



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles

Análisis y valorización de aplicación de las Energías Solar
Fotovoltaica y Térmica y de la Biomasa en las casas rurales
de medianías de Gran Canaria

Autor

Melania Lucía Rodríguez Pérez

Tutor

Dr. D. Carlos A. Mendieta Pino

Tutor

Dr. D. Fabián A. Déniz Quintana

2019-2020

GRADO EN INGENIERÍA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

Análisis y valorización de aplicación de las Energías Solar Fotovoltaica y Térmica y de la Biomasa en las casas rurales de medianías de Gran Canaria

Autor

Fdo: Melania Lucía Rodríguez Pérez

Tutor

Fdo: Dr. D. Carlos A. Mendieta Pino

Tutor

Fdo: Dr. D. Fabián A. Déniz Quintana

2019-2020

GRADO EN INGENIERÍA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

ÍNDICE GENERAL

1. Antecedentes.....	1
➤ Situación energética mundial.....	2
➤ Situación energética en España.	7
➤ Situación en Canarias.	17
2. Objeto del proyecto.	22
3. Fundamentos de la biomasa y los biodigestores.	23
3.1. La digestión anaeróbica.	24
3.1.1. Etapas de la digestión anaeróbica	25
3.1.2. Ventajas de la digestión anaeróbica	27
3.2. Componentes de un biodigestor.....	29
3.2.1. Biodigestor (reactor o fermentador)	30
3.2.2. Entrada del afluente y salida del efluente.	30
3.2.3. Extracción de lodos.....	31
3.2.4. Almacenamiento del biogás.	31
3.2.5. Almacenamiento del efluente.	32
3.2.6. Otros componentes	32
3.3. Diseño de los biodigestores.	32
3.3.1. Régimen de carga: régimen continuo o discontinuo.....	32
3.3.2. Forma del crecimiento de los microorganismos en el interior del reactor.	34
3.3.3. Velocidad del sistema: baja velocidad y alta velocidad.....	36
3.4. Tipos de biorreactores.	37
3.4.1. Digestor de mezcla completa.	37
3.4.2. Digestor horizontal o de flujo pistón.	38
3.4.3. Digestor en cascada.....	39
3.4.4. Digestor de alimentación escalonada.....	40
3.4.5. Digestor discontinuo.....	40
3.4.6. Otros sistemas.	41
3.4.7. Principales digestores en el medio rural.	42
3.5. Parámetros ambientales y operacionales.....	46
3.5.1. Temperatura	46
3.5.2. Relación C/N de la materia prima.....	48
3.5.3. Relación DBO y DQO.	50
3.5.4. Tipo de materia prima y composición química.....	50
3.5.5. Tiempo de retención hidráulico (TRH).....	54
3.5.6. Velocidad de Carga Orgánica (VCO).	55
3.5.7. Valores de pH y alcalinidad.....	56

3.5.8.	Tóxicos e inhibidores de la metanogénesis.....	57
3.5.9.	Contenido de sólidos.....	59
3.6.	Potenciales y rendimientos.....	61
3.6.1.	Codigestión con otros residuos orgánicos.....	63
3.6.2.	Acondicionamiento del sustrato previo.....	64
3.7.	Productos obtenidos de los biodigestores: el biogás y el efluente.....	68
3.7.1.	La producción de biogás.....	68
3.7.2.	El efluente.....	70
3.8.	Gestión del aprovisionamiento y de los subproductos.....	72
3.8.1.	Acondicionamiento del biogás.....	72
3.8.2.	Acondicionamiento del efluente.....	74
3.9.	Marco legal.....	74
4.	Fundamentos de Energía Solar Fotovoltaica.....	75
4.1.	Tipologías de plantas fotovoltaicas.....	77
4.1.1.	Instalaciones conectadas a la red.....	77
4.1.2.	Instalaciones aisladas.....	78
4.2.	Componentes principales de una planta fotovoltaica.....	79
4.2.1.	Célula fotovoltaica.....	79
4.2.2.	El inversor.....	85
4.2.3.	Acumuladores de carga.....	88
4.2.4.	El regulador.....	91
4.3.	Producción de energía.....	97
4.3.1.	Disponibilidad de la radiación solar.....	97
4.3.2.	Inclinación y orientación de los paneles FV.....	97
4.3.3.	Eficiencia de la instalación FV.....	100
4.4.	Marco legal.....	103
4.4.1.	Normativa Territorial en la Comunidad Autónoma De Canarias.....	105
5.	Fundamentos de Energía Solar Térmica.....	107
5.1.	Componentes principales de una instalación termoeléctrica.....	109
5.1.1.	Sistema de captación.....	109
5.1.2.	Sistema de acumulación.....	112
5.1.3.	Sistema de intercambio.....	113
5.1.4.	Sistema de apoyo auxiliar.....	116
5.1.5.	Sistema de distribución.....	116
5.1.6.	Sistema de regulación y control.....	118
5.2.	Tipos de instalaciones solar térmica.....	120
5.2.1.	Según el principio de circulación del fluido.....	120
5.2.2.	Según sistema de transferencia de calor.....	121
5.3.	Producción de energía.....	123
5.4.	Marco legal.....	133
5.4.1.	Normativa de aplicación.....	133
5.4.2.	Normativa de consulta.....	133
6.	Estudio de la localización geográfica y residuos generados.....	135

6.1.	Análisis del emplazamiento y de las características de una casa rural.....	135
6.2.	Residuos y potencial de contaminación generados a partir de la explotación de las casas rurales.	139
6.2.1.	Fracción orgánica sólida.	139
6.2.2.	Fracción orgánica líquida.	146
7.	Estudio del potencial de las energías renovables.....	154
7.1.	Potencial energético de fuentes de energía renovables.	154
7.1.1.	Potencial residuos orgánicos 154	154
7.1.2.	Potencial solar 159	159
7.1.3.	Potencial eólico. 169	169
8.	Demanda energética	179
9.	Análisis económico.....	183
9.1.	Análisis de costes de los diferentes tipos de instalaciones.....	183
9.1.1.	Gastos de capital (CAPEX) y Coste Operativo y Mantenimiento (OPEX).	183
9.1.2.	Coste promedio de generación de electricidad (LCOE)	186
9.1.3.	Comparación con los costes de generación de electricidad en Canarias.	187
9.2.	Estudio de viabilidad.	189
9.2.1.	Valor Actual Neto (VAN).	189
9.2.2.	Tasa Interna de Retorno o tasa de rentabilidad (TIR).....	190
9.2.3.	Período de recuperación del proyecto (PAY- BACK).....	191
9.2.4.	Escenarios.	191
9.3.	Simulación económico – financiera de una casa rural de consumo medio.	192
9.3.1.	Instalación de biodigestor 192	192
9.3.2.	Instalación solar térmica..... 195	195
9.3.3.	Instalación fotovoltaica. 198	198
9.3.4.	Reducción de emisiones de CO _{2eq} 201	201
9.4.	Simulación económico – financiera para la casa rural con mayor número de plazas. ...	202
9.4.1.	Reducción de emisiones de CO _{2-eq} 203	203
10.	Conclusiones.....	204
Anexo I. Referencias.....		207
Anexo II. Cuenta de resultados.		223
➤	Resultado económico-financiero instalación biodigestor para casa de ocupación media con grado de ocupación del 100%.....	223
➤	Resultado económico-financiero instalación térmica para casa de ocupación media con grado de ocupación del 10%.....	224
➤	Resultado económico-financiero instalación térmica para casa de ocupación media con grado de ocupación del 33%.....	225
➤	Resultado económico-financiero instalación térmica para casa de ocupación media con grado de ocupación del 59%.....	226
➤	Resultado económico-financiero instalación fotovoltaica para casa de ocupación media con grado de ocupación del 10%.....	227

➤ Resultado económico-financiero instalación fotovoltaica para casa de ocupación media con grado de ocupación del 33%	228
➤ Resultado económico-financiero instalación fotovoltaica para casa de ocupación media con grado de ocupación del 59%	229
➤ Resultado económico-financiero instalación biodigestor para “Casas de Don Emilio” con grado de ocupación del 33%	230
➤ Resultado económico-financiero instalación biodigestor para “Casas de Don Emilio” con grado de ocupación del 59%	231
➤ Resultado económico-financiero instalación térmica para “Casas de Don Emilio” con grado de ocupación del 33%	232
➤ Resultado económico-financiero instalación térmica para “Casas de Don Emilio” con grado de ocupación del 59%.	233
➤ Resultado económico-financiero instalación fotovoltaica para “Casas de Don Emilio” con grado de ocupación del 33%	234
➤ Resultado económico-financiero instalación fotovoltaica para “Casas de Don Emilio” con grado de ocupación del 59%	235

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evolución de la demanda eléctrica peninsular y no peninsular. Fuente: REE	10
Tabla 2. Saldos de los intercambios internacionales físicos de energía eléctrica (GWh). Fuente: REE	11
Tabla 3. Balance de objetivos conseguidos a partir del PECAN 2006. Fuente: EECan25	20
Tabla 4. Objetivos para garantizar un suministro energético bajo en carbono para 2025. Fuente: EECan25.....	21
Tabla 5. Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaeróbica. Fuente: Alcayaga et al., 1999	46
Tabla 6. Relaciones C/N de varios productos residuales. Fuente: Varnero y Arellano, 1990	49
Tabla 7. Residuos orgánicos de diversos orígenes. Fuente: Manual del biogás	51
Tabla 8. Rango de concentración de nutrientes. Fuente: Mendieta, 2015	51
Tabla 9. Composición química de diversos residuos de origen animal y vegetal (valores promedios, base seca). Fuente: Varnero y Arellano, 1991	52
Tabla 10. Rango de niveles de nutrientes en diversos residuos de origen animal y vegetal. Fuente: Varnero y Arellano, 1991	53
Tabla 11. Clasificación de sustratos para la Digestión Anaeróbica. Fuente: Esguerra, 1989.....	54
Tabla 12. TRH de estiércol de ganado en distintas regiones. Fuente: Varnero 1991	55
Tabla 13. Concentración de amoníaco y su efecto en el proceso de digestión anaeróbica. Fuente: Mc Carty, 1964	58
Tabla 14. Concentración inhibidora de sustancias en un proceso anaeróbico. Fuente: Hilbert, 2003	59
Tabla 15. Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos. Fuente: Varnero y Arellano, 1991.	60
Tabla 16. Producción de biogás por tipo de residuo animal. Fuente: Varnero y Arellano, 1991	61
Tabla 17. Producción de biogás a partir de residuos vegetales. Fuente: Varnero y Arellano, 1991	62
Tabla 18. Producción y composición teórica de biogás en diversos compuestos orgánicos. Fuente: Varnero y Arellano, 1991	62
Tabla 19. Características relativas para la codigestión. Fuente: IDAE, 2007	63
Tabla 20. Composición química del biogás. Fuente: Botero and Preston, 1986.	68
Tabla 21. Alternativas para la utilización del biogás. Fuente: Hilbert, 2003.....	70
Tabla 22. Parámetros Compost vs Bioabono. Fuente: Varnero, 2001.....	71
Tabla 23. Comparativa de los diferentes paneles. Fuente: ABB, 2011.....	84
Tabla 24. Características de diferentes modelos de baterías de plomo-acido. Fuente: 2008.....	91
Tabla 25. Condiciones de temperatura para el intercambiador según aplicación. Fuente: PET-REV, 2019	115

Tabla 26. Demanda de referencia a 60 °C. Fuente: CTE -DB-HE 4	125
Tabla 27. Cálculo del número de personas por vivienda. Fuente: CTE- DB-HE4	125
Tabla 28. Radiación solar según zonas climáticas. Fuente: CTE-DB-HE4	127
Tabla 29. Contribución solar mínima %. Fuente: CTE-DB-HE4.....	127
Tabla 30. Tabla de referencia para cálculo de pérdidas por sombras. Fuente: CTE-DB-HE4.....	130
Tabla 31. Límite de pérdidas. Fuente: CTE-DB-HE4	131
Tabla 32. Casas rurales y unidades alojativas para cada municipio. Fuente: www.grancanaria.com	137
Tabla 33. Generación de residuos en las comunidades autónomas españolas en función de su grado de ruralidad. Fuente: . Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.....	140
Tabla 34. Composición de la fracción orgánica de los residuos triturada. Fuente: Lastra Bravo, 2013	142
Tabla 35. Composición de la fracción orgánica de los residuos triturada en g/hab. día. Fuente: Lastra Bravo, 2013.....	142
Tabla 36. Generación de residuos y caracterización de la DQO de la fracción orgánica sólida. Fuente: Elaboración propia	143
Tabla 37. Consumo de agua de los hogares por comunidad autónoma. INE, 2016	148
Tabla 38. Composición típica del agua residual doméstica. Fuente: Metcalf Eddy, 2003.....	149
Tabla 39. Valores de DQO yDBO ₅ escogidos para el estudio.	149
Tabla 40. Cálculo del potencial de contaminación del agua residual de cada casa rural. Fuente: elaboración propia.	150
Tabla 41. Potencial residuos orgánicos. Fuente: Elaboración propia	156
Tabla 42. Evolución del factor de capacidad medio anual de funcionamiento de las instalaciones. Fuente: Anuario Energético de Canarias, 2018.....	161
Tabla 43. Horas equivalentes de instalaciones fotovoltaicas. Anuario Energético de Canarias 2018.	161
Tabla 44. Datos de localización y potencial solar para cada unidad alojativa. Fuente: GRAFCAN (datos actualizados por última vez 2017).	163
Tabla 45. Evolución del factor de capacidad (%) medio anual de funcionamiento de los parques eólicos en Gran Canaria. Fuente: Anuario Energético de Canarias 2017 y 2018.....	169
Tabla 46. Evolución de las horas equivalentes medias anuales de funcionamiento de los parques eólicos en Gran Canaria. Fuente: Anuario Energético de Canarias 2017 y 2018.....	169
Tabla 47. Demanda energética de cada unidad alojativa según ocupación. Fuente: Elaboración propia.	180
Tabla 48. CAPEX y OPEX instalación fotovoltaica y térmica. Elaboración propia.	185
Tabla 49. CAPEX y OPEX biodigestor. Elaboración propia.	185
Tabla 50. LCOE para las diferentes tecnologías (€/kWh). Elaboración propia.....	186
Tabla 51. Evolución del precio medio mensual de la generación eléctrica en Canarias (€/MWh). Fuente: REE, Anuario Energético de Canarias 2018.....	188
Tabla 52. Evolución del precio medio anual de la generación eléctrica en Canarias. (€/kWh). Fuente: REE, Anuario Energético de Canarias 2018.....	188
Tabla 53. Resultados económicos para instalación de biodigestor. Elaboración propia.....	194
Tabla 54. Resultados de viabilidad para una instalación termosolar según diferentes escenarios. Elaboración propia.	197
Tabla 55. Energía FV y radiación solar mensual. Fuente: PVGIS.....	199
Tabla 56. Resultados de viabilidad para una instalación fotovoltaica según diferentes escenarios. Elaboración propia.	200
Tabla 57. Emisiones de CO ₂ eq reducidas. Elaboración propia.	201

Tabla 58. Datos utilizados para los cálculos. Elaboración propia.	202
Tabla 59. Resultados económicos obtenidos. Elaboración propia.	202
Tabla 60. Reducción de emisiones de CO ₂ -eq en Casas Don Emilio. Elaboración propia.	203

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución en el número de viajeros en el mundo desde 2015. Fuente: UWNTO, EPData .	2
Figura 2. Generación de residuos por habitante de los países europeos. Fuente: Eurostat	3
Figura 3. Noches de alojamiento turístico (% de noches de estancia por tipo de alojamiento) Fuente: Eurostat.....	4
Figura 4. Evolución de la demanda de energía eléctrica desde 1990. Fuente: Enerdata.	4
Figura 5. Evolución de las emisiones de CO2 desde 1990. Fuente: Eurostat	5
Figura 6. Crecimiento de la capacidad instalada (GW). Fuente: IRENA	6
Figura 7. Crecimiento de la capacidad instalada de bioenergía (MW). Fuente: IRENA	7
Figura 8. Evolución de la posición de España entre los países más visitados del mundo. Fuente: UNWTO, Epdata	7
Figura 9. Evolución del número de pernoctaciones extrahoteleras en España. Fuente: Epdata	8
Figura 10. N.º de pernoctaciones en alojamientos rurales en España. Fuente: Epdata.....	9
Figura 11. Evolución emisiones de CO2 en España. Fuente: www.datosmacro.expansion.com	10
Figura 12. Gráfico de demanda eléctrica nacional. Año 2018 (%). Fuente: REE.....	11
Figura 13. Evolución de la potencia instalada renovable (MW). Fuente: Sistema eléctrico español.	12
Figura 14. Potencia solar fotovoltaica instalada (GW). Fuente: Sistema eléctrico nacional	12
Figura 15. Potencia solar térmica instalada. Fuente: Sistema eléctrico nacional.....	13
Figura 16. Evolución capacidad instalada del resto de fuentes renovables (MW). Fuente: Sistema eléctrico nacional	13
Figura 17. Capacidad instalada de bioenergía en España (MW). Fuente: IRENA, 2019.	14
Figura 18. Aportación de las energías renovables sobre el consumo final de energía con conjunto de medidas previstas (%). Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica 2019	16
Figura 19. Configuración general del parque de generación en Canarias según potencia eléctrica 2018. Anuario energético de Canarias 2018.	17
Figura 20. Evolución emisiones Gases Efecto Invernadero (GEI). Anuario energético de Canarias 2018.	18
Figura 21. Ranking ciudades europeas por número de pernoctaciones. Fuente: Eurostat.....	19
Figura 22. Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica. Fuente: Gobierno de Chile	27
Figura 23. Esquema de reactores sin retención interior de biomasa. Fuente: IDAE, 2007.	34
Figura 24. Esquema de reactores con retención interior de biomasa. Fuente: IDAE, 2007	35
Figura 25. Clasificación de los biorreactores según su velocidad de trabajo. Fuente: Varnero, 2011.	36
Figura 26. Esquema RMC sin recirculación / Esquema RMC con recirculación. Fuente Moraga, 2017.	38
Figura 27. Esquema reactor flujo pistón. Fuente: Moraga, 2017.	39
Figura 28. Esquema biodigestor en cascada. Fuente: Mendieta, 2015.	39

Figura 29. Esquema digestor de alimentación escalonada. Fuente: Mendieta, 2015.	40
Figura 30. Esquema biodigestor discontinuo o Batch.....	41
Figura 31. Biodigestor tipo chino. Fuente: López Pérez, 2003.....	43
Figura 32. Digestor tipo hindú. Fuente: Varnero, 2011	44
Figura 33. Esquema biodigestor de plástico. Fuente: PuentesDigitales, 2018	45
Figura 34. Dependencia de la constante de crecimiento de la temperatura. Fuente: Mendieta, 2015	47
Figura 35. Relación TRH -producción de biogás. Fuente: Hillbert, 2003	48
Figura 36. Diagrama de flujo pretratamiento mecánico: trituración. Fuente: IDAE, 2011.....	64
Figura 37. Diagrama de flujo pretratamiento térmico: pasteurización. Fuente: IDAE, 2011	65
Figura 38. Diagrama de flujo pretratamiento biológico: ensilado. Fuente: IDAE, 2011	67
Figura 39. Alternativas de utilización del biogás y sus requerimientos de purificación. Fuente: Varnero, 2011	72
Figura 40. Componentes de la radiación solar. Fuente: ABB, 2011	76
Figura 41. Esquema de planta FV conectada a la red. Fuente: ABB, 2019	77
Figura 42. Esquema general de una instalación aislada. Fuente: Ramírez, 2008.	78
Figura 43. Estructura de la célula solar. Fuente: Ramírez, 2008.....	79
Figura 44. curva característica módulo FV. Fuente: ABB, 2011.	81
Figura 45. Asociación de varios paneles solares en serie y paralelo. Fuente: ABB, 2011.....	81
Figura 46. Curva I-V según tipo de conexión. Fuente: Ramírez, 2008	82
Figura 47. Caja de conexiones de un módulo fotovoltaico. Fuente: Ramírez, 2008.	82
Figura 48. Panel fotovoltaico monocristalino y policristalino. Fuente: www.energiasrenovablesinfo.com , 2018	83
Figura 50. Panel fotovoltaico de capa fina. Fuente: ABB, 2019	84
Figura 51. Inversor DC-AC. Fuente: www.areatecnologia.com	86
Figura 52. Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica. Fuente: Ramírez, 2008.....	92
Figura 53. Esquema de regulador de carga en serie y en paralelo. Fuente: www.areatecnologia.com	96
Figura 54. Posición del Sol con respecto a la Tierra según estación del año. Fuente: ABB, 2011. ...	98
Figura 55. Recorrido del Sol a 45 ° de latitud norte. Fuente: ABB, 2011.....	99
Figura 56. Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación. Fuente: ABB, 2011	99
Figura 57. Factor de corrección k para España y latitud de 28°. Fuente: Censolar.	100
Figura 58. Curva característica V-I de la célula FV en función de la irradiancia incidente. Fuente: ABB, 2019.....	101
Figura 59. Curva característica V-I de la célula FV en función de la temperatura incidente. Fuente: ABB, 2019.....	101
Figura 60. esquema comparativo módulo FV sin y con bypass. Fuente: ABB, 2019.	102
Figura 61. Esquema legislación a aplicar según tipo de instalación. Fuente: Censolar.	106
Figura 62. Esquema básico de una instalación solar de baja temperatura. Fuente: IDAE	107
Figura 64. Colector solar plano. Fuente: Garwood, 2005	110
Figura 65. Colector solar no vidriado. Fuente: Garwood, 2005	110
Figura 66. Colector de tubo de vacío. Fuente: Garwood, 2005.	111
Figura 67. Colector con sistema de concentración de la radiación. Fuente: Garwood, 2005	111
Figura 68. Tipos de acumuladores solares. Belso, 2011.	113
Figura 69. Partes de un intercambiador de placas. Fuente: www.saincal.com	114
Figura 70. Intercambiador de calor tipo serpentín. Fuente: www.solstac.com	114
Figura 71. Intercambiador de calor de doble envoltente. Fuente: www.caloryfrio.com	115

Figura 72. Aislamiento con protección exterior. Fuente: Belso, 2011.....	117
Figura 73. Vaso de expansión. Fuente: Belso, 2011.....	118
Figura 74. Sistema de regulación y control. Fuente: Belso, 2011.....	119
Figura 75. Esquema instalación circulación natural Fuente: Belso, 2011.....	120
Figura 76. Esquema de instalación con circulación forzada. Fuente: Belso, 2011.....	121
Figura 77. Instalación sin intercambiador de calor. Fuente: Belso, 2011.....	122
Figura 78. Instalación con intercambiador de calor. Fuente: Belso, 2011.....	123
Figura 79. Representación gráfica del grado de cobertura solar. Fuente: PET-REV, 2019.....	126
Figura 80. Variación de la fracción solar con la superficie de captación. Fuente: Belso, 2011.	128
Figura 81. Diagrama de trayectorias del Sol. (los grados de ambas escalas son sexagesimales). Fuente: CT-DB-HE4.....	129
Figura 82. Representación distancia mínima entre captadores. Fuente: PET-REV, 2019.....	131
Figura 83. Mapa de localización de las casas rurales objeto de estudio. Fuente: GRAFCAN	136
Figura 84. Generación de residuos en España por comunidades autónomas. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.....	139
Figura 85. Composición media de los residuos sólidos urbanos. Fuente: Datos de PNIR 2007-2015 y elaboración propia.	141
Figura 86. Volúmenes de agua registrada y distribuida a los usuarios (hm3). Fuente: INE, 2018.	147
Figura 87. Balance energético proceso anaeróbico. Fuente: Rafael Borja, 2008.....	155
Figura 88. Distinción de zonas climáticas viene reglada por la sección HE 5 del Código Técnico de la Edificación. Fuente: CTE-HE5	160
Figura 89. Mapa de potencial fotovoltaico (kWh/kWp) para cada unidad alojativa. Fuente: GRAFCAN.....	162
Figura 90. Mapa de temperatura media diurna (°C) para cada unidad alojativa. Fuente: GRAFCAN	162
Figura 91. Recurso eólico a 40 m altura y localización de las casas rurales. Fuente: GRAFCAN e ITC.	170
Figura 92. Espacios Naturales Protegidos de Gran Canaria. Fuente: Red Canaria de Espacios Naturales Protegidos.....	177
Figura 93. Mapa de intensidad de turbulencias a 40 m. GRAFCAN.....	178
Figura 94. Tamaño medio del hogar por comunidad autónoma. Fuente: INE, 2019	179
Figura 95. Esquema de costes de una instalación. Fuente: Power Technology	183
Figura 96. Costo nivelado promedio ponderado global de electricidad de las tecnologías de generación de energía renovable a escala de servicios públicos, 2010 y 2019. Fuente: IRENA, 2019	185
Figura 97. LCOE para digestores de diferentes capacidades. Fuente: Shezhen Puxin Techology.	187
Figura 98. Evolución precio PVPC 2018. (c€/kWh).....	188
Figura 99. Ocupación mensual por plazas, 2018 y 2019. Fuente: Statista, 2020.....	191
Figura 100. Esquema sistema biodigestión para hogar. Fuente: Shezhen Puxin.....	193
Figura 101. Amortización de la inversión. Elaboración propia	194
Figura 102. Cálculo demanda de energía anual. Fuente: Viessmann.	195
Figura 103. Cálculo producción de energía por Método f-chart. Fuente: Viessmann.....	196
Figura 104. Gráfica comparativa Demanda-Producción de energía en un año (Kwh). Fuente: Viessmann.....	196
Figura 105. Amortización de la inversión termosolar escenario real. Elaboración propia.....	197
Figura 106. Amortización de la inversión termosolar escenario optimista. Elaboración propia... ..	197
Figura 108. Amortización instalación fotovoltaica 33% de la ocupación. Elaboración propia.	200
Figura 109. Amortización instalación FV 59 %de la ocupación. Elaboración propia.	201

Capítulo 1.

ANTECEDENTES.

1. Antecedentes.

En la actualidad, la emisión de sustancias contaminantes a la atmósfera, así como la ingente generación de residuos procedentes tanto de fuentes naturales como antropogénicas están provocando daños que pueden llegar a ser irreversibles para el planeta, alterando así el correcto funcionamiento de los ecosistemas. El efecto invernadero o la destrucción de la capa de ozono son algunas de las consecuencias de una intensa industrialización global fundamentada principalmente en el uso de fuentes fósiles (gas, carbón, petróleo), donde las principales actividades han sido la producción de energía, el sector industrial, el transporte, el tratamiento y eliminación de residuos y las actividades agrarias (ganadería, uso de fertilizantes, cultivos). [1]

Debido a esta problemática surge la necesidad de encontrar soluciones alternativas que permitan seguir con el desarrollo y calidad de vida actual sin seguir devastando los recursos del planeta. Para ello, se están estudiando y desarrollando formas de obtener energía a través de fuentes renovables como la eólica, hidráulica, solar, o biomasa entre otras. Aunque ésta última actualmente es una de las de menor peso en el mix energético, cada vez gana más importancia al ser más los gobiernos que incorporan una política de economía circular. Es decir, crecer económicamente sin deteriorar el medio ambiente, ni agotar los recursos naturales mediante la reutilización y maximización de éstos y la minimización del desperdicio. Además de la biomasa se pueden obtener biocombustibles como el biogás o el biodiésel.

1.1. Situación energética mundial

La industria del turismo es una de las más grandes del mundo con una contribución económica global (directa, indirecta e inducida) además de 7,6 billones de dólares en 2016. En 2019 más de 1.400 millones de personas viajaron por el mundo según la Organización Mundial del Turismo (OMT), siguiendo con la tendencia alcista de los últimos años. Además, según la OMT se espera que para 2030 o incluso antes se superen los 1.800 millones de turistas internacionales. [2]

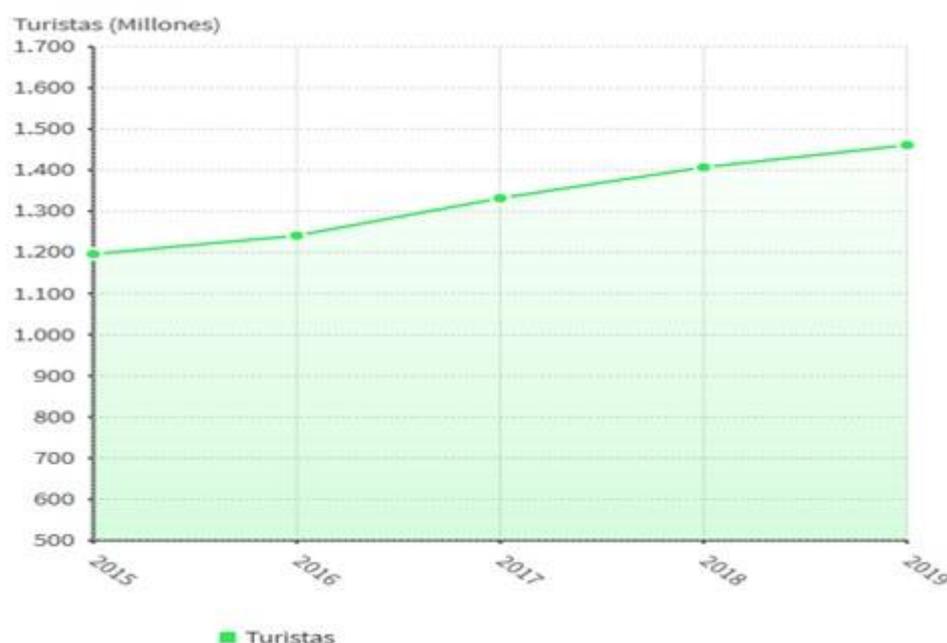


Figura 1. Evolución en el número de viajeros en el mundo desde 2015. Fuente: UWNTO, EPData

Este crecimiento se produce de forma más intensiva que el crecimiento de la economía o el comercio internacional lo que origina la necesidad de separar dicho crecimiento del uso de los recursos naturales ya que según las estadísticas se ha registrado en la EU-28 en 2016, una media de 5 toneladas de residuos generados por habitante. Lo que hace necesario gestionar esta ingente cantidad para que su impacto en el medio ambiente sea el menor posible. En 2016, el 45,7 % de los residuos de la UE se depositaron en vertederos y el 37,8 % se reciclaron. Los vertederos, por ejemplo, ocupan terreno y pueden contaminar el aire, el agua y el suelo, mientras que la incineración puede dar lugar a emisiones de contaminantes atmosféricos. El objetivo de las políticas de gestión de residuos de la UE es,

por tanto, reducir el impacto sobre el medio ambiente y la salud y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos. El objetivo a largo plazo de estas políticas es reducir la cantidad de residuos generados y, cuando su generación sea inevitable, promover los residuos como recurso y lograr niveles más elevados de reciclado y una eliminación de residuos segura.

[3]

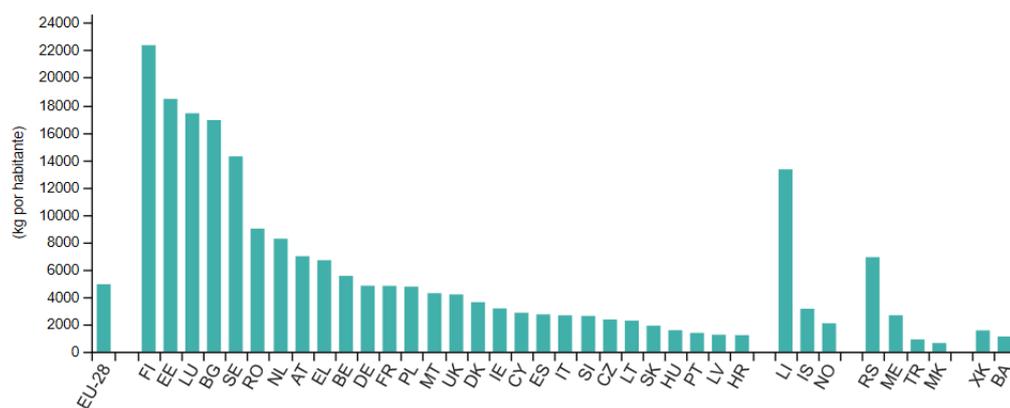


Figura 2. Generación de residuos por habitante de los países europeos. Fuente: Eurostat

Dentro del turismo, el turismo rural ocupa cada vez mayor importancia. En las últimas dos décadas ha crecido en muchas regiones de todo el mundo. El término "turismo rural" se ha definido de varias maneras, varía de un país a otro, y es bastante difícil encontrar una definición universal, debido a su naturaleza compleja y multifacética, ya que no es solo un "turismo basado en la agricultura". La Comisión Europea adoptó esta colocación para "turismo en áreas con baja densidad de población, zonas rurales y pueblos.". En 2017, el número total de noches que pasaron en alojamientos turísticos de la UE-28 se distribuyó de manera relativamente uniforme: la mayor proporción se registró para las ciudades (37.7%), seguido de ciudades y suburbios (32.2%) y con muy poca diferencia en áreas rurales (30,1%). El crecimiento del turismo rural viene dado en parte por una población cada vez más preocupada por el medio ambiente que intenta buscar alternativas más respetuosas con el entorno y este tipo de turismo se presenta como una alternativa al turismo de masas actual. [4]

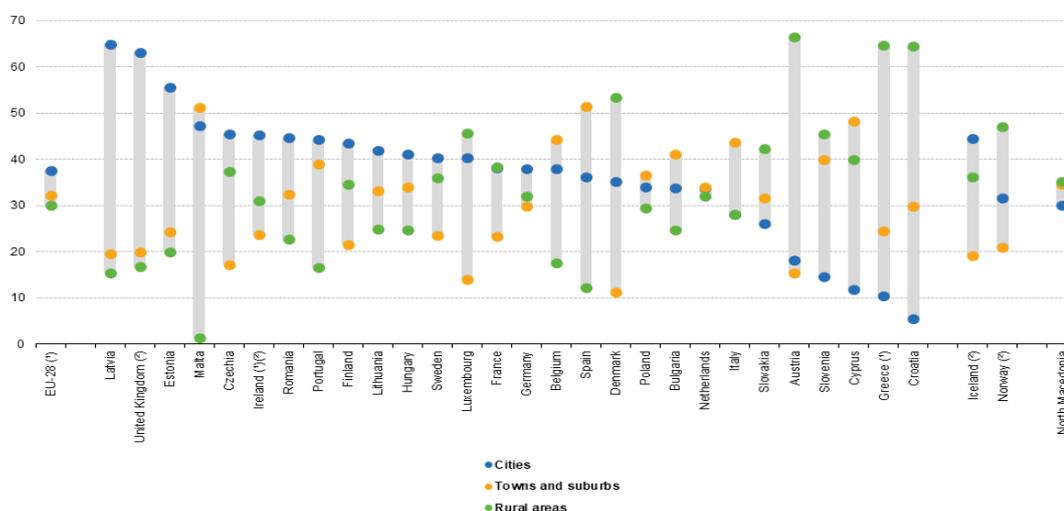


Figura 3. Noches de alojamiento turístico (% de noches de estancia por tipo de alojamiento) Fuente: Eurostat.

De igual forma el consumo de energía eléctrica no ha dejado de crecer en las últimas décadas siendo el incremento entre 2017 y 2018 de un 3.5 %, pasando de 22.189 TWh a 22.964 TWh casi el doble de la tasa de crecimiento medio anual desde 2010, siendo China (29%), Estados Unidos (19%) e India (6%) los principales consumidores del mundo. [5] Cerca del 75% de ese crecimiento consistió en consumo de petróleo, gas y carbón, el porcentaje más alto correspondiente a esas fuentes desde 2013.

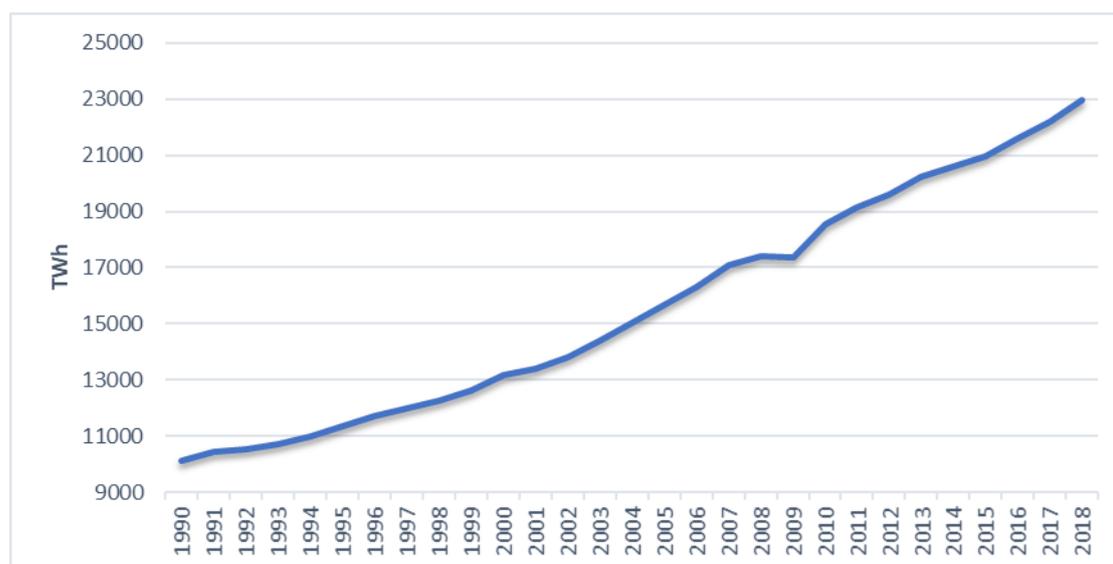


Figura 4. Evolución de la demanda de energía eléctrica desde 1990. Fuente: Enerdata.

Esto ha supuesto un aumento de las emisiones de CO₂ del 1.9 % con respecto a 2017 pasando de 32.298,9 MtCO₂ en 2017 a 32.915,9 MtCO₂ en 2018, el crecimiento más rápido de los últimos siete años y el doble de su crecimiento medio de la última década. Siendo EE. UU., China e India los países más contaminantes.

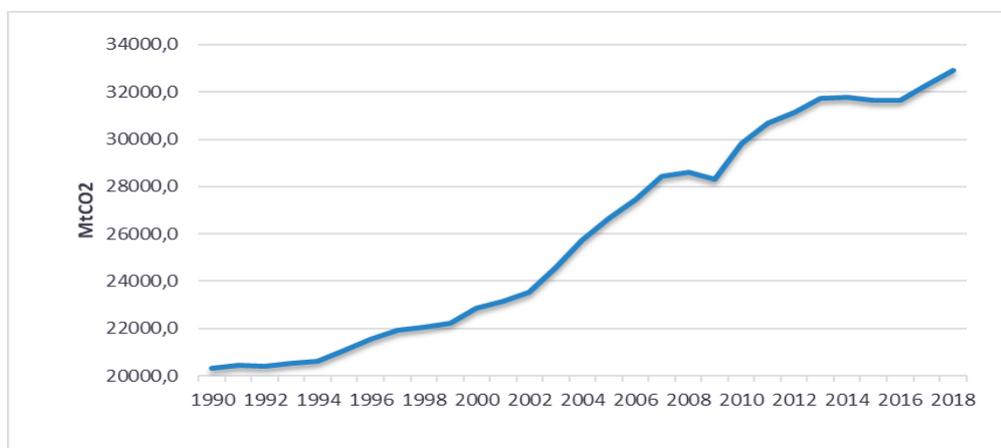


Figura 5. Evolución de las emisiones de CO₂ desde 1990. Fuente: Eurostat

Lo que indica que no se está descarbonizando el sector eléctrico con la suficiente rapidez, ya que el carbón sigue siendo uno de los principales combustibles a nivel mundial desde hace aproximadamente 20 años. Por lo que El sistema energético mundial se enfrenta a un doble desafío: la necesidad de más energía y menos CO₂

Aunque según los últimos datos publicados por la Agencia Internacional de Energía Renovable [6], a finales de 2018 la capacidad global de generación de las energías renovables ascendió a 2.356.346 MW aumentando con respecto al año anterior un 8 % (2.181.577 MW). Sin embargo, representan solo un tercio de la generación de energía eléctrica. [7]

La energía hidroeléctrica representó la mayor cantidad de capacidad instalada con 1.172 GW, seguida por la energía eólica y solar, con capacidades de 564 GW y 486 GW, respectivamente. Otras renovables incluyen 115 GW de bioenergía, 13 GW de energía geotermia y 500 MW de energía marina (marea, ola y energía oceánica). La energía solar continuó dominando, con un aumento de capacidad de 94 GW (+24%), seguida de energía eólica, con un aumento de 49 GW (+10%). En cuanto a la capacidad hidroeléctrica, aumentó en 21 GW (+2%) y la bioenergía en 6 GW (+5%). Por último, la energía geotérmica aumentó en poco más de 500 MW.

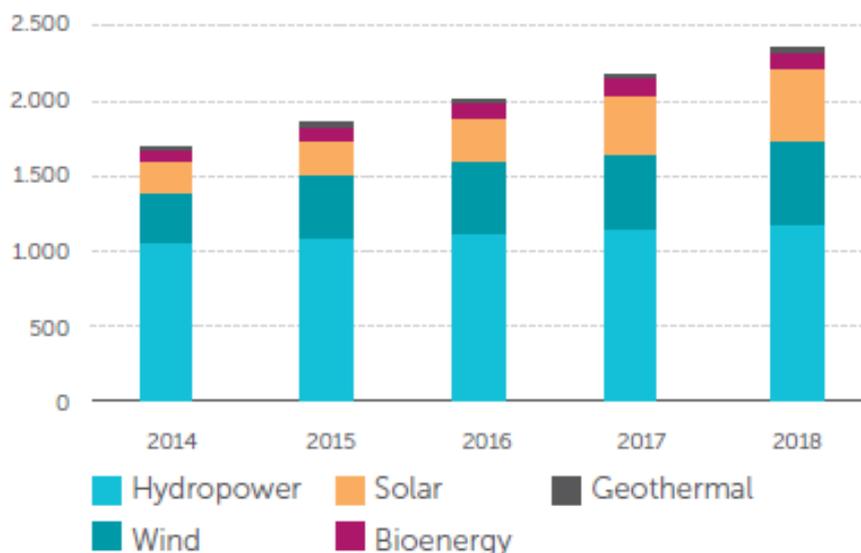


Figura 6. Crecimiento de la capacidad instalada (GW). Fuente: IRENA

De estos datos se concluye que el crecimiento de la capacidad instalada proveniente de fuentes de energías renovables es principalmente debido a nuevas instalaciones de energía solar y eólica. Estas representaron el 84 % de toda la capacidad instalada en 2018. Sin embargo, se hace necesario desarrollar también otros tipos de energías renovables para cumplir con los objetivos de reducir las emisiones de gases efecto invernadero en los años venideros, por lo que resultaría muy interesante estudiar la energía proveniente de los residuos orgánicos generados, ya que la biomasa tiene un potencial significativo y puede quemarse directamente para calefacción o generación de energía, o puede convertirse en sustitutos del petróleo o del gas a partir de la generación de biocombustibles como el biogás o el biodiésel. Además, en áreas rurales donde la principal actividad de los habitantes de estas comunidades relativamente aisladas es en su mayoría agrícola y ganadera por lo que el uso de esta tecnología resultaría conveniente. Debido a que los desechos de estas actividades son principalmente orgánicos si no se tratan adecuadamente pueden suponer un problema medioambiental serio. Por lo que la utilización de biodigestores supone una solución simultánea, tanto a la dependencia energética, como a la depuración de los desechos de la agricultura y la ganadería. Así mismo, los biodigestores generan una importante cantidad de fertilizante natural.

Por otro lado, el biogás puede ser utilizado de forma directa, a diferencia de la energía solar y eólica, sin necesidad de líneas de distribución, convertidores, baterías, etc. La utilización

de biodigestores supone una alternativa interesante a corto plazo en aquellas comunidades que no disponen de recursos suficientes para implementar una red aislada.

En el siguiente gráfico se observa cómo ha crecido de manera gradual durante la última década la capacidad instalada de bioenergía.[8]

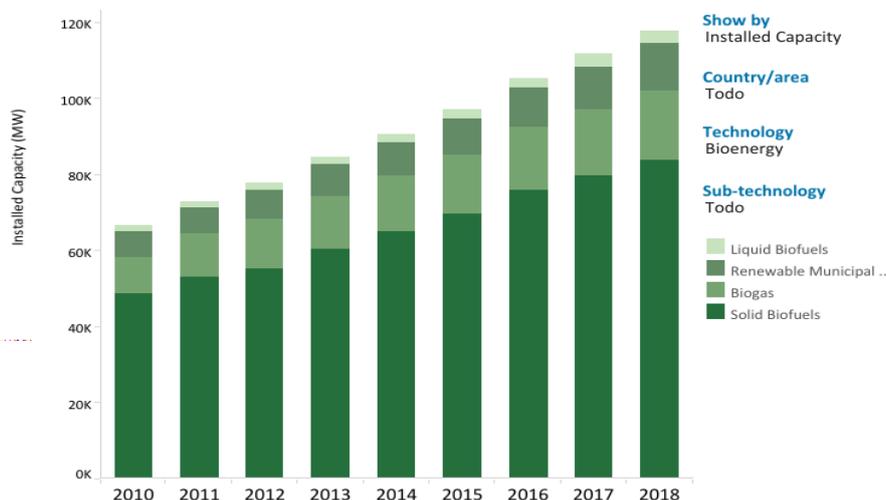


Figura 7. Crecimiento de la capacidad instalada de bioenergía (MW). Fuente: IRENA

1.2. Situación energética en España.

La posición actual de España es el resultado de una evolución ascendente durante los últimos años. El número de turistas internacionales que llegaron a España hasta diciembre de 2019 fue de 83,7 millones, que supone una variación de +1,1% en comparación con el mismo periodo del año anterior. [9]

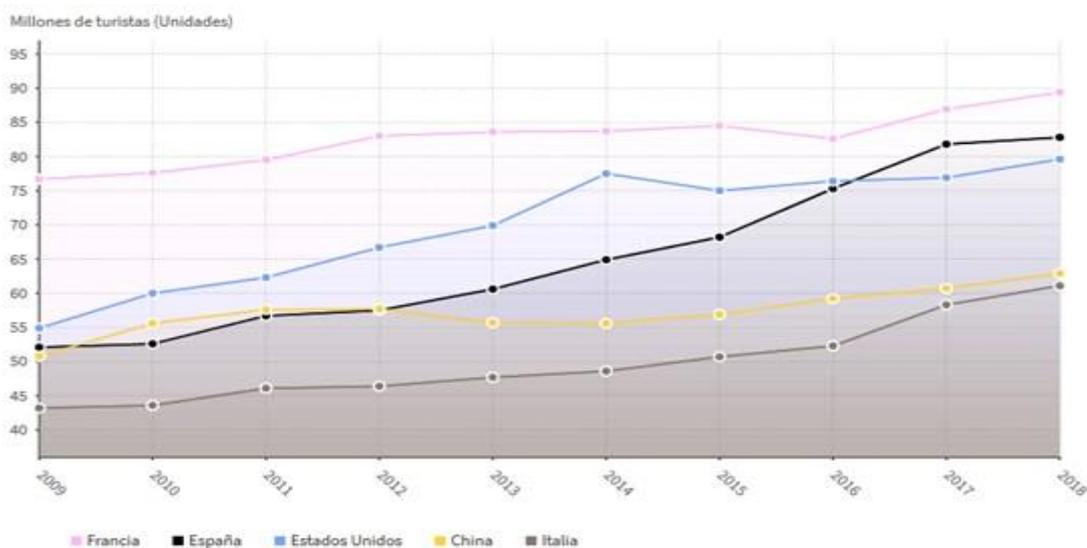


Figura 8. Evolución de la posición de España entre los países más visitados del mundo. Fuente: UNWTO, Epdata

Las pernoctaciones realizadas en alojamientos turísticos extrahoteleros (apartamentos, campings, alojamientos de turismo rural y albergues) alcanzaron los 126,4 millones en 2019, lo que supone 0,4% menos respecto a 2018, según los datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística (INE).

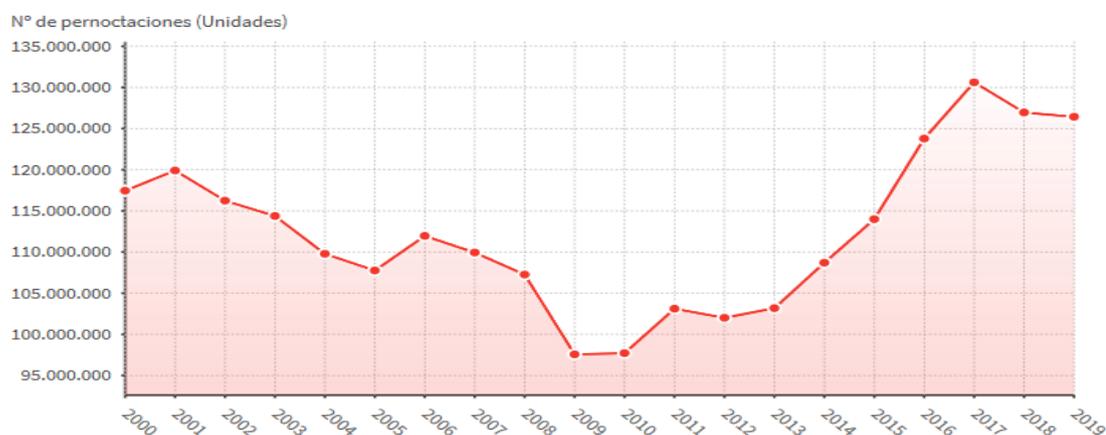


Figura 9. Evolución del número de pernoctaciones extrahoteleras en España. Fuente: Epdata

Sin embargo, los turistas buscan más alojamientos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente donde liberarse del estrés y disfrutar del aire puro, de esta forma las pernoctaciones en alojamientos de turismo rural presentaron un incremento del 0,32% en diciembre respecto al mismo mes del año pasado. En el siguiente gráfico se observa como desde 2001 se produce una evolución creciente del número de turistas que eligen alojamiento rural para su estancia. Es considerable el aumento que se produce en 2017 con respecto a 2016 siendo éste del 22%. Este tipo de turismo puede generar beneficios adicionales contrarrestando la despoblación de estas zonas, alentando el aumento del intercambio cultural entre zonas urbanas y rurales, así como contribuir a la diversificación general de la economía por lo que el objetivo es que la huella de carbono de cada turista sea lo más reducida posible a través del aprovechamiento de residuos que estos generan para cumplir con las políticas de economía circular y los objetivos medioambientales y energéticos establecidos por la Comisión Europea.



Figura 10. N.º de pernoctaciones en alojamientos rurales en España. Fuente: Epdata

Desde el punto energético se puede decir la gran mayoría de la energía primaria utilizada en España proviene de combustibles fósiles altamente contaminantes (petróleo, gas y carbón), a los que habría que añadir la generación nuclear. España es un país fuertemente dependiente de las importaciones energéticas. Precisamente uno de los elementos que ha limitado el desarrollo económico de España ha sido la pobreza de recursos energéticos, en concreto la carencia de hidrocarburos líquidos y gaseosos y la mala calidad del carbón existente. La escasez de recursos ha condenado tradicionalmente al sistema energético nacional a una situación de déficit y dependencia exterior. Esto sitúa a España entre los 25 países con más generación de emisiones de CO₂ del mundo, aunque en 2018, las emisiones de CO₂ en España han caído 6.132 kilotoneladas, un 2,17% respecto a 2017. También ha disminuido las emisiones CO₂ per cápita de, pasando de 6.09 toneladas por habitante a 5,95 en 2018. En la Figura 11 se muestra la evolución de las emisiones de CO₂ provenientes de los combustibles fósiles y la total. [10]

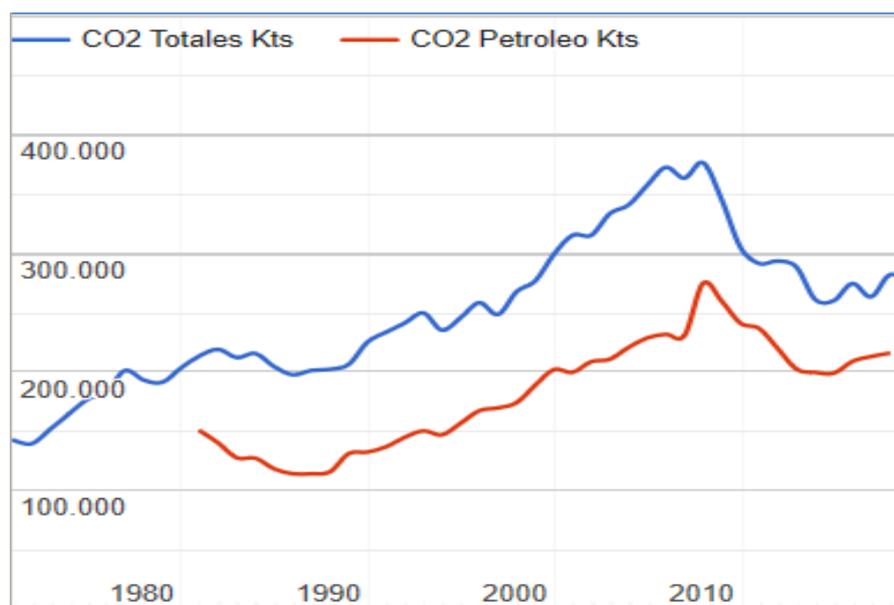


Figura 11. Evolución emisiones de CO2 en España. Fuente: www.datosmacro.expansion.com

En 2018, la demanda de energía eléctrica en España ha consolidado la evolución positiva iniciada en 2015. En concreto, la demanda aumentó un 0,4%, hasta los 253.495 GWh, lo que implica un crecimiento menor al 1,3% de 2017. En las tablas, puede apreciarse el crecimiento de la demanda en detalle. [11]

Tabla 1. Evolución de la demanda eléctrica peninsular y no peninsular. Fuente: REE

	Demanda b.c.		Componentes (%)			Islas Baleares		Islas Canarias		Ceuta		Melilla	
	GWh	Anual (%)	Laboralidad	Temperatura	Corregida	GWh	Anual (%)	GWh	Anual (%)	GWh	Anual (%)	GWh	Anual (%)
2014	243.174	-1,1	0,0	-1,0	-0,1	5.577	-1,6	8.495	-0,1	212	5,1	210	0,1
2015	247.970	2,0	-0,1	0,4	1,7	5.788	3,8	8.633	1,6	204	-3,9	213	1,6
2016	249.680	0,7	0,6	0,1	0,0	5.823	0,6	8.744	1,3	211	3,3	208	-2,3
2017	252.506	1,1	-0,3	-0,2	1,6	6.016	3,3	8.931	2,1	203	-3,7	210	1,0
2018	253.495	0,4	-0,1	0,2	0,3	6.052	0,6	8.840	-1,0	207	2,2	213	1,2

La generación, por su parte, mostró una caída del 0,5% respecto a 2017, debido principalmente al carbón y al ciclo combinado, cuya producción descendió un 17,2% y 18,9%, respectivamente. Por lo que, una parte de la demanda se cubrió con el saldo importador resultante de los intercambios de energía con otros países. De hecho, las importaciones superaron las exportaciones en 11.102 GWh.

Tabla 2. Saldos de los intercambios internacionales físicos de energía eléctrica (GWh). Fuente: REE

	Francia	Portugal	Andorra	Marruecos	Total
2014	3.567	-903	-235	-5.836	-3.406
2015	7.324	-2.266	-264	-4.927	-133
2016	7.802	5.086	-278	-4.951	7.658
2017	12.465	2.685	-233	-5.748	9.169
2018	12.047	2.655	-210	-3.389	11.102

Saldo positivo: importador

Saldo negativo: exportador

Fuente: Red Eléctrica

En la cobertura de la demanda, destaca el aumento de la aportación hidráulica desde el 7,2% en 2017 hasta el 13,2% en 2018. Sustituye así al carbón, que ha disminuido desde el 16,5% hasta el 13,5%, mientras que la energía nuclear se mantiene como la tecnología que más ha contribuido a cubrir la demanda con un 20,6%, seguida de la eólica con el 19%. Cabe destacar que el 4,3% de la demanda se ha cubierto con energía importada de otros países.

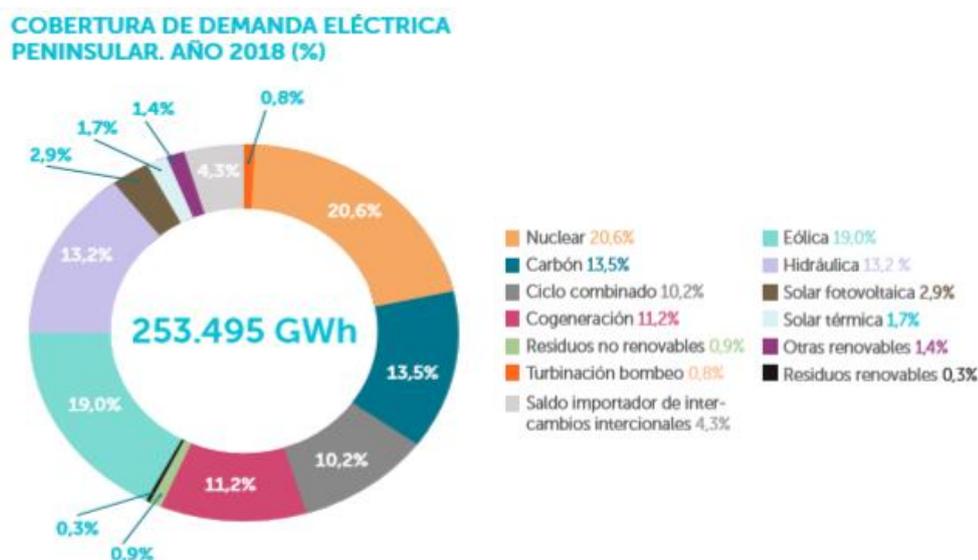


Figura 12. Gráfico de demanda eléctrica nacional. Año 2018 (%). Fuente: REE

La generación de energía a partir de fuentes renovables en España ascendió a 48.612 MW, lo que supone más del 38% de la generación total de energía incrementándose en 6 puntos porcentuales en 2017. En 2018 la potencia instalada renovable creció un 0,9% con respecto a 2017, lo que supuso 427 MW más que el año anterior. Este incremento se ha realizado, principalmente con tecnología eólica aportando el 88,4 % de la nueva potencia instalada, siguiéndole la energía solar (fotovoltaica y térmica), el resto de las fuentes renovables han tenido incrementos muy pequeños o nulos.

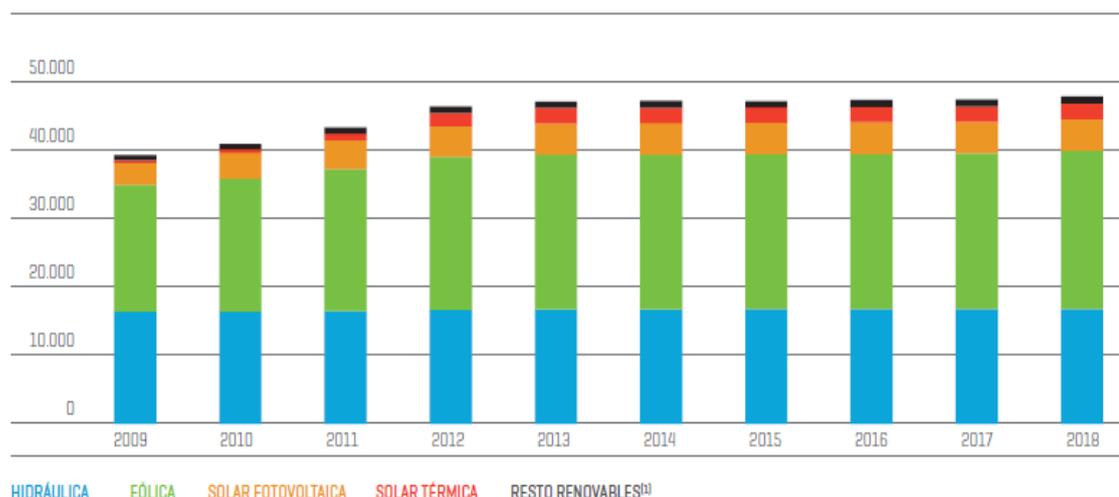


Figura 13. Evolución de la potencia instalada renovable (MW). Fuente: Sistema eléctrico español.

La potencia instalada de energía solar se situó a finales del 2018 en 7.018 MW (4.714 MW de solar fotovoltaica y 2.304 MW de solar térmica) y 12.183 GWh de generación, convirtiéndose así en la tercera fuente renovable de generación eléctrica en España

En 2018, la instalación de nueva capacidad fotovoltaica en España alcanzó los 261,7 MW, lo que supone un incremento del 94% respecto a los 135 MW del año previo y del 376% respecto a los 55 MW de 2016. Este incremento se ha debido principalmente al autoconsumo, que ha representado un 90% del mismo. [12]

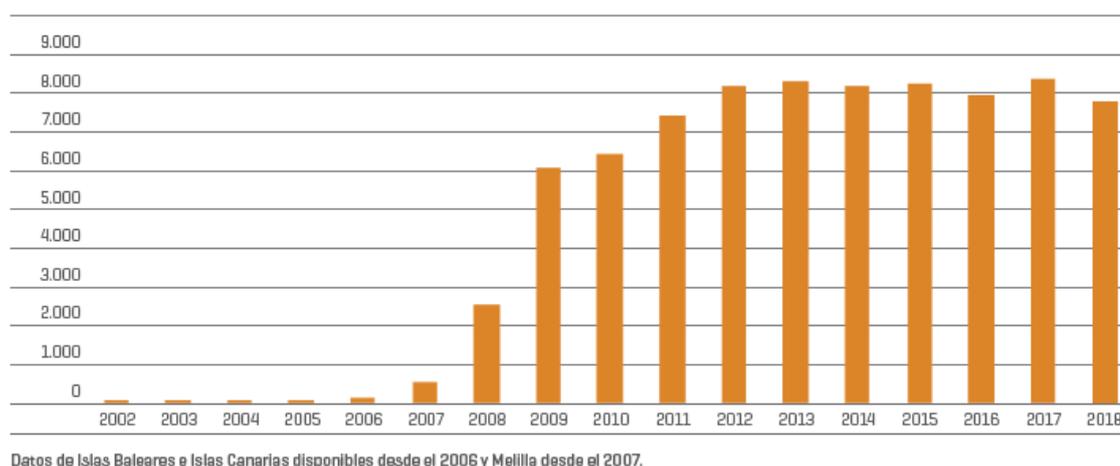
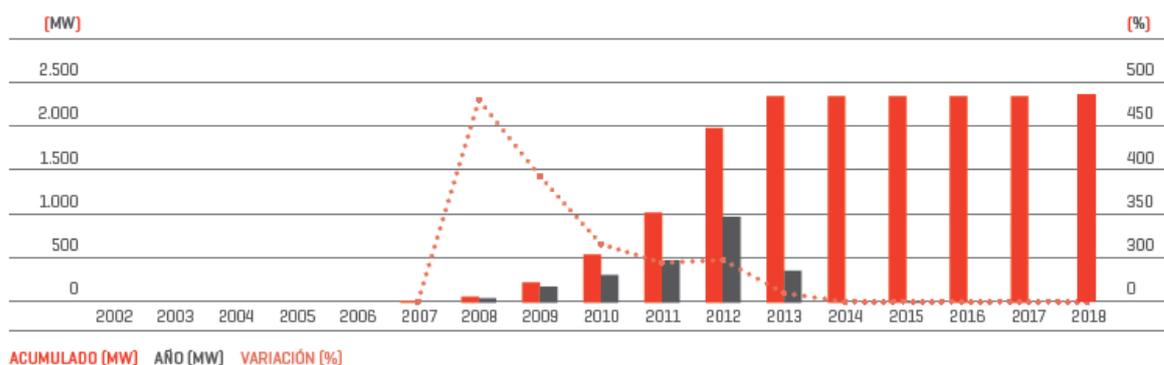


Figura 14. Potencia solar fotovoltaica instalada (GW). Fuente: Sistema eléctrico nacional

En cuanto a la solar térmica, después del fuerte incremento del año 2012 con casi 1 GW de potencia instalada, desde el año 2014 la potencia se mantiene estable, registrando 2.304 MW a finales del 2018.

