



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
VOCACIÓN POR LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD SAN SEBASTIÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

ESCUELA DE INGENIERIA

SEDE SANTIAGO, BELLAVISTA

Estudio de Fuentes Energéticas. Aplicación a Energía Solar Fotovoltaica

Trabajo de Proyecto de título para optar al título de Ingeniero Civil en Minas

Docente guía: Dr. Roberto Acevedo

Estudiante: Rodrigo Matías Pavez Cerda

Santiago de Chile, 2023

© Rodrigo Matías Pavez Cerda

Se autoriza la reproducción parcial o total de esta obra, con fines académicos, por cualquier forma, medio o procedimiento, siempre y cuando se incluya cita bibliográfica del documento.

Santiago de Chile, 2023

HOJA DE CALIFICACIÓN PROYECTO DE TÍTULO

Santiago, _____ de _____ del 2023

Los miembros de la comisión evaluadora, detallados al final de la presente página, dejan constancia que el estudiante Rodrigo Matías Pavez Cerda, ha aprobado su proyecto de título: Estudio de fuentes de energía, potencial fotovoltaico mundial y su aplicación en la minería, para optar al título de Ingeniero Civil en Minas, con nota: _____

Dr. Roberto Acevedo

Dr. Andrés Soto

Magister Luis de la Torre Urzúa

*Dedicado completamente a mi
hermana, el mayor pilar de mi
vida.*

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a todas las personas que se han visto involucradas en este largo camino:

En primer lugar, quiero agradecer enormemente a mi hermana Bárbara, por ser un pilar fundamental a lo largo de todo mi proceso universitario y a lo largo de mi vida. Quiero agradecer a mis padres, por entregarme todo su apoyo y confianza en todo momento; a mi profesor guía, por apoyarme y brindarme su experiencia y conocimientos, los cuales fueron la base para formar mi proyecto de tesis. A todos los profesores de la carrera de ingeniería civil, a los compañeros que conocí, a mis amigos dentro y fuera de la carrera, con quienes viví muchos momentos que siempre recordaré además de agradecer a mi querido amigo Diego Onetto, quien siempre fue un apoyo durante todo el trabajo en el laboratorio de geo.

Por último, pero no menos importante, me gustaría agradecerme, por creer en mí, por no rendirme, incluso en los momentos más difíciles de toda esta travesía y por mantenerme enfocado siempre en lo importante, logrando de esa forma, cumplir mis objetivos sin rendirme jamás.

Rodrigo Matías Pavez Cerda

Los grandes resultados requieren grandes ambiciones (Heráclito).

RESUMEN

Las energías renovables son fuentes de energía limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero, causantes del cambio climático ni emisiones contaminantes. Además, sus costes evolucionan a la baja de forma sostenida, mientras que la tendencia general de costes de los combustibles fósiles es la opuesta, al margen de su volatilidad coyuntural (Acciona s.f.).

En este trabajo se realiza un análisis de las diversas fuentes de energía que existen, para profundizar en la ESFV, sus aplicaciones, su funcionamiento y su importancia a nivel mundial.

La ESFV es una de las energías renovables no convencionales, pues tiene la capacidad de producir energía gracias a la radiación solar. El poder obtener energía de esta manera evita la producción de cualquier tipo de gas de efecto invernadero, volviéndola así una energía amigable con el medioambiente.

Los resultados del estudio revelan cómo la ESFV tiene un gran potencial de crecimiento a nivel global mediante estudios económicos, técnicos y medioambientales, esto además se puede ver reflejado en el gran interés de diversos países al implementar esta tecnología en diversos aspectos de la vida, ya sea para uso en ciudades, industria, sectores rurales o procesos mineros.

La ESFV se posiciona como la segunda energía renovable de mayor crecimiento a nivel mundial después de la eólica, demostrando así el potencial de esta.

Finalmente se entregan conclusiones las cuales dan ciertas recomendaciones a manera de diagnóstico a través del análisis realizado, enfocándose en el potencial de crecimiento, efecto medioambiental, político y económico.

ABSTRACT

Renewable energies are clean, inexhaustible, and increasingly competitive sources of energy. They differ from fossil fuels mainly in their diversity, abundance, and potential for use anywhere on the planet, but above all in that they do not produce greenhouse gases, which cause climate change, or polluting emissions. In addition, its costs are evolving steadily downward, while the general trend in the costs of fossil fuels is the opposite, regardless of their short-term volatility (Acciona s.f.)

In this work, an analysis of the various energy sources that exist is carried out, to delve into the PVSE, its applications, its operation and its importance worldwide.

The economic development of the countries has been linked to a growing energy demand, generating the need to search for new energy sources that can supply the needs of each country, one of them being Photovoltaic Solar Energy (PVSE).

Our goal in this research study is the analysis of the various available energy sources, and we aim to delve into and focus on state-of-the-art worldwide. The task is no longer trivial; however, we have decided to tackle this relevant issue from an academic viewpoint.

The PVSE is one of the non-conventional renewable energies since it can produce energy thanks to solar radiation. Obtaining energy in this way avoids producing any greenhouse gas, thus making it an environmentally friendly energy.

The study's results reveal how the PVSE has excellent global growth potential through economic, technical and environmental studies. There is an increasing interest in various countries to implement this technology, whether for use in cities, industry, rural sectors or mining processes.

PVSE is positioned as the second fastest-growing renewable energy in the world after wind power, thus demonstrating its potential.

Finally, conclusions are delivered, which give specific recommendations as a diagnosis through the analysis, focusing on the growth potential and environmental, political, and economic effects.

ÍNDICE

ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	25
1.- OBJETIVOS	27
1.1.-Objetivo General	27
1.2.- Objetivos Específicos	27
2.- FUENTES DE ENERGÍAS	28
2.0.1.- Propiedades de la energía	28
2.0.2.-Transferencia de la energía	29
2.1.- Energía Interna	
2.2.- Energía mecánica	30
2.3.- Energía Cinética	31
2.4.- Energía Potencial	31
2.5.- Energía Térmica	32
2.6.- Energía Geotérmica	33
2.6.1.- Sistema Volcánico	34
2.6.1.1.- Tipo Vapor Dominante	34
2.6.1.2.- Tipo Agua-Dominante	35
2.6.1.3.- Tipo Agua Caliente	35
2.6.2.1.- Sistemas de Convección	35
2.6.3.1.- Sistemas de Conducción	36
2.6.4.- Geotermia en España	36
2.7.1.- Beneficios de la energía eólica	38
2.7.2.- Inconvenientes de la energía eólica	40
2.8.- Energía Hidráulica	40
2.8.1.-Centrales hidráulicas	42
2.8.2.-Centrales minihidráulicas	42
2.8.3.-Centrales micro hidráulicas	42
2.8.4.-Centrales hidroeléctricas de embalse	43
2.8.5.-Centrales hidroeléctricas de agua fluyente	43
2.8.6.-Central hidroeléctrica reversible o de bombeo	43

2.9.- Energía Solar Térmica	45
2.10.- Energía Eléctrica	49
2.10.1-Aplicaciones de la energía eléctrica	50
2.11.- Energía Nuclear	50
2.11.1.-Centrales Nucleares	52
2.11.2.- Cualidades de la energía nuclear	53
2.12.- Energía Radiante	53
2.13.- Energía Química	54
2.13.1.-Clasificaciones de la energía química	54
2.13.2.-Ventajas	55
2.13.3.-Desventajas	56
2.14.- Energía de reacción	56
2.15.- Energías Renovables Procedentes de las Olas	57
2.16.-Energía Solar directa	59
2.17.-Energía de la Biomasa	59
2.18.- Combustibles Fósiles	59
2.18.1.- Petróleo	61
2.18.1.2.-Daños a la salud	62
2.18.2.- Gas Natural	65
2.18.3.- Carbón	66
2.18.3.1.-Origen del Carbón	67
2.18.3.2.-Tipos de Carbón	67
Turba:	67
Lignito:	68
Hulla:	68
Antracita:	68
2.18.3.4.-Ventajas	68
2.18.3.5.- Desventajas	69
3.- ORIGEN DE LA ENERGÍA SOLAR. FUENTE FOTOVOLTAICA	70
3.1.- ¿Qué son los fotones?	71
3.1.2.- ¿Cuál es la energía de un fotón?	71
3.2.-Radiación Solar	72

3.2.1.-Irradiancia y Radiación	73
3.2.2.- Radiación Global	74
3.3.- Celdas Fotovoltaicas	75
3.4.-Composición de los módulos fotovoltaicos	79
3.4.1.-Comportamiento de las Células Solares Fotovoltaicas	80
3.4.2.-Parámetros fundamentales de la célula solar	81
3.5.-Potencia de una célula solar	82
3.5.1.-Principio de funcionamiento de una célula fotovoltaica	84
3.6.- La potencia de los paneles solares	85
3.7.- Efecto Fotoeléctrico	88
3.7.1.-Edmund Becquerel	88
3.7.2.-Willoughby Smith	89
3.7.3.-W.G. Adams y R.E. Day	89
3.7.4.-Heinrich Hertz	89
3.7.5.-J.J. Thomson	89
3.7.6.-Von Lenard	90
3.7.7.-Albert Einstein	90
3.8.-Fenómeno Fotoeléctrico	91
3.8.1- Interpretación cuántica del Efecto Fotoeléctrico	91
3.9.-Semiconductores	94
3.9.1.-Semiconductor intrínseco	95
3.9.2.-Semiconductor dopado o extrínseco	96
3.9.3.-Semiconductor tipo P	96
3.9.4.-Semiconductor tipo N	98
3.10.-El silicio	100
3.10.1.- Proceso de fabricación de las células fotovoltaicas	101
4.- DESARROLLO	105
4.1.- Plantas Piloto	105
4.1.2.-Componentes de una planta solar fotovoltaica	106
4.1.3.-Componentes de una planta solar de baja tensión	107
4.1.3.1.-Generador Fotovoltaico	108
4.1.3.2.-Inversor	109

4.1.3.3.-Equipo de medida	109
4.1.3.4.-Estructura de soporte de placas	109
4.1.3.5.-Caja general de protección	110
4.1.3.6.-Cableado de interconexión	110
4.1.3.7.-Acometida eléctrica	110
4.1.3.8.-Puesta a tierra	110
4.2.-Clasificación de instalaciones	111
4.2.1.-Aplicaciones autónomas	111
4.2.1.2.-Aplicaciones terrestres	111
4.2.2.-Aplicaciones conectadas a la red	112
4.2.2.1.-Centrales fotovoltaicas y huertos solares	112
4.2.2.2.-Edificios fotovoltaicos	113
4.3.-Baterías	113
4.3.1.-Conceptos preliminares	114
4.3.2.-Tipos de baterías	118
4.3.3.-Proceso de carga y descarga de una batería	120
4.3.3.1.-Baterías de plomo-ácido	121
4.3.3.2.-Baterías de Litio	121
4.3.3.3.-Baterías de ion de Litio	122
4.4.-infraestructuras de plantas	122
4.4.1.-Bhadla Solar Park	123
4.4.2.-El Romero	124
4.4.3.-Topaz Solar Farm Estados Unidos	124
4.4.4.-Kamuthi	125
4.4.5.-Kurnool	126
4.4.6.-Shakti Sthala	128
4.4.7.-Australia-Asia Power Link (AAPowerLink)	128
5.- APLICACIONES DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA	130
5.1.- Energía Agro-voltaica	131
5.1.1.-Funcionamiento	131
5.1.2.-Ventajas	132
5.1.3.-Desventajas	132

5.1.4.-Aplicaciones	133
5.2.- Energía solar fotovoltaica flotante	134
5.2.1.-¿Cómo funciona una planta fotovoltaica flotante?	136
5.2.2.-Ventajas	139
5.2.3.-Desventajas	139
5.3.- Uso Doméstico	139
5.4.- Tejas Fotovoltaicas	141
5.4.1.- El inicio de la idea	142
5.4.2.- El funcionamiento de las tejas solares	142
5.4.3.-Recomendaciones	143
5.4.4.- Beneficios de las tejas solares	143
5.4.4.1.-Ventajas	144
5.4.4.2.- Desventajas	144
6.-LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LOS PROCESOS MINEROS	145
6.1.-CARPE SOLEM	146
6.1.1-Impacto hídrico en la minería	148
6.1.2.-Extracción de minerales	149
6.1.3.-La energía solar en la pirometalurgia	150
6.1.4.-La energía Solar en la Hidrometalurgia	150
6.2.-Aplicaciones dentro de proyectos mineros	151
6.2.1.-Minera Collahuasi	152
6.3.- Energía Solar Fotovoltaica en la minería de la UE	152
6.3.1.- Riotinto	153
6.4.- EF en la minería de Australia	154
6.4.1.- Mina de oro Agnew	154
6.4.2.- Mina de Oro Carosue Dam	155
7.- DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS	156
7.1.- Diseño y dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos conectados a la Red	156
7.2.- Potencia y Energía	157
7.3.- Dimensionamiento	157

7.3.1.-Dimensionamiento del generador fotovoltaico	158
7.3.2.- Separación entre módulos	160
7.3.3.- Selección del inversor	163
7.3.4.- Configuración serie y paralelo	163
7.4.-Disposición de los módulos	166
7.4.1.-Inclinación de los módulos	167
7.5.-Conductores	168
7.6.- Protecciones	168
7.6.1.- Protecciones Físicas	169
7.6.2.- Protecciones Eléctricas	169
7.6.3.- Cálculo de protección contra sobre intensidades	170
7.7.-Pérdidas	171
7.7.1.- Perdidas del inversor	171
8.- ANÁLISIS FODA DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA	172
8.1.- Fortalezas	172
8.2.- Oportunidades	172
8.3.- Amenazas	173
8.4.- Debilidades	173
9.- ANÁLISIS TÉCNICO.....	174
9.1.- Crecimiento de la ESFV	175
9.2.- Tecnología	175
9.3.- Políticas Públicas	176
10.- ANÁLISIS ECONÓMICO	177
10.1.- Cero Neto para 2050	177
10.2.- Progreso a nivel país	178
10.2.1- Chile	178
10.2.1.1- Matriz Energética Chilena	181
10.2.1.2.-Matriz Eléctrica en Chile	185
10.2.2.- Australia	191
10.2.2.1.- Matriz Energética de Australia	192
10.2.3.- Argentina	193
10.2.3.1.-Matriz energética Argentina	194

10.2.4.- Bolivia	197
10.2.4.1.- Matriz Energética de Bolivia	197
10.2.4.2.- Balance Energético Nacional 2006-2020	198
10.2.4.3.- Energía Solar Fotovoltaica en Bolivia	201
10.2.5.- Perú	201
10.2.5.1.- Matriz Energética de Perú	201
10.2.6.- Discusión	202
11.- ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL	203
11.1.- Crisis de 2030	203
11.2.- Impactos de los paneles solares	204
11.2.1.- Impactos ambientales positivos	205
11.2.1.1.- Disminuir el uso de combustibles fósiles	205
11.2.1.2.- Energía limpia por más tiempo	205
11.2.1.3.- Reducción de las emisiones	205
11.2.1.4.- Suelo	206
11.2.1.5.- Aguas Superficiales y subterráneas	206
11.2.1.6.- Ruido	206
11.2.2.- Impactos ambientales negativos	206
11.2.2.1.- Impacto a la flora y fauna	206
11.2.2.2.- Uso del agua	207
11.3.- Producción de Energía Fotovoltaica	207
11.4.- Electrificación en la minería	208
11.5.- Limpieza de paneles solares	209
12.- CONCLUSIONES	210
13.- ANEXOS	214
BIBLIOGRAFÍA	220

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

- Ilustración 1** adaptado de "El viento, fuente de energía", por A. Alarcón 39
- Ilustración 2** adaptado de diagrama del ciclo del agua y producción de electricidad por Instituto Tecnológico de Canarias (<https://geoinnova.org/libro/energias-renovables-y-eficiencia-energetica/?gclid=CjwKCAiAyfybBhBKEiwAgtB7fiQsSiojZilHEpj4IOSrCjkljrIliHqJOKDGtI37A>) 44
- Ilustración 3** Adaptado de "Energía solar térmica" por OVACEN (<https://ovacen.com/energias-renovables/solar/termica/>) 48
- Ilustración 4** adaptado de "¿Qué es la energía nuclear?" por A.Galindo,2021, IAEA, extraido de <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-energia-nuclear-la-ciencia-de-la-energia-nucleoelectrica> 52
- Ilustración 5** adaptado de ¿Qué es la energía nuclear?, por Argentina.gob.ar, <https://www.argentina.gob.ar/energia/energia-electrica/energia-nuclear/que-es-la-energia-nuclear> 53
- Ilustración 6** "Balances energéticos mundiales para derivados del petroleo" de IEA- agencia Internacional de la Energía, 2022 64
- Ilustración 7** Radiación Solar promedio en el periodo 1990-2004, extraído de Ecole des Mines de París/Armines, modificado del texto de Diseño y dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos 74
- Ilustración 8** lista de diferentes tipos de células fotovoltaicas, de Componentes de una instalación solar fotovoltaica (mheducation, s.f.) 77
- Ilustración 9** Célula solar: características básicas, por Componentes de una instalación solar fotovoltaica (mheducation, s.f.) 81

Ilustración 10 Potencia de la célula solar, por Componentes de una instalación solar fotovoltaica	83
Ilustración 11 adaptado de "Mapa de irradiancia solar, la región de Argentina, Chile y Bolivia se encuentran entre las mayores del mundo", de 3amper, https://3amper.com/blog/2017/06/21/la-verdadera-potencia-de-los-paneles-solares/	86
Ilustración 12 Imagen representativa del efecto fotoeléctrico, partículas de luz incidiendo en un semiconductor, imagen obtenida de Oriol Planas 2015, https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/efecto-fotovoltaico	91
Ilustración 13 Representación de un átomo de silicio completo y su esquema simplificado (la zona sombreada de la figura 2, representa de una forma simplificada a la zona sombreada de la figura 1), imagen extraída de texto de Martines. A. 2011	72
Ilustración 14 Enlace covalente de átomos de silicio, extraído de texto de Martínez.A,2011	97
Ilustración 15 Semiconductor dopado tipo P, extraído de texto de Martínez. A, 2011	97
Ilustración 16 Semiconductor dopado tipo N, extraído de texto de Martínez. A, 2011	98
Ilustración 17 Muestras de silicio amorfo (izquierda) y silicio cristalino (derecha), imagen extraída del texto de Martínez. A, 2011	100
Ilustración 18 Imagen adaptada de "Tecnologías de fabricación de la célula solar", imagen de: etapas para la construcción de un módulo solar http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_05.htm	104

Ilustración 19 imagen adaptada de "Tecnologías de fabricación de la célula solar", imagen de Lingotes y Obleas de Si (silicio), http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_05.htm#:~:text=A%20partir%20de%20las%20rocas,denominar%20Silicio%20de%20grado%20metal%C3%BAArgico.	105
Ilustración 20 Esquema instalación fotovoltaica conectada a red, por D. Barbera de Introducción a la Energía Fotovoltaica	108
Ilustración 21 características de los principales tipos de baterías, de Componentes de una instalación solar fotovoltaica	118
Ilustración 22 "Baterías utilizadas en instalaciones solares", de Componentes de una instalación solar fotovoltaica (mheducation, s.f.)	119
Ilustración 23 Bhadla Solar Park. 2.245 MW. India, por A. Roca, 2020, de elperiodicodelaenergía, https://elperiodicodelaenergía.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/	123
Ilustración 24 Topaz Solar Farm. 550 MW. Estados Unidos, por A.Roca, 2020 de elperiodicodelaenergía, https://elperiodicodelaenergía.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/	125
Ilustración 25 Planta fotovoltaica de Kamuthi. 648 MW. India, por A.Roca, 2020, de elperiodicodelaenergía,	126
Ilustración 26 Kurnool Ultra Mega Solar Park. 1.000 MW. India, por A.Roca, 2020, de elperiodicodelaenergía, https://elperiodicodelaenergía.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/	127
Ilustración 27 imagen adaptada de "Proyecto insignia de Sun Cable" de Sun Cable, la imagen muestra el proyecto de planta solar más grande del mundo, https://suncable.energy/	129

Ilustración 28 Imagen adaptada de “Mapa de irradiancia solar”, de 3amper, imagen donde se señala la ubicación de grandes parques solares alrededor del mundo relacionado a la radiación solar, en lugares como Australia, India, Estados Unidos y Chile. <https://3amper.com/blog/2017/06/21/la-verdadera-potencia-de-los-paneles-solares/> 130

Ilustración 29 Imagen adaptada de “Energía Agrovoltaica” de IBERDROLA, la imagen muestra una aplicación de la energía solar fotovoltaica mezclada con la agronomía. <https://www.iberdrola.com/innovacion/energia-agrovoltaica#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20agrovoltaica%2C%20tambi%C3%A9n%20conocida,cultivos%20sobre%20la%20misma%20superficie> 134

Ilustración 30 planta fotovoltaica flotante, imagen extraída de IBERDROLA, <https://www.iberdrola.com/innovacion/fotovoltaica-flotante> 135

Ilustración 31 Planta Fotovoltaica flotante en central hidroeléctrica, imagen extraída de IBERDROLA, <https://www.iberdrola.com/innovacion/fotovoltaica-flotante> 136

Ilustración 32 Tipos habituales de anclajes, imagen extraída de IBERDROLA, <https://www.iberdrola.com/innovacion/fotovoltaica-flotante> 138

Ilustración 33 Esquema de conexión del regulador en la instalación, imagen extraída de (mheducation, s.f.) 141

Ilustración 34 Diagrama de flujo para el diseño de un sistema de generación fotovoltaico. Extraído de “Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos” 158

Ilustración 35 Proyección de la sombra en función de la altura solar, Extraído de “Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos” 160

Ilustración 36 Determinación de la distancia mínima entre filas de módulos para superficies horizontales, Extraído de “Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos” 161

Ilustración 37 Determinación de la distancia mínima entre filas de módulos para superficies inclinadas, Extraído de “Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos” 162

Ilustración 38 Representación de la adición de módulos en serie. La curva azul representa las características de un módulo, mientras que la roja las características de cuatro módulos en serie. Extraído de “Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos” 164

Ilustración 39 Efecto de la adición de módulos en paralelo. La curva azul representa las características de un módulo, mientras que la curva roja representa las características de cuatro módulos en paralelo. Extraído de “Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos” 165

Ilustración 40 Adaptado de "capacidad instalada de energía en Chile de 2012 a 2021" por es.estadista.com 2022, <https://es.statista.com/estadisticas/1238175/capacidad-instalada-energia-solar-chile/> 180

Ilustración 41 Imagen adaptada de "Sistema Eléctrico Nacional", extraído de Comisión Nacional de Energía y Coordinador Eléctrico Nacional. 180

Ilustración 42 Matriz energética primaria en Chile, 2019, imagen adaptada de García.N,2021 de la BCN [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20\(16%25\).](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20(16%25).) 182

Ilustración 43 Imagen adaptada de matriz energética y eléctrica de Chile de la BCN "Consumo final de energía en Chile por sector de actividad económica,

2019"

[https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20\(16%25\).](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20(16%25).) 183

Ilustración 44 Imagen adaptada de Matriz energética y eléctrica en Chile, 2021, "Balance de energía en Chile, año 2019, unidad en Tcal", extraída del Ministerio de Energía 202 184

Ilustración 45 "Consumo en centros de transformación en Chile", imagen adaptada de la Matriz energética y eléctrica de Chile, 2021 [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20\(16%25\).](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20(16%25).) 185

Ilustración 46 "Capacidad instalada (MW) en Chile según tipo de energía, al mes de julio del año 2021", imagen adaptada de Matriz energética y eléctrica de Chile, extraída de la BCN 2021. [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20\(16%25\).](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20(16%25).) 186

Ilustración 47 "Capacidad instalada (MW) en Chile según tipo de energía, al mes de julio del año 2021", imagen adaptada de Matriz energética y eléctrica en Chile, de la BCN 2021. [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20\(16%25\).](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20(16%25).) 187

Ilustración 48 "Generación histórica de los sistemas SIC y SING y posterior interconexión en el SEN. Periodo 1996-2020, unidades en GWh", imagen adaptada de Matriz energética y eléctrica en Chile, de la BCN 2021. <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN>

[_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20\(16%25\).](#) 187

Ilustración 49 "Generación de electricidad en base a combustibles fósiles (GWh), 2000-2020", imagen adaptada de Matriz energética y eléctrica en Chile, 2021, de la BCN. [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20\(16%25\).](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20(16%25).) 188

Ilustración 50 "Capacidad instalada hidroeléctrica de Chile a diciembre de 2019. Unidades en MW." imagen adaptada de Matriz energética y eléctrica en Chile de la BCN 2021. 190

Ilustración 51 ". Generación de electricidad en base a energía solar [GWh], 2000 – 2020", imagen adaptada de la Matriz energética y eléctrica en Chile, de la BCN, 2021. 191

Ilustración 52 "Matriz energética de Argentina en el año 1980", imagen adaptada de la fundación YPF. https://energiasdemipais.educ.ar/edmp_lecturas/matriz-energetica/#:~:text=En%20esta%20matriz%20se%20observa%20la%20importancia%20del%20gas%20y,generaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20en%20el%20pa%C3%ADs. 195

Ilustración 53 "Matriz energética de Argentina en el año 1990". imagen adaptada de la Fundación YPF. https://energiasdemipais.educ.ar/edmp_lecturas/matriz-energetica/#:~:text=En%20esta%20matriz%20se%20observa%20la%20importancia%20del%20gas%20y,generaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20en%20el%20pa%C3%ADs. 196

Ilustración 54 "Matriz energética de Argentina en el año 2000", imagen adaptada de la Fundación YPF. https://energiasdemipais.educ.ar/edmp_lecturas/matriz-energetica/#:~:text=En%20esta%20matriz%20se%20observa%20la%20importancia%20del%20gas%20y,generaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20en%20el%20pa%C3%ADs.

ncia%20del%20gas%20y,generaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20en%20el
%20pa%C3%ADs. 196

Ilustración 55 "Matriz energética de Argentina en el año 2021", imagen adaptada de la Fundación YPF. https://energiasdemipais.educ.ar/edmp_lecturas/matriz-energetica/#:~:text=En%20esta%20matriz%20se%20observa%20la%20importancia%20del%20gas%20y,generaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20en%20el%20pa%C3%ADs. 197

Ilustración 56 "Producción de energía primaria, 2006 - 2020". Imagen adaptada de Fundación Solón, Montaña. X. 2022. <https://fundacionsolon.org/2022/11/30/conociendo-la-matriz-energetica-en-bolivia/> 199

ANEXOS

anexo 1 Tabla de beneficios presentes en las tejas solares 168

anexo 2 Intensidad de corriente admisible para conductores aislados fabricados según norma europea. Temperatura de servicio: 70°C. Temperatura ambiente: 30°C. extraído de "Norma Chilena de Electricidad N° 4/2003. 169

anexo 3 Intensidad de corriente admisible para conductores aislados fabricados según normas norteamericanas. Secciones AWG. Temperatura ambiente: 30°C, base de "Norma Chilena de Electricidad N° 4/2003, Extraído de "Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos". 170

anexo 4 índices de protección, Extraído de "Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos" 171

anexo 5 Tabla la cual muestra las principales políticas aplicadas por países del mundo a favor de las energías renovables, extraído de IEA 172

anexo 6 "consumo de energía por sector económico, 2006-2020", imagen extraída de Fundación Solón y Montaña. X. 2022. <https://fundacionsolon.org/2022/11/30/conociendo-la-matriz-energetica-en-bolivia/>

173

INTRODUCCIÓN

La energía puede manifestarse de diversas maneras: gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, entre otras, existiendo la posibilidad de transformarse entre sí, pero respetando siempre el principio de conservación de la energía (Canarias, 2008). También se le puede dar diferentes usos, dependiendo del medio del que se obtiene, ya sea para iluminar ciudades, hacer funcionar motores o simplemente generar el calor necesario para proteger de los climas fríos.

La mayoría de las fuentes de energía que existen, provienen del sol, el cual genera vientos, evaporación de aguas, nubes, lluvia e incluso calor y radiación solar, siendo de gran importancia, aprovechar la energía proveniente del sol, ya que se considera una energía ilimitada y amigable con el medio ambiente.

El desarrollo económico de los países ha estado vinculado a una creciente demanda energética, generando la necesidad de buscar nuevas fuentes de energía que puedan abastecer las necesidades de cada país, siendo una de ellas la ESFV.

La ESFV es un tipo de energía renovable, la cual se obtiene gracias a la radiación solar, al convertir esta luz solar en electricidad. Esto se puede explicar gracias al fenómeno fotoeléctrico, el cual indica cómo las partículas de luz inciden sobre los módulos fotovoltaicos, entregando su energía a los átomos del semiconductor, donde se liberarán y desplazarán de un extremo a otro, generando así, la energía. Es por esto, que la ESFV es una energía totalmente limpia, pues además de producir energía de la radiación solar, sus procesos no generan ningún rastro de gases de efecto invernadero, por lo que no contribuye al calentamiento global.

Para que la ESFV pueda generar electricidad, se necesita de toda una planta y del uso de diversos equipos para poder obtener, transformar, almacenar y

distribuir la energía obtenida, por lo que cada parte de una planta solar es completamente necesaria.

La construcción de una planta no es un tema sencillo, por lo que se crea un apartado sobre el dimensionamiento de una planta solar fotovoltaica conectada a la red y un estudio, en el cual se muestran aspectos técnicos, económicos y medioambientales sobre las áreas positivas y negativas de la ESFV.

A lo largo de los años, se ha podido observar cómo los países han visto el potencial de la ESFV lo que los ha llevado a construir grandes parques solares alrededor del mundo, ya sea para abastecer una parte del consumo de un país, dar energía a lugares rurales o para alimentar algún proceso minero, demostrando el camino positivo que mantienen las energías renovables en comparación los combustibles fósiles. Cabe destacar que este informe realiza un ejemplo en el cual se muestran las matrices energéticas de cinco países (Chile, Argentina, Perú, Bolivia y Australia) en los cuales se muestra el camino energético que estos han tenido con el paso del tiempo y en donde se ve el crecimiento de las energías renovables, volviéndose cada vez más una opción factible y rentable.

1.- OBJETIVOS

1.1.-Objetivo General

- Realizar un estudio de todas las características de la energía fotovoltaica, sus capacidades y ventajas competitivas para su aplicación a la industria de la minería, con respecto a otras fuentes de energía.

1.2.- Objetivos Específicos

- Realizar un estudio crítico de las diversas fuentes de energía que existen en la actualidad.
- Mediante una revisión bibliográfica se recopilarán los datos necesarios y más relevantes para el desarrollo de este trabajo.
- Realizar una comparación entre la energía solar fotovoltaica y otras energías, tanto renovables como no renovables.
- Investigar en base a la bibliografía disponible el potencial (Estudio de factibilidad técnico-económica) de la energía fotovoltaica para su aplicación en la minería.
- Investigar en base a la bibliografía disponible el potencial (estudio de factibilidad técnico – económica) de la energía fotovoltaica a nivel mundial.

2.- FUENTES DE ENERGÍAS

La energía se presenta a diario de diversas formas y, en consecuencia, es costumbre en la literatura, designar estas formas con un término técnico, que ayude a la comprensión de esta área del conocimiento.

El término energía se refiere a la capacidad inherente que tienen los cuerpos para llevar a cabo un trabajo, movimiento o cambio, el cual conlleva a la transformación de algo.

La palabra energía se emplea en diferentes áreas como la física, la economía, la tecnología, la química, entre otros. Su acepción es variable, de allí que energía se relacione con las ideas de fuerza, almacenamiento, movimiento, transformación o funcionamiento. (Significados, Energía, 2013).

2.0.1.- Propiedades de la energía

Además de presentarse de diversas maneras, la energía tiene principios básicos que se aplican para todo, estas cuatro (4) propiedades básicas obtenidas de (Endesa, La energía, s.f.) son las siguientes:

- Transformación: Este principio plantea que la energía no se puede crear, sino que, por el contrario, se puede transformar, y es aquí, cuando la energía se encuentra en transformación, donde son visibles las diferentes formas de energía.
- Conservación: Al finalizar un proceso de transformación para la energía, siempre existirá la misma cantidad de esta antes y después de finalizar la transformación, ya que como se menciona en el punto anterior, la energía no se puede destruir, por lo que siempre existirá la misma cantidad de esta.

- Transferencia: La energía puede transferirse desde un cuerpo a otro mediante el intercambio de calor de estos, de ondas o por trabajo
- Degradación: En la transformación de la energía solo una parte de esta puede llegar a producir trabajo, mientras que la otra parte se pierde, ya sea en forma de calor o de ruido, como vibraciones mecánicas no deseadas.

2.0.2.-Transferencia de la energía

Dentro de las propiedades o características de la energía también se hace mención sobre las formas que esta posee para poder transferirse desde un cuerpo a otro, métodos tales como:

Trabajo: Al realizarse un trabajo, la energía se traspa de un cuerpo a otro mediante un intercambio de posición. El trabajo es la transferencia de energía relacionada con una fuerza que actúa a lo largo de una distancia (Vera Gomez, s.f.).

Ondas: Las ondas son una propagación de perturbaciones de ciertas características, de los cuales se pueden mencionar el campo eléctrico, el magnetismo o la presión, los cuales se propagan a través del espacio.

Calor: El calor se define como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas (o entre un sistema y el exterior) debido a una diferencia de temperatura (Vera Gomez, s.f.). Siguiendo con la explicación de (Vera Gomez, s.f.) sobre el calor y como este se transfiere de un cuerpo a otro, hay que distinguir entre un proceso adiabático y uno isotérmico. Aunque no hay transferencia de calor durante un proceso adiabático, otros medios como el trabajo pueden cambiar el contenido de energía y, en consecuencia, la temperatura del sistema.

El calor se puede transferir de diferentes formas:

- Conducción: cuando un cuerpo se calienta, las partículas de este vibran y chocan entre sí, transmitiendo así, parte de su energía.
- Radiación: La transferencia de calor, por medio de la radiación, se transmite por medio ondas de radiación infrarroja, las cuales se propagan a través del vacío y a la velocidad de la luz.
- Convección: Esta forma de transferencia de calor es propia de los fluidos en movimiento.

2.1.- Energía Interna

Como lo indica su propio nombre, la energía interna es aquella que posee un cuerpo a escala microscópica, cuya manifestación se hace notar en la agitación de las partículas que lo componen. Así, la energía interna no toma en cuenta la energía cinética ni potencial de un objeto a nivel macroscópico, sino exclusivamente aquella energía vinculada con el movimiento de los átomos y moléculas que lo componen (Concepto, Energía química, s.f.).

La energía interna al ser la suma de todas las formas de energías microscópicas en un sistema, se relaciona con la estructura y grado de actividad molecular, siendo el grado de actividad molecular y la velocidad promedio, directamente proporcional a la temperatura de los cuerpos.

2.2.- Energía mecánica

(energyeducation, s.f.) Define la energía mecánica como la suma de la energía cinética y la energía potencial de un sistema. En los sistemas que solo tienen fuerzas conservativas la energía mecánica permanece intacta, mientras que, en fuerzas no conservativas, la energía mecánica tiende a disminuir.

Existen diferentes energías internas, las cuales conforman la energía mecánica (energía cinética y energía potencial).

2.3.- Energía Cinética

En física, la energía cinética es la asociada a los cuerpos en movimiento y representa el esfuerzo que permite que un objeto pase del estado de reposo al estado de movimiento, a una velocidad específica (Ferrovial, s.f.). Este tipo de energía hace referencia al trabajo requerido para acelerar un cuerpo, desde un punto inicial de reposo hasta una velocidad determinada, pudiendo ser calculada de la siguiente manera:

$$E_c = \frac{1}{2} m * V^2$$

De la ecuación se desprende que:

- M: es la masa (Kg)
- V: es la velocidad (m/s)
- E_c : es la energía cinética ($J = Kg * m^2/s^2$)

2.4.- Energía Potencial

La energía potencial se puede definir como un tipo de energía mecánica asociada con la relación entre un cuerpo o sistema de fuerza externo (Concepto, concepto, 2021) o internos. Se trata de energía en potencia, es decir, que puede ser transformada inmediatamente en otras formas de energía, como la cinética.

Esta se puede calcular de la siguiente manera:

$$E_p = m * g * h$$

Donde:

- E_p : Energía potencial ($J = Kg * m^2/s^2$)
- J: Joule
- M: masa (Kg)
- G: Gravedad de la Tierra ($9.81 \frac{m}{s^2}$)
- H: Altura (m)

La suma de estas vuelve posible la energía mecánica para un cuerpo en particular. Siendo la forma de calcular esta energía la siguiente:

$$E_m = E_p + E_c$$

Donde:

- $E_m = \text{Energía Mecánica}$
- $E_p = \text{Energía Potencial}$
- $E_c = \text{Energía Cinética}$

2.5.- Energía Térmica

Según (Significados, significados, s.f.), la energía térmica es la energía de todas las partículas que forman un cuerpo. La oscilación de temperatura en el cuerpo señala el aumento (calentar) o disminución (enfriar) de su energía, siendo el calor la ganancia o pérdida de esta energía interna.

Una de las maneras de aprovechar la energía proveniente de la naturaleza en forma de energía térmica calorífica puede ser la energía geotérmica o la ESFV.

La forma de obtención de la energía térmica también tiene un impacto medioambiental puesto que en la combustión se libera dióxido de carbono (CO₂), además de múltiples emisiones contaminantes.

2.6.- Energía Geotérmica

En palabras del ministerio de energía de Chile, se puede decir que, la energía geotérmica está presente en toda la corteza terrestre y se asocia al calor de la tierra. Se sabe que el gradiente geotérmico o temperatura que aumenta por kilómetros de profundidad en la tierra es de aproximadamente 30°C/km (GASS, SMITH, & WILSON), sin embargo, existen lugares en los cuales este gradiente es mucho más alto debido a que se encuentran asociadas a estructuras, cuencas sedimentarias, minerales radiactivos, márgenes activos o estructuras a nivel continental (energía, s.f.).

La energía geotérmica consiste en extraer calor del magma incandescente de la Tierra, por medio de vapor. Mediante procesos térmicos, es posible generar electricidad, en las plantas llamadas “geo-termoeléctricas” (Blas Martínez, 2010/2011).

El magma puede ser encontrado cerca de la superficie de la Tierra, en zonas donde hay gran actividad volcánica y siendo estos lugares donde se puede explotar esta fuente de mayor manera.

Para los procesos de generación de energía en las fuentes geotérmicas existen diversos casos, en algunos de estos es posible encontrar el vapor o el agua caliente brotando espontáneamente y en otros sería necesario el inyectar agua en los pozos y así poder extraerla en forma de vapor. Para todo esto es necesario conocer que el aprovechamiento de esta fuente de energía no involucra

combustión durante los procesos de obtención de energía. Pero estos no son los únicos casos en los que se encuentra o se puede tratar la energía geotérmica, a continuación, se presentan los casos que se pueden encontrar dentro de Argentina con respecto a la energía geotérmica.

Países como Argentina son algunos de los que hacen uso de la energía geotérmica, los cuales ellos mismos clasifican los sistemas hidrotermales, los cuales se dividen en dos puntos generales:

- Sistema hidrotermal Volcánico
- Sistema hidrotermal no Volcánico

2.6.1.- Sistema Volcánico

Es el lugar donde las intrusiones de magma se encuentran emplazadas tan arriba en la corteza, que inducen una circulación convectiva del agua subterránea. Los sistemas volcánicos se pueden clasificar de la siguiente manera: vapor dominante, agua-dominante y tipo de agua caliente.

2.6.1.1.- Tipo Vapor Dominante

Los reservorios producen vapor seco saturado o levemente sobrecalentado a presiones superiores a la atmosférica. Tanto el agua como el vapor coexisten en un mismo lugar, pero el vapor es la fase continua dominante que regula la presión en el reservorio.

2.6.1.2.- Tipo Agua-Dominante

Este tipo contiene agua presurizada a temperaturas que se encuentran por sobre los 100°C y además pequeñas cantidades de vapor en las partes superficiales del reservorio que son las que provocan el burbujeo. En este tipo la fase líquida es la dominante y se encarga de controlar la presión dentro del reservorio.

2.6.1.3.- Tipo Agua Caliente

Son campos capaces de producir agua caliente a temperaturas hasta los 100°C. Los reservorios poseen agua en estado líquido.

2.6.2.- No Volcánico

Los recursos geotérmicos no volcánicos son de baja temperatura. Estos se pueden clasificar de la siguiente manera: Sistemas de Convección Hidrotermal y Sistemas de Conducción Hidrotermal.

2.6.2.1.- Sistemas de Convección

La mayoría de los recursos geotérmicos de baja temperatura son sistemas de convección hidrotermal orientados alrededor de un solo pozo termal. En sistemas de este tipo existe circulación de agua que transfiere el calor de las rocas profundas a la superficie.

2.6.3.1.- Sistemas de Conducción

En este tipo de sistemas, la circulación ascendente de fluido no es tan importante como la existencia de altos gradientes térmicos en las rocas; transfiriendo así calor a reservorios de agua de gran extensión.

En países como Argentina que presenta una amplia gama de recursos geotérmicos, gracias a sus características geológicas, presenta grandes áreas con manifestaciones termales (Pistone, Villa Soto, & Albiger, 2006), siendo un país con potencial para este tipo de energía.

2.6.4.- Geotermia en España

En otras partes del mundo, como en Cataluña España, el Instituto Catalán de Energía divide los yacimientos geotérmicos de acuerdo con el nivel energético del recurso que poseen, siendo estos cuatro puntos:

- **De alta temperatura:** Existen en las zonas más activas de la corteza de la tierra a temperaturas superiores a los 150°C. Son yacimientos de los cuales se puede extraer bastante calor para poder producir energía eléctrica a través de vapor de agua.
- **Por término medio temperatura:** Generalmente alcanzan temperaturas entre los 100° y 150° C, lo cual permite su aprovechamiento para producir electricidad, pero con un rendimiento menor que los de alta temperatura. El aprovechamiento también puede ser de manera directa, en forma de calor para sistemas de calefacción urbanos.
- **De baja temperatura:** Este nivel alcanza temperaturas de entre los 30° a 100° C. La utilización de este se centra en sus usos térmicos en sistemas de calefacción urbanos. Estos se ubican generalmente en zonas con un contexto geológico favorable con presencia de acuíferos profundos.

- **De muy baja temperatura**: Son aquellos yacimientos que se encuentran un par de metros por debajo de la superficie, aquí la temperatura puede ser inferior a 30°C. La localización de estos puntos puede ser muy variada, debido a que el gradiente geotérmico solo condiciona la eficiencia del sistema.

Actualmente en Cataluña, el uso más extendido de la energía geotérmica es el aprovechamiento geotérmico de muy baja temperatura mediante bombas de calor para la climatización de edificios. Se trata de una tecnología muy eficiente con unos destacados ahorros energéticos y con la ventaja de que las condiciones geológicas para su aprovechamiento son poco exigentes y se puede aprovechar el recurso (gencat, s.f.).

2.7.- Energía Eólica

La energía eólica es una de las energías que forman parte de las fuentes renovables, ya que esta se produce debido a factores provenientes del Sol, el cual calienta de forma desigual las diferentes zonas del planeta, provocando así movimientos del aire que rodean la tierra y dando lugar al viento. El viento es, por tanto, energía en movimiento, que ha permitido a barcos de vela navegar durante siglos, pudiendo transformar los movimientos de las aspas de los molinos en energía útil. (cita)

La energía eólica es la energía obtenida del viento. Es uno de los recursos energéticos más antiguos explotados por el ser humano y es hoy la energía más madura y eficiente de todas las energías renovables. El término “eólico” proviene del latín “aeolicus”, perteneciente o relativo a Eolo, Dios de los vientos en la mitología griega. (Acciona, ESFV, s.f.)

La energía eólica se encarga de convertir la energía que se produce por el movimiento de las palas de un aerogenerador, el cual es impulsado por los vientos para convertir esto en energía eléctrica.

2.7.1.- Beneficios de la energía eólica

Dentro de las fuentes de energías renovables se puede encontrar a la energía eólica, ya que esta al ser una energía proveniente de los vientos es considerada una fuente de energía renovable, no contaminante como tal además de ayudar a reducir el uso de combustibles fósiles, los cuales aumentan los gases de efecto invernadero en el planeta que desencadena el aumento en la temperatura del planeta.

La energía eólica es una fuente de alto valor, ya que esta se puede implementar en muchos lugares del planeta ya sea en tierra o en el mar, volviéndose una fuente de energía que ayuda a la reducción de importación de energías y entregando trabajo a las zonas donde se instalen aerogeneradores.

Al ser la energía eólica una fuente renovable de gran relevancia o gran potencial es que diversos países ya han comenzado a utilizarla, como es el caso de España. “La energía eólica en España ya supone el 21.9% de la electricidad que se consume. Un porcentaje en continuo crecimiento para alcanzar el objetivo de la descarbonización y la apuesta por las energías renovables” (endesa, Conoce la energía eólica, 2021).

La parte fundamental de la funcionalidad de la energía eólica son los llamados aerogeneradores, estos se encargan de recolectar la energía cinética del viento para iniciar la transformación de esta energía en electricidad, todo esto gracias a los componentes que los conforman, siendo estos los siguientes:

- Aspas: Son las encargadas de recolectar la energía cinética proveniente de los vientos.

