADES tempero group>> Disponible: <http://www.ades.tv/energias-renovables/productos-servicios/energia-eolica-turbinas-eolicas-pendulares/id/24>
- [19]<<Tipos de turbinas eólicas, GRUPO 15>> Disponible: <https://grupo15fluidos.wordpress.com/2016/04/24/tipos-de-turbinas-eolicas/>
- [20]<<Tarifa, Cádiz. Octubre 2012, Campery senderismo>> Disponible: <https://camperysenderismo.wordpress.com/2012/10/16/tarifa/>
- [21]<< Cimentaciones prefabricadas en aerogeneradores, Universidad politécnica de valencia>> Disponible: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/04/27/cimentaciones-prefabricadas-en-aerogeneradores/>
- [22]<<Tipos de aerogeneradores, Energía eólica 1001 >> Disponible: <http://energiaeolica1101.blogspot.com/2015/03/tipos-de-aerogeneradores.html>
- [23]<<Aerogeneradores verticales, lbain industrial >> Disponible: <https://www.lbaindustrial.com.mx/aerogeneradores-verticales/>
- [24]<<Aerogenerador doméstico de eje vertical, Archiexpo >> Disponible: <https://www.archiexpo.es/prod/windside/product-88530-959470.html>
- [25]<<Partes de un aerogenerador, central eólica>> Disponible: <https://centraleolica.wordpress.com/partes-de-un-aerogenerador/#:~:text=Componentes%20de%20un%20aerogenerador&text=En%20un%20aerogenerador%20moderno%20de%20600%20kW%20el%20rotor%20gira,el%20eje%20de%20baja%20velocidad.>
- [26]<< Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia y HSP, SUNFIELDS Europe desde 2007>> Disponible: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>
- [27] <<RADIACIÓN SOLAR, IDEAM >>Disponible: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- [28]<< Satélites meteorológicos, Vademecum remer>> Disponible: <http://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum19/vdm031.htm>



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

[29] <<Diferencias entre paneles solares monocristalinos y policristalinos, Ecoinventos>> Disponible: <https://ecoinventos.com/diferencia-paneles-solares-monocristalinos-policristalinos/> fotos

[30]<< Panel solar, ComoFunciona>> Disponible: <https://como-funciona.co/un-panel-solar/>

[31]<< Diodo de bypass modulo fotovoltaico, Automatismo industrial>> Disponible: <https://automatismoindustrial.com/curso-energia-solar-fotovoltaica/componentes-energia-solar-fotovoltaica/diodo-de-bypass-modulo-fotovoltaico/>

[32]<<Estructura solar fija, industrias duero>> Disponible: <https://industriasduero.com/catalogo/es/energias-renovables/75-estructura-solar-fija.html>

[33]<<Tipos de soportes para placas solares Solarmat>> Disponible: <https://www.solarmat.es/blog/soportes-para-placas-solares-el-patito-feo-de-las-instalaciones/>

[34]<< TRAZADOR DE CURVAS I-V DE CÓDIGO ABIERTO PARA MONITOREO DE RENDIMIENTO DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN BOLIVIA, SCIELO>> Disponible: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2518-44312014000100007](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312014000100007)

[35] <<Influencia de la irradiación y temperatura sobre una placa fotovoltaica, Ingelibre>> Disponible: <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/11/09/influencia-de-la-irradiacion-y-temperatura-sobre-una-placa-fotovoltaica/>

[36] << Conexión en serie y en paralelo de paneles solares, Autosolar>> Disponible: <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/conexion-en-serie-y-en-paralelo-de-paneles-solares>

[37]<< Conexiones en serie y en paralelo para varias baterías, Baterías y amperios. Wordpress >> Disponible: <https://bateriasyamperios.wordpress.com/2014/04/07/conexiones-en-serie-y-en-paralelo-para-varias-baterias/>

[38] <<Carga De Baterías En 3 Etapas, BALLESTER >> Disponible: <https://dcballester.com/carga-de-baterias-en-3-etapas>

[39]<<REGULADOR DE CARGA SOLAR, Areatecnología>> Disponible: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>

[40]<< Sistemas industriales OFF GRID, Opción removable>> Disponible: <https://www.opcionrenovable.com/industria/sistemas-industriales-off-grid/>

[41]<<INSTALACIÓN AISLADA Kliux>> Disponible: <http://www.kliux.com/instalaciones/instalacion-aislada/>

[42] <<Aerogeneradores, Atlas eólico, Enair>> Disponible: <https://www.enair.es/es/>



## Implantación de autoabastecimiento energético en zonas rurales de países subdesarrollados

[43]<<RES SOPzV, Sunlight>> Disponible: <https://www.systems-sunlight.com/es/product/reserve-power-es/reserve-power-lead-acid-batteries-es/reserve-power-lead-acid-batteries-renewable-energy-storage-es/res-sopzv/>

[44]<<PFV las sombras y las distancias, Aula Facil >> Disponible: <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-fotovoltaica-1/pfv-las-sombras-y-las-distancias-l38051>

[45] <<Tresbolillo, Wikipedia >> Disponible: [https://es.wikipedia.org/wiki/Al\\_tresbolillo](https://es.wikipedia.org/wiki/Al_tresbolillo)