Potencia solar térmica instalada. Sistema eléctrico nacional

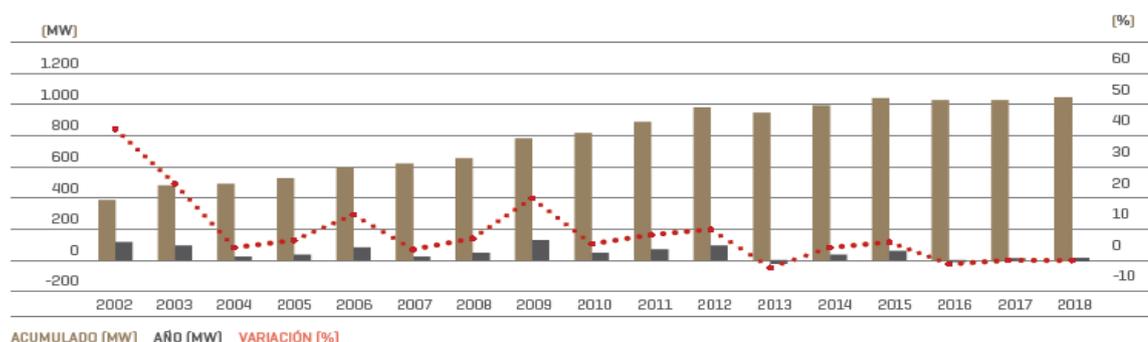


Fuente: Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) hasta el 2014

Figura 15. Potencia solar térmica instalada. Fuente: Sistema eléctrico nacional

La generación solar en España, al igual que ocurre con la potencia, se ha ido moderando en los últimos años, reduciéndose ligeramente en el 2016 y, significativamente, este último año. Durante el año 2018 se generan 12.183 GWh, un 11,4 % por debajo del año anterior y el valor más bajo desde el año 2012 (11.650 GWh). Esta producción representa el 4,7 % del total de la generación anual, 2,9 % para la fotovoltaica y el restante 1,7 % para la solar térmica.

Por otro lado, el resto de las fuentes renovables que componen el mix energético español (no superan el 2% (4.455 GWh) de la generación eléctrica. Se pueden distinguir cuatro bloques: biomasa y biogás (860,5 MW); residuos renovables identificados como el 50 % de los residuos sólidos urbanos (161,5 MW); hidroeléctrica, central instalada en la isla de El Hierro (11,4 MW), e hidráulica marina de (4,8 MW). Aunque cabe destacar que la evolución de este agregado de energías ha sido creciente durante más de una década, pasando de 379 MW de potencia en el año 2002 a 1.038 MW en el 2018.



[1] Incluye biogás, biomasa, geotérmica, hidráulica marina, hidroeléctrica y residuos renovables.

Fuente: Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) hasta el 2014. Datos de Islas Baleares e Islas Canarias disponibles desde el 2006 y Melilla desde el 2007.

Figura 16. Evolución capacidad instalada del resto de fuentes renovables (MW). Fuente: Sistema eléctrico nacional

En el siguiente gráfico se muestra el crecimiento que ha tenido la bioenergía dentro del mix español desde el año 2010.

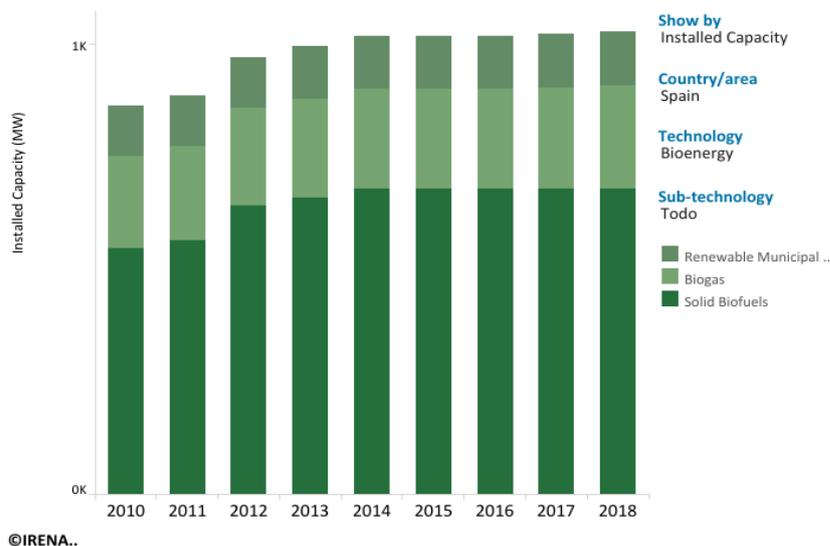


Figura 17. Capacidad instalada de bioenergía en España (MW). Fuente: IRENA, 2019.

Los altos potenciales del biogás agroindustrial hacen pensar que la tecnología de generación de biogás que más se desarrollará en la próxima década será la de los digestores anaerobios, aplicada, principalmente, a residuos ganaderos y agroindustriales. Adicionalmente hay que considerar el efecto beneficioso en cuanto a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero que la aplicación de esta tecnología lleva aparejada en el caso de los residuos ganaderos. Otras propuestas que contribuirán al desarrollo del sector serán todas aquellas relacionadas con un uso más eficiente del biogás generado, como un mayor incentivo a la realización de cogeneraciones, ayudas al uso térmico y el posible establecimiento de un marco normativo y económico para la inyección en redes.

El desarrollo de las renovables es fruto principalmente de la intención de cumplimiento de El Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020 que fue aprobado por Acuerdo del Consejo de Ministros de 11 de noviembre de 2011, estableciendo objetivos acordes con la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, y atendiendo a los mandatos del Real Decreto 661/2007, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial y de la Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía

Sostenible con el fin de cumplir las metas fundamentales de la Comisión Europea. Ésta fija como objetivos generales conseguir una cuota mínima del 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía de la Unión Europea (UE) y una cuota mínima del 10% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía en el sector del transporte en cada Estado miembro para el año 2020. Establece también reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% (en relación con los niveles de 1990) y mejorar un 20 % la eficiencia energética. [13]

Sin embargo, el 9 de abril de 2019, la Comisión Europea publica su cuarto informe sobre la Unión de la Energía, en el que evalúa los progresos del bloque comunitario en aspectos como la reducción de emisiones, la eficiencia energética o las renovables y en el que duda de que España y otros seis países (Austria, Alemania, Letonia, Rumanía, Eslovenia y Eslovaquia) consigan alcanzar su objetivo de energías limpias para 2020. Con respecto a la eficiencia energética, Bruselas remarca la necesidad de “intensificar los esfuerzos porque, tras una caída gradual del consumo energético entre 2007 y 2017, se ha registrado un incremento en los últimos años debido a las variaciones del clima, la mayor actividad económica y el bajo precio del petróleo.” [14]

Asimismo, con vistas al futuro la Unión de la Energía ha marcado las pautas para alcanzar los objetivos energéticos para 2030. Los objetivos políticos claves que deben cumplirse son:

- La reducción de las emisiones de gases efecto invernadero en al menos un 40% (con respecto a 1990). Esto permitirá avanzar hacia una economía con bajas emisiones de carbono.
- Aumentar la cuota de energías renovables en al menos un 32 % en el consumo final de energía.
- Aumentar la eficiencia energética en al menos un 32,5%. Esto deberá alcanzarse colectivamente y con una cláusula de revisión al alza en 2023 como muy tarde.

El marco de 2030 también tiene en cuenta la perspectiva de más largo plazo establecido por la Comisión en 2011, en la Hoja de Ruta de la Energía para 2050 [15], la Hoja de ruta hacia una economía hipo carbónica competitiva en 2050 [16], y el Libro Blanco: Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte. Estos documentos prevén los siguientes objetivos para 2050 [17]:

- Descarbonización de la economía entre un 79% y un 82% (en función de los escenarios)
- Descarbonización de la electricidad entre un 93% y un 99%.
- Descarbonización del transporte entre un 54% y un 67%.
- Reducción del consumo de energía primaria entre un 32% y un 41%
- Aporte de energías renovables entre un 55% y un 75%.

Para alcanzar dichos objetivos el Gobierno español ha presentado el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), que prevé para el año 2030:

- Reducción del consumo de energía primaria en un 39,5% respecto al escenario tendencial de referencia utilizado por la UE.
- Reducción de la dependencia energética del exterior pasando del 73% en 2017 al 61% en 2030.
- Disminución en unidades físicas en un 34% de la importación de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) entre el 2017 y el año 2030.
- Aumento de la presencia de las energías renovables sobre el uso final de la energía en el conjunto de la economía llegando al 42%. [18]

La generación eléctrica renovable en 2030 será el 74% del total, coherente con una trayectoria hacia un sector eléctrico 100% renovable en 2050. Este plan también prevé una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero del 21% respecto a 1990 y una mejora del 39,6% de la eficiencia energética.

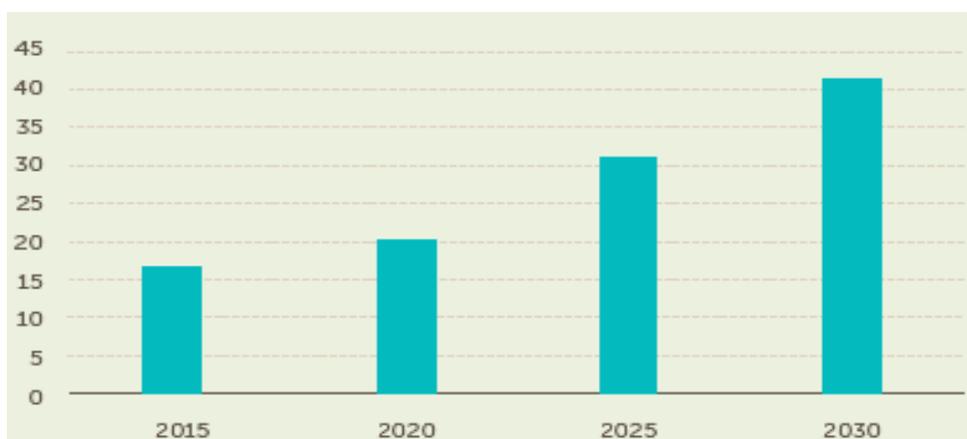


Figura 18. Aportación de las energías renovables sobre el consumo final de energía con conjunto de medidas previstas (%). Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica 2019

1.3. Situación en Canarias.

El actual sistema energético de Canarias se caracteriza por una casi total dependencia del exterior, basada en productos petrolíferos y con unos elevados costes de generación eléctrica, que tienen que ser reconocidos por el conjunto del sistema eléctrico para que los precios finales al consumidor sean similares a los del resto del territorio español. Esta situación se agrava aún más por la condición de Canarias de región ultraperiférica, aislada energéticamente de otros territorios y con recursos limitados (territorio, combustibles, agua), lo cual incide aún más en su vulnerabilidad. Tan solo el 18,5 % de la potencia instalada pertenece a fuentes de origen renovable.

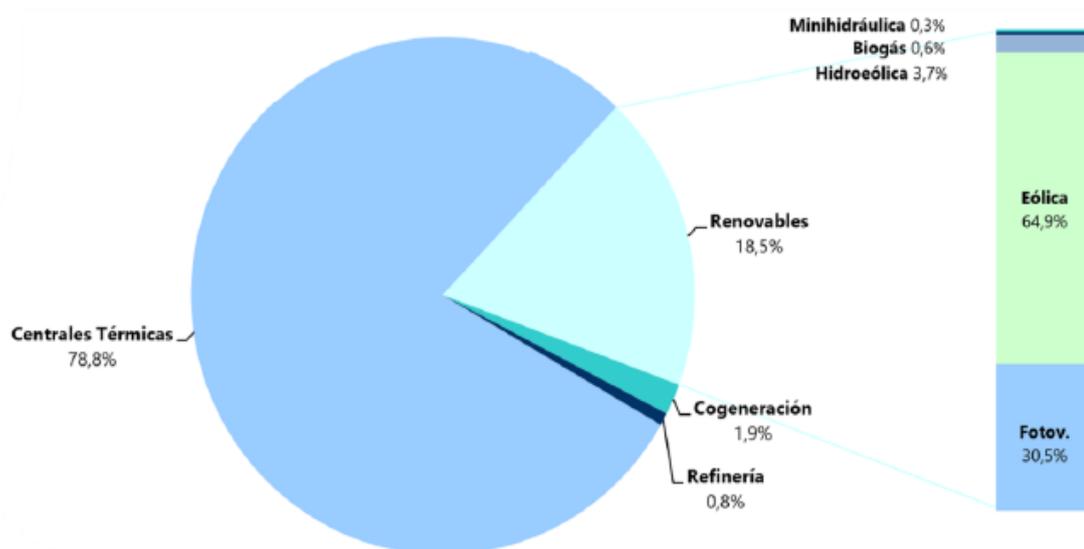


Figura 19. Configuración general del parque de generación en Canarias según potencia eléctrica 2018. Anuario energético de Canarias 2018.

En términos numéricos, las emisiones estimadas de GEI en Canarias en el año 2018 fueron de 13.341 kt CO₂-eq, con unas emisiones per cápita de 6,19 t de CO₂-eq / hab. superando la media de emisiones per cápita nacional. [19][1]

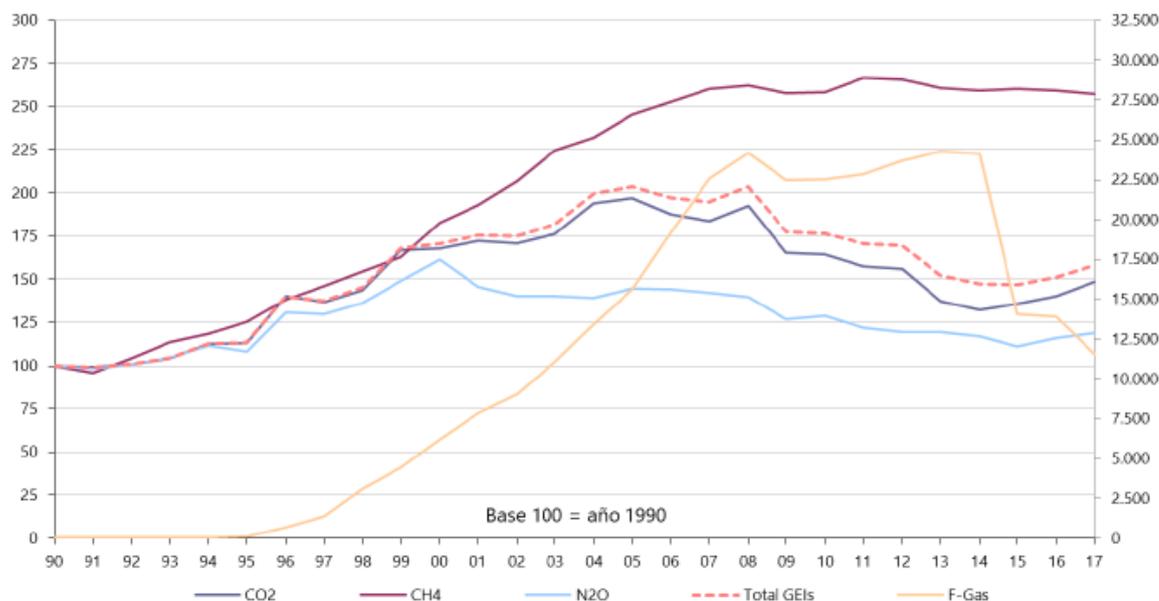


Figura 20. Evolución emisiones Gases Efecto Invernadero (GEI). Anuario energético de Canarias 2018.

Sin embargo, Canarias cuenta con una serie de ventajas y oportunidades aún sin explotar. Por un lado, dispone de unas condiciones climáticas y recursos renovables cuyo aprovechamiento reduciría de forma considerable su dependencia del exterior y las emisiones contaminantes derivadas de su uso y, además, contribuiría a la promoción y desarrollo de la economía local, con la consiguiente generación de empleo. Pudiendo aprovechar el potencial de las islas como destino turístico para desarrollar económica y tecnológicamente áreas rurales con poca actividad sectorial con el fin de hacer estas áreas más competitivas. El turismo rural tiene como objetivo incluir y beneficiar a las comunidades rurales, preservando al mismo tiempo sus activos ambientales y culturales. Lleva el desarrollo económico a las zonas rurales mediante la creación de ingresos y empleo adicionales. El desarrollo turístico también puede mejorar el bienestar social en las zonas rurales, por ejemplo, estimulando mejoras en la infraestructura, el saneamiento y las redes eléctricas.

Canarias es la comunidad autónoma donde mayor número de noches pasan los turistas de Europa [4]. Si a este hecho añadimos que las zonas rurales en Canarias abarcan gran parte del territorio insular, se pone de manifiesto la necesidad de fomentar una nueva forma de turismo rural en la que a partir de diversas fuentes de energía renovable (biodigestores,

solar fotovoltaica y térmica) se ofrezca una estancia autosostenible y más eficiente al turista.

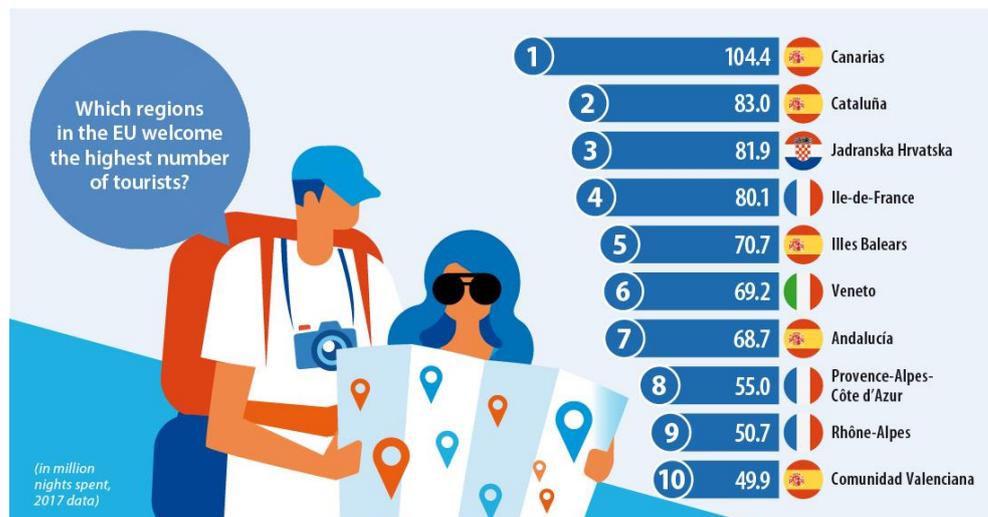


Figura 21. Ranking ciudades europeas por número de pernoctaciones. Fuente: Eurostat

Por otro lado, cuenta con un elevado potencial de ahorro energético y de mejora de la eficiencia energética en todos los sectores, principalmente en el sector del transporte, en la edificación y equipamiento y específicamente en el ámbito del agua, recurso escaso en la mayoría de las islas y cuyas infraestructuras requieren de consumos energéticos elevados. Por tanto, la adopción de medidas de uso racional de la energía en los diferentes sectores de actividad incrementaría su competitividad.

El Plan Energético de Canarias (PECAN-2006), aprobado por el Parlamento de Canarias en marzo de 2007, definió la política energética canaria hasta el año 2015. Los objetivos principales del plan energético estaban enfocados a la generación eléctrica mediante tecnologías limpias y a favorecer la diversificación de las fuentes energéticas convencionales. [20] Sin embargo, Canarias continúa con un modelo energético muy alejado del que defendía no solo el PECAN, sino también la actual política europea.

Tabla 3. Balance de objetivos conseguidos a partir del PECAN 2006. Fuente: EECan25

OBJETIVO PECAN 2006-2015	OBJETIVO 2015	SITUACION REAL 2015
Reducir la dependencia del petróleo desde el 99,4% en 2005 hasta un 72% en 2015.	72%	98,50%
Alcanzar el 8% de autoabastecimiento de energía primaria en Canarias en 2015, frente al 0,6% en 2005.	8%	1,5%
Introducir el gas natural en el mix energético canario, con un porcentaje de participación en el balance de energía primaria del 20% en 2015.	20%	0%
Alcanzar un 30% de la generación eléctrica mediante fuentes de energía renovables, frente al 3,9% al inicio del periodo de planificación.	30%	7,6%
Alcanzar una potencia eólica instalada de 1.025 MW en el horizonte del año 2015, lo que significaría multiplicar por más de 7 la potencia instalada a 31 de diciembre de 2004, que ascendía solamente a 136,39 MW.	1.025 MW	152,7 MW
Alcanzar una potencia fotovoltaica instalada de 160 MW en el horizonte del año 2015, frente a la instalada a finales de 2004, situada en menos de 1 MW.	160 MW	180,6 MW
Alcanzar una superficie instalada de 460.000 m ² , frente a los escasos 58.000 m ² instalados de paneles solares térmicos en 2004.	460.000 m ²	117.079 m ²
Fomentar el aprovechamiento de otras fuentes renovables, distintas de las tradicionales (eólica y solar), como la minihidráulica, solar termoeléctrica, energía de las olas y biocombustibles.	no cuantificado	5,7 MW (biomasa y minihidráulica)
Uso Racional de la Energía (URE): Reducción en un 25%, en el año 2015, del índice de intensidad energética (ratio entre energía y PIB), respecto al valor del año 2004.	25%	21,34%

Estos resultados, dejan a Canarias con un modelo energético muy alejado de poder cumplir el objetivo 20-20-20 en el año 2020 marcados por la actual política europea en el marco de su Estrategia europea para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador.

Para intentar revertir la situación actual, se ha desarrollado una nueva estrategia energética (Estrategia Energética de Canarias 2015-2025) [21], con unos objetivos marcados para 2025, con la finalidad de cumplir con los objetivos europeos en 2030. Los principales objetivos de la EECan25 son:

- Mejorar la intensidad energética primaria un 28,91% en 2025 frente al 2015.
- Incrementar la participación de las energías renovables en el consumo de energía final desde el 2% en el año 2015 al 15% en el 2025.
- Aumentar la participación de las energías renovables para la generación eléctrica desde el 8% en el año 2015 al 45% en el 2025.
- Reducir las toneladas de CO₂ equivalente en un 21% en el año 2025 respecto a las del año 2014.

Tabla 4. Objetivos para garantizar un suministro energético bajo en carbono para 2025. Fuente: EECan25

EJE 1: Desarrollo infraestructuras para garantizar un suministro energético bajo en carbono, diversificado, seguro y de calidad			
	Unidad	2015	2025
ENERGÍA PRIMARIA			
Reducir la intensidad energética primaria lep	Tep/miles€	0,1091	0,0775
Reducir la intensidad energética primaria lep	%	-	-28,91%
Reducir la dependencia del petróleo en el mix de energía primaria* ¹	%	98,51%	76,83%
Introducir el GN en el mix de energía primaria* ²	%	0%	10,57%
Incrementar las EERR en el mix de energía primaria* ¹	%	1,49%	12,59%
ENERGÍA FINAL			
Reducir la intensidad energética final lef	Tep/miles€	0,0809	0,0610
Reducir la intensidad energética final lef	%	-	-24,63%
ELECTRICIDAD			
Potencia total renovable para generación eléctrica	MW	350	1.660,5
Producción eléctrica total de origen renovable	GW/h	688	5.132
Producción eléctrica total de origen renovable	%	7,6%	45,36%
GASES DE EFECTO INVERNADERO			
Reducción de los GEI de las industrias del sector energético	KTonCO ₂ Eq	5.749,6	4.358

*¹ Considera el contenido mínimo de los biocombustibles en las gasolinas y gasóleos.

*² Objetivo mínimo. Sólo tiene en cuenta la sustitución del gas natural por gasóleo en los ciclos combinados.

Uno de los principios básicos de la EECan25 es lograr la máxima penetración de las energías renovables, de manera compatible con la preservación del medio natural. Por eso este proyecto se centrará en analizar y valorar el potencial de aplicación de las energías solar fotovoltaica y térmica y de la implantación de biodigestores en las casas rurales de medianías (municipios de Santa Brígida, Vega de San Mateo, Valsequillo de Gran Canaria Tejeda y Artenara) de Gran Canaria.

Capítulo 2.

OBJETO DEL PROYECTO.

2. Objeto del proyecto.

El objetivo de este proyecto es determinar si es económicamente viable el autoabastecimiento energético de casas rurales situadas en la zona de medianías de Gran Canaria, mediante la implementación de diferentes tecnologías renovables, como son los biodigestores y la energía solar fotovoltaica y térmica. Para ello se analizará y valorará el potencial existente de cada de estas fuentes de energía en la zona de estudio descrita.

Para ello se llevarán a cabo las siguientes fases:

- Análisis del estado de la tecnología de biodigestores, solar térmica y solar fotovoltaica.
- Estudio de la localización geográfica de las casas rurales
- Estudio de las características de las casas rurales
- Estudio de los residuos que se generan a raíz de la explotación de éstas.
- Estudio de la demanda energética,
- Cálculo del potencial energético de las diferentes fuentes de energía.
- Estudio de viabilidad según los datos obtenidos.

Capítulo 3.

FUNDAMENTOS DE LA BIOMASA Y LOS BIODIGESTORES

3. Fundamentos de la biomasa y los biodigestores.

El término biomasa se refiere al conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, y los materiales que proceden de su transformación natural o artificial. [22] La biomasa puede convertirse en energía a través de dos procesos, el bioquímico (en el cual se ubica la tecnología del biogás) y el termoquímico [23].

La biomasa se puede clasificar en cuatro categorías [24]:

- **Natural:** la que se produce en ecosistemas naturales (bosques, matorrales, hierbazales, entre otros)
- **Residual:** obtenida de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, como los estiércoles que son usados como materia prima para la producción del biogás.
- **Cultivos energéticos:** cultivos específicos dedicados exclusivamente a la producción de energía, caracterizados por una gran producción de materia viva por unidad de tiempo. Se pueden incluir cultivos tradicionales (cereales, caña de azúcar, semillas oleaginosas) y otros no convencionales.
- **Excedentes agrícolas:** Los excedentes agrícolas que no sean empleados en la alimentación humana pueden ser considerados utilizados biomasa con fines energéticos.

3.1. La digestión anaeróbica.

Una forma inmediata de aprovechar el recurso de la biomasa es a partir de la fermentación o digestión anaeróbica. La digestión anaeróbica es un proceso microbiológico complejo que se realiza en ausencia de oxígeno en el cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos. [25] Este material de fermentación está constituido por sustancias sólidas orgánicas, inorgánicas y agua. Su componente inorgánico no sufre modificación alguna durante el proceso de fermentación. [26] [27]

Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos en subproductos útiles. Los principales productos del proceso de digestión anaerobia, en sistemas de alta carga orgánica y en mezcla completa, son el biogás y un bioabono que consiste en un efluente estabilizado. [25]

En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico. [25]

La digestión anaerobia se puede llevar a cabo con uno o más residuos con las únicas premisas de que sean líquidos, contengan material fermentable, y tengan una composición y concentración relativamente estable. [25]

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas.

Los microorganismos que están presentes en el proceso se pueden clasificar principalmente en tres grandes grupos:

- **Bacterias acidogénicas o fermentativas:** Estas bacterias producen ácidos en la reducción de la materia orgánica. Se desarrollan bien en ambientes anaerobios y continúan el crecimiento mientras tengan materia orgánica disponible. Mientras crecen continúan produciendo ácido en el digestor. [28]

- **Bacterias acetogénicas.** Son productoras de H₂ y catalizan la oxidación de alcoholes y ácidos grasos obteniendo H₂, CO₂ y ácidos grasos que finalmente las metanógenas ocupan para producir metano. Es importante que estas bacterias se mantengan en medios completamente anaerobios, ya que la mínima cantidad de oxígeno las mataría.
- **Bacterias metanogénicas:** La característica que identifica a las metanógenas es su metabolismo productor de metano (CH₄). Las bacterias metanogénicas obtienen su energía mediante la producción metabólica de gas metano, utilizando sustratos como dióxido de carbono, acetato y sustratos de metilo a través de procesos de hidrólisis y acetogénesis y son esenciales en la degradación anaerobia de la materia orgánica en la naturaleza. [25] [29]

3.1.1. Etapas de la digestión anaeróbica

El proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica se clasifica cuatro fases o etapas según diferentes autores [25], [26], [30] [31], [32]:

- **Hidrólisis:**

La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga).

- **Acidogénesis:**

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H₂) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. La importancia de la presencia de este

grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema.

- **Acetogénesis:**

A continuación, los compuestos generados en la fase anterior (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato (CH_3COO^-) e hidrógeno (H_2), a través de las bacterias acetogénicas para que puedan ser metabolizados por los organismos metanogénicos. A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento de la biomasa y, como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente.

- **Metanogénica:**

En esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas actúa sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del grupo de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores.

Este es un periodo de digestión intensiva, de carácter de fermentación alcalina, en el cual hay una digestión de las materias resistentes, de las proteínas, de los aminoácidos, y de la celulosa; se caracteriza por la producción de sales de ácidos orgánicos y volúmenes de gas, en una mezcla donde hay un alto porcentaje de metano, y el resto corresponde a dióxido de carbono (CO_2) y nitrógeno. Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir del acetato.

En la figura 20 se muestra esquemáticamente las distintas fases del proceso de digestión anaeróbica, los microorganismos que intervienen en cada una de ellas y los productos intermedios generados.

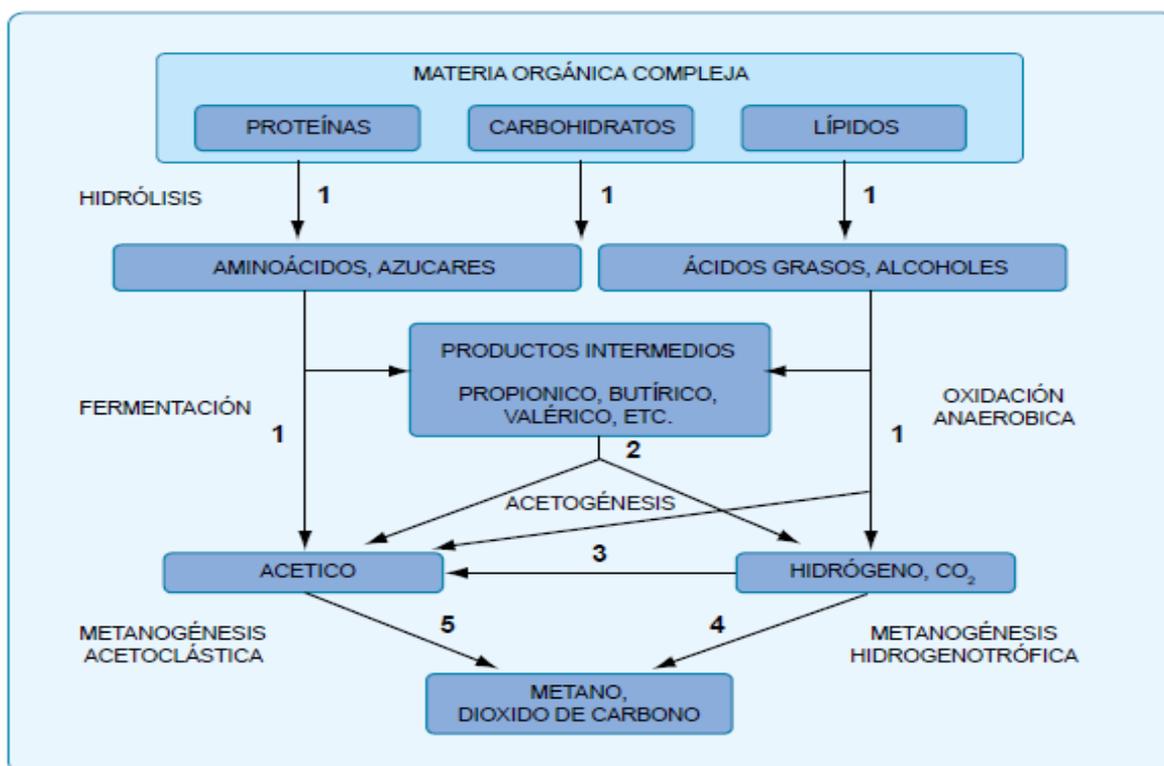


Figura 22. Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica. Fuente: Gobierno de Chile

3.1.2. Ventajas de la digestión anaeróbica.

El proceso de la digestión anaeróbica presenta muchas ventajas para el tratamiento de aguas residuales. A continuación, se describen las más importantes.

- El consumo de energía es muy bajo con el tratamiento anaerobio. El proceso no tiene que ser provisto oxígeno y no es necesario un mezclado intenso [33]
- Elevados porcentajes de eliminación de materia volátil (40-60%) [34]
- Se produce una disminución importante de la relación de alcalinidad. [35]
- Son sistemas que asimilan altas y bajas cargas orgánicas.[33]
- Existe la posibilidad de trabajar a tiempos de retención hidráulicos muy bajos, es decir, necesitan menores volúmenes de instalación, abaratando las inversiones.[33]
- El diseño y la construcción de un reactor anaerobio es simple, lo que reduce los costes.

- El proceso produce una reducción del 90% al 99% de los principales patógenos animales (estafilococos, salmonella, pseudo-monas), muy importante desde el punto de vista sanitario. [30]
- Baja generación total de sólidos biológicos. El producto final es inerte y rico en ciertos nutrientes y puede emplearse en agricultura como fertilizante [36]
- Eliminación de ácidos volátiles (AGV) y otros compuestos fácilmente biodegradables. [35]
- Obtención de biogás susceptible de aprovechamiento energético y económico formado principalmente por metano.
- Bajo consumo energético: la alta producción de biogás con elevado valor energético reduce significativamente los costes del tratamiento.[34]
- Reducción de la emisión de gases (metano principalmente) responsables del efecto invernadero [37]

Una forma eficiente de realizar este proceso es a través del uso de biodigestores. Los biodigestores son recintos o tanques cerrados diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de la digestión anaerobia. En su interior la materia orgánica (desechos agrícolas, estiércol o efluentes industriales) y el agua residual es descompuesta por la acción de bacterias presentes en los desechos tras un periodo de tiempo. De este proceso de descomposición se obtiene como resultado un abono orgánico libre de agentes patógenos y rico en compuestos químicos y gas metano, el cual es liberado durante la reacción. Una de las características más importantes de la biodigestión es que disminuye el potencial contaminante de los excrementos de origen animal y humano, disminuyendo la Demanda Química de Oxígeno DQO y la Demanda Biológica de Oxígeno DBO hasta en un 90 % dependiendo de las condiciones de diseño y operación. [38] [39] [40][27]

En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India y en 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Durante la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India que se transforman en líderes en la materia. Esta difusión se vio interrumpida por el auge y fácil acceso a los combustibles fósiles. [41]

Los factores que motivarán y regularán su futura expansión se encuentran centradas en dos aspectos críticos del futuro como son la energía y la contaminación. El aprovechamiento del biogás impulsa la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero como el metano (CH₄), cuyo potencial de calentamiento global es 23 veces mayor que el del dióxido de carbono (CO₂) [42]

Este tipo de tecnología se puede implementar con materiales económicos y se está introduciendo en comunidades rurales aisladas con el fin de ayudar a desarrollar estas zonas a la par que se intenta cumplir con los objetivos energéticos y medioambientales. [43]

Para que un digestor de residuos orgánicos opere de forma correcta, deberá ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire, el que interfiere con la digestión anaeróbica y a la vez, impedir las fugas del biogás producido. También debe estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, por lo que se suelen construir enterrados. Además, aunque no sea un sistema de alta presión el contenedor primario de gas debe tener una válvula de seguridad. [25]

3.2. Componentes de un biodigestor.

Un digestor anaerobio está formado principalmente por un reactor o contenedor de las materias primas a digerir; un contenedor de gas, con los accesorios para salida de biogás, entrada o carga de materias orgánicas primas y salida o descarga de materias orgánicas estabilizadas. [25]

Además, la selección de los materiales de construcción tiene una gran importancia debiendo cumplir con una serie de requisitos:

- Resistencia a los esfuerzos de origen mecánico y térmico.

- Resistencia al ataque químico.
- Posibilidad de ser moldeado y/o construido localmente.
- Disponibilidad local.
- Compatibilidad ambiental.

Las características físicas de los materiales son fácilmente calculables, sin embargo, los aspectos de disponibilidad y de posibilidad de operar con ellos varían según el país o región. Por lo que se debe realizar un análisis particular para cada caso, ya que la construcción y reparación deberá ser realizada por gente de la zona en la que se encuentre instalado. [30]

3.2.1. Biodigestor (reactor o fermentador)

El reactor corresponde al elemento principal del sistema donde ocurre el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica. Estos pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular, aunque la mayor parte de los tanques que se construyen en la actualidad son cilíndricos. El suelo del reactor está inclinado, para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del afluente puedan ser extraídos del tanque. Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido. [25] Los digestores se pueden construir enterrados o sobre el suelo, utilizando diferentes materiales de construcción, normalmente se construyen en hormigón o mampostería de ladrillo, fibra de vidrio, acero inoxidable o HDPE (Poliétileno de alta densidad). [43]

3.2.2. Entrada del afluente y salida del efluente.

El efluente es un lodo bastante fluido que se constituye a partir de la fracción orgánica que no alcanza a fermentarse. Su composición química, el contenido de materia orgánica y otras propiedades, dependen de las características de la materia prima utilizada y de factores ambientales. [43]

Habitualmente el afluente se introduce por la parte superior del digestor y el sobrenadante se extrae por el lado contrario. En un digestor de cubierta fija puede haber de 3 a 5 tubos de sobrenadante colocados a distintos niveles, o un único tubo con válvulas a distintos

niveles. Por regla general, se elige el nivel que extraiga un efluente de mejor calidad, es decir con la menor cantidad posible de sólidos. [25]

3.2.3. Extracción de lodos.

Para la extracción de lodos se utilizan tuberías que son colocadas encima de bloques a lo largo del suelo del digestor. Dichas tuberías suelen tener unos 15 cm de diámetro y con ellas se traslada periódicamente el lodo del digestor a un sistema de evacuación de lodos. Este lodo se extrae por el centro del reactor. [25]

3.2.4. Almacenamiento del biogás.

La forma más simple de almacenar el gas es a baja presión tal cual se obtiene, para ello se utilizan generalmente gasómetros. Es habitual que la parte superior del digestor, conocida como cúpula o campana de gas, se utilice para almacenar el biogás que se genera. Esta cúpula de almacenamiento puede ser metálica, de madera recubierta de plástico o de ferrocemento. En algunos casos puede estar separada del reactor.

Los digestores totalmente cerrados almacenan el gas a presión constante y presión variable, su capacidad es reducida y son muy poco usados. Por otro lado, están los digestores con campana gasométrica que puede flotar sobre el líquido en fermentación o estar separado del digestor flotando sobre agua formando un sello hidráulico y a volumen variable, este sistema es usado en los reactores tipo hindú. El tercer tipo tiene una cúpula fija y una cámara de hidro presión que permite el desplazamiento del sustrato en fermentación a medida que se acumula el gas, este sistema es muy empleado en los digestores de tipo chino; en este caso el gas se almacena a volumen y a presión variables. Por último, se encuentran los almacenadores de gas del tipo gasómetro plástico inflable. Este contenedor plástico puede cubrir el digestor en su parte superior como una campana o estar separado, almacenando a presión constante y volumen variable. En este tipo también se puede variar la presión de la misma forma que en el de campana gasométrica. [25], [30], [43]

3.2.5. Almacenamiento del efluente.

El dimensionamiento y diseño de la cámara de descarga dependerá fundamentalmente del uso que se le dé al efluente. Como mínimo deberá tener un volumen 2 a 3 veces superior al de descarga diario. [30]

3.2.6. Otros componentes

Existen otros elementos que también suelen estar presentes en un biodigestor y cuya finalidad es el control y la protección del proceso. Estos elementos son los siguientes: [25]

- Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.
- Apagallamas.
- Válvulas térmicas.
- Separadores de sedimentos.
- Purgadores de condensado.
- Medidores de gas
- Manómetros.
- Reguladores de presión.

3.3. Diseño de los biodigestores.

El diseño de un biodigestor puede depender de diferentes parámetros:

3.3.1. Régimen de carga: régimen continuo o discontinuo.

- **Régimen continuo.**

Los de régimen continuo se caracterizan porque el sustrato circula continuamente en un sistema abierto. Los reactores que trabajan en régimen continuo albergan patrones de flujo que se sitúan entre los extremos ideales de mezcla completa y flujo de pistón. Son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas negras. Corresponde a plantas de gran capacidad, tipo industrial, en las que se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación. Dado que se genera una gran cantidad de biogás, habitualmente, éste se aprovecha en aplicaciones industriales. Cada

seis o doce meses es aconsejable descargar totalmente el biodigestor continuo, para una adecuada mantención. [25], [32].

- **Régimen semi continuo.**

La primera carga que se introduce al digestor consta de una gran cantidad de materias primas, posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas (afluente), calculados en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó. Este proceso es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. [25]

- **Régimen discontinuo.**

En este tipo el sustrato se añade en un momento puntual lo que produce que la degradación de la materia varíe con el tiempo de retención. Por lo que los requisitos de crecimiento de los microorganismos también variarán con cada carga. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacía el reactor por completo y se alimenta de nuevo iniciando así un nuevo proceso de fermentación. Esto se conoce también como digestores Batch. En un reactor de régimen discontinuo, al ser éste alimentado por tandas, el flujo global del efluente será nulo. [32]

3.3.2. Forma del crecimiento de los microorganismos en el interior del reactor.

Según los estudios se pueden considerar tres formas principales. [32]

- Crecimiento suspendido (Sin retención interior de biomasa).

El crecimiento de los microorganismos se produce en suspensión en el líquido. En este caso no se dispone de ningún dispositivo en el que las bacterias puedan retenerse dentro del reactor. La principal desventaja de este sistema es que se hace más lenta la repoblación del material que entra al digestor ya que las colonias microbianas son retiradas con el efluente cada vez. Los reactores de mezcla completa (RMC), de flujo pistón o el de Batch son ejemplos de este tipo.

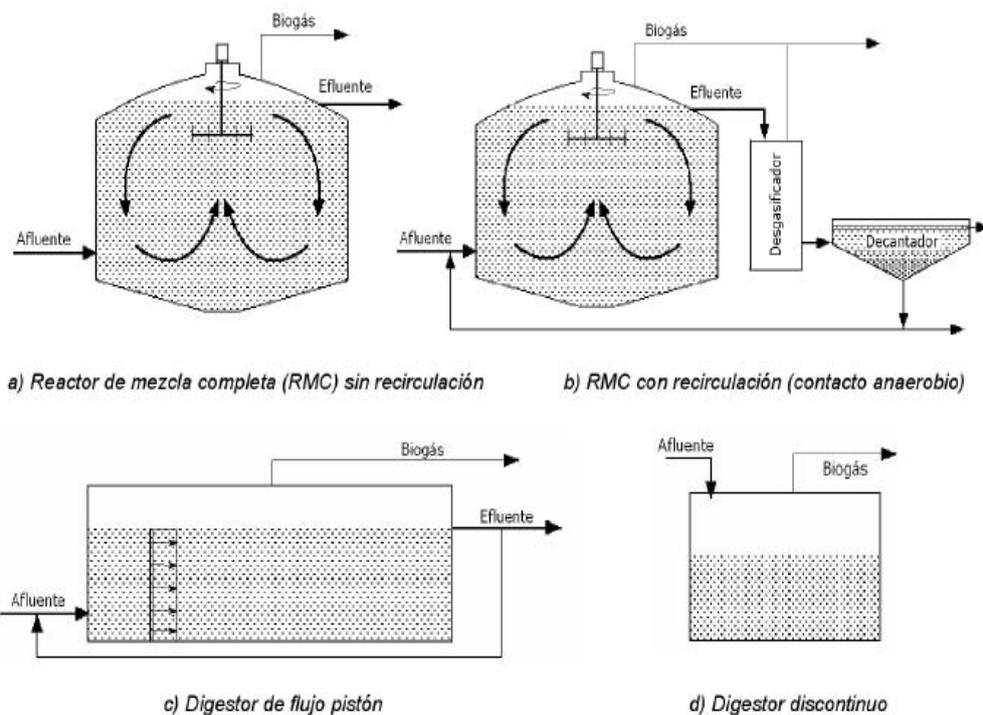


Figura 23. Esquema de reactores sin retención interior de biomasa. Fuente: IDAE, 2007.

- Crecimiento adherido (Retención interior de biomasa).

En este sistema sí se dispone de dispositivos internos en los que retener a las bacterias dentro del reactor. Si se consigue retener bacterias en el interior del reactor, es posible reducir el tiempo de retención. Los métodos de retención de biomasa son básicamente dos:

inmovilización sobre un soporte (filtros anaerobios y lechos fluidizados); agregación o floculación de biomasa y su retención por gravedad (reactores de lechos de lodos).

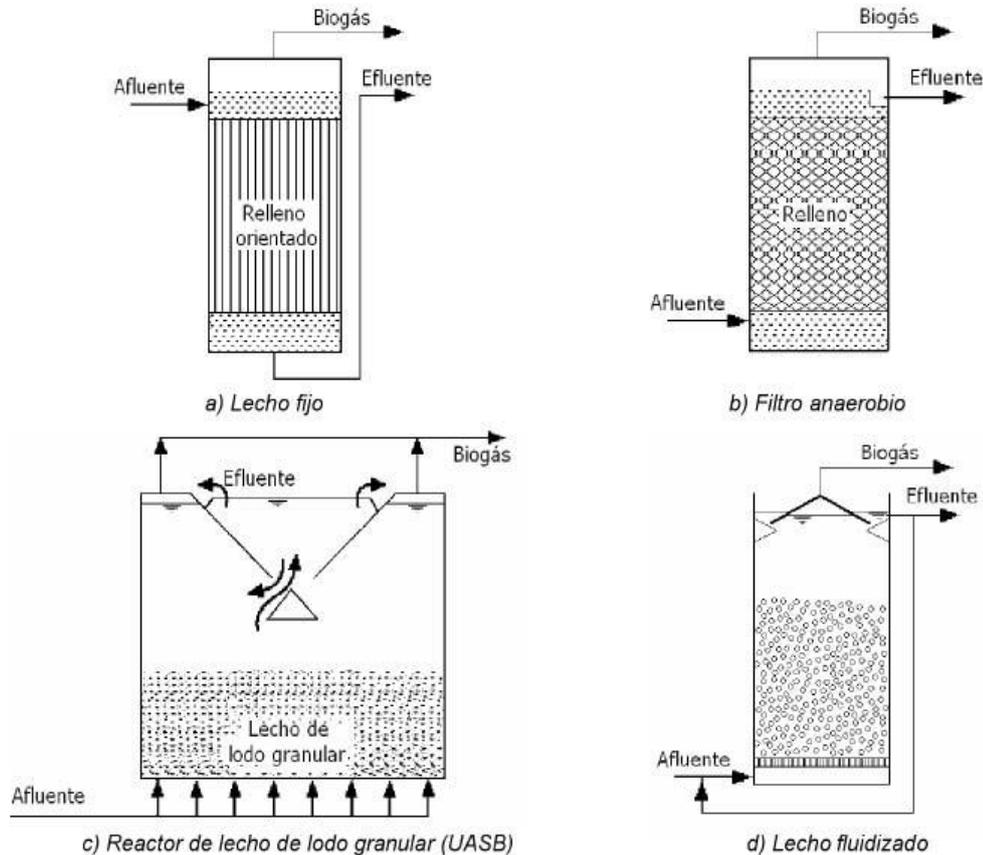


Figura 24. Esquema de reactores con retención interior de biomasa. Fuente: IDAE, 2007

- Sistemas híbridos.

En estos sistemas se combina los dos métodos anteriormente descritos. En una parte del reactor se dispone de elementos de soporte para la retención y crecimiento de los microorganismos en película y en otra parte del reactor se presenta crecimiento en suspensión.

3.3.3. Velocidad del sistema: baja velocidad y alta velocidad.

- Biorreactores de baja velocidad.

Los reactores anaeróbicos de baja velocidad no se encuentran mezclados. Condiciones tales como la temperatura, el TRS y otras no están controladas. La tasa de carga orgánica es baja en el rango de 1-2 kg DQO/m³ día. Esta configuración no es adecuada para la producción de bioenergía. Sin embargo, algunos tanques y lagunas anaeróbicas son cubiertos y se mezclan para favorecer la producción de biogás y su posterior recuperación. [25]

- Biorreactores de alta velocidad.

Los digestores anaeróbicos de alta velocidad consisten esencialmente de un reactor continuo con agitación, que opera bajo condiciones mesofílicas o termofílicas. Los sistemas anaeróbicos de alta velocidad mantienen un alto nivel de biomasa en el biorreactor. Las condiciones ambientales se mantienen de manera de optimizar el funcionamiento del biorreactor. Las tasas de carga orgánica varían de 5 a 30 kg DQO/ m³ día o incluso superiores. Los reactores anaeróbicos de alta velocidad son más apropiados para la producción de bioenergía. [25]

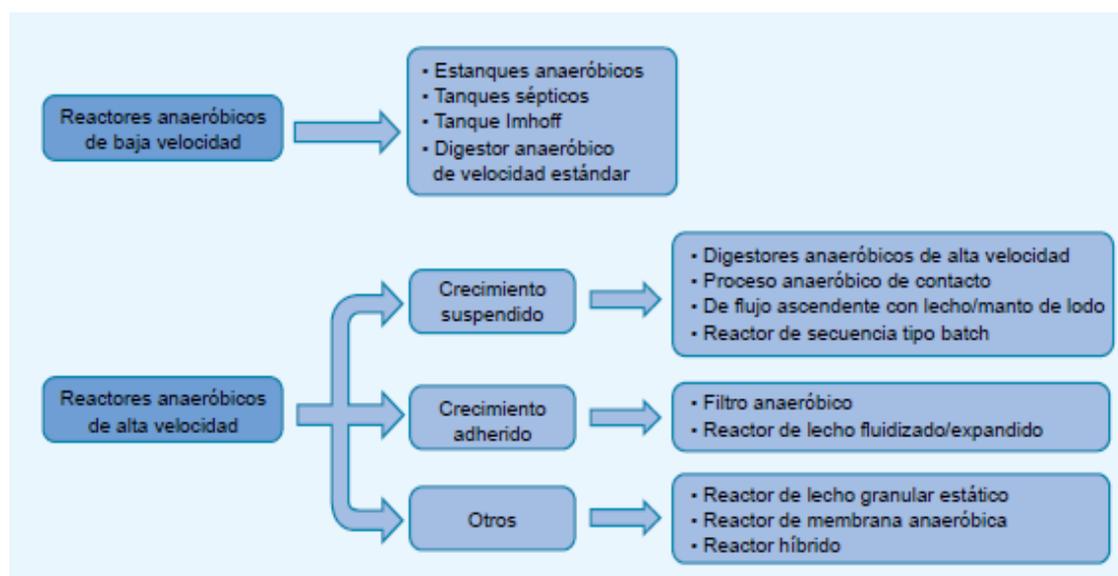


Figura 25. Clasificación de los biorreactores según su velocidad de trabajo. Fuente: Varnero, 2011.

3.4. Tipos de biorreactores.

Los principales modelos de biorreactores usados para el proceso de la digestión anaerobia son los siguientes:

3.4.1. Digestor de mezcla completa.

Se trata del tipo de reactor más simple y puede ser de mezcla completa sin recirculación o con recirculación.

- **Digestor de mezcla completa sin recirculación.**

Consiste en un reactor en el que se mantiene una distribución uniforme de concentraciones, tanto de sustrato como de microorganismos. Esto se consigue mediante un sistema de agitación. Ésta puede ser mecánica (agitador de hélice o palas, de eje vertical u horizontal) o neumática (recirculación de biogás a presión), y se realiza a baja velocidad. Esta tipología de reactor no ofrece problemas de diseño y es el más utilizado para residuos. Este tipo fue desarrollado para la estabilización de lodos de aguas residuales urbanas y sucesivamente aplicados para tratar suspensiones más o menos concentradas como estiércoles y otros vertidos agrícolas o agroindustriales.

El tiempo de retención necesario es alto (aproximadamente 10 días), debido a que la concentración de cualquier especie, que se mantiene en el reactor en régimen estacionario, es la misma que la que se pretende en el efluente. La mayoría de los digestores instalados en las granjas europeas son de este tipo. Normalmente están contruidos en hormigón armado o acero. [25], [32], [44], [45]

- **Digestor de mezcla completa con recirculación.**

Este tipo de reactor se puede denominar también reactor anaeróbico de contacto, equivalente al sistema de lodos activados aerobios para el tratamiento de aguas residuales. Al regular la recirculación es posible conseguir tiempos de retención hidráulica más bajos que en un reactor de mezcla completa sin recirculación. Esto es a costa de aumentar el tiempo de retención de los microorganismos, gracias a su confinamiento en el sistema

mediante la separación en el decantador y recirculación. Este sistema sólo es aplicable a aguas residuales de alta carga orgánica (aguas residuales de azucareras, cerveceras, etc.), para las que sea posible una separación de fases líquido-sólido, con la fracción con la fracción sólida consistente básicamente en flóculos biológicos. Antes del decantador se debe disponer de un sistema de desgasificación, sin el cual la decantación se puede ver impedida. [25], [44], [45]

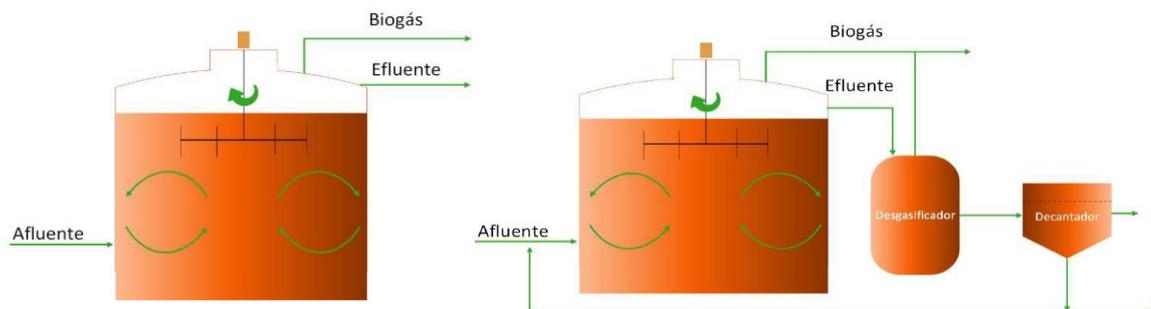


Figura 26. Esquema RMC sin recirculación / Esquema RMC con recirculación. Fuente Moraga, 2017.

3.4.2. Digestor horizontal o de flujo pistón.

Son reactores aptos para sustratos de mayor viscosidad y concentración de sólidos (sobre 11%), ideales para tratamiento de estiércol o en procesos de codigestión. Si el estiércol recolectado es muy seco, se puede añadir agua o suero de queso u otro líquido orgánico. Los modelos más extendidos corresponden a reactores rectangulares, con volúmenes de hasta 1500 m³. [45]

Este tipo de reactor tiene mejor rendimiento respecto al de mezcla completa, mejor comportamiento a altas cargas. Además, tiene una buena adaptación a grandes instalaciones y el rendimiento de los procesos de nitrificación es alto. [32]

En un digestor flujo pistón los residuos pasan a través del digestor de forma secuencial, desde la entrada hasta la salida. Corresponde a tanques rectangulares calefaccionados, sin mezcla y funcionan desplazando la materia digerida con materia fresca. La materia fresca es bombeada, eliminando así la misma cantidad de materia digerida hacia el exterior del digestor. [46]

Generalmente se construyen enterrados, poco profundos y alargados, semejantes a un canal o túnel cubiertos con películas de plástico que sirven como depósito de biogás y como aislamiento térmico. Uno de los problemas que presenta este tipo de reactor es que forman costras y espumas que perjudican a la degradación de los sólidos en suspensión y al desprendimiento del biogás. [32]

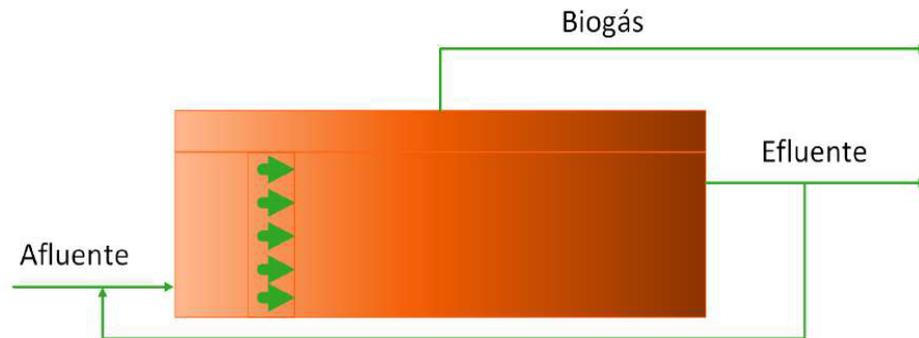


Figura 27. Esquema reactor flujo pistón. Fuente: Moraga, 2017.

3.4.3. Digestor en cascada.

El rendimiento de este tipo de reactor es similar al de flujo pistón, además tiene una buena adaptabilidad a la eliminación de compuestos de nitrógeno y fósforo. Son fáciles de construir.

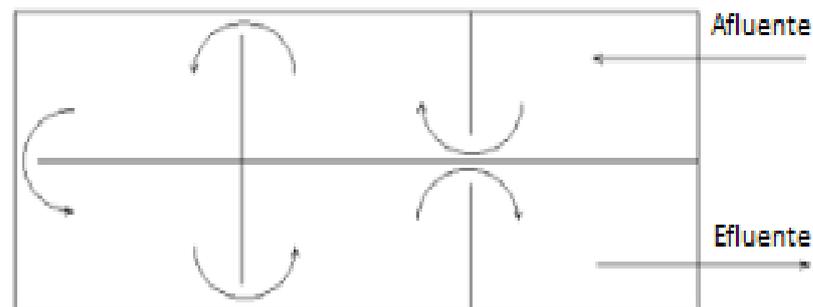


Figura 28. Esquema biodigestor en cascada. Fuente: Mendieta, 2015.

3.4.4. Digestor de alimentación escalonada.

Este tipo de reactor presenta un consumo mayor de oxígeno en comparación con el de flujo pistón. Además, presenta una buena estabilidad a las perturbaciones fuertes.

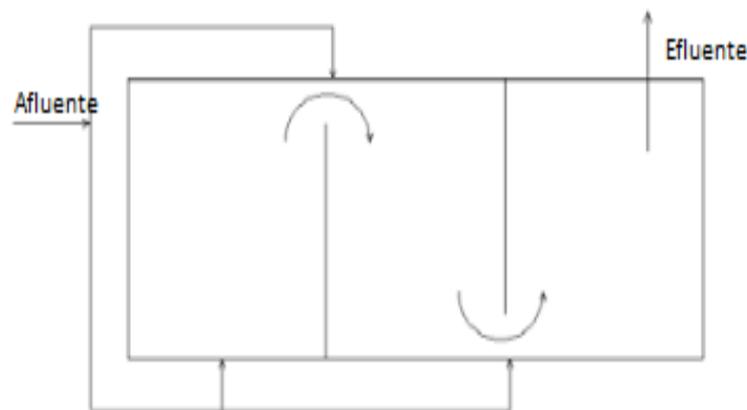


Figura 29. Esquema digestor de alimentación escalonada. Fuente: Mendieta, 2015.

3.4.5. Digestor discontinuo.

Un reactor discontinuo, también denominado Batch, es alimentado una vez y la biotransformación ocurre hasta que se complete el proceso de digestión antes de que se agregue o remueva materia. Estos sistemas son más simples y requieren menos equipos que los sistemas continuos. Los procesos Batch se utilizan cuando los tiempos de reacción son más extensos y los sólidos que no han sido diluidos pueden ser tratados en estos digestores.

En general, estos procesos requieren mayor trabajo de operación para alimentar o descargar que los procesos continuos. No son adecuados para operaciones a gran escala, donde se produce continuamente residuo.

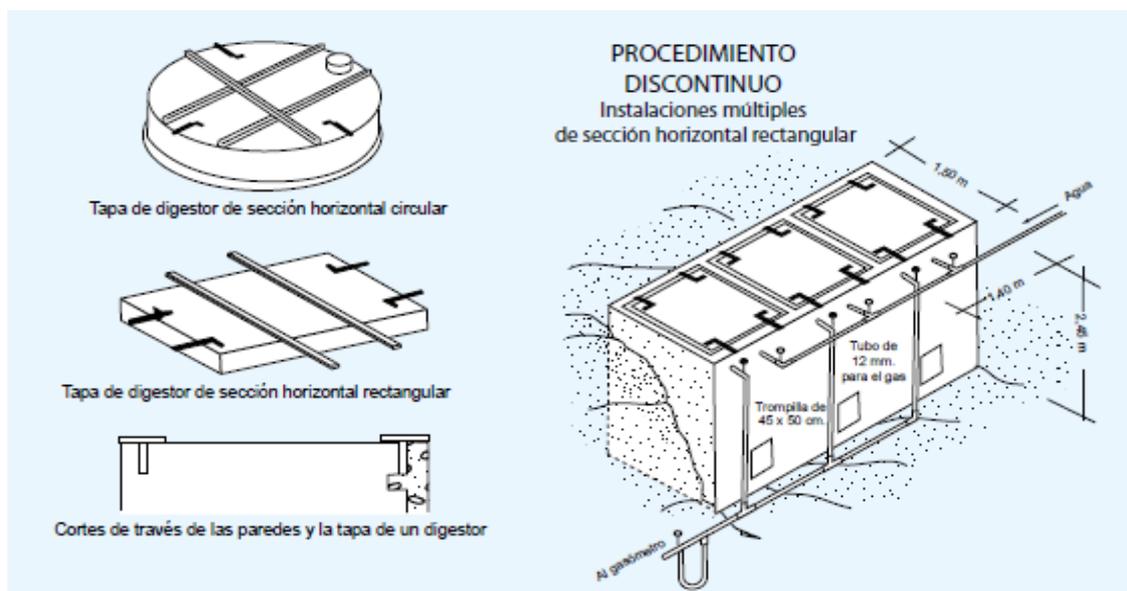


Figura 30. Esquema biodigestor discontinuo o Batch

3.4.6. Otros sistemas.

Los reactores anteriores pueden ser combinados para conseguir sistemas más eficientes, según el tipo de residuo a tratar.

- **Sistemas de dos etapas.**

Estos sistemas consisten en un primer reactor con elevado tiempo de retención (discontinuo), en el que se favorece la hidrólisis, seguido de un reactor de bajo tiempo de retención que digiere la materia orgánica disuelta y los ácidos producidos en la primera etapa.

Este sistema permite mantener fácilmente la temperatura en el reactor discontinuo, controlando la temperatura del efluente del segundo reactor. Ha sido aplicado con éxito para tratar residuos sólidos cuya etapa limitante es la hidrólisis: frutas, verduras, residuos sólidos urbanos, de ganado vacuno, etc.

- **Sistemas de dos fases.**

A diferencia de los sistemas de dos etapas, la separación de fases mantiene dos reactores en serie, en los cuales se llevan a cabo las fases de acidogénesis y metanogénesis, respectivamente, y su objetivo es conseguir un tiempo de retención global inferior al correspondiente a un único reactor de mezcla completa. Este tipo de sistema ha sido aplicado con éxito a la digestión de residuos con alta concentración de azúcares y bajo contenido en sólidos. Sin embargo, es poco eficiente para residuos con fibras y, en general, sustratos complejos cuyo limitante es la hidrólisis.

3.4.7. Principales digestores en el medio rural.

Hay que tener en cuenta que no todos los tipos de biorreactores son adecuados para instalaciones en el medio rural. A continuación, se muestran cuáles son los más usados para este fin.

3.4.7.1. *Modelo chino.*

Es un digestor semicontinuo, de campana fija. Los digestores de este tipo son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados.

Al iniciar el proceso, el digestor se llena con residuos agrícolas compostados mezclados con lodos activos, a través de la cubierta superior. Una vez cargado es alimentado diariamente con los residuos que se encuentren disponibles a través del tubo de carga que llega a la parte media del digestor.