- Rotor: Pieza en la cual se encuentran las tres aspas de un aerogenerador y el encargado de dirigir el movimiento de estas.
- Multiplicador: Responsable de los cambios de velocidad para el aerogenerador.
- Generador: Encargado de transformar la energía mecánica en eléctrica.

Estos son los componentes relacionados a un aerogenerador, aunque el sistema eólico es de mayor tamaño, pues el aerogenerador es solo una parte de esta fuente de energía.



Ilustración 1 adaptado de "El viento, fuente de energía", por A. Alarcón

Como toda tecnología, la energía eólica tiene aspectos positivos y otros negativos, aunque frente a los avances que se realizan constantemente, estos aspectos negativos se van minimizando o disipando con el paso del tiempo dentro de las energías renovables. "Siendo similar a la energía solar, la eólica puede

presentar las mismas ventajas e inconvenientes, siendo esta una energía que no se agota, una energía limpia y que no contamina. Pero a su vez es dispersa, intermitente y también esta se presenta de una manera irregular en cuanto a intensidad” (foronuclear, s.f.).

De acuerdo con datos recopilados del Global Wind Energy Council o GWEC, solo entre 2015 y 2019 la energía eólica generó más de \$625.000 millones de dólares en inversiones. Aumentar la capacidad eólica terrestre y marina instalada de sus 651 GW actuales (2019) a más de 2000 GW para 2030 generaría una inversión anual adicional de \$207 mil millones (GWEC, 2020). Datos como estos demuestran que los países están comenzando a dar gran importancia a las energías renovables para convertirlas en parte fundamental de la energía de esos países.

2.7.2.- Inconvenientes de la energía eólica

Uno de los principales inconvenientes de la energía eólica es que por sí sola no es una fuente lo bastante estable, ya que su principal fuente de obtención de energía son los vientos, los cuales no siempre se presentan de la misma manera, este aspecto no le entrega una total seguridad a esta energía (Calpa).

2.8.- Energía Hidráulica

El principal pilar para este proceso es el sol, el cual evapora las aguas de mares, ríos y lagos para formar nubes, las que se enfrían y condensan para así darle paso a las precipitaciones (lluvia, nieve, etc.), que al encontrarse en altura logran acumular energía potencial, la cual se va disipando mientras el agua regresa a los lagos, ríos o mares logrando así completar el ciclo.

En la actualidad, la energía hidráulica se utiliza para la obtención de energía mediante la implementación de las denominadas plantas o centrales hidroeléctricas, las cuales utilizan el movimiento de las aguas para generar la energía que utilizan. Siendo más detallistas, por consiguiente, “El agua, retenida en un embalse o presa, se deja caer por una tubería, a cuya salida se coloca una turbina, el eje de la cual comienza a girar al caer al agua; este giro pone en marcha el generador eléctrico obteniéndose así la electricidad” (ITC, 2008, p.98).

Al generar electricidad mediante el curso de las aguas estas plantas o centrales pueden ser instaladas en cursos de ríos o incluso en la base de una presa, siendo esta fuente una bastante más constante, poco contaminante y puede ser de previsible, a diferencia de otros tipos de energías renovables.

Las centrales hidroeléctricas tienen una forma específica de generar energía, y esta es transformando la energía potencial de las aguas acumuladas en las represas en energía eléctrica mediante la implementación de un alternador.



En la presente imagen se puede apreciar, de una manera simplificada, el proceso del paso de energía potencial del agua que se acumula en las represas, pasando por energía cinética del agua y de rotación para terminar convirtiéndose esto en energía eléctrica. Dependiendo de la potencia generada por las centrales hidroeléctricas estas pueden llegar a clasificarse en diferentes tipos de plantas:

2.8.1.-Centrales hidráulicas

Son centrales que producen cantidades mayores a los 10 MW. Siendo estas centrales a gran escala, capaces de alimentar grandes ciudades, no producen CO₂ ni ningún otro tipo de gas de invernadero, pero su mayor problema es el lugar donde están emplazadas, pues deben alterar el entorno para poder comenzar a trabajar, creando embalses y desviando caudales de ríos, alterando el paisaje. Con lo mencionado, la selección de la ubicación de la central es de suma relevancia, pues se debe optar por el lugar que genere el menor impacto al medio ambiente.

2.8.2.-Centrales minihidráulicas

Estas son centrales hidroeléctricas, que generan una potencia menor a 10 MW, las cuales se utilizaban en épocas anteriores para dar suministro eléctrico a pequeñas zonas pobladas. Al ser pequeñas utilizan cauces de ríos o embalses pequeños, por lo que su impacto se reduce de manera significativa, ayudando así a disminuir impactos a gran escala.

2.8.3.-Centrales micro hidráulicas

Centrales hidroeléctricas, capaces sólo de generar hasta un máximo de 1 MW, debido a sus pequeños tamaños, siendo estas de menor potencia que las mini hidroeléctricas.

Por otra parte, las hidroeléctricas también poseen otro tipo de clasificación, el cual depende del flujo que estas posean:

2.8.4.-Centrales hidroeléctricas de embalse

Es el sistema más utilizado por centrales hidroeléctricas. Este método se desarrolla mediante la construcción de una o más represas, formando embalses para retener el agua, y así poder regular el flujo al momento de que el agua pase por las turbinas que generan la electricidad.

2.8.5.-Centrales hidroeléctricas de agua fluyente

Este tipo de centrales se emplazan en caudales de ríos regulares en zonas de grandes relieves, así desvían el caudal del río en la dirección de las turbinas. Tras completar el proceso, el agua es regresada a su cauce original.

2.8.6.-Central hidroeléctrica reversible o de bombeo

Estas plantas poseen embalses a diferentes alturas uno del otro, aunque se mantienen conectados. Cuando el consumo de energía disminuye, la energía que aún se mantiene es utilizada para mover mediante bombas el flujo del caudal que se encuentre a menor altura hacia el de mayor altura, mientras que en los momentos de mayor consumo energético las centrales funcionan como centrales hidroeléctricas convencionales, desplazando el agua del embalse superior a través de turbinas hacia el embalse inferior.

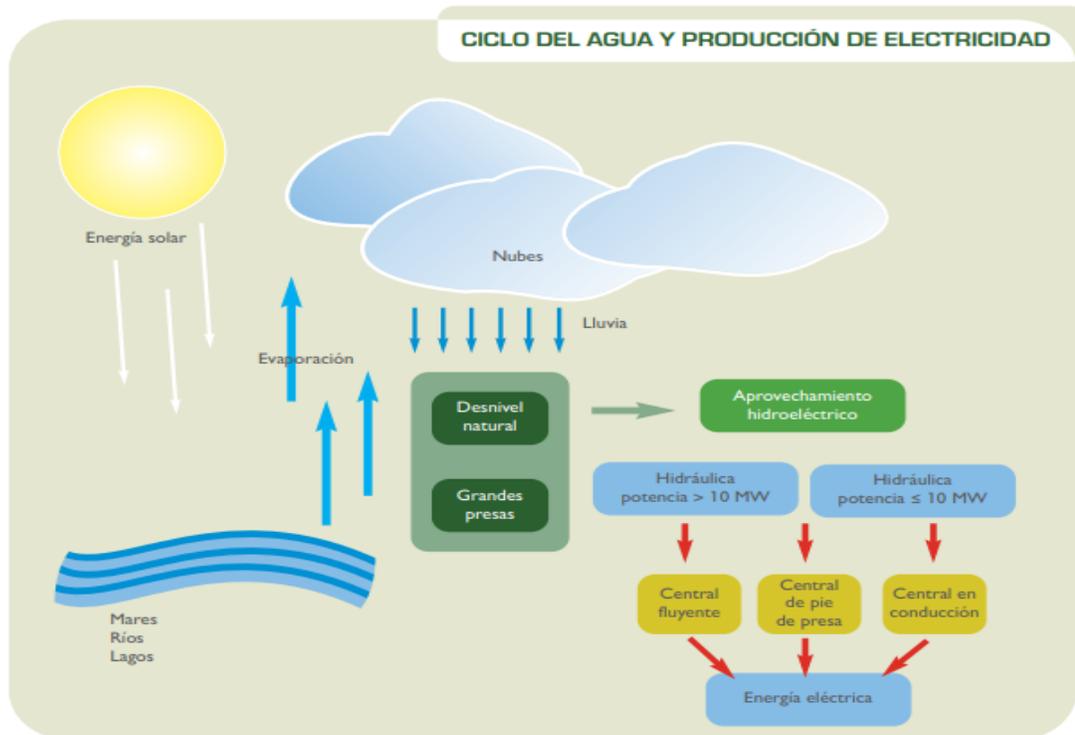


Ilustración 2 adaptado de diagrama del ciclo del agua y producción de electricidad por Instituto Tecnológico de Canarias (<https://geoinnova.org/libro/energias-renovables-y-eficiencia-energetica/?gclid=CjwKCAiAyfybBhBKEiwAgtB7fiQsSiojZiHEpi4IOSrCijkIrlrIiHqJOkDGtI37A>).

Gracias a que la energía hidráulica es una de las fuentes energéticas más antiguas, ha podido ir mejorando con el paso del tiempo y de la mano de los avances tecnológicos, volviéndose una importante fuente de energía, teniendo muchos puntos a su favor, como:

- Excelente oportunidad para reducir la dependencia del exterior, al producirla en cada país.
- Es una gran oportunidad de energía que no produce gases contaminantes.
- Al obtener la energía del movimiento del agua la vuelve una fuente renovable.

- Es una fuente de origen limpio, ya que no produce residuos, o estos son muy bajos.
- Fuente de producción estable.
- Una vez en funcionamiento su coste es bajo.

Estos puntos vuelven a la energía hidráulica una fuente de gran importancia.

2.9.- Energía Solar Térmica

Una de las fuentes de energía que aprovechan la energía solar, es la energía solar térmica, “esta consiste en la transformación de la energía solar en energía térmica. Se trata de una forma de energía renovable, sostenible y respetuosa con el medio ambiente” (Planas, Energía solar térmica, 2011).

Esta energía posee diversas aplicaciones, como lo son las grandes centrales eléctricas, instalaciones pequeñas e incluso aplicaciones en las viviendas.

Existen diversos tipos de energía solar térmica:

- Las plantas de alta temperatura se utilizan para generar electricidad. Trabajan con temperaturas por sobre los 500 °C (773 °K).
- Las plantas de media temperatura trabajan con temperaturas entre los 100 ° y 300 °C. (entre 373 y 573 °K).
- Las instalaciones de baja temperatura se utilizan habitualmente en viviendas. Trabajan con temperaturas menores a 65 °C.

La energía solar térmica aprovecha la energía proveniente del sol y la transforma en energía térmica mediante el uso de colectores o captadores solares (paneles solares).

Dentro de estos captadores circula un fluido (agua o ciertos gases) que se calienta gracias a esa radiación, haciendo que se eleve la temperatura del agua de un depósito. Gracias a este sistema se consigue producir: agua caliente, vapor o electricidad (APREAN, s.f.).

La energía solar térmica posee diversos atributos, dentro de los cuales se pueden mencionar los siguientes, extraídas de (OVACEN, s.f.):

- Es una energía renovable e ilimitada producida por el aprovechamiento de la radiación del Sol en forma de calor.
- Son instalaciones para proporcionar principalmente agua caliente sanitaria (ACS). Pero también se puede utilizar para apoyo de calefacción (suelo radiante), para climatización (frío solar), calentamiento del agua de piscinas o también para generar electricidad.
- Para utilizar la energía del sol en forma de calor, se utiliza la tecnología de colectores o captadores solares y los equipos de termosifón
- Reduce el consumo de otras fuentes de energía como la eléctrica o combustibles fósiles.
- Beneficia al medio ambiente, es una fuente de energía limpia. No produce contaminación ni gases de efecto invernadero (CO_2).

Dentro de las amplias cualidades de esta fuente de energía, existen maneras de poder aprovechar esta energía.

- **Sistemas Solares Térmico Activos** (hay una instalación): La principal base es utilizar colectores solares para poder transformar la energía radiante del Sol y transportarla a un sistema de almacenamiento.
- **Sistemas Solares Térmicos Pasivos** (No hay una instalación): No se utilizan bombas en este proceso, ni mucho menos instalaciones u otros sistemas mecánicos. Se basa en técnicas bioclimáticas de arquitectura y el diseño de la construcción para aprovechar el calor producido por los rayos del Sol.

El funcionamiento de la energía solar térmica es gracias a los colectores térmicos, estos son dispositivos los cuales utilizan la energía proveniente del sol para así poder calentar líquidos, donde principalmente se encuentra el agua. Para que estos procesos se puedan cumplir se utilizan paneles solares térmicos, los cuales absorben los rayos solares y los terminan convirtiendo en calor.

A continuación, se presenta un diagrama sobre el funcionamiento del proceso de la energía solar térmica.

Cómo funciona un sistema solar térmico

Cualquier **sistema solar térmico** consta de dos componentes esenciales:
COLECTOR + TANQUE ACUMULADOR

- El colector se encarga de transformar la energía solar en calor y calentar un fluido que circula en su interior.
- El tanque acumulador se encarga de almacenar ese fluido caliente para su posterior uso

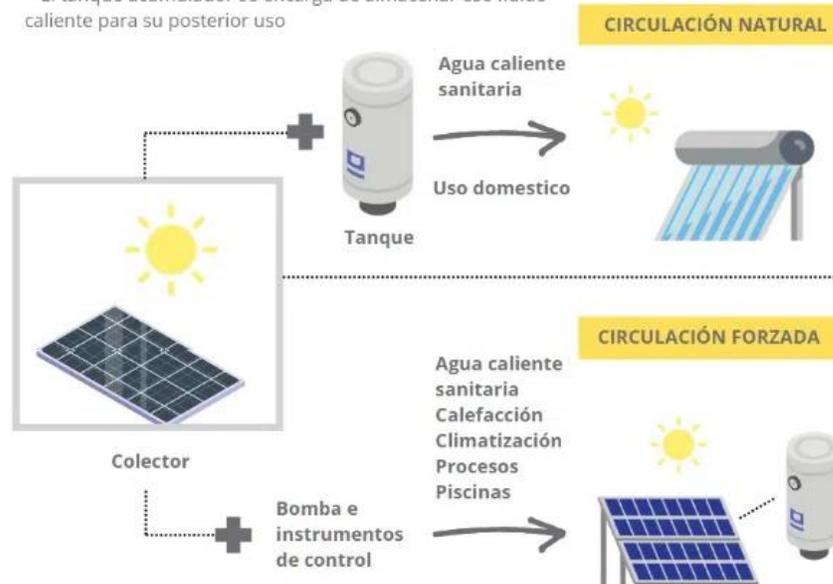


Ilustración 3 Adaptado de "Energía solar térmica" por OVACEN (<https://ovacen.com/energias-renovables/solar/termica/>)

Toda instalación de energía térmica solar posee componentes básicos para su funcionamiento, los cuales son: colectores solares (sistema de captación) y tanque Acumulador.

- **Sistema de captación:** Son el colector solar (placas solares térmicas) que son los encargados de captar la radiación solar incidente y transformarla en energía térmica para elevar la temperatura de un fluido.
- **Sistema de acumulación:** Son el depósito o tanque acumulador que almacena en agua caliente para posteriormente utilizarla donde proceda.

Al igual que la ESFV, la energía solar térmica tiene los mismos beneficios, ya que esta también es una energía renovable y gratuita, pues proviene de la energía proveniente del sol. Al no utilizar más que agua esta evita el emitir sustancias que puedan ser tóxicas o llegar a contaminar el aire, de este mismo modo hay una reducción considerable del uso de combustibles fósiles, lo cual vuelve a esta fuente de energía como una competitiva frente al mercado actual pues reduce también la dependencia con el sistema eléctrico y las construcciones de estas plantas solares térmicas generan empleos en cada lugar donde se construyen.

De forma opuesta, esta energía al prevenir del aprovechamiento de la radiación solar, se vuelve intermitente, pues la intensidad de la energía disminuye cuando se encuentra nublado o en diferentes momentos del día, siendo poco útiles durante la noche. Al igual que la fotovoltaica, la implementación de estos sistemas requiere de una fuerte inversión inicial para poder ponerlas en marcha, siendo de gran importancia el lugar donde estas se planean implementar, pues grandes plantas requieren de grandes terrenos que pueden no tener un segundo uso, debido a las plantas solares.

2.10.- Energía Eléctrica

Una definición que puede ayudar a comprender qué es la energía eléctrica, es aquel entregado por RESPOL: “La energía eléctrica es un tipo de energía que consiste en el movimiento de los electrones entre dos puntos cuando existe una diferencia de potencial entre ellos, lo cual permite generar la llamada corriente eléctrica” (repsol, ¿Qué es la energía eléctrica?, s.f.).

La energía eléctrica tiene múltiples beneficios, dentro de los cuales se encuentra; el poder generar diversas fuentes, ya sea renovable o no renovable haciéndola fácil de producción y de fácil acceso para el público. La energía eléctrica tiene la capacidad de ser fácil de transportar gracias a las redes de transmisión y distribución haciendo que este viaje largas distancias y por último esta energía

posee la capacidad de convertirse en otros tipos de energía como luz, calor o movimiento.

2.10.1-Aplicaciones de la energía eléctrica

Desde que los seres humanos descubrieron las diferentes aplicaciones de la electricidad, su uso se ha ido incrementando hasta hacer posible el mundo tal y como lo conocemos en la actualidad. De hecho, nuestro día a día está lleno de casos en los que se genera, se utiliza y aplica energía eléctrica (repsol, ¿Qué es la energía eléctrica?, s.f.), siendo algunos de los ejemplos los que se mencionan a continuación:

- **Encendido de motores:** Un ejemplo frecuente sobre la aplicación de la energía eléctrica es un automóvil. Gracias a la electricidad almacenada en la batería y mediante el motor de arranque, se pone en movimiento el motor de explosión de los vehículos.
- **Pilas y baterías recargables:** Otra manera de producir energía eléctrica es mediante el uso de baterías recargables y pilas. Estos instrumentos han sido creados con el fin de acumular y extraer energía mediante reacciones químicas y átomos metálicos, los cuales actúan como conductores de la electricidad.
- **Uso doméstico:** Desde hace ya muchos años la humanidad ha utilizado diversos tipos de instrumentos eléctricos dentro de sus hogares, los cuales se conectan a la red eléctrica para así poder funcionar.

2.11.- Energía Nuclear

Dentro de las energías más limpias se puede posicionar a la energía nuclear, energía utilizada por muchos países puesto que es una energía limpia y muy útil pues no produce gases nocivos y así evita contribuir al efecto invernadero.

Al momento de entrar en detalle sobre qué es la energía nuclear y cuál es su origen, esto se puede guiar de la información entregada por el Consejo de Seguridad Nuclear Español, el cual explica el origen de la energía nuclear, siendo esta “la energía contenida en el núcleo de un átomo. Los átomos son las partículas más pequeñas en que se puede dividir un elemento químico manteniendo sus propiedades. En el núcleo de cada átomo hay dos tipos de partículas (neutrones y protones) que se mantienen unidas. La energía nuclear es la energía que mantiene unidos neutrones y protones” (CSN, s.f.).

La energía nuclear es capaz de utilizar la energía que ésta produce para convertirla en electricidad, pero para que esto sea posible se debe liberar la energía alojada dentro de los átomos. La energía alojada en los átomos se puede obtener de dos diferentes formas:

- Fusión nuclear: En este proceso la energía es liberada cuando núcleos de átomos ligeros se combinan entre sí para formar un núcleo estable más pesado.
- Fisión nuclear: En este proceso se utilizan núcleos de átomos más pesados, haciendo incidir neutrones en estos, haciendo que estos se descompongan en núcleos más pequeños y ligeros que los predecesores al momento de iniciar el proceso, esto produce que se libere energía la cual mantiene unidos a los protones y neutrones.

Es gracias a uno de los dos procesos mencionados que las centrales logran generar electricidad, todo esto gracias a que durante la fusión o fisión nuclear los átomos pierden un porcentaje de su masa, esta se transforma en energía calorífica y en radiación. La energía calorífica que se genera durante los procesos se termina transformando en vapor a altas temperaturas, el cual es usado para accionar grupos de turbinas/alternadores, con los cuales logran generar energía eléctrica.

2.11.1.-Centrales Nucleares

Las encargadas de realizar todo el proceso de fusión o fisión nuclear son las centrales nucleares, dentro de estas se encuentran los reactores nucleares y su equipo contienen y controlan las reacciones en cadena, por lo general alimentadas por uranio 235, a fin de producir calor mediante fisión. El calor aumenta la temperatura del refrigerante del reactor, que suele ser agua, para producir vapor. Este se encauza para hacer girar las turbinas, que activan un generador eléctrico con el que se produce electricidad con bajas emisiones de carbono (Galindo, 2021).

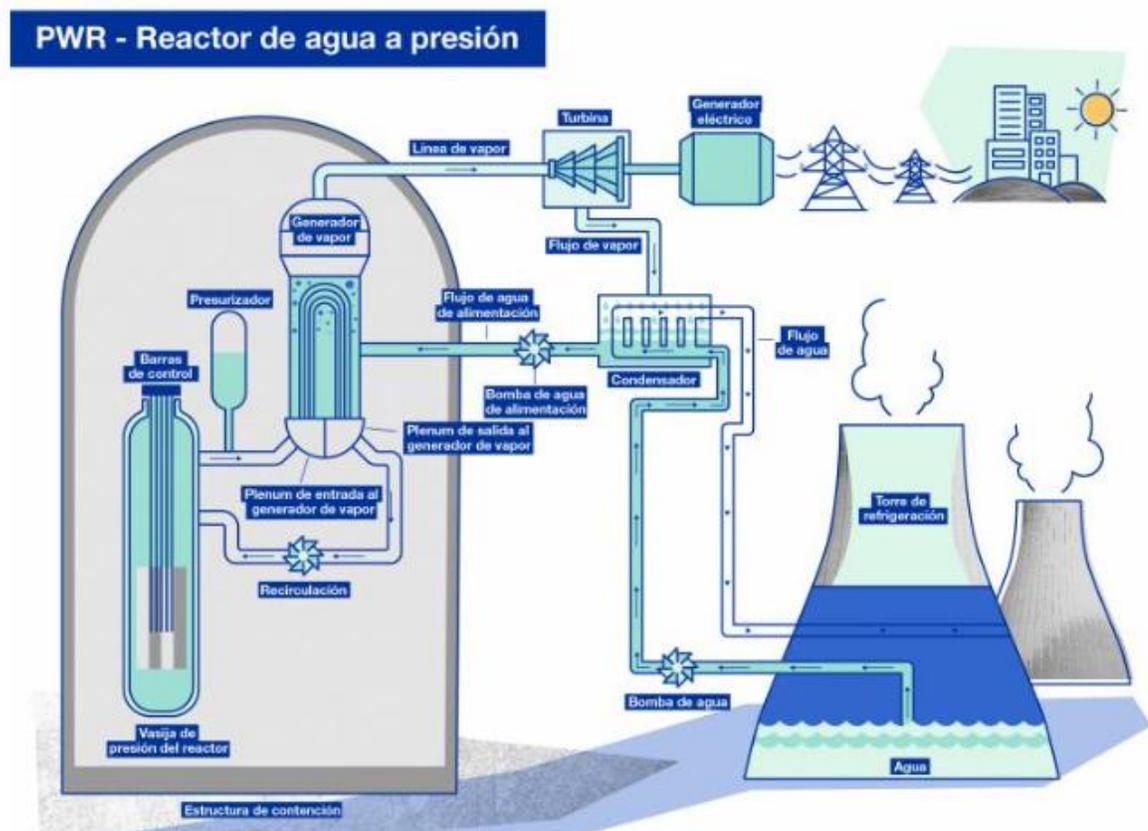


Ilustración 4 adaptado de "¿Qué es la energía nuclear?" por A.Galindo,2021, IAEA, extraído de <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-energia-nuclear-la-ciencia-de-la-energia-nucleoelectrica>

2.11.2.- Cualidades de la energía nuclear

Dentro de todas las cualidades y amplias aplicaciones que posee la energía nuclear, está su ventaja medioambiental. La energía nuclear tiene la ventaja de producir un bajo impacto ambiental, lo que la convierte en una fuente sustentable, ya que produce ínfimas cantidades de gases que provocan el llamado efecto invernadero (Argentina.gob.ar, s.f.).

Además de ser una energía limpia, también es una fuente muy utilizada a nivel mundial por sus grandes capacidades y los beneficios que estos procesos generan.



Ilustración 5 adaptado de ¿Qué es la energía nuclear?, por Argentina.gob.ar,
<https://www.argentina.gob.ar/energia/energia-electrica/energia-nuclear/que-es-la-energia-nuclear>

2.12.- Energía Radiante

“La energía radiante es aquella que se transmite a través de una partícula elemental llamada fotón. Muchos la conocen como energía electromagnética y podemos encontrarla en las ondas electromagnéticas, rayos ultravioletas, rayos gamma, rayos infrarrojos, ondas de radio, luz visible o incluso en la luz solar” (evoconfort, 2017).

Una característica que posee la energía radiante es que, a diferencia de otras, es que no es una energía que produzca algún tipo de contaminación además de tener la capacidad de propagarse por el vacío formando ondas.

2.13.- Energía Química

Podemos entender a la energía química como “La energía química es la energía contenida o que se produce a través de reacciones entre las moléculas de uno o más compuestos. Es la energía interna que posee un cuerpo o una sustancia en base a los tipos de uniones químicas que se producen entre los componentes y la cantidad de energía que puede liberarse a partir de reacciones entre ellos” (Concepto, Energía química, s.f.).

2.13.1.-Clasificaciones de la energía química

La energía química se libera mediante el proceso conocido como reacciones químicas, reacciones que pueden ser de 6 tipos diferentes las cuales se presentan a continuación obtenidos de (ZschimmerySchwarz, 2020):

- **Combustión:** Se da entre un combustible y el oxígeno. Se caracteriza por formar una llama que genera luz y calor, además de otros tipos de energía.
- **Combinación o síntesis:** Dos o más compuestos reaccionan y forman una nueva sustancia.
- **Desplazamiento simple:** También conocida como reacción de sustitución, ya que un elemento actúa sobre otra molécula y sustituye a uno de sus elementos.
- **Desplazamiento doble:** Los átomos de dos sustancias son los que se intercambian entre ellos.

- **Descomposición:** Mediante esta reacción química una sustancia compleja se transforma en dos o más sustancias simples.
- **Precipitación:** Esta reacción sucede dentro de un medio acuoso. Dos o más sustancias se mezclan y dan como resultado una sustancia sólida insoluble que, por lo tanto, se deposita (o precipita).
- **Ácido-base:** Cuando un ácido y una base reaccionan se neutralizan mutuamente. Como resultado producen sal y agua.
- **Reacción redox:** Se relaciona con la reacción-oxidación y consiste en el intercambio de electrones entre sustancias, produciendo un cambio en los estados de oxidación.

Según menciona el principio de conservación de la energía, esta tiene la capacidad de lograr transformarse más no destruirse, además, la energía química es una forma de energía potencial la cual tiene la función de convertirse en otras formas de energía con aplicaciones aún más diversas, dentro de las que se encuentra la energía lumínica, la energía térmica, la energía cinética entre otras, pero con la finalidad de lograr un trabajo.

La energía química al igual que todas las fuentes de energía poseen características tanto negativas como positivas, las cuales las vuelven una fuente renovable, no renovable o fuentes de alta o baja relevancia para el avance de las nuevas tecnologías, es por eso que mostrar las ventajas y desventajas de las energías es algo relevante:

2.13.2.-Ventajas

Rendimientos elevados: No es necesario el poseer grandes cantidades de materia prima para lograr obtener energía de sus moléculas.

Modificación de la materia: Las reacciones químicas no solo se utilizan para obtener energía, sino también diversos tipos de materias que en diversos casos pueden llegar a ser aprovechables para así obtener materiales nuevos del proceso.

Aprovechamiento de desechos: Materiales como el bioetanol y otros biocombustibles se logran formar mediante materia orgánica, la cual, de otra forma solo se descompondría sin ninguna utilidad.

2.13.3.-Desventajas

Presencia de subproductos: En muchas ocasiones es posible encontrar sustancias contaminantes, como lo es en el caso de los combustibles fósiles, los cuales expelen gases tóxicos hacia la atmósfera.

Utilización de insumos: Debido a que los materiales se agotan una vez la reacción ha terminado, hay una alta demanda de materia orgánica para lograr alimentar las reacciones que se requieren en este proceso.

2.14.- Energía de reacción

La energía de reacción es un tipo de energía, la cual se produce por la reacción química del contenido energético de los productos, es en general, diferente del correspondiente a los reactivos.

En una reacción química el contenido energético de los productos que esté en defecto o en exceso de energía será quien se pone en juego en la reacción. La energía puede ser absorbida o desprendida de diferentes maneras, ya sea como energía lumínica, eléctrica, mecánica, entre otras; la principal forma de energía tiende a ser la calorífica. El calor es conocido como calor de reacción y suele tener un valor único para cada reacción, debido a esto las reacciones pueden ser

clasificadas exotérmicas o endotérmicas, dependiendo de si existe desprendimiento o absorción de calor.

- **Exotérmicas:** Desprendimiento de energía, asociado al signo negativo. La energía que es liberada en los nuevos enlaces que se forman es mayor que la que se emplea en los enlaces que se rompen.
- **Endotérmicas:** Absorción de calor, asociado al signo positivo. La energía que es absorbida en los enlaces que se rompen es mayor que la desprendida en los enlaces que se van formando.

2.15.- Energías Renovables Procedentes de las Olas

Las energías renovables provenientes del mar se deben a la influencia de la radiación solar y de los campos gravitatorios solar, terrestre y lunar sobre los océanos. Si se comparan con el resto de las energías renovables, las investigaciones y los proyectos para conseguir energía procedente del mar se encuentran en una fase inicial, sin embargo, su potencial es muy alto (Amundarain Ormazá). El mar ocupa más del 70% de la superficie terrestre y además contiene una enorme cantidad de energías en sus diferentes formas, las cuales son perfectamente aprovechables, dentro de las posibles fuentes provenientes del mar se pueden encontrar las siguientes mencionadas por (Amundarain Ormazá):

- Gradiente salino: La diferencia de salinidad entre el agua de océanos y ríos se mantiene, esencialmente, por evaporación del agua de los océanos y por la lluvia recibida por los ríos. En estas zonas puede obtenerse energía debido a las diferencias de presión osmótica.
- Corrientes marinas: Es el caso de las turbinas marinas, cuyo funcionamiento es similar a un aerogenerador eólico, con la diferencia que, en este caso, es el flujo de corriente marina el que hace girar al rotor. Para que esto se produzca es necesaria una velocidad superior a 5 nudos.

- Mareomotriz: Se basa en el aprovechamiento de la energía liberada por el agua de mar en sus movimientos de ascenso y descenso de las mareas.
- Térmica oceánica: Se obtiene a partir de la diferencia de temperaturas entre la superficie y las profundidades del mar. Para el aprovechamiento de esta energía es necesaria, al menos, una diferencia de temperatura de 20°.
- Vientos oceánicos: En algunas zonas oceánicas los vientos pueden generar de 500 a 800 vatios de energía por metro cuadrado. Por ello, los parques eólicos marinos se convertirán en una importante fuente renovable en un futuro próximo.
- Biomasa marina: Los microbios constituyen el 90% de la biomasa marina, la cual contiene una ingente cantidad de energía para la producción de biocombustibles.
- Ola motriz: Las olas se forman en el mar, entre otras causas, por la acción del viento, el cual, al soplar origina olas que alcanzan gran tamaño y, por el impulso del viento, corren sobre la superficie marina a gran velocidad descargando toda su potencia sobre los obstáculos que encuentra en su camino.

En el texto de (Amundarain Ormazá) se ha estimado un potencial teórico de energía oceánica superior a 100.000 TWh/año (en referencia al consumo eléctrico alrededor del mundo que es de 16.000 TWh/año). Con la tecnología actual se estiman valores de 45.000 TWh/año para la energía proveniente de las olas, 2.200 TWh/año de la energía proveniente de las mareas, 20.000 TWh/año para la energía proveniente del gradiente salino y un total estimado de 33.000 TWh/año para la energía térmica oceánica.

2.16.-Energía Solar directa

Una de las aplicaciones de la energía solar es directamente como luz solar, por ejemplo, para la iluminación de recintos. En este sentido, cualquier ventana es un colector solar. Otra aplicación directa, muy común, es el secado de la ropa y algunos productos en procesos de producción con tecnología simple (Blas Martínez, 2010/2011).

2.17.-Energía de la Biomasa

La forma más antigua de aprovechamiento de la energía solar, inventada por la naturaleza misma, es la fotosíntesis. Mediante este mecanismo las plantas elaboran su propio alimento (su fuente de energía) y el de otros seres vivos en las cadenas alimenticias. Pero también mediante fotosíntesis se obtienen otros productos, como la madera, que tienen muchas aplicaciones, además de su valor energético. A partir de la fotosíntesis puede utilizarse la energía solar para producir sustancias con alto contenido energético (liberalmente mediante una combustión) como el alcohol y el metano.

2.18.- Combustibles Fósiles

Las energías fósiles provienen de biomasa originada hace millones de años, la cual proviene de restos orgánicos de plantas y animales sepultados, resultado de grandes cataclismos que asolaron el planeta que ahora se encuentran bajo gran presión y temperatura.

En la actualidad a pesar de ir obteniendo nuevas fuentes de energías más limpias, las energías provenientes de combustibles fósiles siguen, según Martín y San Martín "En la actualidad, más del 80% del suministro mundial de energía, es decir, más de cuatro quintas partes, provienen de los combustibles fósiles, es

decir, el petróleo, el gas natural y el carbón.” Esto muestra que las energías provenientes de la biomasa de materia orgánica siguen manteniendo la delantera, al menos por ahora.

A pesar de que los combustibles fósiles mantienen una gran importancia, existen puntos que validan la sustitución de los combustibles por las energías renovables no convencionales. Entre los cuales se pueden encontrar:

- Los problemas ambientales que estos generan y cómo estos afectan al cambio climático.
- La inestabilidad geopolítica de los principales países exportadores y productores de los hidrocarburos.
- La posibilidad de que los combustibles se terminen agotando.

Los procesos de extracción de estos combustibles y su uso son mucho más contaminantes que las energías renovables, caracterizándose por sus altas emisiones de gases que aportan al efecto invernadero, como lo son el CO₂ producido gracias al carbón, los múltiples accidentes en infraestructuras de plantas de gas natural y los impactos del crudo de petróleo.

A pesar de las repercusiones medioambientales que puedan generar los combustibles fósiles, estos siguen siendo los más utilizados a nivel mundial, bordeando el 80% de las necesidades energéticas, esto se observa tanto dentro de los países desarrollados como en los países en desarrollo. La alta demanda de estos combustibles vuelve difícil y lento generar un cambio a corto plazo hacia las energías renovables, volviéndose un tema de décadas hasta que las nuevas energías puedan cumplir con la demanda que hoy cumplen los combustibles fósiles.

2.18.1.- Petróleo

El petróleo es uno de los combustibles fósiles que se usan en la actualidad, a pesar de buscar fuentes que no afecten al cambio climático como lo son las energías renovables, el petróleo (carbón y gas natural) siguen liderando el consumo energético.

Pero antes de hablar del petróleo y su capacidad energética y a la vez contaminante, primero se debe conocer lo que es el petróleo y lo que conlleva su origen. La palabra petróleo tiene sus orígenes en el latín siendo la palabra “petroleum”, la cual significa “aceite de piedra. Esto ya que el petróleo en sí es un aceite mineral de origen natural a base de una mezcla de hidrocarburos y otros elementos. Siendo el petróleo una sustancia capaz de realizar combustión, de un aspecto negro y viscoso, con la cualidad de estar en estado líquido a temperatura ambiente y en presiones normales.

Para que se puedan generar depósitos que contengan petróleo (o gas natural) deben cumplirse ciertos aspectos denominando a esto el Sistema Petróleo :“Este consiste en la existencia de una roca generadora, roca madre, rica en materia orgánica (>1%), que a través de procesos geológicos produce la transformación de esta materia orgánica en hidrocarburos, también debe existir la denominada Roca Reservorio, la cual se caracteriza por tener condiciones de porosidad (espacios) para contener y dejar fluir los hidrocarburos (permeabilidad). Así mismo su conformación geométrica debe permitir el entrapamiento de los hidrocarburos, en lo que se conoce como trampa (ENAP s.f.).

Al momento de identificar un yacimiento que posee petróleo (tras realizar estudios sísmicos y de geología) y asegurar el lugar se procede a la realización de pozos, pozos por los cuales se planea extraer el crudo de petróleo. De los pozos productores se puede llegar a encontrar crudo, gas y agua, los cuales se aíslan y se distribuyen dependiendo de la necesidad. Una vez extraído el crudo este se transporta en camiones u oleoductos hacia el punto de entrega para su posterior refinación.

El crudo de petróleo tras la extracción no tiene ninguna utilidad, es por esto por lo que luego de la extracción se procede a la refinación de este crudo para darle la real utilidad. Dentro de los productos que genera la refinación se pueden encontrar: Aceites pesados para calderas, combustibles, Diesel, queroseno y gasolina.

En la actualidad se siguen encontrando nuevos yacimientos de petróleo alrededor de todo el planeta, generando estimaciones favorables para el petróleo, generando gran relevancia a nivel mundial “Shell anunció primero el descubrimiento de petróleo liviano en Graff-1 estimando un volumen total de hidrocarburos en el yacimiento, que podría alcanzar los 1.000 millones de barriles de petróleo (Argentinian.gob.ar 2022).” Esto demuestra que la industria del petróleo aún no desciende, a pesar de que se buscan formas de energía más limpias el petróleo sigue siendo una opción muy utilizada puesto que aún quedan muchos yacimientos con grandes capacidades para la explotación.

Tras sufrir un desplome en el año 2020 (-9.2%), atribuidos a los problemas originados por la pandemia, la demanda de productos petrolíferos se recuperó un 5% en 2021 con la relajación de los confinamientos en todo el mundo y gracias a una mayor movilidad posterior (ENERDATA s.f.). En base a datos recopilados se menciona que fue Estados Unidos el mayor consumidor mundial de productos derivados del petróleo en el año 2021, lo que representa el 17% del consumo total del planeta, seguido de China (16%) y la India (5%).

2.18.1.2.-Daños a la salud

Dentro de todos los procesos en los cuales se trabaja el petróleo, ya sean los pozos petrolíferos y las refinerías, oleoductos y buques petrolíferos para su transporte, todos estos pueden llegar a producir algún daño como:

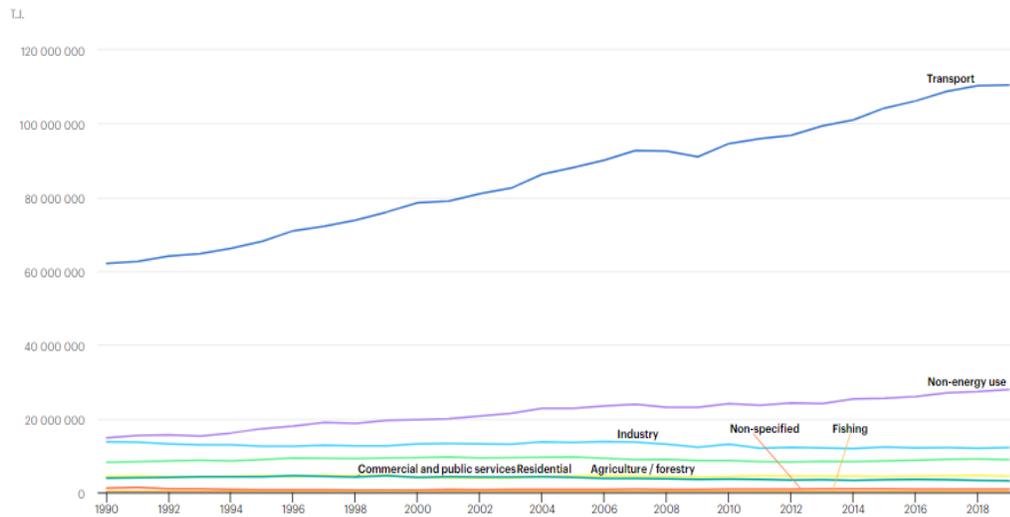
- Vertidos: Cuando se derrama el petróleo esto causa severos daños a todo lo que entra en contacto, como el suelo generando pérdida de la fertilidad de éste

o cuando se derrama en los mares, afectando el agua y toda la vida marina de las zonas afectadas a gran escala.

- Daño a la atmósfera: El uso del petróleo, al quemarlo para generar energía produce daños a la atmósfera generando gases que aumentan el efecto invernadero además de contaminar las lluvias hasta volverlas ácidas. Todo esto, además, los gases que se producen son altamente tóxicos.

El daño que este producto genera no solo afecta al medioambiente, también daña de formas irreparables a las personas que viven cerca de plantas de refinería o de pozos de petróleo, daños como:” Aspirar los vapores, consumir alimentos o beber líquidos contaminados con petróleo y gas ocasiona problemas para la salud reproductiva” (Hesperian health guides s.f.). También puede generar problemas a la visión, infecciones e incluso si viven cerca de algún asentamiento que procese petróleo las probabilidades de padecer cáncer son mayores. Razones como estas son las que motivan a lograr reducir y llegar a eliminar este tipo de fuente energética y sustituirlas por las energías renovables.

Consumo final de derivados del petróleo por sector, Mundo 1990-2019



AIE. Reservados todos los derechos.

● Industria ● Transporte ● Residencial ● Servicios comerciales y públicos ● Agricultura / silvicultura ● Pescar ● no especificado ● Uso no energético

Ilustración 6 "Balances energéticos mundiales para derivados del petróleo" de IEA- agencia Internacional de la Energía, 2022

Como se logra observar en la ilustración N°6, el consumo de petróleo para diversas actividades ha tomado un gran aumento, especialmente en el área de transporte desde el año 1990 hasta el año 2019, demostrando la alta dependencia que existía ante este combustible para diversos aspectos de la vida y es una de las razones por la cual se debe ir en dirección de las energías renovables e ir dejando paulatinamente a los combustibles de origen fósil en el pasado para así poder dejar también atrás todos los inconvenientes medioambientales que estos combustibles generan.

2.18.2.- Gas Natural

Una de las grandes fuentes de energía que sustentan a la sociedad es el gas natural, siendo este un combustible fósil, es una fuente de energía formada por una mezcla de gases ligeros los cuales pueden encontrarse dentro de yacimientos de petróleo. Al igual que el petróleo, el gas natural se originó hace millones de años manteniéndose almacenado en el interior de la tierra, compuesto por metano (70%), entre otros compuestos como lo es el ácido sulfhídrico, etano, propano y butano. El gas es un producto incoloro e inodoro, no tóxico y de una composición más ligera que el aire. Este posee un poder calorífico el cual se aproxima a las 11.000Kcal/m³.

El nivel de contaminación que emite el gas natural es menor si se compara con los otros combustibles como el petróleo, esto debido a que posee muy pocas impurezas y además este produce una energía de alto rendimiento, pero este también incide generando un impacto en la atmósfera, aunque en menor magnitud.

Actualmente el gas natural tiene ciertas aplicaciones en la vida diaria, de entre los cuales se puede mencionar:

- Combustible doméstico e industrial: Posee un alto poder calorífico. Además, su combustión es regulable y produce una mínima contaminación. Siendo su producción de CO₂ menor a la del resto de combustibles fósiles.
- Materia Prima: En la industria química el gas se utiliza para la obtención de amoníaco, metanol, etileno, butadieno y propileno.

Pese a ser un combustible más limpio que los otros combustibles fósiles, esto no deja de lado los problemas que pueden llegar a originarse por los componentes del gas como lo son el metano, ya que: “El metano no es tóxico y no es peligroso si se inhala en pequeñas cantidades; sin embargo, si una gran cantidad de gas natural o metano desplaza el aire, la falta de oxígeno podría provocar asfixia” (Socalgas s.f.). Por lo que a pesar de no ser tan contaminante como el petróleo

puede llegar a generar accidentes por los compuestos que presenta. El gas metano es una fuente para los gases de invernadero además de problemas para la salud, ya que la extracción y producción de gas natural tiene un impacto en la salud de las comunidades y trabajadores cercanos (USCEHC s.f.) tales como:

- Problemas de salud mental
- Síntomas de asma
- Leucemia
- Cardiopatía
- Alteraciones hormonales
- Daños reproductivos
- Defectos de nacimiento

2.18.3.- Carbón

Siendo de las primeras fuentes de combustible y energía en ser utilizadas en el mundo por el hombre, es por esto por lo que se obtiene esta definición del carbón por parte de (Blas Martínez, 2010/2011), “el carbón mineral está compuesto principalmente por carbono, también de origen fósil, que se encuentra en grandes yacimientos en el subsuelo. A nivel mundial, el carbón es abundante, pero los problemas ecológicos que causa son aún más mayores que los inherentes al petróleo y sus derivados”.

2.18.3.1.-Origen del Carbón

El carbón es un elemento de origen orgánico, esto se refiere a que el carbón está compuesto por componentes orgánicos de plantas de hace millones de años, más específicamente podemos utilizar una descripción entregada por Flexbooks.ck12, 2021,” El carbón se forma de plantas muertas que se asentaron en el fondo de los pantanos hace millones de años. El agua y el lodo del pantano mantienen el oxígeno lejos del material vegetal. La arena y arcillas se asentaron en la parte superior de las plantas en descomposición. El peso de este material exprime el agua y algunas otras sustancias. Con el tiempo, el material orgánico se convirtió en una roca rica en carbono. Esta roca es el carbón”. Aquí se puede comprender el origen del carbón.

Dentro de los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), el carbón es el más abundante lo cual lo vuelve más rentable en comparación a los otros combustibles fósiles, sin embargo, este sigue siendo un combustible cuya explotación y transformación en energía eléctrica implica una serie de riesgos medioambientales.

2.18.3.2.-Tipos de Carbón

En los diversos yacimientos de carbón a lo largo del mundo también se pueden encontrar diversos tipos de carbón, los cuales poseen características diversas, los que se demuestran gracias a estudios químicos que señalan diferencias en los porcentajes de carbono, nitrógeno, hidrógeno y azufre, siendo estos los siguientes extraídos de (SOLGERenergy, 2021):

Turba:

Es material orgánico de color amarillento pardo o negro, y es la primera parte de la transformación de los vegetales en carbón, con menos del 60% de carbono, lo que lo hace un combustible de baja calidad y de poco efecto calórico.

Lignito:

Es de color negro o pardo muy oscuro y de consistencia leñosa, y aunque tiene más carbono, contiene mucha agua, lo que lo hace un mal combustible. Es utilizado aún en algunas centrales térmicas.

Hulla:

Tiene mayor capacidad de combustión al contener entre un 75% a un 90% de carbono y mucho azufre, lo que lo convierte en un combustible contaminante. Antes se usaba mucho en la industria siderúrgica, pero fue sustituido progresivamente por el petróleo y el gas natural.

Antracita:

Es considerado el carbón de mejor calidad al ser poco contaminante por su gran presencia de carbono y pocas cenizas y material volátil. Es de color negro brillante y extrema dureza.

Como todas las fuentes de energía, el carbón también tiene un lado positivo como uno negativo, aunque siendo una energía proveniente de combustibles fósiles es algo genera un gran impacto negativo en el mundo, por eso se presentan a continuación estas cualidades:

2.18.3.4.-Ventajas

- El carbón es un elemento abundante, siendo el más abundante dentro de los combustibles fósiles.
- Es muy económico en comparación con otras fuentes de energía, como el petróleo y el gas.

- Las maneras de utilizarlo son versátiles pues no solo se utiliza siendo quemado de manera directa, sino que puede ser transformado a formas líquidas o gaseosas.

2.18.3.5.- Desventajas

- Aumento del dióxido de carbono, estos son gases que causan el efecto invernadero en el planeta siendo un problema por el aumento de la temperatura del planeta conocido como calentamiento global.
- Fuente energética con una vida limitada, al ser un elemento que se extrae de la tierra este posee una vida reducida, ya que en algún momento se alcanzará el máximo de carbón que pueda ser extraído.
- La extracción de este mineral puede afectar al ecosistema donde se encuentra al momento de obtenerlo, generando daños en los lugares, contaminación por ruidos fuertes de las máquinas además de que las maquinarias que utilizan para extraerlo pueden ser Diesel.
- La explotación del carbón afecta incluso a la salud de los trabajadores, ya que a pesar de utilizar los implementos de seguridad estos pueden verse afectados por inhalar polvo de carbón lo cual afecta a los pulmones llegando incluso a ser fatal.
- También las cenizas del carbón flotan junto con metales pesados, óxido nitroso, mercurio y otras sustancias peligrosas.

Uno de los principales problemas de las minas de carbón son las enormes cantidades de gases contaminantes que estas emiten, gases que favorecen el efecto invernadero y el calentamiento global lo cual es un enorme problema para todos, fugas de metano son los principales problemas de las minas de carbón

como lo es en el país Australia, el cual es uno de los cinco productores de carbón a nivel mundial. Según un informe desarrollado por la empresa EMBER de parte de la Dr. Sabina Assan ,2022. En el año 2019 las minas de carbón liberaron el 68%de las emisiones de metano de Australia de la industria energética en general, lo que hizo que las minas de carbón contribuyeran más que el petróleo y el gas.

En el año 2019 las empresas de carbón informaron a través Sistema de Información de Emisiones de Efecto Invernadero de Australia (AEGIS) que sus minas filtraron 898.000 toneladas de metano a la atmósfera, lo que representa el 5% de las emisiones totales de GEI (Gases de Efecto Invernadero) de Australia (Assan, 2022).

El metano es un gas de efecto invernadero potente y de una acción muy rápida, este es incluso 82.5 veces más potente que el dióxido de carbono, esto hace que la tarea de reducir los niveles de metano a nivel mundial sea aún más importante a un corto plazo.

Por razones como la alta contaminación que las minas de carbón generan es por lo que se estima conveniente y necesario eliminar al carbón y a los combustibles fósiles de las ramas de las fuentes de energía del mundo por los altos índices de contaminación que estos generan a nivel mundial, aumentando así el efecto invernadero el cual contribuye al calentamiento global.

3.- ORIGEN DE LA ENERGÍA SOLAR. FUENTE FOTOVOLTAICA

Antes de comenzar a dar la explicación principal sobre las fuentes fotovoltaicas y que es la ESFV, primero se debe remontar a la parte más primordial de esta energía que es la causa de que esta pueda funcionar, que son los conocidos fotones ya que al ser una energía que funciona mediante la radiación solar o la

luz solar que incide en sus celdas o módulos fotovoltaicos es porque estos obtienen la energía de los fotones, los cuales serán explicados a continuación.

3.1.- ¿Qué son los fotones?

El fotón es un tipo de partícula elemental portadora de todas las formas de radiación electromagnética. Entre estos tipos de radiación se incluyen los rayos x, los rayos gamma, los fotones de luz visible, la luz infrarroja, las ondas de radio y microondas.

Estas partículas fundamentales son estables, no tienen masa ni carga eléctrica, además cuando se encuentran en el vacío estas se mueven a la velocidad de la luz, siendo esta 300.0000 Km/s

Originalmente, Albert Einstein llamó a esta partícula de luz:” cuantos de luz”. Luego en 1916 este nombre fue cambiado a Fotón. Vocablo de origen griego que significa “luz”, este cambio fue hecho por el físico Gillbert N. Lewis. En el ambiente físico, un fotón se simboliza con la letra griega gamma (γ) (Yirda, s.f.).

3.1.2.- ¿Cuál es la energía de un fotón?

La energía de un fotón corresponde a la energía que se transporta por un solo fotón. Esta energía depende de la frecuencia electromagnética y la longitud de onda. En consecuencia, la energía aumenta al aumentar la frecuencia y la longitud de onda del fotón (Planas, energía solar, 2015)

Las unidades de medida más utilizadas para indicar la energía de estas partículas (fotones) son los electronvoltios (eV) y el julio (J). Un julio es equivalente a $6.24 \times 10^{18} \text{ eV}$.

Para darle una mejor explicación a la carga o energía que poseen los fotones nos guiaremos por lo explicado por (García, 2019), ya que como lo plantea, la luz además de ser una onda es un corpúsculo. Durante los arduos estudios de Einstein este llegó a darse cuenta de que la luz también actuaba como partícula, partícula a la que denominó como “cuanto de luz” lo que hoy se conoce como fotón. Mencionando la ecuación más famosa descrita por Einstein $E = mc^2$ la cual explica que un cuerpo en reposo (E) es igual a su masa (m) multiplicada por la velocidad de la luz al cuadrado (c^2). Esta ecuación necesita de la masa de un objeto para así poder determinar la energía, esto podría generar confusión, pues se podría pensar que un sistema sin masa no podría tener energía lo cual es incorrecto pues la luz no posee masa y aun así posee energía, la ecuación antes planteada sólo sería aplicable a partículas en reposo por lo que la luz al estar en constante movimiento no se ve afectada por dicha ecuación.

En física a una cantidad de movimiento se le asigna el nombre de momento lineal, es del momento lineal desde donde viene la energía de los fotones, ya que estos se encuentran en constante movimiento. Para lograr encontrar la ecuación que describa la energía de los fotones solo se debe sustituir la masa (m) de la ecuación de Einstein por el momento lineal (conocido como p) para de este modo obtener la cantidad de energía de un fotón.

3.2.-Radiación Solar

La radiación solar es un proceso proveniente del sol, estrella ubicada como punto central del sistema solar en que habitamos, el cual emite un conjunto de radiaciones electromagnéticas conocidas como radiación solar. El sol posee un comportamiento de un cuerpo negro, “Un cuerpo negro es un objeto ideal en equilibrio termodinámico con su entorno que se comporta como un perfecto “absorbente de radiación” (toda la radiación incidente es absorbida y no hay reflexión ni transmisión, lo que explica por qué tal cuerpo nos pareciera negro) (edumedia, s.f.). El comportamiento del sol como un cuerpo negro sigue los

postulados de la Ley de Plank a una temperatura de unos 6000 °K. La radiación solar emitida por el sol se puede distribuir en rangos abarcando estos desde la luz infrarroja hasta la luz ultravioleta. Además, como lo expresa (Barberá Santos) con respecto a la radiación solar, “No toda la radiación alcanza la superficie de la tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera, fundamentalmente por el Ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza la tierra” la unidad de medida de esta es la siguiente: W/m^2 (Vatio por metro cuadrado).

3.2.1.-Irradiancia y Radiación

De datos extraídos de (Negroni, Canales, & Yañez, 2013), la irradiancia se puede definir como la relación que existe entre la potencia incidente por unidad de superficie para cualquier onda electromagnética con la superficie en donde esta incide, mediante la siguiente expresión:

$$E = \frac{P_{inc}}{A} [W/m^2]$$

Donde:

E= Irradiancia.

P_{inc} = Potencia incidente.

A= Área de la superficie que recibe la radiación.

Mientras que la radiación se puede expresar como la cantidad de irradiancia recibida en un tiempo determinado, lo que la hace una medida de energía. En el medio fotovoltaico generalmente se utilizan las unidades $\frac{KWh}{m^2}/día$ para radiaciones diarias y $\frac{KW}{m^2}/año$ para las radiaciones anuales.

3.2.2.- Radiación Global

La irradiancia que se registra ya sea sobre una base de tiempo al día o de manera anual es entregada en mapas y tablas de radiación, las cuales generalmente están en un plano horizontal. Dichos datos se utilizan para poder estimar la producción en la generación de energía fotovoltaica (Negroni, Canales, & Yañez, 2013).

En la imagen N°x que se presenta a continuación se muestra el “cinturón solar”, este se encuentra ubicado entre los 35° de latitud norte y los 35° de latitud sur, los cuales representan los niveles más altos de radiación solar en el planeta lo cual se transforma en una ventaja al momento de implementar ESFV, pero esto no elimina a los lugares fuera de este “cinturón” pues países de Europa también han implementado y avanzado en la ESFV.

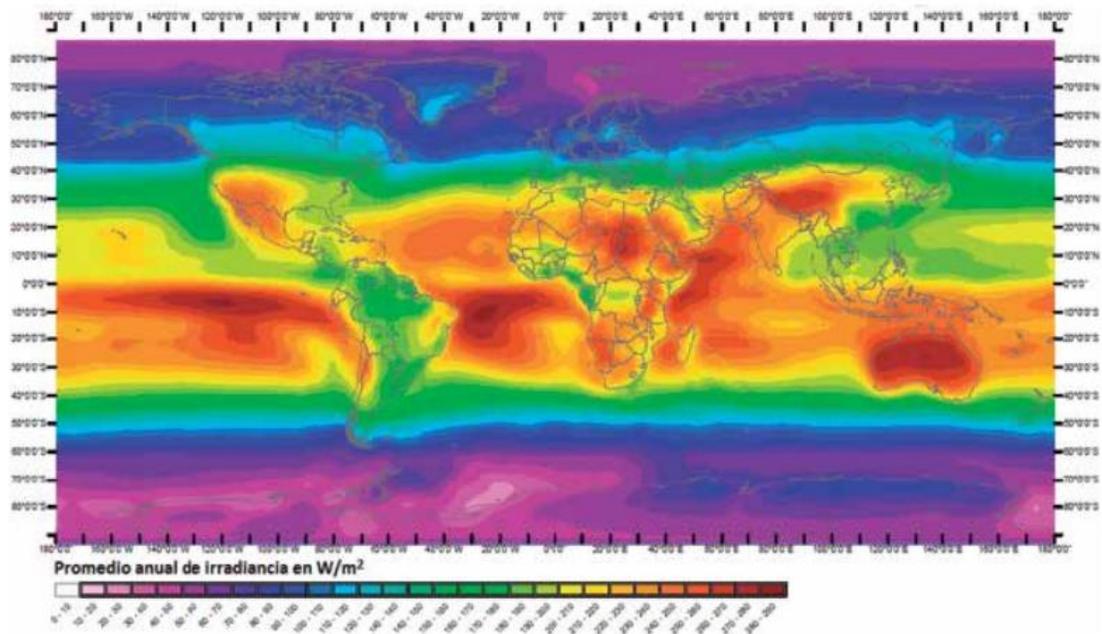


Ilustración 7 Radiación Solar promedio en el periodo 1990-2004, extraído de Ecole des Mines de París/Armines, modificado del texto de Diseño y dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos

3.3.- Celdas Fotovoltaicas

Para hacer posible la obtención de energía proveniente de la radiación solar (fotones) para luego convertirla en energía eléctrica (flujo de electrones libres) se necesitan de los conocidos paneles solares, paneles en los cuales se encuentran constituidos por las celdas o células fotovoltaicas las cuales generan electricidad gracias al efecto fotoeléctrico.

Las celdas fotovoltaicas tienen su origen en el siglo XIX, más específicamente en 1839 por el físico de origen francés Alexandre-Edmond Becquerel quien dedicó su vida al estudio del espectro solar, electricidad, magnetismo y otros aspectos de la física.

La principal función de las celdas fotovoltaicas es la capacidad de poder transformar la energía proveniente del sol o radiación solar en energía eléctrica, lo que en pocas palabras quiere decir que estas obtienen energía cuando la luz solar se posa sobre estas. Para que las células fotovoltaicas puedan cumplir sus funciones estas deben estar hechas de materiales semiconductores como el silicio, los cuales son arenas procesadas para así obtener una pureza muy alta y de gran calidad para el trabajo requerido, este material tiene altas capacidades para poder absorber fotones de luz y a su vez poder emitir electrones, luego de la liberación de electrones estos son capturados por la misma celda disipándose como calor para así ir generando la corriente eléctrica necesaria para ser usada como electricidad.

Los paneles están compuestos por grupos de celdas fotovoltaicas, y mediante la investigación de fabricantes y distribuidores es que se pudo llegar a obtener diversos tipos de celdas fotovoltaicas, las cuales son:

Celdas fotovoltaicas Monocristalinas (silicio cristalino): Estas son un tipo de célula fotovoltaica las cuales son procesadas como un solo cristal de silicio. Además, este tipo de celdas fotovoltaicas presentan un costo mucho más elevado haciendo que su uso se vea frenado. Un factor de gran importancia en este tipo de celdas es su gran rendimiento, haciendo que la relación Wp/m² sea mucho mayor.

Celdas fotovoltaicas Policristalinas (silicio policristalino): Estas son un tipo de célula fotovoltaica las cuales se conforman de cristales diminutos. Estas células tienen un buen rendimiento, aunque en comparación con las monocristalinas poseen un rendimiento levemente inferior, siendo más notorio en momentos de declive energético como en los días nublados o que posean baja iluminación. En comparación a las celdas monocristalinas, las celdas policristalinas son mucho más económicamente rentables.

Celdas fotovoltaicas amorfas: Estas son un tipo de células las cuales cuentan con una organización atómica bastante irregular, razón por la cual una capa de este material suele absorber más la luz que una de silicio monocristalino. La eficiencia de este tipo de células es menor que la de otras celdas fotovoltaicas, por lo que su uso depende de la necesidad de consumo.

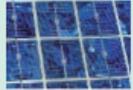
Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocrystalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Ilustración 8 lista de diferentes tipos de células fotovoltaicas, de Componentes de una instalación solar fotovoltaica (mheducation, s.f.).

Las celdas fotovoltaicas, ya sea monocristalinas, policristalinas o amorfas están compuestas en su mayoría por silicio, aunque ser el principal no lo vuelve el único ya que según artesa shop existen diversos Materiales tales como:

- Arseniuro Galio (GaAs): Material que actúa como semiconductor que se utiliza para la fabricación de celdas fotovoltaicas, celdas con gran eficiencia energética.
- Silicio Amorfo (a-Si): Esta estructura no es cristalina. A pesar de no poseer una estructura cristalina se ha posicionado en el 10% de la producción internacional pues también presenta una alta eficiencia.
- Telurio de Cadmio (Cd Te): Material policristalino. Este material ha llegado a alcanzar un 16% de eficiencia.
- Di seleniuro de Cobre Indio (CuInSe₂, o CIS): Material policristalino capaz de alcanzar una eficiencia cercano al 20%.

Los paneles reciben la energía directamente de la radiación solar, pero no quiere decir que no se les puede otorgar ayuda para mejorar la eficiencia de estas, como:

- Concentradores: Sistemas ópticos utilizados para mejorar la eficiencia de las celdas fotovoltaicas concentrando la luz en un solo punto.
- Reflectores: Espejos utilizados para aumentar la intensidad lumínica sobre las células, aunque no poseen un gran poder de concentración.

Cabe mencionar que la energía proveniente del sol es un recurso de un uso universal, por lo que gracias a esto no debería llevar un costo asociado por su uso, pero esto es casi cierto, ya que existe una parte del proceso por la que se debe pagar y esta parte es el proceso de transformación de energía, ya que para poder transformar la energía solar a energía eléctrica se necesita de un sistema fotovoltaico apropiado para desarrollar dicha tarea. Es por esto por lo que el verdadero precio para utilizar la ESFV es por el costo de realizar la instalación y por la mantención de los sistemas fotovoltaicos.

“La mencionada generación eléctrica tiene lugar sin que sea necesaria la intervención de ningún tipo de componente mecánico o móvil, ni de ningún proceso o tipo químico o termodinámico, por lo que las células disfrutan de una vida útil muy prolongada, de hasta más de 30 años” (Blas Martínez, 2010/2011).

Las partes más importantes de una célula solar fotovoltaica son las capas de semiconductores, ya que es donde se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas diferentes dopadas (tipo p y tipo n) para formar un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en la otra. Cuando la luz solar incide en la célula se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica. Es por ello que estas células se fabrican a partir de este tipo de materiales, es decir, materiales que actúan como aislantes a baja temperatura y como conductores cuando se aumenta la energía (Barberá Santos).

3.4.-Composición de los módulos fotovoltaicos

Desafortunadamente no hay un tipo de material ideal para todos los tipos de células y aplicaciones. Además de los semiconductores las células solares están formadas por una malla metálica superior u otro tipo de contrato para recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga externa y un contacto posterior para completar el circuito eléctrico. También en la parte superior de la célula hay un vidrio u otro tipo de material encapsulado transparente para sellarla y protegerla de las condiciones ambientales, y una capa anti reflexiva para aumentar el número de fotones absorbidos. Las células FV convierten la energía de la luz en energía eléctrica. El rendimiento de conversión, esto es, la proporción de luz solar que la célula convierte en energía eléctrica es fundamental en los dispositivos fotovoltaicos, ya que el aumento del rendimiento hace de la energía solar FV una energía más competitiva con otras fuentes. Estas células conectadas unas con otras, encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte o marco, conforman un módulo fotovoltaico. Los módulos están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje (normalmente 12 o 24 V). La corriente producida depende del nivel de insolación. La estructura del módulo protege a las células del medio ambiente y son muy durables y fiables. Aunque un módulo puede ser suficiente para muchas aplicaciones, dos o más módulos pueden ser conectados para formar un generador FV. Los generadores o módulos fotovoltaicos producen corriente continua (DC) y pueden ser conectados en serie o en paralelo para poder producir cualquier combinación de corriente y tensión. Un módulo o generador FV por sí mismo no bombea agua o ilumina una casa durante la noche. Para ello es necesario un sistema FV completo que consiste en un generador FV junto a otros componentes, conjuntamente conocidos como “resto del sistema” o BOS (del inglés balance of system). Estos componentes varían y dependen del tipo de aplicación o servicio que se quiere proporcionar. Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar como autónomos o conectados a la red eléctrica. En definitiva y cómo podemos ver, nos encontramos ante una fuente de energía, que además de renovable se nos

presenta como una clara apuesta de futuro de cara al planteamiento energético en los próximos años (Barberá Santos).

Dentro de las características básicas que poseen las células fotovoltaicas se encuentra el generador, también conocido como la célula fotovoltaica, el cual es el encargado de convertir la luz del sol en electricidad basándose completamente en el efecto fotoeléctrico (mheducation, s.f.).

En una célula solar la producción de corriente depende de la irradiancia (nivel de iluminación), de tal forma que a medida que aumenta la irradiancia, aumenta la intensidad a través de la célula (mheducation, s.f.)

3.4.1.-Comportamiento de las Células Solares Fotovoltaicas

El comportamiento de las células es algo completamente particular e impresionante, por lo que definirlo es algo completamente necesario y de una gran importancia para entender de mejor manera como estas operan para lograr generar energía mediante la luz solar, la explicación a continuación se obtiene de (mheducation, s.f.), en donde se plantea lo siguiente: “Una célula solar se comporta como un diodo: la parte expuesta a la radiación solar es la N, y la parte situada en la zona de oscuridad, la P. Los terminales de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes del diodo: la cara correspondiente a la zona P se encuentra metalizada por completo (no tiene que recibir luz), mientras que en la zona N el metalizado tiene forma de peine, a fin de que la radiación solar llegue al semiconductor.

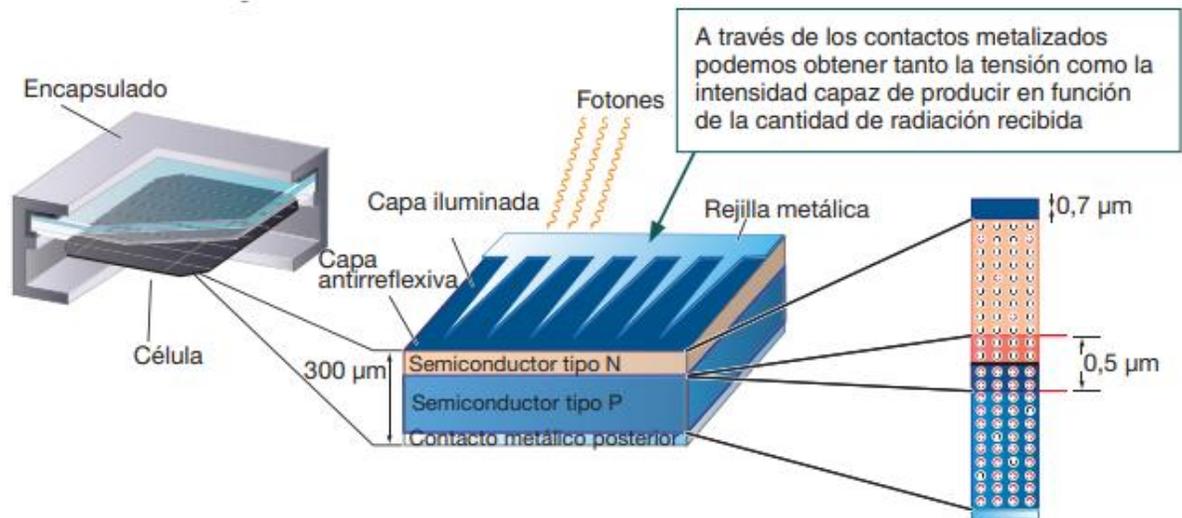


Ilustración 9 Célula solar: características básicas, por Componentes de una instalación solar fotovoltaica (mheducation, s.f.)

3.4.2.-Parámetros fundamentales de la célula solar

Los parámetros fundamentales de las células donde se encuentra la corriente y la tensión que estas presentan son datos de suma importancia extraídos de (mheducation, s.f.), siendo estos los siguientes:

- **Corriente de iluminación (I_L):** La corriente generada cuando incide la radiación solar sobre la célula.
- **Corriente de oscuridad:** Es debida a la recombinación de los pares electrón-hueco que se produce en el interior del semiconductor.
- **Tensión de circuito abierto (V_{oc}):** La máxima tensión que se obtiene en los extremos de la célula solar, que se da cuando no está conectada a ninguna carga. Es una característica del material con el que está construida la célula.

- **Corriente de cortocircuito (I_{sc}):** Máximo valor de corriente que puede circular por la célula solar. Se da cuando sus terminales están cortocircuitados.

Cuando la célula solar se conecta a una carga, los valores de tensión e intensidad varían. Existirán dos de ellos para los cuales la potencia entregada sea máxima: V_m (*tensión máxima*) e I_m (*intensidad máxima*), que siempre serán mayores que V_{oc} I_{sc} . En función de estos valores, la potencia máxima que puede entregar la célula solar será:

$$P_m = V_m I_m$$

Esto nos permite definir un parámetro de la célula solar que recibe el nombre de factor de forma (FF) y que se calcula mediante la fórmula:

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}}$$

Así pues, el factor forma es el cociente entre la máxima potencia que puede entregar la célula a la carga y el producto de la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito. En las células solares más habituales, los valores típicos de FF son de 0.7 o 0.8.

3.5.-Potencia de una célula solar

El tamaño de una célula es bajo, de aproximadamente 10 x 10 centímetros, por lo que un elemento de ese tamaño no es capaz de obtener una gran cantidad de energía, es por eso por lo que las células se unen a otras células para formar así los paneles solares o módulo fotovoltaico con la finalidad de lograr proporcionar la potencia requerida por el sistema. Recopilando información de (mheducation, s.f.) se obtuvo esta información.

Según la conexión eléctrica que se haga de las células, es posible encontrar diferentes posibilidades:

- La conexión en serie de las células permite aumentar la tensión final en los extremos de la célula equivalente.
- La conexión en paralelo permitirá aumentar la intensidad total del conjunto.

Otra característica que se puede ver en los tipos de conexión ya sea en serie o en paralelo es que, los elementos conectados en serie poseen toda la misma corriente, mientras que todos los elementos asociados en paralelo tienen la misma tensión, siendo estas características adicionales que influyen en la forma de conectar los módulos solares al momento de la instalación y funcionamiento de estos.

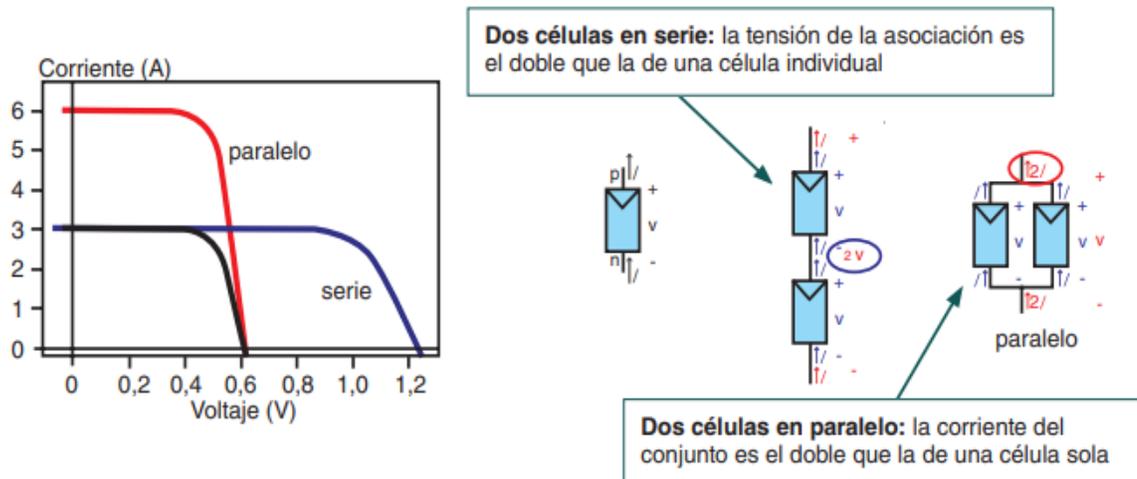


Ilustración 10 Potencia de la célula solar, por Componentes de una instalación solar fotovoltaica

3.5.1.-Principio de funcionamiento de una célula fotovoltaica

Usando la explicación obtenida de (Aguero, Diaz, & Oqueranza) se puede comprender el funcionamiento de un módulo fotovoltaico, ya que cuando un semiconductor dopado es expuesto a la radiación electromagnética, se desprende de este un fotón, el cual golpea a un electrón y lo arranca de donde este se encontraba, creando así un hueco en el átomo. De forma general, el electrón encontraría de una manera rápida un hueco para volver a ocupar uno, mientras que la energía proporcionada por el fotón terminaría siendo disipada en forma de calor.

El principio fundamental de las células fotovoltaicas es el obligar a los electrones a avanzar hacia el lado opuesto del material en lugar de solamente recombinarse en él; así, se lograría producir una diferencia de potencial y además tensión entre ambas partes del material, funcionamiento similar al de una pila.

Siguiendo con la explicación de (Vera Gomez, s.f.), para que todo lo explicado anteriormente sea posible se crea un campo eléctrico permanente, mediante una unión del tipo pn, entre dos capas dopadas respectivamente p y n. En las células de silicio, las cuales son mayormente utilizadas, poseen: una capa superior en la celda, la cual está compuesta de silicio dopado del tipo n, en esta capa se encuentra una cantidad de electrones libres superior a la que se podría encontrar en una capa de silicio en estado puro (de ahí el nombre de dopaje n, negativo). El material se mantiene eléctricamente neutro, ya que tanto los átomos de silicio como los del material dopante son neutros; pero la red cristalina tiene una mayor presencia de electrones que en una red de silicio puro.

La capa inferior de la célula está compuesta de silicio dopado del tipo p, esta capa tiene por lo tanto una cantidad media de electrones libres en menor cantidad que los de una capa de silicio en estado puro. Los electrones se encuentran ligados a la red cristalina, la cual, en consecuencia, es eléctricamente neutra pero también presenta huecos positivos.

De manera general, una célula o módulo fotovoltaico es similar o equivalente a un generador de energía al cual se le añade un diodo.

3.6.- La potencia de los paneles solares

Al momento de hablar de las instalaciones de energía solar o incluso de la eólica se utilizan de manera habitual ciertos parámetros para la caracterización de la potencia instalada en estas plantas, mediante la unidad de medida conocida como W (Watts), para evitar confusiones se mencionará desde ahora al Watts únicamente con la letra W. Un W representa la potencia eléctrica producida por una diferencia de potencial de un voltio y un amperio, por lo que, la medición se realiza en un determinado instante o se refiere como una potencia sostenida de forma nominal.

Los sistemas de generación o almacenamiento de energía brindan una potencia a lo largo de un periodo de tiempo, si se llega a considerar la cantidad de W producidos en una hora de tiempo, se estará calculando los Wh o Watts/hora. En el caso de que la potencia no se mantenga de manera constante, entonces se procede a calcular un promedio de todas las mediciones realizadas en intervalos.

Una instalación de energía se dimensiona tomando como referencia los valores máximos que producen sus componentes en condiciones óptimas. La potencia entregada por los paneles solares se describe como Wp o Watts pico, aunque no significa que no superará esa potencia (3amper, 2017). Para el caso de la comercialización de paneles solares, estos son promocionados tomando como referencia el valor de la potencia pico (Wp), lo que esto significa es que es la potencia máxima que puede llegar a alcanzar el panel solar bajo condiciones específicas, siendo estas pruebas estándar para módulos fotovoltaicos una irradiancia de 1000 W/m^2 (Watts por metro cuadrado), y 25C° de temperatura en el panel solar (3amper, 2017).

La potencia es un tema de alta importancia al momento de trabajar con la ESFV y los paneles solares, ya que como lo plantea 3amper (2017) “La potencia de un panel solar varía considerablemente medida que aumenta su temperatura, se estima una pérdida de aproximadamente 1% por cada 2 C° sobre la temperatura estándar”, con estos datos es de suma importancia la correcta instalación y el diseño de una instalación fotovoltaica para así poder aprovechar al máximo el funcionamiento evitando generar la mayor cantidad de perdidas por temas medioambientales.

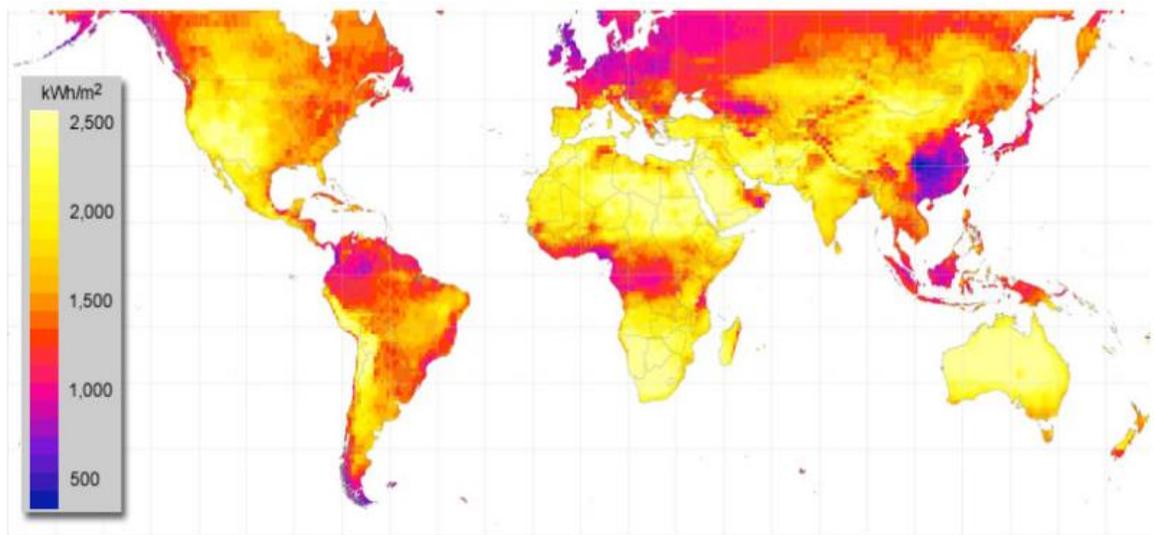


Ilustración 11 adaptado de "Mapa de irradiancia solar, la región de Argentina, Chile y Bolivia se encuentran entre las mayores del mundo", de 3amper, <https://3amper.com/blog/2017/06/21/la-verdadera-potencia-de-los-paneles-solares/>

La imagen (ilustración N°10) muestra la capacidad que posee cada país en el mundo de poder hacer uso de la energía solar, siendo aquellos países que se encuentran más alto en la medición de radiación solar que obtienen del sol, siendo países como Australia, algunos países de África, EE. UU y gran parte del norte de Chile, Argentina y Perú. Esta imagen demuestra las altas capacidades que tienen algunos países para la implementación de plantas fotovoltaicas pues al ser países con una alta radiación solar se verían muy beneficiados de la

utilización de esta energía y así poder avanzar y disminuir el uso de las energías convencionales.

	Pais	Capacidad instalada, megavatios	Watts*per cápita	% del total mundial
1	China	254,36	147	35,6%
2	EE.UU	75,572	321	10,6%
3	Japón	67,000	498	9,4%
4	Alemania	53,783	593	7,5%
5	India	39,211	32	5,5%
6	Italia	21,600	345	3,0%
7	Australia	17,627	637	2,5%
8	Vietnam	16,504	60	2,3%
9	Corea del sur	14,575	217	2,0%
10	España	14,089	186	2,0%

24	Chile	3,205	142	0,40%
----	-------	-------	-----	-------

0.2 lista de los 10 primeros países con mayor innovación en energías renovables y Chile en el puesto N°24, de IRENA

La Organización conocida como IRENA (International Renewable Energy Agency) realizó un listado abarcando gran cantidad de países a nivel mundial en donde muestra las capacidades energéticas que han agregado cada país a sus matrices energéticas, mostrando en detalle la capacidad solar agregada a comienzos del año 2021. La tabla (0.2) muestra los primeros diez (10) países cuyo aumento energético fue mayor, Chile también es mencionado en el artículo llegando a ocupar el puesto N°24 de la lista denotando la enorme diferencia entre cada país ya sea por políticas o interés que poseen de mover sus países hacia las energías más limpias.

3.7.- Efecto Fotoeléctrico

Antes de explicar que es el efecto fotoeléctrico primero se va a explicar el origen de este y de todos los científicos que ayudaron a poder tener certeza sobre este fenómeno, toda esta información fue recopilada del estudio llevado a cabo por (Martínez, 2011).

3.7.1.-Edmund Becquerel

(24 de marzo de 1820 – 11 de mayo de 1891)

Fue en el año 1839 cuando el físico francés, Edmund Becquerel quien descubrió el efecto fotoeléctrico, en una celda electrolítica compuesta de dos electrodos metálicos sumergidos en una solución conductora, la generación energía aumentaba al exponer la solución a la luz. Observando una fuerza electromotriz que se origina al iluminar electrodos de platino u oro inmersos en una solución alcalina o ácida.

3.7.2.-Willoughby Smith

(6 de abril de 1828 – 17 de julio de 1891)

En el año 1873, el ingeniero británico Willoughby Smith fue quien descubrió la conductividad del Selenio, pues este elemento mostraba un cambio en su resistencia eléctrica cuando este era sometido a la luz.

3.7.3.-W.G. Adams y R.E. Day

(18 de febrero de 1836 – 10 de abril de 1915)

Ellos fueron quienes en 1877 el efecto de una pequeña barra de selenio en cuyos extremos se habían fundido electrodos de platino.

3.7.4.-Heinrich Hertz

(22 de febrero de 1857 – 1 de enero de 1894)

En los experimentos sobre la producción y recepción de ondas electromagnéticas realizados por Heinrich Hertz en el año 1887, donde realizó las primeras observaciones del efecto fotoeléctrico.

3.7.5.-J.J. Thomson

(18 de diciembre de 1856 – 30 de agosto de 1940)

En 1889, el físico británico Joseph John Thomson estaba investigando los rayos catódicos. Durante su trabajo logró deducir que los rayos catódicos consistían en

un flujo de partículas cargadas negativamente a los que el científico llamó corpúsculos y ahora se conocen como electrones.

3.7.6.-Von Lenard

(7 de junio de 1862 – 20 de mayo de 1947)

En el año 1902, Philipp Von Lenard realizó observaciones del efecto fotoeléctrico en las que se ponía de manifiesto la variación de energía de los electrones con la frecuencia de la luz incidente.

La energía cinética de los electrones podía medirse a partir de la diferencia de potencial necesaria para frenarlos en un tubo de rayos catódicos. La radiación ultravioleta requería potenciales de frenado mayores que la radiación de mayor longitud de onda.

3.7.7.-Albert Einstein

(14 de marzo de 1879 – 18 de abril de 1955)

Fue en el año 1905 cuando Albert Einstein propuso una descripción matemática del fenómeno fotoeléctrico, la cual parecía funcionar de manera correcta y en donde la emisión de electrones era producida por la absorción de cuantos de luz los cuales con el paso del tiempo serían conocidos como fotones. Einstein en un artículo mostró cómo la idea de partículas discretas de luz podía explicar el efecto fotoeléctrico y la presencia de una frecuencia característica para cada material por debajo de la cual no se producía ningún efecto.

El trabajo de Einstein predijo que la energía con la que los electrones escapaban del material aumentaba linealmente con la frecuencia de la luz incidente.

3.8.-Fenómeno Fotoeléctrico

Se define como efecto fotoeléctrico a la aparición de una corriente eléctrica en ciertos materiales cuando estos se ven iluminados por radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta), sin que sea necesario que aparezca o intervenga ningún efecto mecánico o físico (Martínez, 2011).

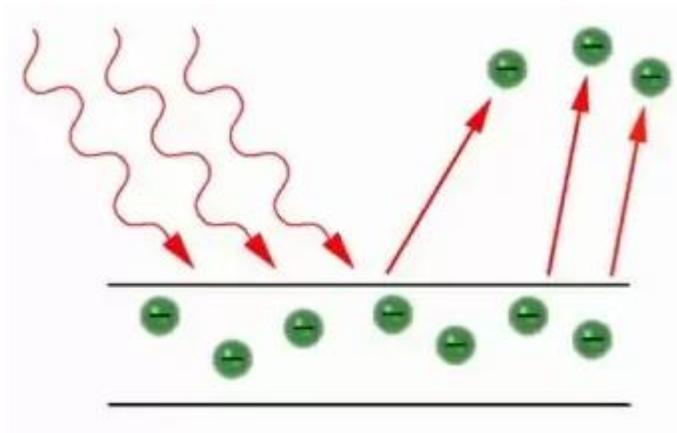


Ilustración 12 Imagen representativa del efecto fotoeléctrico, partículas de luz incidiendo en un semiconductor, imagen obtenida de Oriol Planas 2015, <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/efecto-fotovoltaico>

Los fotones tienen una energía singular debido a la frecuencia de onda de la luz. Cuando un electrón absorbe la energía que posee un fotón el cual tiene una energía mayor que la necesaria para expulsarlo del material y que también posee una velocidad dirigida hacia la superficie, entonces con todo esto el electrón puede ser extraído del material en el que se encuentra.

3.8.1- Interpretación cuántica del Efecto Fotoeléctrico

La interpretación cuántica del fenómeno fotoeléctrico que se entrega a continuación se obtuvo del texto de David Blas Martínez, 2011 (Martínez, 2011)

y del cual se utiliza para dar una mejor explicación al fenómeno fotoeléctrico, el cual es la base del funcionamiento de la ESFV.

La electricidad existente se puede definir como un flujo de electrones, las cuales son partículas de carga negativa los cuales rodean al núcleo atómico.

La energía que poseen los fotones (partículas de luz), es una característica la cual es dada por la longitud de onda de la luz. Si un fotón le aporta su energía interna a un electrón, este último obtiene una energía mayor a la que lo mantiene vinculado al núcleo del átomo, por ende, si el fotón que incide posee una energía mucho mayor a la que mantiene al electrón unido al átomo, esto le permitirá al electrón el poder ser extraído del material, mientras que en el caso de que el fotón posea una energía demasiado pequeña, esta no le permitirá al electrón el poder ser extraído del material.

Dentro de los cambios que se pueden producir dentro de la intensidad de la luz ninguno puede afectar a la energía de los fotones, pero si a la cantidad de estos, y a su vez, la energía de los electrones emitidos no va a depender de la intensidad de la luz incidente. Dentro de esto, los electrones se rigen por un principio algo extremista, esto hace referencia a lo siguiente:

- Cuando el valor de la energía de un fotón supera el valor de la función de trabajo (la energía que mantiene unidos al electrón y su núcleo), la energía del fotón se utiliza para liberar al electrón de su enlace atómico.
- Cuando el valor de la energía de un fotón en el caso contrario no es capaz de superar la función de trabajo, la energía del fotón será completamente repelida.

Siempre que el fotón sea absorbido por el material, parte de la energía que poseía el fotón se utiliza para liberar al electrón del núcleo del átomo y, lo que resta de esa energía se utiliza para contribuir en la entrega de energía cinética a la partícula libre.

En el caso de querer realizar un análisis cuantitativo del efecto fotoeléctrico, mediante la utilización del método derivado de Albert Einstein es necesario iniciar de las ecuaciones que se presentan a continuación:

$$\begin{aligned} & \text{Energía de un fotón absorbido} \\ & = \text{Energía necesaria para liberar 1 electrón} \\ & + \text{energía cinética del electrón emitido} \end{aligned}$$

Algebraicamente:

$$h_f = h_{f0} + \frac{1}{2} m v_m^2$$

Esta expresión también es posible describirla de la siguiente manera:

$$h_f = \varphi + E_k$$

Donde:

- h = Constante de Plank.
- f_0 = Frecuencia de corte o frecuencia mínima de los fotones para que tenga lugar el efecto fotoeléctrico.
- φ = Función de trabajo, o mínima energía necesaria para liberar un electrón de su enlace con el átomo.
- E_k = Máxima energía cinética de los electrones que se observa experimentalmente.

Si la energía del fotón (h_f) no es mayor a la función de trabajo (φ), ningún electrón será emitido.

3.9.-Semiconductores

Una de las partes más importantes del desarrollo fotovoltaico son los denominados semiconductores. Los semiconductores son elementos, los cuales poseen una conductividad la cual se puede catalogar entre la conductividad de los aislantes y la de los conductores. Cabe mencionar que los datos obtenidos de los semiconductores son extraídos de la tesis de (Martínez, 2011) y su estudio sobre la ESFV, de manera específica el apartado de los “Semiconductores”, Páginas 53-60.

El semiconductor más conocido es el silicio (Si), pues su comportamiento es muy estable frente a perturbaciones exteriores, siendo así el semiconductor más utilizado para la fabricación de componentes electrónicos. El átomo de silicio (Si) tiene tantas cargas positivas en su núcleo como electrones en las órbitas que lo rodean (para el caso del silicio este número es el 14).