La característica de este modelo es que trabaja a presión variable, ya que en este tipo no existe gasómetro, sino que el biogás se almacena en la campana o domo del digestor a medida que se genera, lo que provoca un aumento de la presión, de esta manera el material de fermentación es desplazado hacia el tanque de compensación. Como consecuencia de la variación de presión, la que aumenta al generarse el gas y disminuye al consumirse éste, se reduce la eficiencia en los equipos consumidores.

Se generan entre 0.15 y 0.20 volúmenes de gas por volumen de digestor/día. Periódicamente se extrae una parte del líquido en fermentación a través del tubo de salida, mediante una cubeta y una o dos veces al año el digestor se vacía completamente aplicando el residuo (sólido) a los campos de cultivo.

A pesar de que el digestor chino es poco eficiente para generar biogás, es excelente en la producción de bioabono, ya que los tiempos de retención son en general largos y además se tiene gran cantidad de este material cuando se necesita para mezclar con el suelo antes de la siembra. Los tiempos de retención de operación para los biodigestores tipo chino son de 30 a 60 días. [25], [43], [47].

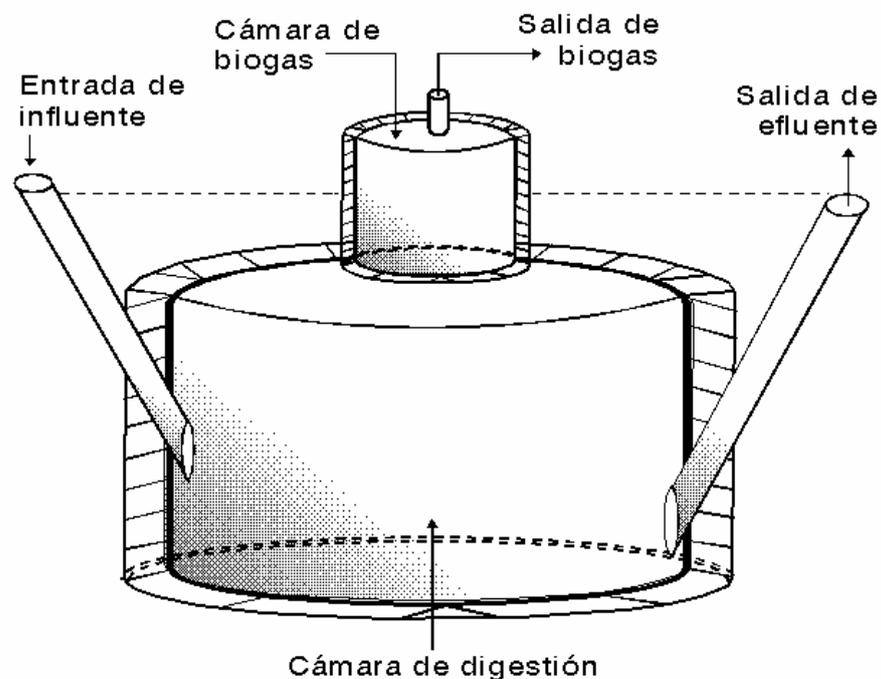


Figura 31. Biodigestor tipo chino. Fuente: López Pérez, 2003

3.4.7.2. Modelo Hindú.

Estos digestores en general son enterrados y verticales. Se cargan por gravedad por lo general una vez al día o cada dos o tres días, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación. El vaciado completo sólo se realiza en el caso de requerir alguna reparación o limpieza.

Tiene una cámara de digestión de forma cilíndrica sobre la que flota la campana gasométrica generalmente construida en hierro. El gas gracias al gasómetro flotante se almacena a presión constante y volumen variable. Esta presión de salida puede ser incrementada con la adición de contrapesos. La salida del efluente se efectúa por rebalse.

En este caso, los materiales usados son preferentemente excretas, las que deben estar bien diluidas y mezcladas homogéneamente. Este tipo de digester presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0,5 y 1,0 volumen de gas por volumen de digester por día.

Este digester demanda un mayor gasto de materiales y la campana gasométrica es generalmente lo más caro del equipo. Su funcionamiento es muy sencillo y no presenta serios inconvenientes en el área rural. [25], [30]

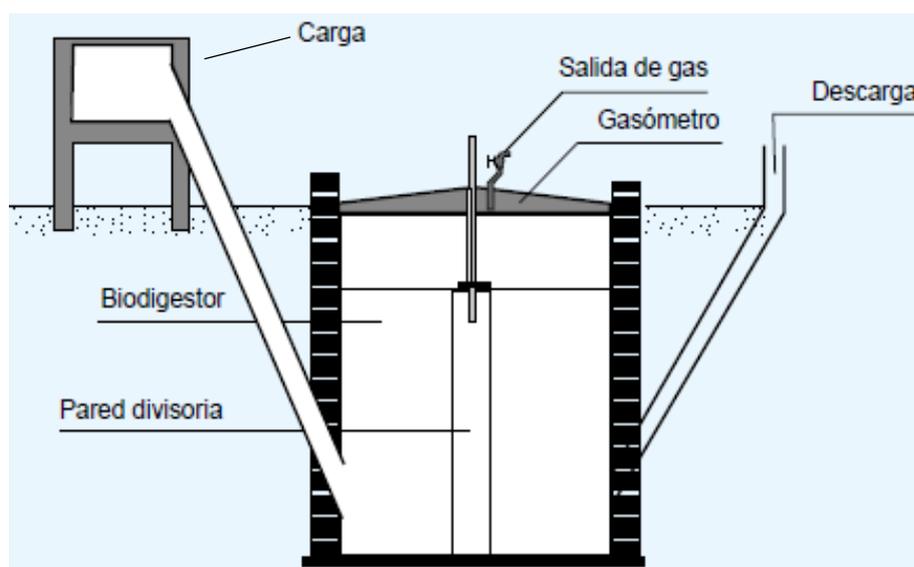


Figura 32. Digestor tipo hindú. Fuente: Varnero, 2011

3.4.7.3. Biodigestor de Polietileno.

Se compone de una bolsa tubular con una relación longitud-ancho de aproximadamente 5:1, en material plástico (polietileno, PVC, poliéster de alta densidad) y tuberías del mismo material [48] [49]. Se pueden fabricar ajustándose a las necesidades de cada productor agrícola, ya que su capacidad puede ir desde 2 a 120 metros cúbicos de capacidad, y

cuentan con una vida útil de 8-10 años. [50] La laguna anaeróbica cubierta con polietileno de alta densidad es una tecnología desarrollada por el Centro de Tecnología de Biogás de Hanoi (Vietnam). [49]

Este reactor consiste en una bolsa de plástico sellado herméticamente, donde el gas se almacena en la parte superior ocupando aproximadamente un 25 % del volumen total. Esta provisto de tuberías sujetas a las paredes de la bolsa para la carga y descarga del sustrato. Cuando el biogás ocupa todo el volumen del digester, éste funciona como uno de campana fija. Presenta la desventaja de tener baja presión y al ser de plástico es susceptible a las roturas.

Las principales ventajas de este tipo de biodigestor, comparado con otros diseños y materiales, son su bajo costo, su facilidad de construcción, instalación y manejo, y su mínimo mantenimiento. [43], [47], [51]



Figura 33. Esquema biodigestor de plástico. Fuente: PuentesDigitales, 2018

3.5. Parámetros ambientales y operacionales

Son diversos los factores que hay que tener en cuenta en el funcionamiento de los biodigestores y de los cuales puede depender el rendimiento de éstos. Estos parámetros ambientales pueden ser físicos, químicos y biológicos. Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta se desarrollarán los siguientes: el tipo de sustrato (nutrientes disponibles); la temperatura del sustrato; la carga volumétrica; el tiempo de retención hidráulico; el nivel de acidez (pH); la relación Carbono/Nitrógeno; la concentración del sustrato; el agregado de inoculantes; el grado de mezclado; y la presencia de compuestos [25], [30], [31]

3.5.1. Temperatura

La temperatura de operación de un biodigestor es considerada uno de los principales parámetros para tener en cuenta en el diseño de éste. Los procesos anaeróbicos son muy dependientes de la temperatura debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica. A medida que aumenta la velocidad de crecimiento de microorganismos se acelera el proceso de digestión produciendo más biogás. [26] [52]

Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden perjudicar el proceso. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura.

Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos. el rango de temperatura y el periodo de retención dentro del biodigestor clasifican la fermentación de la siguiente manera: [53]

Tabla 5. Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaeróbica. Fuente: Alcayaga et al., 1999

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psycrophilica	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Hasta el momento, el rango **psicrofílico** ha sido poco estudiado y, en general, se plantea como poco viable debido a que se necesita un reactor de grandes dimensiones. No obstante, presenta menores problemas de estabilidad que en los otros rangos de temperatura de operación.

El régimen **mesofílico** de operación es el más utilizado, a pesar de que en la actualidad se está implementando cada vez más el rango **termofílico**, para conseguir una mayor velocidad del proceso, lo que implica un aumento en la eliminación de organismos patógenos.

Sin embargo, el régimen termofílico suele ser más inestable a cualquier cambio de las condiciones de operación y presenta mayores problemas de inhibición del proceso por la mayor toxicidad de determinados compuestos a elevadas temperaturas, como el nitrógeno amoniacal o los ácidos grasos de cadena larga.

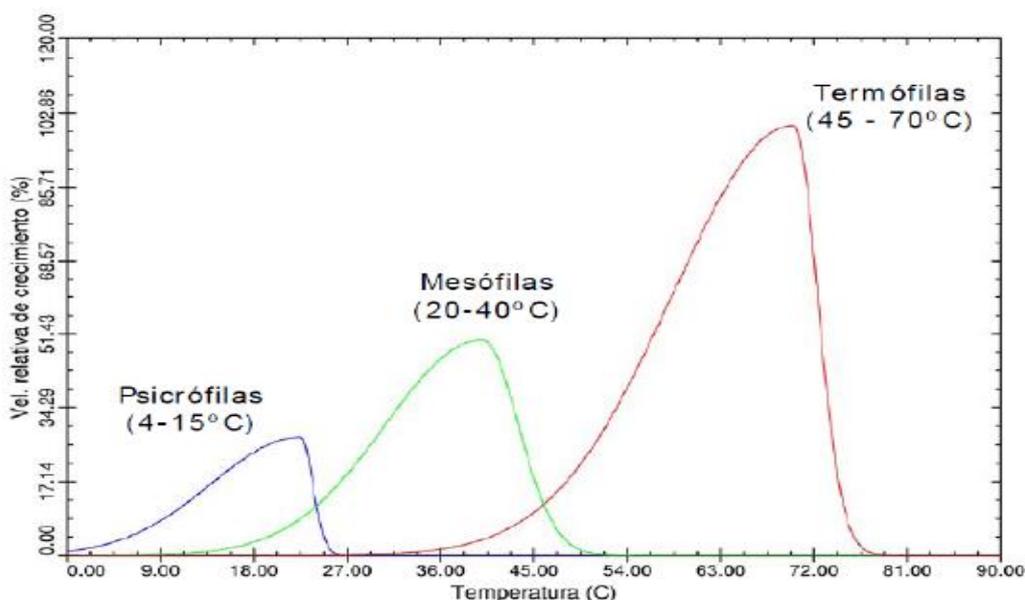


Figura 34. Dependencia de la constante de crecimiento de la temperatura. Fuente: Mendieta, 2015

De forma general, la actividad biológica se duplica cada incremento en 10°C dentro del rango de temperatura óptima. Para un óptimo funcionamiento del digester, se recomienda que el tratamiento anaeróbico se diseñe para que opere con variaciones de temperatura que no excedan los 0.6 – 1.2 °C /día.

Una técnica interesante es la combinación de dos fases de digestión, una primera termofílica de elevada carga orgánica y una segunda mesofílica con menor carga. Con este sistema se aprovechan las ventajas del sistema termofílico, pero se reducen los problemas de inestabilidad. [25], [32], [26], [30].

La temperatura está profundamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digester para completar su degradación (Tiempo de Retención Hidráulica, TRH). A medida que se aumenta la temperatura disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa. [30]

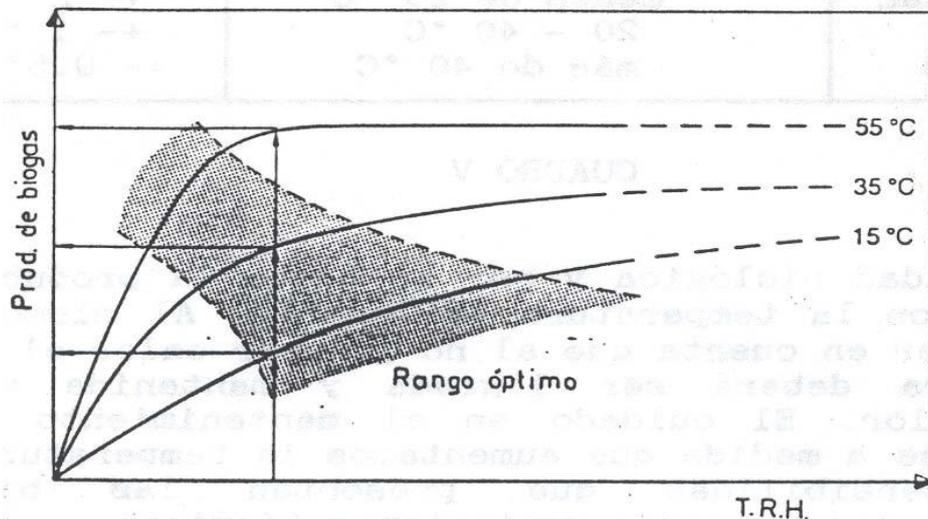


Figura 35. Relación TRH -producción de biogás. Fuente: Hillbert, 2003

3.5.2. Relación C/N de la materia prima.

Las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas son el carbono y el nitrógeno. El carbono es utilizado como fuente de energía y el nitrógeno para la creación de nuevas células. De esta forma se establece una relación entre ambos componentes (C/N) influyente sobre la producción de biogás. [53]

Se ha establecido que las bacterias consumen 30 veces más de carbono que nitrógeno, por lo que se considera como relación óptima de estos elementos un rango de 30:1 hasta 20:1.

Es decir 30 unidades de carbono por 1 de nitrógeno, aunque el valor ideal es de 16:1. [27][53]

Por lo tanto, cuando no se tiene un residuo con una relación C/N inicial apropiada, es necesario realizar mezclas de materias en las proporciones adecuadas para obtener la relación C/N óptimas.

Sobre la base del contenido de carbono y de nitrógeno de cada una de las materias primas puede calcularse la relación C/N de la mezcla aplicando la siguiente fórmula (1): [26]

$$K = \frac{C1 * Q1 + C2 * Q2 + \dots Cn * Qn}{N1 * Q1 + N2 * Q2 + \dots Nn * Qn} \quad (1)$$

$K = C/N$ de la mezcla de materias primas.

$C = \%$ de carbono orgánico contenido en cada materia prima.

$N = \%$ de nitrógeno orgánico contenido en cada materia prima.

$Q =$ Peso fresco de cada materia, expresado en kilos o toneladas

En la tabla 6 se pueden observar valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos disponibles en el medio rural. [52]

Tabla 6. Relaciones C/N de varios productos residuales. Fuente: Varnero y Arrellano, 1990

Materiales	% C	% N	C/N
Residuos animales			
Bovinos	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Porcinos	25	1.50	16:1
Caprinos	40	1.00	40:1
Conejos	35	1.50	23:1
Gallinas	35	1.50	23:1
Patos	38	0.80	47:1
pavos	35	0.70	50:1
Excretas humanas	2.5	0.85	3:1
Residuos vegetales			
Paja trigo	46	0.53	87:1
Paja cebada	58	0.64	90:1
Paja arroz	42	0.63	67:1
Paja avena	29	0.53	55:1
Rastrojos maíz	40	0.75	53:1
Leguminosas	38	1.50	28:1
Hortalizas	30	1.80	17:1
Tubérculos	30	1.50	20:1
Hojas secas	41	1.00	41:1
Aserrín	44	0.06	730:1

3.5.3. Relación DBO y DQO.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de un líquido, se define como la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias, hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se expresa en mg O₂/l. [54]

Este valor es de gran importancia ya que se relaciona con la cantidad de energía oxidable en el sustrato el cual es microbiológicamente usable por las células para sus requerimientos de energía y su posterior síntesis. [34]

Por otro lado, la demanda química de oxígeno, DQO, se refiere a la cantidad de oxígeno que se quiere para oxidar completamente por medios químicos los compuestos orgánicos a CO₂ y H₂O. En las pruebas de DQO se acelera artificialmente el proceso de biodegradación que hacen los microorganismos utilizando oxidantes químicos y métodos debidamente estandarizados. esta prueba es una indicación de la cantidad de nutrientes fácilmente degradables presentes en una muestra. También se expresa en mg O₂/l. [55]

La diferencia más notable es que la DBO representa la cantidad de materia orgánica biodegradable, mientras que la DQO representa ambas, tanto la materia biodegradable como la no biodegradable

La relación DBO/DQO es utilizada para estimar la biodegradabilidad de las aguas residuales. La determinación de la DBO y la DQO permite establecer la relación existente de contaminantes y según el resultado, conocer la posibilidad o no de efectuar algún tratamiento para las aguas residuales. [34] [56]

3.5.4. Tipo de materia prima y composición química.

Las materias primas que se pueden utilizar para el proceso de la digestión anaeróbica pueden ser residuos orgánicos de origen vegetal (restos de cosechas), animal, agroindustrial, forestal, domestico, aguas residuales orgánicas, excrementos animales y humanos, efluentes de determinadas industrias químicas. En la tabla 5 se muestra una colección de diferentes tipos de residuos de diversos orígenes. [25]

Tabla 7. Residuos orgánicos de diversos orígenes. Fuente: Manual del biogás

Residuos de origen animal	estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros), residuos de pescados.
Residuos de origen vegetal	malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado.
Residuos de origen humano	heces, basura, orina.
Residuos agroindustriales	salvado de arroz, orujos, cosetas, melazas, residuos de semillas.
Residuos forestales	hojas, vástagos, ramas y cortezas.
Residuos de cultivos acuáticos	algas marinas, jacintos y malezas acuáticas.

Las características bioquímicas que presenten estos residuos deben permitir el desarrollo y la actividad microbiana del sistema anaeróbico. Además de carbono y nitrógeno el proceso microbiológico también necesita que estén presentes una mezcla de sales minerales en equilibrio (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). En la tabla 6 se muestran los valores mínimos necesarios de los principales nutrientes y sales para que el proceso se efectúe correctamente. [25], [32] [35]

Tabla 8. Rango de concentración de nutrientes. Fuente: Mendieta, 2015

NUTRIENTE	g/kg SSV	g/kg DQO
Nitrógeno	80 – 120	55 – 85
Fósforo	10 – 25	7 – 18
Azufre	10 – 25	7 – 18
Hierro	5 – 15	4 – 11

Las sustancias orgánicas que provienen de estiércoles y lodos cloacales suelen presentar estos elementos en las proporciones adecuadas.

Estas materias primas albergan un contenido de agua que pueden variar entre un 10 y un 90 % del peso fresco del residuo. Esto depende de la edad y órgano del residuo, así como de las diferentes formas de obtención. Los componentes orgánicos de estos residuos representan aproximadamente el 50 % del peso fresco, dependiendo del contenido de agua y de las cenizas.

Los principales grupos que se distinguen son:

- Carbohidratos. Representan el 50% del total de la materia orgánica seca
- Nitrogenados. Representan el 20%
- Lignina. Su porcentaje puede estar entre un 10 y un 40%
- Minerales (Calcio, potasio, fosforo, azufre...). Representan entre el 1 y 10 % del peso seco

La materia orgánica seca presenta la siguiente composición promedio: 48% C; 44% O; 7% H; 2% N.

Tabla 9. Composición química de diversos residuos de origen animal y vegetal (valores promedios, base seca). Fuente: Varnero y Arellano, 1991

Materia Prima	Lípidos (%)	Proteínas (%)	Celulosa Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Ceniza (%)
Paja de trigo	1,10	2,10	65,45	21,60	3,53
Paja de centeno	9,62	5,42	59,95	12,70	12,31
Paja de arroz	2,35	12,26	30,51	10,61	12,55
Poroto verde	3,80	11,04	39,61	13,84	9,14
Pasto verde	8,05	4,94	57,22	9,80	19,99
Alfalfa	10,41	12,81	36,79	8,95	10,30
Hojas secas	4,01	3,47	32,78	29,66	4,68
Caña maíz		4,50	35,40	10,30	6,50
Bovino	3,23	9,05	32,49	35,57	19,66
Porcino	11,50	10,95	32,39	21,49	23,67
Aves	2,84	9,56	50,55	19,82	17,23
Equino	2,70	5,00	40,50	35,00	17,80
Ovino	6,30	3,75	32,00	32,00	25,95
Caprino	2,90	4,70	34,00	33,00	26,40

Tabla 10. Rango de niveles de nutrientes en diversos residuos de origen animal y vegetal. Fuente: Varnero y Arellano, 1991

Materia Prima	C (%)	N(%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO(%)	MgO (%)
Excretas:						
Bovino	17,4 – 40,6	0,3 – 2,0	0,1 – 1,5	0,10	0,35	0,13
Porcino	17,4 - 46,0	1,1 – 2,5	0,4 – 4,6	0,30	0,09	0,10
Caprino	35,0 – 50,0	1,0 – 2,0	0,2 – 1,5	2,30		
Equino	35,0 - 52,0	0,3 – 0,8	0,4 – 1,6	0,35	0,15	0,12
Ovino	35,0 – 46,0	0,3 – 0,6	0,3 – 1,0	0,15	0,33	
Conejos	23,0 - 35,0	1,0 – 1,9	0,9 – 1,8	2,10	0,45	0,15
Aves	28,0 – 35,0	1,4 – 2,0	2,0 – 2,8	1,40	0,80	0,48
Patos	29,0 - 41,0	0,6 – 0,8	1,0 – 1,5	0,40	0,80	
Pavos	17,4 – 41,0	0,6 – 0,8	0,5 - 0,8	1,10	0,80	
Humanas	2,5	0,8 – 1,0	0,5	0,30		
Mezclas:						
Porcino+paja	20,0 – 22,0	0,3 – 0,5	0,24	0,63	0,20	
Bovino+paja	44,0 – 46,0	0,3 – 0,5	0,79	1,55	0,30	
Rastrojo:						
Caña maíz	30,0 – 40,0	0,8 – 1,8	0,4 – 0,6	2,40	0,50	0,49
Paja de trigo	16,0 – 46,0	0,53	0,70	0,40	0,26	0,16
Paja de avena	22,0 – 29,0	0,53	0,40	0,30	0,40	
Paja cebada	58,0	0,64	0,19	1,07	0,33	0,33
Paja arroz	40,0 – 42,0	0,64	0,60	0,40	0,60	
Paja haba	28,0 – 33,0	1,5 – 1,9	0,40	2,30	1,35	
Tomate	27,0 – 30,0	2,60				
Papas	30,0	0,34	0,16	0,58	0,64	
Betarraga	30,0	2,00	0,70	5,30	1,95	0,83
Rabanitos	30,0	2,50				
Hojas secas	35,0 – 40,0	1,00	0,30	0,20	2,00	
Aserrín	44,0	0,06	0,01	0,01		

En términos generales, se pueden clasificar los sustratos en cuatro clases en función de su apariencia física, nivel de dilución, grado de concentración y características cuantitativas, como el porcentaje de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (DQO).

Tabla 11. Clasificación de sustratos para la Digestión Anaeróbica. Fuente: Esguerra, 1989

Características	Clase	Tipo de Sustrato	Características cuantitativas
Sólido	1	Basura Doméstica	- > 20 % ST
		Estiércol Sólido	- 40-70 % Fracción orgánica
		Restos de Cosecha	
Lodo altamente contaminado, alta viscosidad	2	Heces animales	- 100-150 g/l - DQO 5%-10% ST - 4%-8% SV
Fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos (SS)	3	Heces Animales de cría y levante diluido con agua de lavado	- 3-17 g/l DQO
		Aguas residuales de mataderos	- 1-2 g/l SS
Fluidos muy contaminados, sólidos en suspensión (SS)	4	Aguas residuales de Agroindustrias	- 5-18 g/l DQO
		Aguas Negras	- 4-500 g/l DQO

3.5.5. Tiempo de retención hidráulico (TRH).

El tiempo de retención hidráulico en un digestor de régimen discontinuo es el tiempo que acontece entre la carga del sistema y su descarga.

En un sistema de carga diaria (régimen continuo o semicontinuo), el TRH se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria. De esta forma el tiempo de retención determinará el volumen de carga diaria necesaria para alimentar al digestor existiendo la siguiente relación:

$$\frac{\text{Volumen del digestor (m}^3\text{)}}{\text{Volumen carga diaria (m}^3\text{/días)}} = \text{Tiempo de retención (día)} \quad (2)$$

Se deduce por tanto que la cantidad de biogás producido por un digestor dependerá de la cantidad de residuo cargado diariamente. Por lo general, se trabaja con tiempos de retención entre 20 y 55 días y cargas diarias de 1 a 5 kg sólidos totales por metro cúbico.

Son dos los factores que afectan directamente al tiempo de retención: la temperatura y el tipo de sustrato utilizado.

Elegir una mayor temperatura de trabajo hará que se disminuya el tiempo de retención y por ende se reducirán los volúmenes del reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material

Tabla 12. TRH de estiércol de ganado en distintas regiones. Fuente: Varnero 1991

Tiempo de retención hidráulico	Características
30 – 40 días	Clima tropical con regiones planas. Ej. Indonesia, Venezuela, América Central.
40 – 60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos. Ej. India, Filipinas, Etiopía.
60 – 90 días	Clima temperado con inviernos fríos. Ej. China, Corea, Turquía.

El tiempo de retención usual en el rango mesofílico para lodos de depuradora está entre 15 y 20 días, aunque este valor depende mucho del tipo de reactor utilizado.

En cuanto al tipo de sustrato se refiere, serán mayores los tiempos de retención en la materia prima con mayor proporción de carbono retenido. Al aumentar el TRH, aumenta el grado de materia orgánica degradada, de igual forma aumenta la cantidad de metano producida, aunque esta disminuye una vez alcanzado el valor óptimo. [25], [30], [41], [52].

3.5.6. Velocidad de Carga Orgánica (VCO).

Se define la velocidad de carga orgánica como la cantidad de materia orgánica que se introduce diariamente en el reactor por unidad de volumen. Ésta tiene una dependencia directa con la concentración del tipo de sustrato y es inversamente proporcional al tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. [25]

Existen diferentes formas de expresar este parámetro siendo los más usuales los siguientes: kg de material/día; kg de materia seca/día; kg de sólidos volátiles/día todos expresados por metro cúbico de digestor.

El tiempo de retención, junto con la velocidad de carga orgánica determinada por el tipo de sustrato, son los principales parámetros de diseño, definiendo el volumen del digestor.

Un factor importante a tener en cuenta en este parámetro es la dilución utilizada, debido a que una misma cantidad de material degradable podrá ser cargado con diferentes volúmenes de agua. [30]

3.5.7. Valores de pH y alcalinidad.

El pH es un factor que además de determinar la producción de biogás determina también su composición. Para que el metano que se produzca esté en los valores óptimos el pH debe mantenerse entre 6.0 y 8.0, siendo el pH neutro lo ideal para el correcto desarrollo del proceso anaeróbico. Si el pH descendiera de 6.0 se produciría un biogás muy pobre en metano, lo que lo haría deficiente energéticamente. [52]

Los diferentes equilibrios químicos que se desarrollan en el reactor pueden verse afectados por las variaciones del pH. Si los valores de PH son demasiado bajos, por debajo de 6.0 se reducirá la actividad de las bacterias metanogénicas, esto provocaría la acumulación de ácido acético y H₂, causando por consiguiente la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) perjudicando la formación de metano. Si esta situación no se revierte a tiempo el proceso no se concluirá con éxito. Por el contrario, si los valores del pH son elevados se favorecerá la formación de amoníaco, siendo este en concentraciones muy altas un inhibidor del crecimiento microbiano. [25], [35]

El pH de un sistema anaeróbico, operando dentro de los rangos aceptables, es controlado principalmente por la alcalinidad natural del sistema. Cuando los AGV comienzan a acumularse en el reactor anaeróbico, estos son neutralizados por la alcalinidad presente en el reactor y mantienen el pH estable. En muchos casos, para mantener el pH óptimo en el reactor, es necesaria la suplementación de alcalinidad utilizando químicos tales como bicarbonato de sodio, carbonato de sodio, entre otros. Se prefiere el bicarbonato de sodio debido a su alta solubilidad y baja toxicidad. [25], [32], [35].

3.5.8. Tóxicos e inhibidores de la metanogénesis.

Muchos de los compuestos tóxicos presentes en el proceso forman parte de la materia prima que entra al digestor o pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos, cuyas concentraciones se elevan y es entonces cuando pueden inhibir el crecimiento bacteriano. Los principales compuestos que pueden actuar como inhibidores en el proceso anaeróbico son los siguientes:

- **Ácidos grasos volátiles (AGV).**

Son los productos intermedios mayoritarios del proceso anaerobio. Es uno de los parámetros que más eficazmente pueden indicar la evolución del proceso. Como se ha comentado en el apartado anterior un aumento en la concentración de ácidos volátiles en el sistema, implica una desestabilización del proceso y, en consecuencia, una disminución de la producción de biogás. En un sistema anaeróbico óptimo, la concentración de AGV en el efluente se debe mantener por debajo de 2.000 ppm para la fermentación mesofílica y de 3.600 ppm para la termofílica. [26], [41]

- **Hidrógeno.**

Éste es también un compuesto intermedio del proceso anaeróbico. Si se produce una elevada concentración de este puede provocar la inhibición de la acetogénesis y por consiguiente la acumulación de AGV. [52]

- **Nitrógeno amoniacal.**

El amoniaco puede estar presente en las materias primas que entran al digestor o ser producido durante la degradación anaeróbica de compuestos orgánicos nitrogenados tales como proteínas o aminoácidos. Aunque el nitrógeno amoniacal es un nutriente importante para el crecimiento bacteriano, una concentración excesiva puede limitar su crecimiento. Para un correcto funcionamiento del biodigestor, los niveles dentro del sistema deben mantenerse por debajo de los 2000 mg/l. En la tabla 13 se muestra cómo puede afectar la concentración de amoniaco al proceso de fermentación. [27], [57].

Tabla 13. Concentración de amoníaco y su efecto en el proceso de digestión anaeróbica. Fuente: Mc Carty, 1964

Amoníaco-N (mg/L)	Efectos
50-100	Benéficos
200-1000	Sin efectos adversos
1500-3000	Efectos inhibitorios a niveles de pH altos
Sobre 3000	Tóxico

- **Sulfatos y sulfuros.**

La presencia de elevadas concentraciones de sulfato en el sustrato puede producir la inhibición del proceso anaeróbico, especialmente de la metanogénesis.

El sulfuro es también un inhibidor para muchos grupos bacterianos. En general, los metanogénicos son más sensibles que los acidogénicos y acetogénicos, comenzando a ser tóxica una concentración de 50 mg/l, si los microorganismos metanogénicos no están aclimatados a los sulfuros.

Por tanto, la inhibición tiene dos etapas, la primera debida a la competencia por el sustrato entre los microorganismos metanogénicos y sulfato-reductores y la segunda es una inhibición directa del crecimiento metanogénico por la presencia de sulfuros solubles.

- **Otros inhibidores.**

La inhibición del proceso también se puede producir por la presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes pudiendo incluso interrumpir el proceso fermentativo. En algunos casos, la magnitud del efecto tóxico de una sustancia puede ser reducido significativamente mediante la aclimatación de la población de microorganismos al tóxico. En la tabla 14 se presentan valores de concentraciones de ciertos inhibidores comunes.

Tabla 14. Concentración inhibidora de sustancias en un proceso anaeróbico. Fuente:

Inhibidores	Concentración inhibidora
SO ₄ ⁻	5000 ppm
NaCl	40000ppm
NO ₃ ⁻	0.05 mg/ml
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200-500 mg/l
CN ⁻	25 mg/l
Na	3500-5500 mg/l
K	2500-4500 mg/l
Ca	2500-4500 mg/l
Mg	1000-1500 mg/l

3.5.9. Contenido de sólidos.

El porcentaje de sólidos totales (ST) contenidos en la mezcla con que se carga el digestor es un parámetro importante que considerar para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente. Si aumenta demasiado la cantidad de sólidos totales la movilidad de los microorganismos metanogénicos dentro del sustrato puede verse limitada afectando al rendimiento del reactor y por ende a la producción de biogás.

Experimentalmente se ha demostrado que una carga en digestores semicontinuos no debe tener más de un 8% a 12 % de sólidos totales para asegurar el buen funcionamiento del proceso, a diferencia de los digestores discontinuos, que tienen entre un 40 a 60% de sólidos totales.

Para calcular el volumen de agua que se debe mezclar con la materia prima para dar la proporción adecuada de sólidos totales, es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales de la materia prima fresca (Tabla 15).

Tabla 15. Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos. Fuente: Varnero y Arellano, 1991.

Materias primas	% Sólidos totales
Residuos animales	
Bovinos	13.4 – 56.2
Porcinos	15.0 – 49.0
Aves	26.0 – 92.0
Caprinos	83.0 – 92.0
Ovejas	32.0 – 45.0
Conejos	34.7 – 90.8
Equinos	19.0 – 42.9
Excretas humanas	17.0
Residuos vegetales	
Hojas secas	50.0
Rastrojo maíz	77.0
Paja trigo	88.0 – 90.0
Paja arroz	88.8 – 92.6
Leguminosas (paja)	60.0 – 80.0
Tubérculos (hojas)	10.0 – 20.0
Hortalizas (hojas)	10.0 – 15.0
Aserrín	74.0 – 80.0

La expresión matemática para calcular el porcentaje de sólidos totales adecuados para el que el proceso anaeróbico se lleve a cabo correctamente es la siguiente: [52]

$$\% S.T (carga diluida) = \frac{1 \text{ kg materia prima} * \% S.T \text{ materia prima fresca}}{1 \text{ kg materia prima fresca} + \text{agua agregada}} \quad (3)$$

3.6. Potenciales y rendimientos

La cantidad de metano o biogás que se puede obtener a partir de un determinado residuo viene dado por el potencial o rendimiento del tiempo de retención, de la velocidad de carga orgánica, de la temperatura de operación y de la presencia de inhibidores. A continuación, se muestra la producción de biogás por tipo de residuo. (Tabla 16 y 17)

Tabla 16. Producción de biogás por tipo de residuo animal. Fuente: Varnero y Arellano, 1991

Estiércol	Disponibilidad Kg/día*	Relación C/N	Volumen de biogás	
			m ³ /kg húmedo	m ³ /día/año
Bovino (500 kg)	10.00	25:1	0.04	0.400
Porcino (50 kg)	2.25	13:1	0.06	0.135
Aves (2 kg)	0.18	19:1	0.08	0.014
Ovino (32 kg)	1.50	35:1	0.05	0.075
Caprino (50 kg)	2.00	40:1	0.05	0.100
Equino (450 kg)	10.00	50:1	0.04	0.400
Conejo (3 kg)	0.35	13:1	0.06	0.021
Excretas humanas	0.40	3:1	0.06	0.025

*El dato se refiere a la cantidad estimada de estiércol que es posible recolectar de todo el producto

En general, las excreciones ganaderas presentan producciones bajas por su elevado contenido en agua.

Tabla 17. Producción de biogás a partir de residuos vegetales. Fuente: Varnero y Arellano, 1991

Residuos	Cantidad residuo Ton/ha	Relación C/N	Volumen de biogás	
			m ³ /Ton	m ³ /ha
Cereales (paja)				
Trigo	3.3	123:1	367	1200
Maíz	6.4	45:1	514	3300
Cebada	3.6	95:1	388	1400
Arroz	4.0	58:1	352	1400
Tubérculo (hojas)				
Papas	10.0	20:1	606	6000
Betarragas	12.0	23:1	501	6000
Leguminosas (paja)				
Porotos	3.2	38:1	518	1650
Habas	4.0	29:1	608	1400
Hortalizas (hojas)				
Tomate	5.5	12:1	603	3300
Cebolla	7.0	15:1	514	3600

Los residuos orgánicos de la industria alimentaria presentan potenciales de producción variables, pero usualmente elevados cuando contienen un elevado contenido en lípidos.

También dependiendo de la composición bioquímica de cada materia prima, se tendrá una producción variable de biogás.

Tabla 18. Producción y composición teórica de biogás en diversos compuestos orgánicos. Fuente: Varnero y Arellano, 1991

Compuesto orgánico	Fórmula química	Biogás m ³ /kg SV	CH ₄ m ³ /kg ST
Carbohidratos	C ₆ H ₁₀ O ₅	0,75	0,37
Lípidos	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	1,44	1,44
Proteínas	C ₁₆ H ₂₄ O ₅ N ₄	0,98	0,49

Existen varias opciones para mejorar la producción de biogás de estos residuos. Algunas formas como, por ejemplo, la mezcla con residuos de mayor producción potencial (codigestión), el uso pretratamientos para mejorar la degradabilidad del substrato, o aumentar la temperatura para aumentar la velocidad de crecimiento de los microorganismos y la eficiencia de la fase hidrolítica.

3.6.1. Codigestión con otros residuos orgánicos.

La codigestión consiste en el tratamiento conjunto de residuos orgánicos diferentes, es decir, en la digestión anaeróbica de dos o más sustratos de diferente origen. [44]

La codigestión se utiliza con la finalidad de reducir costes de inversión y de explotación, ya que con ella se complementan las composiciones de los sustratos compensando las carencias de cada uno por separado mejorando el rendimiento que tendría cada sustrato por separado. La codigestión de residuos orgánicos de diferente origen ha resultado una metodología exitosa tanto en régimen termofílico como mesofílico. [35]

Los residuos urbanos e industriales suelen contener altas concentraciones de materia orgánica fácilmente degradable, por lo que presentan un mayor potencial de producción de biogás que los residuos ganaderos. Sin embargo, estos residuos pueden presentar problemas en su digestión, (escasez de nutrientes, baja alcalinidad o excesivo contenido de sólidos). Los residuos ganaderos pueden ser una buena base para la codigestión ya que, generalmente, presentan un contenido en agua elevado, una alta capacidad tampón y aportan una amplia variedad de nutrientes necesarios para el crecimiento de microorganismos anaerobios.

En la Tabla 19 se indican las características relativas para la codigestión. Los residuos que resultarían interesante para la mezcla serían aquellos que presentan las flechas en sentidos opuestos al compensarse la carencia relativa de uno de los dos sustratos.

Tabla 19. Características relativas para la codigestión. Fuente: IDAE, 2007

	Residuos ganaderos	Lodos depuración	FORM	Residuos industria alimentaria
Micro y macronutrientes	↑	↑	↓	↓
Relación C/N	↓	↑ ↓	↑	↑
Capacidad tampón (alcalinidad)	↑		↓	↓
Materia orgánica biodegradable	↓	↑ ↓	↑	↑

3.6.2. Acondicionamiento del sustrato previo

El sustrato en muchas ocasiones debe ser tratado antes de ser introducido en el digestor, con el fin de que el sustrato que se va a usar para la digestión anaeróbica sea lo más homogéneo posible para obtener un rendimiento aumentando la producción de biogás y reduciendo el tiempo de residencia.

Las tecnologías de pretratamiento se pueden clasificar en mecánicos, térmicos, químicos, por ultrasonidos y biológicos. [44]

3.6.2.1. Pretratamiento mecánico

El principal objetivo de este método es conseguir la homogeneización del tamaño de las partículas con el fin de conseguir una mejor solubilización de la materia orgánica aumentando la superficie específica del material. Las operaciones básicas usadas en este proceso son: reducción del tamaño; separación por tamaño; separación por densidad; separación mediante campos magnéticos; compactación. [58]

Este pretratamiento se puede aplicar a residuos con partículas mayores a 5 cm ya que una disminución del tamaño influye positivamente en la producción de biogás. Este tratamiento es especialmente recomendable para residuos con alto contenido en fibra (celulosa, lignina) como plantas, paja, etc. La mejora del rendimiento puede oscilar entre un 5 y un 30% aproximadamente. [59]

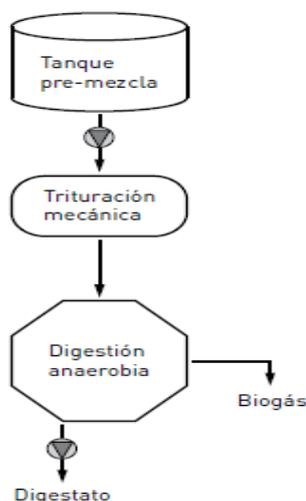


Figura 36. Diagrama de flujo pretratamiento mecánico: trituración. Fuente: IDAE, 2011

3.6.2.2. Pretratamiento térmico

Este tratamiento tiene doble finalidad. Por un lado, se encarga de facilitar la degradación de algunas macromoléculas y solubilizar la materia orgánica y, por otra parte, y dependiendo de la temperatura y el tiempo se encarga de higienizar la materia orgánica para reducir o eliminar microorganismos indeseables [60][61]. La energía térmica resultante puede ser recuperada para mantener la temperatura del proceso anaeróbico. [58] Algunos de los métodos más usados son la pasteurización o la esterilización. Los residuos más apropiados para este tipo de tratamiento son los subproductos de origen animal no destinados a consumo humano.

Este tipo de tratamiento puede incrementar la producción de biogás hasta cuatro veces más en el caso de subproductos animales. Sin embargo, en sustratos de origen vegetal se puede producir el efecto contrario, ya que puede degradar la materia orgánica ya biodisponible y reducir así la producción de biogás. [59]

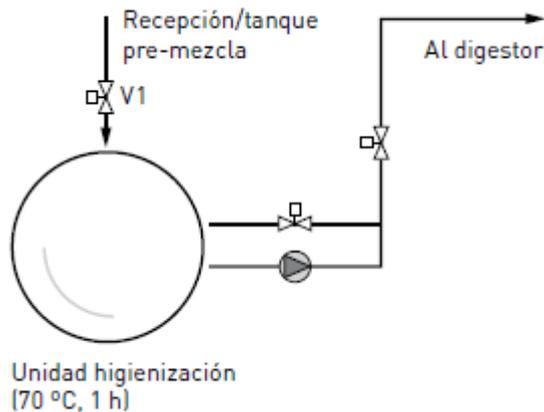


Figura 37. Diagrama de flujo pretratamiento térmico: pasteurización. Fuente: IDAE, 2011

3.6.2.3. Pretratamiento químico.

Este método también tiene por objetivo romper las macromoléculas poco biodegradables añadiendo a la mezcla compuestos químicos como ácidos o bases fuertes. También se pueden usar otros métodos como la ozonización. Este tipo de pretratamiento también puede tener objetivos diferentes como el ajuste de pH o el aumento de la capacidad tampón. [59]

El método más utilizado es el de la adición de sustancias alcalinas, ya que incrementa la solubilización de la materia orgánica y por tanto la producción de biogás. Algunos de los compuestos alcalinos más utilizados son: NaOH, KOH, Mg(OH)₂, y Ca(OH)₂. [62]

El ambiente alcalino causa deslizamiento de las partículas orgánicas haciéndolas más susceptibles al ataque enzimático, mejorando la biodegradabilidad de la parte sólida. Además, pueden ayudar a la neutralización de ácidos grasos volátiles durante las etapas de la digestión, mitigando su efecto inhibitorio. [63]

Según Forster-Carneiro et al. (2012), los tratamientos alcalinos a temperatura ambiente mostraron un incremento de la biodegradabilidad por encima de un 100%. Los lodos pretratados mostraron un incremento de la solubilidad de 46%. A mayor proporción de sólidos totales en los lodos mayor removimiento de materia orgánica para dosis iguales de NaOH y tiempo de retención iguales. Por otra parte, los pretratamientos alcalinos de los lodos en biorreactores permiten reducir el tiempo de retención hidráulica (HRT) desde 15 días hasta 2 días [64].

3.6.2.4. Pretratamiento biológico.

Con este tipo de tratamiento del sustrato se persigue conseguir la degradación de determinados compuestos mediante la inoculación de bacterias o la adición de enzimas. Uno de los métodos más utilizados es el ensilado. Este proceso consiste en una fermentación ácido-láctica, cuyo objetivo es preparar los sustratos para la degradación enzimática. Dentro de los microorganismos utilizados para degradar sustratos orgánicos se encuentran varios tipos de hongos. Los hongos de podredumbre blanca se encuentran entre los microorganismos más efectivos para el pretratamiento biológico de las lignocelulosas. [62]

El pretratamiento biológico podría usarse no solo para la eliminación de lignina, sino también para la eliminación biológica de componentes específicos como sustancias antimicrobianas [65]

El bajo requerimiento energético, el no empleo de químicos y la apacible condición ambiental son las principales ventajas de los pretratamientos biológicos. Sin embargo, la tasa de rendimiento de estos tratamientos es muy baja en la mayoría de los casos. Por lo que suele usarse combinado con otros tipos de pretratamiento. [66]

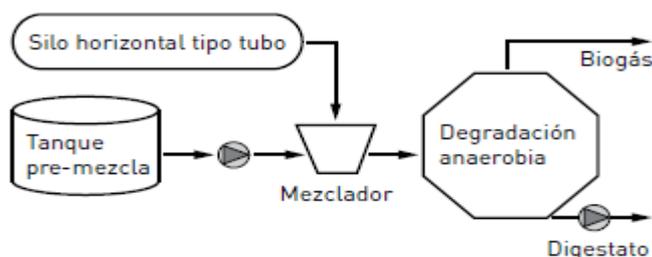


Figura 38. Diagrama de flujo pretratamiento biológico: ensilado. Fuente: IDAE, 2011

3.6.2.5. Pretratamiento por ultrasonido

Actualmente se están desarrollando nuevos pretratamientos como la utilización de microondas o ultrasonidos, sobre todo para el tratamiento de residuos líquidos (lodos de depuradora, purines, etc.) [59]. La aplicación de altas intensidades de ultrasonido mediante cavitación a sistemas líquidos permite reacciones fisicoquímicas que pueden modificar significativamente la estructura de los materiales presentes en el líquido mejorando así la digestibilidad del sustrato.

De esta forma, la aplicación del ultrasonido tiene un alto potencial para ser usado en pretratamiento de sustratos. Se ha demostrado que un corto pretratamiento de 15 minutos incrementa la demanda química de oxígeno inicial (DQO) desde 50 mg/L hasta valores de 2 500 mg/L [67]. Además de incrementar la actuación de la biodigestión anaeróbica incrementando la solubilidad de los sustratos y su biodegradabilidad. También ha sido observada una notable reducción de los contenidos de micro contaminantes. [68]

La mayoría de los aparatos de ultrasonido para pretratamientos de sustratos usan frecuencias entre 20 y 40 kHz, con intensidades de potencia en el rango de 50–80 W y hasta más de 20 000 W. El volumen es un aspecto importante, ya que esto puede provocar una sobre dilución de la materia orgánica. [58]

3.7. Productos obtenidos de los biodigestores: el biogás y el efluente.

3.7.1. La producción de biogás.

Las primeras menciones sobre biogás se remontan al 1.600 identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica. [41]

La generación de biogás se trata de una mezcla constituida fundamentalmente por metano (CH₄) dióxido de carbono (CO₂), y pequeñas cantidades de hidrógeno (H), sulfuro de hidrógeno (SH₂) y nitrógeno (N) constituye un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza.

El biogás que generalmente se produce en la digestión anaeróbica es un gas incoloro, inflamable, con un poder calorífico de 4500 a 6000 Kcal/m³ y un contenido de 60% de metano y 40% de dióxido de carbono, con aportes menores de nitrógeno, hidrogeno y gas sulfhídrico [43], [69], [70], [71].

Tabla 20. Composición química del biogás. Fuente: Botero and Preston, 1986.

Componente		Composición aproximada [%]
Metano	CH ₄	60 - 70
Gas Carbónico	CO ₂	30 - 40
Hidrógeno	H ₂	1.0
Nitrógeno	N ₂	0.5
Monóxido de carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Ácido sulfúrico	H ₂ S	0.1

La aplicación del biogás en el área rural ha sido muy importante dentro de ella se pueden diferenciar dos campos. En el primero, el objetivo buscado es dar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores de zonas marginales o al productor medio de los países con sectores rurales de muy bajos ingresos y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía.

El segundo tipo de tecnología está dirigido al sector agrícola y agroindustrial de ingresos medios y altos. En este caso el objetivo es brindar energía y solucionar graves problemas de contaminación. Los digestores de alta eficiencia desarrollados para esta aplicación

tienen un mayor coste inicial y poseen sistemas que hacen más complejo su manejo y mantenimiento. Ambos tipos de digestores se encuentran hoy día en continua difusión.

El biogás como cualquier otro combustible gaseoso, puede ser usado para fines domésticos e industriales. El biogás obtenido del proceso de fermentación puede emplearse para el uso dispositivos como estufas, lámparas, calefactores, como combustible para motores diésel o de gasolina, o para generar electricidad [27], [30].

El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica. Los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación. [25]

Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, el requerimiento de calidad del biogás para quemadores es bajo. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace interesante su utilización a gran escala. [27], [30]

Los sistemas de cogeneración utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se genera. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso. En ambos casos, se aumenta la eficiencia del proceso. Las turbinas de gas (microturbinas, desde 25 hasta 100 kW y turbinas grandes, > 100 kW) se pueden utilizar para la producción de calor y energía, con una eficiencia comparable a los motores de gasolina y con un bajo mantenimiento. [25]

Los frigoríficos constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día. Esto minimiza la necesidad de almacenaje del gas. [27], [30]

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto de gasolina como diésel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo que lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión. Por otro lado, una desventaja que presenta es su baja velocidad de encendido.

[30]. En la tabla 20 se muestran distintas alternativas de utilización de un metro cúbico de biogás, con sus respectivos consumos.

Tabla 21. Alternativas para la utilización del biogás. Fuente: Hilbert, 2003.

Alternativas de utilización de biogás	Consumo
Frigorífico de 400 litros	10 horas de funcionamiento
Motor de 1 CV	2 horas de funcionamiento
Calentador de agua	110 litros durante 3 horas
Generador	6.25 kW de electricidad
Luz infrarroja	3 horas de funcionamiento
Cocina de gas	3 comidas para una cantidad de 4 personas

3.7.2. El efluente.

La fermentación anaeróbica de la materia orgánica que se origina dentro de los reactores produce un residuo orgánico de excelentes propiedades fertilizantes [48]. La entrada del afluente genera un volumen equivalente de efluente o material de descarga que presenta alrededor de un 2% de ST. [30].

El efluente tratado que sale de las plantas es un gran fertilizante orgánico, puesto que la mayoría de sus nutrientes principales como nitrógeno, fósforo y potasio se conservan [26], [27]. La composición del efluente resultante suele estar formada por un 8.5% de materia orgánica, 2.6% de nitrógeno, 1.5% de fósforo, 1.0% de potasio y un pH de 7.5 [70].

El uso adecuado de los nutrientes reciclados proporciona mejoramiento en la calidad del suelo y en las siembras representando un beneficio para el agricultor [26].

En función a la carga usada y el proceso seguido, esta materia orgánica, también conocida como bioabono puede presentarse de dos formas: líquida y sólida. [25]

El bioabono sólido o líquido no posee mal olor, a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en las cantidades recomendadas o bien, el bioabono sólido puede deshidratarse y almacenarse para usarlo

posteriormente, aunque al deshidratarse puede haber pérdidas por volatilización hasta 60%, sobre todo de nitrógeno [48]

El bioabono no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad de éste y puede considerarse como un buen fertilizante que puede competir o complementarse con los fertilizantes químicos. [48]

La disminución del contenido de carbono en el efluente en comparación con el afluente, por efecto de la producción de biogás, origina una reducción de la relación C:N en el primero. Como consecuencia de esto, el nitrógeno orgánico en el efluente puede ser mineralizado más rápidamente que el incorporado en la materia orgánica del afluente y así aumenta también su disponibilidad para las plantas [43]. En la siguiente tabla se muestra una comparativa con valores de los nutrientes que presenta la materia orgánica del afluente usada como compost y los nutrientes que presenta el efluente obtenido de la fermentación anaeróbica.

Tabla 22. Parámetros Compost vs Bioabono. Fuente: Varnero, 2001.

Parámetros	Compost	Bioabono
pH (H ₂ O 1:5)	7.2	7.9
MO(W-B) 1:5	20.0	45.0
MO(Calcinac. %)	39.0	58.0
N Total (Kjeldal %)	1.0	1.8
P Total (%)	4.1	8.4
K Total (%)	0.4	0.7
Relación C/N	19.0	25.0
N mineral (mg/kg)	550.0	30.0

3.8. Gestión del aprovisionamiento y de los subproductos

Los productos obtenidos a raíz del proceso de fermentación anaeróbica el biogás y el efluente, muchas veces no se pueden utilizar tal y como salen del digestor, por lo que se ha de aplicar una serie de tratamientos para su posterior utilización.

3.8.1. Acondicionamiento del biogás.

El biogás que sale del reactor debe ser acondicionado, puesto que contiene partículas y trazas de otros gases. Todas estas impurezas deben ser removidas dependiendo del tipo de utilización que se le vaya a dar.

La purificación del biogás es importante por dos razones principales:

1. Aumentar el poder calorífico del biogás.
2. Cumplir los requerimientos de algunas aplicaciones de gas (motores, calderas, generadores, etc.)

Los motivos por lo que se debe aplicar el al biogás se resumen en la figura 38.

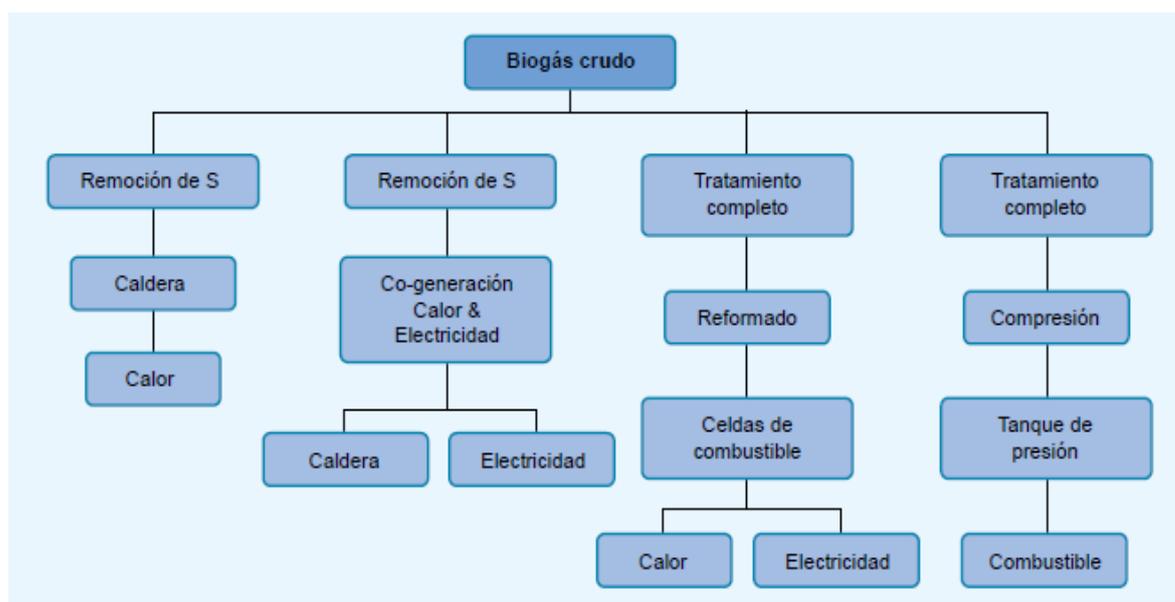


Figura 39. Alternativas de utilización del biogás y sus requerimientos de purificación. Fuente: Varnero, 2011

El tratamiento completo implica que se elimina gran parte del CO₂, vapor de agua y otros gases del biogás, mientras que el reformado es la conversión de metano en hidrógeno.

A pesar de que alguno de estos acondicionamientos no es necesario en todos los casos, otros como el drenaje del agua de condensación deberá realizarse siempre.

3.8.1.1. Eliminación del vapor de agua.

El biogás que sale del digester está saturado de vapor de agua, a medida que se enfría el vapor se condensa en las tuberías y si no se lo evacúa adecuadamente pueden bloquearse los conductos con agua, además puede provocar corrosión. El biogás debe tener una humedad relativa inferior a 60% para prevenir la formación de condensado en las tuberías de transporte. [25]

Por esta razón las cañerías de distribución deben ser instaladas con una pendiente mínima del 1% hacia un recipiente denominado trampa de agua donde ésta se almacena y se extrae. Existen diversos tipos de trampas de agua tanto manuales como automáticas. [41]

3.8.1.2. Eliminación de dióxido de carbono (CO₂).

Para la mayoría de las aplicaciones más simples de biogás tales como calentadores, motores de combustión interna o sistemas generadores, la eliminación del CO₂ del biogás no es necesaria y el CO₂ simplemente pasa a través del quemador o motor. Por lo que, su eliminación no es aconsejable salvo en los casos de almacenaje del biogás a altas presiones debido a que sería inútil gastar energía de compresión y volumen de almacenaje de alto costo en un gas que no daría ningún beneficio adicional. [25], [30], [41]

3.8.1.3. Eliminación del sulfuro de hidrógeno (H₂S).

El sulfuro de hidrógeno en combinación con el vapor de agua en el biogás crudo puede formar ácido sulfúrico (H₂SO₄), siendo este muy corrosivo para los motores y sus componentes. Su eliminación es importante para garantizar una mayor vida útil de los equipos domésticos usados a biogás.

Un proceso simple y barato consiste en dosificar una corriente de biogás con O₂, oxidando así el H₂S a azufre elemental. Pero el método más usado es hacer pasar el gas por un filtro que contiene hidróxido de hierro transformando el H₂S en sulfuro de hierro. [25], [30].

3.8.2. Acondicionamiento del efluente.

Para el uso del efluente obtenido del proceso de la digestión anaerobia hay que tener en cuenta la legislación en materia de vertidos y las composiciones de los efluentes del proceso. Muchas veces no se pueden utilizar tal y como salen del digestor, por lo que se ha de aplicar una serie de tratamientos como decantación/sedimentación, secado, para su posterior utilización para riego, fertilización de campos o venta como compost [44], [72].

3.9. Marco legal.

El uso de la biomasa y el biogás para la producción eléctrica están contemplados en el Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. [73]

Las características técnicas que hay que cumplir para realizar una instalación de biomasa con carácter general son las establecidas en el RITE (Reglamento de instalaciones térmicas en edificios). [74]

Las principales referencias legislativas al aprovechamiento del biogás se encuentran en las siguientes normas medioambientales:

- Ley 22/2011 sobre residuos
- Ley 1481/2001 sobre vertederos
- Ley 16/2002 sobre prevención y control integrado de la contaminación, plan para la biodigestión de purines.

La actual normativa de autoconsumo (Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre), por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo) permite tener instalaciones generadoras y a la vez poder estar enganchado a la red.

Capítulo 4.

FUNDAMENTOS ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

4. Fundamentos de Energía Solar Fotovoltaica.

La energía solar eléctrica, o fotovoltaica, es una energía limpia y renovable, de fácil instalación y mantenimiento. Una instalación fotovoltaica (FV) transforma directa e instantáneamente la energía solar en energía eléctrica sin utilizar combustibles. [75]

Las principales ventajas de una instalación fotovoltaica son las siguientes: [76]

- Es una energía limpia que no produce emisiones de gases como CO₂ o SO₂ perjudiciales para el medioambiente. La generación de residuos es nula.
- Poseen una vida útil alta, los fabricantes aseguran una durabilidad de entre 20 y 40 años
- Los costes de mantenimiento y operativos son escasos.
- Facilidad para aumentar la potencia del sistema instalado, ya que solo hace falta instalar más módulos fotovoltaicos.
- Es muy conveniente en regiones donde por las condiciones existentes es difícil la electrificación tradicional, como son las zonas rurales.

Sin embargo, presenta el inconveniente de que la inversión inicial necesaria sigue siendo elevada. Además, este tipo de energía es dependiente del clima lo que provoca que no pueda ser una energía constante, que esté siempre disponible. Por lo que de forma general debe usarse complementariamente con otras fuentes de energía. [75], [77]

Algunos de los parámetros que hay que tener en cuenta a la hora de instalar una planta fotovoltaica en una localización determinada son la irradiancia y la irradiación que inciden sobre la superficie elegida.

- **Irradiancia.**

La irradiancia solar es la cantidad de radiación solar que incide en una superficie de un metro cuadrado. Es decir, es la potencia de la radiación incidente por unidad de superficie. Esta magnitud permite conocer cuanta energía incide sobre una superficie en un tiempo determinado. El valor de la irradiancia varía ya que la distancia entre la Tierra y el Sol no es constante. Se mide en W/m^2 . [78]

$$Irradiancia = \frac{Potencia (W)}{Area (m^2)} \quad (4)$$

- **Irradiación.**

Es la magnitud que mide la irradiancia recibida en un tiempo determinado. El valor de la irradiación solar en la superficie depende de la época del año, de la latitud, la climatología local y las horas del día. Por lo que, la radiación que incide sobre una superficie horizontal está compuesta por radiación directa, relacionada con la irradiancia sobre la superficie, por radiación difusa, que llega a la superficie procedente de todo el firmamento y no de una parte específica del mismo, y por radiación reflejada en determinadas superficies del suelo y el entorno próximo. Esta magnitud se mide en Wh/m^2 . [79]

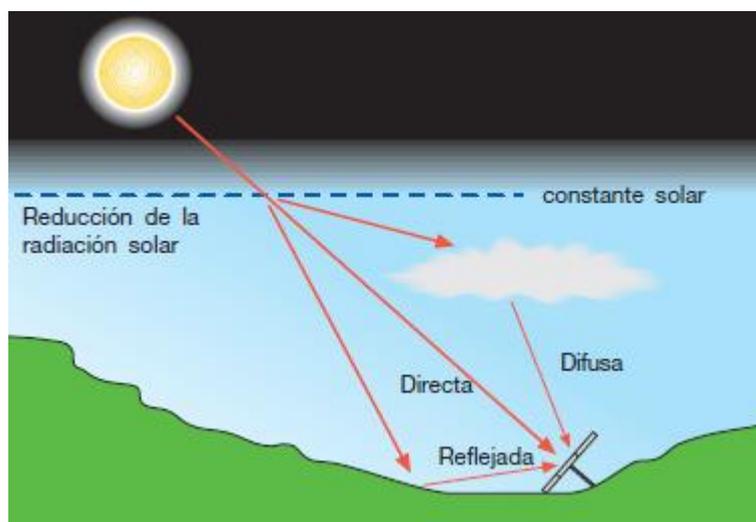


Figura 40. Componentes de la radiación solar. Fuente: ABB, 2011

4.1. Tipologías de plantas fotovoltaicas.

4.1.1. Instalaciones conectadas a la red.

Una instalación conectada a la red eléctrica convencional está formada por el conjunto de módulos fotovoltaicos y un inversor capaz de convertir la corriente continua del grupo solar en corriente alterna, inyectándola en la misma frecuencia y fase que la existente en cada momento en la red de distribución. [80]

Las plantas con conexión permanente a la red toman energía de ésta en las horas en las que el generador FV no puede producir suficiente energía para satisfacer las necesidades del consumidor. Por el contrario, si el sistema FV produce un exceso de energía eléctrica, el excedente se inyecta a la red. En consecuencia, los sistemas conectados a la red no requieren bancos de acumuladores. [77]

Debido al alto coste de inversión inicial que requiere una instalación fotovoltaica los sistemas de incentivos ofrecidos por los gobiernos son variados, con el fin de potenciar el uso de sistemas conectados a red desde la perspectiva del ciudadano corriente.