El interés que se ve en los semiconductores es debido a su capacidad para dar lugar a una corriente, o un movimiento de electrones. Un electrón está más ligado al núcleo cuanto mayor es la cercanía entre ambos. Por eso es por lo que aquellos electrones que poseen menor fuerza de atracción por parte del núcleo son los electrones que se encuentran en las órbitas exteriores de estos elementos. Estos electrones pueden lograr quedar “libres” al tener contacto con una pequeña energía. (Martínez, 2011)

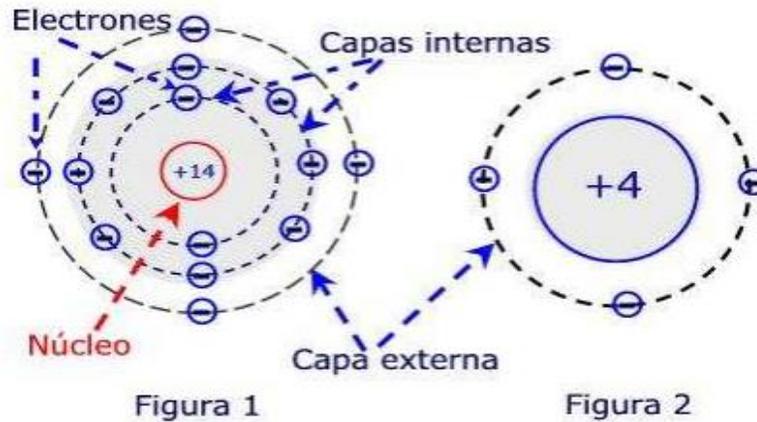


Ilustración 13 Representación de un átomo de silicio completo y su esquema simplificado (la zona sombreada de la figura 2, representa de una forma simplificada a la zona sombreada de la figura 1), imagen extraída de texto de Martines. A. 2011

3.9.1.-Semiconductor intrínseco

Una barra de silicio puro está formada por un conjunto de átomos enlazados entre sí según una determinada estructura geométrica conocida como red cristalina. Si se le entrega energía aun sistema desde el exterior, algunos de los electrones de las órbitas externas dejarán de estar enlazados y podrán moverse libremente. Desde un punto lógico, si los electrones se desprenden del átomo, este deja de estar completo, diciendo que se encuentra cargado positivamente debido a que ahora tiene una carga negativa menos en su interior, o que se ha generado un hueco (asociando el hueco a una carga positiva o al espacio que ocupaba un electrón).

Tal como menciona Martines D., el átomo siempre tenderá a estar en su estado normal, con todas sus cargas, por lo que dentro del caso mencionado este tratará atraer otro electrón de un átomo diferente para poder rellenar el espacio o hueco que se generó por la liberación de un electrón. Toda inyección de energía exterior produce un proceso, el cual puede clasificarse en dos puntos:

- Electrones que se quedan libres y se desplazan desde un átomo a otro a lo largo de la barra del material semiconductor de silicio.
- Aparición y desaparición de huecos en los diversos átomos del semiconductor.

3.9.2.-Semiconductor dopado o extrínseco

Al aplicar una tensión a un cristal de silicio, la parte positiva buscará atraer a los electrones y el lado negativo los huecos, esto favorece la aparición de una corriente a través del circuito. Cabe recalcar que, la corriente que se genera es de un valor muy pequeño, puesto que son pocos los electrones que se pueden arrancar de los enlaces entre los átomos de silicio.

Ya mencionado su funcionamiento, se debe dar una explicación sobre lo que se conoce como semiconductor dopado, pues, el dopaje consiste en el sustituir algunos átomos de silicio por átomos de algún otro elemento. A estos se les conoce como impurezas, dependiendo del tipo de impureza con la cual se dope al semiconductor de silicio aparecen dos clases de semiconductores, los cuales se conocen como:

- Semiconductor tipo P
- Semiconductor tipo N

3.9.3.-Semiconductor tipo P

Si en una red cristalina de silicio se le sustituye uno de sus átomos por un átomo de un material distinto el cual posea tres electrones en su capa exterior en lugar de cuatro como el silicio, esto daría como resultado que los tres electrones llenarán los huecos que dejaron los electrones del átomo de silicio, pero como

los del nuevo material son menos que los de silicio, quedará un hueco sin ocupar dentro del semiconductor.

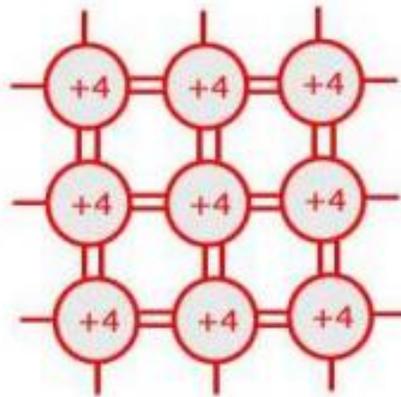


Ilustración 14 Enlace covalente de átomos de silicio, extraído de texto de Martínez.A,2011

Al sustituir un átomo de silicio por el de otro material provoca la aparición de huecos en el cristal de silicio, aumentando la cantidad de huecos por sobre la cantidad de electrones.

A esta red de silicio dopado con esta clase de “impurezas” se le denomina “Silicio tipo P”.

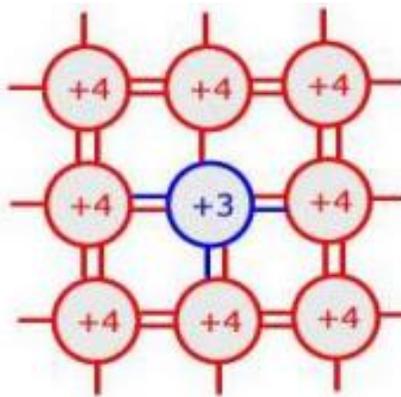


Ilustración 15 Semiconductor dopado tipo P, extraído de texto de Martínez. A, 2011

3.9.4.-Semiconductor tipo N

Si en una red cristalina de silicio, se sustituye unos de sus átomos por un átomo de otro elemento el cual posee cinco electrones en su capa exterior, esto da como resultado que cuatro de esos electrones van a servir para poder enlazarse con el resto de los átomos de la red y el quinto quedará libre.

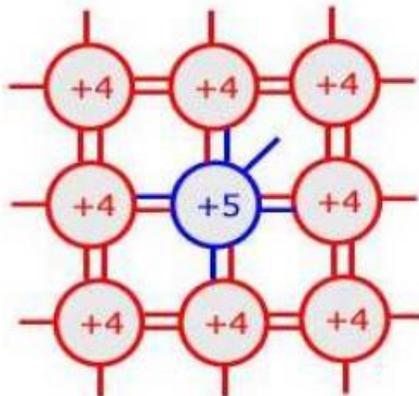


Ilustración 16 Semiconductor dopado tipo N, extraído de texto de Martínez. A, 2011

A esta red de silicio “dopado” con las impurezas ya mencionadas se les conoce como “Silicio tipo N”.

Las impurezas del tipo N más utilizadas para el proceso de dopado de semiconductores de silicio son: arsénico, antimonio y fósforo.

A modo de resumen acerca de los sistemas dopados se puede mencionar lo siguiente, elementos como el silicio, germanio o sales como el arseniuro de galio, el sulfuro entre otros, tienen características naturales para poder ser portadores de dos tipos de corriente eléctrica, siendo estas: una con electrones libres, con la capacidad de viajar dentro del cristal, y otra denominada como “huecos”, los cuales están dotados de cargas positivas. Dando así paso a los semiconductores de tipo P y tipo N.

Pero, la característica más importante dentro de los semiconductores es que la resistividad eléctrica de estos puede disminuir si se le agrega impurezas (también conocidos como dopantes), puesto que la acción de introducir estas impurezas en los semiconductores afecta las propiedades eléctricas de los semiconductores, y se le conoce como dopaje.

Es necesario señalar que los elementos dopantes son similares en estructura y en valencia química al material cristal original, los cuales se incluyen dentro de la matriz para que se pueda contar con un electrón extra o uno menos que en el semiconductor originalmente. Además, los elementos dopantes pueden captar controlar y guiar este haz de electrones en la matriz semiconductor.

Como ya se ha mencionado antes, el silicio es el semiconductor más utilizado dentro la ESFV, pero para poder utilizarlo primero se debe obtener como un cristal de gran pureza, para luego de esto doparlo con impurezas. El proceso de dopado es de un costo elevado y es una de las razones por lo que la ESFV puede ser costosa y requiera de una tecnología a la vanguardia.

Como se ha mencionado al comienzo de este punto, cuando un fotón incide sobre un semiconductor, como consecuencia del efecto fotoeléctrico, se rompen enlaces químicos y se genera además una corriente eléctrica dentro del semiconductor, con un valor que varía dependiendo de la temperatura ambiente, la cual puede reconducir el movimiento de los electrones en la dirección y sentido de la conocida unión tipo P-N. Los fotones de luz producen una tensión eléctrica parecida a la que se produce en los bornes de una pila. Mediante contactos metálicos en ambas caras, se puede lograr capturar esa energía eléctrica para con ello poder utilizarla en diversas aplicaciones.

Una vez explicados los tipos de semiconductores y sus diversas características y el funcionamiento del efecto fotoeléctrico, también es necesario hablar sobre el elemento base de las células solares el cual es el silicio.

3.10.-El silicio

La información recopilada y expresada a continuación sobre el elemento Silicio es extraída del documento de (Martínez, 2011).

El silicio es un elemento químico metaloide, su número atómico es el catorce y se encuentra situado en el grupo cuatro de la tabla periódica de los elementos formando parte de la familia de los carbonoides de símbolo Si. Es el segundo elemento con mayor abundancia en la corteza terrestre (con un total del 27.7% en peso), solo después del oxígeno. Este se presenta en forma amorfa y cristalizada.



Ilustración 17 Muestras de silicio amorfo (izquierda) y silicio cristalino (derecha), imagen extraída del texto de Martínez. A, 2011

El silicio posee una amplia gama de aplicaciones, gracias a sus propiedades, dentro de las que se pueden mencionar están la preparación de siliconas, en la industria de la cerámica técnica y, gracias a que es un semiconductor muy abundante, la industria electrónica y microelectrónica le ve un enorme interés para la creación de obleas o chips, pilas solares y circuitos electrónicos como lo son las células fotovoltaicas.

La base o elemento de gran importancia en la fabricación de células o módulos fotovoltaicos es el silicio pues es el elemento principal de su composición, pero este no se obtiene de una manera simple, por lo que a continuación se presenta una explicación de cómo se obtiene y se purifica el silicio para llegar al grado requerido para su uso en las celdas utilizadas para la ESFV.

El silicio al ser el segundo elemento más abundante después del oxígeno está presente en casi toda la corteza terrestre, “está presente fundamentalmente en forma de dióxido de silicio SiO_2 , este puede encontrarse en forma de gravas, arenas, minerales semipreciosos o en forma de silicatos. Este mineral se extrae fundamentalmente de la arena de mar o del cuarzo a través de la reducción en hornos” (SolarandWindEnergy, 2009), tras ese proceso se obtiene un silicio el cual presenta una pureza de entre 98% a 99.5% de pureza del material.

Para el procesamiento del silicio hasta lograr el grado necesario para la creación de un módulo solar tiene diferentes pasos, los cuales se presentan a continuación basándose en lo entregado por la Universidad de Jaén, España (UJAEN, s.f.), pues esta define el proceso de creación de celdas monocristalinas y policristalinas por fases, siendo estas las siguientes:

3.10.1.- Proceso de fabricación de las células fotovoltaicas

- Primera fase, Obtención del Silicio:

Como ya se había mencionado con anterioridad, el silicio se extrae de las rocas ricas en cuarzo (las cuales se encuentran formadas principalmente por SiO_2), esto se procesa mediante reducción con carbono, de lo cual se obtiene Silicio con una pureza aproximada del 99%, lo cual aún no resulta ser suficiente para darle un uso para electrónicos, pero este tipo de Silicio tiene una denominación, siendo esta **Silicio de grado metalúrgico**.

El Silicio obtenido es procesado por la industria de los semiconductores mediante procesos químicos, con el fin de obtener una concentración de impurezas inferior al 0.2 ppm (partes por millón). Tras este proceso al Silicio se le denomina **Silicio de grado semiconductor**.

El grado de semiconductor es un mínimo suficiente para uso de módulos solares, dependiendo del nivel de impurezas que el Silicio posea y de la técnica de cristalización utilizada pueden llegar a generar un producto con un total de impurezas cercano a una parte por millón, un Silicio con estas características también puede ser llamado de grado solar.

- Segunda Fase, Cristalización:

Cuando el Silicio ya se encuentra fundido es cuando se procede al proceso de cristalización a partir de una semilla. Esta semilla se extrae de silicio fundido, a medida que pasa el tiempo esta se va solidificando de forma cristalina, para dar como resultado, dependiendo si el tiempo es el suficiente, un monocristal.

El procedimiento más utilizado en esta fase es el método convencional de Czochralsky (método utilizado para la obtención de silicio monocristalino mediante un cristal semilla depositado en un baño de silicio).

Tras el término del proceso de cristalización se obtienen principalmente dos tipos de estructuras: una de estas es la **monocristalina** (la cual posee solo un frente de cristalización) y la otra estructura es la **policristalina** (la cual posee varios frentes de cristalización). La diferencia entre estas dos estructuras radica en el grado de pureza del silicio durante el crecimiento/recristalización.

- Tercera Fase, Obtención de Obleas:

El proceso de corte tiene gran importancia en la producción de las láminas u obleas a partir del lingote, ya que se supone una importante pérdida (pérdida que puede incluso llegar a rondar el 50%). El espesor de las obleas resultantes suele ser del orden de 2-4 mm (milímetros).

- Cuarta Fase, Fabricación de la Célula y los Módulos:

Cuando se han obtenido las obleas es necesario mejorar la superficie de estas, cuyas superficies presentan irregularidades y pueden tener además defectos ocasionados por el corte y el retirar los restos de polvo o virutas que estas puedan tener encima mediante el proceso de decapado.

Una vez se tiene una oblea totalmente limpia es cuando se procede al **texturizado** de esta (proceso que se realiza únicamente a celdas monocristalinas, pues las policristalinas no admiten este tipo de procesos), todo esto con el fin de lograr aprovechar al máximo las propiedades cristalinas del silicio para absorber de una forma mucho más eficiente la radiación solar.

Luego del texturizado se procede a la formación de la unión PN mediante deposición de distintos materiales, la unión de tipo PN está explicada con anterioridad en este documento.

El siguiente paso es la formación de los contactos metálicos de las células, con una forma de rejilla en la cara iluminada por el sol, de este modo permitirá el paso de la luz del sol y la extracción de corriente simultáneamente.

Una célula individual normal, con un área de unos 75 cm^2 y suficiente iluminación posee la capacidad de producir una diferencia de potencial de 0.4 V y una potencia de 1 W.

Tras todos los procesos ya mencionados puede proceder a añadir a la célula una capa antirreflexiva sobre la célula, todo esto con la finalidad de mejorar las posibilidades de absorción de la radiación solar. Cuando esto termina se procede

a la comprobación, previamente a su encapsulado, interconexión y montaje en los módulos.

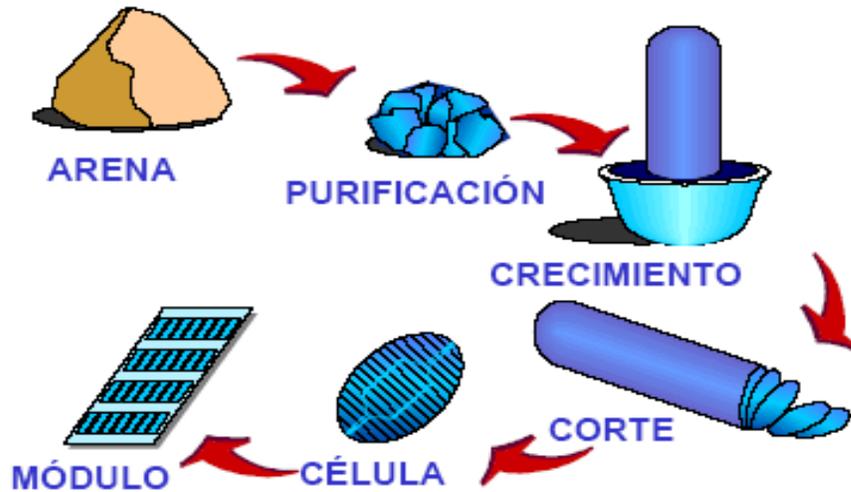


Ilustración 18 Imagen adaptada de "Tecnologías de fabricación de la célula solar", imagen de: etapas para la construcción de un módulo solar

http://www.ujaen.es/investig/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_05.htm

La ilustración N° 7 da una pequeña muestra del proceso que se lleva a cabo en el procesamiento del silicio desde el punto de origen hasta convertirse finalmente en células fotovoltaicas.

Mientras que la imagen N° 18 muestra el silicio procesado, convertido en lingotes y obleas las cuales posteriormente seguirán su procesamiento hasta convertirse en módulos fotovoltaicos.



Ilustración 19 imagen adaptada de "Tecnologías de fabricación de la célula solar", imagen de Lingotes y Obleas de Si (silicio),

http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_05.htm#:~:text=A%20partir%20de%20las%20rocas,denominar%20Silicio%20de%20grado%20metal%C3%BArgico.

4.- DESARROLLO

4.1.- Plantas Piloto

Una planta solar fotovoltaica es una central eléctrica en la cual se convierte la energía solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. El efecto fotovoltaico es que permite a los paneles poder generar electricidad mediante la luz solar, ya que este efecto se produce cuando los fotones (partículas de luz) impactan sobre los paneles fotovoltaicos, los que a su vez están compuestos de

materiales semiconductores logrando así desplazar un electrón, lo que termina generando una corriente eléctrica.

Desde un punto muy reducido una planta solar fotovoltaica se puede constituir por módulos o paneles fotovoltaicos y un inversor. Los paneles son los que se encargan de convertir la luz solar en electricidad mientras que los inversores se encargan de convertir la corriente eléctrica continua que proviene desde los paneles a corriente alterna para poder ser utilizada.

En este tipo de sistemas solares toda la electricidad generada se inyecta a la red de distribución eléctrica. Este funcionamiento conlleva un mejor rendimiento de la instalación porqué de este modo se aprovecha toda la energía generada (Plantas, Planta fotovoltaica: componentes y funcionamiento de una central, 2015).

En las instalaciones de las plantas solares fotovoltaicas es necesario disponer de más de un módulo, esto con la finalidad de lograr satisfacer los requerimientos de la demanda de energía, por razones como estas se procede a la utilización de módulos en serie y/o en paralelo para obtener valores de voltaje y corriente deseados (Alonso Lorenzo, s.f.).

4.1.2.-Componentes de una planta solar fotovoltaica

La construcción de una planta solar fotovoltaica depende de muchos elementos que son fundamentales para su completo funcionamiento, es por eso por lo que se recurre a analizar los datos recopilados de Oriol Planas,2015, dichos componentes son los mencionados a continuación:

- Módulos solares: Compuestos por células fotovoltaicas. Generalmente están fabricadas de un material llamado silicio. Las células fotovoltaicas son las encargadas de captar la energía solar y transformarla en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico.

- Torre meteorológica: Es el sitio donde se analizan las diferentes condiciones meteorológicas para determinar la radiación solar que se está recibiendo o se prevé recibir.
- Armario de corriente continua: Es donde se recibe la electricidad generada por las células fotovoltaicas.
- Inversor: Es el encargado de convertir la corriente continua proveniente de los módulos fotovoltaicos a corriente alterna.
- Armario de corriente alterna: Es el lugar donde se recibe la electricidad que el inversor convirtió en corriente alterna.
- Centro de transformación: Lugar encargado de adaptar la energía generada a condiciones óptimas de intensidad y voltaje aptos para ser transportada.
- Línea de transporte: Se trata de líneas las cuales permiten transportar la energía eléctrica hasta los centros de consumo.
- Sala de control: Lugar en donde se supervisa el funcionamiento de todos y cada uno de los elementos de la central fotovoltaica

4.1.3.-Componentes de una planta solar de baja tensión

Existen plantas fotovoltaicas de alta y baja tensión, en este caso se mostrarán los componentes de una planta de baja tensión que puede ser utilizada para dar abastecimiento a una ciudad o un pueblo (uso urbano), siendo esta información extraída de (Barberá Santos):

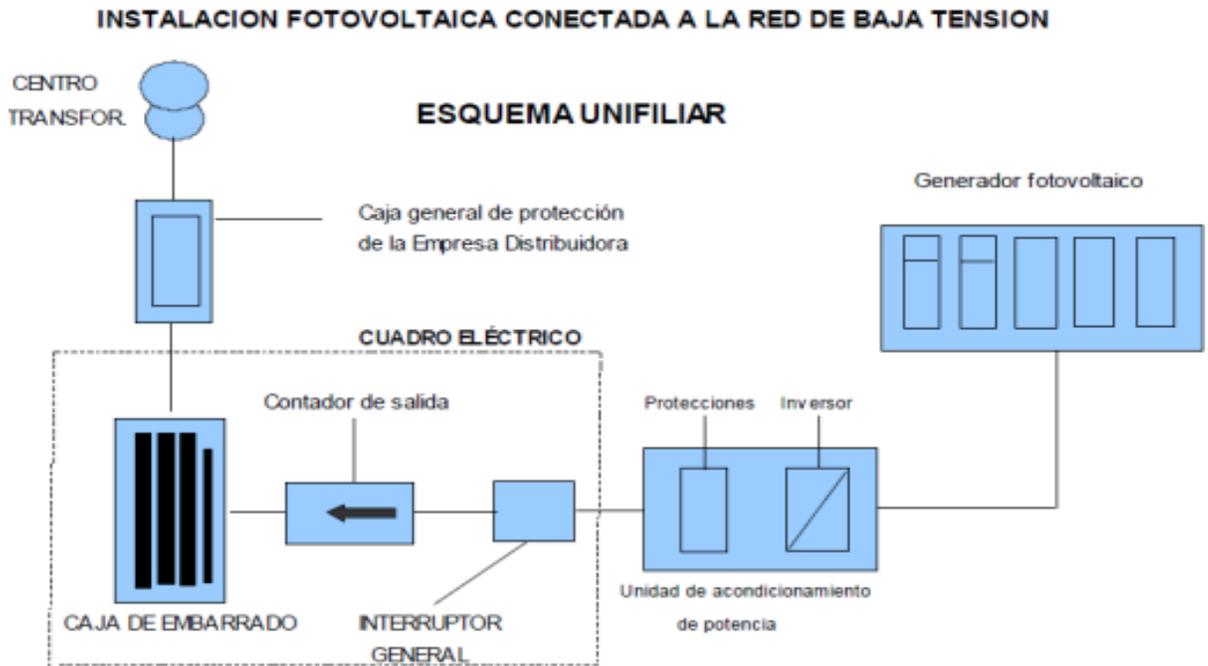


Ilustración 20 Esquema instalación fotovoltaica conectada a red, por D. Barbera de Introducción a la Energía Fotovoltaica

4.1.3.1.-Generador Fotovoltaico

El generador se encarga de transformar la energía solar en eléctrica. Este se encuentra formado por los paneles solares y los paneles se encuentran formados por las células fotovoltaicas conectadas entre sí, ya sea en serie y/o en paralelo, de manera que la tensión y la corriente que sean suministradas por el panel sean incrementadas hasta ajustarse al valor esperado. Al momento de iniciar la construcción de los paneles solares, estos se construyen inicialmente posicionando las células en serie hasta conseguir el nivel de tensión esperado, para luego unir células en paralelo hasta conseguir el nivel de corriente deseado.

4.1.3.2.-Inversor

El inversor es el encargado de transformar la energía recibida desde el generador fotovoltaico (en forma de una corriente continua) para así adaptarla a condiciones deseadas dependiendo del tipo de carga, donde generalmente se convierte la corriente continua en alterna para luego suministrarla a la red eléctrica.

4.1.3.3.-Equipo de medida

Este equipo es el encargado de controlar numéricamente la energía generada y volcada a la red para que con los datos obtenidos se puedan facturar a la Compañía a los precios acordados.

4.1.3.4.-Estructura de soporte de placas

El bastidor se encarga de sujetar el panel solar. Este es un tipo de kit de instalación utilizado, aunque en el caso de no ser suministrado se debe proceder de acuerdo con la normativa existente en el lugar, además se debe tener en cuenta la fuerza del viento al momento de la instalación ya que la estructura debe soportar una velocidad mínima de 150 Km/h de viento, ya que esta estructura será la encargada de fijar la inclinación de los paneles solares.

Existen diversos tipos de estructuras, siendo estos: desde un poste que soporte 4 paneles solares hasta grandes estructuras de vigas adaptadas para aguantar varias decenas de estos.

En el proceso de anclaje de los paneles se utiliza hormigón y tornillos de acero inoxidable, siendo la estructura y soportes de acero inoxidable, hierro galvanizado o aluminio, de un espesor de chapa de 1 mm (milímetro) y dejar una altura mínima entre el suelo y el panel de unos 30 cm (centímetros).

4.1.3.5.-Caja general de protección

La caja general de protección se encarga de mantener a salvo a toda la instalación eléctrica frente a posibles cortocircuitos o alguna punta en la intensidad la cual podría afectar a los componentes conectados a la red. Esta caja de protección puede llevar protecciones térmicas como fusibles.

4.1.3.6.-Cableado de interconexión

El cableado se encarga de conectar los distintos paneles solares con las cajas de interconexión y con los otros instrumentos del sistema.

El cableado se realiza usando elementos de alta calidad para asegurar su durabilidad y seguridad en climas complejos. Los cables tendrán una última capa de protección de un material resistente a la intemperie y a la humedad, para así no verse afectado por agentes atmosféricos.

4.1.3.7.-Acometida eléctrica

Esta es la parte de la instalación de la red de distribución, la cual alimenta a la caja general de protección o unidad de función equivalente (CGP).

Atendiendo su trazado, al sistema de instalación y a las características de la red, la acometida será subterránea. Los cables serán aislados, de tensión asignada 0,6/1 KV, y podrán instalarse directamente enterrados o enterrados bajo tubo.

4.1.3.8.-Puesta a tierra

La puesta a tierra es una parte de gran importancia ya que es la encargada de delimitar la tensión que pueda llegar a presentarse en un momento dado en las

masas metálicas de los componentes, asegurando las protecciones y eliminando riesgos por mal funcionamiento o la avería de algún equipo.

4.2.-Clasificación de instalaciones

La clasificación de instalaciones solares fotovoltaicas (ISF) se realizan en función de la aplicación a la que están destinadas. Así, haciendo una distinción entre las aplicaciones autónomas y las aplicaciones conectadas a la red (Diaz & Carmona).

4.2.1.-Aplicaciones autónomas

Estas son capaces de producir electricidad sin ningún tipo de conexión con la red eléctrica, a fin de entregar esta energía eléctrica al lugar en donde están emplazadas. Estas pueden presentar aplicaciones en diversas áreas tales como:

4.2.1.1.-Aplicaciones espaciales

Se encargan de proporcionar energía eléctrica a objetos colocados en el espacio por el ser humano, dentro de los cuales existen satélites de comunicaciones o la estación espacial internacional.

4.2.1.2.-Aplicaciones terrestres

Dentro de esta clasificación se pueden mencionar algunas aplicaciones como:

- Telecomunicaciones: Telefonía rural, vía radio; repetidores.

- Electrificación de zonas rurales: Son instalaciones capaces de implementarse en cualquier lugar, están pensadas originalmente para países en desarrollo, en zonas donde la corriente eléctrica no llega.
- Señalización: Señales de tráfico luminosas, las cuales se alimentan con paneles solares.
- Alumbrado público: Para zonas de difícil acceso para llevar una línea de red eléctrica.
- Redes VSAT: Estas son redes privadas de comunicación, las cuales actúan a través de satélites, donde la energía fotovoltaica se utiliza para alimentar las estaciones de dicha red.

4.2.2.-Aplicaciones conectadas a la red

En este tipo de aplicaciones quienes producen la energía no la utilizan del todo o de una forma directa, esto se refiere a que la energía se vende al organismo encargado de la gestión energética del país. La ventaja de este tipo de aplicaciones es que la generación de electricidad se produce cuando la demanda por esta es mayor, lo cual es durante el día, este tipo de aplicaciones se pueden observar a continuación:

4.2.2.1.-Centrales fotovoltaicas y huertos solares

Estos son lugares en donde se reúnen instalaciones fotovoltaicas de diferentes propietarios con la finalidad de vender la energía acumulada a las empresas eléctricas.

4.2.2.2.-Edificios fotovoltaicos

Una de las últimas aplicaciones de la energía fotovoltaica, una rápida evolución en los productos de este tipo les ha permitido a los módulos solares implementarse en diversas áreas, como material constructivo en cerramientos, cubiertas o fachadas de gran valor visual.

La ESFV es el sistema de energías renovables más adecuado para la generación de electricidad en zonas urbanas sin provocar efectos ambientales adversos (Díaz & Carmona).

4.3.-Baterías

Existen elementos en los cuales la energía encontrada o generada se puede guardar o almacenar, pues como lo expresa (Ministerio de Energía, 2020): “Los sistemas de almacenamiento energético están conformados por “acumuladores”, que son elementos que concentran energía almacenada de cierta forma o naturaleza en particular, para luego ser transformada a energía eléctrica y pueda ser entregada cuando se requiera”.

El proceso de la ESFV también hace uso de las baterías para el almacenamiento de la energía recolectada por los módulos fotovoltaicos, ya que estos no pueden realizar los procesos de generación de energía durante la noche o durante ciertas épocas del año donde la radiación recibida sobre el módulo solar fotovoltaico no le permita a los sistemas funcionar bajo los valores para los que fueron diseñados, es por estos sucesos que se procede a almacenar parte de la energía generada en baterías.

El estudio que se presenta a continuación sobre la función de las baterías en los procesos de la energía solar fotoeléctrica es extraído de (mheducation, s.f.) para ayudar a comprender la utilidad de estas y su efectividad en los procesos.

Las baterías son dispositivos los cuales son capaces de transformar la energía química en eléctrica. Las baterías se recargan desde la electricidad que producen los paneles o módulos solares, mediante el uso de reguladores de carga para así poder entregar su energía a las salidas de la instalación, para luego ser consumida.

¿A qué se debe todo este interés por el uso de baterías?, esto es debido a que “los acumuladores comúnmente utilizados en sistemas de almacenamiento conectados a redes de distribución o aisladas son las baterías. La razón de esto es porque son dispositivos de fácil escalabilidad e interconexión, poseen atractivas características técnicas en capacidad de energía almacenable, potencia de carga/descarga para distintas aplicaciones y buen compromiso de masa/volumen versus energía (densidad), además de ser equipos seguros bajo determinados cuidados” (MinisteriodeEnergía, 2020).

4.3.1.-Conceptos preliminares

La información sobre los conceptos preliminares que caracterizan a una batería se obtiene de (MinisteriodeEnergía, 2020), pues existen ciertos conceptos clave para poder comprender la operación de una batería y también el poder ser capaz de diseñar e implementar sistemas de almacenamiento con estas tecnologías, a continuación, se enseña una serie de conceptos sobre las baterías o celdas:

- Una batería es un dispositivo que almacena energía química y la transforma en electricidad. La carga eléctrica nominal que una celda o batería es capaz de almacenar se ve reflejada por su capacidad, la cual se mide en Ampere/hora (Ah).
- Dependiendo de la carga almacenada es que se genera una tensión, voltaje o potencial de circuito abierto en la batería (tensión entre los electrodos o terminales positivos y negativos cuando no circula corriente tras pasar cierta cantidad de minutos en los cuales la batería no es cargada o descargada).

- Si se considera el rango de tensión de operación y su capacidad, es posible conocer la energía es capaz de almacenar una batería, la cual se mide en Watt/hora (W/hr)

$$E_{batería}(t_{final}) [kWh]$$

$$= E_{batería}^{inicial}(t_{final}) + \frac{1}{3600} \int_{t_{inicial}}^{t_{final}} Voc (SoC) * I_{bat} (t) * dt$$

Ecuación 1 Cálculo de la energía almacenada en una batería

Donde:

$E_{batería}(t_{final})$ = Energía que la batería es capaz de almacenar al final del periodo.

$E_{batería}^{inicial}$ = Energía que la batería tiene almacenada al principio del periodo.

$Voc(SoC)$ = Tensión en fuente equivalente de circuito abierto según estado de carga de la batería.

$I_{bat}(t)$ = Corriente de la batería, en carga o descarga.

- Al considerar la química de una batería y su formato, es posible determinar cuánta energía es capaz de almacenar dicha batería ya sea por volumen o masa. Dicha unidad se conoce como densidad de energía volumétrica o gravimétrica, la cual se mide en Wh/litro o Wh/kg de manera respectiva. El texto (Ministerio de Energía, 2020) afirma que, si estos datos son entregados por los fabricantes, permitiría el poder calcular la energía que la batería es capaz de almacenar.

- Una batería tiene la capacidad de poder recibir diferentes magnitudes de corriente eléctrica, siempre y cuando las cargas estén dentro del rango aceptable para cada batería y sus características.
- Como se menciona anteriormente, una batería puede almacenar diferentes niveles de energía. Para representar el nivel de energía que la batería posee es que se define el estado de carga (State of Charge SoC), el cual se mide desde 0% hasta el 100%.
- Dentro de los datos entregados sobre las baterías poseen, se encuentra el hecho de que estas también envejecen, lo cual se puede manifestar como la pérdida de la capacidad de entregar corriente y/o la disminución de la capacidad del almacenamiento energético. En base a esto se define un estado de salud para las baterías (State of health o SoH), el cual establece el porcentaje de energía que la batería es capaz de almacenar actualmente con respecto a su capacidad de fábrica.
- Se define también, dependiendo de la química de cada batería, los rangos de temperatura que puede manejar cada una, además, de los estados de carga para que estas sean capaces de durar la cantidad de ciclos nominales de operación.

Las grandes misiones que poseen las baterías dentro de los proyectos fotovoltaicos son tres, estos son:

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

Además, es importante mencionar que, al momento de realizar el dimensionamiento de las instalaciones, los paneles solares deben tener siempre

una tensión de trabajo superior a la fijada por las baterías, para que, de este modo, el proceso de carga de las baterías y el funcionamiento del regulador sean los correctos.

Prosiguiendo con los parámetros de mayor importancia al momento de escoger los “acumuladores de energía” es su **capacidad**. La capacidad se puede definir como la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo. Esta se mide en amperios/hora (A/hr), y también se puede calcular como el producto de la intensidad de descarga del acumulador durante el tiempo en el que está actuando: $C = I t$

De una manera adicional a la capacidad que presentan los acumuladores, existen otros parámetros en los acumuladores que se utilizan en las instalaciones fotovoltaicas como lo son las mencionadas a continuación:

- **Eficiencia de carga:** Relación entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Es importante que sea un valor lo más alto posible para que se encuentre en buen funcionamiento; por otro lado, si la eficiencia es baja, será necesario el tener que aumentar el número de paneles solares para obtener los resultados deseados.
- **Autodescarga:** Proceso mediante el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.
- **Profundidad de descarga:** Cantidad de energía, que se obtiene de la batería durante una determinada descarga, partiendo del acumulador completamente descargado, esto tiene relación con la vida útil del acumulador.

Teniendo ya en cuenta todos los parámetros eléctricos, también están las características que serían deseables para las baterías a utilizar en instalaciones solares fotovoltaicas como:

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

4.3.2.-Tipos de baterías

Teniendo ya en cuenta las características y parámetros que deben poseer las baterías o acumuladores, también se debe mencionar los diferentes tipos de baterías que se pueden llegar a implementar en los procesos solares, ya que estas se pueden clasificar en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados, a continuación se presenta una tabla recopilada en la cual se puede comparar los principales tipos de baterías que se pueden encontrar en el mercado, a través de las características básicas que estas poseen.

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º 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

Ilustración 21 características de los principales tipos de baterías, de Componentes de una instalación solar fotovoltaica

Dentro de las baterías que se eligen para los procesos solares se encuentran las más utilizadas, siendo estas las de plomo-ácido, debido a sus características, ya que dentro de este tipo de batería se pueden encontrar diversos modelos. Procediendo a mostrar a continuación una tabla en donde se mostrarán los diversos modelos de las baterías de plomo-ácido que el mercado puede ofrecer y las características de cada una de estas.

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

Ilustración 22 "Baterías utilizadas en instalaciones solares", de Componentes de una instalación solar fotovoltaica (mheducation, s.f.)

Siguiendo con las descripciones de las diferentes características, parámetros y tipos de baterías que existen según (mheducation, s.f.) es que también hacen mención sobre cual clase de batería puede ser óptima para cada proceso dependiendo de las características que tenga la planta solar y de los requerimientos que estos requieran cumplir.

En instalaciones en donde se generen descargas profundas, es óptimo escoger baterías tubulares estacionarias, así como en las instalaciones en las que necesite de una capacidad elevada.

Para una instalación pequeña, o de un mantenimiento difícil, se debe optar por la utilización de baterías de gel, pero manteniendo una vigilancia constante para evitar que se produzcan ciclos de descargas profundos.

Cuando se busca escoger acumuladores, es muy importante tener en cuenta el efecto de la temperatura sobre estos. La capacidad aumenta a medida que la temperatura aumenta y esta también disminuye cuando la temperatura disminuye, por ende, si el acumulador se encuentra en terrenos donde se presentan bajas temperaturas se debería escoger un acumulador de una capacidad mayor que la se calculó al momento de la realización del dimensionamiento de la instalación, para así evitar problemas futuros en el funcionamiento del acumulador.

4.3.3.-Proceso de carga y descarga de una batería

La información presentada a continuación se extrae de un informe obtenido del (Ministerio de Energía, 2020) el cual explica que, dependiendo de si la batería es de plomo-ácido, litio u otro material, es necesario el tener ciertas consideraciones durante los procesos de carga y descarga. Para el caso de una batería del tipo plomo-ácido, una sobre descarga puede producir sulfatación y la disminución de la vida útil de la batería, mientras que en una sobrecarga esta puede llegar a generar una gasificación interna y llegara producir hidrógeno el cual es altamente explosivo. Por otro lado, las baterías de litio al momento de sufrir una sobre descarga se puede producir la disminución de la vida útil de la batería, mientras que si se llega producir una sobrecarga en estas baterías se generaría un aumento abrupto de la temperatura interna, desencadenando un riesgo de posible flama y un potencial de incendio en la instalación. Por temas de seguridad

como estos es que se diseñan sistemas de carga y descarga para evitar accidentes.

Dentro de las baterías más utilizadas a nivel nacional como a nivel internacional en sistemas fotovoltaicos son las baterías de Plomo-Ácido y las baterías de ion de Litio, por lo que a continuación se entregarán datos relevantes sobre estas dos baterías.

4.3.3.1.-Baterías de plomo-ácido

Como lo menciona el (MinisteriodeEnergía, 2020), una característica a destacar de este tipo de baterías es su ciclo profundo, lo que se puede expresar como la capacidad de carga y descarga cercanos a su capacidad, esta característica permite el poder utilizar un porcentaje mayor de la energía que la batería dispone.

“Las baterías de plomo ácido funcionan gracias a una reacción química entre las placas de plomo y el ácido sulfúrico. Este tipo de energía requiere una inversión inicial menor pero un punto de mayor importancia en la disciplina en términos como mantenimiento y en la forma de uso” (Solé, 2022).

4.3.3.2.-Baterías de Litio

Siguiendo con la descripción entregada por el (MinisteriodeEnergía, 2020), se procede ahora a explicar las características de las baterías de litio, las segundas más utilizadas de los tipos de baterías.

Las baterías de litio poseen una excelente relación volumen/capacidad energética y masa/capacidad energética, lo que permite alcanzar una alta densidad de energía volumétrica y gravimétrica. Dentro de una característica de estas baterías de litio es su sensibilidad a la temperatura al operar fuera de su rango de operación durante la carga o la descarga, por lo que se aplica un

sistema de gestión de baterías o BMS, para monitorear la operación y así evitar que estas operen fuera de su rango óptimo.

En comparación a las baterías de plomo ácido, “las baterías de litio son una alternativa cada vez más clara a las baterías de plomo ácido. Ya que estas requieren de una mayor inversión inicial, aunque, sin embargo, el valor de estas baterías ha decaído en los últimos años convirtiéndolo en una opción más accesible” (Solé, 2022).

Dentro de las baterías de litio se pueden encontrar las baterías de ion de litio, las cuales son utilizadas en los procesos fotovoltaicos por sus capacidades, y es por eso por lo que esta se mencionará a continuación.

4.3.3.3.-Baterías de ion de Litio

Las baterías de iones de Litio (como NMC o Níquel Manganeso Cobalto), se caracterizan por poseer una mayor densidad energética, y esto se traduce como la capacidad de almacenar una mayor cantidad de energía dentro de un mismo volumen. Dentro del mercado se pueden encontrar en módulos conectados entre sí con la finalidad de armar bancos de baterías, de la mano de la protección de un BMS, para así poder crear un sistema de baterías.

4.4.-infraestructuras de plantas

En diferentes partes del mundo la energía solar se convierte en una fuente de alta importancia al ser una energía limpia lo cual ayuda a reducir la contaminación ambiental y la nula emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera como el CO_2 lo cual es un paso hacia un planeta que no utilice energías fósiles para abastecerse, además de que la energía solar cada año ha ido mejorando en su capacidad, en células solares de mejor calidad y reduciendo los costos de la

implementación de esta lo cual la vuelve una de las energías renovables de mayor importancia a lo largo del mundo y una de las que poseen el mayor crecimiento gracias a sus amplias virtudes, es por eso que diversos países invierten en esta energía creando grandes parques de ESFV como de nuevos proyectos que buscan crear cada vez una planta de mayor capacidad para alimentar con esa energía a más lugares dentro de esos países, estas plantas reflejan el interés por los países por esta energía por lo que a continuación se presentarán algunas plantas solares y proyectos de esta misma energía en diversas partes del mundo.

4.4.1.-Bhadla Solar Park

Hasta la fecha del año 2020 la empresa **Hero Future Energies**, finalizó un proyecto de energía solar de 300 MW en el parque de energía solar de Bhadla en Rajasthan, India, dicha información se obtuvo de (Roca, Las 20 mayores plantas fotovoltaicas del mundo, 2020). Este proyecto terminó por completar la capacidad instalada del parque con un total de 2.245 MW convirtiéndola en la planta solar más grande del mundo al 2020.



Ilustración 23 Bhadla Solar Park. 2.245 MW. India, por A. Roca, 2020, de elperiodicodelaenergia, <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo>

4.4.2.-El Romero

Ubicada en el Desierto de Atacama en Chile, es la planta solar fotovoltaica más grande de Latinoamérica. La planta ocupa una superficie de 2,8 kilómetros cuadrados con un total de 776.000 paneles fotovoltaicos de una potencia de 196 MW. Costo: 343 millones de dólares

Conectada a red a finales de 2016, la planta fotovoltaica El Romero Solar representa un gran reto logístico y tecnológico felizmente superado por ACCIONA. Ponen en marcha en el Desierto de Atacama una instalación de última generación, capaz de suministrar energía limpia a unos 240.000 hogares (Acciona, Planta fotovoltaica el Romero Solar, s.f.).

4.4.3.-Topaz Solar Farm Estados Unidos

La de las plantas de las cuales se hará mención es Topaz Solar Farm, una planta solar emplazada en el país EE. UU y cuya descripción se obtuvo de (Roca, Las 20 mayores plantas fotovoltaicas del mundo, 2020), la compañía que llevó este proyecto fue MidAmerican Solar, poniendo en marcha el proyecto en el año 2014, en la localidad de San Luis Obispo, California, esta planta solar ocupa una superficie de 2.600 hectáreas (26 Km^2) donde se encuentran un total de 9 millones de paneles fotovoltaicos de First Solar con una potencia de 550 MW (Mega Watts).

Esta planta cuya inversión fue de 2.500 millones de dólares permitió suministrar energía suficiente para un total de 160.000 hogares, además de ahorrar un total de 377.000 toneladas de CO_2 al año, valores equivalentes a los entregados por un total de 73.000 vehículos en las carreteras.



Ilustración 24 Topaz Solar Farm. 550 MW. Estados Unidos, por A.Roca, 2020 de *elperiodicodelaenergía*, <https://elperiodicodelaenergía.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

4.4.4.-Kamuthi

Kamuthi Solar Power Project es una planta solar fotovoltaica (construida en el año 2016), ubicada en Kamuthi, a 90 Km de Madurai, en el estado de Tamil Nadu, India y ha sido realizada por **Adani Green Energy**, perteneciente a **Adani Group**. La planta tiene una **capacidad de generación de 648 MW, que la convierten en la planta más grande de la India** (Roca, Las 20 mayores plantas fotovoltaicas del mundo, 2020).

Siguiendo con la descripción entregada de parte de (Roca, Las 20 mayores plantas fotovoltaicas del mundo, 2020) con respecto a la planta solar Kamuthi, esta tuvo una inversión de 4.550 millones de rupias (alrededor de 550 millones de dólares), esta se compone de 2.5 millones de módulos solares y 27.000 Mt de estructuras. Además, la instalación cuenta con 576 inversores, 154 transformadores y casi 6.000 kilómetros de cables. Esta planta ocupa un terreno de un total de 514 hectáreas (5.1 Km^2). Durante la realización del proyecto se utilizaron 30.000 toneladas de acero galvanizado y la participación de 8.500

trabajadores para lograr construir la planta por completo en un plazo de ocho meses.



Ilustración 25 Planta fotovoltaica de Kamuthi. 648 MW. India, por A.Roca, 2020, de elperiodicodelaenergía,

4.4.5.-Kurnool

El parque ocupa una superficie de 2.400 Hectáreas (24 Km^2) en Panyam Mandal, en el distrito de Kurnool, en Andhra Pradesh, India. El proyecto está siendo ultimado por **Andhra Pradesh Solar Power Corporation Private Limited (APSPCL)**, una empresa conjunta de **Solar Energy Corporation of India, Andhra Pradesh Power Generation Corporation** y **New and Renewable Energy Development Corporation of Andhra Pradesh Ltd** (Roca, Las 20 mayores plantas fotovoltaicas del mundo, 2020).