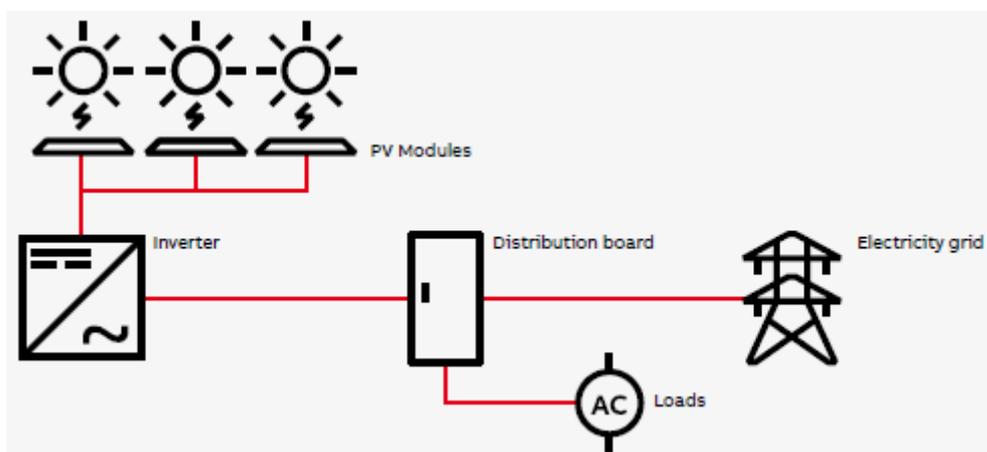


Figura 41. Esquema de planta FV conectada a la red. Fuente: ABB, 2019

Estas plantas ofrecen la ventaja de una generación distribuida en lugar de centralizada. Por lo que, se evitan las pérdidas por transporte de la energía generada, se reducen los costes en concepto de transporte y puesta en marcha de los sistemas eléctricos. Además, la producción energética en las horas de insolación permite que se reduzca los requisitos de la red durante el día, cuando la demanda es mayor.

4.1.2. Instalaciones aisladas.

Las plantas aisladas son aquellas que no están conectadas a la red y consisten en paneles FV y un sistema de almacenamiento que garantiza el suministro energético también en condiciones de luminosidad deficiente u oscuridad.

En una configuración aislada, el campo FV está sobredimensionado de forma que, durante las horas de insolación, tanto el suministro de carga como la recarga de las baterías de almacenamiento se puedan garantizar con un cierto margen de seguridad que tiene en cuenta los días con poca insolación. [75]

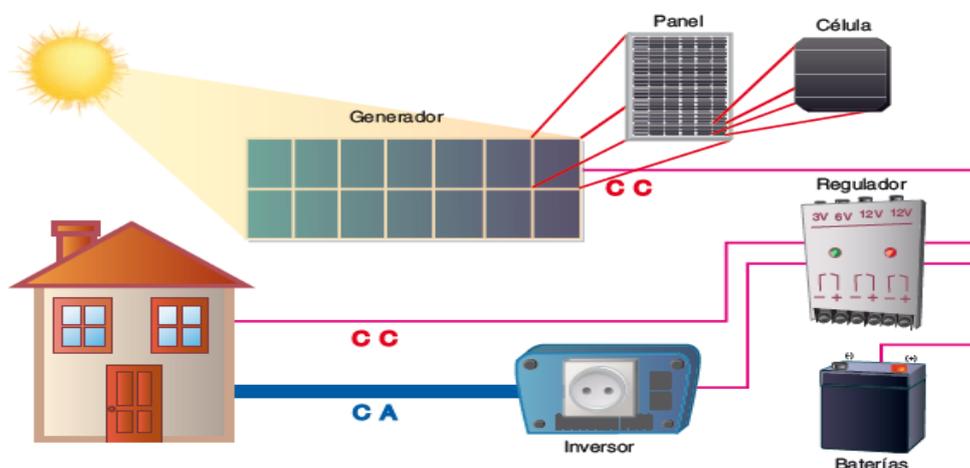


Figura 42. Esquema general de una instalación aislada. Fuente: Ramírez, 2008.

Estas plantas son ventajosas desde el punto de vista tanto técnico como económico cuando no hay red eléctrica disponible o ésta resulta de difícil acceso, ya que pueden utilizarse en lugar de grupos electrógenos.

Esta alternativa evita el tendido de la línea eléctrica que una el punto de consumo con el de transformación de la red de distribución. Con ello se obvia el impacto ambiental de dicha línea y su coste de inversión. [80]

Las principales aplicaciones de este sistema son las siguientes:

- Alumbrado público.
- Señalización vial, portuaria y aeroportuaria
- Bombeo de agua

- Radiorrepetidores, estaciones de observación climatológica o sísmica y de transmisión de datos.
- Electrificación de zonas rurales y aisladas.
- Instalaciones publicitarias.

4.2. Componentes principales de una planta fotovoltaica.

4.2.1. Célula fotovoltaica.

El componente principal es la célula fotovoltaica, donde se lleva a cabo la conversión de la radiación solar a corriente eléctrica. La célula está compuesta por una delgada capa de material semiconductor, normalmente silicio tratado con un grosor de alrededor de 0,3 mm y una superficie de 100 a 225 cm². Se caracteriza por convertir directamente en electricidad los fotones provenientes de la luz del sol. Su funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico, es decir en la propiedad que tienen determinados materiales de producir corriente eléctrica cuando incide una radiación lumínica sobre ellos. El silicio, con cuatro electrones de valencia (tetraivalente), se "dopa" con átomos trivalentes (p. ej. boro – dopaje Positivo) en una capa y cierto número de átomos pentavalentes (p. ej. fósforo – dopaje Negativo) en la otra. La región tipo P tiene exceso de huecos, mientras que la de tipo N tiene exceso de electrones. La parte expuesta a la radiación solar es la N, mientras que la zona P no recibe luz. Los terminales de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes. La zona está recubierta por una rejilla por la que llega la radiación al semiconductor. A través de los contactos metalizados se puede obtener la tensión y la intensidad capaz de producir en función de la cantidad de radiación recibida. [75][81]

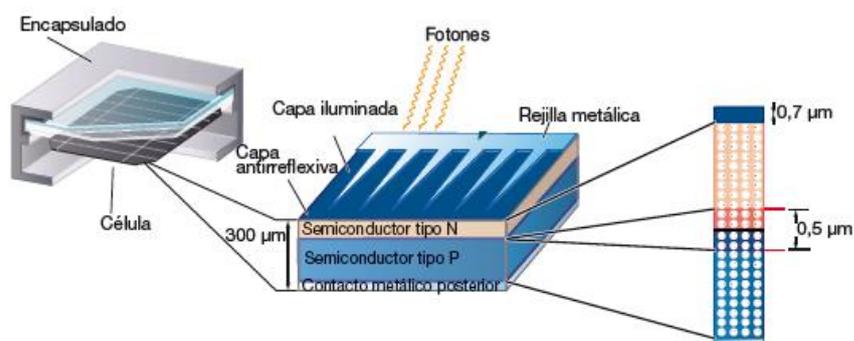


Figura 43. Estructura de la célula solar. Fuente: Ramírez, 2008.

Los parámetros fundamentales de la célula solar son: [76], [81]

- **Corriente de iluminación (I_L).** es la corriente generada cuando incide la radiación solar sobre la célula.
- **Tensión de circuito abierto (V_{oc}).** Es el valor máximo de tensión que se obtiene en los extremos de la célula, que se produce cuando no está conectada a ninguna carga.
- **Corriente de cortocircuito (I_{sc}).** Es el valor máximo de corriente que puede circular por la célula solar. Se produce cuando sus terminales están cortocircuitados.
- **Intensidad máxima (I_m).** Intensidad producida en el punto de potencia máxima.
- **Tensión máxima (V_m).** Tensión en el punto de potencia máxima
- **Potencia máxima (P_m).** Potencia producida máxima en condiciones estándar.

Los valores de tensión e intensidad varían cuando la célula es conectada a una carga. La tensión máxima (V_m) y la intensidad máxima (I_m) serán siempre menores que V_{oc} e I_{sc} . Por lo que la potencia máxima o potencia pico que puede generar la célula solar será:

$$P_m = V_m I_m \quad (5)$$

A partir de esta expresión se puede obtener el factor de forma (FF) de la célula solar. Este parámetro es el cociente entre la máxima potencia de la célula y el producto de la tensión en circuito abierto y la corriente de cortocircuito. Es fundamental para evaluar la calidad de las células solares, siendo los valores típicos de FF son 0,7 y 0,8. [82]

$$FF = \frac{V_m * I_m}{V_{oc} * I_{sc}} \quad (6)$$

El rendimiento de la célula vendrá dado entonces por el cociente de la potencia pico y la potencia de radiación incidente.

En las condiciones de funcionamiento estándar (irradiancia de 1W/m² a una temperatura de 25 °C) una célula FV genera una intensidad de 3 A con una tensión de 0,5 V y una potencia pico de 1,5 a 1,7 Wp. [75]

En la figura 44 se muestra la curva característica tensión-intensidad de un módulo FV.

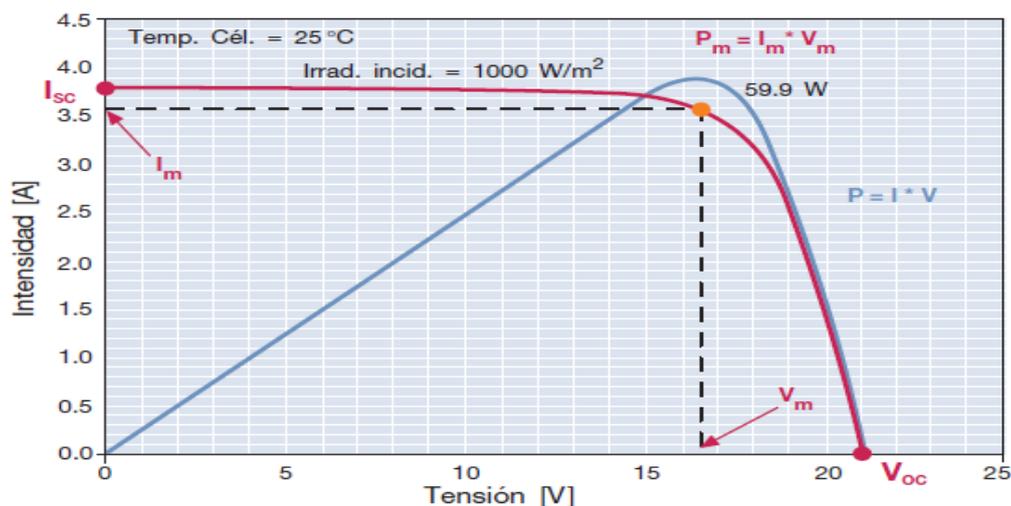


Figura 44. curva característica módulo FV. Fuente: ABB, 2011.

4.2.1.1. El módulo fotovoltaico.

Un panel solar o módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células solares, conectadas eléctricamente, encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte. En su salida de conexión proporciona tensión continua y normalmente se diseñan para valores concretos (6, 12, 24 V...), que definen la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico. Generalmente, será necesario asociar varios paneles para proporcionar la potencia necesaria al sistema fotovoltaico. Varios paneles conectados eléctricamente en serie componen una cadena, y varias cadenas conectadas en paralelo para generar la potencia necesaria constituyen el generador o huerto fotovoltaico. Esta asociación puede hacerse conectando los paneles en serie o en paralelo. [76]

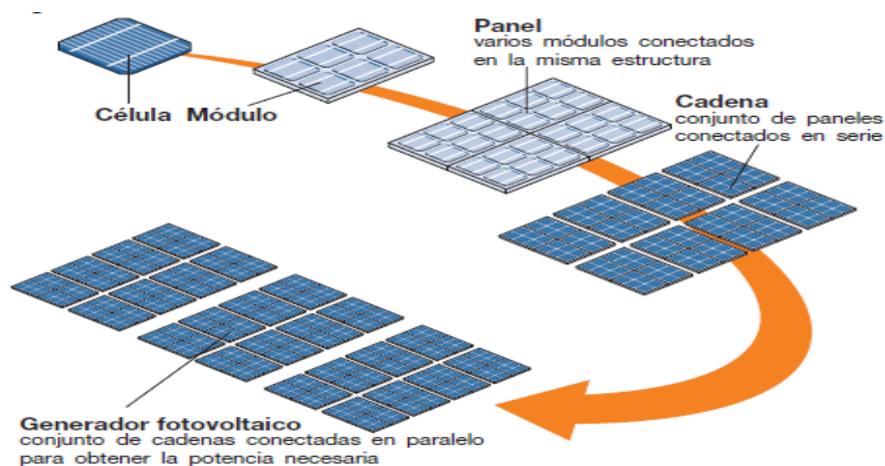


Figura 45. Asociación de varios paneles solares en serie y paralelo. Fuente: ABB, 2011

Los paneles conectados en serie permitirán aumentar la tensión final de los extremos de la célula equivalente. Estos paneles tendrán la misma intensidad.

Por otro lado, la conexión en paralelo permite aumentar la intensidad total del conjunto siendo la tensión que circula por ellos igual para todos.

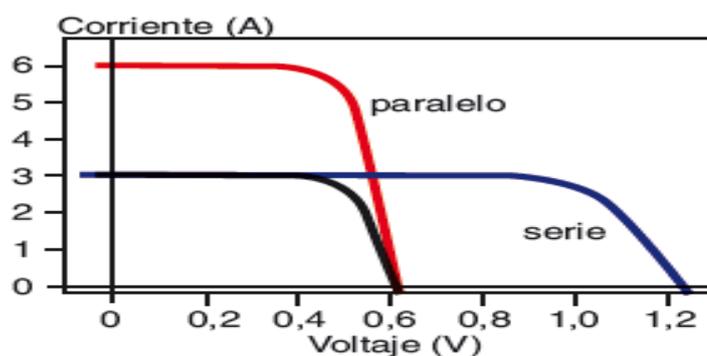


Figura 46. Curva I-V según tipo de conexión. Fuente: Ramírez, 2008

Las conexiones de los módulos fotovoltaicos se realizan por la parte posterior de los mismos, en una caja de conexiones. Esta caja de conexión, contiene los diodos de protección, que solo dejan pasar la corriente en un sentido, con el fin de evitar que las baterías en caso de haber se descarguen a través de los paneles. También impide que se invierta el flujo de corriente entre bloques conectados en paralelo cuando se produce una sombra en alguno de ellos. [81]



Figura 47. Caja de conexiones de un módulo fotovoltaico. Fuente: Ramírez, 2008.

En la actualidad, las células fotovoltaicas que se encuentran en el mercado suelen estar constituidas con cristal de silicio como material base. Los modelos que más se comercializan son los siguientes:

- **Silicio monocristalino.**

Es el modelo con el rendimiento energético más alto, entre un 15 y un 18%. Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro. Su proceso de manufactura es elaborado y requiere ingentes cantidades de energía eléctrica, incrementando sustancialmente el coste del material semiconductor. El método de producción más común del silicio monocristalino es el proceso Czochralski. Por este método se pueden obtener monocristales grandes a altas velocidades. En comparación con el moldeo de lingotes policristalinos, la producción de silicio monocristalino es muy lenta y costosa. Sin embargo, la demanda continúa aumentando debido a las propiedades electrónicas superiores [76], [81], [83].

- **Silicio policristalino.**

Presenta un rendimiento energético algo menor alcanzando como máximo un 12-15 %. También se obtiene fundiendo el silicio, pero se disminuye el número de fases de cristalización. Por lo que su estructura cristalina no es uniforme, esta estructura policristalina muestra zonas de brillo diferentes. Existe la posibilidad de producirlas directamente en forma cuadrada, por lo que no es necesario el posterior mecanizado. [81], [80].

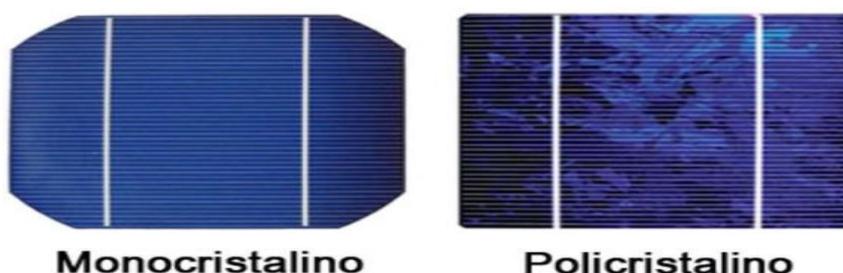


Figura 48. Panel fotovoltaico monocristalino y policristalino. Fuente: www.energiasrenovablesinfo.com, 2018

- **De capa fina.**

Las células de capa fina están compuestas por material semiconductor depositado, normalmente como mezclas gaseosas, en soportes tales como vidrio, polímeros o aluminio, que le dan una consistencia física a la mezcla. El ahorro de material con respecto a las células de silicio cristalino es notable y la posibilidad de disponer de un soporte flexible aumenta el campo de aplicación de este tipo de células. Los materiales usados son: silicio amorfo; CdTeS (teluro de cadmio-sulfuro de cadmio); GaAs (arseniuro de galio); CIS, CIGS y CIGSS (aleaciones de diseleniuro de indio-cobre). El rendimiento de estas células está por debajo del 10 %. La cuota de mercado de la tecnología de capa fina es todavía muy limitada ($\approx 7\%$), aunque resulta muy prometedora a medio- largo plazo [75], [76], [84].



Figura 49. Panel fotovoltaico de capa fina. Fuente: ABB, 2019

En la actualidad el mercado está dominado por la tecnología de silicio cristalino, que representa un 90% del sector. Se trata de una tecnología madura desde el punto de vista de la eficiencia obtenible y de los costes de fabricación y probablemente continuará dominando el mercado a corto-medio plazo.

Tabla 23. Comparativa de los diferentes paneles. Fuente: ABB, 2011.

	Silicio monocristalino	Silicio policristalino	Capa fina (silicio amorfo)
η célula	14% - 17%	12% - 14%	monocristal 4-6% tándem 7-10%
Ventajas	η elevada η constante tecnología fiable	menor coste producción más simple dimensionamiento óptimo	menor coste influencia de la temperatura reducida mayor salida energética con radiación difusa
Desventajas	mayor energía cantidad necesaria para producción	sensibilidad a impurezas del proceso de fabricación	mayores dimensiones coste de estructura y tiempo de montaje

4.2.2. El inversor.

El inversor es el responsable de convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna, igual a la que se utiliza en la red eléctrica, es decir con 220 V de valor eficaz y 50 Hz de frecuencia. También, controla la calidad de la energía destinada a la red mediante un filtro L-C montado en el interior del propio inversor. Además de realizar la conversión de continua a alterna, el inversor debe sincronizar la onda eléctrica generada con la corriente eléctrica de la red, para que su compatibilidad sea total. [81]

Los inversores utilizados en sistemas fotovoltaicos tendrán una potencia de entrada variable para que sea capaz de extraer en todo momento la máxima potencia que el generador fotovoltaico puede proporcionar a lo largo de cada día. Esto se hace con un controlador denominado MPPT (Max Power Point Tracker). Los controladores pueden seguir varias estrategias para optimizar la potencia de salida de la energía fotovoltaica. Un MPPT puede implementar diferentes algoritmos (por ejemplo, perturbar y observar, barrido de corriente, conductancia incremental, voltaje constante, etc.) y cambiar entre ellos según las condiciones de funcionamiento del generador fotovoltaico para entregar la máxima potencia. [77]

4.2.2.1. Características de los inversores.

Las principales características con las que debe contar un inversor son las siguientes: [76], [81]

- Alta eficiencia. Este debe funcionar bien para un amplio rango de potencias. Los valores de eficiencia al 25 y 100 % de la potencia de salida nominal deberán ser superiores al 85 y 88% respectivamente para inversores de potencia inferior a 5 kW y del 90 % para inversores mayores de 5 kW. La potencia del inversor será como mínimo el 80% de la potencia pico real del generador fotovoltaico.
- Fases. Los inversores inferiores a 5 kW suelen ser monofásicos. Los mayores a 15 kW suelen ser trifásicos.
- Bajo consumo en vacío, es decir cuando no hay cargas conectadas. El consumo deberá ser inferior a un 2 % de su potencia de salida nominal.

- El factor de potencia de la potencia generada deberá ser superior a 0,95 entre el 25 y el 100 % de la potencia nominal.
- Alta fiabilidad, es decir buena resistencia a los picos de arranque.
- Protecciones. El inversor debe incorporar algunas protecciones generales, como las protecciones contra cortocircuitos, contra contactos directos, o contra sobrecargas entre otros.

Los inversores están preparados para operar en unas condiciones ambientales de entre 0 y 40 °C y una humedad relativa de entre 0 y 85 %.

4.2.2.2. Tipos de inversores.

- Los inversores de onda cuadrada son los más económicos. Se basan en una rectificación (chopear) muy simple de la onda de corriente continua de entrada, con muy poca modulación o filtrado. La onda resultante tiene un gran contenido en armónicos no deseados. La distorsión armónica total (THD) es bastante elevada, en torno al 40%, y su rendimiento es bajo, en torno al 50-60%.
- Los inversores de onda semi-senoidal o quasi-senoidal presentan una THD del 20% y sus rendimientos son mayores del 90%.
- Los inversores senoidales tienen un cuidadoso filtrado de la señal generada. En general son la mejor opción para la alimentación de cargas AC. [85]



Figura 50. Inversor DC-AC. Fuente: www.areatecnologia.com

El inversor es un elemento imprescindible en las instalaciones conectadas a red y está presente en la mayoría de las instalaciones aisladas, sobre todo en aquellas destinadas a la electrificación de viviendas.

La misión del inversor en las instalaciones autónomas es proporcionar una corriente alterna como la de la red eléctrica, con el fin de que se puedan conectar a la misma receptores utilizados habitualmente en las viviendas. En este caso, las variaciones que puede sufrir la corriente no tienen tanta importancia como las instalaciones conectadas a la red. Es decir, en las plantas aisladas, los inversores deben ser capaces de proporcionar una tensión en el lado CA lo más constante posible dentro de la variabilidad de la producción del generador y de la demanda de carga.

En el caso de las instalaciones conectadas a red, el inversor debe proporcionar una corriente alterna que sea de las mismas características de la red eléctrica a la que está conectado, tanto en forma (senoidal), en valor eficaz (230 V) y sobre todo en frecuencia (50 Hz). En este caso, prácticamente no se permiten variaciones, con el fin de evitar perturbaciones sobre la red eléctrica de distribución. Por lo que, en las plantas conectadas a la red, los inversores deben reproducir, lo más fielmente posible, la tensión de red y al mismo tiempo deben intentar optimizar y maximizar la energía de salida de los paneles FV.

4.2.2.3. Selección y conexión del inversor.

La selección del inversor y de su tamaño se hace según la potencia nominal FV que deba gestionar. El tamaño del inversor puede determinarse partiendo de un valor de 0,8 a 0,9 para la relación entre la potencia activa inyectada a la red y la potencia nominal del generador FV. Esta relación considera la pérdida de potencia de los módulos FV en condiciones de funcionamiento reales (temperatura de trabajo, caídas de tensión en las conexiones eléctricas, etc.) y la eficiencia del inversor. También depende de los métodos de instalación de los módulos (latitud, inclinación, temperatura ambiente...) que pueden hacer variar la potencia generada. Por ello, el inversor está equipado con una limitación automática de la potencia suministrada para resolver situaciones en las que la potencia generada es mayor de lo normal.

Entre las características para el dimensionado correcto del inversor, deben considerarse las siguientes:

- Lado CC.
 - Potencia nominal y potencia máxima
 - Tensión nominal y tensión máxima admisible
 - Campo de variación de la tensión MPPT en condiciones de funcionamiento estándar.
- Lado CA.
 - potencia nominal y potencia máxima que el grupo de conversión puede suministrar de manera continua, así como el campo de temperatura ambiente al que puede suministrarse esa potencia.
 - Intensidad nominal entregada.
 - Intensidad suministrada máxima que permite el cálculo de la contribución de la planta FV a la intensidad de cortocircuito.
 - Tensión máxima y distorsión del factor de potencia.
 - Eficiencia de conversión máxima.
 - Eficiencia con una carga parcial y al 100% de la potencia nominal.

Además, es necesario evaluar los valores asignados de tensión y frecuencia en la salida y de la tensión a la entrada del inversor.

4.2.3. Acumuladores de carga.

El acumulador o batería es un dispositivo capaz de transformar una energía potencial química en energía eléctrica. Se compone esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen las reacciones químicas en los procesos de carga o descarga.

Las baterías son recargadas desde la electricidad producida por los paneles solares, a través de un regulador de carga pudiendo entregar su energía a la salida de la instalación, donde será consumida.

Este elemento se hace necesario en una instalación fotovoltaica por el hecho de que no es una energía constante, sino que presenta variaciones (días con mayor nubosidad, los periodos nocturnos, invierno).

La misión principal del acumulador dentro de un sistema solar fotovoltaico consiste en suministrar energía tal y como es demandada por la carga, independientemente de la producción eléctrica del panel en ese preciso momento. También tiene la función de poder alimentar a la carga durante varios días, cuando la producción del panel es baja debido a las condiciones meteorológicas adversas. [80], [81]

4.2.3.1. *Parámetros principales.*

Uno de los parámetros más importantes para tener en cuenta a la hora de elegir una batería es su capacidad. La capacidad de un acumulador se mide en amperios-hora (Ah), para un determinado tiempo de descarga, y se define como la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado, siendo el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que ésta actúa. [76], [81]

$$C = t * I \text{ (Ah)} \quad (7)$$

C= capacidad (Ah); t= tiempo (h); I= intensidad de descarga (A)

Además de la capacidad, se deben tener en cuenta otros factores en los acumuladores utilizados para instalaciones fotovoltaicas.

- **Temperatura del entorno.**

A la hora de elegir los acumuladores, es importante tener en cuenta el efecto de la temperatura sobre los mismos. La capacidad aumenta a medida que sube la temperatura, y al revés, disminuye cuando baja la temperatura del lugar donde se encuentra ubicado. Se debe elegir un acumulador de capacidad mayor que la calculada en el dimensionado de la instalación en el caso de que la ubicación donde se vaya a instalar pueda estar a temperaturas de 0 °C, con el fin de que no haya problemas en su funcionamiento.

- **Eficiencia de carga.**

Es la relación entre la energía utilizada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Es recomendable que el valor sea lo más alto posible, cerca del 100 %, esto indica que toda la energía utilizada para la recarga es factible de ser empleada en la salida de la instalación. Si la eficiencia es baja, será necesario aumentar el número de paneles solares para obtener los resultados deseados.

- **Profundidad de descarga.**

Es la cantidad de energía que se obtiene de la batería durante una determinada descarga partiendo del acumulador totalmente cargado. Si los ciclos de descargas son cortos (20 % por ejemplo) la duración del acumulador será mayor que si se les somete a descargas profundas (80 %), por lo que afectará a la vida útil del acumulador.

4.2.3.2. Características de las baterías

Al acumulador que ha de ser usado para aplicaciones solares se le debe exigir el cumplimiento de unas condiciones básicas, como son: [80]

- Aceptar todas las corrientes de carga que suministre el panel solar.
- Mantenimiento nulo o mínimo.
- Fácil transporte e instalación.
- Bajo nivel de auto descarga
- Rendimiento elevado.
- Vida útil alta.

4.2.3.3. Tipos de acumuladores o baterías para instalaciones fotovoltaicas.

Se encuentran diferentes tipos de baterías en el mercado, pero fundamentalmente se pueden hacer dos grandes grupos: las de níquel-cadmio (Ni-Cd) y las de plomo-ácido. Las primeras presentan unas cualidades excepcionales, pero debido a su elevado precio se usan con menos frecuencia.

Por el contrario, las baterías de plomo-ácido en sus diferentes versiones son las más usadas para las aplicaciones solares, adaptándose a cualquier corriente de carga y teniendo un

precio razonable. Dentro de este tipo se pueden encontrar diferentes modelos en la tabla 24.

Tabla 24. Características de diferentes modelos de baterías de plomo-acido. Fuente: 2008.

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. 	

En las instalaciones en las que se tenga descargas profundas, es recomendable elegir baterías tubulares estacionarias, así como en las instalaciones en las que se necesite una capacidad elevada, como en las instalaciones autónomas de viviendas.

Si la instalación solar es de pequeña dimensión, o de muy difícil mantenimiento, se debe elegir baterías de gel, vigilando que no se produzcan ciclos de descargas profundos.

4.2.4. El regulador.

Para un correcto funcionamiento de la instalación, hay que instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. El regulador es el dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobredescargas profundas con el fin de alargar la vida útil de ésta.

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

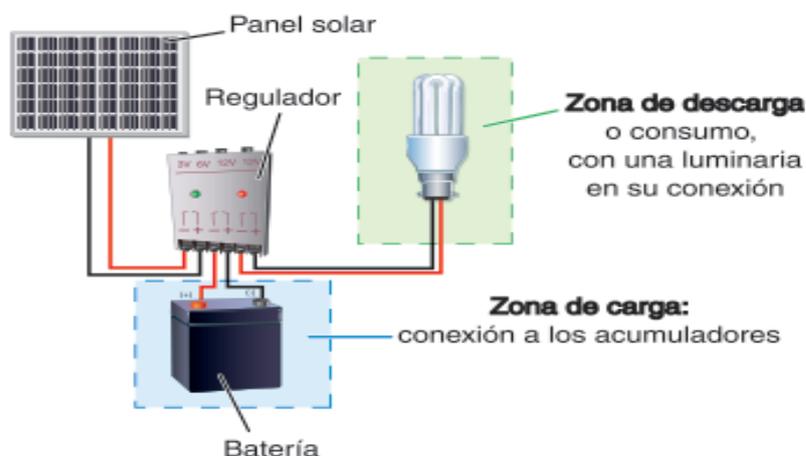


Figura 51. Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica. Fuente: Ramírez, 2008

Por lo que, el objetivo del regulador se centra en evitar que, debido a una sobrecarga excesiva proporcionada por el panel, ya que los módulos solares tienen una tensión nominal mayor que la de la batería, si no existiera regulador se podrían producir sobrecargas perjudicando la vida útil de del acumulador. [81]

En definitiva, el regulador de carga es un equipo capaz de evitar la sobrecarga o descarga del acumulador a la vez que limita la tensión de la batería a unos valores adecuados para el mantenimiento. Esto es sumamente importante, ya que se trabaja con una fuente de energía variable y estacional. [80]

El dimensionado de la instalación solar se realiza de manera que se asegure el suministro de energía en las peores condiciones de luminosidad del sol. Por ello se toman como referencia los valores de irradiación en invierno. Esto puede provocar que en verano la energía aportada por los módulos solares sea en ocasiones casi el doble de los cálculos estimados, por lo que, si no se conecta el regulador entre los paneles y las baterías, el exceso de corriente podría llegar incluso a hacer hervir el electrolito de los acumuladores.

Hay que tener en cuenta que toda la energía que se genera mayor a la energía que es posible inyectar en la batería se pierde por efecto Joule, en forma de calor en el regulador.

4.2.4.1. *Estados de un regulador de carga.*

Existen tres estados de carga posibles.

- **Fase Bulk o de igualación.**

En esta fase la batería esta descargada y toda la corriente producida por los paneles solares fotovoltaicos es inyectada en las baterías, aumentando la tensión en el campo de las baterías medida que estas se van llenando.

- **Fase absorción.**

Cuando la tensión de la batería alcanza la tensión de absorción, el regulador de carga solar se encarga básicamente de mantener la tensión ligeramente por debajo de dicho valor y reduce la corriente paulatinamente hasta que la batería ha alcanzado un nivel de carga próximo al 90% de su capacidad, en la siguiente fase se completa la carga.

- **Fase de Flotación:**

Tras la fase de absorción el regulador de carga solar alcanza la fase de flotación (generalmente 13,5 V). Una vez alcanzado el valor de voltaje de plena carga de la batería, el regulador inyecta una corriente pequeña para mantenerla a plena carga, la corriente de flotación. Esta corriente se encarga por tanto de mantener la batería a plena carga y cuando no se consume energía se emplea en compensar la autodescarga de las baterías. [76], [86]

4.2.4.2. *Tipos de reguladores de carga.*

Según como se efectúe la regulación de la carga de la batería los reguladores se clasifican en: reguladores PWM (Modulación por anchura de pulsos) y reguladores MPPT (Seguidor del Punto de Máxima Potencia).

- **Regulador de carga PWM.**

Fueron los primeros reguladores de carga que aparecieron en el mercado. Es un regulador de carga sencillo que actúa como un interruptor entre los paneles solares fotovoltaicos y la batería. Cuando los paneles fotovoltaicos están conectados a un

regulador de carga solar PWM estos están forzados a trabajar a la tensión de la batería esto provoca pérdidas de rendimiento respecto al punto de máxima potencia (MPP) de los paneles fotovoltaicos. En cuanto se llega a la fase de absorción de la batería, el regulador de carga solar empieza a cortar parte de la posible producción de los paneles fotovoltaicos, modificando la anchura de los pulsos, es decir cortando muchas veces por segundo el contacto entre los paneles fotovoltaicos y la batería, para que no se sobrecargue la batería. [86]

Las ventajas de este tipo de regulador de carga solar son la sencillez, su reducido peso y el precio. La desventaja principal es la pérdida de rendimiento con respecto a un regulador de carga MPPT. Son una solución ideal para sistemas fotovoltaicos más pequeños donde el precio puede ser un punto crítico o donde la eficiencia máxima y la potencia adicional no son realmente necesarias. [87]

- **Regulador de carga solar MPPT**

Un regulador de carga solar MPPT lleva incorporado un seguidor de punto de máxima potencia y un convertidor CC-CC (transformador de corriente continua de más alta tensión a corriente continua de más baja tensión para alargar la carga de la batería). El MPPT se encarga de trabajar en la entrada de los paneles fotovoltaicos a la tensión más conveniente, con el fin de obtener la máxima potencia o para limitar la potencia en fase de “absorción” y “flotación”.

Este tipo de regulador tiene un rendimiento superior a los PWM, aproximadamente un 30 % más. Además, permite trabajar a mayor tensión en el campo fotovoltaico disminuyendo caídas de tensión respectivamente permitiendo emplear cables de menor sección. En la actualidad son los reguladores más usados en las instalaciones fotovoltaicas. [86]

Según forma de conmutación con la batería, existen dos tipos de sistemas de regulación: en serie y en paralelo.

- **Reguladores en Serie.**

Este tipo de reguladores basan su funcionamiento en la interrupción de la corriente hacia la batería, en función de su voltaje. El grupo solar se desconecta del sistema de baterías

cuando se logra un estado de plena carga, por lo que es equivalente a un interruptor conectado en serie que proporciona una vía de baja resistencia desde el grupo solar al sistema de baterías durante la carga, y un circuito abierto entre el grupo y la batería cuando ésta se encuentra plenamente cargada. [80]

Gracias a las tecnologías actuales, este interruptor es progresivo, por lo que se puede mandar para poder tener diferentes niveles de carga. Se conectan en serie entre los paneles y la batería y, como no disipan calor, pueden ser más bien pequeños y pueden ir montados en lugares cerrados si fuera necesario. [88]

La calidad de un regulador en serie está ligada a la calidad del relé que utiliza, que es lo que dará una vida útil prolongada al equipo. Los reguladores serie utilizados hoy en día para el control de carga de la batería de acumuladores aseguran un eficaz trabajo y una mayor vida útil de los sistemas fotovoltaicos. En la medida que el sistema de regulación realice fases de carga diferenciadas, se puede asegurar un mayor y mejor nivel de carga. [80]

- **Reguladores en paralelo (shunt)**

Los dispositivos de este tipo, colocados en paralelo con el grupo solar y el sistema de baterías, detectan la tensión de los bornes de la batería, y cuando ese potencial alcanza un valor establecido de antemano, crean una vía de baja resistencia a través del grupo solar, derivando con ello la corriente y apartándola de las baterías. [88]

Los reguladores del tipo shunt han de disipar toda la corriente de salida del grupo solar cuando el sistema de baterías alcanza el estado de plena carga. Esto resulta una tarea razonable cuando los sistemas eléctricos solares son pequeños, pero con los grandes sistemas se requieren disipadores térmicos de grandes dimensiones o disipadores menores múltiples, lo que conduce a problemas de fiabilidad y de coste elevado. Todo esto hace que los controles paralelos sean menos eficientes que la versión en serie y están en desuso hoy en día. [76]

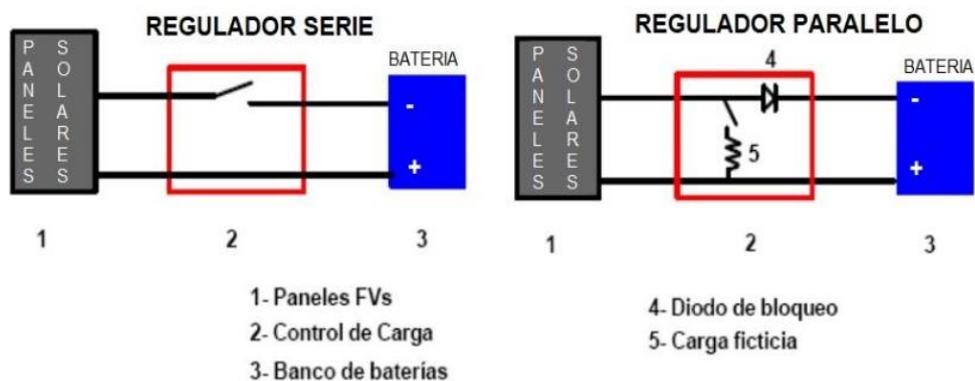


Figura 52. Esquema de regulador de carga en serie y en paralelo. Fuente: www.areatecnologia.com

4.2.4.3. Características esenciales de los reguladores de carga.

- Indicadores de estado y señalizadores habituales.

Los reguladores albergan indicadores que avisan de la desconexión del consumo por baja tensión, lo que indicaría una situación de descarga del acumulador próxima del 70 % de su capacidad nominal. Si la tensión de la batería disminuye por debajo del valor de la alarma durante más de 10 segundos aproximadamente se desconecta el consumo. Entonces el regulador vuelve a la fase de igualación y el consumo se restaurará cuando la batería alcance aproximadamente media carga. Normalmente se incluye una señal acústica para señalar el estado de batería baja.

Además, tendrá indicadores de fase de carga, así como indicadores de sobrecarga o cortocircuito.

- Protecciones.

Un regulador debe tener protecciones contra sobrecarga temporizada en consumo, contra sobretensiones en paneles, baterías y consumo y contra la desconexión de la batería.

4.3. Producción de energía.

La energía eléctrica que puede producir una instalación FV anualmente depende principalmente de: la disponibilidad de radiación solar; la orientación e inclinación de los módulos; la eficiencia de la instalación FV. [77]

4.3.1. Disponibilidad de la radiación solar.

En el diseño de sistemas fotovoltaicos los valores medios mensuales de la irradiación global horizontal diaria constituyen una información suficiente para determinar la potencia instalada en la planta y la energía producida por la misma.

Dado que la radiación solar es variable en el tiempo, para calcular la energía eléctrica que puede producir la planta en un intervalo de tiempo fijo se considera la radiación relativa a ese intervalo, asumiendo que los rendimientos de los módulos son proporcionales a la insolación. Estos datos se pueden obtener de:

- El Atlas de Radiación Solar Europeo.
- El Atlas de Radiación Solar de España.
- Los Informes de coyuntura realizados por el Ministerio de Medio Ambiente

Para asegurar el suministro de electricidad durante todo el año la instalación se dimensionará para el valor de irradiación más desfavorable, que será el valor para el que se necesita más potencia. Así se asegura cubrir la demanda durante todo el año.

4.3.2. Inclinación y orientación de los paneles FV

La eficiencia máxima de un panel solar se obtendría si el ángulo de incidencia de los rayos solares fuera siempre de 90° . En la práctica la incidencia de la radiación solar varía tanto en función de la latitud como de la declinación solar durante el año.

Dado que el eje de rotación terrestre está inclinado unos $23,45^\circ$ respecto al plano de la órbita terrestre alrededor del Sol, a una latitud definida la altura del Sol en el horizonte cambia diariamente. El Sol está posicionado en un ángulo de incidencia de 90° respecto a

la superficie terrestre (cénit) en el ecuador los dos días de equinoccio y en los trópicos durante los solsticios. [75]

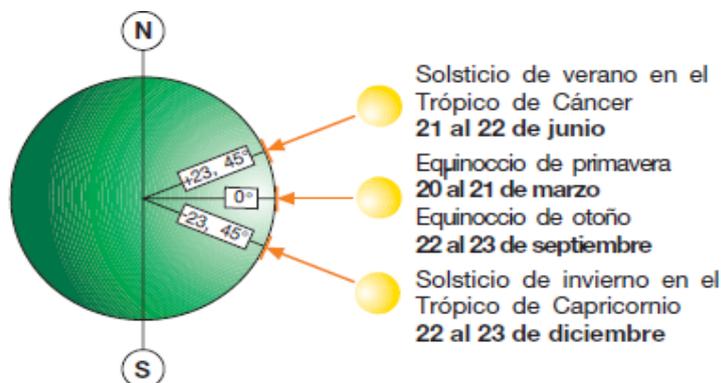


Figura 53. Posición del Sol con respecto a la Tierra según estación del año. Fuente: ABB, 2011.

Para determinar la orientación óptima de los paneles año es necesario conocer la altura máxima (en grados) que alcanza el Sol sobre el horizonte en el instante en que los paneles reciban los rayos solares perpendicularmente al mediodía del día más largo del año. Se obtiene con la siguiente expresión.

$$\alpha = 90^\circ - lat. + \delta \quad (9)$$

Lat.= valor en grados de la latitud del lugar de instalación de los paneles

δ = ángulo de la declinación solar [23,45°]

Al hallar el ángulo complementario de α ($90^\circ - \alpha$) se puede obtener el ángulo de inclinación β de los paneles respecto al plano horizontal. Se obtienen buenos resultados mediante colectores con orientación sureste o suroeste con una desviación respecto al sur de hasta 45°.

En cubiertas de dos aguas, el ángulo de inclinación queda determinado por la propia inclinación del tejado según lo indicado en el CTE H5 (Código Técnico de la Edificación). [89]

Sin embargo, es necesario considerar también la trayectoria solar por el cielo en las diferentes épocas del año, por lo que el ángulo de inclinación debería calcularse teniendo en cuenta todos los días del año.

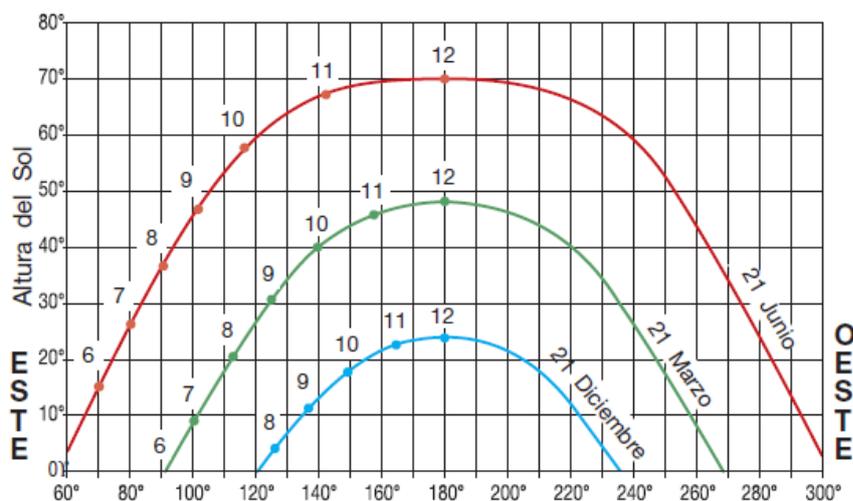


Figura 54. Recorrido del Sol a 45° de latitud norte. Fuente: ABB, 2011.

La orientación de los paneles puede indicarse con el *ángulo azimut* (γ) de desviación respecto a la dirección óptima hacia el sur (para localizaciones en el hemisferio norte) o hacia el norte (en el hemisferio sur). Los valores positivos de los ángulos azimut muestran una orientación hacia el oeste, mientras que los negativos indican que la orientación es hacia el este.

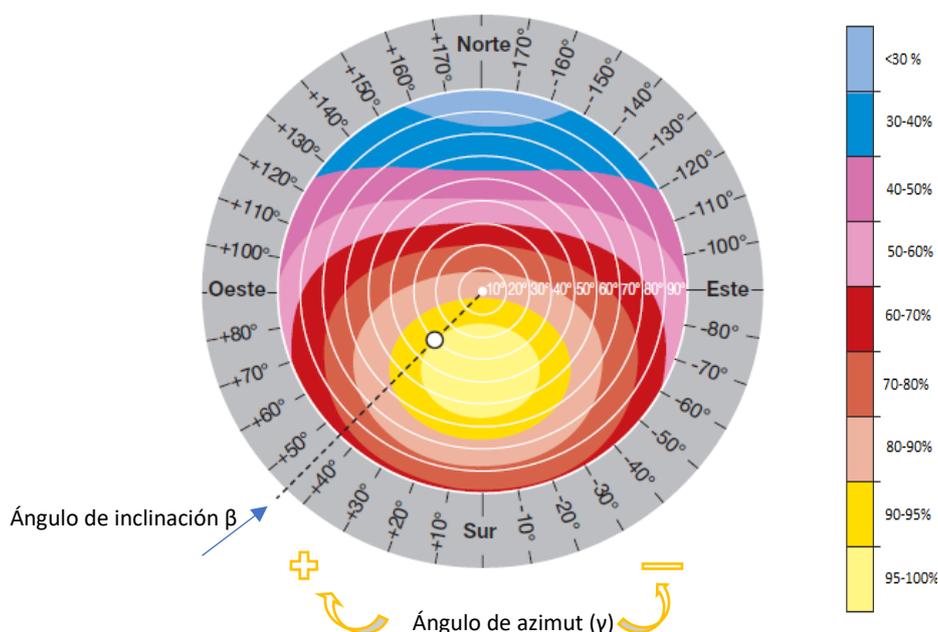


Figura 55. Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación. Fuente: ABB, 2011

Para una primera evaluación de la capacidad de producción anual de electricidad de una instalación FV, en general es suficiente con aplicar a la radiación media mensual o anual sobre el plano horizontal, los coeficientes de corrección (k) para cada latitud y cada país. [77]

LATITUD = 28°												
Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,05	1,04	1,03	1,01	1	1	1	1,02	1,03	1,05	1,06	1,06
10	1,1	1,08	1,05	1,02	1	0,99	1	1,02	1,06	1,1	1,12	1,12
15	1,14	1,11	1,07	1,02	0,99	0,98	0,99	1,03	1,08	1,13	1,17	1,17
20	1,17	1,13	1,08	1,02	0,97	0,95	0,97	1,02	1,09	1,16	1,21	1,21
25	1,2	1,15	1,08	1	0,95	0,93	0,95	1,01	1,09	1,19	1,25	1,24
30	1,22	1,15	1,07	0,98	0,92	0,89	0,92	0,99	1,09	1,2	1,27	1,27
35	1,23	1,16	1,06	0,96	0,88	0,85	0,88	0,96	1,08	1,21	1,29	1,29
40	1,24	1,15	1,04	0,92	0,84	0,8	0,84	0,93	1,06	1,21	1,3	1,3
45	1,23	1,14	1,01	0,89	0,79	0,75	0,79	0,89	1,04	1,2	1,3	1,3
50	1,22	1,12	0,98	0,84	0,73	0,69	0,73	0,84	1	1,18	1,3	1,3
55	1,2	1,09	0,94	0,79	0,68	0,63	0,67	0,79	0,96	1,15	1,28	1,28
60	1,18	1,05	0,9	0,73	0,61	0,57	0,61	0,73	0,92	1,12	1,26	1,26
65	1,14	1,01	0,85	0,67	0,55	0,5	0,54	0,67	0,86	1,08	1,22	1,23
70	1,1	0,97	0,79	0,61	0,48	0,42	0,47	0,6	0,81	1,03	1,18	1,19
75	1,06	0,91	0,73	0,54	0,4	0,35	0,39	0,53	0,74	0,97	1,14	1,15
80	1	0,86	0,66	0,47	0,33	0,27	0,32	0,46	0,67	0,91	1,08	1,1
85	0,94	0,79	0,59	0,39	0,25	0,19	0,24	0,38	0,6	0,84	1,02	1,04
90	0,88	0,72	0,52	0,32	0,17	0,11	0,16	0,31	0,53	0,77	0,95	0,98

Figura 56. Factor de corrección k para España y latitud de 28°. Fuente: Censolar.

4.3.3. Eficiencia de la instalación FV.

Los factores principales que afectan a la energía eléctrica producida por una instalación FV son: la irradiancia; la temperatura de los módulos; sombreado.

4.3.3.1. Irradiancia.

Si la irradiancia incidente desciende la corriente FV generada disminuye proporcionalmente, mientras que la variación de la tensión sin carga es mínima.

La eficiencia de conversión no se ve afectada por la variación de la irradiancia dentro del intervalo de operación estándar de las células, lo que significa que la eficiencia de conversión es la misma en un día claro y en otro nublado. Por lo que, la reducción en la energía generada con un cielo nublado se debe a una menor generación de la intensidad causada por la menor irradiancia solar.

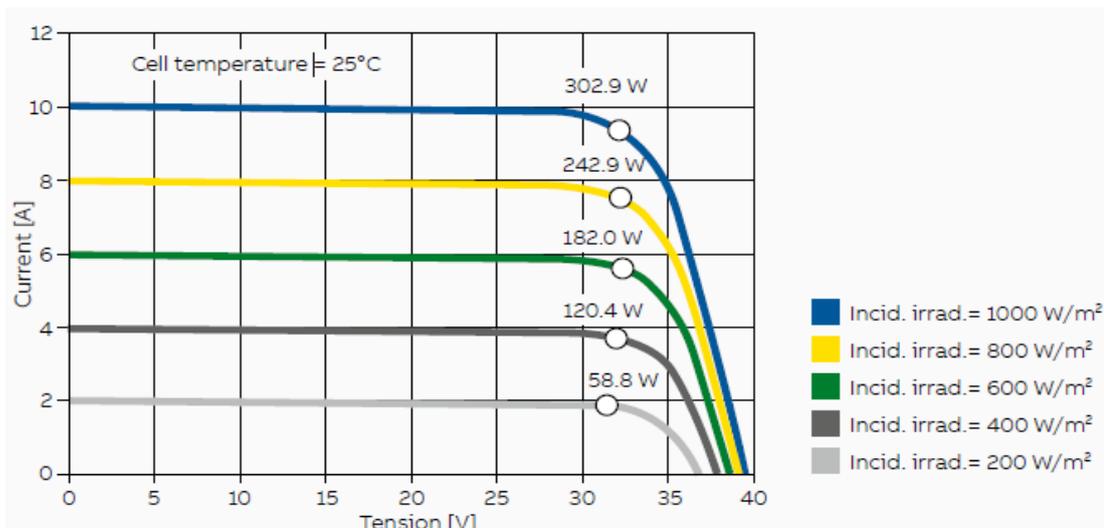


Figura 57. Curva característica V-I de la célula FV en función de la irradiancia incidente. Fuente: ABB, 2019.

4.3.3.2. Temperatura de los módulos.

Un aumento de la temperatura de los módulos FV la intensidad producida permanece prácticamente inalterada, mientras que la tensión disminuye y con ello se produce una reducción en los rendimientos de los paneles en términos de electricidad producida.

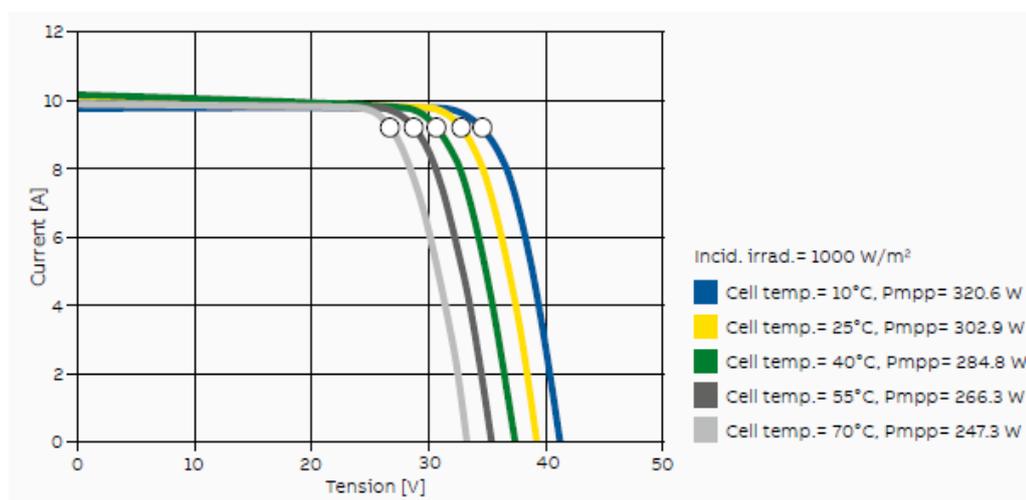


Figura 58. Curva característica V-I de la célula FV en función de la temperatura incidente. Fuente: ABB, 2019.

Para evitar una reducción excesiva del rendimiento conviene tener bajo control la temperatura de funcionamiento, manteniendo los paneles bien ventilados para limitar las variaciones de temperatura en los mismos.

4.3.3.3. Sombreado.

Considerando el área ocupada por los módulos de una planta FV, es posible que sobre parte de ellos se proyecte la sombra de árboles, hojas caídas, chimeneas, nubes o paneles FV instalados cerca.

A la sombra, una célula FV constituida por una unión P-N deja de producir energía y se convierte en una carga pasiva. La célula se comporta como un diodo que bloquea la intensidad producida por el resto de las células conectadas en serie, poniendo en peligro toda la producción del módulo. Además, el diodo depende de la tensión del resto de células y esto puede causar la perforación de la unión por un sobrecalentamiento localizado y daños al módulo.

Para evitar que el sombreado en una o varias células ponga en peligro la producción de toda una cadena, se insertan en el módulo algunos diodos de derivación (bypass) que conectan las partes del módulo dañadas o en sombra. De esta forma se garantiza el funcionamiento del módulo aunque se reduzca su eficiencia. En teoría sería necesario insertar un diodo de bypass en paralelo con cada célula individual, pero esto supone un sobre coste que afectaría negativamente a la relación coste/beneficio. Por lo tanto, generalmente se instalan de 2 a 6 diodos de derivación para cada módulo, dependiendo del número de celdas del módulo FV y el diseño de interconexión

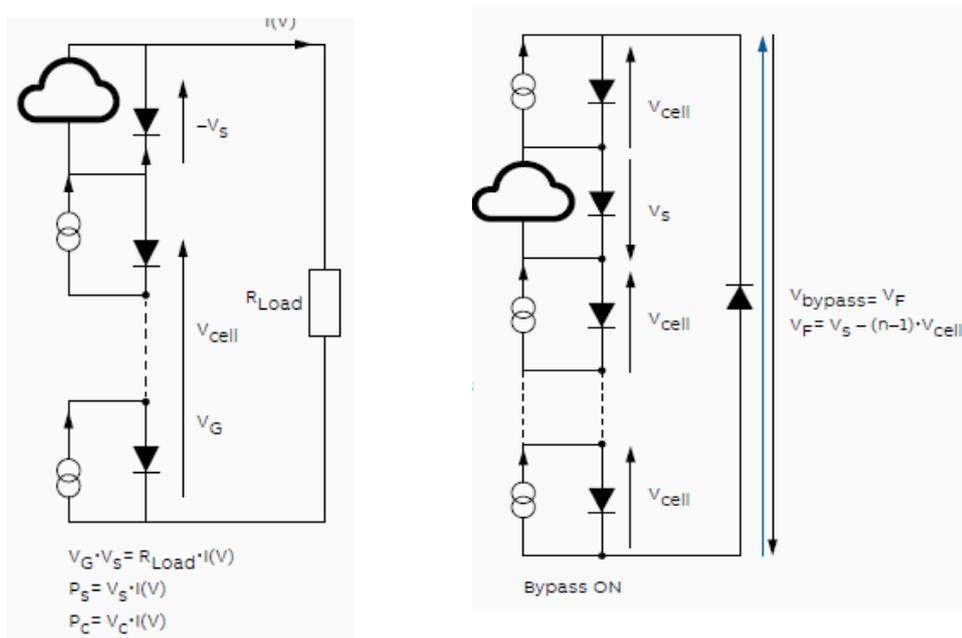


Figura 59. esquema comparativo módulo FV sin y con bypass. Fuente: ABB, 2019.

4.4. Marco legal.

La legislación existente en España relativa a los sistemas de generación eléctrica renovable y, en concreto, a las instalaciones fotovoltaicas es muy extensa y compleja. Dependiendo de si la instalación está conectada a la red eléctrica o no, la normativa vigente impone una serie de derechos y obligaciones diferente. [90]

Independientemente del tipo de instalación que se vaya a implantar, se debe conocer las principales normas de aplicación de estos sistemas de generación eléctrica renovable, los cuales se exponen a continuación:

- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- Real Decreto 195/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.
- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- Real Decreto Ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.
- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.

Si la instalación es un sistema fotovoltaico aislado de la red (SFA), esta se considera como una instalación generadora aislada de baja tensión. Los SFA deben cumplir simplemente con el RD 842/2002 donde se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), en concreto con ITC-BT-40.

En cuanto a los sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR), la legislación aplicable es bastante más complicada que las de los SFA y clasifica las instalaciones dependiendo de si

tienen consumos eléctricos asociados y se ubican próximos a estos (autoconsumo) o sin están diseñadas exclusivamente para inyectar energía eléctrica a la red (centrales fotovoltaicas).

Las normas de aplicación para los sistemas de autoconsumo son el RDL 15/2018 y su desarrollo normativo, el RD 244/2019. Estas normas dividen las instalaciones de autoconsumo en dos modalidades: autoconsumo sin excedentes y autoconsumo con excedentes. [11]

Las instalaciones sin excedentes serán aquellas en la que existan dispositivos físicos instalados que impidan la inyección de energía excedentaria a la red de transporte o distribución.

Las instalaciones con excedentes son aquellas instalaciones que puedan además de suministrar energía para autoconsumo, inyectar energía excedentaria en las redes de transporte y distribución. Dentro del mismo, se clasifican en función de si pueden acogerse a compensación o no. Para poder acogerse a la compensación económica deberán cumplir con la condición de proximidad y, además, no superar los 100 kW de potencia nominal. En el caso de que la instalación sea de proximidad pero supere este límite perderá el derecho a la compensación y se regirá principalmente por el RD 1955/2000.

Según el RD 244/2019 del 5 de abril de 2019, que regula las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica, la legalización de las instalaciones de menos de 15 kW de potencia nominal con excedente y compensación se tramita por un procedimiento abreviado, muy sencillo, similar al que siguen las instalaciones de autoconsumo sin excedentes. Además, las instalaciones de baja tensión de autoconsumo deberán cumplir el REBT, mientras que las de media y alta tensión (más de 1.5 kV de CC o más de 1 kV en CA) tendrán que observar las condiciones técnicas expuestas en el RD 1955/2000.

La norma de aplicación en las centrales fotovoltaicas o huertos solares que no son de proximidad es el RD 413/2014. La gran mayoría de centrales fotovoltaicas recientes tienen una potencia de más de 100 kW, por lo que además de lo recogido en el RD 413/2014 son de aplicación las condiciones técnicas que impone el RD 1955/2000.

4.4.1. Normativa Territorial en la Comunidad Autónoma De Canarias.

- Decreto 196/2000, de 16 de octubre. por el que se simplifican los procedimientos administrativos aplicables a instalaciones eléctricas. En el que se dispone que las instalaciones FV con potencia nominal menor a 25 kW quedan exentas de presentar proyecto, bastará con la presentación de una Memoria técnica cuyo contenido se ajustará al modelo indicado como anexo a este Decreto, pudiendo ser dirigidas por instaladores autorizados.
- Orden del 27 de mayo de 2002. En la que se dispone que electrificaciones rurales aisladas con energía solar fotovoltaica, o bien con generadores eólicos o eólico-fotovoltaicos de hasta 10 kW de potencia total. Se subvencionará hasta un 60% de la inversión elegible, con un máximo de 3.000 euros por instalación. Sólo podrán subvencionarse aquellos proyectos de fotovoltaica que supongan una potencia pico superior a 150 W instalados en total.

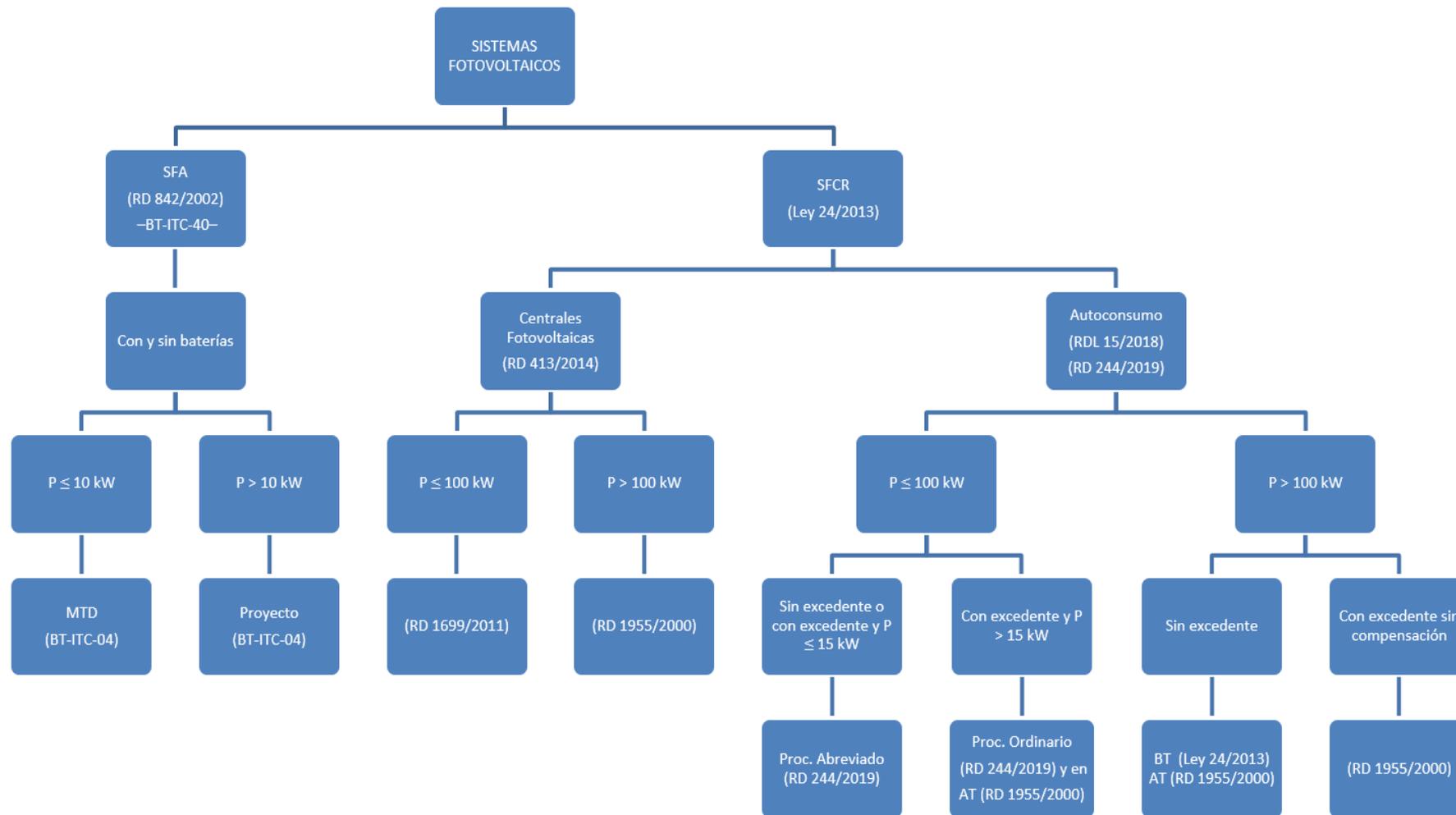


Figura 60. Esquema legislación a aplicar según tipo de instalación. Fuente: Censolar.

Capítulo 5.

FUNDAMENTOS ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

5. Fundamentos de Energía Solar Térmica.

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía procedente del Sol para calentar un fluido, generalmente agua. [91] La capacidad de transformar los rayos solares en calor es, precisamente, el principio elemental en el que se basa esta fuente de energía renovable.

Una instalación solar es un sistema que capta la energía solar, tanto directa como difusa, la almacena y la aplica a usos térmicos, evitando en un porcentaje, el consumo de energías convencionales. [92]

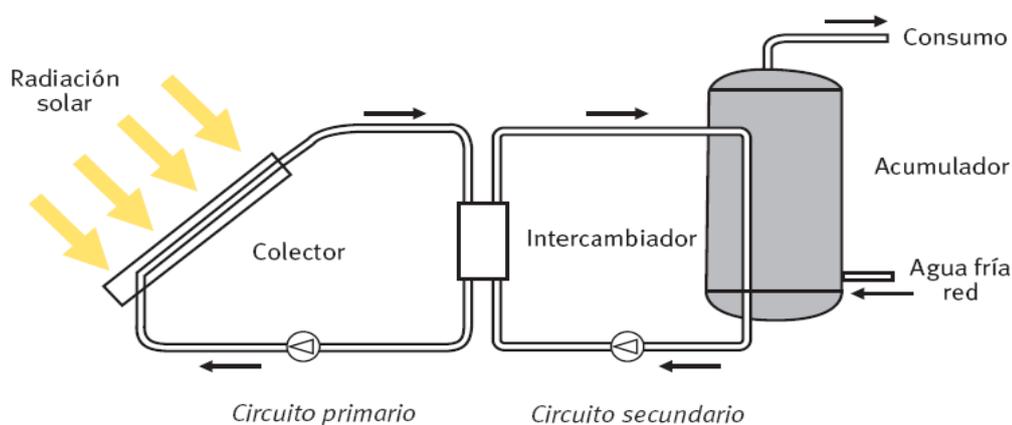


Figura 61. Esquema básico de una instalación solar de baja temperatura. Fuente: IDAE

Una instalación solar térmica tiene presenta una serie de ventaja con respecto a la obtención de energía de forma convencional:

- Reducción del consumo de combustible derivados de fuentes convencionales, lo que supone un ahorro económico. Esta reducción también tiene su efecto positivo en el medio ambiente, ya que se reduce la emisión de gases efecto invernadero. Como término medio, un m² de captador solar térmico es capaz de evitar cada año la emisión a la atmósfera de una tonelada de CO₂.
- Fácil mantenimiento.
- Gran durabilidad. La vida útil de las instalaciones solares térmicas es superior a 25 años.

El principal inconveniente que presenta es que es una fuente de energía que depende de las condiciones de radiación en cada momento. Por lo que es necesario complementarla con otros tipos de energía para asegurar el abastecimiento energético. Además, la energía solar térmica captada no coincide en el tiempo con la demanda de los usuarios por lo que es necesario acumularla: [91]

Esta energía se puede clasificar según la técnica de aprovechamiento en:

- **Baja temperatura.** Consiste en una captación directa. La temperatura alcanzada por el fluido está por debajo de su punto de ebullición (máx. 70 – 80 °C). Se aplica para agua caliente sanitaria (ACS), calefacción y piscinas.
- **Media temperatura.** Captación de bajo índice de concentración. Temperatura del fluido de hasta 400 °C. Aplicaciones para usos industriales.
- **Alta temperatura.** Captación de alto índice de concentración. Temperatura del fluido puede alcanzar 700 – 800 °C). Sistemas de climatización solar. [93]

Las aplicaciones de ACS constituyen el uso más extendido de la energía solar térmica, y desde la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación su instalación es obligatoria en los edificios de nueva construcción o rehabilitaciones. En la actualidad la energía solar térmica ofrece una solución idónea para la producción de agua caliente sanitaria, al ser una alternativa completamente madura y rentable [94]

5.1. Componentes principales de una instalación termoeléctrica.

5.1.1. Sistema de captación.

Los captadores o colectores de energía solar térmica son los encargados de captar la energía térmica de la radiación solar para transformarla en energía térmica, aumentando la temperatura de fluido que circula por la instalación. [92]

Existe una gran cantidad de sistemas de captación de la radiación solar. La elección de un sistema u otro dependerá principalmente de si se trata de instalaciones térmicas solares de baja, media o alta temperatura.

El rendimiento de un captador solar térmico (η) respecto de la radiación incidente, para un instante de funcionamiento dado, se obtiene mediante la siguiente expresión. [95]

$$\eta = a - \frac{b \cdot (T_m - T_0)}{I} \quad (8)$$

a: Parámetro óptico del captador facilitado por el fabricante mediante ensayo de homologación (adimensional).

b: Coeficiente de pérdidas del captador facilitado por el fabricante mediante ensayo de homologación ($W/m^2^{\circ}K$).

I: Radiación solar incidente sobre el captador (W/m^2).

T₀: Temperatura ambiente ($^{\circ}C$)

T_m: Temperatura media del fluido caloportador en el interior del captador ($^{\circ}C$).

$$T_m = \frac{T_s - T_e}{2} \quad (9)$$

T_s: Temperatura del fluido caloportador a la salida del captador ($^{\circ}C$).

T_e: Temperatura del fluido caloportador a la entrada del captador ($^{\circ}C$)

Los principales sistemas de captación solar son:

- **Captador solar plano.**

Se trata del captador solar más extendido en aplicaciones de agua caliente sanitaria (ACS), debido sobre todo a sus buenas prestaciones, simplicidad y reducido coste. Se pueden obtener aumentos de temperatura de 60 grados centígrados a un coste reducido. Se utiliza en plantas solares térmicas de baja temperatura. [94]

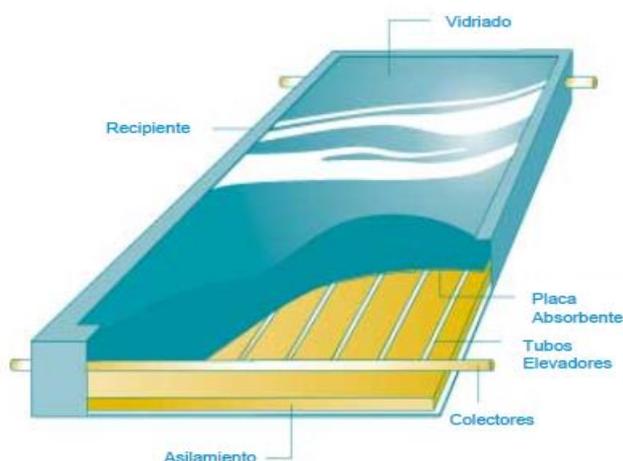


Figura 62. Colector solar plano. Fuente: Garwood, 2005

- **Captador solar no vidriado.**

Es frecuente, por ejemplo, para calentar el agua de piscinas. El aumento de temperatura es bajo, en torno a 30 grados Celsius. Tiene un bajo rendimiento en climas fríos o con viento. Son más económicos que los captadores solares planos. [94]

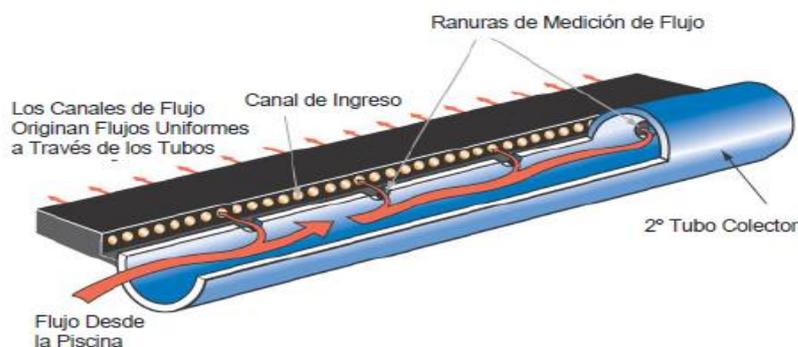


Figura 63. Colector solar no vidriado. Fuente: Garwood, 2005

- **Captador de tubos de vacío.**

Consisten en tubos de metal que recubren el tubo metálico que contiene el fluido de trabajo dejando entre ambos una cámara que actúa como aislante. Tienen un rendimiento muy elevado, pero su costo también es elevado. Con este tipo de colector se evitan las pérdidas por convección y conducción. Los colectores de vacío encuentran su principal aplicación en los sistemas de temperaturas intermedias (calefacción, acondicionamiento de aire, procesos industriales, etc.) y en lugares fríos con diferencias elevadas entre la temperatura del colector y la del ambiente. [96]

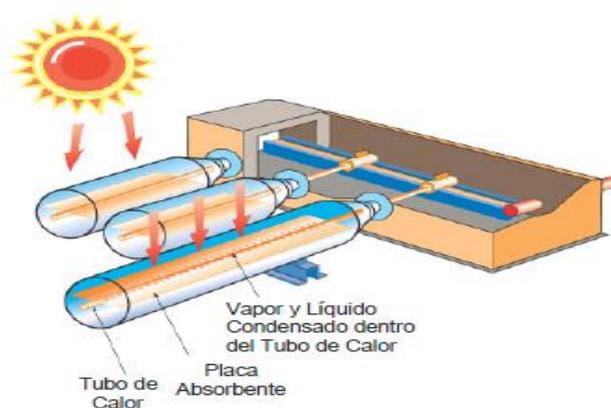


Figura 64. Colector de tubo de vacío. Fuente: Garwood, 2005.

- **Captadores solares con sistemas de concentración de la radiación.**

Utiliza una técnica de concentración de la radiación solar para obtener altas temperaturas. Esta técnica se utiliza en las instalaciones solares de alta y muy alta temperatura. Se utilizan paneles en formas parabólicas o semicilíndricas. [97]

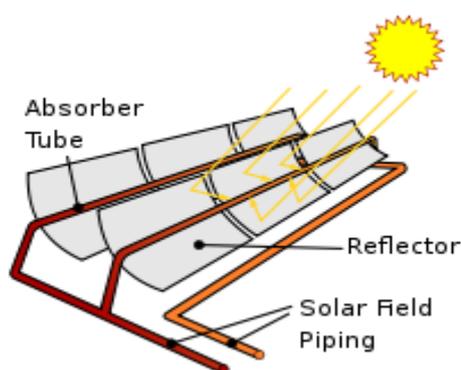


Figura 65. Colector con sistema de concentración de la radiación. Fuente: Garwood, 2005

5.1.2. Sistema de acumulación.

Un sistema de acumulación de energía solar térmica consiste en almacenar la energía calorífica en un depósito de acumulación para su posterior utilización. El agua caliente obtenida mediante el sistema de captación es conducida hasta el sitio donde se va a utilizar.

Debido a que el momento de necesidad de agua caliente no siempre coincide con el momento en el que hay suficiente radiación será necesario aprovechar al máximo las horas de sol para acumular la energía térmica en forma de agua caliente

Normalmente, los materiales empleados para los acumuladores son el acero inoxidable y el acero al carbono con tratamientos interiores a base de vitrificado de simple o doble capa y recubrimientos de resinas epoxi. El acumulador debe ser capaz de admitir temperaturas interiores superiores a 70 °C y disponer de un sistema de protección catódica. Además, los acumuladores deben estar convenientemente aislados para minimizar las pérdidas energéticas al exterior. Las pérdidas de energía ocasionadas por los depósitos de acumulación se pueden estimar entre el 5 y el 10%.

La dimensión de los depósitos de almacenamiento deberá ser proporcional al consumo estimado y debe cubrir la demanda de agua caliente de uno o dos días.

El agua caliente almacenado se puede utilizar directamente, como es el caso del calentamiento del agua de una piscina, en aplicaciones de agua caliente sanitaria o calefacción. [92], [97]

En aplicaciones de agua caliente sanitaria se emplean diferentes tipos de acumuladores, cuyas características se describen a continuación.

- **Depósito acumulador.**

En este caso, el calentamiento del agua acumulada se produce en el exterior del depósito, mediante su recirculación a través de un intercambiador de calor externo.

- **Depósito interacumulador.**

Se trata de un depósito con intercambiador incorporado. El calentamiento y la acumulación del agua se producen en el mismo depósito, que ya incorpora su propio intercambiador. Se pueden distinguir dos tipos de interacumuladores.

- Interacumulador de serpentín. Acumulador de agua caliente cuyo intercambiador de calor está formado por un tubo helicoidal o serpentín, por el interior del cual circula el fluido del circuito de los captadores (circuito primario). Algunos acumuladores pueden disponer de más de un serpentín de calentamiento.
- Interacumulador de doble pared. Acumulador de agua caliente cuyo intercambiador de calor está constituido por una doble envoltura que rodea el depósito, dentro de la cual circula el fluido del circuito de los captadores. [92]



Figura 66. Tipos de acumuladores solares. Belso, 2011.

5.1.3. Sistema de intercambio.

Es necesario hacer pasar otro fluido por el sistema de captación por razones sanitarias y de protección.

Este segundo fluido es agua tratada con anticongelantes que circula por los colectores en un circuito cerrado, al que se denomina circuito primario. Otro circuito, denominado circuito secundario, se encarga de recuperar la energía captada y almacenarla en el sistema de acumulación.

El intercambiador de calor es el elemento que permite efectuar intercambio térmico sin que exista contacto físico entre los fluidos de los dos circuitos. Principalmente se utilizan tres tipos de intercambiadores de calor en las instalaciones térmicas.

- **Intercambiador de placas.**

Es un intercambiador externo al depósito de acumulación. Está compuesto por un gran número de placas unidas entre sí y comprimidas en un bastidor formando un paquete. Este tipo de intercambiador presenta un rendimiento elevado debido a que su superficie de contacto también lo es. Sin embargo, se producen pérdidas de cargas al tener una superficie de paso reducida, lo que hace necesario incorporar dos bombas circuladoras en la instalación. [98]



Figura 67. Partes de un intercambiador de placas. Fuente: www.saincal.com

- **Intercambiador de serpentín.**

Este intercambiador está incorporado al depósito acumulador. El intercambio de calor se realiza a través de la superficie periférica del serpentín, por lo que su capacidad de intercambio aumenta con la sección y la longitud de éste. Sin embargo, la superficie de intercambio resultante es menor que en el intercambiador de placas, también lo es su eficiencia. Por el contrario, la pérdida de carga es menor y tienen un coste inferior a los de placas. [92], [99].

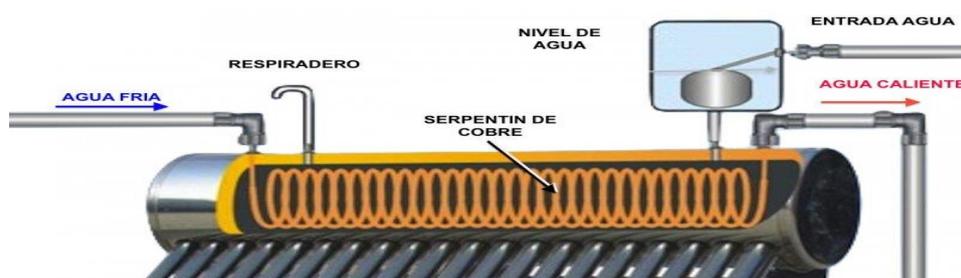


Figura 68. Intercambiador de calor tipo serpentín. Fuente: www.solstac.com

- **Intercambiador de doble envolvente.**

Este intercambiador también está incorporado al depósito acumulador. En este caso, el depósito acumulador dispone de doble envolvente, es decir, que realmente está compuesto por dos depósitos, uno construido dentro del otro.

Así, el fluido caloportador queda rodeando el volumen de almacenamiento del depósito más interior, donde se contiene el fluido a calentar del circuito secundario.

Aunque la superficie de intercambio es elevada, su eficiencia es baja, inferior al de serpentín. La pérdida de carga que se produce en el fluido es baja y su coste de adquisición es el menor de los tres indicados. Son muy utilizados para la preparación de agua caliente sanitaria para uso doméstico. [100],[101]



Figura 69. Intercambiador de calor de doble envolvente. Fuente: www.caloryfrio.com

Se recomienda dimensionar el intercambiador de calor, en función de la aplicación, con las condiciones expresadas en la siguiente tabla. [102]

Tabla 25. Condiciones de temperatura para el intercambiador según aplicación. Fuente: PET-REV, 2019

Aplicación	Temperatura entrada primario	Temperatura salida secundario	Temperatura entrada secundario
Piscinas	50 °C	28 °C	24 °C
Agua caliente sanitaria	60 °C	50 °C	45 °C
Calefacción a baja temperatura	60 °C	50 °C	45 °C
Refrigeración/Calefacción	105 °C	90 °C	75 °C

5.1.4. Sistema de apoyo auxiliar.

Todas las aplicaciones de energía solar requieren de un sistema de apoyo que garantice el abastecimiento de energía en caso de periodos prolongados de ausencia o insuficiencia de radiación solar.

Estos sistemas de apoyo energético pueden ser de diversas fuentes. Si la instalación está conectada a la red se puede aprovechar el suministro eléctrico de la propia compañía eléctrica. En otros casos se pueden utilizar otras fuentes de energía renovable (energía eólica o energía hidráulica si las condiciones lo permiten) o fuentes de energía no renovable. Las fuentes de energía no renovable pueden ser a partir de derivados de combustibles fósiles (petróleo, carbón o gas natural), en algunas instalaciones se utilizan calderas de pellets o de biomasa.

No se permite la conexión de un sistema auxiliar en el acumulador solar, ya que esto puede suponer una disminución de las posibilidades de la instalación solar para proporcionar las prestaciones energéticas que se pretenden obtener con este tipo de instalaciones.

El sistema de apoyo solo entrará en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario y de forma que se aproveche al máximo posible la energía extraída del campo de captación. Podrá ser con acumulación o en línea. [91], [92]

5.1.5. Sistema de distribución.

En este sistema se engloban todos los elementos destinados a la distribución del medio portador de calor y acondicionamiento a consumo: tuberías y conducciones, vasos de expansión, bombas, purgadores, válvulas de seguridad, dispositivos de drenaje, etc. [92]

- **Tuberías.**

El sistema de tuberías y sus materiales deben ser tales que no exista posibilidad de formación de obstrucciones o depósitos de cal para las condiciones de trabajo. Con objeto de evitar pérdidas térmicas, la longitud de tuberías del sistema deberá ser tan corta como

sea posible y evitar al máximo los codos y pérdidas de carga en general. Los tramos horizontales tendrán siempre una pendiente mínima del 1% en el sentido de la circulación.

El aislamiento de las tuberías de intemperie deberá llevar una protección externa que asegure la durabilidad ante las acciones climatológicas admitiéndose revestimientos con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o pinturas acrílicas. El aislamiento no dejará zonas visibles de tuberías o accesorios, quedando únicamente al exterior los elementos que sean necesarios para el buen funcionamiento y operación de los componentes. [89]



Figura 70. Aislamiento con protección exterior. Fuente: Belso, 2011.

- **Bombas.**

Las bombas tienen como función impulsar el fluido por las conducciones y vencer las pérdidas de carga producidas al circular el fluido a través de los distintos elementos (captadores, intercambiadores, válvulas, tuberías, etc.).

Si el circuito de captadores está dotado con una bomba de circulación, la caída de presión se debería mantener aceptablemente baja en todo el circuito. Siempre que sea posible, las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito, teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal. [89], [92]

- **Vasos de expansión.**

Los vasos de expansión preferentemente se conectarán en la aspiración de la bomba. La altura en la que se situarán los vasos de expansión abiertos será tal que asegure el no desbordamiento del fluido y la no introducción de aire en el circuito primario. Su función

es absorber los cambios de volumen que experimenta el fluido por efecto de la dilatación que sufre el mismo al incrementarse su temperatura.[89], [92]

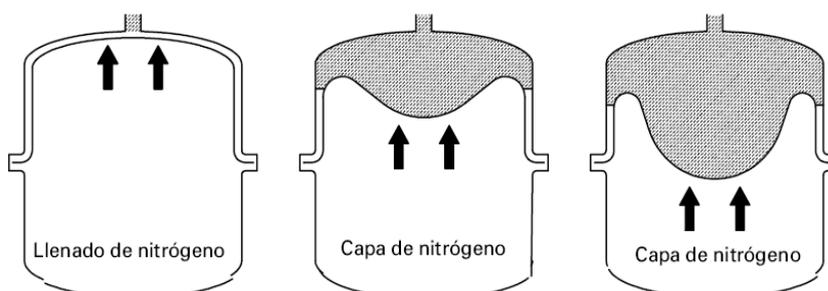


Figura 71. Vaso de expansión. Fuente: Belso, 2011.

- **Purga de aire**

En los puntos altos de la salida de baterías de captadores y en todos aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado, se colocarán sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático. El volumen útil del botellín será superior a 100 cm³. Este volumen podrá disminuirse si se instala a la salida del circuito solar y antes del intercambiador un desaireador con purgador automático. En el caso de utilizar purgadores automáticos, adicionalmente, se colocarán los dispositivos necesarios para la purga manual. [103]

- **Drenaje**

Los conductos de drenaje de las baterías de captadores se diseñarán en lo posible de forma que no puedan congelarse.

5.1.6. Sistema de regulación y control.

El sistema de control asegura el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. Este sistema se encarga del control del correcto funcionamiento de los circuitos y los sistemas de protección y seguridad contra

sobrecalentamientos, heladas, etc. De esta forma evita someter a los equipos a determinadas condiciones extremas que puedan provocar averías.

El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2°C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7 °C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor de 2°C.

También tiene por objetivo optimizar el rendimiento global de la instalación, automatizando la operación de válvulas y bombas. Operará teniendo en función de la complejidad de la instalación, y de la disponibilidad y demanda de energía en cada momento. [102]



Figura 72. Sistema de regulación y control. Fuente: Belso, 2011.

5.2. Tipos de instalaciones solar térmica.

Las instalaciones de energía solar térmica se pueden clasificar en función de diferentes criterios. La elección de una u otra tipología depende de múltiples factores, entre los que se encuentran el tamaño de la instalación, el número de usuarios, el uso que se vaya a hacer de la misma, etc.

A continuación se indican las distintas tipologías existentes y sus principales características funcionales.

5.2.1. Según el principio de circulación del fluido.

En función del principio de circulación del fluido las instalaciones solares pueden ser de circulación natural (o termosifón) o de circulación forzada.

- Instalaciones de circulación natural o termosifón.

Están basadas en que el agua caliente tiene menor densidad que el agua fría. De esta manera, colocando el depósito de acumulación a una altura mayor que los colectores, el agua de los colectores, al calentarse, tenderá a subir.

Este sistema tiene la ventaja de suponer un menor coste de inversión, (se eliminan equipos como bombas, válvulas y elementos de control). Sin embargo es más lento, tiene menor rendimiento y una regulación poco precisa. [92]

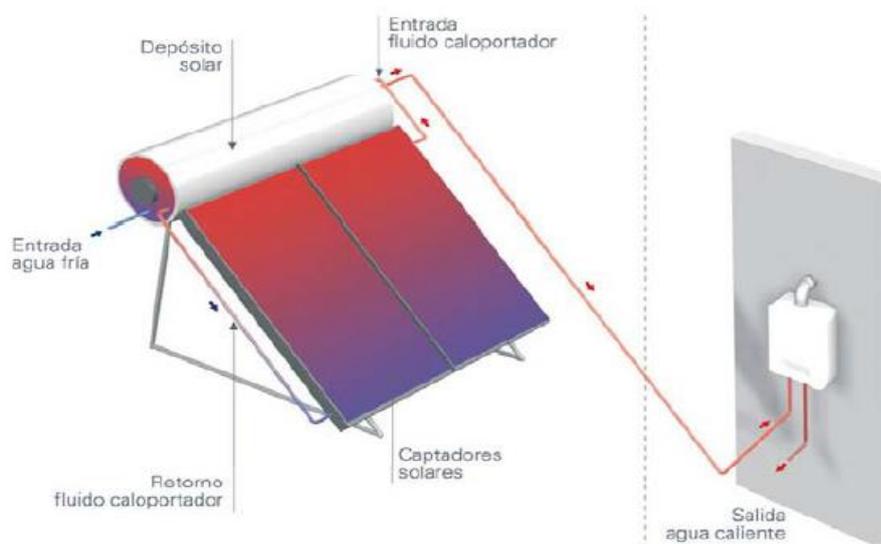


Figura 73. Esquema instalación circulación natural Fuente: Belso, 2011

- **Instalación de circulación forzada.**

En estos casos, la circulación del agua se asegura gracias a una o varias bombas de circulación. Esto sucede cuando los depósitos de acumulación se sitúan en la planta baja del edificio o incluso en su sótano, mientras que el sistema captador se suele situar en la parte más alta. tiene como principal función transferir el fluido circulante más rápidamente, impidiendo así que se pueda perder parte de las calorías ganadas en el proceso de distribución. Se utiliza sobre todo en grandes instalaciones. Esto implica un mayor coste de la instalación.

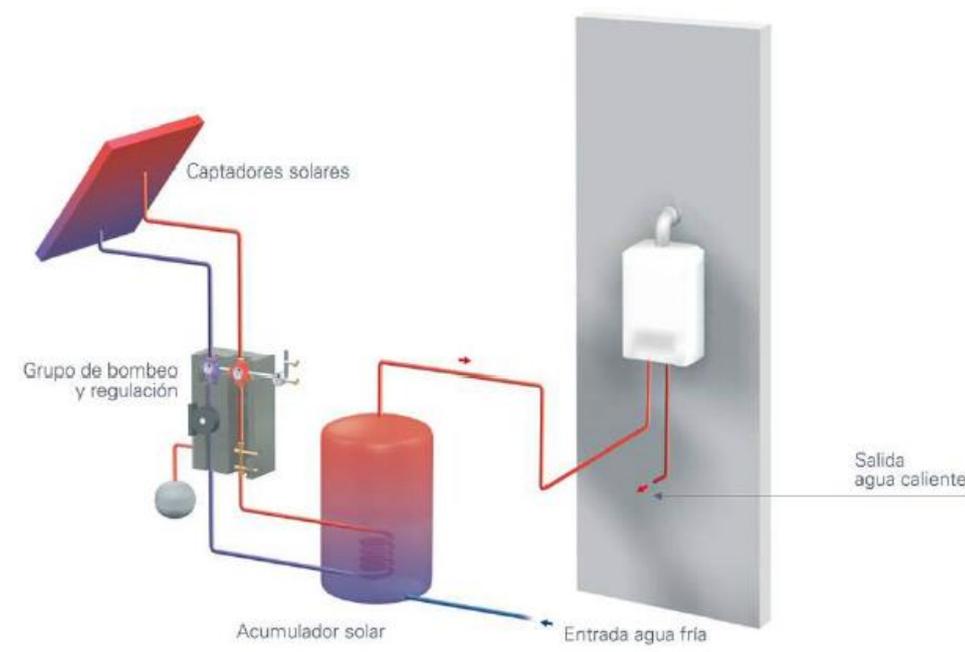


Figura 74. Esquema de instalación con circulación forzada. Fuente: Belso, 2011.

5.2.2. Según sistema de transferencia de calor.

En función del sistema de transferencia de calor las instalaciones solares pueden ser en circuito abierto (sin intercambiador de calor) o en circuito cerrado (con intercambiador de calor).

- **Circuito abierto (sin intercambiador de calor).**

Estos sistemas transfieren directamente el agua caliente producida en el captador solar hacia el depósito de acumulación. El funcionamiento de estos equipos es muy simple:

cuando el captador es calentado por el Sol, el agua aumenta de temperatura desplazándose hacia arriba. Una vez en el depósito de almacenamiento, éste se vacía con una cantidad equivalente de agua más fría que se dirige al captador.

La principal ventaja de los sistemas de estas características es que resultan más económicos, más sencillos de fabricar, de instalar e incluso obtienen mejores rendimientos energéticos. Por el contrario, el principal inconveniente de las instalaciones de circuito abierto es que al utilizar como único fluido de circulación el agua se corre el riesgo de rotura en periodos de heladas o la posibilidad de graves problemas de incrustaciones por la calidad de las aguas. Por este motivo, las instalaciones de circuito abierto son empleadas en lugares donde no se dan heladas a lo largo del año (zonas costeras de países cálidos), o bien en aplicaciones temporales (establecimientos de hostelería de temporada, piscinas descubiertas...). [93]

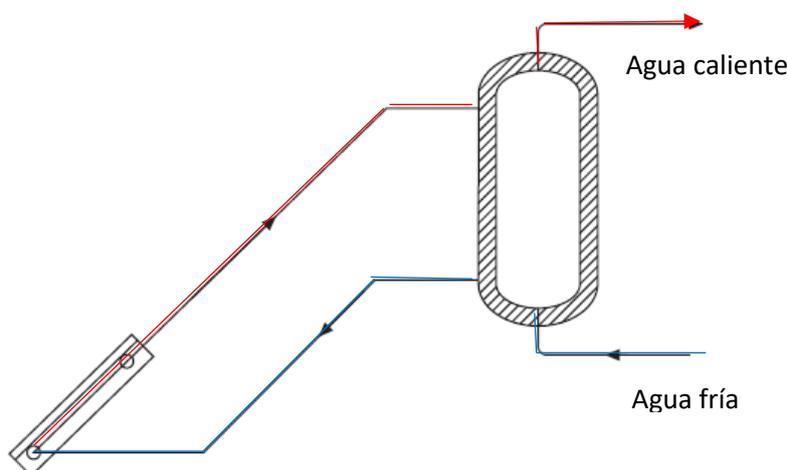


Figura 75. Instalación sin intercambiador de calor. Fuente: Belso, 2011.

- **Circuito cerrado (con intercambiador)**

En este caso existen dos circuitos: el circuito primario del sistema captador y el circuito secundario donde se encuentra el sistema de almacenamiento.

En el circuito primario se introduce anticongelante (agua con glicol) que circula por dentro del captador y transmite calor al agua del tanque de almacenamiento por medio de un intercambiador de calor. Lo que se pretende con el sistema de doble circuito es evitar que el agua del depósito se pueda mezclar con el líquido del captador. Así, es posible colocar

un componente anticongelante que permita su uso en zonas donde las temperaturas bajen de cero grados. [92]

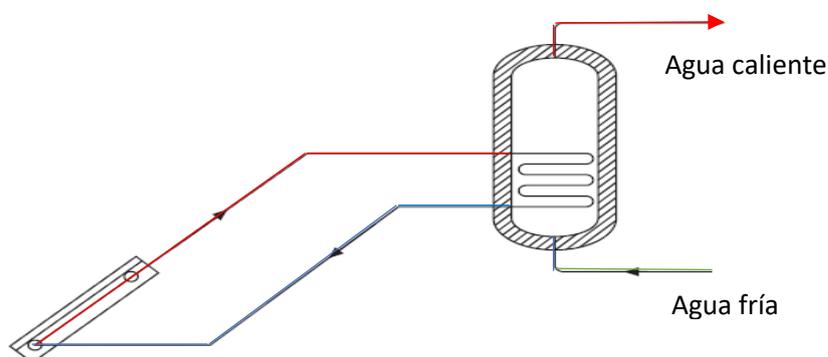


Figura 76. Instalación con intercambiador de calor. Fuente: Belso, 2011.

5.3. Producción de energía.

La energía eléctrica que puede producir una instalación termosolar anualmente depende principalmente de: la disponibilidad de radiación solar; la orientación e inclinación de los módulos; la eficiencia de los captadores.

Para el dimensionado de las instalaciones de energía solar térmica se sugiere el método de las curvas f (f-chart). Permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y de su rendimiento medio en un largo periodo de tiempo.

Este método consiste en la determinación de la fracción solar anual F (cobertura) o porcentaje de la demanda energética que es cubierta por la instalación solar, a partir de dos magnitudes adimensionales D_1 y D_2 de la fórmula siguiente:

$$f = 1.029 \cdot D_1 - 0.065 \cdot D_2 - 0.245 \cdot D_1^2 + 0.0018 \cdot D_2^2 + 0.0215 \cdot D_1^3 \quad (10)$$

Por ser un método iterativo y muy extendido se han desarrollado herramientas webs y programas informáticos en los que solamente hay que introducir un número reducido de parámetros de entrada (datos climáticos, datos de la demanda energética del edificio y algunas características de los componentes de la instalación) para tener el

dimensionamiento de la instalación, siempre teniendo en cuenta sus límites de aplicación. [95], [103]

El procedimiento consta de los siguientes pasos:

- Cálculo de la demanda energética mensual a efectos de producción del agua caliente sanitaria de la edificación
- Elección de la fracción solar anual F.
- Cálculo de la radiación solar mensual incidente sobre la superficie inclinada de colectores
- Cálculo del parámetro D1.
- Cálculo del parámetro D2
- Determinación de la fracción energética mensual f, aportada por el sistema de captación solar.
- Grado de cobertura solar o fracción solar anual F.
- Determinación de la superficie de captación solar.
- Cálculo de la producción solar mensual y anual

- **Demanda energética necesaria.**

En primer lugar, debe calcularse la demanda energética necesaria para la instalación. La demanda energética en instalaciones de agua caliente sanitaria viene dada por el volumen de consumo diario y las temperaturas de preparación y de agua fría.

En instalaciones existentes para las que se disponga de datos de consumo medidos en años anteriores, se utilizarán estos datos previa justificación de los mismos. En caso de no disponer de datos, se utilizarán para el diseño los consumos unitarios expresados en la tabla 26, en la que se ha considerado una temperatura de referencia de 60 °C. [103]

Tabla 26. Demanda de referencia a 60 °C. Fuente: CTE -DB-HE 4

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

En caso de tomar una temperatura de referencia distinta de 60°C (por ejemplo una temperatura cercana a la de consumo, en torno a los 45°C), los valores expresados en la tabla 26 pueden ser fácilmente modificados utilizando la siguiente expresión:

$$D(T) = \sum_{1}^{12} D_i(T) \quad (11)$$

$$D_i(T) = D(60^{\circ}\text{C}) * \left(\frac{60 - T_f}{T - T_f} \right) \quad (12)$$

D(T): Demanda de agua caliente sanitaria anual a la temperatura T elegida

D_i(T): Demanda de agua caliente sanitaria para el mes i a la temperatura T elegida;

D (60°C): Demanda de agua caliente sanitaria para el mes i a la temperatura de 60°C;

T: Temperatura del acumulador final;

T_f: Temperatura media del agua fría en el mes i

Para otros usos se tomarán valores contrastados por la experiencia o recogidos por fuentes de reconocida solvencia.

En el uso de una vivienda residencial el cálculo del número de personas por vivienda deberá hacerse utilizando como valores mínimos los que se relacionan a continuación:

Tabla 27. Cálculo del número de personas por vivienda. Fuente: CTE- DB-HE4

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	más de 7
Número de Personas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº de dormitorios

Para el cálculo posterior de la contribución solar anual, se estimarán las demandas mensuales tomando en consideración el número de unidades (personas, camas, servicios, etc.) correspondientes a la ocupación plena, excepto instalaciones de uso residencial turístico en las que se justifique un perfil de demanda propio originado por ocupaciones parciales.

Adicionalmente se tendrán en cuenta las pérdidas caloríficas en distribución/recirculación del agua a los puntos de consumo.

Para calcular la carga de consumo, se usarán los valores orientativos de temperatura de agua fría extraídos de Censolar aportadas en el anexo II. También se podrán tomar en consideración los indicados en la norma UNE 94002. La utilización de otros datos de temperaturas de agua fría deberá ser justificada indicando la procedencia y proceso de obtención de éstos. [103]

- Elección de la fracción solar F

La fracción solar es el porcentaje que representa la producción energética anual de una instalación solar sobre la demanda anual del edificio. Esta fracción será variable en función de la época del año considerada.

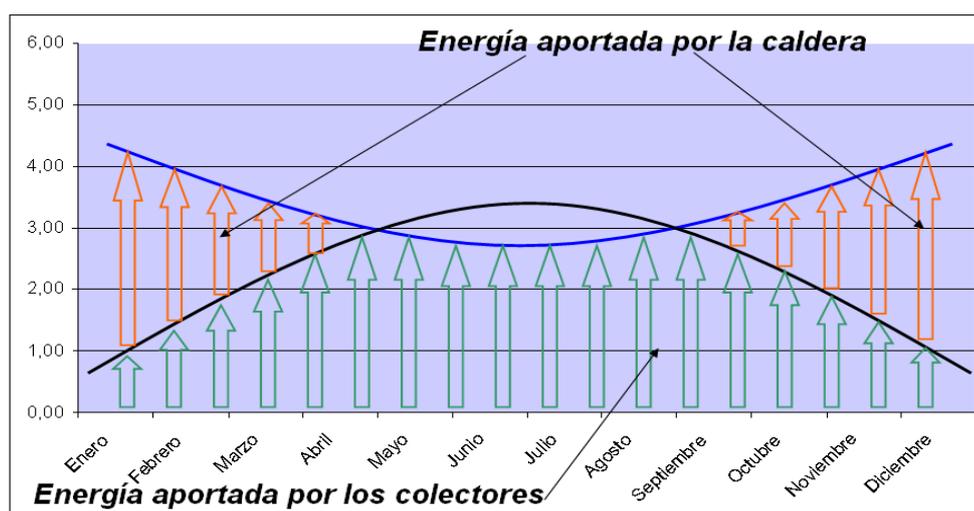


Figura 77. Representación gráfica del grado de cobertura solar. Fuente: PET-REV, 2019.

La mayoría de las instalaciones de agua caliente sanitaria en edificios de viviendas se suele diseñar de modo que la aportación solar cubra entre un 50% y un 70% de las necesidades energéticas anuales.

El Código Técnico de la Edificación (CTE) establece la obligatoriedad de alcanzar una fracción solar mínima a cubrir con energía solar que depende de la zona climática, el consumo diario de ACS del edificio y el sistema elegido para llevar a cabo el aporte auxiliar. [103].

Tabla 28. Radiación solar según zonas climáticas. Fuente: CTE-DB-HE4

Zona climática	MJ/m ²	kWh/m ²
I	H < 13,7	H < 3,8
II	13,7 ≤ H < 15,1	3,8 ≤ H < 4,2
III	15,1 ≤ H < 16,6	4,2 ≤ H < 4,6
IV	16,6 ≤ H < 18,0	4,6 ≤ H < 5,0
V	H ≥ 18,0	H ≥ 5,0

Tabla 29. Contribución solar mínima %. Fuente: CTE-DB-HE4

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

Es importante tener en cuenta que a medida que aumenta la fracción solar anual, la temperatura media de funcionamiento del colector aumenta y, por tanto, su rendimiento disminuye. Es decir, la productividad energética de los captadores solares, expresada en kWh/m² año, disminuye a medida que aumenta la fracción solar anual.

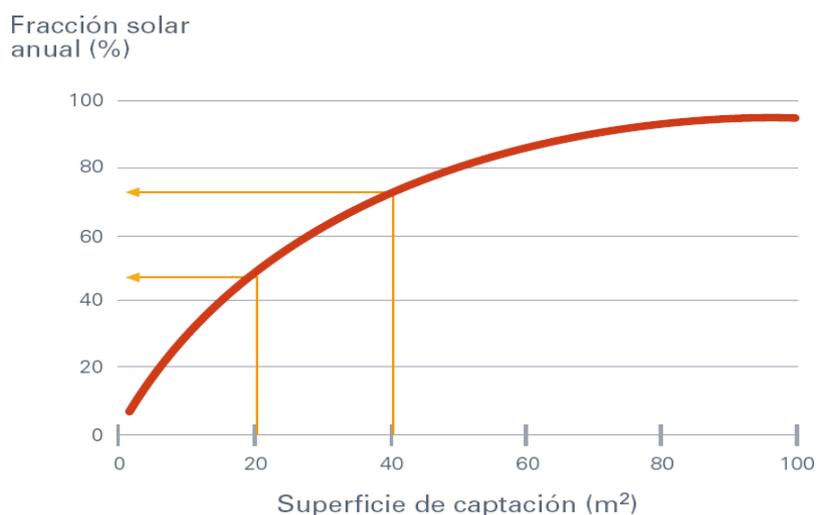


Figura 78. Variación de la fracción solar con la superficie de captación. Fuente: Belso, 2011.

- Radiación solar incidente.

La energía incidente sobre los colectores solares, y ésta depende del emplazamiento, de la orientación y de la inclinación del colector solar.

Algunas publicaciones recogen valores de radiación solar para diferentes localidades e inclinaciones, en valores medios mensuales. Se pueden extraer de Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [104] o de ADRASE (Acceso a Datos de Radiación Solar en España) [105] entre otros.

Para determinar la orientación y la inclinación de los captadores se utilizará el mismo procedimiento que el desarrollado en el apartado de fotovoltaica.

En los sistemas de energía solar, se considera la dirección sur ($a=0$) como orientación óptima y la mejor inclinación (b), dependiendo del periodo de utilización, uno de los valores siguientes:

- Consumo constante anual: la latitud geográfica.
- Consumo preferente en invierno: la latitud geográfica + 10°
- Consumo preferente en verano: la latitud geográfica - 10°

Para el cálculo de pérdidas por sombras se comparará el perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del sol. Para la obtención del perfil de obstáculos, se localizan los principales obstáculos que afectan a la superficie, en

términos de sus coordenadas de posición azimut (ángulo de desviación con respecto a la dirección Sur) y elevación (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal).

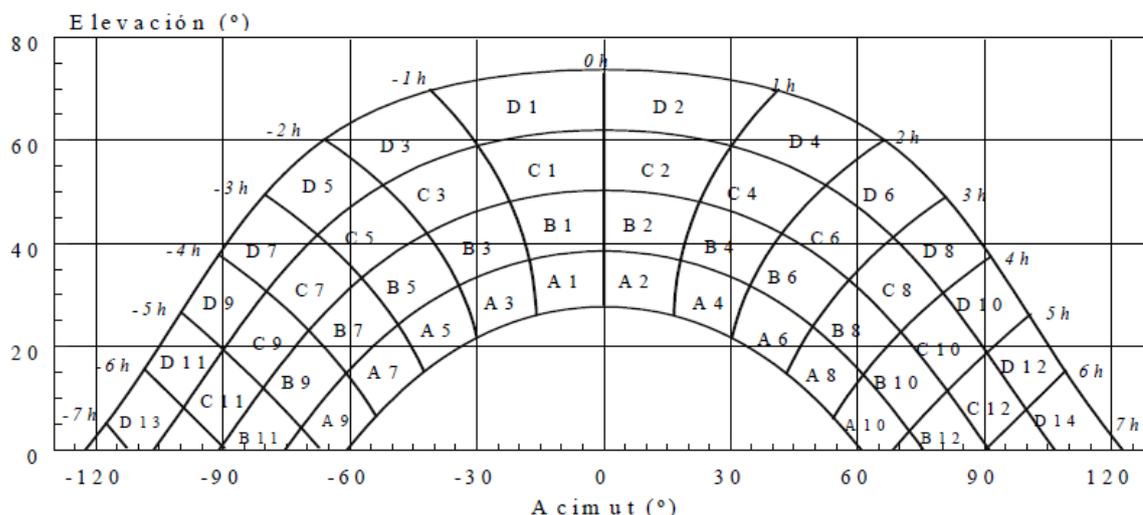


Figura 79. Diagrama de trayectorias del Sol. (los grados de ambas escalas son sexagesimales). Fuente: CT-DB-HE4

Para las Islas Canarias el diagrama debe desplazarse 12° en sentido vertical ascendente. Dicho diagrama se encuentra dividido en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después de éste) e identificadas por una letra y un número (A1, A2, ..., D14). Cada una de las porciones de la figura 77 representa el recorrido del Sol en un cierto período de tiempo (una hora a lo largo de varios días) y tiene, por tanto, una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide sobre la superficie de estudio.

Para calcular las pérdidas por sombreado de la irradiación solar global que incide sobre la superficie, a lo largo de todo el año se han de sumar las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el perfil de obstáculos representado. En el caso de ocultación parcial se utilizará el factor de llenado (fracción oculta respecto del total de la porción) más próximo a los valores: 0,25; 0,50; 0,75; 1.

Las tablas que se deben usar se refieren a distintas superficies caracterizadas por sus ángulos de inclinación y orientación (β y α , respectivamente). Deberá escogerse aquella que resulte más parecida a la superficie en estudio. Los números que figuran en cada casilla se corresponden con el porcentaje de irradiación solar global anual que se perdería si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo.

Tabla 30. Tabla de referencia para cálculo de pérdidas por sombras. Fuente: CTE-DB-HE4

	$\beta=35^\circ ; \alpha=0^\circ$				$\beta=0^\circ ; \alpha=0^\circ$				$\beta=90^\circ ; \alpha=0^\circ$				$\beta=35^\circ ; \alpha=30^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,10
11	0,00	0,01	0,12	0,44	0,00	0,01	0,18	1,05	0,00	0,01	0,02	0,15	0,00	0,00	0,03	0,06
9	0,13	0,41	0,62	1,49	0,05	0,32	0,70	2,23	0,23	0,50	0,37	0,10	0,02	0,10	0,19	0,56
7	1,00	0,95	1,27	2,76	0,52	0,77	1,32	3,56	1,66	1,06	0,93	0,78	0,54	0,55	0,78	1,80
5	1,84	1,50	1,83	3,87	1,11	1,26	1,85	4,66	2,76	1,62	1,43	1,68	1,32	1,12	1,40	3,06
3	2,70	1,88	2,21	4,67	1,75	1,60	2,20	5,44	3,83	2,00	1,77	2,36	2,24	1,60	1,92	4,14
1	3,17	2,12	2,43	5,04	2,10	1,81	2,40	5,78	4,36	2,23	1,98	2,69	2,89	1,98	2,31	4,87
2	3,17	2,12	2,33	4,99	2,11	1,80	2,30	5,73	4,40	2,23	1,91	2,66	3,16	2,15	2,40	5,20
4	2,70	1,89	2,01	4,46	1,75	1,61	2,00	5,19	3,82	2,01	1,62	2,26	2,93	2,08	2,23	5,02
6	1,79	1,51	1,65	3,63	1,09	1,26	1,65	4,37	2,68	1,62	1,30	1,58	2,14	1,82	2,00	4,46
8	0,98	0,99	1,08	2,55	0,51	0,82	1,11	3,28	1,62	1,09	0,79	0,74	1,33	1,36	1,48	3,54
10	0,11	0,42	0,52	1,33	0,05	0,33	0,57	1,98	0,19	0,49	0,32	0,10	0,18	0,71	0,88	2,26
12	0,00	0,02	0,10	0,40	0,00	0,02	0,15	0,96	0,00	0,02	0,02	0,13	0,00	0,06	0,32	1,17
14	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,22

	$\beta=90^\circ ; \alpha=30^\circ$				$\beta=35^\circ ; \alpha=60^\circ$				$\beta=90^\circ ; \alpha=60^\circ$				$\beta=35^\circ ; \alpha=-30^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,10	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,06	0,01	0,15	0,51	0,00	0,00	0,08	0,16	0,00	0,01	0,27	0,78	0,00	0,03	0,37	1,26
9	0,56	0,06	0,14	0,43	0,02	0,04	0,04	0,02	0,09	0,21	0,33	0,76	0,21	0,70	1,05	2,50
7	1,80	0,04	0,07	0,31	0,02	0,13	0,31	1,02	0,21	0,18	0,27	0,70	1,34	1,28	1,73	3,79
5	3,06	0,55	0,22	0,11	0,64	0,68	0,97	2,39	0,10	0,11	0,21	0,52	2,17	1,79	2,21	4,70
3	4,14	1,16	0,87	0,67	1,55	1,24	1,59	3,70	0,45	0,03	0,05	0,25	2,90	2,05	2,43	5,20
1	4,87	1,73	1,49	1,86	2,35	1,74	2,12	4,73	1,73	0,80	0,62	0,55	3,12	2,13	2,47	5,20
2	5,20	2,15	1,88	2,79	2,85	2,05	2,38	5,40	2,91	1,56	1,42	2,26	2,88	1,96	2,19	4,77
4	5,02	2,34	2,02	3,29	2,86	2,14	2,37	5,53	3,59	2,13	1,97	3,60	2,22	1,60	1,73	3,91
6	4,46	2,28	2,05	3,36	2,24	2,00	2,27	5,25	3,35	2,43	2,37	4,45	1,27	1,11	1,25	2,84
8	3,54	1,92	1,71	2,98	1,51	1,61	1,81	4,49	2,67	2,35	2,28	4,65	0,52	0,57	0,65	1,64
10	2,26	1,19	1,19	2,12	0,23	0,94	1,20	3,18	0,47	1,64	1,82	3,95	0,02	0,10	0,15	0,50
12	1,17	0,12	0,53	1,22	0,00	0,09	0,52	1,96	0,00	0,19	0,97	2,93	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,22	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,08

	$\beta=90^\circ ; \alpha=-30^\circ$				$\beta=35^\circ ; \alpha=-60^\circ$				$\beta=90^\circ ; \alpha=-60^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	1,01
11	0,00	0,05	0,60	1,28	0,00	0,04	0,60	2,09	0,00	0,08	1,10	3,08
9	0,43	1,17	1,38	2,30	0,27	0,91	1,42	3,49	0,55	1,60	2,11	4,28
7	2,42	1,82	1,98	3,15	1,51	1,51	2,10	4,76	2,66	2,19	2,61	4,89
5	3,43	2,24	2,24	3,51	2,25	1,95	2,48	5,48	3,36	2,37	2,56	4,61
3	4,12	2,29	2,18	3,38	2,80	2,08	2,56	5,68	3,49	2,06	2,10	3,67
1	4,05	2,11	1,93	2,77	2,78	2,01	2,43	5,34	2,81	1,52	1,44	2,22
2	3,45	1,71	1,41	1,81	2,32	1,70	2,00	4,59	1,69	0,78	0,58	0,53
4	2,43	1,14	0,79	0,64	1,52	1,22	1,42	3,46	0,44	0,03	0,05	0,24
6	1,24	0,54	0,20	0,11	0,62	0,67	0,85	2,20	0,10	0,13	0,19	0,48
8	0,40	0,03	0,06	0,31	0,02	0,14	0,26	0,92	0,22	0,18	0,26	0,69
10	0,01	0,06	0,12	0,39	0,02	0,04	0,03	0,02	0,08	0,21	0,28	0,68
12	0,00	0,01	0,13	0,45	0,00	0,01	0,07	0,14	0,00	0,02	0,24	0,67
14	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,36

- **Distancia mínima entre filas de captadores**

La distancia d , medida sobre la horizontal, entre una fila de captadores y un obstáculo de altura h , que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. Esta distancia d será superior al valor obtenido por la expresión:

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})} = h \cdot k \quad (13)$$

d = distancia de separación entre filas de captadores.

k = factor de corrección.

h = altura del obstáculo.

La separación entre la parte posterior de una fila y el comienzo de la siguiente no será inferior a la obtenida por la expresión anterior, aplicando h a la diferencia de alturas entre la parte alta de una fila y la parte baja de la siguiente, efectuando todas las medidas de acuerdo con el plano que contiene a las bases de los captadores.

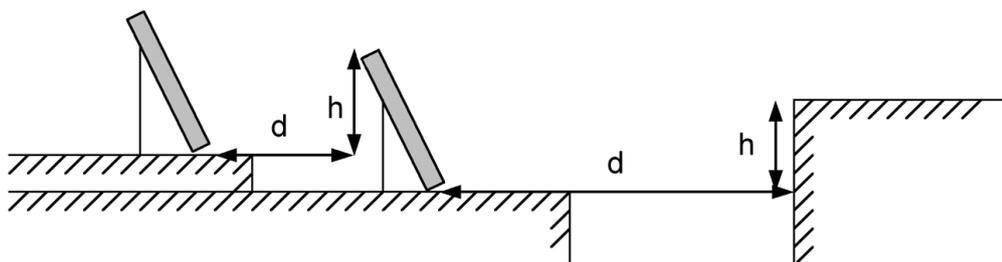


Figura 80. Representación distancia mínima entre captadores. Fuente: PET-REV, 2019.

La orientación e inclinación del sistema generador y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites de la tabla 2.4.

Tabla 31. Límite de pérdidas. Fuente: CTE-DB-HE4

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

- **Cálculo de los parámetros D1 y D2.**

El parámetro D1 expresa la relación entre la energía absorbida por el colector plano y la demanda energética mensual.

$$D1 = \text{Energía absorbida por el captador} - \text{Demanda energética mensual} \quad (14)$$

El parámetro D2 expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura, y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

$$D2 = \text{Energía perdida por el captador} - \text{Demanda energética mensual} \quad (15)$$

Una vez determinados los valores mensuales de los parámetros D1 y D2, se puede calcular la fracción solar mensual a partir de la expresión inicial. Se hará lo mismo para cada mes del año.

$$f = 1.029 \cdot D_1 - 0.065 \cdot D_2 - 0.245 \cdot D_1^2 + 0.0018 \cdot D_2^2 + 0.0215 \cdot D_1^3 \quad (16)$$

La energía útil mensual aportada por la instalación solar para la producción del agua caliente sanitaria del edificio viene determinada por la siguiente expresión:

$$Q_u = f \cdot D_i(T) \quad (17)$$

$Q_u = \text{Energía útil captada en kWh/mes}$

$f = \text{fracción solar mensual}$

$D_i(T) = \text{Demanda energética en kWh/mes}$

La relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las demandas energéticas determinará la cobertura anual del sistema.

$$F = \frac{\sum_1^{12} Q_u}{\sum_1^{12} D_i(T)} \quad (18)$$

5.4. Marco legal.

La normativa de aplicación y consulta que se debe tener en cuenta a la hora de hacer una instalación solar térmica es la siguiente.

5.4.1. Normativa de aplicación.

- Código Técnico de la Edificación (CTE). En concreto el Documento Básico HE- 4
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas.
- Reglamento de Recipientes a Presión (RAP).
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC.BT).
- Ordenanzas de Seguridad e Higiene en el Trabajo (OSHT).
- Ley de Protección del Ambiente Atmosférico (LPAA).
- Ley número 88/67 de 8 de noviembre: Sistema Internacional de Unidades de Medida SI.
- Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitario para la prevención y control de la legionelosis.
- Orden de 28 de julio de 1980, por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de los paneles solares.
- Orden ITC/71/2007, de 22-01-2007, por la que se modifica el anexo de la Orden 28-07-1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.
- Orden ITC/2761/2008, de 26 de septiembre, por la que se amplía el plazo establecido en la disposición transitoria segunda de la Orden ITC/71/2007, de 22 de enero, por la que se modifica el anexo de la Orden de 28 de julio de 1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.

5.4.2. Normativa de consulta.

- UNE-EN 12975-1: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales.

- UNE-EN 12975-2: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares. Parte 2: Métodos de ensayo.
- UNE-EN 12976-1: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas solares prefabricados. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 12976-2: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas solares prefabricados. Parte 2: Métodos de ensayo.
- UNE-EN 12977-1: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 12977-2: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 2: Métodos de ensayo.
- UNE-EN 12977-3: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Parte 3: Caracterización del funcionamiento de acumuladores para las instalaciones de calefacción solares.
- UNE 94002: Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria: cálculo de la demanda de energía térmica.
- UNE 94003: Datos climáticos para el dimensionado de las instalaciones solares térmicas.
- Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. ISO 9488: Energía solar. Vocabulario.

Se considerará la edición más reciente de las normas antes mencionadas, con las últimas modificaciones oficialmente aprobadas.

Capítulo 6.

ESTUDIO DE LA LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y RESIDUOS GENERADOS.

6. Estudio de la localización geográfica y residuos generados

6.1. Análisis del emplazamiento y de las características de una casa rural.

El emplazamiento elegido para el caso de estudio es la zona de medianías de la isla de Gran Canaria. La Comarca de Medianías de Gran Canaria está formada por los municipios de San Bartolomé de Tirajana, Valsequillo de Gran Canaria, Tejeda, Vega de San Mateo y Villa de Santa Brígida, agrupados en la Mancomunidad de Municipios de las Medianías de Gran Canaria. La Mancomunidad abarca un territorio de 537,55 Km² (el 34,46% de la superficie insular) y el 88,9% de su suelo está calificado como rústico. [106]

Además, se ha decidido añadir al estudio, las casas rurales ubicadas en el municipio de Artenara por presentar características similares del territorio. En total se analizarán 78 casas rurales de un total de 183 unidades alojativas registradas como casa rural en la isla de Gran Canaria, esto supone un 43 % del total de casas registradas. [107]



Figura 81. Mapa de localización de las casas rurales objeto de estudio. Fuente: GRAFCAN

Según el Decreto 142/2010, de 4 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de la Actividad Turística de Alojamiento y se modifica el Decreto 10/2001, de 22 de enero, por el que se regulan los estándares turísticos, es destacable la nueva clasificación realizada de los establecimientos que desarrollan la actividad turística de alojamiento. Dicha oferta turística de alojamiento queda distribuida en dos modalidades: modalidad hotelera y extrahotelera. Será en esta última donde queden incluidas las casas rurales.

Según el Decreto una casa rural se define como el establecimiento extrahotelero ubicado en un inmueble enclavado en suelo rústico, y cuya edificación constituye un bien integrante del patrimonio histórico de la Comunidad Autónoma de Canarias, incluido en alguno de los instrumentos previstos en el artículo 15 de la Ley 4/1999, de 15 de marzo, de Patrimonio Histórico de Canarias (Derogada por la Ley 11/2019, de 25 abril, de Patrimonio Cultural de Canarias) o norma que la sustituya, y que está dotada del equipamiento e instalaciones necesarias para la conservación, manipulación y consumo de alimentos. [108]

Teniendo en cuenta dicha clasificación se ha filtrado un listado con todos los establecimientos extrahoteleros catalogados como casa rural comprendidos en los municipios señalados anteriormente contando con un total de 86 alojamientos. Los establecimientos aquí incluidos están reconocidos por el Patronato de Turismo de Gran Canaria por haber realizado los trámites administrativos necesarios para su funcionamiento. [107]

Tabla 32. Casas rurales y unidades alojativas para cada municipio. Fuente: www.grancanaria.com

Municipio	Denominación	Plazas	Unidades
Artenara	Caidero (El)	6	1
Artenara	Casa-Cueva El Pastor	5	1
Artenara	Mama Nieves	4	1
Artenara	Margaritas (Las)	4	1
Artenara	Mimo (El)	4	1
Artenara	Montañeta (La)	3	1
Artenara	Pajar (El)	5	1
San Bartolomé De Tirajana	Casa De La Chicha	3	1
San Bartolomé De Tirajana	Casona Del Almendro	6	2
San Bartolomé De Tirajana	Colmenas (Las)	4	1
San Bartolomé De Tirajana	Finca La Hiedra 32	6	1
San Bartolomé De Tirajana	Finca La Hiedra 33,34,35	3	3
San Bartolomé De Tirajana	Hoya De Tunte	5	1
San Bartolomé De Tirajana	Molino De Juan Chiquito	2	1
San Bartolomé De Tirajana	Montaña (La)	3	1
San Bartolomé De Tirajana	Palomar, El	6	2
San Bartolomé De Tirajana	Villa Pino Diaz	8	2
Santa Brígida	ALGARROBERO (EL) 1 Y 2	8	2
Santa Brígida	Alpendre (El)	6	1
Santa Brígida	Balcón (El)	6	1
Santa Brígida	Casa Rural 2 El Drago	6	1
Santa Brígida	Casa Rural 3 El Caqui	6	1
Santa Brígida	Casa Rural 4 Las Pitas	6	1
Santa Brígida	Caserón Las Huertas	8	2
Santa Brígida	Cueva Del Gato II	3	1
Santa Brígida	Gallos (Los)	4	1
Santa Brígida	Guinguada	10	1
Santa Brígida	Hacienda De La Guirra	5	1
Santa Brígida	Hoya Chiquita	2	1
Santa Brígida	La Caldera	6	1

Santa Brígida	Roquete B	6	1
Tejeda	Bentayga	6	1
Tejeda	Casa Ca' Tina	4	1
Tejeda	Casa Del Pino	9	1
Tejeda	Casa Las Cascaras	5	1
Tejeda	Casa Serafín	4	1
Tejeda	Casa Servando	8	2
Tejeda	Casita Roque Nublo	6	2
Tejeda	Coronel (El)	3	1
Tejeda	Finca La Isa Casa C	21	3
Tejeda	Finca Velázquez	5	1
Tejeda	Isla De Cuba	3	1
Tejeda	Juan Gómez	3	1
Tejeda	Paisajes De Tejeda	5	1
Tejeda	Pajar De Miguel Velázquez (El)	3	1
Tejeda	Pancho Ignacio	4	1
Tejeda	Pedro Cruz	5	1
Tejeda	Pepita La De Las Flores	6	1
Tejeda	Rincón Del Nublo (El)	5	1
Tejeda	Rinconcito (El)	5	1
Tejeda	Solana (La)	6	1
Tejeda	Solana De Miguel Velázquez (La)	3	1
Valsequillo De Gran Canaria	Casa German	4	1
Valsequillo De Gran Canaria	Casas Rurales Don Emilio	23	10
Valsequillo De Gran Canaria	Colmenar (El)	5	1
Valsequillo De Gran Canaria	Palmito (El)	6	1
Valsequillo De Gran Canaria	Parra (La)	4	1
Valsequillo De Gran Canaria	Pedregal (El)	6	1
Valsequillo De Gran Canaria	Villa Elena	6	1
Vega De San Mateo	Asomada (La)	6	1
Vega De San Mateo	Bellavista	3	1
Vega De San Mateo	Bodeguilla 49 (La)	5	1
Vega De San Mateo	Ca` Tía Rosa	3	1
Vega De San Mateo	Casa Arocena	6	1
Vega De San Mateo	Casa Del Moral	4	1
Vega De San Mateo	Casa Vista Alegre	5	1
Vega De San Mateo	Ciruelo (El)	3	1

Vega De San Mateo	Higuera (La)	4	1
Vega De San Mateo	Higuera 46 (La)	4	1
Vega De San Mateo	Lechuza (La)	4	1
Vega De San Mateo	Lomo Caballo	5	1
Vega De San Mateo	Majadal (El)	10	1
Vega De San Mateo	Mondonadas (Las)	2	1
Vega De San Mateo	Olivo (El)	3	1
Vega De San Mateo	Tinamar	6	1
Vega De San Mateo	Tío Félix	3	1
Vega De San Mateo	Tres Almendros	3	1
Vega De San Mateo	Villa Zoila	6	1

6.2. Residuos y potencial de contaminación generados a partir de la explotación de las casas rurales.

6.2.1. Fracción orgánica sólida.

La cantidad generada de residuos por cada unidad alojativa se obtendrá a raíz de un estudio en el que se determina la generación de residuos por habitante en España por comunidades autónomas, indicando además el índice de ruralidad que representa cada comunidad.

En la figura 82 se puede observar que la generación de residuos en las comunidades autónomas predominantemente rurales no difiere sensiblemente de la de las comunidades predominantemente urbanas. Baleares y Canarias presentan un mayor índice de generación de residuos debido principalmente a la repercusión del factor turístico. [109]

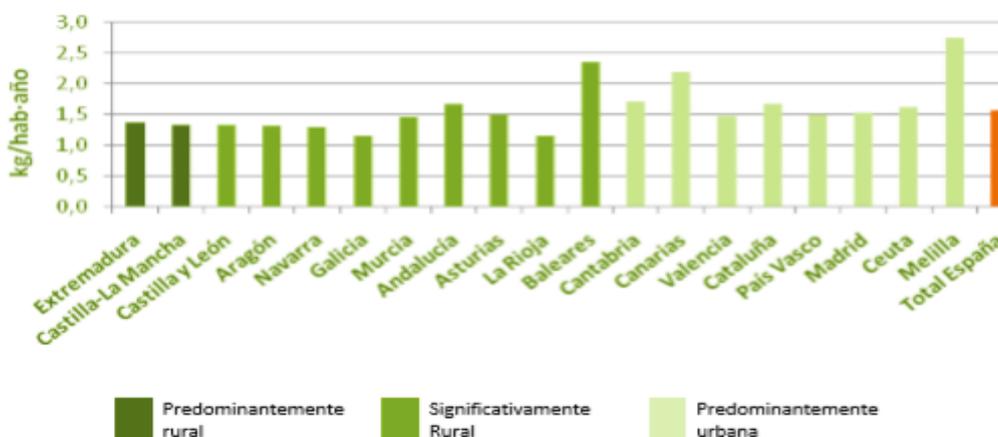


Figura 82. Generación de residuos en España por comunidades autónomas. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

En la siguiente tabla se muestran los valores medios de generación de residuos por categorías.