Siguiendo con la descripción que (Roca, Las 20 mayores plantas fotovoltaicas del mundo, 2020) entrega, la construcción del parque requirió de una inversión de alrededor de 7.000 millones de rupias (unos 1.100 millones de dólares u 80.746 millones de pesos chilenos el 22/nov/2022) cuyo financiamiento ha sido de parte de los desarrolladores y los gobiernos como el central y el estatal. El parque utiliza más de 4 millones de paneles solares con una capacidad de 315 vatios cada uno. Los paneles se encuentran conectados a unas cuatro estaciones de 220/33 kV de 250 MW cada una y además de una subestación eléctrica de 400/220 kV integrada por casi 2.000 kilómetros de circuitos de cables.

El parque utiliza más de 4 millones de paneles solares con una capacidad de 315 vatios cada uno. Los paneles están conectados a cuatro estaciones de 220/33 kV de 250 MW cada una y una subestación eléctrica de 400/220 kV integrada por casi 2.000 kilómetros de circuito de cables. El parque solar Kurnool genera cerca de 8 GWh al día, producción suficiente para satisfacer el 80% de la demanda eléctrica del distrito de Kurnool (Roca, elperiodicodelaenergía, 2017). Para cuando la planta se encontrará en total funcionamiento esta tendría una capacidad total de 1.000 MW.



Ilustración 26 Kurnool Ultra Mega Solar Park. 1.000 MW. India, por A.Roca, 2020, de elperiodicodelaenergía, <https://elperiodicodelaenergía.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

4.4.6.-Shakti Sthala

La planta de energía solar conocida como Shakti Sthala se convirtió en la planta de ESFV más grande del mundo en el 2018.

Con un presupuesto de 2.530 millones de dólares, Shakti Sthala ubicada en Pavagada, en el distrito de Tumakuru Karnataka al sur de India se ha convertido en la instalación fotovoltaica más grande del mundo (AutoSolar, 2018).

Según datos recopilados de AutoSolar, 2018, la planta solar abarca en total una superficie de 5.261 hectáreas (52.6 Km^2) y se esperaba que su funcionamiento se normalizara para finales del año 2018 generando así un total de 2 GW de energía.

El desarrollo del parque se inició con la creación de Karnataka Solar Power Development Corp.Ltd (KSPDCL) en marzo del 2015 como una empresa conjunta entre Karnataka Renewable Energy Development Ltd (KREDL) y Solar Energy Corp. De India (SECI) (EXELSOLAR, 2018).

4.4.7.-Australia-Asia Power Link (AAPowerLink)

La empresa Sun Cable está desarrollando la red de infraestructura de energía solar más grande del mundo, lo que hace posible alimentar ciudades enteras con energía renovable.

El proyecto insignia de la empresa Sun Cable, AAPowerLink aprovechará y almacenará la energía solar de uno de los lugares más soleados del planeta en el territorio Norte de Australia, para así poder transmitir de manera continua cada día a Darwin y Singapur a través de un sistema de transmisión de corriente continua de alto voltaje (4.200km de Cable submarino HVDC) (SunCable, s.f.).

Esta será una instalación de almacenamiento de batería y granja solar más grande del mundo en el territorio Norte de Australia, logrando así ser capaz de

suministrar hasta el 15% de las necesidades totales de electricidad de Singapur. Todo esto es posible gracias a que la granja solar consta con un total de 12.000 hectáreas de paneles solares (120 Km²) con la capacidad de generar entre 17 a 20 GW.

Los costos de inversión para un proyecto de esta magnitud tendrán un costo aproximado de más de 30.000 millones de dólares australianos (18.117.613.000.000 CLP actualizado al 30/10/2022). La compañía pretende dar inició a la obra el año 2024 para comenzar a suministrar energía el año 2027, esperando además una vida útil del proyecto de aproximadamente 7 décadas.



Ilustración 27 imagen adaptada de “Proyecto insignia de Sun Cable” de Sun Cable, la imagen muestra el proyecto de planta solar más grande del mundo, <https://suncable.energy/>

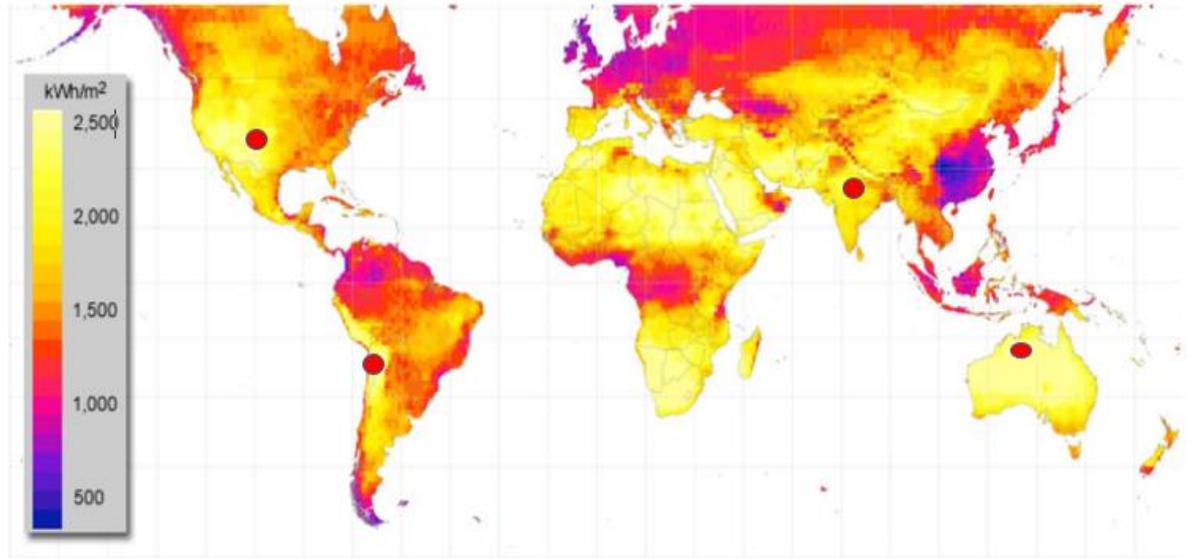


Ilustración 28 Imagen adaptada de “Mapa de irradiancia solar”, de 3amper, imagen donde se señala la ubicación de grandes parques solares alrededor del mundo relacionado a la radiación solar, en lugares como Australia, India, Estados Unidos y Chile. <https://3amper.com/blog/2017/06/21/la-verdadera-potencia-de-los-paneles-solares/>

5.- APLICACIONES DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

La ESFV a lo largo del tiempo ha empezado a verse implementada en diversos lugares, demostrando así su inmensa utilidad para la humanidad, desde su aplicación en los hogares hasta grandes parques solares para poder alimentar proyectos mineros o parte del requerimiento de algunas ciudades, además de su componente ambiental al lograr implementarse en áreas como la agricultura o incluso llevarla a los mares o grandes masas de agua, y estas grandes aplicaciones se dan a conocer a continuación:

5.1.- Energía Agro-voltaica

La energía agro voltaica busca generar una sinergia entre la ESFV y la agricultura mediante la instalación de paneles solares en terrenos de cultivos, posicionándose, así como uno de los referentes para hacer más sostenible un sector que no quiere quedarse atrás en la lucha contra el cambio climático (IBERDROLA, s.f.).

El cambio climático es la gran amenaza que se intenta evitar a toda costa, ya que los combustibles fósiles y los procesos de la agricultura son aquellos que más contribuyen en la emisión de gases de efecto invernadero los cuales provocan el calentamiento global. Ante tal problema como el calentamiento global es que las energías renovables buscan ser la solución a esto, además también existe la agricultura sostenible, los cuales se convierten en los pilares fundamentales de esto.

La energía agrovoltaica o Agro fotovoltaica, consiste principalmente en aprovechar una superficie de terreno por dos procesos diferentes como lo es la obtención de energía solar y la de obtener productos agrícolas. Los paneles solares vivirían en armonía con los cultivos dentro de un mismo espacio. Esta técnica fue ideada por Adolf Goetzberger y Armin Zastrow en el año 1981.

El aprovechamiento de la energía solar en áreas agrícolas favorece de igual manera el autoconsumo de energía fotovoltaica. Además, el agro voltaica está ligada completamente al Smart farming, lo cual permite aumentar los rendimientos de los procesos gracias a las innovaciones en las tecnologías.

5.1.1.-Funcionamiento

Para la implementación de estos sistemas de energía fotovoltaica dentro de los procesos de la agricultura se utilizan sistemas de soportes fijos, estos permiten el poder elevar las placas al menos unos cuantos metros, de este modo se les

permite un acceso libre a las máquinas agrícolas hacia los cultivos que se encuentran debajo de los paneles. Otra forma de implementar estos sistemas agro-voltaicos son sobre los graneros o invernaderos o en cables elevados, permitiendo así que estos puedan ser desmontables y más ligeros. Para una mayor optimización de estos procesos se pueden implementar sistemas de seguimiento, dichos sistemas permiten optimizar los procesos y prevenir que los paneles proyecten sus sombras en un único punto durante todo el día, adaptándose así a las necesidades de las plantas que se encuentran debajo de estos.

5.1.2.-Ventajas

Los principales beneficios que esta implementación pueden traer a nivel medioambiental son con relación a la disminución de gases de efecto invernadero en el sector agrícola, además, el doble uso de un mismo terreno por parte de la agricultura y la energía fotovoltaica reduce la presión en los ecosistemas y la biodiversidad de la zona.

Los estudios calculan que la electricidad generada por los paneles solares aumenta en más de 30% el valor económico de las explotaciones agrovoltaicas al mejorar la eficiencia y el rendimiento del terreno, datos obtenidos de (IBERDROLA, s.f.).

5.1.3.-Desventajas

Las desventajas que pueden presentarse al utilizar esta tecnología son las sombras que generan los paneles sobre los cultivos y su productividad, de esta manera obligaría a las personas a optar por plantas mucho más resistentes para restringir el uso de aquellas más dependientes del sol. El tener que limitar el uso de algunas plantas también podría limitar los lugares donde esta forma de aplicar

esta tecnología se podría implementar pues en zonas poco cálidas o donde la luz solar no es tan constante todo el año haría menos factible esta implementación.

5.1.4.-Aplicaciones

IBERDROLA ha catalogado las principales aplicaciones que la energía agrovoltaica podría tener, dependiendo del entorno y del uso que quieran darles a las instalaciones, siendo estas las siguientes:

- Producción de electricidad y cultivos: Los paneles solares ocupan el mismo terreno que las frutas, verduras, hortalizas y cereales, a las que protegen de fenómenos atmosféricos.
- Producción de electricidad y pastos: En terrenos no cultivables, o donde la meteorología es menos favorable para ellos, se puede utilizar el suelo bajo los paneles solares para terreno de pastos para el ganado.
- Producción de electricidad, agua dulce y cultivos: Un triple uso para zonas costeras. La electricidad generada se usa para alimentar una planta desalinizadora que produce agua tanto para cultivos como para el consumo humano.

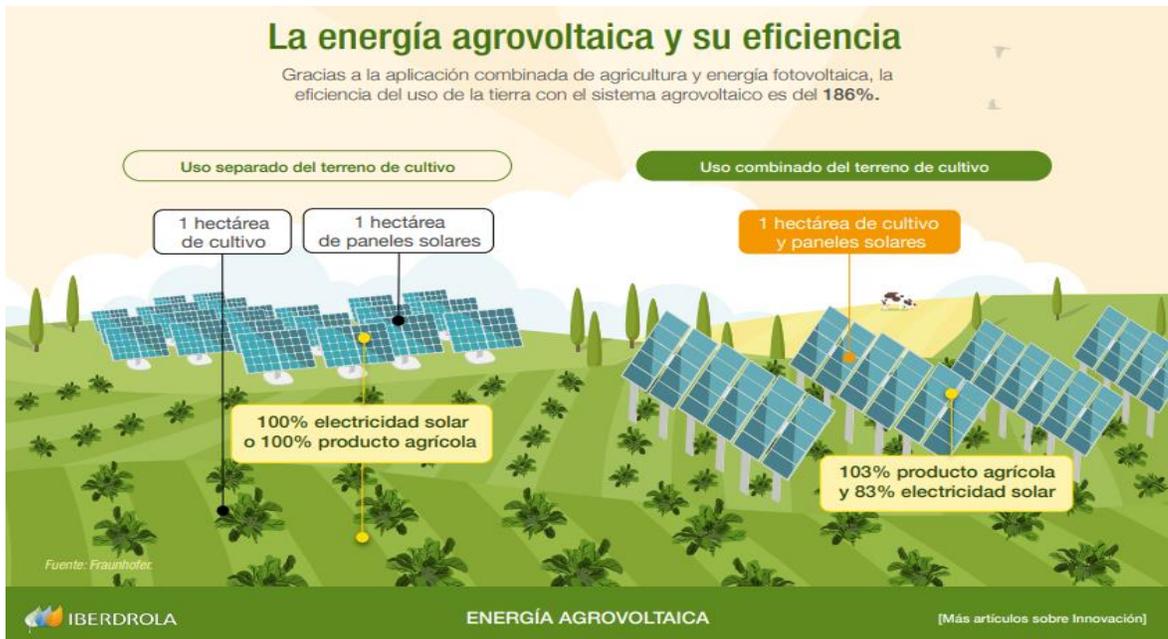


Ilustración 29 Imagen adaptada de “Energía Agrovoltaica” de IBERDROLA, la imagen muestra una aplicación de la energía solar fotovoltaica mezclada con la agronomía. <https://www.iberdrola.com/innovacion/energia-agrovoltaica#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20agrovoltaica%2C%20tambi%C3%A9n%20conocida,cultivos%20sobre%20la%20misma%20superficie>

5.2.- Energía solar fotovoltaica flotante

La ESFV es una de las principales fuentes de energía renovable, es en base a esto que con el paso del tiempo se han dado paso a nuevas aplicaciones de esta energía como lo es la ESFV flotante.

Con el paso del tiempo la ESFV se ha emplazado en lugares donde se tienen un mínimo de horas de sol necesarias para poder funcionar lo que son los tejados en los hogares o grandes planicies para desarrollar plantas solares, dejando así de lado a muchos lugares con un potencial de ser utilizados como lo son pantanos y embalses y, también el mar. Por esto es que surgió la ESFV flotante, la cual aprovecha las superficies de las masas de agua para la instalación de paneles solares.

Esta variación de energía va al alza en Asia, especialmente en China (un total de 1.3 GWp) y con más de 85% desplegado desde el este al sudeste asiático.



Ilustración 30 planta fotovoltaica flotante, imagen extraída de IBERDROLA, <https://www.iberdrola.com/innovacion/fotovoltaica-flotante>

Fotovoltaica flotante en central hidroeléctrica

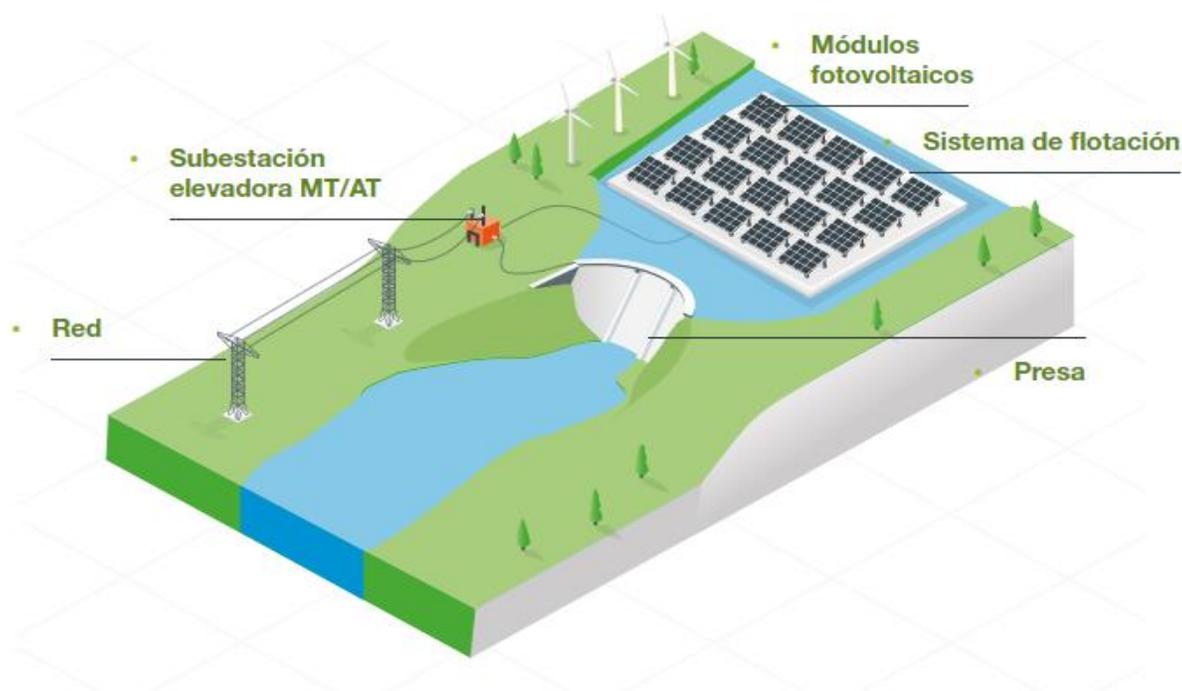


Ilustración 31 Planta Fotovoltaica flotante en central hidroeléctrica, imagen extraída de IBERDROLA, <https://www.iberdrola.com/innovacion/fotovoltaica-flotante>

5.2.1.-¿Cómo funciona una planta fotovoltaica flotante?

Las plantas fotovoltaicas flotantes tienen muchas similitudes con las fotovoltaicas tradicionales, pero también algunas diferencias, sobre todo en lo que se refiere al anclaje, el sistema de flotación y la evacuación de la energía desde la planta.

Los módulos fotovoltaicos flotantes, generalmente, son iguales que los que se instalan en las plantas fotovoltaicas terrestres y suelen ser bifaciales, ya que este tipo, al ser dual glass (láminas de vidrio utilizadas para encerrar las celdas fotovoltaicas) le brinda una mayor vida útil al panel, lo protege de la humedad y la corrosión. En cuanto al sistema eléctrico, se están desarrollando estructuras

tipo barcaza con una gran flotabilidad las cuales se emplean tanto para inversores como para los transformadores. Sucede algo similar con los cables, se están implementando soluciones para estos inconvenientes.

IBERDROLA hace mención sobre los sistemas de flotación, de los cuales hay esencialmente cuatro tipos, aunque se mantiene la innovación hacia sistemas mixtos, siendo los cuatro sistemas los que se mencionan a continuación:

- **Puros:** En estos sistemas, los paneles fotovoltaicos se encuentran situados sobre sistemas de flotación. En estos sistemas, es importante calcular el ángulo máximo de inclinación para compensar el incremento de coste de los sistemas de anclaje debido a las cargas sobre la estructura con el posible aumento de producción mediante la optimización del ángulo de inclinación.
- **Metálicos:** Cuentan con una estructura de acero soportada por un sistema flotante sobre la que se apoyan los paneles fotovoltaicos y, aunque ofrecen una mejor refrigeración impactando sobre la producción, los costes de los sistemas de flotación pueden ser más elevados.
- **De membrana:** En estos sistemas, los módulos apoyan directamente sobre la membrana en contacto con el agua. En estos sistemas, si bien las cargas son menores, se puede penalizar la producción en función de la ubicación de la planta.
- **Otros sistemas:** Sistemas con materiales alternativos, normalmente compuestos de hierro y hormigón, actualmente con un menor nivel de implantación.

Finalmente, están los sistemas de anclaje, una de las claves de la ESFV y fundamentales para mantener la plataforma en posición. En este aspecto, lo primero es llevar a cabo una batimetría (conjunto de técnicas para la medición de las profundidades del mar, ríos o lagos). También es importante tener en cuenta

que hay que dejar que la instalación tenga ciertos movimientos además de contar con que el embalse, el nivel del agua y la profundidad varían mucho, por estos datos es que el diseño debe tener todo esto en cuenta. Los principales tipos de anclaje son:

- Anclaje en el fondo
- Anclaje en la orilla
- Pilotes



*Ilustración 32 Tipos habituales de anclajes, imagen extraída de IBERDROLA,
<https://www.iberdrola.com/innovacion/fotovoltaica-flotante>*

5.2.2.-Ventajas

- Reducción de la evaporación: Protege la masa de agua de una elevada evaporación, generando así un ahorro de esta.
- Preservación de algas: De forma especial durante los veranos, estas instalaciones protegen del crecimiento desmedido de algas, ya que reduce la eutrofización.
- Previene la erosión: La energía fotovoltaica flotante evita que las rachas de viento más fuertes erosionen las orillas.

5.2.3.-Desventajas

- Mantenimiento: Las operaciones de mantenimiento pueden ser complejas, pues requieren de buzos expertos teniendo incertidumbre en los costos de estos procesos.
- Inversión inicial: Los costos de inversión de la fotovoltaica flotante son actualmente más elevados que la fotovoltaica que se aplica en tierra.
- Incertidumbre: Se mantiene una incertidumbre actual sobre como se pueden llegar a comportar los elementos como paneles o anclajes en entornos húmedos o salinos.

5.3.- Uso Doméstico

La instalación de sistemas fotovoltaicos puede ser aplicado al uso doméstico, puede ser de una cantidad mucho más ínfima comparada con las plantas fotovoltaicas que se mencionan más adelante, pero los sistemas fotovoltaicos de

uso doméstico son una importante ayuda con el ahorro energético que puede proveer.

El costo de la implementación puede ser algo elevado pero los beneficios se pueden apreciar desde que estos estén ya instalados en los hogares. En datos obtenidos desde esenergía.es 2019, estos afirman que, actualmente el precio de una instalación oscila entre los 600 y 800 euros (valores de entre 575461 CLP a 767289 CLP del 19 de octubre), valores más específicos es difícil obtenerlos ya que para aplicaciones domésticas todo depende de los instrumentos que tenga cada vivienda, del espacio disponible para la instalación de los paneles y elementos adicionales que deseen instalar junto a los paneles. Pero de manera general el costo de los paneles suele costearse en pocos años y la inversión suele ser rentable.

Podemos decir que el precio de instalación de un Kit básico de 2 paneles ronda entre los 20 y 22 mil pesos mexicanos. Para el consumo promedio de una casa el costo de una instalación puede variar entre los 43 y 46 mil pesos mexicanos. Debido a que una instalación residencial lleva entre 4 y 12 paneles solares (Contreras, 2021).

El ahorro que se puede obtener mediante el uso de los paneles solares en los hogares va a depender también del tipo de instalación que estos posean, estas pueden ser de dos maneras:

- Ahorro con instalación aislada o sin conexión a la red eléctrica: Este tipo de instalaciones son idóneas para los lugares donde no hay conexión posible a la red, ya que permite ser totalmente autosuficiente al no necesitar estar enganchados a la red eléctrica. Para ello se necesita de baterías solares para almacenar la energía producida durante el día y no consumirla, de manera que se pueda disponer de ella cuando se necesite.

- Ahorro con instalación conectada a red eléctrica: Son instalaciones de placas solares para autoconsumo que siguen conectadas a la red eléctrica, por lo que se puede disponer de estas cuando las placas solares no producen lo suficiente o cuando directamente no producen electricidad (por las noches o en días nublados). Siendo este tipo de instalaciones las más comunes.

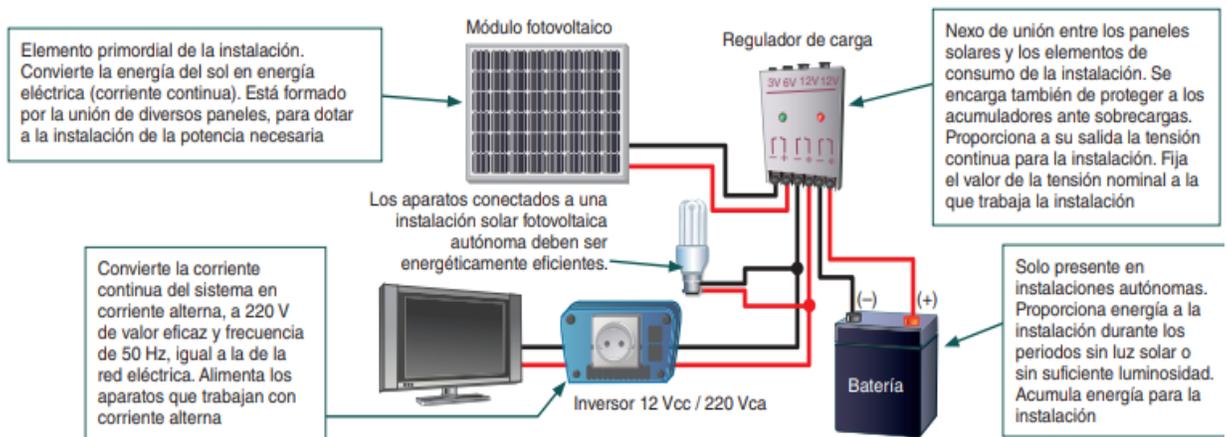


Ilustración 33 Esquema de conexión del regulador en la instalación, imagen extraída de (mheducation, s.f.)

5.4.- Tejas Fotovoltaicas

“Las tejas solares incorporan unos pequeños módulos fotovoltaicos en su interior que nos permiten captar energía solar para abastecer eléctricamente nuestra vivienda. Este invento tecnológico se presenta como una forma innovadora de aprovechar los tejados de teja tradicional” (NCYT, 2021).

“Las tejas solares son básicamente células solares que convierten la radiación solar en electricidad, pero también funcionan como material para el tejado de las casas. Estas células solares para tejados suelen tener forma de tejas o baldosas que se colocan a la perfección para proporcionar un soporte estructural al tejado de la casa y a otros tipos de edificación” (EcoInventos, 2022).

Las tejas solares se componen de células solares que suelen fabricarse con materiales semiconductores, como el silicio monocristalino y el seleniuro de cobre-indimuin-galio. Las células se ensamblan en bandas o tiras para formar la forma de las tejas (EcoInventos, 2022).

5.4.1.- El inicio de la idea

Retomando los datos obtenidos de parte de (NCYT, 2021), esta señala que el proyecto de las tejas solares fue presentado en el año 2009, en las Universidades Portuguesas de Nova en Lisboa y Minho en Braga. Esta idea innovadora se presentó como uno de los mayores avances en el campo de la energía solar. Esta idea de la mano de apoyo económico y de desarrollo tecnológico se podría convertir en la solución que permita darles el mayor aprovechamiento a los tejados.

Siendo una idea de tan grandes magnitudes no fue sino la empresa Tesla quien adoptó este proyecto en el año 2016 para la creación de un techo solar innovador. Siendo en el año 2018 de parte de Tesla quien presentó las primeras instalaciones de tejas o tejados solares en viviendas unifamiliares.

5.4.2.- El funcionamiento de las tejas solares

Incorporan en su interior pequeños módulos solares que pueden estar diseñados de diversas formas. Normalmente el formato que se comercializa es de cerámica

o en su defecto fibra de vidrio con ondulación y contiene cada una 3-4 bandas fotovoltaicas. Estas bandas fotovoltaicas están conectadas a la instalación que pasa por debajo del tejado hasta el convertidor. (NCYT, 2021).

El principio básico de las tejas solares es el mismo que el de los paneles solares convencionales. Es decir, las células fotovoltaicas absorben la luz solar para producir un flujo de electrones libres, lo que da lugar a la generación de una corriente eléctrica que puede alimentar los equipos eléctricos. (EcoInventos, 2022)

5.4.3.-Recomendaciones

Debido a que este tejado solar posee un coste muy elevado, es que estos se usan de manera preferencial en edificios corporativos ya que la amortización del valor de la instalación se puede lograr amortizar en un plazo de 5 años desde la instalación, pero la instalación en viviendas ya se está haciendo más común día a día para así poder reducir los costos de la electricidad.

5.4.4.- Beneficios de las tejas solares

Las tejas solares poseen diversos beneficios como los que se pueden encontrar en la tabla N°1 en Anexos.

Las tejas solares son una innovación de gran importancia para la energía solar, ya que le permiten a esta energía el poder llegar a más lugares y ampliar la gama de aplicaciones que esta energía le puede brindar a las personas, pero esto no la excluye de los puntos buenos y negativos que se le puedan observar, es por lo que se extrae una serie de ventajas y desventajas sobre los tejados solares de (EcoInventos, 2022) que se presentan a continuación:

5.4.4.1.-Ventajas

- Adaptación estética a los tejados
- Integración arquitectónica
- Ahorro en electricidad y gas
- Dependiendo del tamaño del tejado se puede llegar a cubrir la demanda total del hogar con las tejas solares
- Se puede vender la electricidad que sobra (depende del país)
- Se puede almacenar la energía en baterías
- Se puede instalar en tejados inclinados (recomendado), como en tejados cuya inclinación no sea la ideal

5.4.4.2.- Desventajas

- Una tecnología considerada como cara
- Posee una inversión inicial muy costosa
- Las tejas solares son mucho más difíciles de limpiar y mantener
- Su orientación fija puede comprometer su eficacia



<https://ecoinventos.com/tejas-solares-fotovoltaicas/> (EcoInventos, 2022) tajas
solares fotovoltaicas

6.-LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LOS PROCESOS MINEROS

La ESFV no solo es capaz de presentarse en aplicaciones pequeñas como en lo hogares, edificios o para proveer de energía eléctrica sectores residenciales pequeños o rurales, esta también tiene el potencial para incursionar en la minería, pues además de ser una energía limpia y renovable también tiene una alta capacidad para generar energía eléctrica para utilizarla en los procesos mineros, ya sea para alimentar equipos de transporte o para poder realizar una operación de tratamiento a los minerales, los diferentes tipos de aplicaciones y como esta energía crece en diferentes países y sus procesos mineros serán presentados a continuación.

6.1.-CARPE SOLEM

Los procesos mineros en Chile se han visto envueltos en diversas dificultades con el paso del tiempo, fue en base a estos problemas que se están generando que el director del departamento de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile e investigador asociado del Centro de Investigación de Energía Solar (SERC-Chile) Willi Kracht en conjunto con la Universidad de Stuttgart, Alemania, publicaron el estudio “Carpe Solem: Solar mining opportunities for Chile”, con el objetivo de identificar oportunidades de integración de energía solar en procesos mineros y metalúrgicos, demostrando su factibilidad, para dirigirse hacia una minería más verde y con menores costos en energía. Es por eso que a continuación se dará una explicación de cómo y dónde poder utilizar la energía solar dentro de los procesos mineros basándose en el estudio ya mencionado.

La industria de la minería en Chile se está enfrentando a una gran variedad de problemas. Dentro de los más relevantes se encuentran:

- Escasez de agua
- Una creciente demanda de energía
- Altos impactos ambientales
- Disminución de la aceptación social
- Disminución en la productividad y eficiencia
- Problemas en las condiciones de trabajo

Dos temas de alta importancia para la minería en Chile son, la creciente demanda de energía y su relevancia con los costos totales. Pues la demanda de energía en Chile de manera anual será de 39.5 TWh para el año 2025 (aumentando un

60% en relación con las demandas de energía en la actualidad), esto se debería ver reflejado en una capacidad total instalada de unos 2500 MW (manteniendo en consideración la tecnología actual) mostrando que sería necesario el aumentar en un total del 10% la capacidad eléctrica total.

Dentro de los procesos mineros que más electricidad pueden consumir se encuentra el proceso de concentración de minerales (de manera específica, la molienda) proceso que representa más de la mitad de la demanda de electricidad. Pero esto no se queda ahí, para el año 2025 la concentración tendrá un aumento en su demanda específica de electricidad de 50% a 62% del total de electricidad requerida por los procesos mineros del cobre en Chile, debido principalmente a las disminuciones de leyes que se estiman para ese periodo.

El consumo de etapas que requieren de una gran cantidad de electricidad como los procesos de concentrado, es posible generar una reducción de estos costos mediante una mayor eficiencia energética, pero se requiere de una precisión en datos de años futuros, los cuales no se encuentran disponibles actualmente.

Otro punto de suma importancia es el costo de la energía el cual se relaciona con la creciente demanda por parte de la industria del cobre en Chile. En la actualidad, los gastos de energía representan dentro del 25% al 30% de los costos totales de la operación, siendo estas etapas o procesos los siguientes: concentración, electro obtención y fundición; y para que estos proyectos se puedan ejecutar en su totalidad, el valor de la energía debería mantenerse por debajo de los 100 USD/MWh.

Las tecnologías solares actuales tienen las competencias necesarias para poder cumplir con la cantidad de energía requerida y al valor deseado. Además, el abundante recurso solar que se encuentra en los sitios donde se emplazan los proyectos mineros señala que el uso de las energías solares debería ser el principal medio para la obtención de energía, también, si se toman los datos de capacidades instaladas de energía solar en la actualidad, es posible el esperar un total de 6800 MW de plantas de energía solar instaladas para el año 2025,

esto convierte a las energías solares en un sólido competidor por sus precios bajos y estables en el mercado de la energía.

6.1.1-Impacto hídrico en la minería

Actualmente no es posible suministrar agua a nuevos proyectos mineros, aumentando así la necesidad por utilizar agua de mar para alimentar los procesos. El agua de mar puede estar desalinizada o no, pero de todos modos se bombea a través de muchos metros, lo cual mencionan que aumenta enormemente el consumo de energía y aumenta los costos operativos. Al utilizar agua de mar en lugar de agua continental los costos aumentan aproximadamente un promedio de 6 USD/lbCu, de los cuales 10 USD/lbCu son producto de los costos de operación y 6 USD/lbCu son la inversión analizada.

El trabajo de (Diaz, y otros, 2019) también proyecta que para el año 2026 la mitad del agua utilizada en procesos mineros será extraída del mar y la otra mitad de agua dulce. Las operaciones existentes pueden llegar a aumentar el consumo total de agua, gracias a la tendencia a la baja de la ley del mineral. Las concentradoras las cuales representan un total del 70% del consumo de agua dulce en el año 2015, podrían llegar a ocupar el 80% en el año 2026. En base a la medida actual de la huella hídrica azul (WFblue7) con respecto a la producción de cobre de alta ley en el Desierto de Atacama reporta valores de $96 \text{ m}^3/\text{tCu}$ y $40 \text{ m}^3/\text{tCu}$ para pirometalurgia e hidrometalurgia respectivamente hablando. Dentro de las pérdidas de agua dentro de los procesos mineros está la evaporación, específicamente dentro de los procesos de lixiviación y presas de relaves, y es ahí donde pueden generar un aporte las tecnologías solares ayudando a disminuir el consumo de agua mientras proporcionan energía a los proyectos.

Dentro de las actividades mineras de extracción del cobre en Chile se utilizó un total aproximado de $60 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua para el año 2016. De la cantidad total el

73% del agua provenía de aguas recirculadas dentro de los procesos, mientras que un 23% correspondía a aguas continentales y el resto a agua de mar. Debido a la escasez de agua dulce que se viene acarreado con los años los nuevos proyectos mineros que se generen con el tiempo necesitarán depender de fuentes de agua de mar. Para el tratamiento del agua de mar hay algunos procesos los cuales son muy utilizados, dentro de los cuales está la “osmosis inversa” (RO) la cual requiere de electricidad para poder realizar su funcionamiento y el otro proceso es la “destilación” la cual es un proceso que necesita de calor para poder procesar el agua de mar. La mayor parte de empresas mineras que tratan el agua de mar en plantas desalinizadoras utilizan (RO), la ósmosis inversa como ya se mencionó requiere de electricidad para poder pasar el agua de mar a una gran presión a través de una membrana semipermeable, lo cual requiere de alrededor de $3 - 4 \text{ KWh}/\text{m}^3$ de electricidad por lo que la implementación de plantas fotovoltaicas se torna una solución muy óptima a sus necesidades energéticas, además, muchos proyectos mineros se emplazan a grandes alturas sobre el nivel del mar y a grandes distancias de la costa para suministrar agua a los procesos mineros, por lo que para poder cubrir estas demandas de agua se requeriría de más de 35 MW para poder transportar cada m^3/s de agua.

6.1.2.-Extracción de minerales

El proceso de extracción de una mina dirige el diseño de las flotas de carga, pues cuanto mayor sea la cantidad de mineral mayor será el tamaño de los equipos de carga y acarreo, y estas en su mayoría utilizan Diesel para alimentar un generador eléctrico a bordo el cual hace funcionar los motores de los equipos. Ante estos casos se presenta la energía solar la cual puede motivar a convertir los equipos a la electrificación completa (esta evaluación debe considerar la variación constante de la forma de la faena en donde se implementan estos equipos) y además se puede utilizar combustibles solares con un sistema de

almacenamiento, los cuales se pueden generar mediante tecnologías solares convencionales, como pilas de combustible como el hidrógeno como fuente de combustible solar, pues este se produce mediante la electrólisis del agua.

6.1.3.-La energía solar en la pirometalurgia

Dentro de los procesos mineros, la pirometalurgia implica diversos procesos como la conminución del mineral, la flotación, el tostado, el secado, la fundición, el refinado a fuego y la electrorefinación. Dentro de los mencionados está la flotación, la electrorefinación y la conminución como los procesos que más electricidad consumen en el proceso de pirometalurgia. La electricidad requerida se puede suministrar mediante energía solar como la fotovoltaica y el calor requerido por tecnologías termosolares.

Como un caso especial, el documento hace mención sobre el proceso de la conminución, pues existen maneras operativas para ayudar a generar un ajuste energético mediante energía solar, con la finalidad de generar un mejor desempeño medioambiental y ahorrar costos. La idea que plantean es modelar y optimizar una planta solar fotovoltaica mediante un sistema asistido de almacenamiento de baterías (BESS) a la operación de un molino Semi-Autógeno (SAG). Este proyecto permitiría reducir los picos de consumo energético lo que a su vez se reflejaría en una disminución en los costos.

6.1.4.-La energía Solar en la Hidrometalurgia

Dentro de los procesos de la hidrometalurgia se encuentran la lixiviación, la extracción por solventes y la electroobtención, estos tres requieren de temperaturas superiores a la temperatura ambiente para su funcionamiento (30 – 48 °C), por lo que les abre el camino a las tecnologías de calor solar. Minas

como Gaby, El Tesoro y Zaldívar utilizan sistemas solares para la obtención del calor requerido para sus procesos.

Para el proceso de electroobtención se hace necesario grandes cantidades de electricidad de corriente continua, la cual es necesaria para poder impulsar la reacción electroquímica en sus procesos, electricidad la cual puede ser suministrada mediante el uso de ESFV, permitiéndoles el omitir la conversión de la corriente continua a alterna, eliminando así el uso de inversores o de rectificadores de potencia.

Carpe Solem muestra todas las oportunidades que posee la ESFV para ser cada vez más la opción principal de fuente energética para los procesos mineros al igual que la energía solar térmica, pues el potencial de las energías solares en los proyectos mineros es una opción favorable y económicamente rentable al momento de generar energía necesaria para los proyectos mineros que se mencionaron y como esta se torna una gran ayuda tanto a las mineras como al medioambiente al ser energías limpias.

6.2.-Aplicaciones dentro de proyectos mineros

Las aplicaciones de energía solar dentro de la minería se están tornando una parte fundamental en los procesos por diferentes factores como los presenta minería chilena (2015), “Reducción de costos asociados al consumo energético, estabilidad de precios futuros de la energía, disminución de quema de combustibles fósiles directos, con una consecuente menor huella de carbono”, siendo estos beneficios que se ven reflejados dentro de las empresas gracias a la implementación de tecnologías renovables como lo es la energía solar ya sea térmica o fotovoltaica.

Dentro de los beneficios de la implementación de la energía solar a los procesos mineros mineriachilena (2015) también menciona algunas faenas mineras en las cuales ya cuentan con plantas fotovoltaicas como lo es:

6.2.1.-Minera Collahuasi

Construido por la empresa Solarpack, el complejo fotovoltaico Pozo Almonte Solar, que está en funcionamiento comercial desde principios de 2014, se compone de dos plantas: Pozo Almonte 2 y Pozo Almonte 3, las cuales cuentan con una potencia nominal combinada de 23.5 MW (MINERÍA CHILENA, 2015).

Según datos entregados por Iñigo Malo de Molina, quien es gerente para la Región Andina de Solarpack “la energía generada por la planta es suministrada a Minera Collahuasi mediante un contrato PPA por 60.000 MWh/año, lo que supone un 13% del consumo de la mina. Además, cabe destacar que la generación de esta energía renovable es equivalente al consumo anual de alrededor de 25.000 hogares, de esta manera también se está evitando la generación y emisión a la atmósfera de 50.000 toneladas de CO_2 por año, información obtenida de (MINERÍA CHILENA, 2015).

6.3.- Energía Solar Fotovoltaica en la minería de la UE

La creciente necesidad de fuentes de energía en la U.E. (Unión Europea) debido a los crecientes problemas con Rusia y su suministro de Gas ha llevado a los países a invertir en proyectos de energías renovables para poder cubrir la necesidad energética que se está generando.

En el camino hacia una fuente de energía totalmente limpia y renovable se necesita completamente de la ayuda de los procesos mineros para poder suministrar todo lo necesario para que este proyecto se lleve a cabo, y así llegar a poseer una minería verde y sostenible sobre fuentes de energía renovable.

6.3.1.- Riotinto

En España se llevan a cabo proyectos energéticos de fuentes renovables como lo es la ESFV, con la finalidad de poder cubrir la necesidad energética o parte de esta de proyectos mineros dentro del país, lo cual mueve todo hacia una minería más verde en ese país además de ayudar a reducir la producción de gases de efecto invernadero que se podrían haber emitido con fuentes de energía de origen fósil como lo es el petróleo o el carbón, además, proyectos de este tipo ayudan a mostrar al mundo que las energías renovables como lo es la ESFV también puede ser una gran fuente energética para los procesos mineros en todo el mundo, por lo que a continuación se muestra un proyecto el cual se planea realizar en una localidad de España para alimentar los proceso mineros de una empresa.

Según los datos recolectados expuestos por Proveda (2022), en los cuales se menciona que la empresa Atalaya Mining se encuentra en la realización próxima de una planta solar fotovoltaica, la cual producirá energía para suministrar a la operación minera Riotinto. El desarrollo de la planta solar se llevará a cabo en unas 60 hectáreas de suelos mineros propiedad de la compañía.

La planta tendrá una potencia instalada de 50 MW (megavatios), un total de inversión de 30 millones de euros para su construcción para convertirse así en una de las mayores plantas de autoconsumo industrial de España y la primera dando servicio a la minería.

El proyecto asegura una reducción de un total anual de 40.000 toneladas de emisiones directas de CO_2 , volviéndolo un proyecto de alta sustentabilidad que se mantendrá activo una vez culmine la explotación minera del proyecto al cual brindará la energía.

6.4.- EF en la minería de Australia

En Australia el interés por ir en la dirección de fuentes de energía más limpias y renovables la ha llevado a utilizar fuentes solares para brindar energía a ciudades como a diferentes proyectos mineros, demostrando así que la minería verde si se puede conseguir y que el uso de energías renovables ayuda a reducir mucho la generación de gases de efecto invernadero, los cuales favorecen el calentamiento global, por lo que a continuación se presentarán algunos proyectos mineros que han decidido hacer uso de las energías renovables para sus proyectos.

6.4.1.- Mina de oro Agnew

La primera mina de oro con energía eólica, solar y eléctrica estará en Australia Occidental, pues como lo explica (Pedraza, 2019) la preocupación de las minas de oro por la incorporación de energías renovables a sus actividades es uno de los retos de futuro que tiene que afrontar, no solo por motivos medioambientales, sino por motivos económicos, pues la energía es uno de los principales costos a tratar. Llegando a esto, la mina de oro Agnew, gestionada por una filial de la minera sudafricana Gold Fields, la cual se encuentra ubicada en Waroonga (Australia Occidental) será la primera explotación del mundo en abastecerse de energías renovables. Teniendo una inversión por parte de la Agencia Australiana de Energías Renovables (ARENA), la cual ha aportado un total de 13.5 millones de dólares para la construcción de una microrred alimentada por energía eólica, solar, baterías y gas. Microrred la cual consta de una instalación de 10.000 paneles solares los cuales entregarán un total de 4 MW, además de una instalación de turbinas eólicas y un sistema de baterías además de un generador de gas.

6.4.2.- Mina de Oro Carosue Dam

La mina de oro Carosue Dam de Northern Star, la cual está ubicada cerca de Kalgoorlie, ahora se encuentra siendo suministrada de electricidad renovable proveniente de la instalación de 5 MW, lo cual reduce la huella de emisiones de la mina en más de 5.600 toneladas por año de gases de efecto invernadero.

Según (Roca, 2022), uno de los primeros receptores de fondos del Fondo de Futuro de Energía Limpia de Australia Occidental (WA) ya se puso en funcionamiento, y la energía solar ahora desplaza el uso de diésel y gas en esta mina de oro.

El ministro de energía de WA, Bill Johnston, se mencionó con respecto a este proyecto minero, diciendo que él espera que el proyecto pueda servir como un ejemplo para otras operaciones mineras en todo el estado sobre cómo se pueden integrar las energías renovables en sus operaciones.

El proyecto de Nomadic Energy generará más de 880 megavatios/hora de energía cada año, lo cual es suficiente para poder alimentar a 1.700 hogares de Australia Occidental. La instalación, supuso un despliegue de 5 MW de capacidad solar, la cual se realizó mediante el uso de plataformas Maverick de rápido despliegue de la empresa australiana de tecnología solar 5B.

El uso de las plataformas Maverick, les permitió poder desplegar rápidamente los paneles solares premontados y sin la necesidad de una gran infraestructura en el lugar, lo cual les permitió instalar un total de 600 KW de capacidad solar en un solo día, con un equipo de cuatro personas.

7.- DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

El dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos es algo de suma importancia si se desea incursionar en la ESFV, para alimentar ciudades o proyectos mineros, es por eso que a continuación se presentan los datos necesarios para poder desarrollar un dimensionamiento óptimo para un sistema fotovoltaico conectado a la red.

7.1.- Diseño y dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos conectados a la Red

Un diseño de manera correcta en un sistema solar fotovoltaico es clave si se desea aprovechar al máximo la capacidad de generar energía de esta tecnología. El sistema de generación de la ESFV presenta diversos criterios de diseño, pues esta energía presenta diversas variables como la tecnología del generador, la distribución, la superficie que se desea ocupar, etcétera.

La información expresada a continuación sobre los datos que se necesitan para el diseño de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red es extraída del documento “Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos conectados a la red” (Negroni, Canales, & Yañez, 2013), documento desarrollado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico – Cámara Chilena de la Construcción.

Para el caso de un sistema conectado a la red, su diseño es posible abordarlo desde el punto que favorece el autoconsumo, la máxima utilización de la superficie que se encuentra disponible, o considerando como límite la potencia del empalme de la red eléctrica.

7.2.- Potencia y Energía

Tanto la potencia como la energía son consideradas como unas de las magnitudes más relevantes que hay dentro de una instalación de ESFV, y es debido a esto que, es necesario comprender la diferencia que existe entre estas. En primer lugar, la potencia del sistema indica la capacidad de generación eléctrica de un sistema, mientras que la energía se considera como una cantidad de potencia por una unidad de tiempo.

La unidad utilizada para medir la potencia es el watt (W), mientras que para medir la energía se utiliza el Watt/hora (W/h)

7.3.- Dimensionamiento

Al momento de diseñar un sistema solar fotovoltaico existen diversas variables que se pueden abordar, estas variables o factores pueden ser de distintos orígenes, como lo pueden ser del tipo económico, geográfico, regulatorio, político, entre otros. A continuación, el dimensionamiento que se muestra sigue la línea de la potencia pico instalada, pasos seguidos del siguiente diagrama.

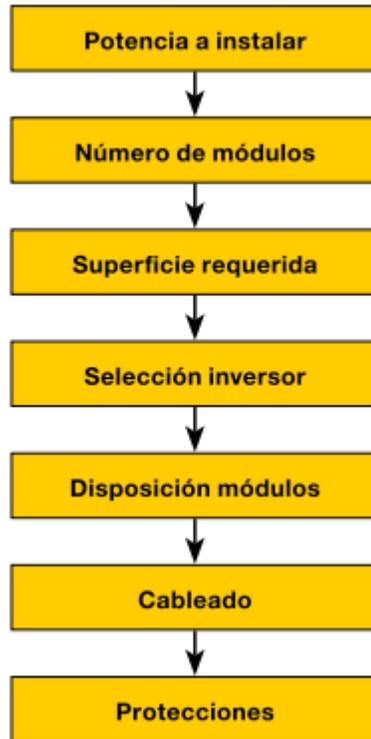


Ilustración 34 Diagrama de flujo para el diseño de un sistema de generación fotovoltaico. Extraído de “Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos”

7.3.1.-Dimensionamiento del generador fotovoltaico

El número de módulos fotovoltaicos que se desea instalar se determina en base a la potencia que se desea instalar. En base a esto es necesario conocer la potencia pico del módulo a utilizar, tras esto el número de módulos se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{P_{max}}{P_{pico}}$$

Donde:

N = Es el número de módulos.

P_{max} = La potencia pico que se desea instalar.

P_{max} = La potencia pico de cada módulo.

En el caso particular de no obtener un número entero en el resultado, es factible el redondear hacia el siguiente número entero.

Tras obtener el dato de las dimensiones del módulo y la cantidad de estos, se debe avanzar para calcular la superficie mínima requerida para la instalación de los módulos fotovoltaicos. Para obtener este dato se obtiene mediante la siguiente ecuación la cual multiplica la cantidad de módulos por las dimensiones del módulo unitario:

$$S_T = N * A$$

Donde:

S_T = Superficie requerida para la instalación.

N = Número de módulos a instalar.

A = Superficie de un módulo.

Una información de gran relevancia en este caso es la importancia de la superficie de cada módulo, ya que para una misma potencia pico, depende de la tecnología de fabricación del módulo. Por lo que si se requiere una superficie mayor a la que se dispone, es necesario cambiar la tecnología, pero esto a su vez puede reducir la superficie utilizada.

7.3.2.- Separación entre módulos

La superficie por utilizar como ya se obtuvo en el apartado anterior no considera la inclinación que pueden tener los módulos fotovoltaicos, lo cual varía la superficie requerida, pues es de gran importancia el evitar que se produzcan sombras sobre los módulos fotovoltaicos, pues las sombras disminuyen el rendimiento de estos.

Existe la posibilidad que las distintas filas de módulos pueden sombrearse entre ellas, por lo que, como parte del diseño, estas se deben emplazar de tal forma que el sombreado no ocurra. Para esto, la sombra del borde superior del módulo de la fila delantera se debe proyectar como máximo sobre el borde inferior del marco de la fila siguiente, de esta manera se evita que los módulos se den sombra entre ellos, impidiendo su correcto funcionamiento durante el día.

Ya que la elevación solar no es la misma durante el año, la sombra que los paneles proyectan tampoco lo es, y es por esto que para la distancia óptima se calcula la elevación solar mínima, la cual ocurre en invierno, pues es en esta época donde la sombra proyectada es de mayor tamaño.

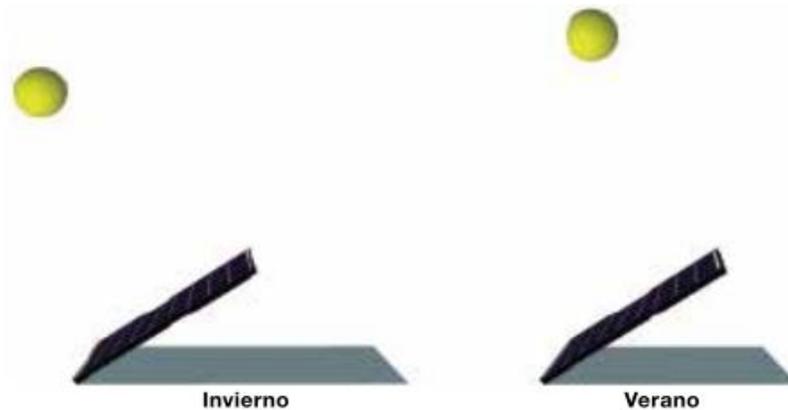


Ilustración 35 Proyección de la sombra en función de la altura solar, Extraído de "Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos"

La altura mínima se puede obtener mediante el uso de una carta solar, la cual es “una representación gráfica en planta, que nos permite obtener la posición del Sol en el cielo con respecto a nuestra ubicación, considerando una latitud específica.” (scarquitecto, s.f.), o se puede utilizar la siguiente expresión:

$$H = (90^\circ - |\phi|) - 23.5^\circ$$

Siendo:

H= Altura solar en grados.

ϕ = Latitud de la localidad.

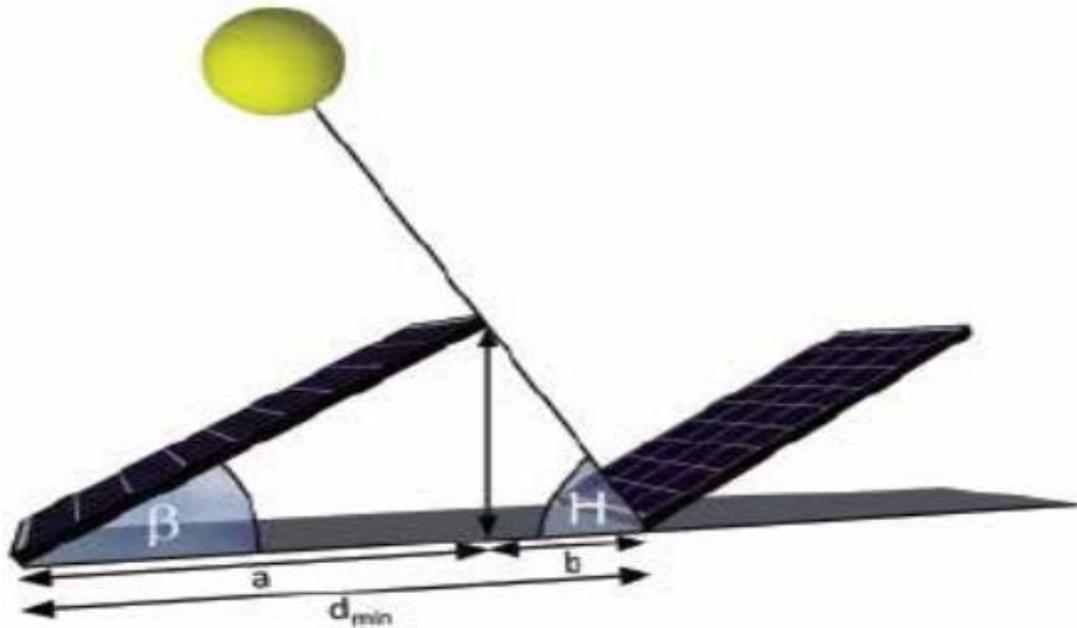


Ilustración 36 Determinación de la distancia mínima entre filas de módulos para superficies horizontales, Extraído de “Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos”

La distancia mínima entre las filas se puede determinar desde una mirada geométrica como se muestra en la imagen N°33, la cual queda determinada por la siguiente expresión:

$$d_{min} = L \left(\frac{\cos\beta + \operatorname{sen}\beta}{\operatorname{tg}H} \right)$$

Donde:

L= Longitud del módulo (incluye marco y estructura de soporte.

H= Elevación solar.

β = Inclinación del módulo.

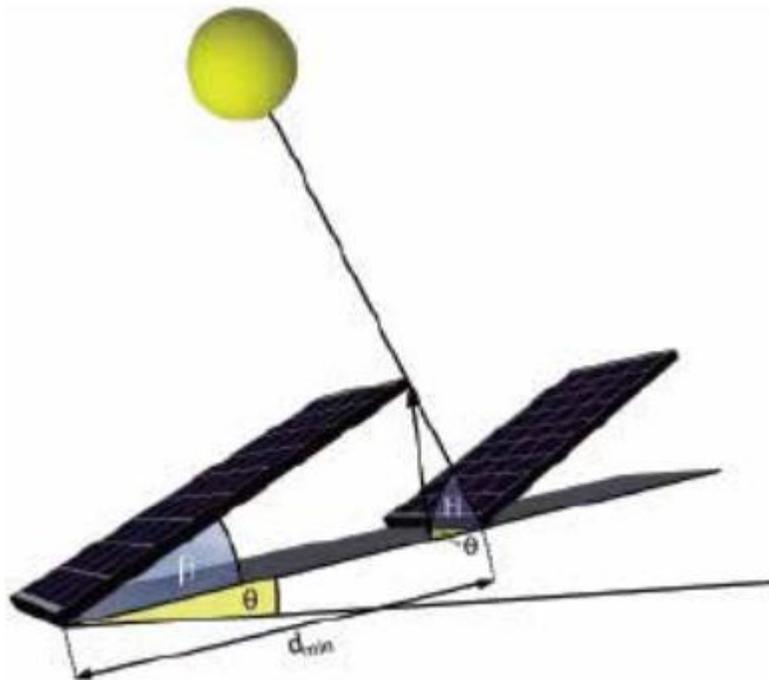


Ilustración 37 Determinación de la distancia mínima entre filas de módulos para superficies inclinadas, Extraído de "Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos"

Ya se describió un cálculo para determinar la distancia mínima entre filas para módulos en superficies horizontales, ahora se presenta el mismo punto, pero para superficies que se encuentran inclinadas.

$$d_{min} = L \left(\frac{\cos\beta + \sen\beta}{(\text{tg}(H + \theta))} \right)$$

Donde:

θ = Ángulo de inclinación de la superficie.

Para el caso de una implementación arquitectónica, la separación entre módulos de una misma fachada no es necesaria, puesto que no se producen sombras entre estos.

7.3.3.- Selección del inversor

La selección óptima para un inversor está dado por los diferentes factores ya considerados y mencionados, como lo son la potencia (instalada y del empalme de red), los tipos de módulos utilizados y otros factores medioambientales propios del lugar geográfico de la instalación. De forma general, la potencia nominal de éste debe ser aproximadamente igual a la potencia pico de la instalación.

7.3.4.- Configuración serie y paralelo

Los parámetros de entrada del inversor (tensión y corriente máxima) se consideran como las condiciones de borde para la disposición de los módulos en serie y en paralelo. Agrupar los módulos en serie formando un string permite sumar sus tensiones, manteniendo la corriente igual en todos los módulos, mientras que la potencia del sistema aumenta en N_s veces, siendo este el número de módulos en serie.

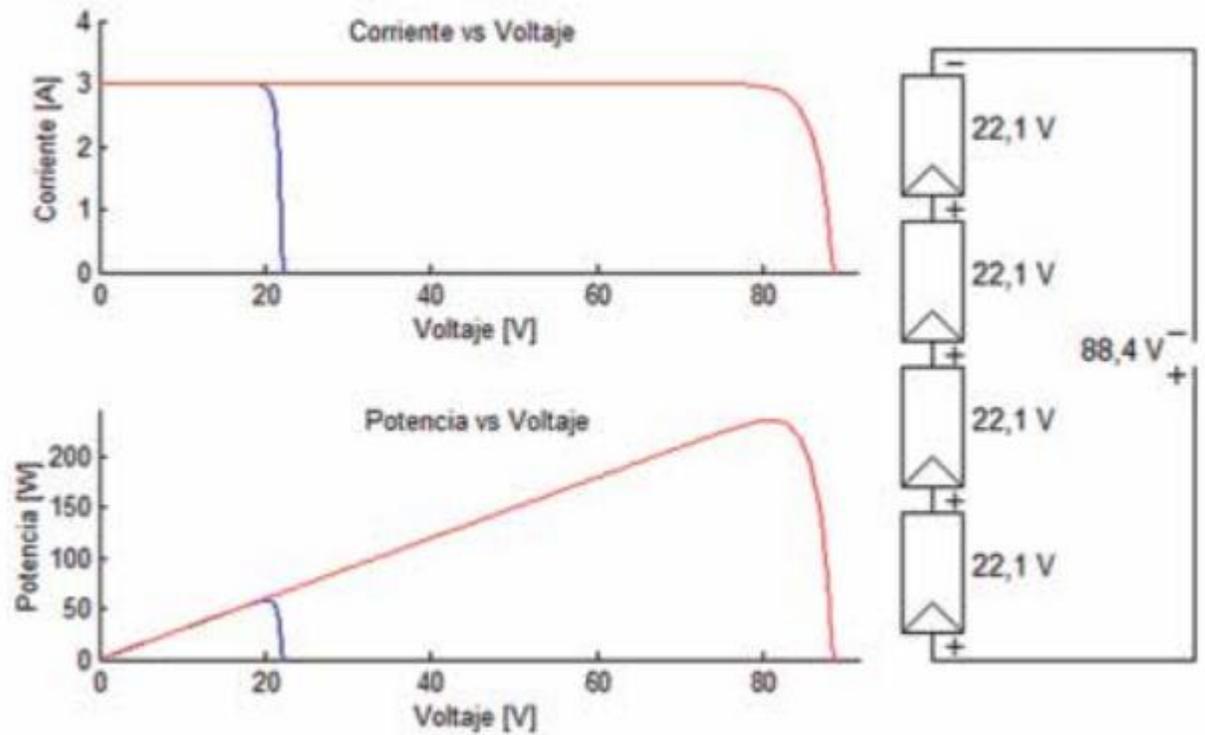


Ilustración 38 Representación de la adición de módulos en serie. La curva azul representa las características de un módulo, mientras que la roja las características de cuatro módulos en serie. Extraído de "Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos"

Por otra parte, para el caso de sumar módulos en paralelo permite sumar la corriente generada, conservando la tensión nominal de cada módulo. La potencia aumenta N_p veces, siendo N_p el número de módulos en paralelo.

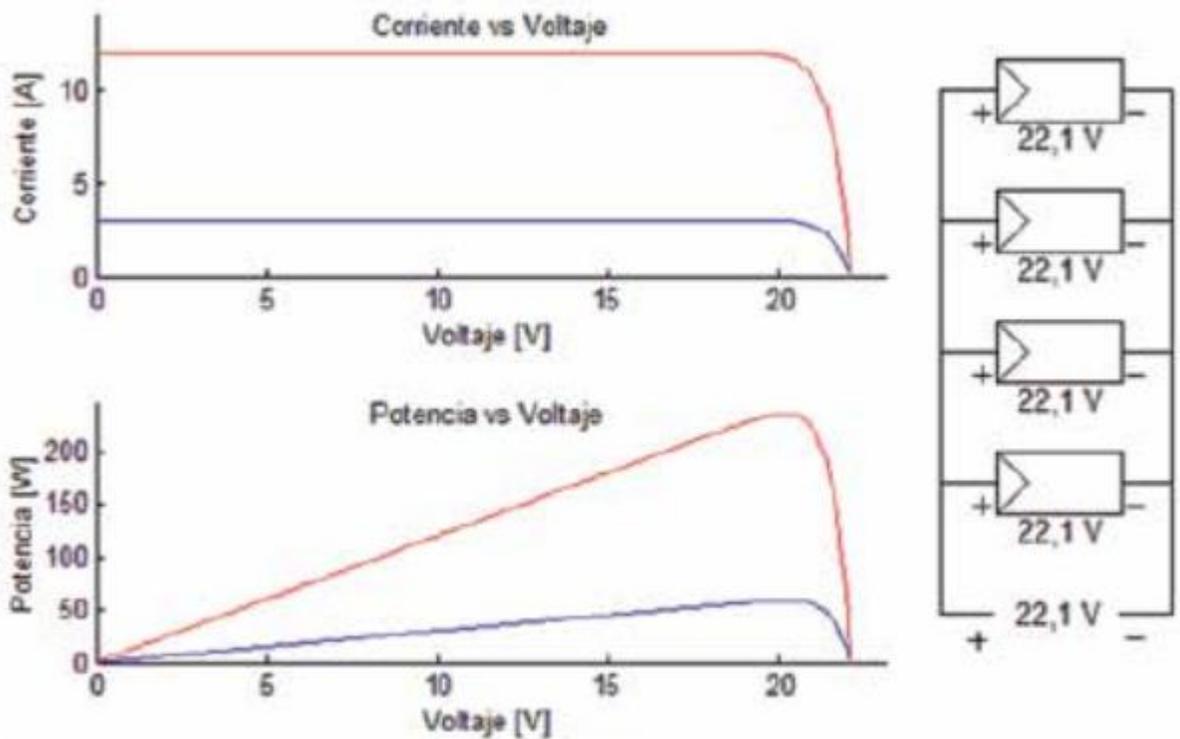


Ilustración 39 Efecto de la adición de módulos en paralelo. La curva azul representa las características de un módulo, mientras que la curva roja representa las características de cuatro módulos en paralelo. Extraído de "Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos"

La tensión máxima de entrada del inversor es lo que determina el número máximo de módulos en serie por cada string, mediante el uso de la siguiente expresión:

$$N_s = \frac{V_{max}}{1.25 * V_{oc}}$$

Donde:

N_s = Número máximo de módulos de string (string es una cantidad de módulos conectados en serie).

V_{max} = La tensión máxima de entrada del inversor.

V_{oc} = Tensión de circuito abierto de cada módulo.

En caso de no obtener un número entero, se debe ajustar el resultado al valor de entrada del inversor, además es importante procurar que la tensión del sistema se encuentre dentro del rango de tensión MPPT del inversor, este es el rango de tensión en el cual el inversor es capaz de seguir el punto de máxima potencia.

Por otra parte, la corriente máxima de entrada del inversor es quien determina el número de strings máximos en paralelo, mediante la siguiente expresión:

$$N_p = \frac{I_{MAX}}{1.25 * I_{sc}}$$

Donde:

N_p = Número máximo de strings en paralelo.

I_{MAX} = Corriente máxima de entrada del inversor.

I_{sc} = Corriente de cortocircuito de cada módulo.

Para el correcto funcionamiento de todos los elementos involucrados en esta tecnología, es necesario recordar que las características eléctricas de los módulos varían con la temperatura y la irradiancia, por lo que es recomendado escoger módulos del mismo modelo y fabricante, lo cual puede asegurar tensiones idénticas y evita flujos de corriente hacia el generador.

7.4.-Disposición de los módulos

Una correcta disposición de los módulos puede permitir el recibir la mayor energía posible y también el lograr minimizar las sombras entre los módulos. En este

momento la inclinación del módulo se vuelve relevante para optimizar la energía cosechada.

7.4.1.-Inclinación de los módulos

En sistemas que no posean sistemas de seguimiento solar, es necesario definir el periodo del año en el cual se desea maximizar la energía recibida, ya sea este periodo en invierno, durante el verano o el máximo promedio anual.

Si se utiliza el máximo promedio anual, se puede determinar que la inclinación óptima del módulo (para un azimut de 0°) está dado por la siguiente expresión:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69|\phi|$$

De manera similar, la literatura utiliza la siguiente expresión:

$$\beta_{opt} = |\phi| + 10$$

Para maximizar la energía recibida en el mes de menor radiación solar (invierno), con:

β_{opt} = Ángulo de inclinación óptimo de los módulos.

ϕ = Latitud del lugar.

Estas expresiones mencionadas son aproximaciones, sin embargo, la mejor forma para obtener estos datos como la inclinación óptima de los módulos es mediante el uso de datos de radiación solar para distintas inclinaciones y azimut de cada localidad de manera específica.

7.5.-Conductores

El cableado necesario para la etapa de CC (corriente continua) debe ser elegido de una manera tal, que la caída de tensión que se genere no sea mayor al 1%. La sección del conductor se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$S = p * \frac{2L * I}{0.01 * V}$$

Donde:

L= Longitud del conductor.

P= Resistividad del material ($0.018 \Omega * \frac{mm^2}{m}$ para el cobre a 20°C).

I= Intensidad que circula por el conductor.

V= Tensión del sistema.

Una vez conocida la sección del conductor, se procede a aproximar a secciones del mercado (tablas N°2 y N°3 en ANEXOS), verificando además que la corriente máxima admisible sea superior a la corriente que circula por él.

Cabe mencionar que la sección no debe ser menor a la del conductor que sale de la caja de conexiones trasera del módulo fotovoltaico. Por otra parte, la aislación debe ser resistente a la intemperie y a los rayos UV.

7.6.- Protecciones

Una parte importante del sistema es la protección, ya sea de los equipos como de los operarios del sistema. Estas protecciones se pueden dividir en protecciones físicas y protecciones eléctricas.

7.6.1.- Protecciones Físicas

La protección física es la que otorga la carcasa del equipo eléctrico frente a la entrada de agentes externos como el polvo y el agua. La norma internacional CEI 529 de la Comisión Electrotécnica Internacional establece un código numérico, que define los grados de protección del equipo. Este código está formado por las letras IP (índice de protección) seguidas por una combinación de dos cifras, cuyos significados se muestran en la figura N°4 de ANEXOS.

Para el caso de sistemas de generación fotovoltaica conectada a la red, el índice de protección es aplicado a los inversores, medidores, conductores, conectores y a las cajas de conexión. Para los equipos cercanos a los módulos solares, se recomienda un IP65 o superior, debido a que las labores de limpieza pueden salpicar agua.

7.6.2.- Protecciones Eléctricas

La finalidad de estos elementos es resguardar a los usuarios y los equipos frente a un funcionamiento anormal de los sistemas, el cual pueda ser producido por diversas causas.

La primera medida de protección se menciona que es importante el conectar cada parte metálica de la instalación a tierra, esto incluye los marcos de los módulos y las estructuras de soporte, junto a las carcasas de los equipos.

Elementos como el inversor también pueden proveer de protección, como la aislación galvánica y la protección anti-isla. La primera protección tiene por objetivo separar las etapas de CC y CA en caso de fallas, mientras que la segunda evita la inyección a la red cuando ésta falla. La protección anti-isla se necesita en sistemas conectados a la red, pues esta se transforma en una medida de seguridad y protección para los operarios de las líneas eléctricas.

Para finalizar es necesario el implementar un interruptor entre el generador y el inversor para desconectar al primero del segundo, facilitando de esta forma, las labores de mantención.

7.6.3.- Cálculo de protección contra sobre intensidades

La protección contra sobre intensidades en el lado de la CA (corriente alterna) corresponde al disyuntor, el cual debe ser dimensionado de manera tal que este logre superar la corriente máxima del inversor, y sea también menor a la corriente de servicio del conductor asociado.

Para el lado de la CC, la protección es proporcionada por los fusibles, para ambos conductores de corriente continua. En algunos casos, el fabricante del módulo entrega el valor del fusible que se debe utilizar en la instalación. Para el caso contrario, se debe determinar la corriente máxima inversa del arreglo fotovoltaico, mediante la siguiente expresión:

$$I_{MAX} = I_{SC} * (N_p - 1)$$

Donde:

I_{MAX} = Corriente inversa máxima.

I_{SC} = Corriente de cortocircuito.

N_p = Número de string en paralelo.

Tras desarrollar la expresión anterior, se procede a comparar el valor con el módulo llamado “resistencia a la corriente inversa”. Si la corriente inversa máxima es mayor a esta última, es necesario un fusible, cuyo valor se recomienda 1.7 veces superior a la corriente MPP del módulo.

7.7.-Pérdidas

Si se habla en términos de energía, las pérdidas representan el porcentaje de la energía recibida que no se utiliza, por lo tanto, se termina por perder. Es importante el buscar minimizar tanto como sea posible estas pérdidas, pues esto se vería reflejado en un mejor rendimiento de los equipos y del sistema de generación.

Las pérdidas que puede presentar el generador son muy variables, ya que dependen de factores como el estado del módulo (si este está sucio o no), la temperatura a la que este se encuentre y de si los módulos tienen o no sombra, por lo que no se puede calcular las pérdidas de una manera exacta pues hay muchos factores que pueden afectar el rendimiento, sin embargo, estas pueden estimarse en menos del 10%.

7.7.1.- Pérdidas del inversor

El correcto funcionamiento de un inversor debería traducirse en que este transforma toda la potencia de entrada en potencia de salida, pero el rendimiento (razón entre la potencia de salida y la de entrada) nunca es del 100%. El fabricante entrega una curva de rendimiento del producto (inversor), donde se aprecia que este aumenta a medida que la potencia de entrada se aproxima a la potencia nominal del inversor.

8.- ANÁLISIS FODA DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

8.1.- Fortalezas

- Energía producida a bajos costos, de tener un costo de 4.731 USD/KW a tener valores de 883 USD/KW (notable disminución producida entre los años 2010-2020).
- Energía limpia, pues genera electricidad únicamente mediante la luz solar.
- Uso de la luz solar para producir energía
- Fuertes políticas para aumentar el uso de ESFV a nivel mundial, pues hubo una inversión de 750 millones de dólares a nivel global para la transición a las energías renovables.
- Producción de energía libre de gases de efecto invernadero.
- Mínimo impacto al medio ambiente.
- Segunda energía limpia a nivel mundial de mayor crecimiento.
- Puede aplicarse en diversos entornos, no solo en los lugares con mayor radiación solar.

8.2.- Oportunidades

- Innovación en la tecnología de las celdas fotovoltaicas, mayor eficiencia.
- Nuevos métodos para la limpieza de las celdas fotovoltaicas para no utilizar agua, limpieza magnética.
- Interés global por invertir en energías renovables.

- Implementar ESF en proyectos mineros para alimentar los equipos de carga.
- Implementación de ESF en proyectos mineros para alimentar los procesos de los minerales.
- Las plantas solares pueden reutilizar los paneles que ya no utilicen para implementarlos en hogares o en edificios.

8.3.- Amenazas

- Elevación del costo de los implementos que conforman una planta solar.
- Disminución de áreas para construir una planta solar.
- La gran cantidad de celdas fuera de servicio para el 2030.
- Aumento de interés por otras tecnologías renovables.

8.4.- Debilidades

- Producción de energía únicamente durante las horas de luz solar.
- Producción intermitente en días nublados.
- Utilización de grandes cantidades de módulos fotovoltaicos para generar grandes cantidades de energía.
- Utilización de agua para la limpieza de las celdas fotovoltaicas.
- Las altas temperaturas pueden llegar a reducir su eficiencia.

9.- ANÁLISIS TÉCNICO

La energía proveniente del sol se puede aprovechar de forma directa, incluso en días nublados. Esta energía ya se está utilizando en todos lados y de la misma manera en que crece su uso a nivel mundial crece de igual manera su popularidad. Una de las principales aprovechar la energía proveniente del sol es la ESFV.

La ESFV utiliza dispositivos electrónicos para poder trabajar, estos dispositivos son los conocidos como células fotovoltaicas o células solares, las cuales se encargan de convertir la luz solar en energía eléctrica. La energía solar FV (Fotovoltaica) es una de las energías renovables de más rápido crecimiento y la cual ha estado desempeñando un papel muy importante en la transformación energética global. La capacidad instalada total de ESFV a nivel mundial alcanzó valores de 710 GW (Giga watts) a finales del 2020. En el año 2020 se agregaron adicionalmente otros 125 GW de nueva capacidad solar fotovoltaica, la mayor capacidad adicional de cualquier fuente de energía renovable.

La ESFV es altamente modular y varía en tamaño desde pequeños kits de energía solar para aplicaciones en los hogares e instalaciones en los tejados de 3-20 kW de capacidad, hasta llegar a grandes sistemas que cubren cientos de megavatios.

La generación de ESFV aumentó en un récord de 179 TWh (un 22% más) en 2021 para superar los 1000 TWh. Demostrando de esta manera que la ESFV es quien obtuvo el mayor crecimiento de generación de todas las energías renovables dentro del año 2021, siendo únicamente superada por la eólica. De este modo la ESFV se está convirtiendo en la opción de menor costo en la generación de electricidad en gran parte del mundo, lo cual hace creer que ayudará a aumentar la inversión en los años venideros (IEA, energía solar fotovoltaica, 2022).

9.1.- Crecimiento de la ESFV

Dentro del año 2021 el principal responsable del crecimiento de la generación de ESFV a nivel mundial fue China, siendo China responsable de aproximadamente un 38% del crecimiento a nivel mundial. El segundo mayor crecimiento de generación fotovoltaica fue de la mano de Estados Unidos con una participación del 17% y, en tercer lugar, quedó en la Unión Europea con un 10% (IEA, Solar PV, 2022).

El crecimiento que tuvo la ESFV en el año 2021 es algo de gran relevancia pues la energía fotovoltaica demostró ser resistente ante las interrupciones que el mundo vivió frente a la pandemia de COVID-19, los problemas de suministros y el alza en los precios que se originaron por todos los problemas que acarreó la pandemia, a pesar de todo logró aumentar su capacidad anual (casi 190 GW) esto debería conducir a que para el año 2022 también exista una aceleración del crecimiento en la generación eléctrica.

9.2.- Tecnología

Las plantas a gran escala de ESFV fueron las responsables del 52% de las adiciones de capacidad solar fotovoltaica a nivel global en el año 2021, siguiendo a esta se encuentra el segmento residencial con un 28% y luego le siguen los segmentos industrial y comercial con un 19%.

El silicio cristalino sigue manteniéndose como la tecnología fotovoltaica dominante, teniendo cada vez más diseños nuevos de celdas más eficientes ampliando así su cuota en el mercado. El cambio a obleas monocristalinas más eficientes se aceleró en el año 2021, con la tecnología capturando casi toda la producción fotovoltaica cristalina. Paralelamente, el diseño de celdas más eficientes también está expandiendo sus dominios con casi el 75% de participación en el mercado. Los nuevos diseños de celdas solares, incluso

aquellos de mayor eficiencia vieron una producción comercial ampliada y capturaron alrededor del 20% del mercado en el 2021 (IEA, Solar PV, 2022).

9.3.- Políticas Públicas

El fuerte apoyo político a la ESFV está impulsando la aceleración del crecimiento de la capacidad. El apoyo de las políticas públicas aplicadas por los países se mantiene como el principal impulso para el despliegue de esta energía en gran parte del mundo. Dentro de los años 2021-2022 se han implementado políticas públicas en varios países, las cuales han ido en apoyo a las fuentes de energías renovables para que estas crezcan en gran medida, algunas de estas son:

- China publicó su 14° plan quinquenal en junio del año 2022, que incluye un objetivo ambicioso de que el 33% de la generación de electricidad provenga de energías renovables para el año 2025, incluido un objetivo del 18% para las tecnologías solar y eólica.
- En agosto del año 2022, el gobierno federal de los Estados Unidos introdujo la Ley de Reducción de la inflación, una ley que amplía significativamente el apoyo a las energías renovables en los próximos 10 años a través de créditos fiscales y otras medidas.
- Durante la COP26, celebrada en noviembre del año 2021 en Glasgow, India anunció nuevos objetivos para el año 2030 de 500 GW de capacidad total no fósil y una participación de generación de electricidad renovable del 50%, así como emisiones netas cero por 2070, siendo la ESFV una de las principales tecnologías utilizadas para lograr dichos objetivos.

10.- ANÁLISIS ECONÓMICO

El costo de la fabricación de las celdas y paneles solares se ha desplomado drásticamente desde la última década, lo que los hace no solo más asequibles, sino también a menudo la forma más barata de electricidad. Los precios de los módulos solares cayeron hasta un **93%** entre los años 2010-2020. Durante el mismo periodo, el costo de electricidad nivelado promedio ponderado global (LCOE) para proyectos de ESFV a escala de servicios públicos se redujo un 85% (IRENA, s.f.).

10.1.- Cero Neto para 2050

A nivel mundial existe un acuerdo el cual busca un camino hacia el objetivo de cero emisiones netas para el año 2050, siendo este plazo algo corto y algo difícil de conseguir también traería consigo enormes beneficios según se plantea en los informes preliminares de la IEA (**Agencia** Internacional de Energía), 2021.

El informe de la IEA es un estudio integral del mundo sobre cómo hacer la transición a un sistema de energía neta cero para el año 2050 a la par de garantizar un suministro de energía estable y asequible, brindando acceso universal a la energía y permitir un crecimiento económico sólido. Dentro de todo se establece un camino de manera rentable y económicamente productivo, dando esto un resultado de una economía limpia, dinámica y resiliente dominada por energías renovables como la solar y la eólica y dejar atrás a los combustibles fósiles.

A corto plazo la IEA plantea pasos necesarios para lograr el Neto Cero, el cual requiere del despliegue inmediato y masivo de todas las tecnologías energéticas limpias y eficientes disponibles, todo esto combinado con un gran impulso global para acelerar la innovación. El camino requiere adiciones anuales de ESFV para

llegar a 360 Gigavatios para el año 2030, siendo estos valores cuatro veces el nivel récord establecido en el año 2020.

En el entorno de aumento de los precios del combustible y la electricidad en el año 2021, la ESFV distribuida se convirtió en una alternativa cada vez más atractiva para los consumidores, esto provocó un aumento en la inversión. La ESFV a gran escala sigue manteniéndose como la fuente más competitiva de generación de energía fotovoltaica a nivel global; sin embargo, la construcción de estas grandes plantas solares se vuelve cada vez más desafiante debido a la falta de espacios suficientemente grandes para poder instalar las plantas que se requieren (IEA, Solar PV, 2022).

10.2.- Progreso a nivel país

A continuación, se mostrará el progreso con respecto a la ESFV que han tenido algunos países, lo cual refleja el interés de estos por el uso de las energías renovables como las fuentes de mayor importancia en la actualidad por su potencial medioambiental e ir dejando atrás aquellas energías provenientes de origen fósil como el carbón, el petróleo y el gas.

10.2.1- Chile

Por primera vez, siendo un hecho histórico en Chile las energías eólica y solar lograron superar al carbón, generando esta más electricidad durante un periodo completo de 12 meses, desde agosto del año 2021 hasta septiembre del año 2022, todo gracias al estudio realizado por la organización EMBER el año 2022.

La energía solar y eólica generaron el 27.5% de la electricidad de Chile, superando así al carbón el cual generó un 26.5% de la energía de este país. En tan solo tres años Chile ha logrado duplicar la generación eléctrica por medio de

las energías solar y eólica de 9 TWh en el año 2018 (12%) a un valor de 18 TWh en el año 2021 (22%). Además, desde el año 2016 el aumento de la demanda energética en Chile se ha cubierto completamente por energía eólica y solar, las emisiones anuales disminuyeron un 6% entre los años 2016 y 2021 incluso a pesar de que la demanda general de energía del país aumentó un total de 11% en el mismo periodo de tiempo (Bruce-Lockhart, 2022).

Según (ReporteMinero, 2018) en la región del BÍO BÍO se sumaron dos parques fotovoltaicos, siendo instalados 18 MW de potencia, ambos proyectos de parques fotovoltaicos se sumaron a la comuna de Cabrero, siendo ingresados al Servicio de Evaluación Ambiental por un total de US\$12 millones cada uno de estos proyectos. El primer parque se denomina Moya (Suvan Solar SpA), el cual corresponde a la construcción y operación de un parque fotovoltaico enmarcado dentro de las Energías Renovables No Convencionales con una potencia de 8 MW dentro de una superficie de 23 hectáreas (ha), ubicándose este a unos 5 Km aproximadamente al Sureste de la ciudad de Cabrero y a 4.6 Km al Noroeste de la localidad de Charrúa.

El segundo proyecto se llama El Cortijo (Apolo Solar SpA), el cual posee una potencia nominal de 9 MW, siendo emplazado en una superficie total de 25.82 hectáreas (ha) dentro de un entorno rural a unos 7 Km aproximadamente al Sur de la comuna de Cabrero y a unos 4.3 Km al Sureste de la localidad de Monte Águila.

La tabla presentada a continuación muestra la capacidad instalada dentro de Chile entre los años 2012 a 2021 de energía solar, demostrando la gran inserción que ha tenido esta energía en el país tanto para alimentar procesos mineros como para apoyar el consumo de las ciudades dentro del país.

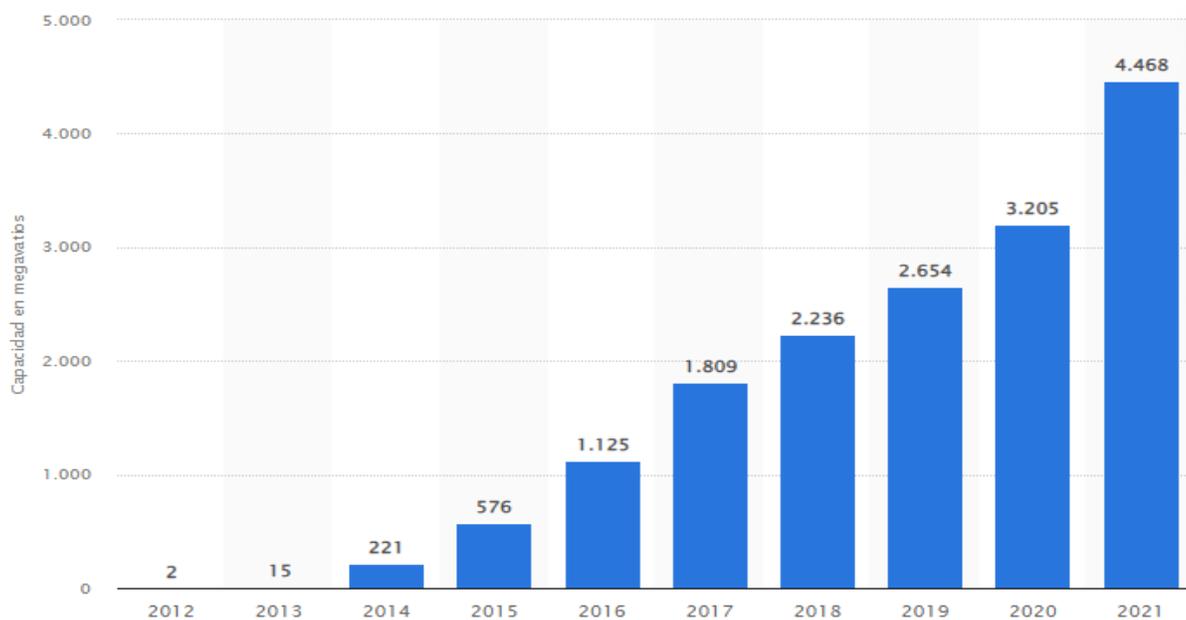


Ilustración 40 Adaptado de "capacidad instalada de energía en Chile de 2012 a 2021" por es.estatista.com 2022, <https://es.statista.com/estadisticas/1238175/capacidad-instalada-energia-solar-chile/>

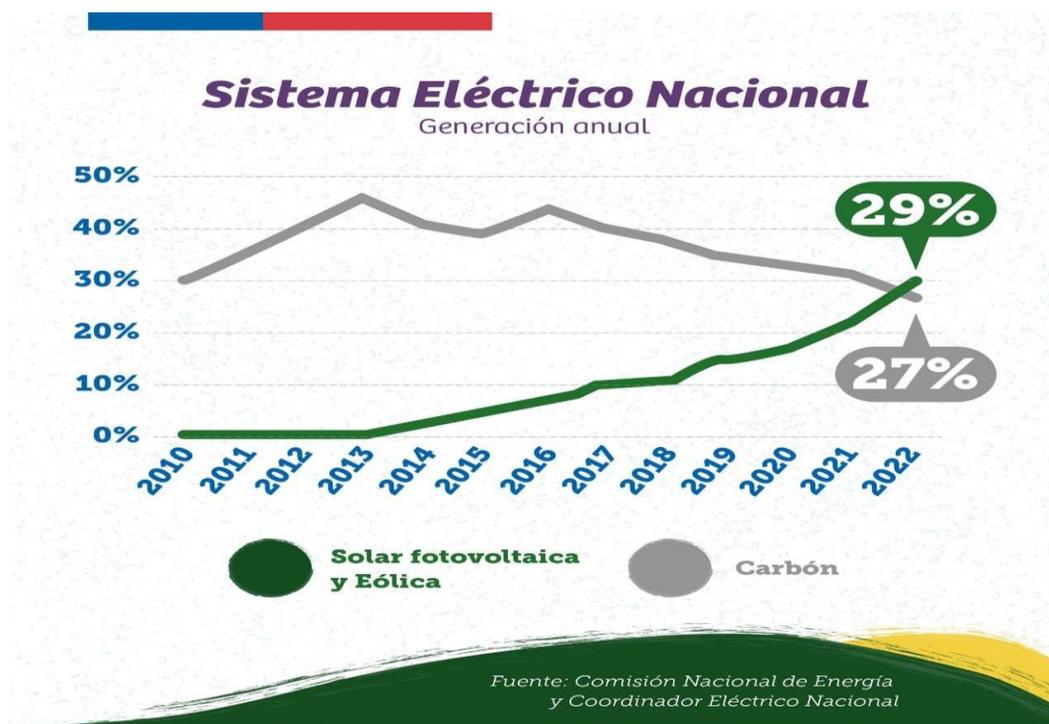


Ilustración 41 Imagen adaptada de "Sistema Eléctrico Nacional", extraído de Comisión Nacional de Energía y Coordinador Eléctrico Nacional.

Como se puede apreciar en la ilustración N°38, el sistema eléctrico chileno se ha ido modificando desde un fuerte aporte del carbón hacia una fuente mucho más verde como lo son la ESFV y la energía eólica, demostrando que es posible una transición hacia energías no convencionales demostrando que están tan capacitadas para brindar energía a un país como las de origen fósil.

10.2.1.1- Matriz Energética Chilena

Antes de comenzar a hablar de la matriz energética de un país, primero se debe definir esta y su gran relevancia en los temas energéticos que competen, por lo que se entrega una definición de esta de la mano de (García Bernal, 2021) y la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN), los cuales definen una matriz energética como una radiografía del balance del consumo de energía desde distintas fuentes dentro de un periodo de tiempo, de esta forma, existen matrices primarias y secundarias, que se diferencian según sus recursos estén procesados o en estado natural.

La matriz energética de Chile se divide a su vez en tres diferentes puntos, siendo estos: Matriz primaria, matriz secundaria y balance nacional de energía (BNE).

- **Matriz Energética Primaria**

Según el Ministerio de Energía, se entiende por energía primaria a aquella obtenida por fuentes desde su estado natural, esto se traduce como, fuentes que no han sufrido algún tipo de transformación ya sea esta física o química por intervención humana.

Entonces, se puede comprender una matriz energética primaria a una muestra de la participación que entregan las fuentes energéticas directamente del recurso natural en el consumo total, mostrando así el comportamiento de la demanda por

energía dentro de un instante de tiempo determinado. Para el año 2019, y de acuerdo con el Ministerio de Energía, la matriz energética primaria en Chile ascendió a 345.647 Tera calorías (Tcal).

Dentro de la matriz Energética primaria los recursos fósiles concentran la mayor parte , representando el 68% del total, el cual corresponde a la suma del petróleo crudo (30%), carbón mineral (22%) y gas natural (16%), mientras que las que poseen menor participación son la proveniente de la biomasa (23%), la energía de origen hídrico (5%), solar (2%) y eólica (1%).