Tabla 33. Generación de residuos en las comunidades autónomas españolas en función de su grado de ruralidad. Fuente: . Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

Categoría	Generación medida (kg/hab-día)
Predominantemente rural	1,35
Significativamente rural	1,49
Predominantemente urbana	1,81
TOTAL España	1,59

Por lo que para calcular la cantidad de residuos generados por unidad alojativa se multiplicará el valor indicado en la tabla 32 de 1,81 kg/hab. día por el número de plazas disponibles en cada casa rural.

$$\text{Residuos (kg/hab. día)} = n^{\circ} \text{ de plazas} \cdot 1,81 \quad (19)$$

La composición de estos residuos es diversa por lo que no podrá ser aprovechable en su totalidad para la biometanización. Dicha composición varía en función de varios factores: nivel de vida de la población; la actividad desarrollada por esta; la climatología propia de la región; diferencias tecnológicas, etc. Dependiendo de estos factores, se consumirán y se emplearán determinados productos que producirán los correspondientes residuos. [110]

La cantidad de residuos orgánicos de origen doméstico que genera un ciudadano medio varía según el estudio, esto quiere decir que en municipios rurales o semirurales en comparación con los urbanos puede variar considerablemente el porcentaje. En diferentes estudios se ha determinado que este porcentaje suele estar comprendido entre un 40 y 45% del total de los residuos domésticos generados. Para nuestro estudio, se ha decidido utilizar el valor indicado por el Plan Nacional de Integrado de Residuos 2008-2015 (PNIR 2008-2015) del 44 %. [111], [112],[113],

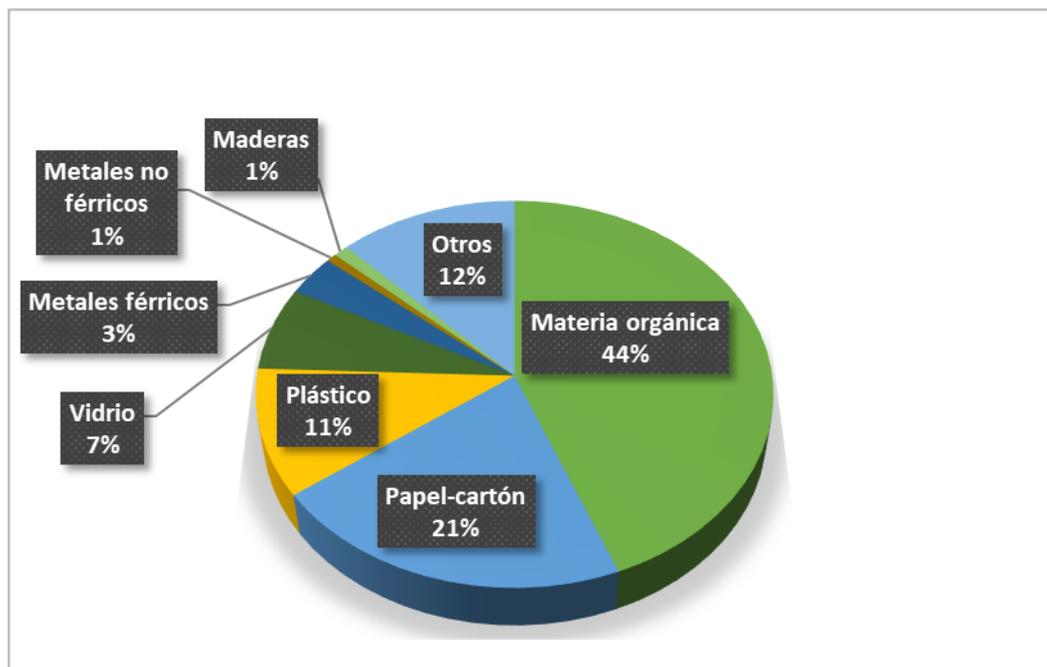


Figura 83. Composición media de los residuos sólidos urbanos. Fuente: Datos de PNIR 2007-2015 y elaboración propia.

Para obtener la cantidad de residuos orgánicos que pueden ser biometanizados se estimará el 44 % de la cantidad total de residuos generados por unidad alojativa.

Una vez que se ha calculado la cantidad de residuos orgánicos generados, se puede obtener la caracterización de la DQO. Para ello, se empleará como base una tesis realizada en la Universidad Politécnica de Valencia, en la que se determina experimentalmente la relación de la DQO con la fracción orgánica de los RSU. [110]

Los residuos predominantes para la realización del estudio fueron el arroz, restos y cáscaras de fruta, papas, pan, pasta, resto de verduras cocinadas y ensaladas, restos de pescado, restos de carne de cerdo y vacuno, restos de pollo. Además de otros tipos de alimentos como salsas, condimentos, aliños, etc., que se encontraban en menor proporción.

La base de generación de residuos utilizada en dicho estudio es de 1.437 g de RSU por habitante y día, considerando que el 44% corresponde a la fracción orgánica (630 g). En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos experimentalmente.

Tabla 34. Composición de la fracción orgánica de los residuos triturada. Fuente: Lastra Bravo, 2013

Componente	Unidad	Promedio A (d.e)	máx - mín	Promedio B (d.e)	máx - mín
pH		6.43 (0.26)	7.00-6.02	6.31 (0.32)	6.68-5.90
Conductividad	ms/cm	5.69 (1.20)	6.93-3.71	6.39 (0.90)	7.82-5.05
Alcalinidad	mgCaCO ₃ /l	191.40 (58.26)	279.42-48.94	188.24 (40.81)	218.18-54.65
AGV	mgHAC/l	622.53 (134.11)	1389.12-12.38	718.02 (52.72)	1198.16-627.27
ST	mg/l	n.d	n.d	47017 (8812)	59848-23097
STV	mg/l	n.d	n.d	41960 (8754)	54505-19119
SD	mg/l	n.d	n.d	18708 (3142)	24241-14960
SDV	mg/l	n.d	n.d	13518 (2800)	18531-10570
SS	mg/l	19393 (8206)	59730-7985	27826 (6566)	36706-7287
SSV	mg/l	18617 (7838)	56040-7585	27806 (6595)	36764-7287
SSV/SS	%	96.11 (1.81)	99.38-93.65	99.92 (0.28)	100-99.31
DQO	mgO/l	62837 (24592)	128800-24150	53417 (7134)	128300-26600
DQO _{sol}	mgO/l	17445 (6032)	41900-6250	16618 (3234)	23025-9775
DQO _{sol} /DQO	%	33.07 (10.05)	74.16-22.18	30.09 (4.52)	55.75-10.46
NT	mgN/l	76.19 (18.53)	145.00-47.30	98.64 (12.69)	124.00-41.00
NT _{sol}	mgN/l	48.98 (8.26)	63.75-37.00	54.14 (8.76)	64.00-37.25
NH ₄ -N	mgN/l	14.79 (3.92)	27.68-7.64	18.45 (2.11)	21.46-14.86
NT _{sol} /NT	%	59.49 (12.45)	81.82-40.34	55.63 (11.63)	90.85-42.29
PT	mgP/l	26.93 (7.15)	74.32-16.68	43.26 (3.96)	46.24-23.82
PT _{sol}	mgP/l	22.67 (8.11)	60.26-14.25	28.24 (4.15)	41.34-14.68
PO ₄ -P	mgP/l	20.60 (5.77)	47.08-15.56	25.47 (6.76)	34.23-14.66
PT _{sol} /PT	%	83.28 (7.98)	95.38-40.39	75.99 (15.27)	94.04-14.66
SO ₄ -S	mgS/l	157.31 (18.50)	212.08-36.55	139.68 (32.23)	177.02-30.60

Promedio A: Promedio de datos obtenidos a partir de la FORT bruta sin aireación.

Promedio B: Promedio de datos obtenidos a partir de la FORT aireada y licuada.

d.e: desviación estándar

n.d: no disponible

Los datos de este estudio expresado en mg/l se transformaron a unidades de g/hab. día obteniéndose los siguientes valores.

Tabla 35. Composición de la fracción orgánica de los residuos triturada en g/hab. día. Fuente: Lastra Bravo, 2013

DQO	DQO _{sol}	DBO ₅	NT	NH ₄ -N	PT	SS	SSV
209	58	60	0.25	0.05	0.09	64	62

De esta forma, para nuestro estudio utilizando la relación entre la DQO y la fracción orgánica se podrá calcular la DQO generada para cada casa rural según su generación de residuos y así obtener posteriormente la cantidad de biogás que se puede generar.

Anteriormente se ha determinado que la cantidad de residuos generados por habitante y día en la Comunidad de Canarias es de 1,81 kg, considerando como fracción orgánica el

44% (0,7964 kg), utilizando la relación anterior nos queda que el valor de la DQO para dicha cantidad de residuos será de 0,264 kg/hab. día, obteniéndose así la caracterización de la DQO de cada unidad alojativa.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 36. Generación de residuos y caracterización de la DQO de la fracción orgánica sólida. Fuente: Elaboración propia.

Municipio	Denominación	Plazas	Ud.	Residuos kg/día	Fr. Materia Orgánica (44%) kg/día	DQO kg/día
Artenara	Caidero (El)	6	1	10,86	4,78	1,584
Artenara	Casa-Cueva El Pastor	5	1	9,05	3,98	1,320
Artenara	Mama Nieves	4	1	7,24	3,19	1,056
Artenara	Margaritas (Las)	4	1	7,24	3,19	1,056
Artenara	Mimo (El)	4	1	7,24	3,19	1,056
Artenara	Montañeta (La)	3	1	5,43	2,39	0,792
Artenara	Pajar (El)	5	1	9,05	3,98	1,320
San Bartolomé De Tirajana	Casa De La Chicha	3	1	5,43	2,39	0,792
San Bartolomé De Tirajana	Casona Del Almendro	6	2	10,86	4,78	1,584
San Bartolomé De Tirajana	Colmenas (Las)	4	1	7,24	3,19	1,056
San Bartolomé De Tirajana	Finca La Hiedra 32	6	1	10,86	4,78	1,584
San Bartolomé De Tirajana	Finca La Hiedra 33,34,35	3	3	5,43	2,39	0,792
San Bartolomé De Tirajana	Hoya De Tunte	5	1	9,05	3,98	1,320
San Bartolomé De Tirajana	Molino De Juan Chiquito	2	1	3,62	1,59	0,528
San Bartolomé De Tirajana	Montaña (La)	3	1	5,43	2,39	0,792
San Bartolomé De Tirajana	Palomar, El	6	2	10,86	4,78	1,584
San Bartolomé De Tirajana	Villa Pino Diaz	8	2	14,48	6,37	2,112
Santa Brígida	ALGARROBERO (EL) 1 Y 2	8	2	14,48	6,37	2,112
Santa Brígida	Alpendre (El)	6	1	10,86	4,78	1,584
Santa Brígida	Balcón (El)	6	1	10,86	4,78	1,584
Santa Brígida	Casa Rural 2 El Drago	6	1	10,86	4,78	1,584

Santa Brígida	Casa Rural 3 El Caqui	6	1	10,86	4,78	1,584
Santa Brígida	Casa Rural 4 Las Pitas	6	1	10,86	4,78	1,584
Santa Brígida	Caserón Las Huertas	8	2	14,48	6,37	2,112
Santa Brígida	Cueva Del Gato II	3	1	5,43	2,39	0,792
Santa Brígida	Gallos (Los)	4	1	7,24	3,19	1,056
Santa Brígida	La Caldera	10	1	18,1	7,96	2,640
Santa Brígida	Guinguada	5	1	9,05	3,98	1,320
Santa Brígida	Hacienda De La Guirra	2	1	3,62	1,59	0,528
Santa Brígida	Hoya Chiquita	6	1	10,86	4,78	1,584
Santa Brígida	Roquete B	6	1	10,86	4,78	1,584
Tejeda	Bentayga	6	1	10,86	4,78	1,584
Tejeda	Casa Ca' Tina	4	1	7,24	3,19	1,056
Tejeda	Casa Del Pino	9	1	16,29	7,17	2,376
Tejeda	Casa Las Cascaras	5	1	9,05	3,98	1,320
Tejeda	Casa Serafín	4	1	7,24	3,19	1,056
Tejeda	Casa Servando	8	2	14,48	6,37	2,112
Tejeda	Casita Roque Nublo	6	2	10,86	4,78	1,584
Tejeda	Coronel (El)	3	1	5,43	2,39	0,792
Tejeda	Finca La Isa	21	3	38,01	16,72	5,544
Tejeda	Finca Velázquez	5	1	9,05	3,98	1,320
Tejeda	Isla De Cuba	3	1	5,43	2,39	0,792
Tejeda	Juan Gómez	3	1	5,43	2,39	0,792
Tejeda	Paisajes De Tejeda	5	1	9,05	3,98	1,320
Tejeda	Pajar De Miguel Velázquez (El)	3	1	5,43	2,39	0,792
Tejeda	Pancho Ignacio	4	1	7,24	3,19	1,056
Tejeda	Pedro Cruz	5	1	9,05	3,98	1,320
Tejeda	Pepita La De Las Flores	6	1	10,86	4,78	1,584
Tejeda	Rincón Del Nublo (El)	5	1	9,05	3,98	1,320
Tejeda	Rinconcito (El)	5	1	9,05	3,98	1,320
Tejeda	Solana De Miguel Velázquez (La)	6	1	10,86	4,78	1,584
Tejeda	Solana (La)	3	1	5,43	2,39	0,792
Valsequillo De Gran Canaria	Casa German	4	1	7,24	3,19	1,056
Valsequillo De Gran Canaria	Casas De Don Emilio	23	10	41,63	18,32	6,072
Valsequillo De Gran Canaria	Colmenar (El)	5	1	9,05	3,98	1,320

Valsequillo De Gran Canaria	Palmito (El)	6	1	10,86	4,78	1,584
Valsequillo De Gran Canaria	Parra (La)	4	1	7,24	3,19	1,056
Valsequillo De Gran Canaria	Pedregal (El)	6	1	10,86	4,78	1,584
Valsequillo De Gran Canaria	Villa Elena	6	1	10,86	4,78	1,584
Vega De San Mateo	Asomada (La)	6	1	10,86	4,78	1,584
Vega De San Mateo	Bellavista	3	1	5,43	2,39	0,792
Vega De San Mateo	Bodeguilla 49 (La)	5	1	9,05	3,98	1,320
Vega De San Mateo	Ca` Tía Rosa	3	1	5,43	2,39	0,792
Vega De San Mateo	Casa Arocena	6	1	10,86	4,78	1,584
Vega De San Mateo	Casa Del Moral	4	1	7,24	3,19	1,056
Vega De San Mateo	Casa Vista Alegre	5	1	9,05	3,98	1,320
Vega De San Mateo	Ciruelo (El)	3	1	5,43	2,39	0,792
Vega De San Mateo	Higuera (La)	4	1	7,24	3,19	1,056
Vega De San Mateo	Higuera 46 (La)	4	1	7,24	3,19	1,056
Vega De San Mateo	Lechuza (La)	4	1	7,24	3,19	1,056
Vega De San Mateo	Lomo Caballo	5	1	9,05	3,98	1,320
Vega De San Mateo	Majadal (El)	10	1	18,1	7,96	2,640
Vega De San Mateo	Mondonadas (Las)	2	1	3,62	1,59	0,528
Vega De San Mateo	Olivo (El)	3	1	5,43	2,39	0,792
Vega De San Mateo	Tinamar	6	1	10,86	4,78	1,584
Vega De San Mateo	Tío Félix	3	1	5,43	2,39	0,792
Vega De San Mateo	Tres Almendros	3	1	5,43	2,39	0,792
Vega De San Mateo	Villa Zoila	6	1	10,86	4,78	1,584

Se puede decir que como resultado de la explotación de una casa rural se genera una media de 9,68 kg de residuos, de los cuales 4,26 kg son de origen orgánico y se caracterizan por una DQO de 1,41 kg/día.

Los valores obtenidos pueden cambiar significativamente dependiendo de la composición de la materia orgánica utilizada, es decir, variará en función del porcentaje de lípidos, carbohidratos y proteínas que contengan dichos residuos. Se obtendrán mejores resultados si el porcentaje de lípidos es alto. [25]

6.2.2. Fracción orgánica líquida.

Además de los residuos sólidos generados a raíz de la explotación turística de las casas rurales, se generará también una fracción líquida biodegradable o agua residual. Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica.

La determinación de los caudales de agua residual a eliminar de una determinada población es fundamental para diseñar las instalaciones adecuadas para su recogida, tratamiento y evacuación. Por lo que es preciso conocer los caudales que se quieren tratar.

La composición de los caudales de aguas residuales urbanas (ARU) depende del tipo de sistema de recogida que se utilice, pudiendo incluir los siguientes componentes:

- Aguas residuales domésticas o sanitaria (ARD): procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas (fecales, lavado, limpieza, preparación de alimentos...)
- Aguas residuales industriales (ARI): vertidas desde locales utilizados para actividades comerciales o industriales.
- Aguas de infiltración: procedentes del subsuelo, penetran en la red de saneamiento por defectos en la red, elevación del nivel freático...
- Aguas pluviales: Agua resultante de la escorrentía superficial. [55], [114][115]

Para el estudio que se está realizando resulta de interés analizar el agua residual proveniente del consumo doméstico.

El agua que se consume en las zonas residenciales se mide a partir de contadores individuales. Los usos a los que se destina incluyen el agua que se bebe, la usada para limpieza, higiene, preparación de alimentos, evacuación de residuos y regado de jardines y zonas verdes particulares.

Durante el año 2016 se suministraron a las redes públicas de abastecimiento urbano 4.290 hectómetros cúbicos (hm³) de agua. De este volumen, casi tres cuartas partes (3.200 hm³) fueron de agua registrada, es decir, medidos en los contadores de los usuarios. El resto (1.090 hm³) fueron volúmenes de agua no registrados (no medidos o estimados mediante aforos).

En el siguiente gráfico se observa la distribución del agua registrada, se puede comprobar que se destina al uso doméstico casi una tercera parte de la dotación del agua.

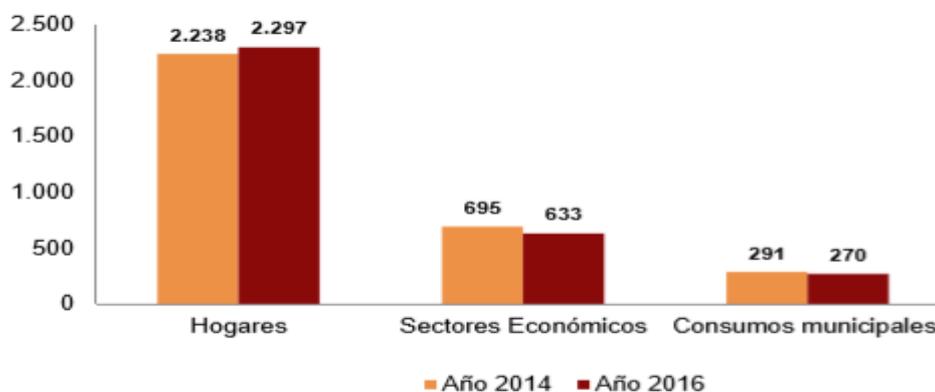


Figura 84. Volúmenes de agua registrada y distribuida a los usuarios (hm³). Fuente: INE, 2018

El consumo medio nacional de agua de los hogares fue de 136 litros por habitante y día en 2016, lo que supuso un aumento del 3,0% respecto a los 132 litros registrados en 2014. Este consumo medio se calcula mediante el cociente entre el volumen total de agua registrado y distribuido a los hogares y la población. Sin embargo, en Canarias se registró un consumo medio de agua superior, alcanzando un valor de 150 litros por habitante y día.

Tabla 37. Consumo de agua de los hogares por comunidad autónoma. INE, 2016

Unidad: litros/ habitante/día

	Año 2016	% variación bienal
Andalucía	129	2,4
Aragón	137	5,4
Asturias, Principado de	150	11,9
Balears, Illes	134	8,1
Canarias	150	4,2
Cantabria	155	2,0
Castilla y León	152	-8,4
Castilla-La Mancha	128	2,4
Cataluña	127	7,6
Comunitat Valenciana	163	0,6
Extremadura	129	3,2
Galicia	138	7,0
Madrid, Comunidad de	133	1,5
Murcia, Región de	132	4,8
Navarra, Comunidad Foral de	112	0,9
País Vasco	112	-3,4
Rioja, La	115	8,5
Ceuta y Melilla	103	-2,9
Consumo medio nacional	136	3,0

Este será el valor el que se use como base cálculo para nuestro estudio. De esta forma se puede obtener el caudal de cada unidad alojativa.

$$Q (\text{caudal}) = n^{\circ} \text{ de plazas} \cdot 150 \text{ l/hab. día} = \text{l/día} \quad (20)$$

Una vez se ha obtenido el caudal de agua para cada casa rural, se puede obtener la caracterización del agua residual resultante.

Para caracterizar las aguas residuales se emplean un conjunto de parámetros que permiten cuantificar los contaminantes presentes. Los principales constituyentes se presentan en la Tabla 38 a diferentes concentraciones. La variación de valores presentados en dicha Tabla se debe a la variabilidad de las concentraciones en función de la hora, del día de la semana, del mes y de otras condiciones locales y meteorológicas.

Tabla 38. Composición típica del agua residual doméstica. Fuente: Metcalf Eddy, 2003.

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1.200
Disueltos, totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	ml/l	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno, mg/l: 5 días, 20 °C (DBO ₅ , 20 °C)	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1.000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros ^a	mg/l	30	50	100
Sulfato ^a	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	50	100	200
Grasa	mg/l	50	100	150
Coliformes totales ^b	n.º/100 ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	µg/l	< 100	100-400	> 400

Para nuestro estudio se escogerán los valores de la DBO₅ y DQO con una concentración media.

Tabla 39. Valores de DQO y DBO₅ escogidos para el estudio.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)	500 mg/l
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)	220 mg/l

Además de los parámetros descritos, uno de los conceptos más utilizados para caracterizar la carga contaminante del agua residual es el término de habitante equivalente (h-e). Es una unidad de medición de la contaminación biodegradable presente en las aguas

residuales urbanas. Según el RD 11/1995 el concepto de habitante equivalente es la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO5), de 60 gramos de oxígeno por día, es decir es que cada habitante equivalente contamina 60 gramos al día de DBO5. [116]

En las poblaciones en que estas están integradas mayoritariamente por las aguas residuales domésticas, el número de habitantes-equivalentes será similar al número de habitantes de la población o aglomeración. Este concepto es muy útil porque permite comparar cargas contaminantes con independencia del origen o naturaleza de sus aguas residuales. [117]

La expresión para calcular el número de habitantes-equivalentes de cada unidad alojativa es la siguiente:

$$Habitante Eq. = \frac{Caudal\ diario \left(\frac{m^3}{día} \right) \cdot Concentración\ DBO_5 (mg\ O_2/l)}{60\ (g\ O_2/hab.\ día)} \quad (21)$$

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 40. Cálculo del potencial de contaminación del agua residual de cada casa rural. Fuente: elaboración propia.

Municipio	Denominación	Plazas	Ud.	Caudal (l/día)	DBO ₅ (kg/día)	DQO (kg/día)	Hab. Eq. (h-e.)
Artenara	Caidero (El)	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Artenara	Casa-Cueva El Pastor	5	1	750	0,165	0,375	2,75
Artenara	Mama Nieves	4	1	600	0,132	0,3	2,2
Artenara	Margaritas (Las)	4	1	600	0,132	0,3	2,2
Artenara	Mimo (El)	4	1	600	0,132	0,3	2,2
Artenara	Montañeta (La)	3	1	450	0,099	0,225	1,65
Artenara	Pajar (El)	5	1	750	0,165	0,375	2,75
San Bartolomé De Tirajana	Casa De La Chicha	3	1	450	0,099	0,225	1,65
San Bartolomé De Tirajana	Casona Del Almendro	6	2	900	0,198	0,45	3,3
San Bartolomé De Tirajana	Colmenas (Las)	4	1	600	0,132	0,3	2,2
San Bartolomé De Tirajana	Finca La Hiedra 32	6	1	900	0,198	0,45	3,3
San Bartolomé De Tirajana	Finca La Hiedra 33,34,35	3	3	450	0,099	0,225	1,65
San Bartolomé De Tirajana	Hoya De Tunte	5	1	750	0,165	0,375	2,75

San Bartolomé De Tirajana	Molino De Juan Chiquito	2	1	300	0,066	0,15	1,1
San Bartolomé De Tirajana	Montaña (La)	3	1	450	0,099	0,225	1,65
San Bartolomé De Tirajana	Palomar, El	6	2	900	0,198	0,45	3,3
San Bartolomé De Tirajana	Villa Pino Diaz	8	2	1200	0,264	0,6	4,4
Santa Brígida	ALGARROBERO (EL) 1 Y 2	8	2	1200	0,264	0,6	4,4
Santa Brígida	Alpendre (El)	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Santa Brígida	Balcón (El)	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Santa Brígida	Casa Rural 2 El Drago	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Santa Brígida	Casa Rural 3 El Caqui	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Santa Brígida	Casa Rural 4 Las Pitas	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Santa Brígida	Caserón Las Huertas	8	2	1200	0,264	0,6	4,4
Santa Brígida	Cueva Del Gato II	3	1	450	0,099	0,225	1,65
Santa Brígida	Gallos (Los)	4	1	600	0,132	0,3	2,2
Santa Brígida	La Caldera	10	1	1500	0,330	0,75	5,5
Santa Brígida	Guinguada	5	1	750	0,165	0,375	2,75
Santa Brígida	Hacienda De La Guirra	2	1	300	0,066	0,15	1,1
Santa Brígida	Hoya Chiquita	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Santa Brígida	Roquete B	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Tejeda	Bentayga	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Tejeda	Casa Ca'Tina	4	1	600	0,132	0,3	2,2
Tejeda	Casa Del Pino	9	1	1350	0,297	0,675	4,95
Tejeda	Casa Las Cascaras	5	1	750	0,165	0,375	2,75
Tejeda	Casa Serafín	4	1	600	0,132	0,3	2,2
Tejeda	Casa Servando	8	2	1200	0,264	0,6	4,4
Tejeda	Casita Roque Nublo	6	2	900	0,198	0,45	3,3
Tejeda	Coronel (El)	3	1	450	0,099	0,225	1,65
Tejeda	Finca La Isa	21	3	3150	0,693	1,575	11,55
Tejeda	Finca Velázquez	5	1	750	0,165	0,375	2,75
Tejeda	Isla De Cuba	3	1	450	0,099	0,225	1,65
Tejeda	Juan Gómez	3	1	450	0,099	0,225	1,65
Tejeda	Paisajes De Tejeda	5	1	750	0,165	0,375	2,75
Tejeda	Pajar De Miguel Velázquez (El)	3	1	450	0,099	0,225	1,65
Tejeda	Pancho Ignacio	4	1	600	0,132	0,3	2,2
Tejeda	Pedro Cruz	5	1	750	0,165	0,375	2,75

Tejeda	Pepita La De Las Flores	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Tejeda	Rincón Del Nublo (El)	5	1	750	0,165	0,375	2,75
Tejeda	Rinconcito (El)	5	1	750	0,165	0,375	2,75
Tejeda	Solana De Miguel Velázquez (La)	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Tejeda	Solana (La)	3	1	450	0,099	0,225	1,65
Valsequillo De Gran Canaria	Casa German	4	1	600	0,132	0,3	2,2
Valsequillo De Gran Canaria	Casas De Don Emilio	23	10	3450	0,759	1,725	12,65
Valsequillo De Gran Canaria	Colmenar (El)	5	1	750	0,165	0,375	2,75
Valsequillo De Gran Canaria	Palmito (El)	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Valsequillo De Gran Canaria	Parra (La)	4	1	600	0,132	0,3	2,2
Valsequillo De Gran Canaria	Pedregal (El)	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Valsequillo De Gran Canaria	Villa Elena	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Vega De San Mateo	Asomada (La)	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Vega De San Mateo	Bellavista	3	1	450	0,099	0,225	1,65
Vega De San Mateo	Bodeguilla 49 (La)	5	1	750	0,165	0,375	2,75
Vega De San Mateo	Ca` Tía Rosa	3	1	450	0,099	0,225	1,65
Vega De San Mateo	Casa Arocena	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Vega De San Mateo	Casa Del Moral	4	1	600	0,132	0,3	2,2
Vega De San Mateo	Casa Vista Alegre	5	1	750	0,165	0,375	2,75
Vega De San Mateo	Ciruelo (El)	3	1	450	0,099	0,225	1,65
Vega De San Mateo	Higuera (La)	4	1	600	0,132	0,3	2,2
Vega De San Mateo	Higuera 46 (La)	4	1	600	0,132	0,3	2,2
Vega De San Mateo	Lechuza (La)	4	1	600	0,132	0,3	2,2
Vega De San Mateo	Lomo Caballo	5	1	750	0,165	0,375	2,75
Vega De San Mateo	Majadal (El)	10	1	1500	0,330	0,75	5,5

Vega De San Mateo	Mondonadas (Las)	2	1	300	0,066	0,15	1,1
Vega De San Mateo	Olivo (El)	3	1	450	0,099	0,225	1,65
Vega De San Mateo	Tinamar	6	1	900	0,198	0,45	3,3
Vega De San Mateo	Tío Félix	3	1	450	0,099	0,225	1,65
Vega De San Mateo	Tres Almendros	3	1	450	0,099	0,225	1,65
Vega De San Mateo	Villa Zoila	6	1	900	0,198	0,45	3,3

De los datos obtenidos se tiene que el caudal medio de agua utilizado en una casa rural es de 800 litros por día, con una carga contaminante del agua residual de 2,94 habitantes equivalentes de media.

Capítulo 7.

ESTUDIO DEL POTENCIAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

7. Estudio del potencial de las energías renovables.

7.1. Potencial energético de fuentes de energía renovables.

El potencial energético se define como la cantidad total de energía presente en la naturaleza, independiente de cuál sea la fuente energética, que puede ser aprovechada mediante el uso de tecnología. [118]

En Canarias existe un gran potencial de fuentes de energía renovable, en la actualidad, las más explotadas son la energía eólica, la solar fotovoltaica y la solar térmica. Otras fuentes de energía renovables menos utilizadas son la hidráulica y la biomasa.

En el presente estudio se analizará el potencial disponible proveniente de los residuos generados por la explotación turística de las casas rurales. Además, se estudiará tanto el potencial fotovoltaico como el eólico disponible según la localización geográfica de las casas.

7.1.1. Potencial residuos orgánicos

A partir de los datos obtenidos en el capítulo 6, se calculará la cantidad de biogás que puede ser generado de la fracción orgánica sólida y líquida.

En primer lugar se analizará la relación entre la DQO y los kilogramos de biogás que se pueden obtener.

La potencialidad de la digestión se justifica en la consideración de que en un sistema anaerobio la DQO es un parámetro conservativo es decir, en un digester anaerobio:

$$DQO \text{ entrada} = DQO \text{ fango salida} + DQO \text{ metano} \quad (22)$$

Así pues y sabiendo que el biogás producido está formado mayoritariamente por metano CH_4 (65%) y CO_2 (35%) y que la DQO del CO_2 es nula, resultaría que:

$$DQO \text{ metano} = DQO \text{ fango entrada} - DQO \text{ fango salida} \quad (23)$$

$$DQO \text{ metano} = DQO \text{ eliminada en digestión} = 2,857 \text{ KgDQO/m}^3 CH_4 \quad (24)$$

Es decir, por cada 100 Kg de DQO que se elimina en el proceso de digestión, se producen 35 m^3 de CH_4 en condiciones normales de presión y temperatura. [119],[120].

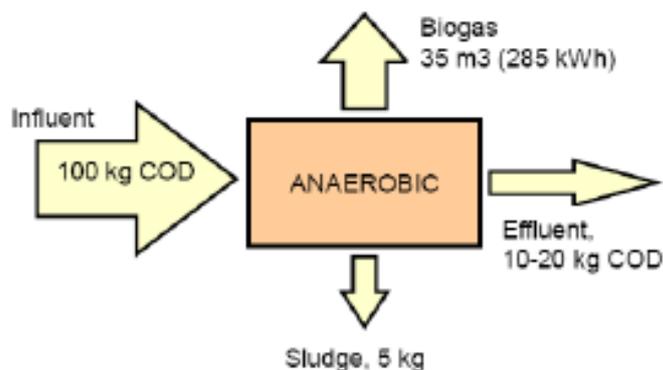


Figura 85. Balance energético proceso anaeróbico. Fuente: Rafael Borja, 2008

De esta forma se puede obtener la cantidad de metros cúbicos de biogás al día que se produce en cada unidad alojativa, tanto de la fracción orgánica sólida como de la líquida.

$$\text{Biogás (m}^3/\text{día)} = \frac{DQO \text{ (kg/día)} \cdot 35 \text{ m}^3 CH_4}{100 \text{ kg DQO}} \quad (25)$$

Aplicando el poder calorífico inferior (PCI) típico del biogás de 5000 kcal/m^3 se calcula la cantidad de energía producida a partir de los residuos orgánicos generados de casa rural.

$$\text{Energía producida (kcal/día)} = \text{biogás (m}^3/\text{día)} * \text{PCI (kcal/m}^3) \quad (26)$$

Este valor se puede pasar a kWh utilizando como relación que

$$1000 \text{ kcal} = 1,163 \text{ kWh} \quad (27)$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 41. Potencial residuos orgánicos. Fuente: Elaboración propia

Municipio	Denominación	Biogás (m ³ /día)	Energía (kcal/día)	Energía (kWh)	Biogás (m ³ /día)	Energía (kcal/día)	Energía (kWh)
		Fracción Orgánica Sólida			Fracción Orgánica Líquida		
Artenara	Caidero (El)	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Artenara	Casa-Cueva El Pastor	0,46	2.079,00	2,42	0,13	590,63	0,69
Artenara	Mama Nieves	0,37	1.663,20	1,93	0,11	472,50	0,55
Artenara	Margaritas (Las)	0,37	1.663,20	1,93	0,11	472,50	0,55
Artenara	Mimo (El)	0,37	1.663,20	1,93	0,11	472,50	0,55
Artenara	Montañeta (La)	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41
Artenara	Pajar (El)	0,46	2.079,00	2,42	0,13	590,63	0,69
San Bartolomé De Tirajana	Casa De La Chicha	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41
San Bartolomé De Tirajana	Casona Del Almendro	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
San Bartolomé De Tirajana	Colmenas (Las)	0,37	1.663,20	1,93	0,11	472,50	0,55
San Bartolomé De Tirajana	Finca La Hiedra 32	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
San Bartolomé De Tirajana	Finca La Hiedra 33,34,35	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41
San Bartolomé De Tirajana	Hoya De Tunte	0,46	2.079,00	2,42	0,13	590,63	0,69
San Bartolomé De Tirajana	Molino De Juan Chiquito	0,18	831,60	0,97	0,05	236,25	0,27
San Bartolomé De Tirajana	Montaña (La)	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41

San Bartolomé De Tirajana	Palomar, El	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
San Bartolomé De Tirajana	Villa Pino Diaz	0,74	3.326,40	3,87	0,21	945,00	1,10
Santa Brígida	ALGARROBERO (EL) 1 Y 2	0,74	3.326,40	3,87	0,21	945,00	1,10
Santa Brígida	Alpendre (El)	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Santa Brígida	Balcón (El)	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Santa Brígida	Casa Rural 2 El Drago	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Santa Brígida	Casa Rural 3 El Caqui	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Santa Brígida	Casa Rural 4 Las Pitas	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Santa Brígida	Caserón Las Huertas	0,74	3.326,40	3,87	0,21	945,00	1,10
Santa Brígida	Cueva Del Gato II	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41
Santa Brígida	Gallos (Los)	0,37	1.663,20	1,93	0,11	472,50	0,55
Santa Brígida	La Caldera	0,92	4.158,00	4,83	0,26	1.181,25	1,37
Santa Brígida	Guiniguada	0,46	2.079,00	2,42	0,13	590,63	0,69
Santa Brígida	Hacienda De La Guirra	0,18	831,60	0,97	0,05	236,25	0,27
Santa Brígida	Hoya Chiquita	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Santa Brígida	Roquete B	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Tejeda	Bentayga	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Tejeda	Casa Ca' Tina	0,37	1.663,20	1,93	0,11	472,50	0,55
Tejeda	Casa Del Pino	0,83	3.742,20	4,35	0,24	1.063,13	1,24
Tejeda	Casa Las Cascaras	0,46	2.079,00	2,42	0,13	590,63	0,69
Tejeda	Casa Serafín	0,37	1.663,20	1,93	0,11	472,50	0,55
Tejeda	Casa Servando	0,74	3.326,40	3,87	0,21	945,00	1,10
Tejeda	Casita Roque Nublo	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Tejeda	Coronel (El)	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41
Tejeda	Finca La Isa	1,94	8.731,80	10,15	0,55	2.480,63	2,88
Tejeda	Finca Velázquez	0,46	2.079,00	2,42	0,13	590,63	0,69
Tejeda	Isla De Cuba	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41
Tejeda	Juan Gómez	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41
Tejeda	Paisajes De Tejeda	0,46	2.079,00	2,42	0,13	590,63	0,69
Tejeda	Pajar De Miguel Velázquez (El)	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41

Tejeda	Pancho Ignacio	0,37	1.663,20	1,93	0,11	472,50	0,55
Tejeda	Pedro Cruz	0,46	2.079,00	2,42	0,13	590,63	0,69
Tejeda	Pepita La De Las Flores	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Tejeda	Rincón Del Nublo (El)	0,46	2.079,00	2,42	0,13	590,63	0,69
Tejeda	Rinconcito (El)	0,46	2.079,00	2,42	0,13	590,63	0,69
Tejeda	Solana De Miguel Velázquez (La)	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Tejeda	Solana (La)	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41
Valsequillo De Gran Canaria	Casa German	0,37	1.663,20	1,93	0,11	472,50	0,55
Valsequillo De Gran Canaria	Casas De Don Emilio	2,13	9.563,40	11,11	0,60	2.716,88	3,16
Valsequillo De Gran Canaria	Colmenar (El)	0,46	2.079,00	2,42	0,13	590,63	0,69
Valsequillo De Gran Canaria	Palmito (El)	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Valsequillo De Gran Canaria	Parra (La)	0,37	1.663,20	1,93	0,11	472,50	0,55
Valsequillo De Gran Canaria	Pedregal (El)	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Valsequillo De Gran Canaria	Villa Elena	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Vega De San Mateo	Asomada (La)	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Vega De San Mateo	Bellavista	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41
Vega De San Mateo	Bodeguilla 49 (La)	0,46	2.079,00	2,42	0,13	590,63	0,69
Vega De San Mateo	Ca` Tía Rosa	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41
Vega De San Mateo	Casa Arocena	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Vega De San Mateo	Casa Del Moral	0,37	1.663,20	1,93	0,11	472,50	0,55
Vega De San Mateo	Casa Vista Alegre	0,46	2.079,00	2,42	0,13	590,63	0,69
Vega De San Mateo	Ciruelo (El)	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41
Vega De San Mateo	Higuera (La)	0,37	1.663,20	1,93	0,11	472,50	0,55
Vega De San Mateo	Higuera 46 (La)	0,37	1.663,20	1,93	0,11	472,50	0,55
Vega De San Mateo	Lechuza (La)	0,37	1.663,20	1,93	0,11	472,50	0,55
Vega De San Mateo	Lomo Caballo	0,46	2.079,00	2,42	0,13	590,63	0,69

Vega De San Mateo	Majadal (El)	0,92	4.158,00	4,83	0,26	1.181,25	1,37
Vega De San Mateo	Mondonadas (Las)	0,18	831,60	0,97	0,05	236,25	0,27
Vega De San Mateo	Olivo (El)	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41
Vega De San Mateo	Tinamar	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82
Vega De San Mateo	Tío Félix	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41
Vega De San Mateo	Tres Almendros	0,28	1.247,40	1,45	0,08	354,38	0,41
Vega De San Mateo	Villa Zoila	0,55	2.494,80	2,90	0,16	708,75	0,82

De los datos obtenidos se puede concluir que la producción de biogás a partir de la fracción orgánica líquida es muy pequeña, con una media de 0,14 m³/día. Lo que resulta poco interesante, ya que exigiría un volumen de digester muy grande para tratar toda el agua residual. Esto se debe a que el volumen del digester es igual al tiempo de retención hidráulico que de media será unos 39 días debido a que la temperatura media analizada en el apartado siguiente es de 18,5 °C por el volumen total a tratar de residuos.

Por lo que estos datos no se tendrán en cuenta para los cálculos de la instalación. Se usará solamente la producción de biogás a partir de los residuos orgánicos sólidos que suponen una media de medio metro cúbico de biogás generado al día.

7.1.2. Potencial solar

España se encuentra dividida en cinco zonas climáticas según el nivel de radiación solar que tengan, situándose Canarias en la zona climática con más radiación incidente anual. [89]



Figura 86. Distinción de zonas climáticas viene reglada por la sección HE 5 del Código Técnico de la Edificación. Fuente: CTE-HE5

Las abundantes horas de luz del archipiélago permiten que la producción de una instalación de placas solares en Canarias sea mayor que en otras zonas.

Existen diversos indicadores para medir el rendimiento energético de una instalación, los más utilizados son el factor de capacidad (FC) y las horas equivalentes (H.E):

- **Factor de capacidad (FC):** El factor de capacidad o también llamado factor de carga es la relación entre la energía real producida en un período dado y el máximo hipotético posible, es decir, funcionando a tiempo completo a la potencia nominal. Los valores típicos del factor de capacidad de una instalación fotovoltaica oscilan entre el 10 y el 30%. El factor de capacidad es adimensional por lo que se suele expresar el porcentaje.

$$FC = \frac{E}{P_n * 8760} \quad (28)$$

E: Energía real obtenida

P_n: Potencia nominal

8760: horas de un año natural

A continuación se muestra la evolución de los factores de capacidad medios de la isla de Gran Canaria a lo largo de los últimos años. [121]

Tabla 42. Evolución del factor de capacidad medio anual de funcionamiento de las instalaciones.
Fuente: Anuario Energético de Canarias, 2018

Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
%FC	32,30%	35,10%	33,80%	32,60%	32,80%	30,10%	30,70%

Los factores de capacidad se han determinado como el ratio del número de horas equivalentes entre el número de horas totales de referencia (considerándose como horas totales de referencia, 4.380 horas, equivalentes a 12 horas diarias).

Se puede observar que el factor de capacidad de las instalaciones de fotovoltaicas que operan en Gran Canaria es superior a los valores típicos. Lo que hace de la isla un lugar idóneo para la instalación de este tipo de tecnología.

- **Horas equivalentes:** El término de horas equivalentes representa, en este caso, la energía producida durante todo el año entre la potencia total fotovoltaica instalada final de ese año. Este ratio es función del potencial fotovoltaico de la zona donde se encuentre ubicada la instalación y de la eficiencia del funcionamiento de la misma. Las horas equivalentes dan una buena referencia, sobre todo comparativa, del rendimiento de una instalación fotovoltaica. [1]

Tabla 43. Horas equivalentes de instalaciones fotovoltaicas. Anuario Energético de Canarias 2018.

Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Media
Horas equivalentes	1.414	1.536	1.480	1.427	1.438	1.320	1.346	1423

En Canarias se dispone de un recurso solar que permite a las instalaciones fotovoltaicas alcanzar valores de horas de funcionamiento equivalentes superior que los registrados en la península. [122]

Para el estudio, se han utilizados los datos de potencial fotovoltaico, radiación solar y temperatura recogidos en GRAFCAN, según la localización de cada casa rural. [123]

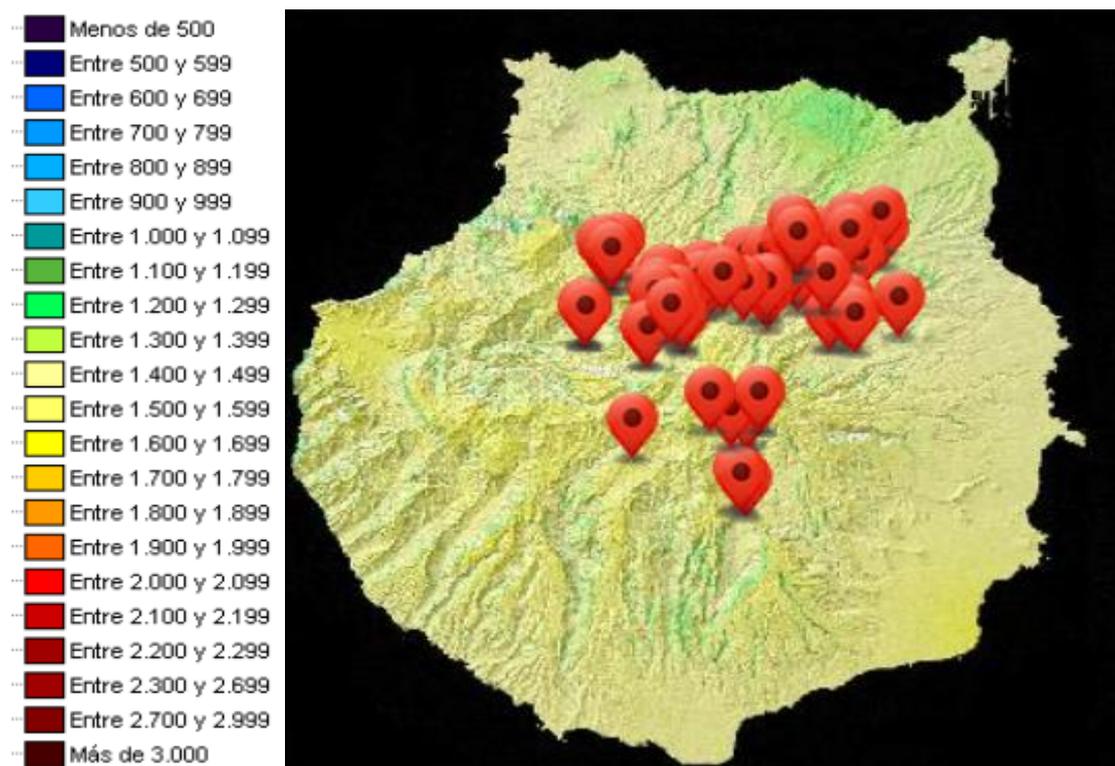


Figura 87. Mapa de potencial fotovoltaico (kWh/kWp) para cada unidad alojativa. Fuente: GRAFCAN

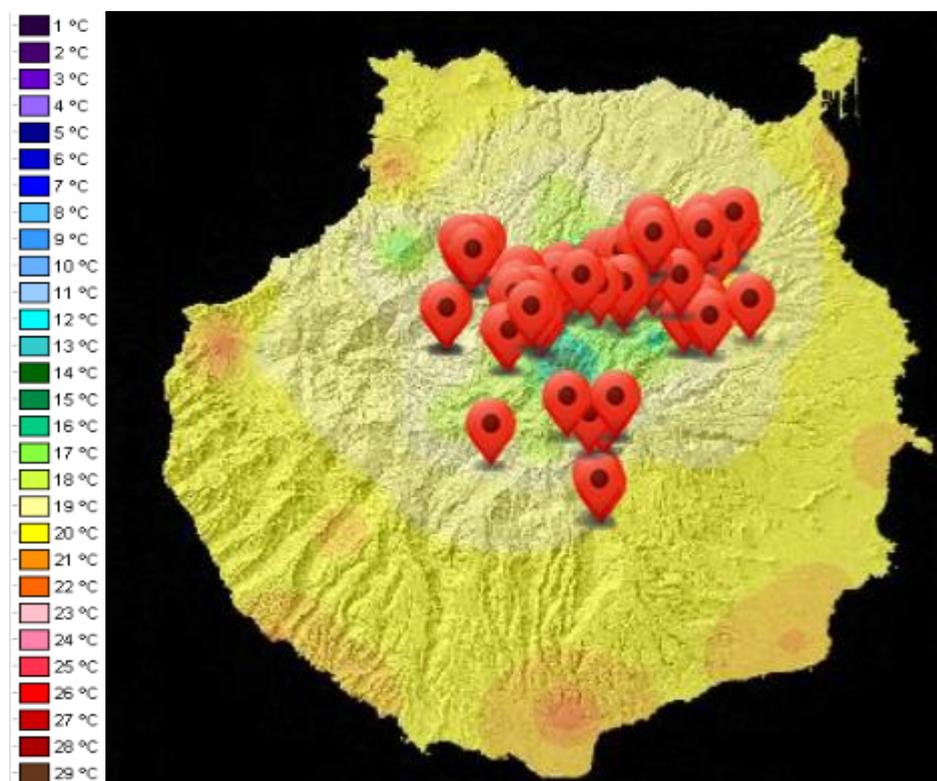


Figura 88. Mapa de temperatura media diaria (°C) para cada unidad alojativa. Fuente: GRAFCAN

En la siguiente tabla se recogen los valores para cada una de las casas rural:

Tabla 44. Datos de localización y potencial solar para cada unidad alojativa. Fuente: GRAFCAN (datos actualizados por última vez 2017).

Municipio	Denominación	Localización			Radiación anual		Potencial fotovoltaico		Temperatura
		X	Y	Altitud m	Superficie horizontal Wh/m2	Superficie Inclinada Wh/m2	Total anual kWh/kWp	Media anual día, kWh/kWp	Temp. Media Anual diurna °C
Artenara	Caidero (El)	436243,62	3100296,40	1174,06	5.526,60	5.984,70	1.531,30	4,20	18,80
Artenara	Casa-Cueva El Pastor	436859,20	3099594,93	1286,88	5.082,90	5.432,80	1.394,90	3,80	18,70
Artenara	Mama Nieves	436609,27	3099484,28	1222,06	5.400,80	5.871,30	1.504,80	4,10	18,80
Artenara	Margaritas (Las)	437326,85	3100363,21	1326,59	5.548,40	6.014,30	1.539,50	4,20	18,70
Artenara	Mimo (El)	437341,17	3100339,35	1321,15	5.548,40	6.014,30	1.539,50	4,20	18,70
Artenara	Montañeta (La)	436861,59	3099746,73	1270,40	5.096,70	5.472,60	1.407,20	3,90	18,70
Artenara	Pajar (El)	436596,74	3099495,83	1228,34	5.400,80	5.871,30	1.504,80	4,10	18,80
S. Bartolomé De Tirajana	Casa De La Chicha	444506,28	3084447,51	607,07	5.258,40	5.709,20	1.453,50	4,00	20,50
S. Bartolomé De Tirajana	Casona Del Almendro	442561,70	3089977,03	1032,09	5.474,90	5.957,30	1.526,30	4,20	18,60
S. Bartolomé De Tirajana	Colmenas (Las)	437990,16	3088139,82	926,10	5.553,60	6.025,50	1.537,30	4,20	19,40
S. Bartolomé De Tirajana	Finca La Hiedra 32	445497,20	3089951,30	844,47	5.122,20	5.452,50	1.392,10	3,80	19,60
S. Bartolomé De Tirajana	Finca La Hiedra 33,34,35	445497,20	3089951,30	844,47	5.122,20	5.452,50	1.392,10	3,80	19,60
S. Bartolomé De Tirajana	Hoya De Tunte	443893,08	3088881,86	827,11	5.409,40	5.874,30	1.500,40	4,10	19,50
S. Bartolomé De Tirajana	Molino De Juan Chiquito	445047,89	3089115,69	732,87	5.323,90	5.799,50	1.480,80	4,10	19,80
S. Bartolomé De Tirajana	Montaña (La)	444775,89	3088843,69	700,26	5.135,00	5.611,00	1.436,00	3,90	19,80
S. Bartolomé De Tirajana	Palomar, El	444709,08	3084254,25	625,04	5.265,50	5.716,40	1.455,30	4,00	20,50

S. Bartolomé De Tirajana	Villa Pino Diaz	444365,50	3084903,23	602,76	5.183,10	5.638,90	1.436,50	3,90	20,40
Santa Brígida	ALGARROBERO (EL) 1 Y 2	450912,64	3101725,61	430,75	4.967,40	5.269,00	1.344,50	3,70	20,20
Santa Brígida	Alpendre (El)	448679,36	3099912,26	659,92	5.022,70	5.341,50	1.370,30	3,80	18,20
Santa Brígida	Balcón (El)	448469,39	3099635,49	717,50	5.106,70	5.475,10	1.406,80	3,90	18,60
Santa Brígida	Casa Rural 2 El Drago	451934,14	3101318,95	478,16	4.806,30	5.037,30	1.278,50	3,50	21,20
Santa Brígida	Casa Rural 3 El Caqui	451934,14	3101318,95	478,16	4.806,30	5.037,30	1.278,50	3,50	21,20
Santa Brígida	Casa Rural 4 Las Pitas	451933,84	3101304,48	480,49	4.806,30	5.037,30	1.278,50	3,50	21,20
Santa Brígida	Caserón Las Huertas	448889,33	3100692,48	569,52	4.978,10	5.349,60	1.372,90	3,80	19,00
Santa Brígida	Cueva Del Gato II	451466,19	3099463,70	673,01	5.059,60	5.367,70	1.367,20	3,70	20,30
Santa Brígida	Gallos (Los)	450884,01	3101057,53	507,60	4.923,40	5.189,00	1.314,40	3,60	21,70
Santa Brígida	Guinguada	447810,86	3100892,90	722,88	5.141,90	5.530,50	1.419,90	3,90	18,80
Santa Brígida	Hacienda De La Guirra	452731,06	3102176,93	450,76	4.917,60	5.201,00	1.328,20	3,60	20,00
Santa Brígida	Hoya Chiquita	448903,64	3100792,69	626,57	5.056,00	5.395,80	1.383,50	3,80	19,10
Santa Brígida	La Caldera	447560,33	3101668,94	836,47	5.172,90	5.565,30	1.427,90	3,90	18,90
Santa Brígida	Roquete B	452840,51	3101181,60	505,33	4.985,90	5.277,20	1.344,20	3,70	20,50
Tejeda	Bentayga	440924,91	3095672,37	1131,60	5.212,30	5.612,20	1.430,50	3,90	20,40
Tejeda	Casa Ca' Tina	439370,45	3096349,69	974,12	5.305,60	5.744,30	1.481,00	4,10	17,60
Tejeda	Casa Del Pino	438791,85	3094499,21	1161,36	5.256,90	5.618,50	1.444,00	4,00	18,00
Tejeda	Casa Las Cascaras	439431,29	3096851,49	1041,75	5.393,80	5.839,50	1.505,30	4,10	17,50
Tejeda	Casa Serafín	439444,11	3096852,98	1043,19	5.393,80	5.839,50	1.505,30	4,10	17,50
Tejeda	Casa Servando	439438,45	3096852,39	1042,78	5.393,80	5.839,50	1.505,30	4,10	17,50
Tejeda	Casita Roque Nublo	439514,80	3097276,94	1069,42	5.392,20	5.846,80	1.507,50	4,10	17,40
Tejeda	Coronel (El)	435165,15	3095918,13	644,63	5.394,40	5.868,90	1.502,60	4,10	19,00
Tejeda	Finca La Isa Casa C	440656,49	3096932,76	1325,26	5.411,60	5.875,20	1.521,10	4,20	16,50
Tejeda	Finca Velázquez	439391,92	3096282,29	968,94	5.315,70	5.756,80	1.484,30	4,10	17,50
Tejeda	Isla De Cuba	438980,34	3094377,38	1255,20	5.243,60	5.603,60	1.440,10	3,90	17,90

Tejeda	Juan Gómez	440915,37	3095591,25	1140,08	5.206,20	5.642,00	1.464,20	4,00	16,10
Tejeda	Paisajes De Tejeda	439037,60	3097386,70	1025,93	5.357,30	5.785,50	1.489,40	4,10	17,70
Tejeda	Pajar De Miguel Velázquez (El)	435243,74	3095802,33	651,69	5.355,10	5.810,30	1.487,90	4,10	18,90
Tejeda	Pancho Ignacio	439546,41	3096825,84	1055,47	5.356,90	5.801,70	1.496,60	4,10	17,40
Tejeda	Pedro Cruz	439561,03	3096853,58	1055,43	5.356,90	5.801,70	1.496,60	4,10	17,40
Tejeda	Pepita La De Las Flores	441106,25	3095347,88	1260,89	5.331,80	5.769,10	1.497,90	4,10	15,80
Tejeda	Rincón Del Nublo (El)	439802,31	3098261,76	1166,42	5.352,10	5.790,90	1.494,10	4,10	17,30
Tejeda	Rinconcito (El)	440323,65	3095930,06	1015,04	5.101,00	5.504,40	1.426,80	3,90	16,80
Tejeda	Solana (La)	435205,12	3095837,30	648,35	5.263,30	5.751,90	1.474,90	4,00	19,00
Tejeda	Solana De Miguel Velázquez (La)	435247,77	3095802,93	651,69	5.335,10	5.810,30	1.487,90	4,10	18,90
Tejeda	Casa German	449762,60	3095596,02	713,24	5.287,80	5.703,20	1.465,20	4,00	18,40
Tejeda	Casas Rurales Don Emilio	451237,13	3095371,74	585,44	5.174,20	5.570,30	1.427,00	3,90	19,10
Valsequillo De G.C.	Colmenar (El)	450716,99	3096340,44	543,54	5.149,80	5.569,50	1.429,70	3,90	18,80
Valsequillo De G.C.	Palmito (El)	453756,73	3096407,25	405,52	5.204,40	5.595,50	1.428,00	3,90	20,10
Valsequillo De G.C.	Parra (La)	450836,29	3096349,99	580,04	5.219,10	5.610,30	1.438,70	3,90	18,90
Valsequillo De G.C.	Pedregal (El)	449633,75	3095538,75	725,00	5.293,60	5.710,80	1.467,30	4,00	18,40
Valsequillo De G.C.	Villa Elena	450697,90	3095656,86	626,84	5.259,60	5.666,90	1.453,10	4,00	18,90
Valsequillo De G.C.	Asomada (La)	446007,06	3097652,73	1020,15	5.340,20	5.794,10	1.493,00	4,10	17,80
Valsequillo De G.C.	Bellavista	444823,61	3099415,98	857,57	5.361,00	5.816,10	1.498,90	4,10	17,70

Vega De San Mateo	Bodeguilla 49 (La)	448612,55	3098697,80	724,80	5.025,10	5.367,60	1.385,30	3,80	17,60
Vega De San Mateo	Ca` Tía Rosa	443382,48	3098079,83	1158,72	5.400,10	5.845,80	1.509,30	4,10	17,10
Vega De San Mateo	Casa Arocena	446035,99	3096909,35	1049,95	5.351,10	5.788,10	1.493,90	4,10	17,30
Vega De San Mateo	Casa Del Moral	447138,61	3100333,69	786,09	5.199,00	5.615,60	1.442,70	4,00	18,60
Vega De San Mateo	Casa Vista Alegre	448259,43	3099062,85	783,44	5.196,20	5.599,40	1.444,40	4,00	17,70
Vega De San Mateo	Ciruelo (El)	449447,65	3098067,90	750,26	5.077,80	5.461,60	1.408,50	3,90	17,70
Vega De San Mateo	Higuera (La)	441989,06	3097857,93	1302,38	5.327,00	5.867,60	1.519,10	4,20	16,40
Vega De San Mateo	Higuera 46 (La)	447820,41	3098039,26	851,40	5.192,10	5.561,80	1.438,20	3,90	17,00
Vega De San Mateo	Lechuza (La)	446026,15	3097566,84	1037,77	5.216,60	5.579,00	1.438,90	3,90	17,40
Vega De San Mateo	Lomo Caballo	447414,79	3098750,29	823,91	5.207,60	5.657,30	1.458,30	4,00	17,80
Vega De San Mateo	Majadal (El)	442160,85	3098537,93	1530,93	5.544,80	6.031,00	1.557,00	4,30	16,80
Vega De San Mateo	Mondonadas (Las)	442590,33	3097736,24	1169,35	5.335,30	5.768,50	1.492,50	4,10	16,70
Vega De San Mateo	Olivo (El)	449442,87	3098144,25	771,64	5.091,60	5.475,40	1.412,20	3,90	17,80
Vega De San Mateo	Tinamar	447787,00	3100702,02	731,19	5.148,20	5.537,70	1.422,00	3,90	18,80
Vega De San Mateo	Tío Félix	445902,08	3099625,94	810,76	5.265,50	5.710,60	1.470,00	4,00	18,10

Vega De San Mateo	Tres Almendros	447150,54	3100312,81	785,21	5.199,00	5.615,60	1.442,70	4,00	18,60
Vega De San Mateo	Villa Zoila	444556,38	3097440,38	1215,98	5.183,10	5.521,90	1.422,50	3,90	17,30

Según los datos recabados el valor mínimo de radiación en superficie inclinada y potencial fotovoltaico anual se registra en el municipio de Santa Brígida, en las casas rurales El Drago, El Caqui y las Pitas con $5037,3 \text{ Wh/m}^2$ y $1278,5 \text{ kWh/kWp}$, respectivamente. Por otro lado, el valor máximo de radiación se registra en el municipio en la casa rural Vega de San Mateo en la casa rural El Majadal, con 6031 Wh/m^2 y 1557 kWh/kWp para el potencial fotovoltaico anual. El valor de radiación medio obtenido es de $5640,07 \text{ Wh/m}^2$ y $1448,07 \text{ kWh/kWp}$ de potencial fotovoltaico anual.

En cuanto a la temperatura el valor mínimo registrado se da en el municipio de Tejeda, en la casa rural Pepita de las Flores, con un valor de $15,8 \text{ }^\circ\text{C}$, y el valor máximo se encuentra en el municipio de Santa Brígida en la casa rural Los Gallos con una temperatura de $21,7 \text{ }^\circ\text{C}$. El valor medio de temperatura es $18,55 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tejeda sería uno de los municipios más favorecedores para una instalación solar térmica-fotovoltaica, ya que su nivel de radiación es bueno, mientras que la temperatura no alcanza valores demasiado elevados. Esto hace que el rendimiento de los paneles sea el apropiado, ya que no se producirán problemas de sobrecalentamiento de estos, perjudicando así la eficiencia de la instalación. Por el contrario, Santa Brígida sería el municipio menos apropiado pues de las zonas estudiadas es el que alberga una menor radiación incidente y una temperatura media más alta, lo que puede dar lugar a problemas de sobrecalentamiento de los paneles, sobre todo en los meses de más calor.

7.1.3. Potencial eólico.

La energía eólica es, de las energías renovables, la que más contribuye en Canarias. Esto es gracias a las condiciones óptimas de viento en las islas, especialmente de los vientos Alisios, que se caracterizan por ser vientos de dirección noreste, constantes y de velocidad media-alta. Los parques eólicos de Canarias presentan una de las mayores productividades del mundo. [124]

Al igual que para las instalaciones de fotovoltaica los indicadores más utilizados para medir el rendimiento de las instalaciones eólicas son las horas-equivalentes y el factor de capacidad.

El rango en el que oscila el factor de capacidad de una instalación eólica es de un 20-40%. En Gran Canaria la evolución del factor de capacidad de los parques eólicos conectados a red ha sido la que se muestra en la Tabla 44.

Tabla 45. Evolución del factor de capacidad (%) medio anual de funcionamiento de los parques eólicos en Gran Canaria. Fuente: Anuario Energético de Canarias 2017 y 2018.

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
% FC	28,80%	32,00%	28,50%	29,50%	35,46%	35,43%	30,35%	37,33%

Los factores de capacidad se han determinado como el ratio del número de horas equivalentes entre el número de horas totales de referencia, considerándose como horas totales de referencia, las de un año (8760 horas).

En cuanto a las horas equivalentes, se ha registrado un valor medio anual de 3270 h-e de funcionamiento de los parques y aerogeneradores instalados en Gran Canaria. En la Tabla 45 se muestra la evolución de los últimos años. [1]

Tabla 46. Evolución de las horas equivalentes medias anuales de funcionamiento de los parques eólicos en Gran Canaria. Fuente: Anuario Energético de Canarias 2017 y 2018

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Horas - equivalentes	2.521	2.799	2.494	2.584	3.107	3.104	2.659	3.270

Para el proyecto, se ha estudiado el recurso eólico disponible en cada una de las localizaciones de las casas rurales, según los datos expuestos por GRAFCAN. Se puede observar en la Figura 89 que las ubicaciones de las unidades alojativas objeto de estudio no se encuentran en las zonas con mayor recurso eólico. Además, en la figura se muestra la ubicación de las instalaciones de parques eólicos y aerogeneradores instalados. [125]

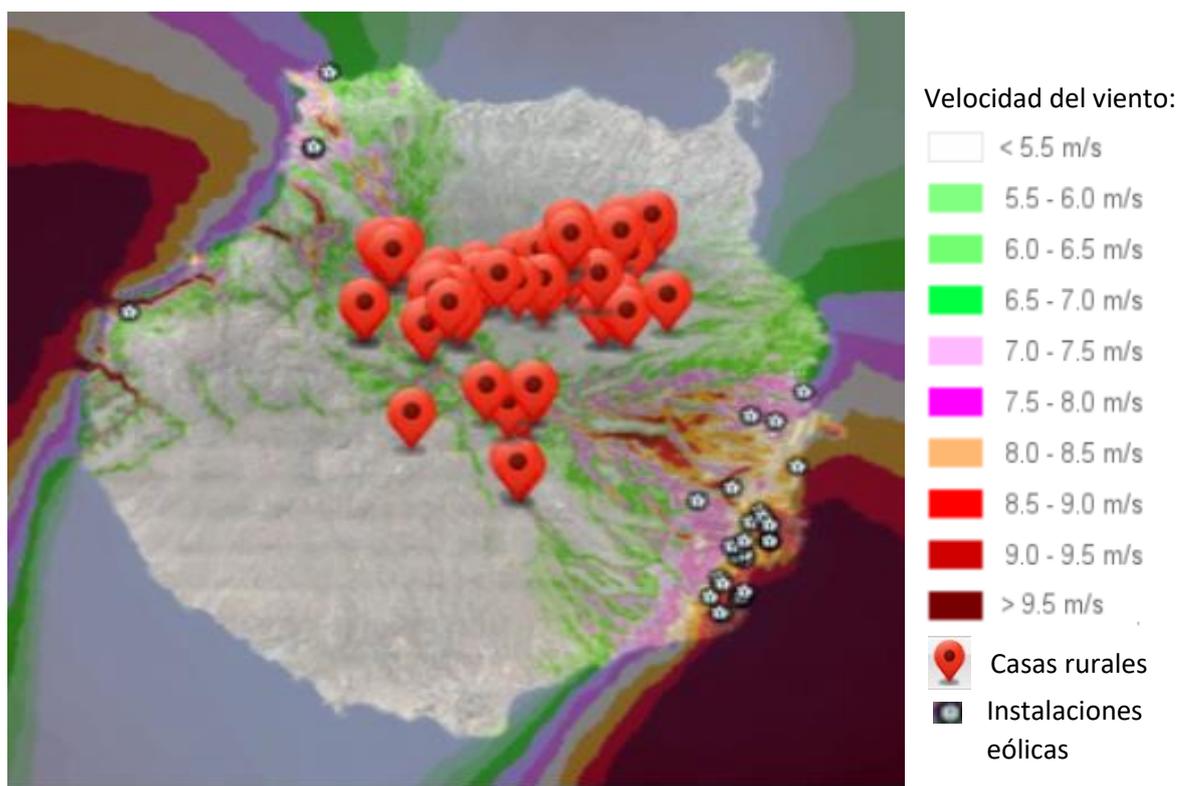


Figura 89. Recurso eólico a 40 m altura y localización de las casas rurales. Fuente: GRAFCAN e ITC.

Analizando con mayor detalle las características del recurso eólico disponible en cada una de las localizaciones, se obtienen los datos que se exponen en la Tabla 46. Del Visor Grafcan se obtienen los datos de velocidad y las constantes C y K de Weibull, con estos datos se ha calculado la Distribución de Weibull o función de densidad de probabilidad de la distribución de la velocidad del viento con el fin de obtener la densidad de potencia teórica de cada unidad alojativa. [126]

$$\text{Distribución de Weibull } p(v) = \frac{K}{C} \left(\frac{v}{C}\right)^{K-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{C}\right)^K} \quad (29)$$

K: factor de forma
C: factor de escala
v: velocidad (m/s)

Donde K es el parámetro de forma, se trata un parámetro adimensional de la distribución de Weibull y c es el parámetro de escala, cuyas dimensiones dependerán de las variables tomadas en cada caso. Un valor de K próximo a 1 corresponde a un régimen de viento altamente variable, cuando se sitúa alrededor de 2 el régimen presenta cambios moderados, mientras que valores superiores a 3 corresponden a vientos más regulares. Por otro lado, un valor de C alto significa un periodo mayor de vientos de alta velocidad. [127]

La expresión para calcular la densidad de potencia teórica es la siguiente: [128]

$$\text{Densidad de potencia } \left(\frac{W}{m^2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot p(v) \cdot v^3 \quad (30)$$

ρ_{aire} : densidad del aire (1,225 kg/m³)

$p(v)$: probabilidad de weibull a esa velocidad

v : velocidad del viento (m/s)

Para calcular la energía producida haría falta conocer el área barrida por el aerogenerador y multiplicar ésta por la densidad de potencia teórica y por la cantidad de horas de funcionamiento del aerogenerador.

		Localización			Potencial eólico				
		X	Y	Altitud	Velocidad viento	Constante C	Constante K	Distribución de Weibull	Densidad de potencia
Municipio	Denominación			m	m/s				W/m ²
Artenara	Caidero (El)	436243,62	3100296,40	1174,06	6,22	6,76	2,330	0,1354	124,13
Artenara	Casa-Cueva El Pastor	436859,20	3099594,93	1286,88	7,04	7,62	2,298	0,1182	177,87
Artenara	Mama Nieves	436609,27	3099484,28	1222,06	6,58	7,11	2,292	0,1263	144,96
Artenara	Margaritas (Las)	437326,85	3100363,21	1326,59	6,89	7,49	2,348	0,1231	169,96
Artenara	Mimo (El)	437341,17	3100339,35	1321,15	6,89	7,49	2,348	0,1231	169,96
Artenara	Montañeta (La)	436861,59	3099746,73	1270,40	6,62	7,17	2,309	0,1263	148,55
Artenara	Pajar (El)	436596,74	3099495,83	1228,34	6,55	7,09	2,292	0,1267	142,89
S. Bartolomé De Tirajana	Casa De La Chicha	444506,28	3084447,51	607,07	4,05	4,40	1,997	0,1791	29,51
S. Bartolomé De Tirajana	Casona Del Almendro	442561,70	3089977,03	1032,09	5,14	5,53	2,117	0,1498	64,04
S. Bartolomé De Tirajana	Colmenas (Las)	437990,16	3088139,82	926,10	3,56	3,83	1,826	0,1871	18,41
S. Bartolomé De Tirajana	Finca La Hiedra 32	445497,20	3089951,30	844,47	4,75	5,15	2,237	0,1706	53,19
S. Bartolomé De Tirajana	Finca La Hiedra 33,34,35	445497,20	3089951,30	844,47	4,75	5,15	2,237	0,1706	53,19
S. Bartolomé De Tirajana	Hoya De Tunte	443893,08	3088881,86	827,11	4,53	4,90	2,126	0,1704	43,95
S. Bartolomé De Tirajana	Molino De Juan Chiquito	445047,89	3089115,69	732,87	4,75	5,16	2,187	0,1668	52,00
S. Bartolomé De Tirajana	Montaña (La)	444775,89	3088843,69	700,26	4,19	4,54	2,164	0,1873	35,36
S. Bartolomé De Tirajana	Palomar, El	444709,08	3084254,25	625,04	3,97	4,32	2,009	0,1836	27,94

S. Bartolomé De Tirajana	Villa Pino Diaz	444365,50	3084903,23	602,76	3,96	4,30	1,984	0,1820	27,41
Santa Brígida	ALGARROBERO (EL) 1 Y 2	450912,64	3101725,61	430,75	4,30	4,52	2,593	0,2201	46,08
Santa Brígida	Alpendre (El)	448679,36	3099912,26	659,92	4,05	4,55	2,612	0,2275	37,49
Santa Brígida	Balcón (El)	448469,39	3099635,49	717,50	3,66	4,13	2,625	0,2521	27,71
Santa Brígida	Casa Rural 2 El Drago	451934,14	3101318,95	478,16	4,31	4,84	2,599	0,2129	44,99
Santa Brígida	Casa Rural 3 El Caqui	451934,14	3101318,95	478,16	4,31	4,84	2,599	0,2129	44,99
Santa Brígida	Casa Rural 4 Las Pitas	451933,84	3101304,48	480,49	4,31	4,84	2,599	0,2129	44,99
Santa Brígida	Caserón Las Huertas	448889,33	3100692,48	569,52	3,08	3,46	2,612	0,2992	16,49
Santa Brígida	Cueva Del Gato II	451466,19	3099463,70	673,01	4,47	4,95	2,584	0,2060	50,37
Santa Brígida	Gallos (Los)	450884,01	3101057,53	507,60	3,75	4,22	2,613	0,2455	29,74
Santa Brígida	Guinguada	447810,86	3100892,90	722,88	3,57	4,01	2,607	0,2577	25,64
Santa Brígida	Hacienda De La Guirra	452731,06	3102176,93	450,76	4,86	5,46	2,592	0,1883	64,33
Santa Brígida	Hoya Chiquita	448903,64	3100792,69	626,57	3,03	3,40	2,615	0,3047	15,73
Santa Brígida	La Caldera	447560,33	3101668,94	836,47	4,43	5,01	2,622	0,2078	49,01
Santa Brígida	Roquete B	452840,51	3101181,60	505,33	5,01	5,59	2,578	0,1825	70,44
Tejeda	Bentayga	440924,91	3095672,37	1131,60	6,11	6,55	2,279	0,1356	115,75
Tejeda	Casa Ca' Tina	439370,45	3096349,69	974,12	4,51	4,80	2,188	0,1769	44,83
Tejeda	Casa Del Pino	438791,85	3094499,21	1161,36	5,38	5,71	2,161	0,1466	75,23
Tejeda	Casa Las Cascaras	439431,29	3096851,49	1041,75	5,50	5,87	2,209	0,1463	82,00
Tejeda	Casa Serafín	439444,11	3096852,98	1043,19	5,50	5,87	2,209	0,1463	82,00
Tejeda	Casa Servando	439438,45	3096852,39	1042,78	5,50	5,87	2,209	0,1463	82,00
Tejeda	Casita Roque Nublo	439514,80	3097276,94	1069,42	5,48	5,86	2,231	0,1482	81,85
Tejeda	Coronel (El)	435165,15	3095918,13	644,63	4,50	4,84	2,188	0,1767	44,39
Tejeda	Finca La Isa Casa C	440656,49	3096932,76	1325,26	5,40	5,79	2,26	0,1519	79,11
Tejeda	Finca Velázquez	439391,92	3096282,29	968,94	4,28	4,56	2,185	0,1861	38,25
Tejeda	Isla De Cuba	438980,34	3094377,38	1255,20	5,47	5,81	2,163	0,1443	79,12

Tejeda	Juan Gómez	440915,37	3095591,25	1140,08	4,15	4,43	2,223	0,1951	35,44
Tejeda	Paisajes De Tejeda	439037,60	3097386,70	1025,93	5,71	6,10	2,229	0,1421	92,54
Tejeda	Pajar De Miguel Velázquez (El)	435243,74	3095802,33	651,69	4,24	4,56	2,187	0,1875	37,11
Tejeda	Pancho Ignacio	439546,41	3096825,84	1055,47	5,50	5,86	2,211	0,1465	82,11
Tejeda	Pedro Cruz	439561,03	3096853,58	1055,43	5,50	5,86	2,211	0,1465	82,11
Tejeda	Pepita La De Las Flores	441106,25	3095347,88	1260,89	4,43	4,73	2,231	0,1834	43,26
Tejeda	Rincón Del Nublo (El)	439802,31	3098261,76	1166,42	5,03	5,41	2,298	0,1659	65,03
Tejeda	Rinconcito (El)	440323,65	3095930,06	1015,04	3,88	4,14	2,203	0,2069	28,71
Tejeda	Solana (La)	435205,12	3095837,30	648,35	4,55	4,89	2,188	0,1748	45,90
Tejeda	Solana De Miguel Velázquez (La)	435247,77	3095802,93	651,69	4,50	4,84	2,188	0,1767	44,39
Tejeda	Casa German	449762,60	3095596,02	713,24	3,84	4,18	2,610	0,2444	32,55
Tejeda	Casas Rurales Don Emilio	451237,13	3095371,74	585,44	4,35	4,74	2,594	0,2144	47,01
Valsequillo De G.C.	Colmenar (El)	450716,99	3096340,44	543,54	3,71	4,05	2,598	0,2515	29,18
Valsequillo De G.C.	Palmito (El)	453756,73	3096407,25	405,52	4,61	5,04	2,520	0,1964	54,34
Valsequillo De G.C.	Parra (La)	450836,29	3096349,99	580,04	3,77	4,11	2,597	0,2476	30,63
Valsequillo De G.C.	Pedregal (El)	449633,75	3095538,75	725,00	3,81	4,15	2,611	0,2463	31,79
Valsequillo De G.C.	Villa Elena	450697,90	3095656,86	626,84	4,23	4,61	2,60	0,2212	43,37
Valsequillo De G.C.	Asomada (La)	446007,06	3097652,73	1020,15	3,75	4,11	2,535	0,2425	29,38
Valsequillo De G.C.	Bellavista	444823,61	3099415,98	857,57	3,68	4,09	2,552	0,2468	27,72

Vega De San Mateo	Bodeguilla 49 (La)	448612,55	3098697,80	724,80	3,57	3,93	2,590	0,2594	25,81
Vega De San Mateo	Ca` Tía Rosa	443382,48	3098079,83	1158,72	2,94	3,21	2,446	0,2995	13,71
Vega De San Mateo	Casa Arocena	446035,99	3096909,35	1049,95	3,16	3,45	2,550	0,2900	17,71
Vega De San Mateo	Casa Del Moral	447138,61	3100333,69	786,09	3,52	3,93	2,587	0,2605	24,50
Vega De San Mateo	Casa Vista Alegre	448259,43	3099062,85	783,44	3,96	4,37	2,587	0,2333	35,13
Vega De San Mateo	Ciruelo (El)	449447,65	3098067,90	750,26	3,44	3,78	2,600	0,2704	23,20
Vega De San Mateo	Higuera (La)	441989,06	3097857,93	1302,38	4,40	4,75	2,357	0,1941	44,55
Vega De San Mateo	Higuera 46 (La)	447820,41	3098039,26	851,40	2,97	3,26	2,583	0,3115	14,85
Vega De San Mateo	Lechuza (La)	446026,15	3097566,84	1037,77	3,94	4,31	2,547	0,2321	34,26
Vega De San Mateo	Lomo Caballo	447414,79	3098750,29	823,91	3,59	3,96	2,576	0,2563	26,08
Vega De San Mateo	Majadal (El)	442160,85	3098537,93	1530,93	5,49	5,97	2,396	0,1576	87,66
Vega De San Mateo	Mondonadas (Las)	442590,33	3097736,24	1169,35	3,41	3,69	2,385	0,2531	20,96
Vega De San Mateo	Olivo (El)	449442,87	3098144,25	771,64	3,47	3,81	2,600	0,2682	23,82
Vega De San Mateo	Tinamar	447787,00	3100702,02	731,19	3,35	3,75	2,604	0,2750	21,21
Vega De San Mateo	Tío Félix	445902,08	3099625,94	810,76	2,90	3,21	2,553	0,3140	13,60

Vega De San Mateo	Tres Almendros	447150,54	3100312,81	785,21	3,52	3,93	2,587	0,2605	24,50
Vega De San Mateo	Villa Zoila	444556,38	3097440,38	1215,98	4,54	2,97	2,498	0,0886	23,05

Los datos arrojan que el municipio con mejor potencial eólico con diferencia sería el municipio de Artenara, con velocidades de viento de 6-7 m/s y una densidad de potencia de más 100 W/m². Las demás localizaciones muestran velocidades entre los 3 y los 5 m/s.

Según las características de cada aerogenerador, el viento medio mínimo para un buen funcionamiento puede variar pero generalmente, la viabilidad de una instalación de este empieza a partir de unos 5 m/s de velocidad de viento media. [129] Además, se debe contar con el espacio adecuado, la presencia de obstáculos cercanos a la instalación puede influir de forma importante en la velocidad y dirección del viento y generar turbulencias que afecten al rendimiento del aerogenerador. A efectos de diseño, se debe asegurar un mínimo de 10 m libres de obstáculos en altura y un mínimo de entre 7 y 10 veces el diámetro del obstáculo en sentido horizontal [130]. Se debe asegurar también poder cumplir los requisitos legales para su uso.

Si se analiza la ubicación de las unidades alojativas la mayoría de ellas se encuentran en Espacios Naturales Protegidos como se puede observar en la Figura 90, lo que dificultaría la instalación de este tipo de tecnología. [131]

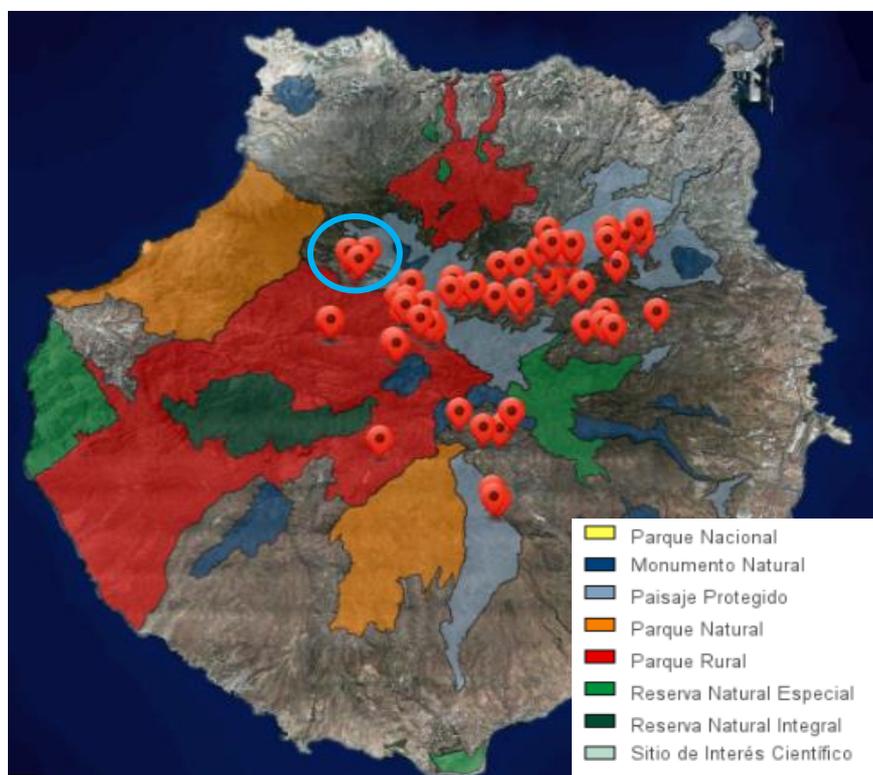


Figura 90. Espacios Naturales Protegidos de Gran Canaria. Fuente: Red Canaria de Espacios Naturales Protegidos

Además, si se analiza el mapa de turbulencias de las zonas en las que se ubican las casas rurales en la Figura 91, se puede observar como hay una alta generación de turbulencias en dichas zonas. Las turbulencias afectarían de manera negativa al rendimiento del aerogenerador.

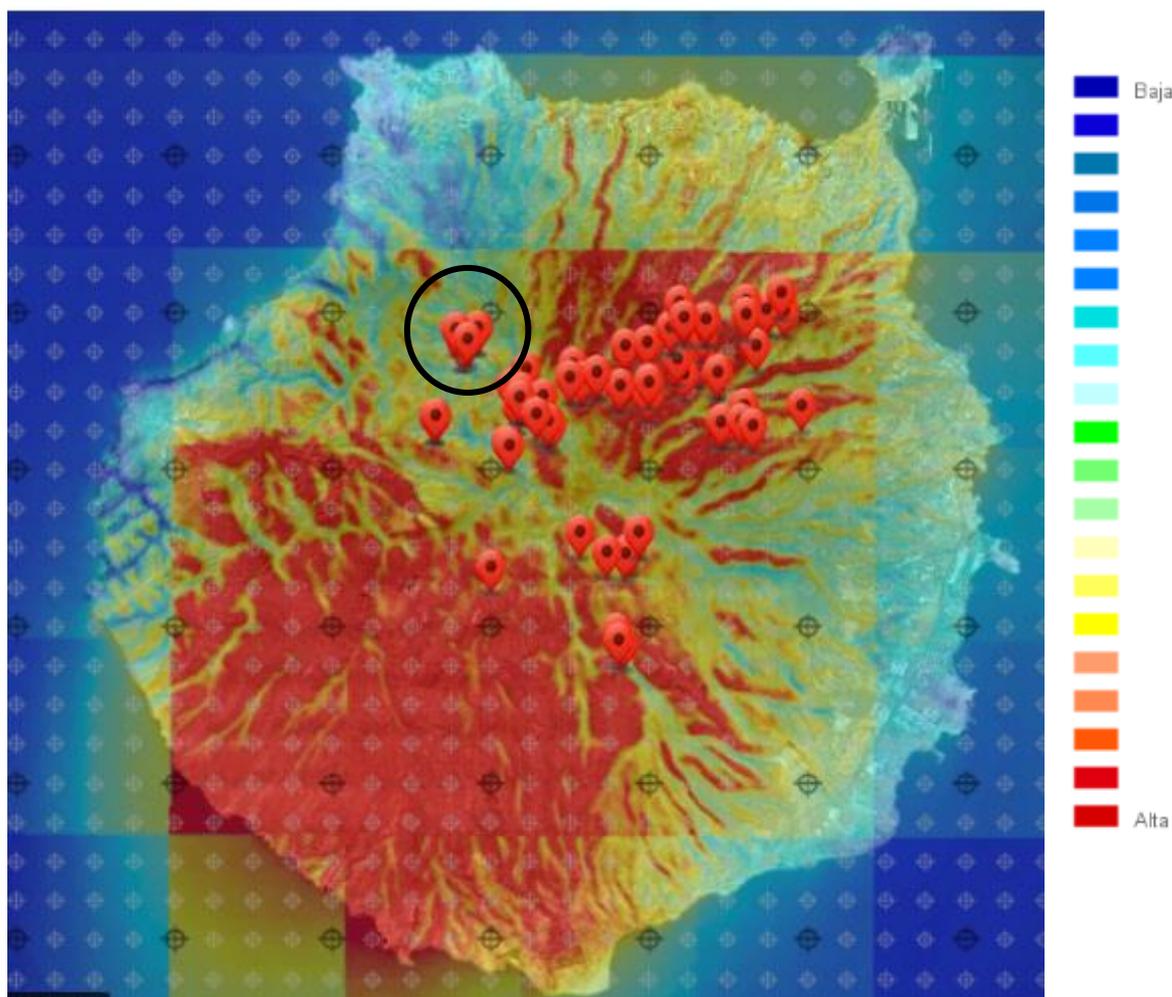


Figura 91. Mapa de intensidad de turbulencias a 40 m. GRAFCAN.

Considerando estos datos, las casas rurales que resultarían más interesantes para estudiar la viabilidad de una instalación eólica serían las ubicadas en el municipio de Artenara, ya que es donde se dispone de un mayor recurso eólico. Además, se encuentran en una zona no perteneciente a un Espacio Natural Protegido y la intensidad de turbulencias en dicha ubicación no es demasiado elevada. En este estudio no se llevará a cabo.

Capítulo 8.

DEMANDA ENERGÉTICA.

8. Demanda energética

La cantidad de energía que se consume en un alojamiento extrahotelero como las casas rurales varía en función del tamaño, su ubicación y el número de ocupantes. Las excelentes condiciones climatológicas del archipiélago hacen que el gasto energético en calefacción, aire acondicionado, etc. sea menor que el de otras zonas geográficas con un nivel de vida similar. Se estima que una vivienda unifamiliar canaria tiene un consumo medio de 10,87 kWh/día [1] y el número medio de habitantes según el Instituto Nacional de Estadística en Canarias por vivienda es de 2,60 habitantes [132], esto hará un consumo medio por habitante de 4,49 kWh/día.

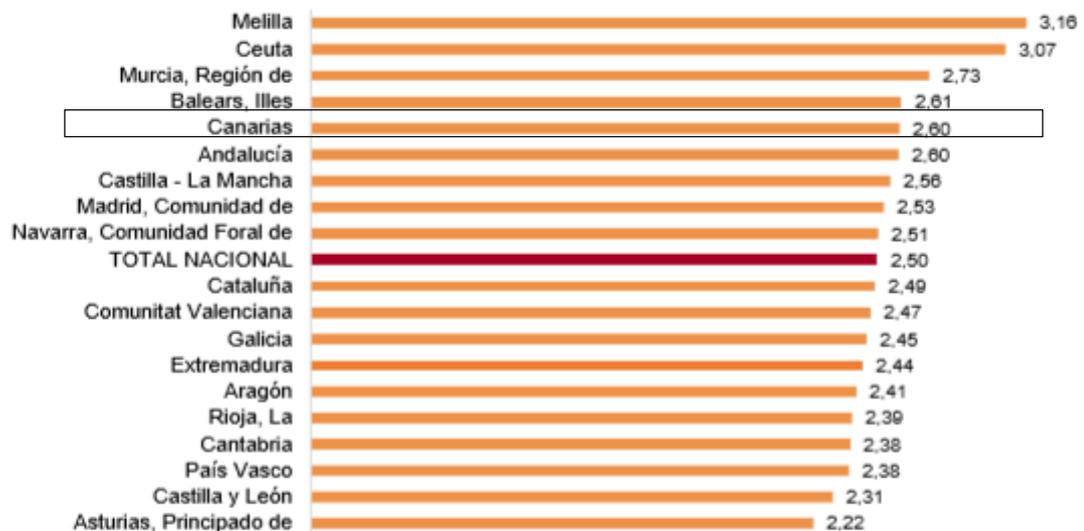


Figura 92. Tamaño medio del hogar por comunidad autónoma. Fuente: INE, 2019

Según esto se calcula la demanda de energía para cada casa rural según su ocupación. Los resultados se muestran a continuación y se compara con la cantidad de energía disponible proveniente del biogás.

Tabla 47. Demanda energética de cada unidad alojativa según ocupación. Fuente: Elaboración propia.

Municipio	Denominación	Plazas	Ud.	Demanda energética (kWh/día)
Artenara	Caidero (El)	6	1	26,94
Artenara	Casa-Cueva El Pastor	5	1	22,45
Artenara	Mama Nieves	4	1	17,96
Artenara	Margaritas (Las)	4	1	17,96
Artenara	Mimo (El)	4	1	17,96
Artenara	Montañeta (La)	3	1	13,47
Artenara	Pajar (El)	5	1	22,45
San Bartolomé De Tirajana	Casa De La Chicha	3	1	13,47
San Bartolomé De Tirajana	Casona Del Almendro	6	2	26,94
San Bartolomé De Tirajana	Colmenas (Las)	4	1	17,96
San Bartolomé De Tirajana	Finca La Hiedra 32	6	1	26,94
San Bartolomé De Tirajana	Finca La Hiedra 33,34,35	3	3	13,47
San Bartolomé De Tirajana	Hoya De Tunte	5	1	22,45
San Bartolomé De Tirajana	Molino De Juan Chiquito	2	1	8,98
San Bartolomé De Tirajana	Montaña (La)	3	1	13,47
San Bartolomé De Tirajana	Palomar, El	6	2	26,94
San Bartolomé De Tirajana	Villa Pino Diaz	8	2	35,92
Santa Brígida	ALGARROBERO (EL) 1 Y 2	8	2	35,92
Santa Brígida	Alpendre (El)	6	1	26,94
Santa Brígida	Balcón (El)	6	1	26,94
Santa Brígida	Casa Rural 2 El Drago	6	1	26,94
Santa Brígida	Casa Rural 3 El Caqui	6	1	26,94
Santa Brígida	Casa Rural 4 Las Pitias	6	1	26,94
Santa Brígida	Caserón Las Huertas	8	2	35,92
Santa Brígida	Cueva Del Gato II	3	1	13,47
Santa Brígida	Gallos (Los)	4	1	17,96

Santa Brígida	Guiniguada	10	1	44,9
Santa Brígida	Hacienda De La Guirra	5	1	22,45
Santa Brígida	Hoya Chiquita	2	1	8,98
Santa Brígida	La Caldera	6	1	26,94
Santa Brígida	Roquete B	6	1	26,94
Tejeda	Bentayga	6	1	26,94
Tejeda	Casa Ca' Tina	4	1	17,96
Tejeda	Casa Del Pino	9	1	40,41
Tejeda	Casa Las Cascaras	5	1	22,45
Tejeda	Casa Serafín	4	1	17,96
Tejeda	Casa Servando	8	2	35,92
Tejeda	Casita Roque Nublo	6	2	26,94
Tejeda	Coronel (El)	3	1	13,47
Tejeda	Finca La Isa Casa C	21	3	94,29
Tejeda	Finca Velázquez	5	1	22,45
Tejeda	Isla De Cuba	3	1	13,47
Tejeda	Juan Gómez	3	1	13,47
Tejeda	Paisajes De Tejeda	5	1	22,45
Tejeda	Pajar De Miguel Velázquez (El)	3	1	13,47
Tejeda	Pancho Ignacio	4	1	17,96
Tejeda	Pedro Cruz	5	1	22,45
Tejeda	Pepita La De Las Flores	6	1	26,94
Tejeda	Rincón Del Nublo (El)	5	1	22,45
Tejeda	Rinconcito (El)	5	1	22,45
Tejeda	Solana (La)	6	1	26,94
Tejeda	Solana De Miguel Velázquez (La)	3	1	13,47
Valsequillo De Gran Canaria	Casa German	4	1	17,96
Valsequillo De Gran Canaria	Casas Rurales Don Emilio	23	10	103,27
Valsequillo De Gran Canaria	Colmenar (El)	5	1	22,45
Valsequillo De Gran Canaria	Palmito (El)	6	1	26,94
Valsequillo De Gran Canaria	Parra (La)	4	1	17,96
Valsequillo De Gran Canaria	Pedregal (El)	6	1	26,94
Valsequillo De Gran Canaria	Villa Elena	6	1	26,94
Vega De San Mateo	Asomada (La)	6	1	26,94
Vega De San Mateo	Bellavista	3	1	13,47

Vega De San Mateo	Bodeguilla 49 (La)	5	1	22,45
Vega De San Mateo	Ca` Tía Rosa	3	1	13,47
Vega De San Mateo	Casa Arocena	6	1	26,94
Vega De San Mateo	Casa Del Moral	4	1	17,96
Vega De San Mateo	Casa Vista Alegre	5	1	22,45
Vega De San Mateo	Ciruelo (El)	3	1	13,47
Vega De San Mateo	Higuera (La)	4	1	17,96
Vega De San Mateo	Higuera 46 (La)	4	1	17,96
Vega De San Mateo	Lechuza (La)	4	1	17,96
Vega De San Mateo	Lomo Caballo	5	1	22,45
Vega De San Mateo	Majadal (El)	10	1	44,9
Vega De San Mateo	Mondonadas (Las)	2	1	8,98
Vega De San Mateo	Olivo (El)	3	1	13,47
Vega De San Mateo	Tinamar	6	1	26,94
Vega De San Mateo	Tío Félix	3	1	13,47
Vega De San Mateo	Tres Almendros	3	1	13,47
Vega De San Mateo	Villa Zoila	6	1	26,94

Estos datos indican que el consumo energético medio de una casa rural es de 24 kWh/día.

Capítulo 9.

ANÁLISIS ECONÓMICO.

9. Análisis económico.

9.1. Análisis de costes de los diferentes tipos de instalaciones

9.1.1. Gastos de capital (CAPEX) y Coste Operativo y Mantenimiento (OPEX).

El coste de la energía kW instalado se divide en dos elementos principales; el gasto de capital (CAPEX) y el gasto de operación (OPEX). El costo nivelado de energía que corresponde a un coste por kWh se estima con base en los elementos de coste anteriores, el tiempo de vida del proyecto, los factores de carga y la tasa de descuento aplicada.

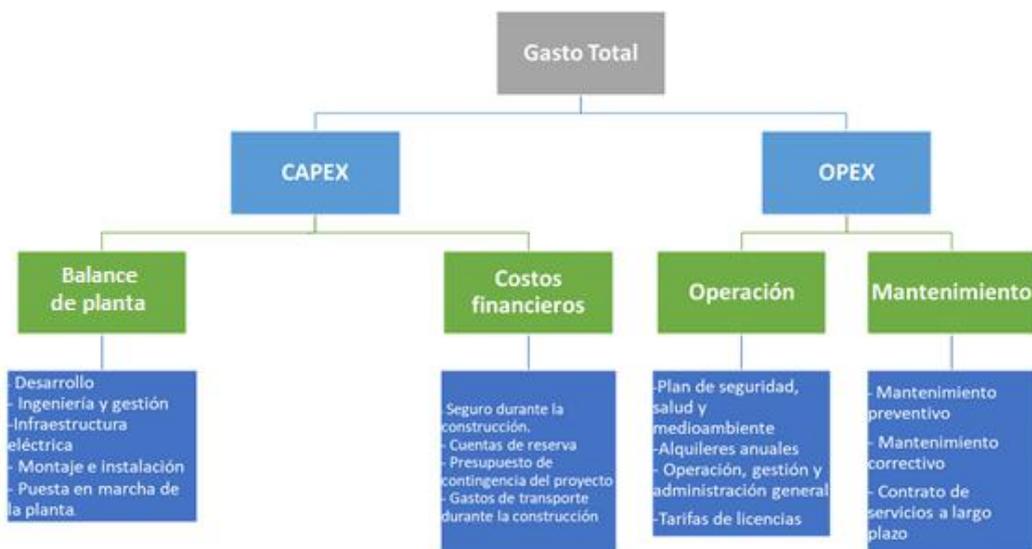


Figura 93. Esquema de costes de una instalación. Fuente: Power Technology

El CAPEX o gasto de capital es un costo único que ocurre durante la construcción del proyecto antes de su puesta en marcha y se expresa en unidades por kW de capacidad instalada o nominal. El CAPEX debe desglosarse por componentes con varias duraciones de vida técnica o componentes con varios inversores de capital (por ejemplo, empresa de servicios públicos, titular de capital privado, consumidor).

Para algunas tecnologías, el costo del gasto de capital (CAPEX) puede ser un gasto recurrente ya que la reinversión debe ser factorizada periódicamente, como cada 5 o 10 años, para reemplazar componentes específicos que tienen una vida más corta que la vida útil del proyecto. Por ejemplo, los inversores de CC / CA utilizados con sistemas fotovoltaicos solares tienen una vida técnica de 5 a 10 años y deben reemplazarse periódicamente. [133]

Por otro lado, el gasto de operación y mantenimiento (OPEX) es un gasto en efectivo que ocurre cada año y se expresa en unidades monetarias por año para un kW de capacidad instalada o nominal. Estos cubren todos los costes que ocurren durante la vida útil de la instalación. Las actividades que contribuyen a la gestión del activo se incluyen en la categoría de operaciones, estas actividades pueden ser el control remoto de la planta, administración y tareas administrativas entre otras. Estas actividades suponen un pequeño porcentaje del gasto total en operación y mantenimiento.

La mayor proporción de los costes se incluyen en las acciones de mantenimiento, estas actividades se pueden dividir en mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo. La reparación proactiva o el reemplazo de varios componentes de la instalación basados en inspecciones de rutina o como respuesta de los sistemas de control pertenecen a un mantenimiento preventivo. El mantenimiento correctivo, por otro lado, incluye la reparación reactiva de componentes defectuosos o dañados en la planta. [134], [135]

Los costes de la energía renovable continúan disminuyendo y la generación de energía renovable se está convirtiendo cada vez más en la fuente predeterminada de la nueva generación de energía de menor coste. Las tecnologías de generación de energía renovable no solo compiten cara a cara con las opciones de combustibles fósiles sin apoyo financiero, sino que las socava cada vez más, en muchos casos por un margen sustancial. [136]

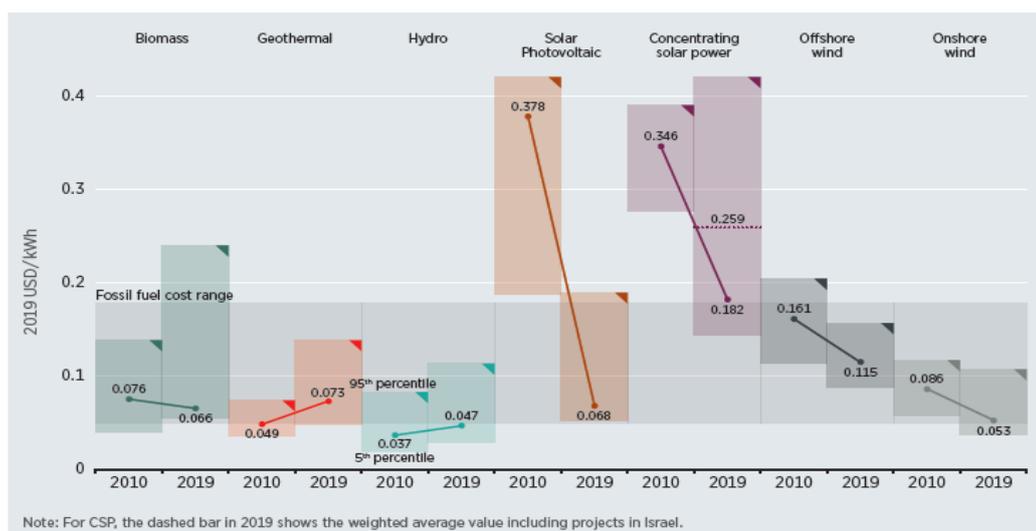


Figura 94. Costo nivelado promedio ponderado global de electricidad de las tecnologías de generación de energía renovable a escala de servicios públicos, 2010 y 2019. Fuente: IRENA, 2019

A continuación se muestran los gastos de capital y operativos para una instalación de solar fotovoltaica y solar térmica, los resultados se muestran en unidades monetarias por unidad de potencia instalada.

Tabla 48. CAPEX y OPEX instalación fotovoltaica y térmica. Elaboración propia.

	CAPEX (€/kW)	OPEX (€/kW año)
Solar Fotovoltaica	1.750 [137]	1,5% de CAPEX[133]
Solar Térmica (Termosifón)	1.250[138] [139]	1-1,8% de CAPEX [140]

Para la instalación del digestor de residuos se ha calculado el gasto de capital y de inversión según investigación propia de los precios de mercado. Se ha hecho una media del coste de capital por kW de potencia, utilizando como referencia digestores de volumen entre 1,2 y 210 m³, dando como resultado los siguientes datos. [141], [142] [143].

Tabla 49. CAPEX y OPEX biodigestor. Elaboración propia.

	CAPEX (€/kW)	OPEX (€/kW año)
Biogás	10.350,16	2-6% de CAPEX [136]

9.1.2. Coste promedio de generación de electricidad (LCOE)

Es una medida comúnmente utilizada del costo de producción de electricidad eólica. Se define como el ingreso requerido para obtener una tasa de retorno de la inversión igual a la inicial durante la vida del parque eólico. LCOE permite comparar diferentes tecnologías para la producción de energía entre sí al considerar todos los costos del ciclo de vida de un proyecto.

La fórmula genérica para calcular el LCOE es:

$$LCOE = \frac{[(CAPEX/n) + OPEX]}{HE} \quad (30)$$

LCOE = Coste promedio de generación de electricidad durante su vida útil (€/MWh)

CAPEX = Gastos de inversión en el año t (€/MW)

OPEX = Gastos de operación y mantenimiento en el año t (€/MW año)

HE=Horas equivalentes (horas)

n = Vida útil del sistema (año)

Se realizará una estimación tanto para el CAPEX como para el OPEX a raíz de los datos obtenidos para cada tipo de instalación y se estimará el LCOE según las horas equivalentes consideradas para cada tipo de tecnología y su vida útil. [144]

Tanto para la instalación fotovoltaica como solar térmica se considerará el número de horas equivalente medio que se expone en el Anuario Energético de Canarias 2018 [1]. Para el número de horas equivalentes del biodigestor se ha estimado una cantidad de 7800 horas anuales ya que se tiene en cuenta el tiempo de retención hidráulico de la primera carga.

Tabla 50. LCOE para las diferentes tecnologías (€/kWh). Elaboración propia.

	Solar Fotovoltaica	Solar Térmica	Biogás
CAPEX (€/kW)	1.750	1.050	10.350,16
OPEX (€/kW año)	26,25	15,75	517,5
Vida útil (años)	25	20	20
HE (horas)	1.423	1.423	7.800
LCOE (€/kWh)	0,07994	0,04796	0,11942

Hay que decir que el precio de instalación del sistema completo de biodigestor se reduce significativamente conforme se aumenta la capacidad de producción de biogás. En la siguiente gráfica se observa como el precio de producción de electricidad disminuye drásticamente respecto a la potencia instalada.

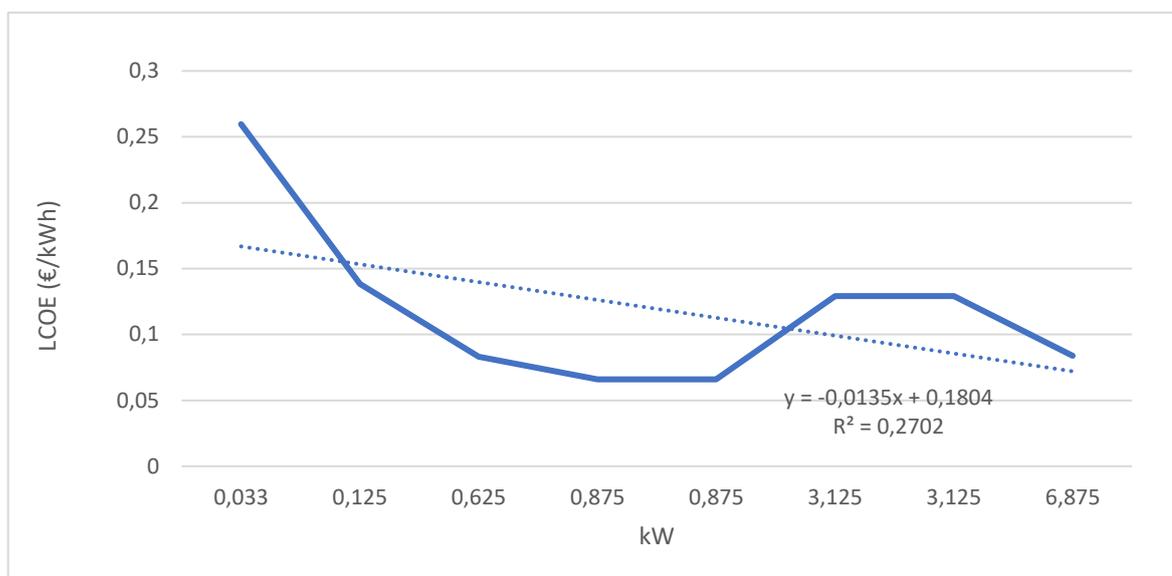


Figura 95. LCOE para digestores de diferentes capacidades. Fuente: Shezhen Puxin Techology.

Dado que la economía de escala juega negativamente para las plantas más pequeñas, se deduce fácilmente la dificultad para hacerlas rentables.

9.1.3. Comparación con los costes de generación de electricidad en Canarias.

En este apartado se muestra la evolución que ha experimentado el precio medio de la generación eléctrica en las Islas Canarias, según la información publicada por el operador del sistema, Red Eléctrica de España.

El precio máximo del año 2018 se alcanzó en el mes de octubre con 165,35 €/MWh. Si se compara con el año anterior, el precio medio anual en 2018 aumentó un 15,3%, alcanzándose un valor de 151,71 €/MWh. [1]

Tabla 51. Evolución del precio medio mensual de la generación eléctrica en Canarias (€/MWh). Fuente: REE, Anuario Energético de Canarias 2018

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2015	164,06	162,61	143,87	143,76	141,95	146,59	127,41	126,37	127,43	130,89	128,07	115,66
2016	111,27	106,51	107,39	109,40	110,28	108,75	123,32	125,11	126,69	130,32	129,47	111,95
2017	139,49	132,15	131,69	133,59	133,00	131,81	130,90	131,53	131,93	134,57	132,77	116,01
2018	142,99	142,49	140,80	146,82	148,97	149,33	154,24	158,27	160,86	165,35	163,19	147,31
Incremento anual (%)												
18/17	2,51%	7,82%	6,92%	9,90%	12,01%	13,29%	17,83%	20,33%	21,93%	22,51%	22,84%	26,98%

Los precios medios anuales de la generación eléctrica en Canarias serían los siguientes:

Tabla 52. Evolución del precio medio anual de la generación eléctrica en Canarias. (€/kWh). Fuente: REE, Anuario Energético de Canarias 2018

	2014	2015	2016	2017	2018
Coste (€/kWh)	0,176	0,138	0,117	0,132	0,152

Por otro lado, el precio final que paga el consumidor con potencia eléctrica contratada inferior a 10 kW es el Precio Voluntario al Pequeño consumidor, también conocido como PVPC. La principal característica de esta tarifa es que el precio está regulado por el Gobierno, evitando de esta manera que la comercializadora pueda fijar un precio libre para todo aquel que quiera acogerse a la tarifa PVPC. El Gobierno fija los precios de la tarifa PVPC en función de la evolución que experimenta el precio de la luz en el mercado eléctrico Pool. Esta tarifa establece un precio de la electricidad diferente para cada hora.

En 2018 la evolución del PVPC fue la que se muestra en la siguiente figura, mostrando una media de 0,124 €/kWh. [145]

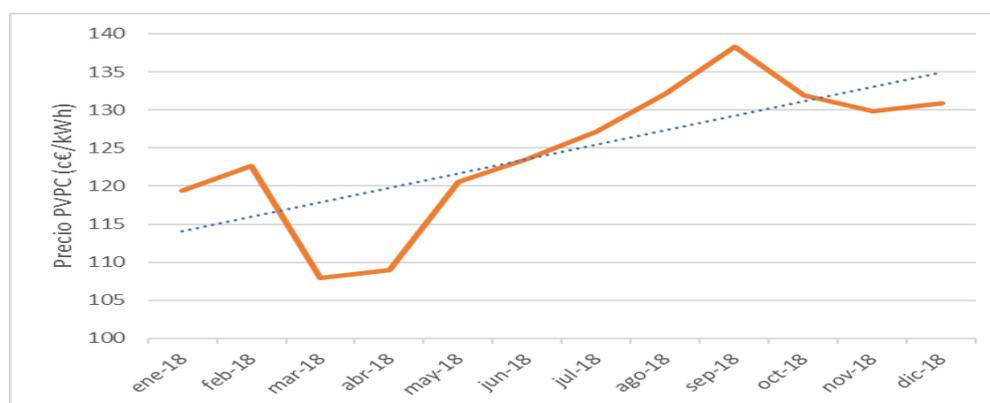


Figura 96. Evolución precio PVPC 2018. (c€/kWh)

9.2. Estudio de viabilidad.

La evaluación de viabilidad económica de un proyecto se basa en la determinación del cash Flow (flujo de caja) a lo largo de su ciclo de vida. La calidad de dicha evaluación estará condicionada por la fidelidad con la que ese flujo de fondos represente el transcurrir del proyecto.

El cash Flow operativo representa los fondos generados por el proyecto a lo largo de su vida útil. Se corresponde con la diferencia entre los ingresos y los gastos originados por la explotación del proyecto.

En este apartado se realizarán simulaciones de estudios económicos para los diferentes tipos de tecnologías estudiadas anteriormente. En dicho estudio se calculará el TIR y el VAN de la inversión con el fin de estudiar la rentabilidad durante la vida útil de cada instalación, siendo éstos los indicadores más usuales. Se tendrán en cuenta los ingresos de venta de energía a precio de mercado frente a los costes de generación de electricidad a partir de este tipo de energía.

9.2.1. Valor Actual Neto (VAN).

Es un método de valoración de inversiones que puede definirse como la diferencia entre el valor actualizado de los cobros y de los pagos generados por una inversión. Proporciona una medida de la rentabilidad del proyecto analizado en valor absoluto.

Analíticamente se expresa como la diferencia entre el desembolso inicial y el valor actualizado, al mismo momento, de los cobros y pagos futuros, a los que se denomina flujos de caja:

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{(1+k)^j} \quad (31)$$

Siendo:

k: Tipo de interés.

n: Número de años, vida de la inversión.

*I*₀: Desembolso inicial (*j*=0)

*Q*_{*j*}: Flujos netos de caja de cada período.

Según el resultado obtenido se puede saber si el proyecto es rentable o no.

- VAN > 0: el proyecto es rentable. indica que el proyecto arroja un beneficio aún después de cubrir las expectativas.
- VAN = 0: no significa que no haya beneficios sino que ellos apenas alcanzan a cubrir las expectativas del proyecto.
- VAN < 0: el proyecto no es rentable. Un VAN negativo no implica necesariamente que no se estén obteniendo beneficios, sino que evidencia alguna de estas situaciones: que no se están obteniendo beneficios o que estos no alcanzan a cubrir las expectativas del proyecto, solamente nos indica que el proyecto debe rechazarse. [146]

9.2.2. Tasa Interna de Retorno o tasa de rentabilidad (TIR).

Es otro criterio utilizado para la toma de decisiones sobre los proyectos de inversión y financiamiento. Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Es la tasa de interés que, utilizada en el cálculo del Valor Actual Neto, hace que este sea igual a 0.

El argumento básico que respalda a este método es que señala el rendimiento generado por los fondos invertidos en el proyecto en una sola cifra que resume las condiciones y méritos de aquel. Al no depender de las condiciones que prevalecen en el mercado financiero, se la denomina tasa interna de rendimiento: es la cifra interna o intrínseca del proyecto, es decir, mide el rendimiento del dinero mantenido en el proyecto, y no depende de otra cosa que no sean los flujos de efectivo de aquel.

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{(1+k)^j} = 0 \quad (32)$$

Son realizables aquellas inversiones que tengan una TIR superior a la rentabilidad que se exige a la inversión "k" (TIR > k). Entre las inversiones realizables es preferible la que tenga una TIR más elevada. [147]

9.2.3. Período de recuperación del proyecto (PAY- BACK)

El periodo de recuperación de un proyecto se define como el tiempo necesario para recuperar el capital invertido. Se identifica como el primer año en el que el VAN acumulado del proyecto presenta un valor positivo.

Constituye un indicador de riesgo del proyecto, ya que cuanto mayor sea el número de años necesarios para recuperar los fondos invertidos, mayor será la posibilidad de que existan factores que no se puedan prevenir en el momento de tomar la decisión y que pueden afectar a la rentabilidad del proyecto.

Es importante destacar que no se debe invertir en un proyecto que presente un período de recuperación mayor que su vida útil ya que eso implicaría que no se recuperará el capital invertido. [148]

9.2.4. Escenarios.

El escenario de un proyecto debe recoger todos los datos relevantes del proyecto evaluadas en diferentes situaciones. Por lo tanto se trata de la principal fuente de datos para la realización del análisis económico del proyecto. En este proyecto se analizará el proyecto en un escenario normal y optimista.

- **Escenario normal.** Se considerará un escenario normal aquel que representa el grado de ocupación turística real de las casas rurales. Según el INE el porcentaje de ocupación de este tipo de alojamiento en Canarias fue del 33% en el año 2019. [149] [150].



Figura 97. Ocupación mensual por plazas, 2018 y 2019. Fuente: Statista, 2020

- **Escenario optimista.** Se considerará un escenario optimista la previsión de que la ocupación turística del sector extrahotelero crecerá un 26% en el próximo año debido a la crisis mundial sanitaria económica, en la que se busca un tipo de alojamiento más individual. [151]
- **Escenario pesimista.** Se considerará un escenario pesimista aquel que prevé una demanda alojativa de este tipo de alojamiento no mayor al 10 % de la ocupación. [152]

9.3. Simulación económico – financiera de una casa rural de consumo medio.

A continuación, se realizan simulaciones de la cuenta de resultados para cada una de las diferentes instalaciones y según el tipo de escenario en una casa rural con una ocupación media de seis habitantes. Se utiliza este número de ocupantes ya que es la media que se ha obtenido del total de la muestra utilizada.

9.3.1. Instalación de biodigestor

Para este tipo de vivienda la demanda energética media es de 26,94kWh aproximadamente. Con la producción de biogás de los residuos orgánicos sólidos tan solo se cubrirá un 12% (3,22 kWh/día) de la demanda total diaria.

Para ello, se instalará un biodigestor pequeño cuyo volumen se calculará según la expresión siguiente:

$$\text{Volumen del digestor (m}^3\text{)} = \text{Volumen de carga diaria (m}^3\text{)} \cdot \text{TRH (días)} \quad (33)$$

Se supone un consumo de agua promedio de 2,43 litros por kilogramo de residuo, esto hace que si la media de residuos orgánicos sólidos disponible es de 4,78 kilogramos, se emplearán 11,61 litros de agua. Sabiendo además que la densidad de los residuos orgánicos es de 291 kg/m³ [153] por lo que la cantidad total es de 0,02792 litros.

Por otro lado, como se ha descrito anteriormente el Tiempo de Retención Hidráulico es de 39 días aproximadamente, trabajando en régimen mesofílico. De este modo el volumen del digester a instalar será el siguiente.

$$\text{Volumen del digester (m}^3\text{)} = 0,02792 \cdot 39 = 1,08 \text{ m}^3 \quad (34)$$

Por lo que se utilizará un digester con un volumen de 1,2 m³, con una capacidad máxima de producción de biogás de 0,6 m³/día, considerando que la capacidad máxima de producción que tendría una casa de estas características sería de 0,55 m³/día. Esto supondrá aproximadamente 3,22 kWh/ día de energía. A continuación se muestra el esquema de la instalación.

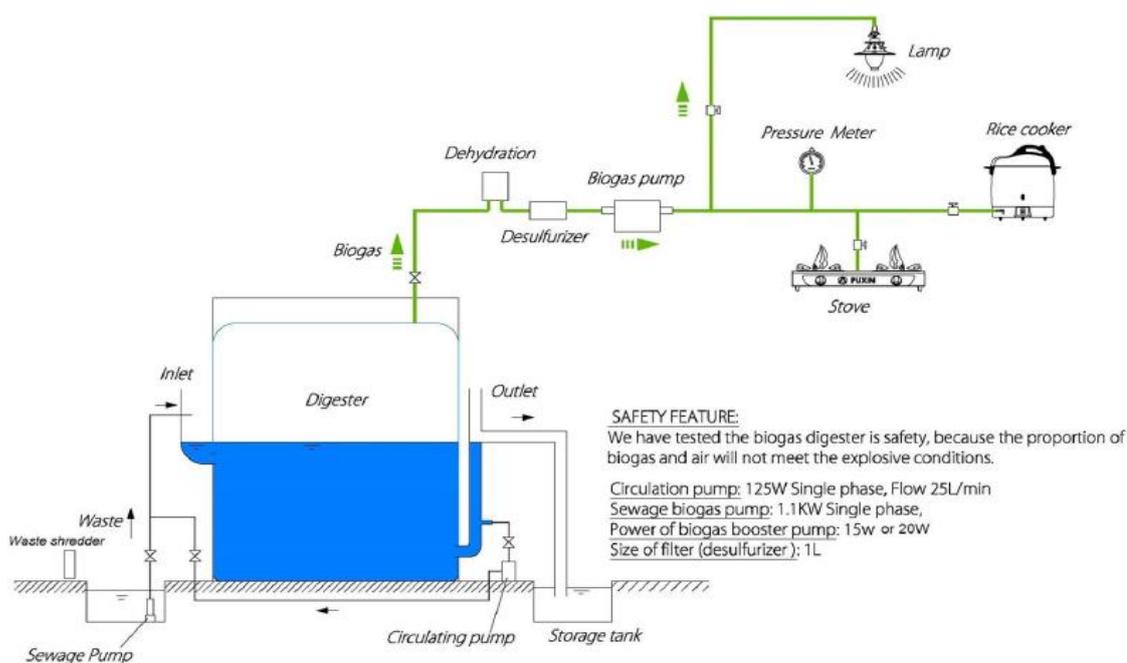


Figura 98. Esquema sistema biodigestión para hogar. Fuente: Shezhen Puxin

Para esta instalación el coste según presupuesto pedido a Shezhen Puxin Technology Co. será de 2587,42 € incluyendo el coste de instalación y mantenimiento del sistema, con un coste de producción de energía de 0,1367 €/kWh. Este precio es mayor que el que pagaría el consumidor a precio de mercado medio (PVPC) actual, por lo que se deduce que la instalación no será rentable.

Además este cálculo se ha realizado para una explotación continua del sistema (100%), pero en el caso que se estudia tan solo habría una explotación del 33%. Por lo que claramente la inversión sale no rentable.

Aun así se ha hecho la simulación en la cuenta de resultados en la que se ha supuesto un coste de capital del 3,5%, una inflación anual del 1,5 %, el precio PVPC de 0,124462 €/kWh y una vida útil de la instalación de 20 años obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 53. Resultados económicos para instalación de biodigestor. Elaboración propia

VAN	-119,66 €
TIR	2,28%
PAY-BACK	16 años

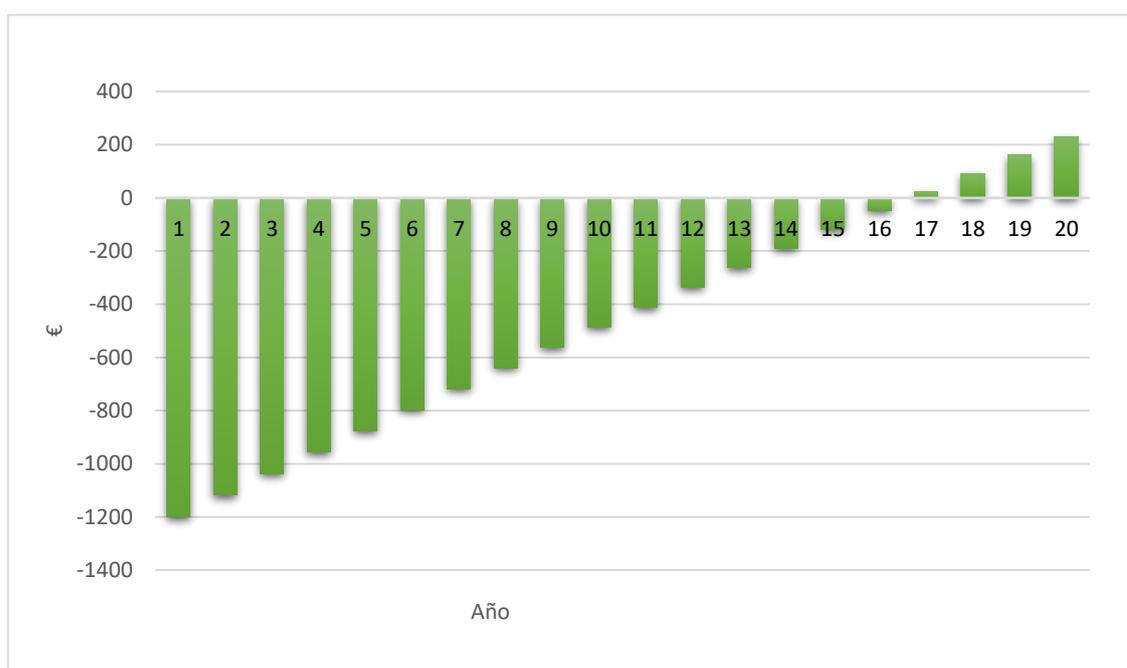


Figura 99. Amortización de la inversión. Elaboración propia

A pesar de tener un TIR ligeramente positivo, este no alcanza la rentabilidad mínima exigida al proyecto, se puede afirmar que el proyecto no cumple con las expectativas de la inversión.

Utilizando la ocupación real del 33% se obtendrían pérdidas económicas respecto a la compra de energía eléctrica en cualquier comercializadora. La instalación tampoco será

rentable para el escenario optimista aunque en este se estime un incremento del grado de ocupación en un 26% más sigue sin amortizarse la inversión.

9.3.2. Instalación solar térmica.

Dado que se estima que el consumo de ACS por habitante es de 30 l/día según el CTE-HE4, y la media de ocupación de las unidades alojativas es de 6 personas se tiene que aproximadamente 180 litros del caudal total de agua utilizado es para ACS.

Esto supone una demanda energética de aproximadamente 9,9 kWh/ día según los cálculos obtenidos de la herramienta informática Viessmann Solar[154], es decir un 38% de la demanda total de energía es destinada para ACS. A continuación se muestran los resultados obtenidos para ocupación del 100%

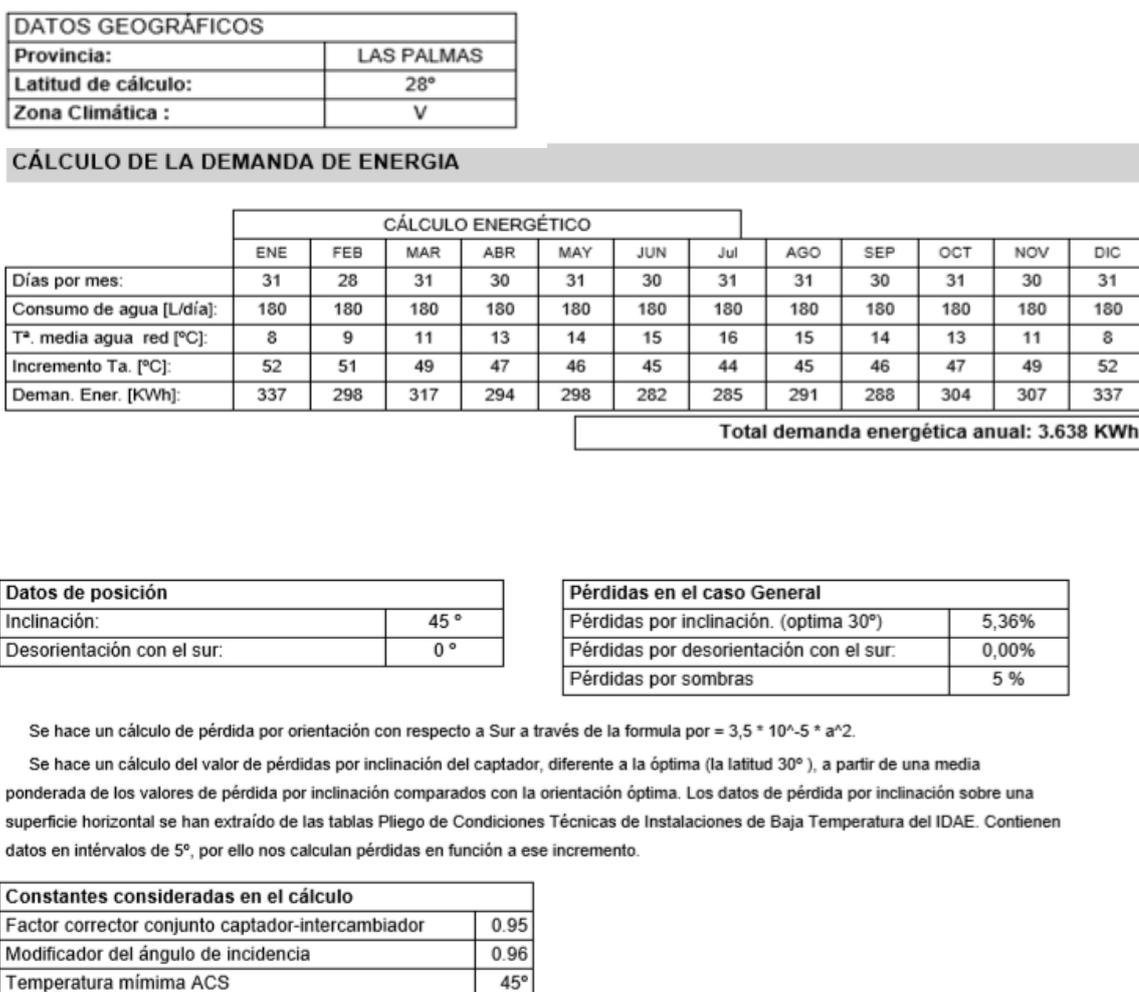


Figura 100. Cálculo demanda de energía anual. Fuente: Viessmann.