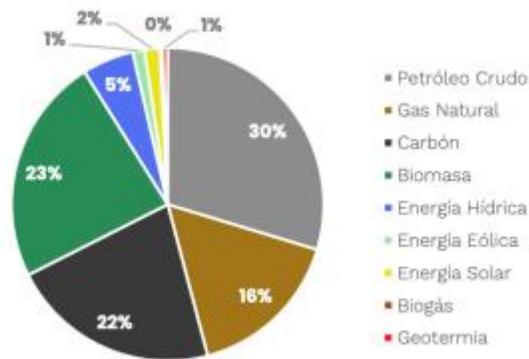


Ilustración 42 Matriz energética primaria en Chile, 2019, imagen adaptada de García.N,2021 de la BCN [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20\(16%25\).](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20(16%25).)

De manera que se pueda entregar una mayor profundización, se presenta una tabla en los Anexos (N°), sobre los valores de la matriz energética primaria del año 2019, donde se hace diferencia entre la producción bruta nacional, importación, exportación, variación de stock y la oferta primaria resultante para cada fuente energética.

- **Matriz energética secundaria**

La matriz secundaria corresponde a los productos energéticos, los cuales son obtenidos por medio de la transformación de energía de origen primario o de otras fuentes secundarias. Así, el Ministerio de Energía de Chile clasifica las fuentes de energía secundarias consideradas para el balance energético según la fuente primaria de su origen, siendo estas las siguientes: electricidad, productos petroléos secundarios, derivados del carbón, derivados de biomasa o biocombustibles.

La matriz secundaria muestra la participación que poseen los energéticos dentro del consumo final de energía, esto incluye a los energéticos producidos a partir de la transformación de los primarios, como también aquellos que pueden ser objeto de consumo final, como es el caso del gas natural y la biomasa (Deloitte, 2016). En Chile, para el año 2019, el consumo final de energía representado por la matriz de energía secundaria alcanzó un total de 301.629 Tcal, destacando que energías como la de los derivados del petróleo y la electricidad son los principales componentes, al concentrar el 58% y 22% respectivamente.

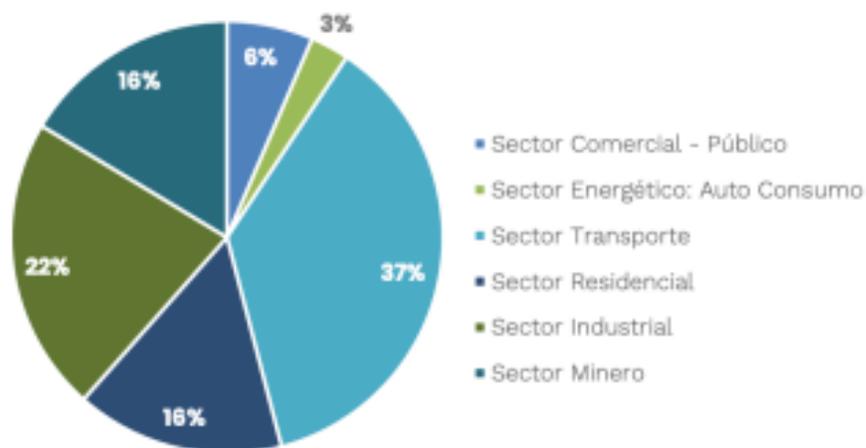


Ilustración 43 Imagen adaptada de matriz energética y eléctrica de Chile de la BCN "Consumo final de energía en Chile por sector de actividad económica, 2019"

[https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20\(16%25\).](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20(16%25).)

- **Balance Nacional de Energía (BNE)**

Dentro del Balance Nacional de Energía (BNE) se pueden encontrar representadas tanto la matriz primaria como la matriz energética secundaria. El BNE corresponde a un informe estadístico, el cual contabiliza la oferta total de energía disponible de un país en un año calendario, con el que se cuantifica (en Tcal) su consumo por los principales sectores de la economía nacional. Al igual que en el caso de las matrices energéticas, la última edición disponible del BNE corresponde a la información obtenida sobre la energía consumida durante el año 2019.

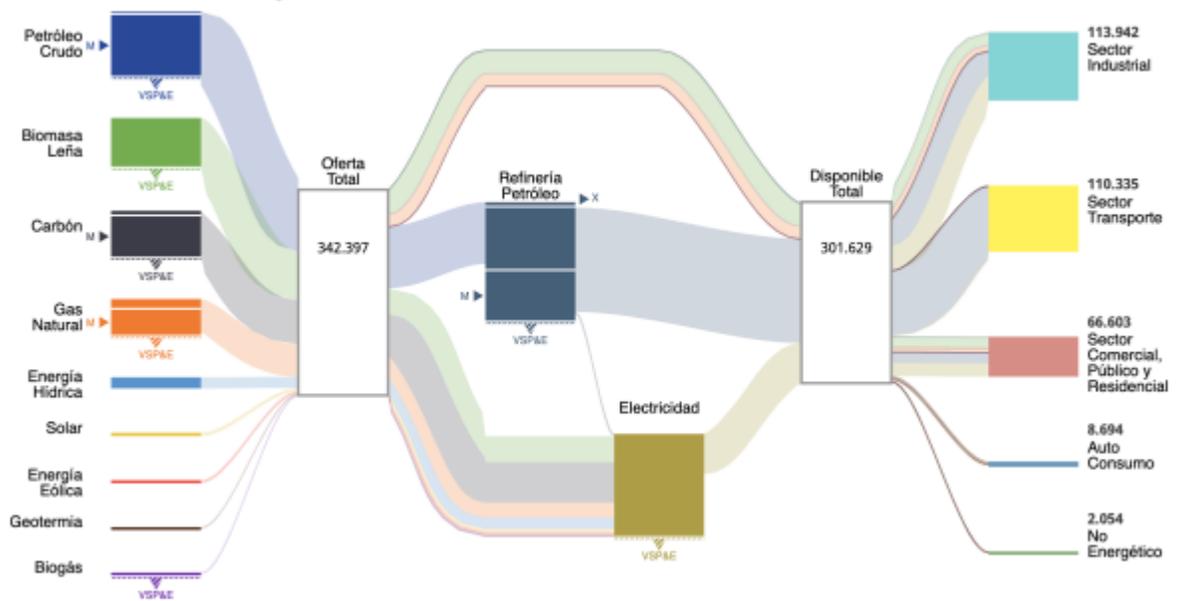


Ilustración 44 Imagen adaptada de Matriz energética y eléctrica en Chile, 2021, "Balance de energía en Chile, año 2019, unidad en Tcal", extraída del Ministerio de Energía 2021

Ahora, pasando a los centros de transformación, debe ser indicado que estos representan todos los consumos energéticos, ya sean estos primarios o

secundarios, utilizados con fines de transformación directa a otros energéticos para fines específicos. Cabe destacar que, durante el periodo comprendido entre los meses del año 2019, los centros de transformación procesaron 293.525 Tcal siendo la generación eléctrica el primer centro de transformación al concentrar el 58% seguido por la refinería del petróleo con un 37%.

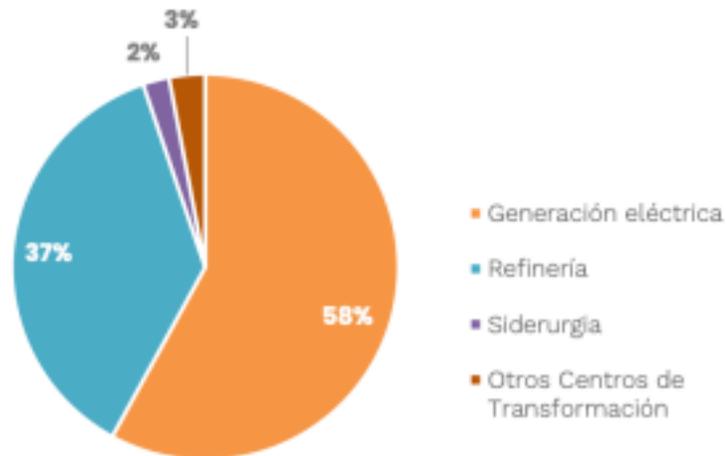


Ilustración 45 "Consumo en centros de transformación en Chile", imagen adaptada de la Matriz energética y eléctrica de Chile, 2021

[https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20lo%20matriz%20enerq%C3%A9tica%20primaria,y%20qas%20natural%20\(16%25\).](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20lo%20matriz%20enerq%C3%A9tica%20primaria,y%20qas%20natural%20(16%25).)

10.2.1.2.-Matriz Eléctrica en Chile

En Chile los sistemas eléctricos se organizan, principalmente, bajo el denominado Sistema Eléctrico Nacional (SEN), el cual tiene su origen el 21 de noviembre del año 2017 tras la conexión del Sistema Interconectado Central (SIC) y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING). Ahora, el SEN cuenta con una longitud que alcanza los 3.100 Km al abarcar desde la ciudad de Arica por el norte, hasta la Isla de Chiloé en el sur, teniendo una cobertura del 98.5% de la población nacional.

Al estar de la mano con el SEN, este cuenta con dos sistemas aislados: el Sistema de Aysén (SEA) que produce electricidad para abastecer la región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y el Sistema de Magallanes (SEM), el cual abastece las Regiones de Magallanes y de la Antártica Chilena.

- **Capacidad instalada**

El reporte de la Asociación de Generadoras de Chile del mes de agosto del año 2021 cuenta lo siguiente, al mes de julio del mismo año, el SEN contaba con una potencia instalada de generación equivalente a 28.495 MW, los que corresponden a más del 99% de la capacidad instalada nacional.

Del total de la capacidad instalada en el SEN, el 53.3% corresponde a tecnología de generación en base a recursos renovables, esto corresponde a, elementos de origen hidroeléctrico, ESFV, biomasa y geotermia. Mientras que el 46.7% restante corresponde a centrales termoeléctricas a gas natural, carbón o derivados del petróleo.

Tipo de energía	Capacidad Instalada [MW]	Participación Relativa [%]
Renovable	15.198	53,3%
Hidro-embalse	3.395	11,9%
Hidro-pasada	3.435	12,1%
Biomasa	430	1,5%
Eólico	2.835	9,9%
Solar	5.058	17,8%
Geotérmica	45	0,2%
No renovable	13.297	46,7%
Gas Natural	5.016	17,6%
Carbón	5.064	17,8%
Derivados del petróleo	3.217	11,3%
Total	28.495	100,0%

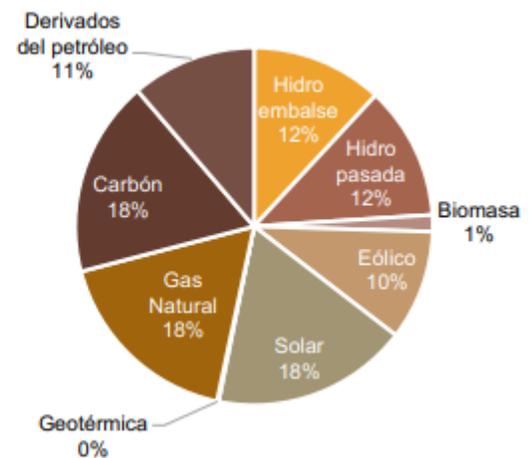


Ilustración 46 "Capacidad instalada (MW) en Chile según tipo de energía, al mes de julio del año 2021", imagen adaptada de Matriz energética y eléctrica de Chile, extraída de la BCN 2021. [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20\(16%25\).](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20(16%25).)

Para una mejor comprensión se presenta un gráfico diferente, pero se sigue manteniendo los mismos datos, con la finalidad de entregar una mejor explicación del tema tratado, todo esto en un gráfico de barras, ordenando así la capacidad instalada de mayor a menor.

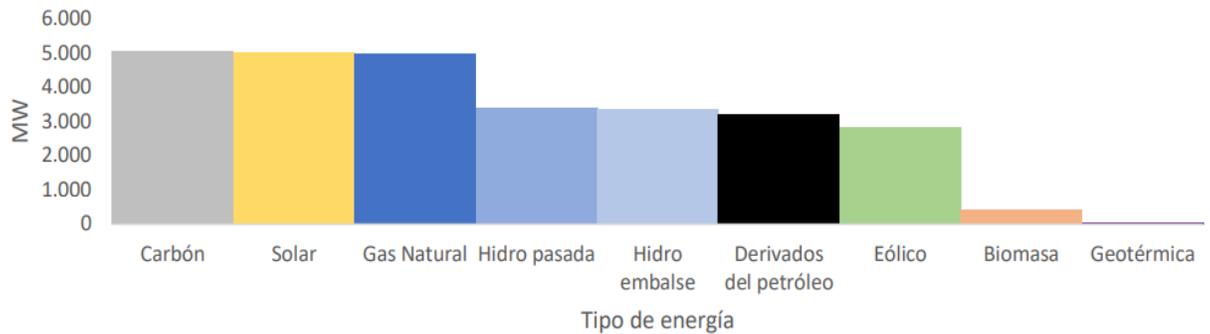


Ilustración 47 "Capacidad instalada (MW) en Chile según tipo de energía, al mes de julio del año 2021", imagen adaptada de Matriz energética y eléctrica en Chile, de la BCN 2021. [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energa%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20\(16%25\).](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energa%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20(16%25).)

Generación Histórica de los Sistemas Eléctricos

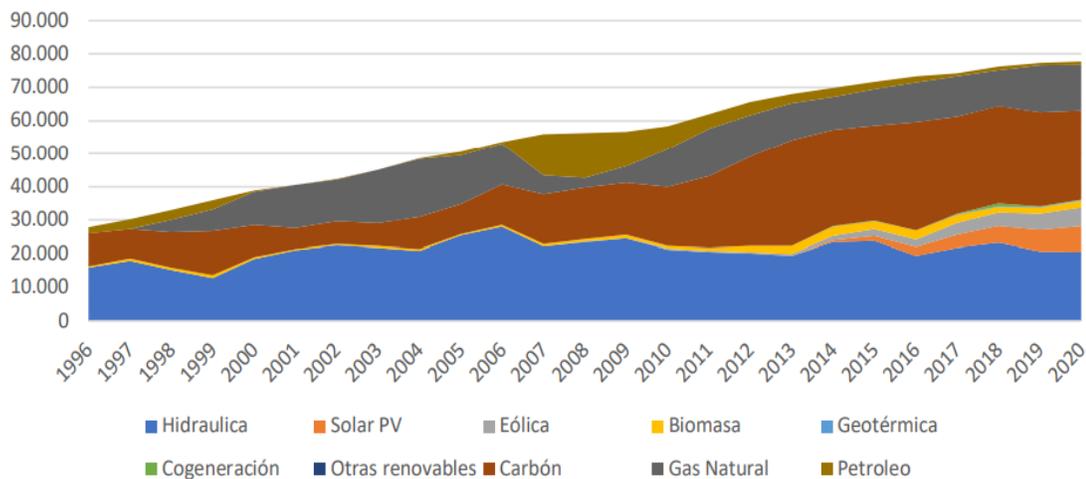


Ilustración 48 "Generación histórica de los sistemas SIC y SING y posterior interconexión en el SEN. Periodo 1996-2020, unidades en GWh", imagen adaptada de Matriz energética y eléctrica en Chile, de la BCN 2021. [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energa%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20\(16%25\).](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energa%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20(16%25).)

Abarcando un periodo más amplio, la ilustración N°48 muestra la generación en el SEN, el periodo comprendido entre los años 1996 – 2020. Mostrando que históricamente la generación eléctrica ha sido sustentada en base al carbón, gas natural y fuentes de origen hídrico. A partir del año 2012 se evidenció un aumento de manera significativa de generación basada en energías como la eólica, solar y biomasa.

A continuación, se presentan cifras extraídas de la BCN, sobre fuentes de generación de la matriz eléctrica de Chile, siendo estas las de origen hidráulico, fósil y solar, los cuales constituían el 19.4%, 58.8% y 10.9%, respectivamente en el acumulado hasta el mes de julio del año 2021.

- **Fósil**

Dentro de las centrales térmicas convencionales se produce electricidad a partir de combustibles fósiles como el carbón, derivados del petróleo o gas natural.

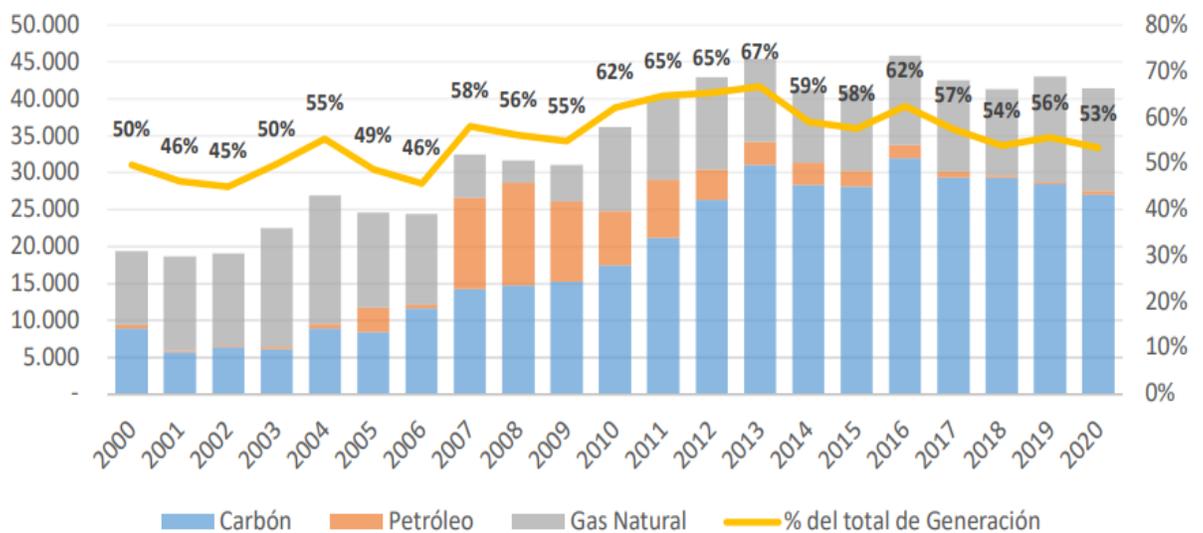


Ilustración 49 "Generación de electricidad en base a combustibles fósiles (GWh), 2000-2020", imagen adaptada de Matriz energética y eléctrica en Chile, 2021, de la BCN.
[https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20\(16%25\).](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20(16%25).)

En la ilustración N° se muestra que la generación de electricidad en base a combustibles fósiles ha tenido una participación que de manera histórica ha generado oscilaciones entre el 45% y el 67% del total, el mayor aporte es producido por las centrales a carbón, seguidas por las que consumen gas natural y en menor cantidad las petroleras.

- **Hídrico**

Según los datos recopilados por (García Bernal, 2021), datos extraídos de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, la hidroelectricidad es una fuente de energía de origen renovable, la cual aprovecha la energía potencial del agua cuando esta se encuentra a una altura superior con respecto a un punto de descarga. Esta se caracteriza por ser una energía limpia al no emitir contaminantes además de ser de origen local, por lo que de esta manera se evita la dependencia de fuentes de energía importadas. En Chile, a julio del año 2021, se registraron 6.839 MW de capacidad instalada, lo cual equivale a cerca del 24% de la capacidad instalada total.

Según (García Bernal, 2021), el estudio de cuencas del Ministerio de Energía del año 2021 demostró que en Chile existía un potencial hidroeléctrico de 15.938 MW.

Los recursos para el año 2006 llegaron a representar el 52% del total de la generación, al aportar con 28.034 GWh al sistema, posterior a esto se registró un descenso de este porcentaje, registrando un 27% para el año 2020.

	Hidráulica de pasada (MW)	Hidráulica de embalse (MW)	Total hidroeléctrico (MW)	Total (MW)	Participación energía hidroeléctrica (%)
SEN	3.301	3.355	6.656	23.860	27,9%
SEA	23	0	23	60,28	37,6%
SEM	0	0	0	107	0%
Total	3.324	3.355	6.679	24.029	27,8%

Ilustración 50 "Capacidad instalada hidroeléctrica de Chile a diciembre de 2019. Unidades en MW." imagen adaptada de Matriz energética y eléctrica en Chile de la BCN 2021.

[https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20\(16%25\).](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,y%20gas%20natural%20(16%25).)

- **Solar**

Se entiende por energía solar a aquella de un origen renovable la cual utiliza la radiación electromagnética proveniente del sol. En Chile, la zona norte posee la mayor incidencia solar del mundo, principalmente en el desierto de Atacama (Generadoras, 2021). La generación solar se puede realizar mediante dos tipos de tecnología: los sistemas fotovoltaicos (PV) y los sistemas térmicos; de los cuales Chile solo cuenta con acumulación de energía en sales fundidas, otorgando un factor de planta cercano al 100%.

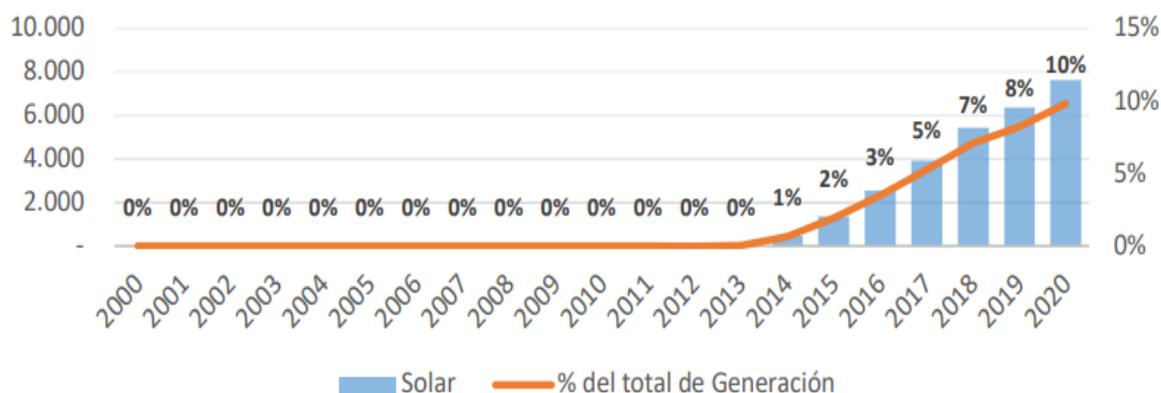


Ilustración 51 ". Generación de electricidad en base a energía solar [GWh], 2000 – 2020", imagen adaptada de la Matriz energética y eléctrica en Chile, de la BCN, 2021.

[https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20enerq%C3%A9tica%20primaria,y%20qas%20natural%20\(16%25\).](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20enerq%C3%A9tica%20primaria,y%20qas%20natural%20(16%25).)

La ilustración N°51 muestra el aumento que se ha registrado en la generación de electricidad en base a energía solar. Como se observa, al año 2020 esta contribuye con el 10% de la generación total.

10.2.2.- Australia

El sector de las energías renovables está experimentando un boom sin precedentes en este país, ya que en el año 2020 las energías renovables experimentaron un nuevo máximo en el sector, con 62.917 GWh de generación eléctrica.

Según datos recopilados del Clean Energy Council, la principal fuente de energía renovable en el año 2020 fue la eólica con un 9.9% sobre toda la energía generada en el país, para luego seguirla la energía solar con un 9.8% y luego la

hidroeléctrica con un 6.4%. La electricidad producida por el conjunto de energías renovables ha superado por segunda vez consecutiva a la producida por el carbón (ICEX, 2021).

10.2.2.1.- Matriz Energética de Australia

Australia puede autoabastecerse completamente de energía de producción propia. La producción total de todas las instalaciones de producción de energía eléctrica es de 243 MM kWh. Esto representa el 106% del uso propio de los países. (DatosMundial, s.f.)

Según datos extraídos de (DatosMundial, s.f.) sobre la electricidad en Australia que se presentan a continuación, datos como que la población completa de Australia para el año 2020 ya poseía acceso total a la electricidad.

Datos Extraídos de (HERBERTSMITHFREEHILLS, s.f.) Australia tiene una serie de sistemas de electricidad separados. El más grande es el Mercado Nacional de Electricidad (NEM, National Electricity Market) el cual abarca Queensland, Nueva Gales del Sur, Victoria, Australia del Sur, Tasmania y el Territorio de la Capital Australiana, seguido por el Mercado Mayorista de Electricidad, el cual opera en todo el Sistema Interconectado del Suroeste en Australia Occidental.

El NEM es el sistema eléctrico más grande de Australia y este comprende 40.000 Km de líneas de transmisión, 9 millones de clientes y 50.000 MW de capacidad de generación con \$11.4 billones de dólares australianos de valor en ventas de energía cada año.

Cuando se estableció el NEM, la generación de electricidad del NEM era en gran medida proporcionada por la generación a carbón y gas. Sin embargo, en la última década, esta matriz se ha modificado. Implementando cambios como la paralización del desarrollo de la generación a carbón y el cierre de antiguas plantas de carbón como también el desmantelamiento de generadores a gas.

Según (HERBERTSMITHFREEHILLS, s.f.) a la par de la caída de los combustibles fósiles ha existido un aumento en la penetración de las energías renovables, predominantemente plantas de energía eólica y solar a escala de empresas de servicios, tales crecimientos son respaldados por una serie de acuerdos reglamentarios estatales y federales.

10.2.3.- Argentina

Según un informe realizado por (Ini, 2022), este informa que, en el año 2021, la ESFV en Argentina tuvo una participación de casi el 13% de la cobertura con energías renovables de la demanda energética.

Para el año 2021 las energías renovables cubrieron el 13% de la demanda energética de Argentina, con un total de 17.435 GWh; de este valor se desprende el aporte de la ESFV, siendo este de 2.196 GWh, el 12.59%, el cual provino de plantas fotovoltaicas a partir de un poco más de 1 GW de capacidad instalada.

Según (Ini, 2022), estos datos son extraídos de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (Cammesa) para todo el año 2021 y para todas las tecnologías que forman parte del mix energético de Argentina.

El estudio ya mencionado presenta la evolución de todas las fuentes de energía, estudio del cual es posible extraer el comportamiento de la ESFV desde su irrupción en el sistema eléctrico. Así, desde un pequeño inicio en el año 2011, con solamente 1 MW instalado, desde entonces su presencia se volvió cada vez más relevante.

Esto se demuestra al observar que en el año 2018 se declaró una capacidad instalada de energía fotovoltaica de 191 MW. Un año después, se alcanzaron valores de 439 MW, y donde para el año 2020 se alcanzó un total de 759 MW, llegando al año 2021 con un total final de 1.060 MW fotovoltaicos totales.

10.2.3.1.-Matriz energética Argentina

La matriz energética que se presenta a continuación es proveniente de datos extraídos de (FundacionYPF, s.f.), pues tanto Argentina como parte del mundo utilizan un alto porcentaje de hidrocarburos. El petróleo y el gas alcanzan casi el 90% del total de la oferta energética de este país. Argentina no consume cantidades significativas de carbón (por debajo del 0.9%), en diferencia con otros países como China, Alemania o Estados Unidos, países donde el carbón es una de las fuentes que más utilizan.

- El petróleo es en la actualidad la fuente energética predominante a nivel mundial, además de ser esta una materia prima fundamental al momento de elaborar una gran variedad de productos usados de manera cotidiana por las personas. Las propiedades del petróleo lo convierten en un material único, gracias a su alto contenido energético en relación con su volumen y masa, la facilidad para ser extraído, transportado y almacenado. El petróleo representa un valor cercano al 32% de la oferta mundial de energía, por estas características Argentina consume actualmente una proporción cercana al promedio mundial (34.5%).
- El gas natural ha tenido un gran desarrollo dentro de Argentina además de una participación significativa dentro de la matriz energética de este mismo país. El desarrollo de esta fuente data de la década del cuarenta gracias a la construcción del gasoducto entre Comodoro Rivadavia y Buenos Aires. Posterior a esto, se produjo el descubrimiento del mega yacimiento de Loma de Lata, en la provincia del Neuquén, en la década del setenta, siendo este el punto de partida para el incremento del uso del gas, lo que a su vez produjo un cambio en la matriz nacional. En la actualidad, el gas natural alcanza a más de la mitad de los consumos energéticos de Argentina (53%) teniendo funciones en hogares, la industria y la generación eléctrica.
- La energía hidráulica tiene una parte de la energía en Argentina (4%) y casi a la par está la energía nuclear (2%), estas dos han crecido en los últimos

años pues han sido utilizadas para generación de electricidad. Mientras que la energía eólica y solar se mantienen incipientes y no poseen aún un impacto significativo dentro de la oferta del país.

La matriz energética hace una referencia hacia las energías primarias que se utilizan en la generación de electricidad de un país. En Argentina más del 60% de la electricidad es producida dentro de centrales térmicas, las cuales funcionan principalmente a gas.

A continuación, se presentan una serie de ilustraciones, las cuales muestran el desarrollo energético de Argentina desde sus inicios y como con el paso del tiempo la dependencia de los combustibles fósiles como el petróleo han ido disminuyendo para dar paso a las energías renovables.



Ilustración 52 "Matriz energética de Argentina en el año 1980", imagen adaptada de la fundación YPF.

https://energiasdemipais.educ.ar/edmp_lecturas/matriz-energetica/#:~:text=En%20esta%20matriz%20se%20observa%20la%20importancia%20del%20gas%20y,generaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20en%20el%20pa%C3%ADs

Matriz energética Argentina 1990

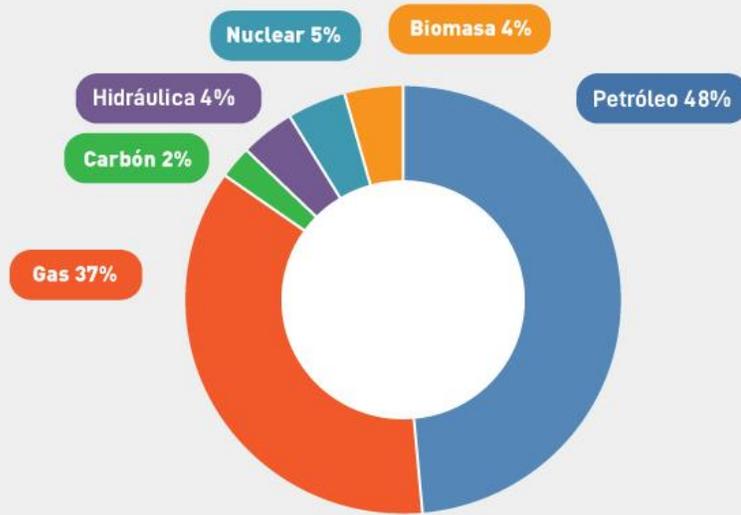


Ilustración 53 "Matriz energética de Argentina en el año 1990". imagen adaptada de la Fundación YPF.

https://energiasdemipais.educ.ar/edmp_lecturas/matriz-energetica/#:~:text=En%20esta%20matriz%20se%20observa%20la%20importancia%20del%20gas%20y,generaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20en%20el%20pa%C3%ADs.

Matriz energética Argentina 2000

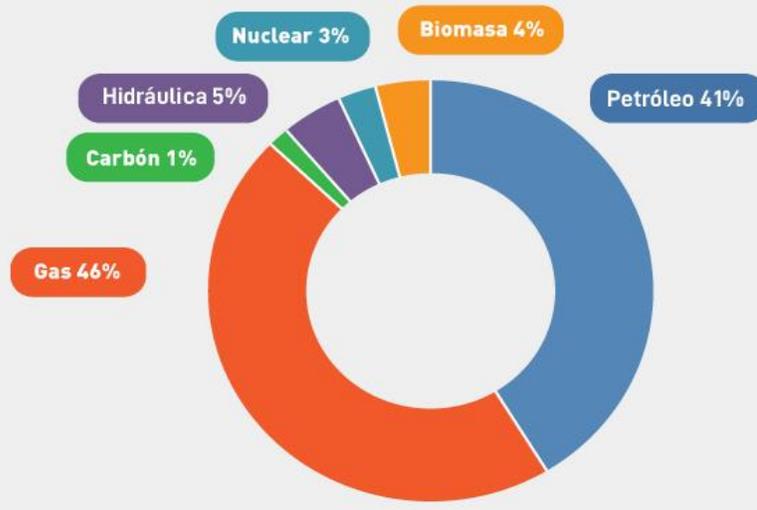


Ilustración 54 "Matriz energética de Argentina en el año 2000", imagen adaptada de la Fundación YPF.

https://energiasdemipais.educ.ar/edmp_lecturas/matriz-energetica/#:~:text=En%20esta%20matriz%20se%20observa%20la%20importancia%20del%20gas%20y,generaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20en%20el%20pa%C3%ADs.



Ilustración 55 "Matriz energética de Argentina en el año 2021", imagen adaptada de la Fundación YPF.

https://en.ergiasdemipais.educ.ar/edmp_lecturas/matriz-energetica/#:~:text=En%20esta%20matriz%20se%20observa%20la%20importancia%20del%20gas%20y,generaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20en%20el%20pa%C3%ADs.

10.2.4.- Bolivia

10.2.4.1.- Matriz Energética de Bolivia

La matriz energética de Bolivia es una mezcla entre energías renovables y no renovables, dicha matriz es explicada por datos extraídos del texto de (Montaño, 2022) y la Fundación Solón.

Para lograr explicar la matriz energética de Bolivia, (Montaño, 2022) se basó en el Balance Energético Nacional 2003-2020 publicado por el Ministerio de Hidrocarburos y Energía, expresado en Kilo barril equivalente de petróleo (kbp), además se mostrarán tres aspectos, los cuales son: La producción/oferta de energía primaria y su destino (el cual es en su mayoría la exportación), la

transformación que se realiza en refinerías, plantas de tratamiento de gas y centrales eléctricas y finalmente el consumo final/demanda.

La producción y el consumo de energía primaria en Bolivia están dominados por los combustibles fósiles, siendo la exportación el objetivo principal. En el año 2020 se destinó un calor cercano al 60% de la energía primaria de Bolivia a la exportación, siendo esta casi en su totalidad gas natural (98.5%), mientras que el 26.25% pasó por los centros de transformación y el 12.20% se destinó al consumo final.

10.2.4.2.- Balance Energético Nacional 2006-2020

- **Producción de energía: El dominio de los combustibles fósiles**

La producción de energía primaria en el periodo comprendido entre los años 2006 – 2020, creció de 105.833 Kbeq el año 2003 a 164.779 Kbeq el año 2014, para luego ir en un decrecimiento de forma constante hasta llegar a los 122.145 Kbeq el año 2020. Para el periodo ya mencionado tanto la producción de petróleo como de gas natural tuvieron una participación de entre el 93% a 95% de la producción total de energía primaria, siendo en el año 2020 donde se produjo un 92.63% de petróleo y gas natural; mientras que otras fuentes de energía como la eólica, solar, hidroeléctrica y biomasa apenas lograron valores cercanos al 7.36%. Esto demuestra el poderoso dominio de los elementos de origen fósil dentro de la matriz energética primaria para Bolivia.

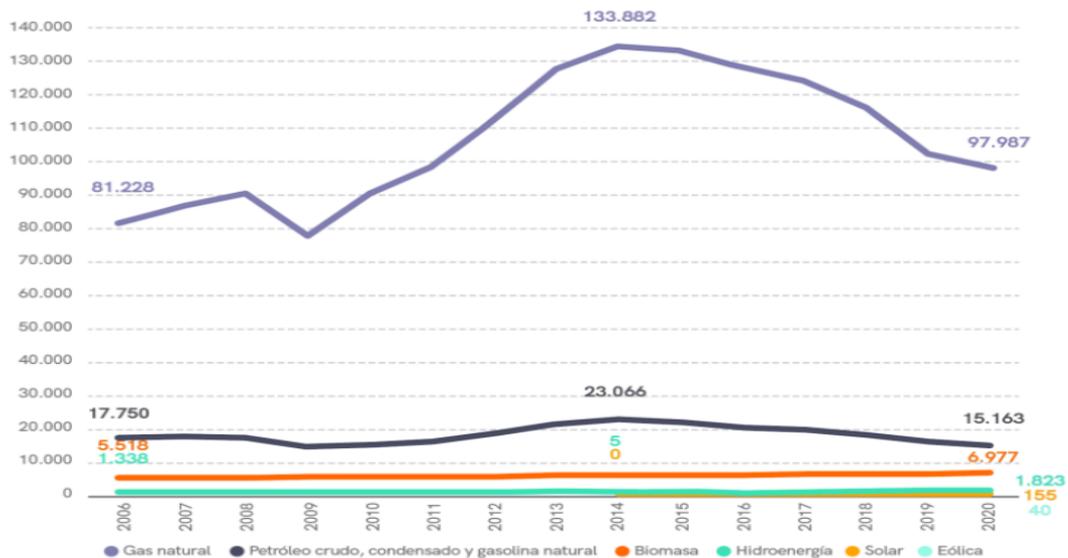


Ilustración 56 "Producción de energía primaria, 2006 - 2020". Imagen adaptada de Fundación Solón, Montaño. X. 2022. <https://fundacionsolon.org/2022/11/30/conociendo-la-matriz-energetica-en-bolivia/>

- **Los centros de transformación**

Según (Montaño, 2022) el Balance Energético Nacional 2006-2020, los centros de transformación son aquellas plantas donde la energía que entra se modifica en procesos especiales de industrialización o conversión energética mediante procesos físicos y/o químicos entregando una o más fuentes de energía diferentes a la o las entradas. Estas se clasifican de la siguiente manera:

- Refinerías es la plataforma industrial destinada a la refinación del petróleo, por medio del cual se obtienen diversos combustibles como el diésel, gasolinas, gas licuado de petróleo, aceites y otros.
- Las plantas de tratamiento de gas son centros donde el gas natural se procesa con el fin de recuperar hidrocarburos líquidos compuestos como la gasolina, entre otros.

c) Las centrales eléctricas que son plantas de generación eléctrica pueden ser hidroeléctricas, turbinas de vapor, turbinas de gas ciclo combinado y motores de combustibles interna, parques eólicos y centrales solares.

- **El consumo final de energía por sector económico y fuente**

El consumo final según (Montaño, 2022) de energía para el mercado interno en el periodo 2006 – 2020, fue en crecimiento constante hasta el año 2018, el cual llegó a 49.6 mil kbep para ir disminuyendo hasta el año 2020 a 43 mil kbep, justo la fecha coincide con la pandemia y cuarentena por lo que se explicaría la disminución del consumo de parte de todos los sectores.

Para concluir con la matriz energética, (Montaño, 2022) plantea que entre el 92% y el 94% de la matriz energética de Bolivia ha estado dominada por los combustibles fósiles y la producción de energía renovable / siendo estas eólica, solar, biomasa e hidroenergía) ha tenido entre el 6% y hasta casi el 8% de participación dentro del periodo entre el año 2006 – 2020, mientras que el sector sub eléctrico, en el año 2020 utilizó un 64% de gas natural, 1% de diésel oil y el restante 35% fue para energías renovables. La participación de estas últimas ha mejorado con el tiempo, pero aun así su participación dentro de la matriz energética de este país las mantiene muy inferiores.

Dentro del texto referente a la matriz energética de Bolivia de (Montaño, 2022) la energía la calculan como bep, barril equivalente de petróleo, esta es una medida internacional estándar de energía que debe tener una equivalencia con las demás unidades de energía existentes, lo que permite hacer comparaciones. Un bep es una unidad de medida utilizada para conocer el equivalente en energía de quemar un barril de petróleo crudo. Un Kilo barril equivalente de petróleo (Kbep) son miles de unidades de energía equivalente.

Según la página translatorcafe.com (página para convertir unidades), 1 bep = 1.69 MWh

10.2.4.3.- Energía Solar Fotovoltaica en Bolivia

Según datos extraídos del (MHE, 2022), Bolivia redujo en un 50% la utilización del gas para generación eléctrica y sustituyó este combustible por las fuentes renovables como la hidroeléctrica, eólica, solar y biomasa.

La capacidad instalada de energías renovables en este país se constituye de la siguiente manera: 165 MW de energía solar, 135 MW de energía eólica; 127 MW de energía de biomasa y 734 MW de energía hidroeléctrica. Demostrando así que la energía solar es la que posee mayor capacidad instalada en este país, demostrando así la relevancia de esta energía renovable.

10.2.5.- Perú

10.2.5.1.- Matriz Energética de Perú

La matriz energética de Perú, según (GEM, s.f.), más de dos tercios del suministro total proviene de los combustibles fósiles. Dentro de este valor, el petróleo representa aproximadamente el 43% seguido del gas (26% a 31%).

En cambio, las energías renovables dentro de la matriz energética de Perú representan menos del 6% del total.

En el año 2020, la capacidad instalada del sistema eléctrico de Perú era de 15.2 GW. Los combustibles fósiles representaron gran parte, siendo esta de 58.7% de la capacidad total, seguido por la energía hidráulica con 35.64% y pequeñas cantidades de energía eólica, solar y otras energías renovables.

En el año 2016 Perú quedó en el puesto N°70 a nivel mundial en relación con el consumo de carbón, siendo este de un total de 1.267.657 toneladas.

Perú es el segundo país con la mayor cantidad de reservas de gas natural entre Centroamérica y Sudamérica. Para el año 2021 las reservas totales de este elemento daban para un total de 30 años.

Las energías renovables también tienen una importancia dentro de Perú, pues se podrían llegar a generar más de 1000 GW de capacidad instalada utilizando solo energías renovables, centrándose en energía solar e hidroeléctrica. Según (GEM, s.f.) Perú tiene como política energética el objetivo de diversificar la matriz energética del país, con un gran énfasis en las energías renovables y la eficiencia energética para así satisfacer las necesidades a largo plazo del país.

La energía solar en Perú es captada en las regiones de Tacna, Moquegua y Arequipa. Su generación contribuye al sistema energético nacional y ayuda al Programa Masivo Fotovoltaico, el cual ha logrado llevar electricidad a 205.138 hogares rurales desde sus comienzos en el año 2017. En base a esto se estima que las energías renovables en Perú crecerán de un 6% entre los años 2021 y 2026.

10.2.6.- Discusión

Tras mostrar las matrices energéticas de Chile, Argentina, Perú, Bolivia y como caso especial Australia da muestra de los avances que cada país está desarrollando para tener mejores capacidades de las energías renovables a la par de ir dejando atrás a los combustibles fósiles como el carbón, el petróleo con sus derivados y el gas natural, los cuales fueron el sustento de estos países por muchas décadas.

Dentro de los países latinoamericanos utilizados de ejemplo para esta demostración (Chile, Argentina, Perú y Bolivia), Chile es el que más ha puesto

sus esfuerzos por aumentar su producción de energía por fuentes renovables, llegando a superar la producción de algunos combustibles fósiles como lo fue el carbón que fue superado por las energías eólica y solar el año 2022, lo que demuestra que los países se interesan y de que es posible dejar atrás los combustibles fósiles e ir en la dirección de las energías renovables.

11.- ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

11.1.- Crisis de 2030

El calentamiento global ha motivado distintas medidas para mitigar sus efectos. En este contexto, Chile ha logrado importantes avances en la implementación de las llamadas Energías Renovables No Convencionales (ERNC), teniendo como objetivo para el 2050 que un 70% de la energía producida en el país sea a través de estas fuentes. Es así como en la última década se ha visto un crecimiento sostenido de parques eólicos y solares. Estos últimos han tenido gran auge en la zona norte del país gracias a sus favorables condiciones de radiación solar (Gallardo Olivares, 2022).

Los parques solares fotovoltaicos, en particular, llegan a contener en total más de 14 millones de celdas de silicio, un material que tarde o temprano debe ser descartado, en este caso, cada 25 años.

Iván Rosas, Ingeniero civil eléctrico y magíster en ciencias de la ingeniería eléctrica de la Universidad de Chile, advierte que en la mayoría de los casos estos llegan a parar a los desiertos, pese a que en otros países son considerados desechos peligrosos. Esta es una realidad que amenaza a todos con convertirse en un problema aún mayor para el año 2030, ya que se estima que en este año

sucedirá el recambio de la mayoría de los parques solares en Chile. Se cree que esto podría desencadenar en una crisis para el manejo de estos residuos a nivel nacional.

Ante una crisis de residuo tan grande como que se espera para el 2030, el ingeniero civil mecánico Juan Pablo Romero de la Universidad de Chile propuso reutilizar los paneles de las plantas fotovoltaicas y darles usos más cotidianos, como en casas o en alumbrado público, ya que “La eficiencia que requiere un panel solar para estar operativo en una planta es de 80%, pero igual puede servir.

Hoy en día los paneles solares son fabricados para tener una duración mínima de entre 25 a 30 años. De esta manera, se calcula que para la década del 2050 habrá un incremento considerable en el volumen de paneles retirados. En su momento esto representaría un desafío a nivel ambiental, pero también una oportunidad para crear valor y encontrar nuevas vías económicas. Según la agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), la recuperación de las materias primas podría estar por el orden de los 15.000 millones de dólares para el 2050 (engi, 2020).

11.2.- Impactos de los paneles solares

La ESFV a pesar de ser una de las fuentes de energía más limpias y de mayor crecimiento a nivel mundial no evita tener un impacto en el ecosistema, ya sea este positivo o negativo (SolarRoots, 2022).

11.2.1.- Impactos ambientales positivos

11.2.1.1.- Disminuir el uso de combustibles fósiles

Al optar por utilizar energías que provienen de fuentes limpias como la solar se dejan de utilizar otras fuentes como el petróleo, el carbón y otros recursos los cuales son más limitados.

11.2.1.2.- Energía limpia por más tiempo

Las placas fotovoltaicas están actualmente logrando periodos prolongados de vida, alcanzando estos los 25 a 30 años. Esto quiere decir que durante toda su vida útil se recibe energía limpia sin tantos inconvenientes como las otras energías más convencionales, reduciendo así los residuos generados por la ESFV.

11.2.1.3.- Reducción de las emisiones

El utilizar energías que provienen de fuentes limpias como la solar ayudan a reducir la generación anual de gases de invernadero los cuales están relacionados con el cambio climático. Esto también incide en la calidad del aire el cual se ve constantemente afectado por las emanaciones que provienen de la quema de combustibles fósiles.

11.2.1.4.- Suelo

Al no producirse contaminantes, vertidos o movimientos de tierra, estos actos ayudan a que la incidencia sobre las características fisicoquímicas sobre los suelos sea nula.

11.2.1.5.- Aguas Superficiales y subterráneas

La implementación de plantas solares fotovoltaicas no produce alteraciones en los acuíferos ya sea por consumo, contaminación, residuos o vertidos.

11.2.1.6.- Ruido

Una vez la planta está en funcionamiento es completamente silenciosa, lo cual es una clara ventaja frente al funcionamiento de fuentes de energía más convencionales, además de no afectar de esta manera a la vida silvestre o a las comunidades aledañas.

11.2.2.- Impactos ambientales negativos

11.2.2.1.- Impacto a la flora y fauna

Las grandes instalaciones de plantas solares fotovoltaicas no son del todo respetuosas con el entorno, afectando a la flora y fauna de las zonas en donde las plantas son instaladas. Además, una vez instaladas las grandes plantas fotovoltaicas el suelo en donde se encuentran emplazadas deja de ser aprovechable para cualquier otra actividad.

11.2.2.2.- Uso del agua

En el proceso de fabricación de las placas solares utilizadas en las plantas fotovoltaicas requieren de un proceso de horneado de los materiales que se utilizan al momento de ensamblarlas para luego enfriar bajo grandes cantidades de agua, generando esto un alto consumo para poder entregar productos de alta calidad.

11.3.- Producción de Energía Fotovoltaica

Para la implementación de la ESFV se necesita de grandes superficies para poder captar la energía proveniente del sol, además para poder implementar grandes plantas solares se necesita una gran cantidad de materiales para la construcción de estas plantas.

Como plantea la organización ecologistas en acción (2007), la fabricación de un panel solar requiere también la utilización de materiales como aluminio (marcos), vidrio (Como encapsulante), acero (estructuras) entre otros materiales; siendo estos componentes comunes con la industria convencional. El progresivo desarrollo de tecnología de fabricación de estructuras y paneles solares supondrá una reducción del impacto ambiental debido a estos conceptos.

Para la generación de paneles solares y celdas fotovoltaicas se producen gastos energéticos los cuales generan residuos, estos residuos pueden ser partículas de NO_x (grupos de gases reactivos como el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2)), SO_2 (dióxido de azufre), CO_2 (dióxido de carbono), entre otros. Esto es debido a que para la fabricación de estos materiales se requiere de energía, pero estas energías utilizadas tienden a tener sus fuentes de origen en las energías convencionales de cada país. “Podemos afirmar que la emisión de estas sustancias debida a la fabricación de paneles solares es reducida, en comparación con la disminución en la emisión de sustancias de este tipo que

supone la producción de electricidad por medios fotovoltaicos, en vez de fuentes convencionales” (ecologistas en acción, 2007).

Dentro de lo mencionado por ecologistas en acción (2007) estos también hacen una ejemplificación con respecto a la producción de energía y sus residuos, ya que la producción de la misma cantidad de potencia hora por año en una moderna y eficiente central térmica de carbón, supone la emisión de más de 20 veces el CO_2 que si la producción de la misma cantidad de energía se realizará mediante módulos de celdas fotovoltaicas en pequeña escala. Mientras que la producción de electricidad mediante paneles solares a gran escala disminuiría aún más las emisiones de CO_2 , llegando así a reducir hasta unas 200 veces la cantidad de CO_2 emitidas con respecto a una central de carbón.

11.4.- Electrificación en la minería

Con el paso del tiempo muchos proyectos mineros han decidido invertir en la electromovilidad para reducir en parte su huella de carbono, como en algunos proyectos mineros en Chile donde han implementado buses para el transporte de sus trabajadores totalmente eléctricos, siendo este un proyecto de la empresa CODELCO, pues “La flota de electromovilidad de CODELCO está formada por 155 buses eléctricos, que tendrán por misión transportar a trabajadores de Chuquicamata, Andina y El teniente. Esta cantidad representa más del 30% del total de buses de transporte de personal de CODELCO en estas divisiones” (Minería y Futuro, 2022), siendo este proyecto un aporte tanto económico como medioambiental para demostrar que se puede ir en dirección hacia una minería más y completamente verde.

Además de buses eléctricos, el primer LHD 100% eléctrico va a operar en una minera en Chile. Este equipo reducirá en un 70% el uso de energía, de la mano con la contaminación acústica y las vibraciones.

La empresa donde este LHD va a operar informó que este puede llegar a cargar hasta 14 toneladas de material, sin generar emisiones directas de gases de efecto invernadero a la atmósfera y baja la temperatura en las áreas de trabajo un 5%. Demostrando que equipos eléctricos son totalmente útiles y funcionales, además de que reducen todos los efectos contaminantes que sus pares a Diesel generan además de generar un ahorro energético relevante para el proyecto minero.

11.5.- Limpieza de paneles solares

Un aspecto un tanto complejo para los sistemas fotovoltaicos es el mantener estos limpios, pues cuando no lo están pueden verse afectados los rendimientos de la generación de electricidad pues la mayoría se encuentra en zonas desérticas para aprovechar la radiación solar que en estas zonas se produce. Para limpiar las celdas antes se utilizaban cepillos, pero estos terminan dañando las celdas por lo que se procede a utilizar agua, pero con el paso del tiempo y las grandes plantas a nivel mundial se ha terminado utilizando una cantidad abismal de agua para mantenerlos limpios.

Según un estudio planteado por (Prego, 2022), este plantea que con una capacidad global la cual supera los 500 GW, esto se podría traducir en un consumo de agua de alrededor de 10.000 millones de galones, siendo esta una cantidad tan grande era necesario el implementar una alternativa que pudiera dar un servicio tan eficiente como lo era la limpieza con agua además de evitar dañar las celdas como lo hacían con los sistemas de cepillos, es por eso que ingenieros del MIT lograron generar una alternativa a este conflicto, la repulsión electrostática, este método logra prescindir de líquidos, cepillos o cualquier otro mecanismo que pudiera dañar las celdas.

El sistema de repulsión imparte una carga a las partículas de polvo mientras se aplica otra a través de una finísima capa conductora en la superficie del panel,

dando como resultado que los fragmentos de suciedad “saltan”, son repelidos de los paneles por completo. Para que estos sistemas funcionen de manera óptima la humedad en el aire es de vital importancia, pues como el texto de (Prego, 2022) señala, mientras la humedad supere el 30% es posible eliminar casi por completo cada partícula que se encuentre sobre los paneles solares. Este proyecto podría ayudar a reducir los enormes consumos de agua que se generan para poder mantener limpios los módulos fotovoltaicos y así poder darle una utilidad diferente al agua que se utiliza en estos procesos de limpieza, generando un enorme ahorro de agua y de la energía necesaria para poder llevarla a los lugares donde los módulos se encuentran que generalmente son zonas desérticas y muy aisladas.

12.- CONCLUSIONES

En base a todo el desarrollo de este proyecto y a la información recopilada se puede demostrar el potencial y la factibilidad que posee la energía solar fotovoltaica (ESF). Pues esta es una energía limpia, no produce ningún tipo de gas de efecto invernadero por lo que no influye en el calentamiento global, es una tecnología la cual genera electricidad mediante única y exclusivamente la luz solar. Los costos de producción se han visto reducidos en gran medida con el paso del tiempo como lo menciona (IRENA 2021) la cual muestra como los costos de esta energía en un periodo de 10 años se redujeron de 4.731USD/KW a 883 USD/KW, siendo este un cambio porcentual del 81%, la más alta registrada por el estudio realizado por IRENA en energías renovables y así también dentro de las matrices energéticas de los países se puede ver reflejado el interés de los países al ir cambiando los combustibles fósiles por energías renovables con el paso del tiempo en función de una matriz energética más verde.

La ESF es una tecnología cuya aplicación se da en lugares donde se presenta una alta radiación solar pues esta necesita de la luz solar para poder producir

energía, esto se ve relacionado con los proyectos mineros, pues muchos de estos están emplazados en lugares que cumplen con las mismas características que la ESF, lugares aislados, áridos(en algunas ocasiones) y de alta radiación solar lo cual hace a la ESF la fuente limpia más factible y económicamente rentable para introducir en los procesos mineros, pues esta puede entregar energía para aquellas maquinas eléctricas o para alimentar los equipos utilizados para el tratamiento de los minerales ya sea en hidrometalurgia o pirometalurgia, además al encontrarse en lugares aislados la escasez de agua es notoria y es ahí también donde la ESF puede influir para cubrir los costos energéticos de plantas desalinizadoras y las cañerías por donde será bombeada el agua hasta las faenas, como se mencionó en el estudio Carpe Solem, mostrando así la factibilidad y potencial de aplicabilidad de esta tecnología para alimentar de energía a las faenas mineras. También cabe mencionar que se espera que en un futuro no muy lejano la necesidad de recursos no metálicos sea mayor en los procesos mineros, lo cual generará un aumento exponencial en la demanda de estos recursos tanto en la minería como en los avances tecnológicos a nivel mundial.

La inserción de fotovoltaicos en la ciudad depende de varios factores, como irradiación, capital, soporte tecnológico e institucional, aceptabilidad social, obstáculos o restricciones arquitectónicas. La disponibilidad de espacio en los tejados y la accesibilidad solar son cruciales para este tipo de aplicaciones. Por condiciones técnicas, sociales o políticas, para el uso de estos espacios se puede visualizar la ciudad como una planta de energía fotovoltaica. La energía suministrada por un sistema fotovoltaico está estrechamente vinculada con el espacio disponible para la colocación de las placas. La principal barrera para su integración a gran escala es la intermitencia solar y la necesidad de prever redes eléctricas con flujo bidireccional, así como centrales de distribución acondicionadas. (SCIELO, 2019).

En base a lo anteriormente mencionado se procede a realizar un análisis basado en el desarrollo de esta tesis, el cual consistió en una búsqueda bibliográfica para poder recopilar toda la información pertinente para poder realizar este estudio:

A nivel mundial las políticas públicas con respecto al aumento de las capacidades de las energías renovables son cada vez más comunes, pues gracias al acuerdo de Francia muchos países buscan reducir de cualquier forma la huella de carbono producidas y la implementación de fuentes renovables y limpias son uno de los pilares fundamentales de este cambio.

Dentro de las fuentes renovables, la ESFV es la segunda de mayor crecimiento a nivel mundial después de la eólica y casi a la par con la energía relacionada al mar, es por esto que muchos países invierten grandes cantidades de dinero para poder realizar grandes parques solares a lo largo de todo el mundo, cada uno más grande que el anterior, y todo esto gracias a que la ESFV es una energía la cual es rentable pues cada año la innovación en esta aumenta, haciendo así que los equipos sean de mayor duración y que tengan la capacidad de generar mayor electricidad en el mismo espacio, materiales de mejor calidad y cada vez a un menor costo, por lo que la relación precio/calidad es lo bastante óptima como para que los países inviertan en esta para abastecerse de electricidad.

La ESFV también puede utilizarse en procesos mineros, pues las empresas mineras que poseen parques solares para alimentar sus faenas utilizan la ESFV para alimentar equipos de carga eléctricos como camiones tolva o buses para el transporte del personal de la faena, también puede utilizarse esta energía para los procesos que más consumen energía eléctrica dentro del procesamiento de los minerales como la conminución o los procesos de hidrometalurgia y pirometalurgia, incluso la electricidad que esta fuente de energía genera se puede utilizar para los procesos de desalinización de agua de mar, pues con la escasez de agua dulce para los procesos mineros estos deben utilizar agua de mar y además de procesarla también se debe transportar hasta las faenas lo cual también necesita de energía para poder bombear el agua por extensas cañerías,

de este modo se va desplazando el uso de energías de origen fósil, lo cual tiene una enorme repercusión positiva a nivel medioambiental.

Una de las razones para implementar la ESFV en los procesos mineros es la gran radiación solar que se presenta casi siempre en los lugares donde están emplazados los proyectos mineros, siendo así la opción más factible. Es de gran importancia identificar como estas matrices energéticas y eléctricas de diversos países, muestran como su composición energética ha ido modificándose hacia el camino de las energías renovables, no todos crecen a la misma velocidad, pero si muchos están dispuestos a avanzar hacia las energías renovables como lo muestra el apartado de matriz energética en donde se utilizaron cinco países (Chile, Argentina, Perú, Bolivia y como caso especial Australia) para demostrar como todos estos están dejando atrás paulatinamente los combustibles fósiles que generan energía por tantos años.

13.- ANEXOS

Beneficios	Características
Ahorro energético	El ahorro eléctrico puede llegar en algunos casos hasta el 70% del consumo eléctrico.
Fácil mantenimiento	Se caracterizan por tener un mantenimiento sencillo al igual que los paneles solares.
Instalación sencilla	Al igual que los tejados tradicionales, las tejas solares se colocan de igual manera teniendo en cuenta la instalación eléctrica posterior en el interior de la vivienda.
Estética futurista	Cambia la estética tradicional del color rojizo. No ocupan espacio mayor en el tejado y dan un cambio visual que genera un impacto futurista. Además, aumenta el valor de la vivienda al contener un sistema de energías renovables

anexo 1 Tabla de beneficios presentes en las tejas solares

SECCIÓN NOMINAL [mm ²]	CORRIENTE ADMISIBLE AMPERES [A]		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
0,75	-	12	15
1	11	15	19
1,5	15	19	23
2,5	20	25	32
4	25	34	42
6	33	44	54
10	45	61	73
16	61	82	98
25	83	108	129
35	103	134	158
50	132	167	197
70	164	207	244
95	197	249	291
120	235	291	343
150	-	327	382
185	-	374	436
240	-	442	516
300	-	510	595
400	-	-	708
500	-	-	809

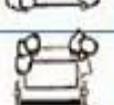
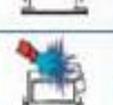
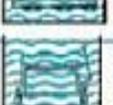
Anexo 2. Intensidad de corriente admisible para conductores aislados fabricados según norma europea. Temperatura de servicio: 70°C. Temperatura ambiente: 30°C. extraído de "Norma Chilena de Electricidad N° 4/2003.

- Grupo 1: Conductores monopolares en tuberías.
- Grupo 2: Conductores multipolares cubierta común; cables planos, cables móviles, portátiles y similares.
- Grupo 3: Conductores monopolares tendidos libremente al aire con un espacio mínimo entre ellos igual al diámetro del conductor.

Calibre AWG	Sección [mm ²]	TEMPERATURA DE SERVICIO [°C]					
		60		75		90	
		Grupo A	Grupo B	Grupo A	Grupo B	Grupo A	Grupo B
14	2,08	20	25	20	30	25	35
12	3,31	25	30	25	35	30	40
10	5,26	30	40	35	50	40	55
8	8,37	40	60	50	70	55	80
6	13,30	55	80	65	95	75	105
4	21,20	70	105	85	125	95	140
3	26,70	85	120	100	145	110	165
2	33,60	95	140	115	170	130	190
1	42,40	110	165	130	195	150	220
1/0	53,50	125	195	150	230	170	260
2/0	67,40	145	225	175	265	195	300
3/0	85,00	165	260	200	310	225	350
4/0	107,20	195	300	230	360	260	405
250	126,70	215	340	255	405	290	455
300	151,80	240	375	285	445	320	505
350	177,30	250	420	310	505	350	570
400	202,70	280	455	335	545	380	615
500	253,20	320	515	380	620	430	700
600	303,60	355	575	420	690	475	780
700	354,70	385	630	460	755	520	855
750	379,50	400	655	475	785	535	885
800	405,40	410	680	490	815	555	920
900	456,00	435	730	520	870	585	985
1000	506,70	455	780	545	935	615	1055
1250	633,40	495	890	590	1065	665	1200
1500	750,10	520	980	625	1175	705	1325
1750	886,70	545	1070	650	1280	735	1455
2000	1013,00	560	1155	665	1385	750	1560

anexo 3 Intensidad de corriente admisible para conductores aislados fabricados según normas norteamericanas. Secciones AWG. Temperatura ambiente: 30°C, base de "Norma Chilena de Electricidad N° 4/2003, Extraído de "Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos".

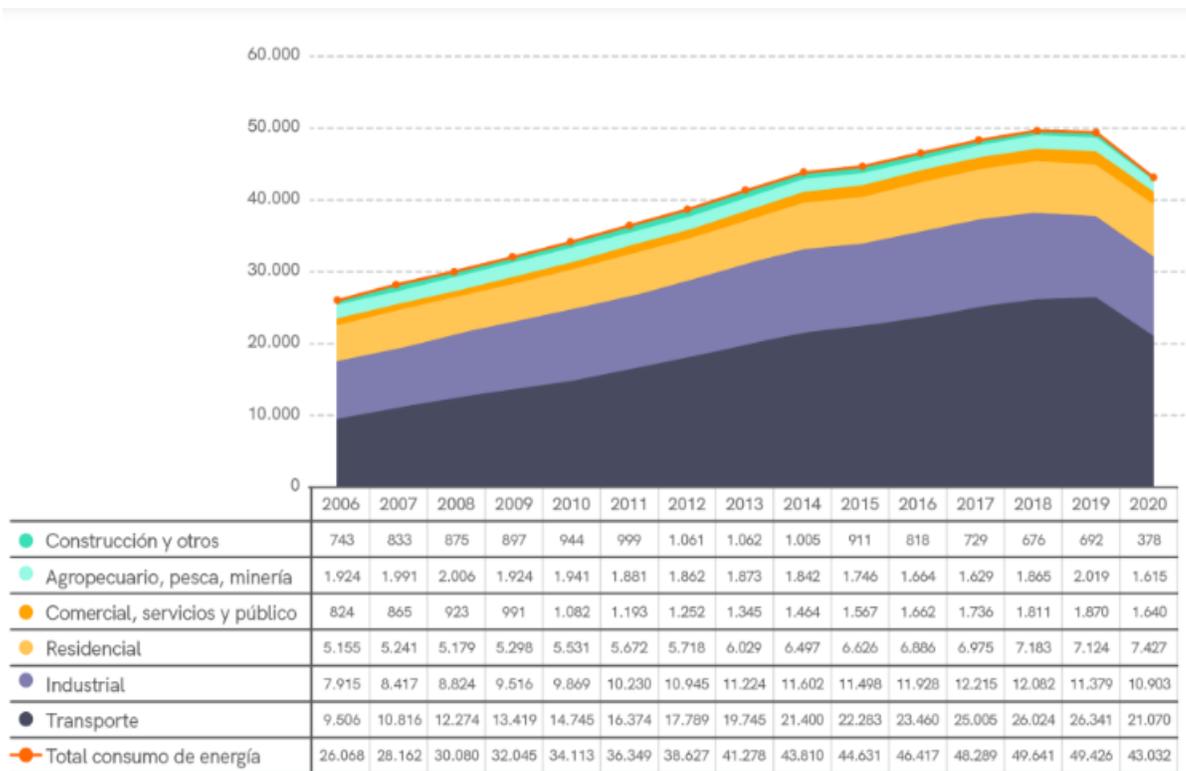
- Grupo A: Hasta tres conductores en el ducto, en cable o directamente enterrados.
- Grupo B: Conductor simple al aire libre. Para aplicar esta capacidad, en caso de conductores que corran paralelamente, debe existir entre ellos una separación mínima equivalente a un diámetro del conductor.

Letras de código		Primera cifra (Protección contra sólidos)		Segunda cifra (Protección contra líquidos)	
IP		6		5	
Cifra	Nivel de protección		Cifra	Nivel de protección	
0	Sin protección		Sin protección		Sin protección contra el agua
1	Protección contra los cuerpos sólidos grandes		1	Protección contra el goteo de agua vertical	 Protección contra la caída vertical de gotas de agua
2	Protección contra los cuerpos sólidos medianos		2	Protección contra el goteo de agua inclinada verticalmente	 Protección contra gotas de agua cayendo en diagonal (ángulo arbitrario hasta 15° desde la vertical)
3	Protección contra los cuerpos sólidos pequeños		3	Protección contra la caída de lluvia	 Protección contra el agua (ángulo arbitrario hasta 60° desde la vertical)
4	Protección contra los cuerpos sólidos granulares		4	Protección contra las salpicaduras de agua	 Protección contra salpicaduras de agua desde todas las direcciones
5	Protección contra los residuos de polvo		5	Protección contra chorros de agua de cualquier dirección	 Protección contra chorros de agua con manguera desde todas las direcciones
6	Protección total contra la penetración de cualquier cuerpo sólido		6	Protección contra chorros de agua fuerte de cualquier dirección	 Protección contra chorro potente de agua desde todas las direcciones
			7	Protección contra la inmersión temporal	 Protección contra la penetración de agua durante inmersión temporal
			8	Protección contra la inmersión continua	 Protección contra el agua bajo presión en caso de inmersión continua

anexo 4 índices de protección, Extraído de "Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos"

Política	País	Año
Plan de inversión Francia 2030-Inversión en innovación de energías renovables	Francia	2022
Financiar la tecnología de granja solar "5B Maverick" impulsa soluciones solares escalables de costo ultra bajo	Australia	2022
Marco legal para la micro generación y minigeneración distribuida, el Sistema de Compensación eléctrica y el programa social de energías renovables	Brasil	2022
Ampliación del Parque Solar Fotovoltaico Chalinga	Chile	2021
Plan nacional de recuperación / infraestructura física y transición verde / Transición a fuentes de energías más limpias	Republica Checa	2021
Plan nacional de recuperación y resiliencia / M2C2: Energías renovables, hidrógeno, red y movilidad sostenible	Italia	2021

anexo 5 Tabla la cual muestra las principales políticas aplicadas por países del mundo a favor de las energías renovables, extraído de IEA



anexo 6 "consumo de energía por sector económico, 2006-2020", imagen extraída de Fundación Solón y Montaña. X. 2022. <https://fundacionsolon.org/2022/11/30/conociendo-la-matriz-energetica-en-bolivia/>

BIBLIOGRAFÍA

¿Qué es y de dónde proviene la energía? (s.f.).

3 amper. (21 de junio de 2017). *3amper energía reovable*. Obtenido de 3amper energía reovable:
<https://3amper.com/blog/2017/06/21/la-verdadera-potencia-de-los-paneles-solares/>

acciona. (s.f.). *acciona*. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de acciona:
https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/?_adin=02021864894

Acciona. (s.f.). *acciona*. Recuperado el 18 de septiembre de 2022, de
https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?_adin=02021864894

Acciona. (s.f.). *Acciona*. Recuperado el 15 de noviembre de 2022, de Acciona:
https://www.acciona.cl/proyectos/planta-fotovoltaica-romero-solar/?_adin=02021864894

Actis, A. (15 de octubre de 2022). *lapoliticaonline*. Obtenido de lapoliticaonline:
<https://www.lapoliticaonline.com/espana/politica-es/la-transicion-verde-multiplica-los-proyectos-para-la-extraccion-de-minerales-en-espana-con-la-concesion-de-mas-de-500-licencias/>

Aguero, Diaz, & Oqueranza. (s.f.). *Energía Fotovoltaica*. Producción y automatización.
Recuperado el 15 de noviembre de 2022

Alonso Lorenzo, J. A. (s.f.). *sfe-solar*. Recuperado el 12 de octubre de 2022, de sfe.solar:
<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/que-es-una-planta-fotovoltaica-y-como-funciona/>

Amundarain , M. (s.f.). *ehu.eus*. Recuperado el 20 de octubre de 2022, de ehu.eus:
https://www.ehu.eus/ikastorratza/8_alea/energia/energia.pdf

Amundarain Ormaza, M. (s.f.). *La energía renovable procedente de las olas*. UPV, Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática. Recuperado el 10 de octubre de 2022, de https://www.ehu.eus/ikastorratza/8_alea/energia/energia.pdf

APPA. (s.f.). *appa renovables*. Recuperado el 26 de septiembre de 2022, de appa renovables: <https://www.appa.es/appa-fotovoltaica/que-es-la-energia-fotovoltaica/>

APREAN. (s.f.). *aprean*. Recuperado el 10 de noviembre de 2022, de aprean: <https://www.aprean.com/energia-solar-termica/>

Argentina.gob.ar. (s.f.). *Argentina.gob.ar*. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de Argentina.gob.ar: <https://www.argentina.gob.ar/energia/energia-electrica/energia-nuclear/que-es-la-energia-nuclear>

Assan, S. (7 de junio de 2022). *EMBER*. Obtenido de EMBER: <https://ember-climate.org/insights/research/tackling-australias-coal-mine-methane-problem/>

atersa. (s.f.). *artesa shop*. Recuperado el 28 de septiembre de 2022, de artesa shop: <https://atersa.shop/como-funciona-una-celula-fotovoltaica/>

AutoSolar. (24 de julio de 2018). *autosolar*. Obtenido de autosolar: <https://autosolar.pe/actualidad-de-energia-solar/shakti-sthala-la-planta-fotovoltaica-mas-grande-del-mundo-esta-en-india>

Barberá Santos, D. (s.f.). *biblus*. Recuperado el 8 de noviembre de 2022, de biblus: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCI%C3%93N+A+L+A+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducci%C3%B3n+a+la+Energ%C3%ADa+Fotovoltaica.pdf>

BBVA. (1 de enero de 2022). *BBVA*. Obtenido de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-combustible-fosil-la-energia-que-se-obtiene-de-la-materia-organica/>

BIRTIh. (s.f.). *ikastaroak*. Recuperado el 26 de diciembre de 2022, de ikastaroak: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ISF/ISF05/es_IEA_ISF05_Contenidos/website_21_diseo_y_dimensionado_de_sistemas_fotovoltaicos_conectados_a_red.html#

Blas Martínez, D. (2010/2011). *INSTALACION DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN BOSAL S.A.* Proyecto Final de Carrera, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza. Recuperado el 8 de noviembre de 2022, de <https://core.ac.uk/download/pdf/289971257.pdf>

Bruce-Lockhart, C. (25 de octubre de 2022). *EMBER*. Obtenido de EMBER: <https://ember-climate.org/insights/research/wind-and-solar-overtake-coal-in-chile/>

Calpa, Y. (s.f.). *academia.edu*. Recuperado el 12 de octubre de 2022, de academia.edu: https://www.academia.edu/34999386/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica?email_work_card=view-paper

Canarias, I. t. (2008). *ENERGIAS RENOVABLES y eficiencia energética*. Instituto tecnológico de Canarias. Recuperado el 29 de Agosto de 2022

CDC. (14 de septiembre de 2018). *Centro para el control y la prevencion de enfermedades*. Obtenido de <https://www.cdc.gov/spanish/niosh/mining/topics/respirable.html#:~:text=La%20inhalaci%C3%B3n%20del%20polvo%20de,respiratorias%20relacionadas%20con%20el%20polvo>

CDT. (24 de mayo de 2021). *cdt*. Obtenido de cdt: <https://www.cdt.cl/tejas-solares-fotovoltaicas/>

CK-12. (s.f.). *flexbooks.ck12*. Recuperado el 15 de noviembre de 2022, de flexbooks.ck12: <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-de-ciencias-de-la-tierra-grados-6-8-en-espanol/section/12.5/primary/lesson/la-energ%C3%ADa-del-carb%C3%B3n/>

Concepto. (15 de julio de 2021). *concepto*. Obtenido de concepto: <https://concepto.de/energia-potencial/>

Concepto. (s.f.). *Concepto*. Recuperado el 11 de noviembre de 2022, de Concepto: <https://concepto.de/energia-quimica/>

conceptoABC. (s.f.). *conceptoabc*. Obtenido de conceptoabc: <https://conceptoabc.com/energia-interna/>

conéctatealsol. (13 de junio de 2016). *conéctatealsol*. Obtenido de conéctatealsol: <https://conectatealsol.com/news/que-impacto-ambiental-tiene-la-energia-solar-fotovoltaica/>

Contreras, I. (22 de diciembre de 2021). *Labodegasolar*. Obtenido de Labodegasolar: <https://www.labodegasolar.com/blogs/blog/cuanto-cuesta-una-instalacion-de-paneles-solares>

CSN. (s.f.). *CSN*. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de CSN: <https://www.csn.es/la-energia-nuclear>

DatosMundial. (s.f.). *datosmundial*. Obtenido de datosmundial: <https://www.datosmundial.com/australia/australia/balance-energetico.php>

Diaz, G., Haas, J., Moreno, S., Chudinzów, D., Kracht, W., eltrop, L., . . . Pamparana, G. (octubre de 2019). *ResearchGate*. Recuperado el 12 de diciembre de 2022, de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/339662267_Carpe_solem_-_Solar_mining_opportunities_for_Chile_-_A_paradigm_changing_perspective

Diaz, T., & Carmona, G. (s.f.). *mheducation*. Recuperado el 19 de octubre de 2022, de mheducation: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

EcoInventos. (29 de septiembre de 2022). *ecoinventos*. Obtenido de ecoinventos: <https://ecoinventos.com/tejas-solares-fotovoltaicas/>

ecologistasenaccion. (21 de junio de 2007). *ecologistasenacción*. Obtenido de ecologistasenacción: <https://www.ecologistasenaccion.org/10057/impacto-ambiental/#:~:text=El%20impacto%20medioambiental%20de%20las,escapes%20de%20sustancias%20peligrosas%20etc.>

ecologistasenacción. (21 de junio de 2007). *ecologistasenacción*. Obtenido de ecologistasenacción: https://www.ecologistasenaccion.org/10057/impacto-ambiental/#outil_sommaire_0

educarex. (s.f.). *educarex*. Recuperado el 24 de Agosto de 2022, de educarex: https://www.educarex.es/pub/cont/com/0019/documentos/pruebas-acceso/contenidos/modulo_IV/ciencias_de_la_naturaleza/4nat04.pdf

edumedia. (s.f.). *eduMedia*. Recuperado el 8 de noviembre de 2022, de eduMedia: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/944-cuerpo->

engi. (22 de septiembre de 2020). *engi*. Obtenido de engi: <https://engi.co/impacto-paneles-solares/>

esenergía.es. (18 de junio de 2019). *esenergía.es*. Obtenido de esenergía.es: <https://esenergia.es/panel-solar/>

evoconfort. (4 de octubre de 2017). *evoconfort*. Recuperado el 11 de noviembre de 2022, de evoconfort: <https://www.evoconfort.com/energia-radiante-que-es-y-donde/>

EXELSOLAR. (27 de junio de 2018). *excelsolar*. Obtenido de exelsolar: <http://www.blog.exelsolar.mx/shakti-sthala-la-planta-solar-mas-grande-el-mundo/>

factorenergía. (s.f.). *factorenergía*. Recuperado el 29 de septiembre de 2022, de factorenergía: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>

Fajardo, B. (2 de noviembre de 2011). *Aprendemos Tecnología*. Recuperado el 08 de septiembre de 2022, de Aprendemos Tecnología: <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/11/energia-hidraulica.pdf>

Ferrovial. (s.f.). *ferrovial*. Obtenido de ferrovial: <https://www.ferrovial.com/es/stem/energia-cinetica/>

Foronuclear. (s.f.). *Foro Nuclear*. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de Foro Nuclear: <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/que-es-la-energia-nuclear/>

foronuclear. (s.f.). *Foro nuclear*. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de Foro nuclear : <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-la-energia-eolica-y-como-se-aprovecha/>

(s.f.). *Fuentes de energía*. IES Villalba Hervás. Recuperado el 10 de septiembre de 2022, de https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/09/fuentes-energia_combustibles-fosiles.pdf

fundación, A. (s.f.). *AQUAE fundación*. Recuperado el 10 de septiembre de 2022, de AQUAE fundación: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/ventajas-energia->

hidraulica/amp/?gclid=Cj0KCQjwjvaYBhDIARIsAO8PkeE1zHJ6LmEaF7QB5oyHaxSFY-
lv5Et4DhwMpoQ-ijwaSf1kqJ2dvv2UaArVgEALw_wcB

FundacionYPF. (s.f.). *energiasdemipais.educ*. Recuperado el 6 de enero de 2023, de energiasdemipais.educ: https://energiasdemipais.educ.ar/edmp_lecturas/matriz-energetica/#:~:text=En%20esta%20matriz%20se%20observa%20la%20importancia%20del%20gas%20y,generaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20en%20el%20pa%C3%ADs.

Galindo, A. (3 de noviembre de 2021). *IAEA*. Obtenido de IAEA: <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-energia-nuclear-la-ciencia-de-la-energia-nucleoelectrica>

Gallardo Olivares, R. (1 de septiembre de 2022). *Uchile*. Obtenido de Uchile: <https://www.uchile.cl/noticias/189848/se-proyectan-500-mil-toneladas-de-desechos-fotovoltaicos-para-2030>

García, P. (13 de febrero de 2019). *ElPaís*. Obtenido de ElPaís: https://elpais.com/elpais/2019/02/08/ciencia/1549623557_186579.html

Garrett, C. (s.f.). *Climate consulting by Selectra*. Recuperado el 13 de noviembre de 2022, de Climate consulting by Selectra: <https://climate.selectra.com/es/que-es/energia-solar>

GascoEduca. (s.f.). *GascoEduca*. Recuperado el 11 de noviembre de 2022, de GascoEduca: http://www.gascoeduca.cl/Maqueta/energia_03.html

GASS, I., SMITH, P., & WILSON, R. (s.f.). *books.google*. Recuperado el 20 de octubre de 2022, de books.google: <https://books.google.com.co/books?id=GAZs7W6IEKMC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

GEM. (s.f.). *Global Energy Monitor WIKI*. Recuperado el 9 de enero de 2023, de Global Energy Monitor WIKI: https://www.gem.wiki/Perfil_energ%C3%A9tico:_Per%C3%BA

gencat. (s.f.). *Instituto Catalán de Energía*. Recuperado el 10 de octubre de 2022, de Instituto Catalán de Energía: <https://icaen.gencat.cat/es/energia/renovables/geotermica/tipus/>

Gubinelli, G. (11 de noviembre de 2021). *energíaestrategica*. Obtenido de energíaestrategica: <https://www.energiaestrategica.com/al-inicio-del-2022-la-solar-fotovoltaica-sera-la-fuente-de-energia-mas-representativa-de-chile/>

guíaminera. (s.f.). *guiamineradeChile*. Recuperado el 24 de diciembre de 2022, de guiamineradeChile: <https://www.guiaminera.cl/aumentan-proyectos-de-energias-renovables-para-el-sector-minero/>

GWEC. (9 de diciembre de 2020). *GWEC*. Obtenido de GWEC: <https://gwec.net/>

HERBERTSMITHFREEHILLS. (s.f.). *HERBERTSMITHFREEHILLS*. Obtenido de HERBERTSMITHFREEHILLS: <https://www.herbertsmithfreehills.com/doing-business-in-australia/spa/content/energ%C3%ADa-convencional-y-energ%C3%ADas-renovable>

iberdrola. (s.f.). *iberdrola*. Recuperado el 29 de septiembre de 2022, de iberdrola: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energia-eolica#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20e%C3%B3lica%20es%20aquella,de%20aire%20en%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica.>

IBERDROLA. (s.f.). *iberdrola*. Recuperado el 31 de octubre de 2022, de iberdrola: <https://www.iberdrola.com/innovacion/energia-agrovoltaica>

ICEX. (2021). *El mercado de la energía solar en Australia*. Estudio de Mercado - Resumen Ejecutivo, Embajada de España en Sídney, Oficina Económica y Comercial. Recuperado el 31 de octubre de 2022, de <https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/el-mercado/estudios-informes/estudio-mercado-energia-solar-australia-2021-doc2018793480.html?idPais=AU>

IEA. (18 de mayo de 2021). *IEA*. Obtenido de IEA: <https://www.iea.org/news/pathway-to-critical-and-formidable-goal-of-net-zero-emissions-by-2050-is-narrow-but-brings-huge-benefits>

IEA. (mayo de 2021). *IEA*. Recuperado el 29 de octubre de 2022, de IEA: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

IEA. (1 de septiembre de 2022). *IEA*. Recuperado el 10 de septiembre de 2022, de <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/net-zero-by-2050-data-explorer>

IEA. (septiembre de 2022). *IEA*. Obtenido de IEA: <https://www.iea.org/reports/solar-pv>

IEA. (septiembre de 2022). *IEA*. Obtenido de IEA: <https://www.iea.org/reports/solar-pv>

IEEFA. (13 de septiembre de 2022). *WORLDENERGYTRADE*. Obtenido de WORLDENERGYTRADE: <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-solar/australia-energia-solar-fotovoltaica-tejados-carbon>

Ini, L. (4 de julio de 2022). *pvmagazine*. Obtenido de pvmagazine: <https://www.pv-magazine-latam.com/2022/07/04/en-2021-la-fotovoltaica-argentina-participo-con-casi-el-13-de-la-cobertura-con-renovables-de-la-demanda-energetica/>

Interempresas. (9 de diciembre de 2020). *interempresas*. Obtenido de interempresas: <https://www.interempresas.net/Mineria/Articulos/320869-Espana-tiene-capacidad-cubrir-deficit-minerales-necesarios-desarrollo-tecnologico-UE.html>

IRENA. (s.f.). *irena*. Recuperado el 26 de octubre de 2022, de irena: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Solar-energy>

José María Marín Quemada, E. S. (s.f.). *El futuro de los combustibles fósiles*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Departamento de Economía Aplicada . Recuperado el 10 de septiembre de 2022, de <https://canal.uned.es/uploads/materials/resources/pdf/4/1/1319025174814.pdf>

Junta de Castilla y León. (s.f.). Recuperado el 24 de Agosto de 2022, de Junta de Castilla y León: <https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/tipos-energia.html>

Leskow, E. C. (13 de junio de 2022). *concepto*. (E. Etecé, Editor) Recuperado el 10 de septiembre de 2022, de <https://concepto.de/energia-mecanica/>

Martínez, D. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica*. Tesis, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza. Recuperado el 20 de octubre de 2022, de <https://core.ac.uk/download/pdf/289971257.pdf>

MHE. (10 de octubre de 2022). *Ministerio de Hidrocarburos y Energías*. Obtenido de Ministerio de Hidrocarburos y Energías: <https://www.mhe.gob.bo/2022/10/10/transicion-energetica-bolivia-sustituyo-en-50-el-uso-del-gas-por-energias->

nuclear, F. (s.f.). *Foro Nuclear*. Recuperado el 18 de septiembre de 2022, de <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-el-gas-natural-y-que-usos-tiene/>

OVACEN. (s.f.). *ovacen*. Recuperado el 10 de noviembre de 2022, de *ovacen*: <https://ovacen.com/energias-renovables/solar/termica/>

Pedraza, Á. (26 de junio de 2019). *oroinformación*. Obtenido de *oroinformación*: <https://oroinformacion.com/la-primera-mina-de-oro-con-energia-eolica-solar-y-electrica-estara-en-australia-occidental/>

Pistone, L., Villa Soto, W., & Albiger, J. (Junio de 2006). *DOCplayer*. Recuperado el 10 de octubre de 2022, de *DOCplayer*: <https://docplayer.es/60568859-Energia-geotermica-en-argentina.html>

Pizzoleo, J. (29 de julio de 2022). *ReporteMinero*. Obtenido de *ReporteMinero*: <https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2022/07/primer-lhd-100-electrico-funcionara-teniente>

Planas, O. (13 de julio de 2011). *EnergíaSolar*. Recuperado el 10 de noviembre de 2022, de *EnergíaSolar*: <https://solar-energia.net/energia-solar-termica>

Planas, O. (13 de mayo de 2015). *energía solar*. Obtenido de *energía solar*: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/efecto-fotovoltaico/fotones>

Planas, O. (13 de mayo de 2015). *Energía Solar*. Obtenido de *Energía Solar*: *Energía Solar*

Posso, F. (2000). *ENERGÍA Y AMBIENTE: PASADO, PRESENTE Y FUTURO Parte uno: Sistema energético basado en fuentes fósiles*. Universidad de Los Andes, Venezuela, San Cristobal. Recuperado el 10 de septiembre de 2022, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36050204>

Prego, C. (25 de septiembre de 2022). *xataka*. Obtenido de *xataka*: <https://www.xataka.com/energia/paneles-solares-agujero-negro-agua-repulsion-electroestatica-quiere-solucionarlo>

Proveda, J. (23 de marzo de 2022). *elEconomista*. Obtenido de elEconomista: <https://www.economista.es/andalucia/noticias/11681276/03/22/Riotinto-sera-la-primera-mina-de-Espana-que-funcione-con-energia-limpia.html>

ReporteMinero. (25 de septiembre de 2018). *ReporteMinero*. Obtenido de ReporteMinero: <https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2018/09/region-del-bio-bio-sumaria-dos-parques-fotovoltaicos>

repsol. (s.f.). *repsol*. Recuperado el 10 de septiembre de 2022, de repsol: <https://www.repsol.com/es/conocenos/que-hacemos/desarrollo-energias-renovables/energia-hidraulica/index.cshtml>

repsol. (s.f.). *repsol*. Recuperado el 10 de octubre de 2022, de repsol: <https://www.repsol.com/es/energia-innovacion/energia-futuro/transicion-energetica/energia-electrica/index.cshtml#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%3F,-Tiempo%20de%20lectura&text=La%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%20es%20un,g>

Roca, J. (22 de mayo de 2017). *elperiodicodelaenergía*. Obtenido de elperiodicodelaenergía: <https://elperiodicodelaenergia.com/la-india-kurnool-se-convierte-en-la-mayor-planta-fotovoltaica-del-mundo/>

Roca, J. (18 de mayo de 2020). *elperiodicodelaenergía*. Obtenido de elperiodicodelaenergía: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

Roca, J. (28 de junio de 2022). *elperiódicodelaenergía*. Obtenido de elperiódicodelaenergía: <https://elperiodicodelaenergia.com/la-mina-de-oro-de-australia-occidental-sustituye-el-diesel-por-energia-renovable/>

Rodríguez-Meza, M., & Cervantes-Cota, J. L. (2006). *El Efecto Fotoeléctrico*. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Mexico: Ciencia Ergo Sum. Recuperado el 15 de octubre de 2022, de <https://www.redalyc.org/pdf/104/10413309.pdf>

scarquitecto. (s.f.). *scarquitecto*. Recuperado el 26 de diciembre de 2022, de scarquitecto: <https://scarquitecto.cl/carta->

TechnoSun. (s.f.). *b2b.technosun*. Recuperado el 28 de diciembre de 2022, de *b2b.technosun*:
[https://b2b.technosun.com/blog/area-fotovoltaica-profesional-1/post/efecto-hotspot-los-puntos-calientes-en-los-paneles-solares-](https://b2b.technosun.com/blog/area-fotovoltaica-profesional-1/post/efecto-hotspot-los-puntos-calientes-en-los-paneles-solares-117#:~:text=Se%20trata%20de%20un%20punto,en%20casos%20extremos%20provocar%20un)

117#:~:text=Se%20trata%20de%20un%20punto,en%20casos%20extremos%20provocar%20un

TotalEnergies. (22 de junio de 2021). *TotalEnergies*. Obtenido de TotalEnergies:
[https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/ventajas-desventajas-energia-](https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/ventajas-desventajas-energia-solar#:~:text=Requiere%20de%20instalaciones%20importantes%20para,la%20noche%20no%20est%C3%A1%20disponible)

solar#:~:text=Requiere%20de%20instalaciones%20importantes%20para,la%20noche%20no%20est%C3%A1%20disponible.

UJAEN. (s.f.). *ujaen*. Recuperado el 28 de diciembre de 2022, de *ujaen*:
http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_05.htm

USCEHC. (s.f.). *Los impactos dañinos del gas natural en la salud y el medio ambiente*. National institute of environmental health sciences. Recuperado el 18 de septiembre de 2022, de
https://envhealthcenters.usc.edu/wp-content/uploads/2020/05/natural_gas_USCEHC_sp.pdf

Vera Gomez, K. (s.f.). *academia.edu*. Recuperado el 15 de noviembre de 2022, de *academia.edu*:
https://www.academia.edu/20208233/Energ%C3%ADa_Transferencia_de_energ%C3%ADa_y_An%C3%A1lisis_general_de_la_energ%C3%ADa

WIKIPEDIA. (30 de Agosto de 2019). *mineduc.gob*. Recuperado el 24 de Agosto de 2022, de
<https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/tipos-energia.html>:

<https://www.mineduc.gob.gt/DIGECADE/documents/Telesecundaria/Recursos%20Digitales/20%20Recursos%20Digitales%20TS%20BY-SA%203.0/01%20CIENCIAS%20NATURALES/U9%20pp%20213%20energ%C3%ADa%20potencial.pdf>

Yirda, A. (s.f.). *conceptodefinicion*. Recuperado el 15 de noviembre de 2022, de *conceptodefinicion*: <https://conceptodefinicion.de/foton/>

ZschimmerySchwarz. (17 de julio de 2020). *Zschimmer-Schwarz*. Obtenido de Zschimmer-Schwarz: <https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/ejemplos-de-energia-quimica-el-sol/>