CALCULO ENERGÉTICO MEDIANTE EL METODO F-CHART												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Jul	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Rad. horiz. [kWh/m2-mes]:	96,41	110,32	153,14	163,20	186,93	187,50	209,25	188,48	165,00	129,89	102,60	92,07
Coef. K. incl[45°] lat[28°]	1,23	1,14	1,01	0,89	0,79	0,75	0,79	0,89	1,04	1,20	1,30	1,30
Rad. inclin. [kWh/m2-mes]:	112,66	119,48	146,94	137,99	140,29	133,59	157,04	159,36	163,02	148,07	126,71	113,71
Demam. Ener. [KWh]:	337	298	317	294	298	282	285	291	288	304	307	337
Ener. Ac. Cap. [KWh/mes]:	319	338	416	390	397	378	444	451	461	419	358	322
D1=EA/DE	0,95	1,13	1,31	1,33	1,33	1,34	1,56	1,55	1,60	1,38	1,17	0,96
K1	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
K2	0,66	0,66	0,78	0,86	0,90	0,94	0,93	0,88	0,79	0,80	0,72	0,61
Ener. Per. Cap. [KWh/mes]:	720	641	844	887	968	957	947	896	757	824	727	658
D2=EP/DE	2,14	2,15	2,66	3,01	3,25	3,40	3,33	3,08	2,63	2,71	2,37	1,96
f	0,64	0,75	0,82	0,80	0,79	0,79	0,89	0,90	0,95	0,85	0,76	0,66
EU=f*DE	216	224	259	237	237	223	255	263	273	257	233	221

Total producción energética útil anual: 2.897 KWh

RESULTADO OBTENIDOS	
Total demanda energética anual:	3.638 KWh
Total producción energética útil anual:	2.897 KWh
Factor F anual aportado de:	80%

Figura 101. Cálculo producción de energía por Método f-chart. Fuente: Viessmann.

Con estos resultados se tiene que se puede satisfacer con el sistema de energía termosolar el 80% de la demanda total para ACS.

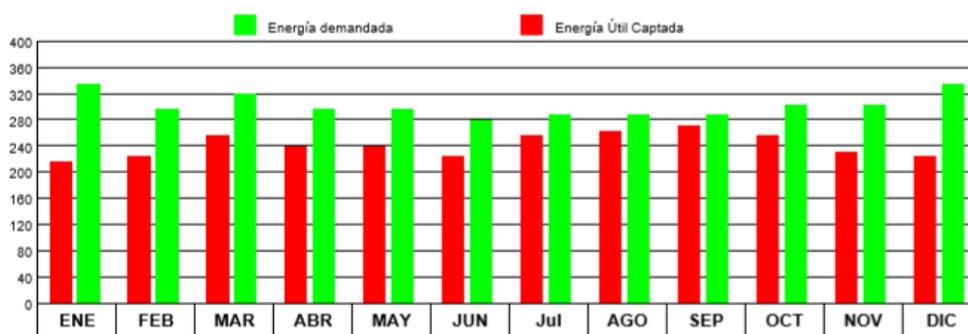


Figura 102. Gráfica comparativa Demanda-Producción de energía en un año (Kwh). Fuente:

La simulación en la cuenta de resultados en la que se ha supuesto un coste de capital del 3,5%, una inflación anual del 1,5 %, el precio PVPC de 0,124462 €/kWh y una vida útil de la instalación de 20 años ha generado los siguientes resultados para los escenarios posibles.

Tabla 54. Resultados de viabilidad para una instalación termosolar según diferentes escenarios. Elaboración propia.

	Escenario real	Escenario Optimista
VAN	-980,82 €	232,40 €
TIR	-3%	5%
PAY-BACK	21 años	13 años

Los resultados indican que el proyecto de una instalación termosolar para cubrir la demanda de ACS de una vivienda de 6 ocupantes solo sería rentable en el caso del escenario optimista. Actualmente con el grado de ocupación existente del 33% no sería rentable hacer la inversión.

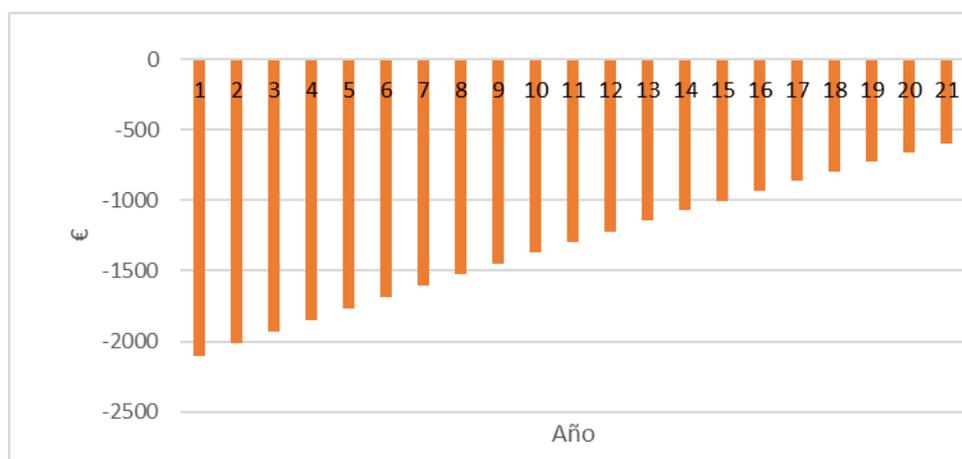


Figura 103. Amortización de la inversión termosolar escenario real. Elaboración propia.

Sin embargo, si el grado de ocupación aumentara hasta el 59% el proyecto tendría una rentabilidad del 5%, superando así la rentabilidad exigida y amortizando la inversión en 13 años desde la instalación.

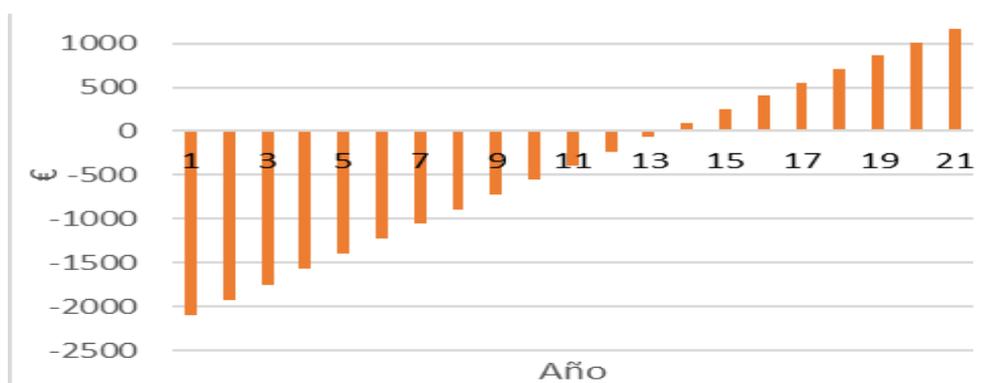


Figura 104. Amortización de la inversión termosolar escenario optimista. Elaboración propia.

9.3.3. Instalación fotovoltaica.

Para el dimensionado de la instalación fotovoltaica de una casa rural con una ocupación media de 6 ocupantes, se ha estimado una demanda de 26,94 kWh/día como ya se ha mencionado anteriormente, que anualmente supone una demanda de 9.833,1 kWh. Por lo que se necesitará una instalación que cubra dicha demanda.

Sin embargo, según el RD 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica *“En ningún caso, el valor económico de la energía horaria excedentaria podrá ser superior al valor económico de la energía horaria consumida de la red en el periodo de facturación, el cual no podrá ser superior a un mes.”* [155] En caso de dimensionar la instalación para un consumo del 100% de la demanda se producirá un excedente que no se podrá vender, ya que no cumpliría con el RD y por tanto será más difícil rentabilizar la inversión, teniendo en cuenta que el nivel de ocupación medio del turismo rural es del 33 % anual, resulta que lo más indicado será infradimensionar la instalación. Dado que el precio por compensación de excedente es 0,05€/kWh [156] y el de compra de energía es de 0,124€/kWh aproximadamente, al realizar la instalación fotovoltaica se hará un dimensionado para cubrir aproximadamente el 45% del total de la demanda, esto serían 4.424,9 kWh anuales, ya que el porcentaje óptimo de sustitución de electricidad proveniente de una instalación solar de autoconsumo está entre un 40 y 60 %. [157] De esta forma se podrá vender el excedente generado ya que no será superior al valor económico de la energía consumida.

Asumiendo que la instalación no tendrá un rendimiento del 100 % debido a pérdidas intrínsecas del propio sistema (inversor, cables, reflectancia...), se estimará que la instalación tiene unas pérdidas del 12 % aproximadamente [157].

Para el cálculo se elegirá la casa rural “Casona del Almendro” situada en el municipio de San Bartolomé de Tirajana, por ser una de las que cumple con las condiciones media de ocupantes y tener mayor potencial fotovoltaico según los datos recogidos.

Utilizando la herramienta “Photovoltaic Geographical Information System” (PVGIS) implementado por el JRC (Joint Research Center) de los servicios científicos internos de la Comisión Europea obteniendo los siguientes datos: [158]

Tabla 55. Energía FV y radiación solar mensual. Fuente: PVGIS

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m	Em: Producción eléctrica media mensual del sistema dado [kWh].
Enero	130.9	157.7	13.5	
Febrero	120.2	146.8	18.1	H(i)_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m ²].
Marzo	155.1	194.6	16.1	
Abril	152.2	194.2	9.7	
Mayo	159.8	208.0	9.4	SDm: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh].
Junio	156.6	206.0	9.1	
Julio	171.1	225.9	13.3	Angulo de inclinación [°]: 25 (opt)
Agosto	169.6	224.1	13.8	Ángulo de azimut [°]: 0
Septiembre	142.7	184.7	13.8	
Octubre	130.6	166.2	15.2	
Noviembre	122.0	150.1	10.8	
Diciembre	120.3	144.2	12.8	

Se observa que el mes más desfavorable es diciembre, es decir, el mes en el que la irradiación es menor, y por tanto, en el que más potencia se necesita. La irradiación media diaria en diciembre es de 4,8 kWh·m²/día. De forma que se dimensionará la instalación para estas condiciones.

Este valor se divide entre la radiación solar incidente que utilizada para calibrar los módulos (1 kW/m²). De esta forma, se obtiene la cantidad de horas sol pico (HSP).

$$HSP = \frac{4,8 \text{ kWh} \cdot \text{m}^2/\text{día}}{1 \text{ kW}/\text{m}^2} = 4,8 \text{ HSP} \quad (34)$$

Para realizar este cálculo se ha elegido módulos fotovoltaicos de 250 W. Utilizando la siguiente expresión para establecer el número de módulos en función de las condiciones de radiación más desfavorables.

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \text{energía necesaria} / HSP * \text{potencia pico del módulo} \quad (35)$$

De esta forma se tienen los siguientes resultados.

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{13577,776 \text{ Wh/día}}{4,8 \text{ HSP} \cdot 250W} = 11,31 \quad (36)$$

Por tanto se deduce que será necesario utilizar 12 paneles fotovoltaicos para cubrir dicha demanda. Por lo que habrá que instalar una potencia de 3 kW.

La simulación en la cuenta de resultados en la que se ha supuesto un coste de capital del 3,5%, una inflación anual del 1,5 %, el precio PVPC de 0,124462 €/kWh, una vida útil de la instalación de 25 años. Se ha tenido en cuenta el precio medio de venta por compensación de excedentes de 0,05 € y un impuesto por venta de excedente del 3% que corresponde para Canarias [159]. Además, la instalación se acoge a la subvención “Mejora de la eficiencia energética y el uso de energías renovables en empresas y edificios residenciales” [160] por la que se recibe una subvención del 45 % del importe total de la instalación, ya que esta es superior a 4.500€. Según los datos expuestos se han generado los siguientes resultados para los dos escenarios posibles.

Tabla 56. Resultados de viabilidad para una instalación fotovoltaica según diferentes escenarios. Elaboración propia.

	Escenario real	Escenario Optimista
VAN	109,11 €	1.245,29 €
TIR	4 %	7 %
PAY-BACK	16 años	11 años

Los datos exponen que la instalación en el escenario actual con un 33% de la ocupación anual de las casas turísticas se tendría una rentabilidad del 4% medio punto más que la rentabilidad que se le ha exigido al proyecto (3,5%). La inversión estará amortizada a los 16 años desde la instalación.

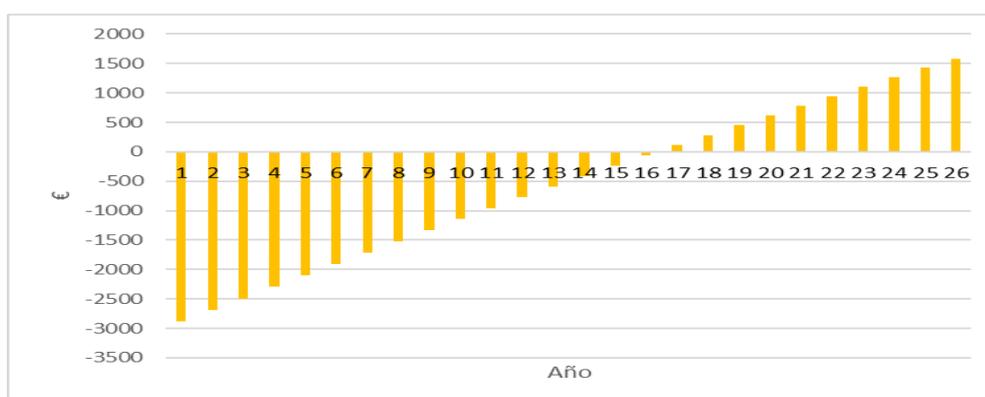


Figura 105. Amortización instalación fotovoltaica 33% de la ocupación. Elaboración propia.

Para el escenario optimista en el que la ocupación aumentaría al 59 %, se obtendrá una rentabilidad del 7%, amortizando el proyecto a los 11 años desde la instalación.

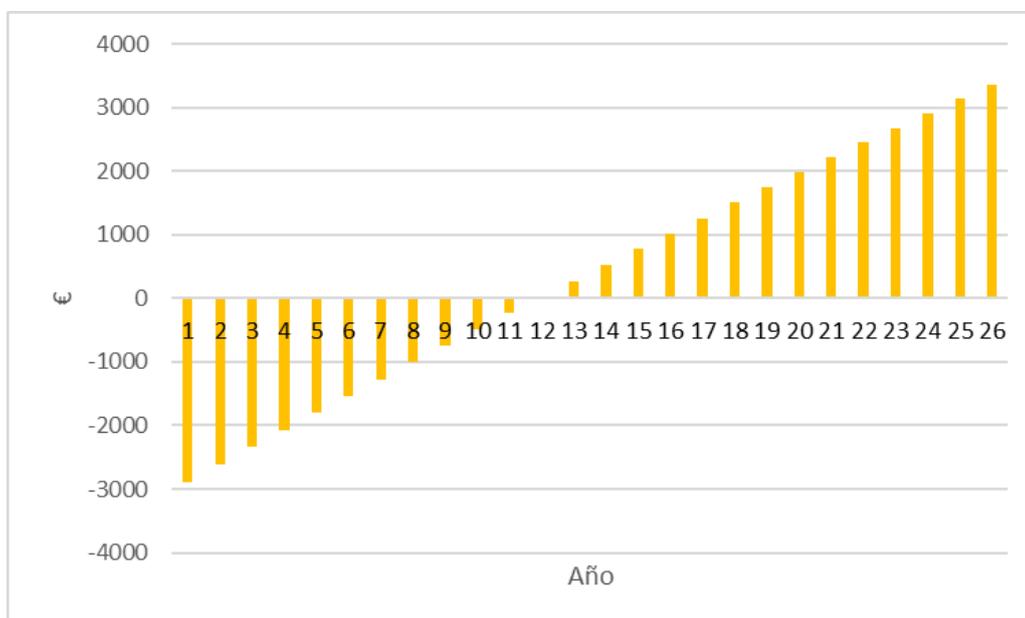


Figura 106. Amortización instalación FV 59 % de la ocupación. Elaboración propia.

Ninguna de las instalaciones resulta rentable en el caso de que se dé el escenario pesimista en el que se reduce el grado de ocupación al 10%.

9.3.4. Reducción de emisiones de CO_{2eq}.

Se estima la reducción de emisiones de CO_{2eq} para cada instalación en el total de su vida útil para el escenario real. Cada kWh generado mediante combustibles fósiles emite 0,4kg de CO_{2eq}, por lo que se utiliza este factor de conversión para indicar el ahorro de emisiones a la atmósfera. [161]

Tabla 57. Emisiones de CO_{2eq} reducidas. Elaboración propia.

	Biodigestor	Termosolar	Fotovoltaica
kg CO_{2eq}	2.763,45	21.718,29	36.679,26
Media anual	138,17	1.085,91	1.467,17

Adicionalmente, para el caso del biodigestor, se ha de tener en cuenta que cada kilo de residuo sólido orgánico depositado en el vertedero genera 4,2 kg de CO_{2eq}. Para el caso de estudio, el biodigestor utiliza al año 573,4 kg de residuos orgánico, lo que equivale a una reducción de 2.408,3 kg de CO_{2eq} anuales.[162]

9.4. Simulación económico – financiera para la casa rural con mayor número de plazas.

Se analizará la rentabilidad financiera para la casa rural del estudio que tiene un mayor número de plazas disponibles. Se trata de “Las Casas de Don Emilio” situada en el municipio de Valsequillo de Gran Canaria con un total de 21 plazas ofertadas.

A continuación se exponen los resultados de la simulación teniendo en cuenta las mismas condiciones que en el apartado anterior.

Datos:

Tabla 58. Datos utilizados para los cálculos. Elaboración propia.

Plazas (unidades)	21
Demanda energía diaria (kWh/día)	103,27
Residuos orgánicos generados (kg/hab. día)	16,72
Volumen del digestor necesario (m ³)	3,4
Horas Sol Pico (HSP)	4,3

Resultados:

Tabla 59. Resultados económicos obtenidos. Elaboración propia.

Biodigestor	Escenario Real	Escenario Optimista
VAN (€)	-1.077,46	76,33
TIR (%)	-3,94	3,85
PAY-BACK (años)	> vida útil	14
Termosolar	Escenario Real	Escenario Optimista
VAN (€)	-164,03	2771,98
TIR (%)	3%	13%
PAY-BACK (años)	15	7
Fotovoltaica	Escenario Real	Escenario Optimista
VAN (€)	436,45	4981,17
TIR (%)	4%	7
PAY-BACK (años)	16	11

De los resultados obtenidos se deduce que la tecnología de la biodigestión disminuye exponencialmente sus costes conforme aumenta la capacidad de producción de biogás como bien se observaba en la figura 96. La rentabilidad de la instalación fotovoltaica y

termosolar se mantiene estable. Ninguno de los proyectos es rentable para el escenario pesimista.

9.4.1. Reducción de emisiones de CO₂-eq.

En este caso las emisiones de CO₂-eq para el escenario real son los siguientes:

Tabla 60. Reducción de emisiones de CO₂-eq en Casas Don Emilio. Elaboración propia.

	Biodigestor	Termosolar	Fotovoltaica
kg CO₂eq	10.851,98	52.558,25	146.717,04
Media anual	542,60	2.627,91	5.868,68

Además, en este caso se emplean para la digestión anaerobia 2013,92 kilogramos de residuos orgánicos, lo que supone una reducción 8.055,7 kg de CO₂-eq al año.

Capítulo 10.

CONCLUSIONES.

10. Conclusiones.

Según el estudio realizado en este proyecto se puede concluir que la situación energética y medioambiental actual requiere una descarbonización del sistema bastante más abrupta que la que se está llevando a cabo actualmente por los diferentes Gobiernos para poder cumplir los objetivos energéticos y medioambientales establecidos tanto a nivel nacional como europeos para 2050.

A nivel regional es también necesario reducir la dependencia energética del exterior que se tiene actualmente. Por lo que se hace inevitable incrementar notablemente la explotación de las fuentes de energías renovables y fomentar la economía circular con el fin de reducir la cantidad ingente de residuos y emisiones de Gases Efecto Invernadero generados, puesto que Canarias es la segunda Comunidad Autónoma con mayor número de kilogramos de residuos generados por persona y además, como se mostrado al inicio del proyecto Canarias tiene una media per-cápita de emisiones GEI (6,19 t de CO₂-eq/hab.) superior a la nacional (5,95 t de CO₂-eq/hab.).

En este proyecto, para conseguir dichos objetivos, se ha estudiado la posibilidad de fomentar un turismo con un concepto diferente, orientado a un turismo rural combinado con una explotación de los alojamientos con un concepto de economía circular.

Se ha estudiado la opción de poder implementar en las casas rurales de la zona de medianías de Gran Canaria, un biodigestor con el fin de tratar los residuos sólidos orgánicos generados en a partir de la explotación turística y utilizar el biogás generado procedente de la digestión anaerobia para el propio suministro de la casa, bien en forma de biogás para

cocinar o de electricidad a través de un generador eléctrico. Además, debido al gran potencial solar que ofrece Canarias con más 1700 HSP al año se ha estudiado complementar la instalación con energía termosolar para satisfacer la demanda de ACS y energía fotovoltaica para satisfacer el resto de la demanda energética.

El estudio ha revelado que actualmente el grado de ocupación que presenta el turismo rural no es demasiado elevado, tan solo un 33% de la ocupación según los datos recogidos por el Instituto Nacional de Estadística. Este hecho hace que actualmente instalar un biodigestor en una casa rural de capacidad media (6 ocupantes) no sea rentable, pues la economía de escala juega un papel negativo para volúmenes tan reducidos de residuos. Dado que el coste se reduce exponencialmente cuanto mayor es el volumen para tratar.

Por otra parte, aunque para este escenario la instalación de energía fotovoltaica sí resulta rentable, se tardaría el doble de tiempo en amortizar dichos proyectos que si se instalasen en una vivienda de ocupación habitual. Tampoco sería rentable hacer una instalación solar térmica teniendo solamente un 33 % de la ocupación.

Si se diera el escenario presentado como optimista y debido a la actual crisis sanitaria económica el grado de ocupación del turismo rural aumentara hasta el 59% de la ocupación total, se obtendrían unos resultados más positivos para las instalaciones solar fotovoltaica y térmica, mientras que el biodigestor seguiría sin ser rentable.

El biodigestor solo ha salido económicamente viable en el caso estudiado de una casa rural que tiene una capacidad para 21 personas y dándose el escenario optimista. Puesto que hay pocas casas rurales capaces de ofrecer tantas plazas, se puede deducir que no es el escenario adecuado para este tipo de instalación.

Por lo que este tipo de tecnología sería más apropiada para establecimientos que presenten una oferta alojativa y un grado de ocupación mayor. Sería adecuado por ejemplo, para dar solución a la problemática que se presenta en los establecimientos hoteleros con el desperdicio de comida. Según el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente el 30 % de la comida servida en los hoteles se tira a la basura, lo que supone un 12% (924 millones de kilogramos) del desperdicio alimenticio total en España.

[163]–[165], lo que supone un grave un problema económico y ambiental., puesto que se estima que cada kilo de comida equivale a 9,30 € y aproximadamente 4kg de CO₂-eq.

Se estima que los costes de producción de energía a través de fuentes de origen renovables seguirán reduciéndose de aquí a 2050, lo que hace que estas sean cada vez más competitivas frente a las fuentes de energía convencionales pudiendo ser rentables en condiciones más desfavorables, sobre todo en Canarias donde el precio de generación de energía es uno de los más caros del país. [136], [166].

También sería interesante estudiar la aplicación de este proyecto para otro tipo de establecimientos extrahoteleros, como es el caso de las viviendas vacacionales ya que al igual que los hoteles, en Canarias presentan un grado de ocupación bastante elevado, que oscila entre el 70 y el 80% del total de la capacidad.

Anexo I. Referencias.

- [1] Consejería de Transición Ecológica Lucha contra el cambio climático y Planificación Territorial, “Anuario energético de canarias 2018.” 2020.
- [2] “Market Intelligence | OMT.” [Online]. Available: <https://www.unwto.org/es/market-intelligence>. [Accessed: 28-Feb-2020].
- [3] “Estadísticas sobre residuos - Statistics Explained.” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/es#Generaci.C3.B3n_total_de_residuos. [Accessed: 28-Feb-2020].
- [4] Eurostat, “Eurostat Regional Yearbook. 2019 edition,” p. 226, 2019.
- [5] “World Energy Statistics | Energy Supply & Demand | Enerdata.” [Online]. Available: <https://www.enerdata.net/publications/world-energy-statistics-supply-and-demand.html>. [Accessed: 02-Mar-2020].
- [6] I. Renewable Energy Agency, *Renewable Energy Statistics 2019*. 2019.
- [7] BP p.l.c. 2019, “BP Energy Outlook 2019 edition The Energy Outlook explores the forces shaping the global energy transition out to 2040 and the key uncertainties surrounding that,” *BP Energy Outlook 2019*, 2019.
- [8] “Bioenergy.” [Online]. Available: <https://www.irena.org/bioenergy>. [Accessed: 02-Mar-2020].
- [9] Press E, “El turismo en España y en el mundo, en datos y gráficos,” *20-01*, 2020. [Online]. Available: <https://www.epdata.es/datos/turismo-espana-mundo-datos-graficos/272>. [Accessed: 02-Mar-2020].
- [10] “España - Emisiones de CO2 2018 | datosmacro.com.” [Online]. Available: <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/espana>. [Accessed: 20-Jun-2020].
- [11] Compañía Española de Seguros de Crédito a la Exportación, “Energías renovables. Informe sectorial de la economía española.” p. 42, 2019.

- [12] Red Eléctrica España, “Las energías renovables en el sistema eléctrico español en el 2018.” p. 260, 2019.
- [13] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, “Resumen del Plan de Energías Renovables 2011-2020.” p. 64, 2011.
- [14] D. S. Hermiyanty, Wandira Ayu Bertin, “Fourth report on the State of the Energy Union,” *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 8, no. 9, pp. 1–58, 2017, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [15] Comisión Europea, “Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones - Hoja de Ruta de la Energía para 2050.,” *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, no. 15 de diciembre de 2011, pp. 1–23, 2011.
- [16] Comisión Europea, “Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones -Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050,” *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, vol. 88, no. 2, pp. 73–77, 2010.
- [17] Comisión Europea, “LIBRO BLANCO - Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible,” *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, vol. 88, no. 2, pp. 73–77, 2010.
- [18] M. para la Transición Ecológica el Reto Demográfico, “Borrador Actualizado del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030,” 2021.
- [19] MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, “Emisiones de GEI por Comunidades Autónomas a partir del Inventario Español- SERIE 1990-2018,” 2019.
- [20] G. de C. Consejería de Industria Comercio y Nuevas Tecnologías, “Plan Energético de Canarias (PECAN - 2006),” pp. 1–264, 2007.
- [21] Gobierno de Canarias, “ESTRATEGIA ENERGÉTICA DE CANARIAS 2015-2025. Documento preliminar.” p. 171, 2017.
- [22] “Biomasa.” [Online]. Available: <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biomasa>. [Accessed: 21-Mar-2020].

- [23] F. Posso, “Energía y ambiente : pasado , presente y futuro . Parte dos : Sistema energético basado en energías alternativas Universidad de los Andes Cómo citar el artículo Número complet,” *Geoenseñanza*, vol. 7, pp. 54–73, 2002.
- [24] “Tipos de Biomasa - Plantas de Biomasa.” [Online]. Available: <http://www.plantasdebiomasa.net/tipos-de-biomasa.html>. [Accessed: 21-Mar-2020].
- [25] M. T. Varnero Moreno, *Manual de Biogas*, Proyecto C. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2011.
- [26] A. Guevara Vega, “Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales: producción de gas y saneamiento de efluentes.” Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – Organización Panamericana de la Salud., Lima, p. 80, 1996.
- [27] H. Wahid, S. Ahmad, M. A. M. Nor, and M. A. Rashid, “FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES Módulo para la asignatura de Construcciones Agrícolas,” *Jurnal Ekonomi Malaysia*, vol. 51, no. 2, pp. 39–54, 2017, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [28] “untitled.” [Online]. Available: http://aulacidta1.usal.es/edar/modulos/Edar05/unidades/CURSO/UNI_08/u8c4s3.htm. [Accessed: 25-Mar-2020].
- [29] “BACTERIAS METANOGENICAS by Victor Mota on Prezi.” [Online]. Available: <https://prezi.com/fbl8wqlipbrx/bacterias-metanogenicas/>. [Accessed: 26-Mar-2020].
- [30] J. A. Hilbert, *Manual para la producción de biogás*. Instituto de Ingeniería Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria- I.N.T.A - Castelar, 2003.
- [31] J. a Ramón, L. F. Romer, and J. L. Simanca, “DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE CANECAS EN SERIE PARA OBTENER GAS METANO Y FERTILIZANTES A PARTIR DE LA FERMENTACIÓN DE EXCREMENTOS DE CERDO,” *Revista Ambiental Agua, Aire Y Suelo*, vol. 1, pp. 15–23, 2006.
- [32] C. A. MENDIETA PINO, “EVALUACIÓN Y MODELIZACION DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO NO - CONVENCIONAL O NATURAL PARA EFLUENTES PROCEDENTES DE EXPLOTACIONES GANADERAS DE PORCINO EN LA ISLA DE GRAN CANARIA,” Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2015.

- [33] Y. Lorenzo Acosta and M. C. Obaya Abreu, "La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I.," *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, vol. XXXIX, no. 1, pp. 35–48, 2005.
- [34] E. A. Reyes Aguilera, "Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos," *Revista Científica de FAREM-Estelí*, no. 24, pp. 60–81, 2018, doi: 10.5377/farem.v0i24.5552.
- [35] E. Campos, A. Bonmatí, M. Teira, and X. Flotats, "APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LODOS RESIDUALES Y PURINES. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS," no. February 2014, 2001.
- [36] A. Nopharatana, P. C. Pullammanappallil, and W. P. Clarke, "A dynamic mathematical model for sequential leach bed anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste," *Biochemical Engineering Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 21–33, 2003, doi: 10.1016/S1369-703X(02)00097-9.
- [37] M. El-Fadel and M. Massoud, "Methane emissions from wastewater management," *Environmental Pollution*, vol. 114, no. 2, pp. 177–185, 2001, doi: 10.1016/S0269-7491(00)00222-0.
- [38] L. A. Hernández, "Technologies for the utilization of gas derived from anaerobic digestion of organic matter," *Agronomía Colombiana*, vol. XIII, no. 1, pp. 76–90, 1996.
- [39] J. Limongi Pereira, "Coproctor: un diseño para la industrialización de biodigestores rurales," *Iconofacto*, vol. 9, no. 13, pp. 9–26, 2013.
- [40] D. E. L. País, E. N. Á. Rural, I. Oliver, and C. Rivero, "Una Nueva Forma De Ver El Futuro Energético-Ambiental," pp. 1–8, 2009.
- [41] J. Hilbert, *Manual para la producción de biogás*. 2010.
- [42] O. Rivas Solano, M. Faith Vargas, and R. Guillén Watson, "Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad," *Tecnología en Marcha*, vol. 23, no. 1, pp. 39–46, 2010.
- [43] A. López Pérez, "Valorización del estiércol de cerdo a través de la producción de biogás," *Asociación Colombiana De Porcicultores Fondo Nacional De La Porcicultura*, p. 37, 2003.

- [44] IDAE, *Biomasa: Digestores anaerobios*. 2007.
- [45] C. Acuña and A. Moraga Paredes, *Curso de formación Especializada en Biogás para profesionales*. 2017.
- [46] S. B. Torrella, "Para una correcta selección y explotación de digestores anaerobios," *Revista Prod. Anim.*, vol. 20, no. 2, pp. 102–109, 2008.
- [47] K. Reinaldo, C. Nacaza, G. Javier, and M. Cahuatijo, "Escuela Politécnica Nacional Facultad De Ingeniería Mecánica 'Diseño Y Construcción De Un Biodigestor Para Pequeñas Y Medianas Granjas' Proyecto Previo a La Obtención Del Título De Ingeniero Mecánico," 2010.
- [48] M. D. J. Soria Fregoso *et al.*, "Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo.," *Terra*, vol. 19, no. 4, pp. 353–362, 2001.
- [49] V. Savran, M. R. D. Piñón, and J. S. A. Palacios, "Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores.," *Pastos y Forrajes*, vol. 35, no. 2, pp. 219–226, 2012.
- [50] F. X. Aguilar and R. Botero, "Los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo," *Tierra Tropical*, vol. 2, no. 1, pp. 15–25, 2006.
- [51] A. Martínez, "Biodigestores: la forma más económica y sostenible de obtener recursos en zonas rurales," *PuentesDigitales*, 2018. [Online]. Available: <https://puentesdigitales.com/2018/01/08/biodigestores-la-forma-mas-economica-y-sostenible-de-obtener-recursos-en-zonas-rurales/>. [Accessed: 14-Apr-2020].
- [52] M. T. Varnero *et al.*, "Aprovechamiento racional de desechos orgánicos," *Ministerios de Agricultura - Fondo de Investigación Agropecuaria*. 1990.
- [53] S. Alcayaga, J. Glaría, and L. Guerrero, "Regulaciones de temperatura y potencial de hidrógeno en un biodigestor anaerobio de lecho de lodo granular expandido," no. September, p. 11, 1999.
- [54] "Demanda Biológica de Oxígeno (D.B.O.)." [Online]. Available: <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/DBO.htm>. [Accessed: 07-Apr-2020].

- [55] I. Metcalf & Eddy, *Ingeniería sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*, Tercera Ed. Madrid: McGraw Hill, 1994.
- [56] J. Mihelcic, James y Zimmerman, *Ingeniería ambiental Fundamentos, sustentabilidad, di*. 2011.
- [57] P. L. Mc Carty, "Anaerobic Waste Treatment Fundamentals," *Public Works*, vol. 95, pp. 91–94, 1964.
- [58] C. M. Martínez Hernández and Y. García López, "Use of basic and specific pre-treatments for the biogas production. Revision and analysis," 2016.
- [59] A. Pascual, B. Ruiz, P. Gómez, X. Flotats, and B. Fernández, *SITUACIÓN Y POTENCIAL DE GENERACIÓN DE BIOGÁS. ESTUDIO TÉCNICO PER 2011-2020*. Madrid: Intituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2011.
- [60] L. Appels, J. Degrève, B. Van der Bruggen, J. Van Impe, and R. Dewil, "Influence of low temperature thermal pre-treatment on sludge solubilisation, heavy metal release and anaerobic digestion," *Bioresource Technology*, vol. 101, no. 15, pp. 5743–5748, 2010, doi: 10.1016/j.biortech.2010.02.068.
- [61] C. Bougrier, J. P. Delgenès, and H. Carrère, "Effects of thermal treatments on five different waste activated sludge samples solubilisation, physical properties and anaerobic digestion," *Chemical Engineering Journal*, vol. 139, no. 2, pp. 236–244, 2008, doi: 10.1016/j.cej.2007.07.099.
- [62] M. J. Taherzadeh and K. Karimi, *Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: A review*, vol. 9, no. 9. 2008.
- [63] L. Jih-Gaw, C. N. Chang, and S. C. Chang, "Enhancement of anaerobic digestion of waste activated sludge by alkaline solubilization," *Bioresource Technology*, vol. 62, no. 3, pp. 85–90, 1997, doi: 10.1016/S0960-8524(97)00121-1.
- [64] T. Forster-Carneiro, R. Isaac, M. Pérez, and C. Schvartz, "Anaerobic Digestion: Pretreatments of Substrates," *Biogas Production: Pretreatment Methods in Anaerobic Digestion*, no. May 2017, pp. 1–25, 2012, doi: 10.1002/9781118404089.ch1.
- [65] H. R. Srilatha, K. Nand, K. S. Babu, and K. Madhukara, "Fungal pretreatment of orange

- processing waste by solid-state fermentation for improved production of methane,” *Process Biochemistry*, vol. 30, no. 4, pp. 327–331, 1995, doi: 10.1016/0032-9592(95)87041-5.
- [66] Y. Sun and J. Cheng, “Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review,” *Bioresource Technology*, vol. 83, no. 1, pp. 1–11, 2002, doi: 10.1016/S0960-8524(01)00212-7.
- [67] T. Shimizu, K. Kudo, and Y. Nasu, “Anaerobic waste-activated sludge digestion-a bioconversion mechanism and kinetic model,” *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 41, no. 11, pp. 1082–1091, May 1993, doi: 10.1002/bit.260411111.
- [68] S. Pilli, P. Bhunia, S. Yan, R. J. LeBlanc, R. D. Tyagi, and R. Y. Surampalli, “Ultrasonic pretreatment of sludge: A review,” *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 18, no. 1, pp. 1–18, 2011, doi: 10.1016/j.ultsonch.2010.02.014.
- [69] L. F. Medina Linares, “Cuestiones socio-ambientales en el desarrollo sostenible de fuentes energéticas ; propuesta de educación científica intercultural en contextos rurales .,” *Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, vol. Extraordin, pp. 172–178, 2014.
- [70] R. Botero and T. R. Preston, “COMBUSTIBLE Y FERTILIZANTE A PARTIR DE EXCRETAS " MANUAL PARA SU INSTALACION , OPERACION Y UTILIZACION " Raúl Botero Botero y Thomas R . Preston Edición BIODIGESTOR DE BAJO COSTO Raúl Botero Botero1 y Thomas R . Preston,” *Agriculture*, p. 20, 1987.
- [71] S. Manrique, J. Franco, V. Núñez, and L. Seghezzi, “Perspectiva bioenergética de los residuos sólidos urbanos en el valle de Lerma,” vol. 14, no. 2004, pp. 39–46, 2010.
- [72] C. M. Martínez Hernández and Y. Francesena López, “Tratamiento y utilización de efluentes instalaciones de biogás como abonos orgánicos, revisión y análisis,” *Centro Agrícola*, vol. 45, no. 2, pp. 83–92, 2018.
- [73] Boletín Oficial del Estado and Ministerio de Industria Energía y Turismo., *Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. .*
- [74] Boletín Oficial del Estado, “Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba

- el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.,” 2007. [Online]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-15820>. [Accessed: 26-Jun-2020].
- [75] ABB, “Cuaderno de Aplicaciones Técnicas nº 10. Plantas fotovoltaicas,” *Asea Brown Boveri*, S.A., p. 114, 2011, doi: 10.1016/S0927-0256(97)00022-0.
- [76] J. M. Fernández Salgado, *Guía completa de la energía solar fotovoltaica*. Madrid: AMV Ediciones, 2007.
- [77] ABB, “Photovoltaic plants Cutting edge technology . From sun to socket,” pp. 1–153, 2019.
- [78] “Radiación solar Irradiancia e Insolación - EliseoSebastian.com.” [Online]. Available: <https://eliseosebastian.com/radiacion-solar-irradiancia-e-insolacion/>. [Accessed: 19-Apr-2020].
- [79] “Irradiación solar | Radiación solar.” [Online]. Available: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar/irradiacion-solar>. [Accessed: 19-Apr-2020].
- [80] G. DE CANARIAS, C. Y. N. T. CONSEJERIA DE INDUSTRIA, V. D. I. Y. N. TECNOLOGÍAS, and D. G. D. I. Y. ENERGÍA, “Guía Técnica De Aplicación Para Instalaciones De Energías Renovables Instalaciones Fovovoltaicas,” p. 55, 2010.
- [81] C. Ramirez, *Componentes de una instalación solar fotovoltaica 1*. 2008.
- [82] “Factor de Forma Archives » Techno Sun - Blog corporativo - Energías renovables.” [Online]. Available: <http://blog.technosun.com/tag/factor-de-forma/>. [Accessed: 19-Apr-2020].
- [83] “Silicio monocristalino | Silicio.” [Online]. Available: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/silicio/silicio-monocristalino>. [Accessed: 19-Apr-2020].
- [84] “Tipos de células fotovoltaicas | Energía solar fotovoltaica.” [Online]. Available: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/tipos>. [Accessed: 19-Apr-2020].
- [85] “Inversor Fovovoltaico Inversor de Energia Solar.” [Online]. Available: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/inversor-fotovoltaico.html>. [Accessed: 20-

- Apr-2020].
- [86] “Qué es y cómo trabaja un regulador de carga solar? - Ecosolar.” [Online]. Available: <https://www.ecosolaresp.com/el-regulador-de-carga-solar/>. [Accessed: 20-Apr-2020].
- [87] “Regulador de Carga Solar: Calculos, Tipos, Funciones.” [Online]. Available: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>. [Accessed: 20-Apr-2020].
- [88] “Reguladores de carga. ¿Qué son y qué función realizan?” [Online]. Available: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/instalaciones-autonomas/reguladores-carga>. [Accessed: 20-Apr-2020].
- [89] Ministerio de Fomento, “Documento Básico HE Ahorro de Energía 2019,” *Código Técnico de la Edificación*, pp. 1–129, 2019.
- [90] “Legislación fotovoltaica en España (2019) – Censolar.” [Online]. Available: <https://www.censolar.org/legislacion-fotovoltaica-es-2019/>. [Accessed: 22-Apr-2020].
- [91] “Energía solar térmica. Definición, características y tipos.” [Online]. Available: <https://solar-energia.net/energia-solar-termica>. [Accessed: 24-Apr-2020].
- [92] J. P. Mas Belso, “GESTOR DE PROYECTOS E INSTALACIONES ENERGÉTICAS MÓDULO : ENERGÍA SOLAR TÉRMICA,” 2011.
- [93] J. P. Mas Belso, “Curso de gestor de proyectos e instalaciones energéticas: Energía solar térmica.” Gobierno de Canarias, Las Palmas de Gran Canaria, 2011.
- [94] A. Garwood, “Energía solar,” *Refocus*, vol. 6, no. 3, pp. 32–34, 2005, doi: 10.1016/S1471-0846(05)70397-8.
- [95] S. T. M. F-chart, “CÁLCULO DE INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS. MÉTODO F-CHART,” pp. 1–24.
- [96] “Colector Solar de Tubos de Vacío.” [Online]. Available: <http://www.energiasolar.lat/colector-solar-de-tubo-de-vacio/>. [Accessed: 24-Apr-2020].
- [97] “Colector solar térmico | Componentes de una instalación solar térmica.” [Online]. Available: <https://solar-energia.net/energia-solar-termica/componentes/colector-solar->

- termico. [Accessed: 24-Apr-2020].
- [98] “El Intercambiador De Placas Y Su Importancia.” [Online]. Available: <https://www.saincal.com/susto-o-buen-mantenimiento/>. [Accessed: 25-Apr-2020].
- [99] “terma solar solstac con serpentín de cobre interior mejora la calidad del agua sanitaria.” [Online]. Available: <http://solstac.com/productos.php?pag=19&lang=en>. [Accessed: 25-Apr-2020].
- [100] “Intercambiadores de Calor de Serpentin | Eficiencia Energética.” [Online]. Available: <https://certificacionenergetica.info/intercambiadores-de-calor-de-serpentin/>. [Accessed: 25-Apr-2020].
- [101] “Instalaciones Termosolares para la Producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS).” [Online]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html>. [Accessed: 25-Apr-2020].
- [102] IDAE, “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura.,” *Solar Collectors, Energy Storage, and Materials*, vol. 53, no. 9, pp. 61–78, 2009, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [103] “CTE DB-HE-4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.” [Online]. Available: <http://www.konstruir.com/C.T.E/HE-4-Contribucion-solar-minima-de-agua-caliente-sanitaria/index.php>. [Accessed: 29-Apr-2020].
- [104] “Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) | EU Science Hub.” [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>. [Accessed: 27-Apr-2020].
- [105] “adrase.” [Online]. Available: <http://www.adrase.ciemat.es/mapa-zona-canarias/index.php>. [Accessed: 27-Apr-2020].
- [106] “Mancomunidad de Medianías.” [Online]. Available: <http://www.medianias.org/>. [Accessed: 14-May-2020].
- [107] “Listados de establecimientos - Web Oficial de Turismo de Gran Canaria.” [Online]. Available: <http://www.grancanaria.com/turismo/pt/area-profesional/tramites/listados-de-establecimientos/>. [Accessed: 14-May-2020].

- [108] “BOC - 2010/204. Viernes 15 de Octubre de 2010 - 5659.” [Online]. Available: <http://www.gobiernodecanarias.org/boc/2010/204/001.html>. [Accessed: 14-May-2020].
- [109] Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, “Estudio sobre modelos de gestión de residuos en entornos rurales aislados.” Ent, environment and management, Barcelona, 2011.
- [110] T. E. Lastra Bravo, “CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA TRITURADA DE LOS RSU PARA VALORAR SU INCORPORACIÓN AL AGUA RESIDUAL Y TRATAMIENTO DE UNA EDAR,” Universidad Politécnica de Valencia., 2013.
- [111] R. Marín Galvín, R. Mantecón Pascual, Í. González Canal, F. Ripollés Pascual, E. Santateresa Forcada, and J. Navarro i Navarro, “Impactos de la contaminación de origen doméstico y no industrial sobre los SISP*.” Empresa Municipal de aguas de Córdoba.
- [112] Ministerio de Medio Ambiente, “Plan Nacional Integrado de Residuos , 2008-2015 Informe de Sostenibilidad Ambiental (ISA).” Madrid, p. 210, 2015.
- [113] F. Conama, “El desafío de la gestión de la materia orgánica,” *El desafío de la gestión de la materia orgánica*. pp. 1–157, 2016.
- [114] D. Sánchez Ramos, “Ingeniería Ambiental. Calidad de las aguas.” Universidad de Castilla-La Mancha. Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real., p. 273, 2007.
- [115] F. A. Déniz, “Análisis estadístico de los parámetros DQO, DBO5 y SS de las aguas residuales urbanas en el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa,” 2010.
- [116] Boletín Oficial del Estado, *Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.*, no. BOE-312. España, 1995, pp. 37517–37519.
- [117] R. Huertas, C. Marcos, N. Iburguren, and S. Ordás, “Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones.” Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España, 2012.
- [118] “POTENCIAL ENERGÉTICO: - EGEHaina - Energía que potencia el desarrollo.” [Online]. Available: <http://www.egehaina.com/glosario/potencial-energetico/>. [Accessed: 08-Jun-

- 2020].
- [119] J. Cifuentes, “Compendio de Artículos Científicos de Maestría en Energía y Ambiente.,” *Articulos Master in Energy and Environmental Engineering*, no. July 2016, 2016, doi: DOI: 10.13140/RG.2.1.2749.3363.
- [120] Agencia Andaluza de la Energía, “Estudio Básico del Biogás,” *CONSEJERÍA DE ECONOMÍA, INNOVACIÓN Y CIENCIA*. p. 166, 2011.
- [121] U.S. Energy Information Administration, “Electric Power Monthly with Data for March 2020,” *Electric Power Monthly*. Washington, DC, 2020.
- [122] “El autoconsumo demuestra por qué Canarias es la Arabia Saudí de las renovables.” [Online]. Available: https://www.eldiario.es/canariasahora/energia/Canarias-potencial-energias-renovables-verde-ahorro-petroleo-auroconsumo-sustentable-oportunidad_0_807019296.html. [Accessed: 14-Jun-2020].
- [123] “IDECanarias visor 4.5.1.” [Online]. Available: https://visor.grafcan.es/visorweb/default.php?svc=svcSolar&srid=EPSG:32628&lat=3093175.8748884276&lng=397932.1944037644&zoom=10&layers=svcSolar_l1&lang=es&kmlUrl=https://visor.grafcan.es/tenerife/KML/rep/6/_BF2A553D-BFF6-0E45-B72F-4D2AB2B81F0B.kml@_BF2A553D-BFF6-0E45-B72F-4D2AB2B81F0B.kml. [Accessed: 14-Jun-2020].
- [124] “ENERGÍA EÓLICA - CanariWiki.” [Online]. Available: https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/wiki/index.php?title=ENERGÍA_EÓLICA. [Accessed: 15-Jun-2020].
- [125] IDECanarias visor 4.5.1, “Recurso eólico a 40 m y localización unidades alojativas.” [Online]. Available: https://visor.grafcan.es/visorweb/default.php?svc=svcRecursoEolico&srid=EPSG:32628&lat=3095869.7097090282&lng=380234.64868734387&zoom=10&layers=svcRecursoEolico_orto,svcRecursoEolico_re40,svcRecursoEolico_rosaviento&lang=es&kmlUrl=https://visor.grafcan.e. [Accessed: 15-Jun-2020].
- [126] A. Frasco, “Procesamiento de datos de viento. 1ª Parte.” p. 22, 2015.

- [127] C. Herrero Novoa, “Estudio de la velocidad del viento: análisis espacial y ajuste a una función de distribución,” Universidad de Valladolid, 2015.
- [128] A. M. Araújo, G. M. Melo, A. L. R. De Medeiros, and M. J. Dos Santos, “Simulation of the production of electricity with small size aerogenerators,” *Informacion Tecnologica*, vol. 20, no. 3, pp. 37–44, 2009, doi: 10.1612/inf.tecnol.4054it.08.
- [129] “Energía minieólica: 6 cosas que debes saber - Click Renovables.” [Online]. Available: <https://clickrenovables.com/blog/energia-minieolica-6-cosas-que-debes-saber/>. [Accessed: 16-Jun-2020].
- [130] “Velocidad del viento mínima para una instalación eólica en 3 pasos - Click Renovables.” [Online]. Available: <https://clickrenovables.com/blog/velocidad-del-viento-minima-instalacion-eolica-3-pasos/>. [Accessed: 16-Jun-2020].
- [131] “Espacios Naturales Protegidos | Figuras de Protección de los Espacios Naturales Protegidos de Gran Canaria.” [Online]. Available: http://www.figurasdeprotecciondegrancanaria.es/index.php?pagina=espacios_naturales_protegidos. [Accessed: 16-Jun-2020].
- [132] Instituto Nacional de Estadística, “Encuesta Continua de Hogares (ECH). Año 2019,” pp. 1–9, 2020.
- [133] European Union and MWH Global Inc., “Sustainable Energy Handbook: Water-Energy-Food Nexus.” 2016.
- [134] GL Garrad Hassan, “A guide to UK offshore wind operations and maintenance,” *Scottish Enterprise and The Crown Estate*, p. 42, 2013.
- [135] C. Bjerkseter and A. Ågotnes, “Levelised costs of energy for offshore floating wind turbine concepts,” Norwegian University of Life Sciences, 2013.
- [136] International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable Power Generation Costs in 2019*. 2020.
- [137] “¿Cuántos paneles solares necesito? Descubre cuánto puedes ahorrar.” [Online]. Available: <https://selectra.es/autoconsumo/info/instalacion/calculo-placas-solares>. [Accessed: 29-Jun-2020].

- [138] IRENA, "Solar Heating and Cooling for Residential Applications," *Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP) International Renewable Energy Agency (IRENA)*, no. January, pp. 1–40, 2015.
- [139] "Ahora instalamos nuestros Kits Termosifón en toda la península - Blog de SOLARMAT." [Online]. Available: <http://www.solarmat.es/blog/ahora-instalamos-nuestros-kits-termosifon-en-toda-la-peninsula/>. [Accessed: 29-Jun-2020].
- [140] "IEA SHC: Costo nivelado del calor y los cálculos detrás de él | Solarthermalworld." [Online]. Available: <https://www.solarthermalworld.org/news/iea-shc-levelised-cost-heat-and-calculations-behind-it>. [Accessed: 29-Jun-2020].
- [141] Shenzhen Puxin Technology Co. Ltd., "PUXIN DIY type Assembly Biogas System," pp. 2–4, 2000.
- [142] Shenzhen Puxin Science and Technology Company Limited, "PUXIN family size biogas system," pp. 1–5.
- [143] "Calculadora de envíos [Cómo funciona] - encuentra las mejores tarifas." [Online]. Available: <https://transporteca.es/calculadora-de-envios/>. [Accessed: 27-Jun-2020].
- [144] O. Trulsson, E. Eklöf, and C. Peterson, "Offshore wind market review Nordvind, wind power working group for the Nordic Council.," 2010.
- [145] "Análisis | ESIOS electricidad · datos · transparencia." [Online]. Available: https://www.esios.ree.es/es/analisis/1739?vis=1&start_date=01-01-2019T00%3A00&end_date=30-06-2020T23%3A59&compare_start_date=01-12-2018T00%3A00&groupby=month&compare_indicators=1013,1014,1015. [Accessed: 25-Jun-2020].
- [146] "VALOR ACTUAL NETO Y TASA DE RETORNO: SU UTILIDAD COMO HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN." [Online]. Available: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2014000100006. [Accessed: 29-Jun-2020].
- [147] W. Kluvers, "Guías Jurídicas."
- [148] M. Fandiño Sánchez, "Estudio de viabilidad técnico -económica para sistema de

- trigeneración a partir de biogás en explotación ganadera.," 2018.
- [149] Instituto Nacional de Estadística, "Encuestas de ocupación en alojamientos turísticos extrahoteleros. 2019," 2020.
- [150] "• Casas rurales: ocupación mensual por plazas Canarias España 2019 | Statista." [Online]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/602918/ocupacion-por-plazas-en-alojamientos-de-turismo-rural-en-canarias-al-mes/>. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [151] "Los apartamentos despuntan con las vacaciones poscovid - La Opinión A Coruña." [Online]. Available: <https://www.laopinioncoruna.es/economia/2020/06/24/apartamentos-despuntan-vacaciones-poscovid/1512560.html>. [Accessed: 26-Jun-2020].
- [152] "Canarias perderá el 80% del turismo en 2020 - Lancelot Digital." [Online]. Available: <https://www.lancelotdigital.com/canarias/canarias-perdida-el-80-del-turismo-en-2020>. [Accessed: 27-Jun-2020].
- [153] "Características físicas de los residuos sólidos urbanos." [Online]. Available: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/caracteristicas_fisicas.asp. [Accessed: 27-Jun-2020].
- [154] "Dimensionado de la instalación solar térmica para el calentamiento de agua sanitaria." [Online]. Available: http://viessmann.solar-software.de/viessmann.php?sys=system_ww&lang=es. [Accessed: 29-Jun-2020].
- [155] Boletín Oficial del Estado, *Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*. 2019, p. Sec. I.35675.
- [156] "Precio de compensación de excedentes en autoproducción - Centro de Ayuda de Som Energia." [Online]. Available: <https://es.support.somenergia.coop/article/800-el-precio-de-compensacion-excedentes-autoproduccion>. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [157] "👉 Cómo dimensionar una instalación fotovoltaica de autoconsumo 2020." [Online]. Available: <https://www.quetzalingenieria.es/calculo-instalacion-fotovoltaica-conectada-a-red/>. [Accessed: 30-Jun-2020].

- [158] “JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission.” [Online]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#PVP. [Accessed: 30-Jun-2020].
- [159] “Qué es y cómo funciona el IGIC, Impuesto General Indirecto Canario | Infoautónomos.” [Online]. Available: <https://www.infoautonomos.com/fiscalidad/el-igic-de-canarias/>. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [160] “Subvenciones durante el ejercicio 2020 para la mejora de la eficiencia energética y el uso de energías renovables en empresas y edificios residenciales, cofinanciadas con FEDER en el ámbito del Programa Operativo de Canarias - Sede electrónica del Gobierno de Canarias.” [Online]. Available: <https://sede.gobcan.es/sede/tramites/6281#>. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [161] “Coeficientes de paso (RITE) de energía final a primaria y emisiones de CO2.” [Online]. Available: <https://www.certificadosenergeticos.com/coeficientes-de-paso-rite-energia-final-primaria-emisiones-co2>. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [162] K. Franz, S. Majer, and N. Emily Scheidl Stefanie, “D5.2: Assessment of GHG reduction potentials due to the use of animal excrements and organic waste streams as biogas substrates and the replacement of industrial chemical fertilisers by digestate,” pp. 1–79, 2016.
- [163] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, “El Estado Mundial de la agricultura y la alimentación 2019,” 2019.
- [164] “Datos - Desperdicio alimentario.” [Online]. Available: <https://consumoresponsable.org/desperdicioalimentario/datos>. [Accessed: 02-Jul-2020].
- [165] “El 30% de los alimentos que se sirven en los hoteles se desperdicia | Distribución y Alimentación.” [Online]. Available: <https://distribucionyalimentacion.com/distribucion/02/07/2019/el-30-de-los-alimentos-que-se-sirven-en-los-hoteles-se-desperdicia/5675.html>. [Accessed: 02-Jul-2020].
- [166] L. Vimmerstedt *et al.*, “2019 Annual Technology Baseline,” 2019.

Anexo II. Cuenta de resultados.

Resultado económico-financiero instalación biodigestor para casa de ocupación media con grado de ocupación del 100%

Datos de partida Biodigestor 100%	
Inversión inicial	1200 €
Gastos mantenimiento	48 €
Inflación anual gastos	1,5%
Ahorro eléctrico	1046,76 kWh
Precio kWh PVPC	0,1244627
Potencia	0,1342
Coste de capital	3,5%
Grado de ocupación	100%
Horas Equivalentes	7.800
Vida útil	20 años

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Producción kWh		1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76	1046,76
Ahorro por autoconsumo €		130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28
Total ahorro + ingresos		130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28	130,28
GASTOS																					
Amortización instalación		60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Gastos mantenimiento		48,00	48,72	49,45	50,19	50,95	51,71	52,49	53,27	54,07	54,88	55,71	56,54	57,39	58,25	59,12	60,01	60,91	61,82	62,75	63,69
TOTAL GASTOS		108,00	108,72	109,45	110,19	110,95	111,71	112,49	113,27	114,07	114,88	115,71	116,54	117,39	118,25	119,12	120,01	120,91	121,82	122,75	123,69
Resultado antes de impuestos		22,28	21,56	20,83	20,09	19,34	18,57	17,80	17,01	16,21	15,40	14,58	13,74	12,89	12,03	11,16	10,27	9,37	8,46	7,53	6,59
Desembolso Inicial	-1200																				
CASH FLOW OPERATIVO	-1200	82,28	81,56	80,83	80,09	79,34	78,57	77,80	77,01	76,21	75,40	74,58	73,74	72,89	72,03	71,16	70,27	69,37	68,46	67,53	66,59
CASH FLOW OPERATIVO ACUMULADO	-1200	-1117,72	-1036,15	-955,32	-875,23	-795,90	-717,32	-639,53	-562,52	-486,31	-410,91	-336,33	-262,59	-189,69	-117,66	-46,50	23,77	93,14	161,60	229,13	295,71
CASH FLOW OPERATIVO ACTUALIZADO	-1159,4	76,81	73,56	70,44	67,43	64,54	61,76	59,08	56,50	54,02	51,64	49,35	47,15	45,032	42,99	41,03	39,15	37,35	35,61	33,94	32,33

VAN PROYECTO	-119,664
TIR PROYECTO	2,28%
PAY-BACK PROYECTO	16

Resultado económico-financiero instalación térmica para casa de ocupación media con grado de ocupación del 10%

Datos de partida Instalación Térmica	
Inversión inicial	2100
Gastos mantenimiento	31,5
Inflación anual gastos	1,5%
Ahorro eléctrico	2846
Potencia	2kW
Precio kWh PVPC	0,12446267
Descenso producción anual	0,5%
Coste de capital	3,5%
Grado de ocupación	10%
Vida útil	20
Horas equivalentes	1423

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Producción kWh		2846	2831,77	2817,61	2803,52	2789,51	2775,56	2761,68	2747,87	2734,13	2720,46	2706,86	2693,33	2679,86	2666,46	2653,13	2639,86	2626,66	2613,53	2600,46	2587,46
Ahorro por autoconsumo €		354,22	352,45	350,69	348,93	347,19	345,45	343,73	342,01	340,30	338,60	336,90	335,22	333,54	331,87	330,22	328,56	326,92	325,29	323,66	322,04
Ingreso venta kWh		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Subvención instalación																					
Total ahorro + ingresos		354,22	352,45	350,69	348,93	347,19	345,45	343,73	342,01	340,30	338,60	336,90	335,22	333,54	331,87	330,22	328,56	326,92	325,29	323,66	322,04
GASTOS																					
Amortización instalación		105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00
Gastos mantenimiento		31,50	31,97	32,45	32,94	33,43	33,93	34,44	34,96	35,48	36,02	36,56	37,11	37,66	38,23	38,80	39,38	39,97	40,57	41,18	41,80
TOTAL GASTOS		136,50	136,97	137,45	137,94	138,43	138,93	139,44	139,96	140,48	141,02	141,56	142,11	142,66	143,23	143,80	144,38	144,97	145,57	146,18	146,80
Resultado antes de impuestos		217,72	215,48	213,24	211,00	208,76	206,52	204,28	202,05	199,81	197,58	195,35	193,11	190,88	188,65	186,41	184,18	181,95	179,71	177,48	175,24
Desembolso Inicial	-2100																				
CASH FLOW OPERATIVO	-2100	322,72	320,48	318,24	316,00	313,76	311,52	309,28	307,05	304,81	302,58	300,35	298,11	295,88	293,65	291,41	289,18	286,95	284,71	282,48	280,24
CASH FLOW OPERATIVO ACUMULADO	-2100	1777,28	-1456,80	1138,57	-822,57	-508,82	-197,30	111,99	419,03	723,85	1026,43	1326,77	1624,88	1920,76	2214,41	2505,83	2795,01	3081,96	3366,67	3649,15	3929,39
CASH FLOW OPERATIVO ACTUALIZADO	2028,99	301,26	289,05	277,32	266,06	255,24	244,85	234,87	225,29	216,09	207,25	198,76	190,61	182,79	175,28	168,06	161,13	154,48	148,10	141,96	136,08

VAN PROYECTO	-2054,06
TIR PROYECTO	----
PAY-BACK PROYECTO	21

Resultado económico-financiero instalación térmica para casa de ocupación media con grado de ocupación del 33%

Datos de partida Instalación Térmica	
Inversión inicial	2100
Gastos mantenimiento	31,5
Inflación anual gastos	1,5%
Ahorro eléctrico	2846
Potencia	2kW
Precio kWh PVPC	0,12446267
Descenso producción anual	0,5%
Coste de capital	3,5%
Grado de ocupación	33%
Vida útil	20
Horas equivalentes	1423

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Producción kWh		2.846,00	2.831,77	2.817,61	2.803,52	2.789,51	2.775,56	2.761,68	2.747,87	2.734,13	2.720,46	2.706,86	2.693,33	2.679,86	2.666,46	2.653,13	2.639,86	2.626,66	2.613,53	2.600,46	2.587,46
Ahorro por autoconsumo €		116,89	116,31	115,73	115,15	114,57	114,00	113,43	112,86	112,30	111,74	111,18	110,62	110,07	109,52	108,97	108,43	107,88	107,34	106,81	106,27
Total ahorro + ingresos		116,89	116,31	115,73	115,15	114,57	114,00	113,43	112,86	112,30	111,74	111,18	110,62	110,07	109,52	108,97	108,43	107,88	107,34	106,81	106,27
GASTOS																					
Amortización instalación		105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00
Gastos mantenimiento		31,50	31,97	32,45	32,94	33,43	33,93	34,44	34,96	35,48	36,02	36,56	37,11	37,66	38,23	38,80	39,38	39,97	40,57	41,18	41,80
TOTAL GASTOS		136,50	136,97	137,45	137,94	138,43	138,93	139,44	139,96	140,48	141,02	141,56	142,11	142,66	143,23	143,80	144,38	144,97	145,57	146,18	146,80
Resultado antes de impuestos		-19,61	-20,66	-21,73	-22,79	-23,86	-24,93	-26,01	-27,10	-28,19	-29,28	-30,38	-31,48	-32,59	-33,71	-34,83	-35,96	-37,09	-38,23	-39,37	-40,53
Desembolso Inicial	-2100,00																				
CASH FLOW OPERATIVO	-2100,00	85,39	84,34	83,27	82,21	81,14	80,07	78,99	77,90	76,81	75,72	74,62	73,52	72,41	71,29	70,17	69,04	67,91	66,77	65,63	64,47
CASH FLOW OPERATIVO ACUMULADO	-2100,00	2014,61	-1.930,27	-1.847,00	-1.764,79	-1.683,65	-1.603,58	-1.524,60	-1.446,69	-1.369,88	-1.294,16	-1.219,54	-1.146,02	-1.073,62	-1.002,32	-932,15	-863,11	-795,20	-728,43	-662,80	-598,33
CASH FLOW OPERATIVO ACTUALIZADO	-2028,99	79,72	76,07	72,57	69,22	66,01	62,93	59,98	57,16	54,45	51,86	49,38	47,01	44,73	42,55	40,47	38,47	36,56	34,73	32,98	31,31

VAN PROYECTO	-980,82
TIR PROYECTO	-3%
PAY-BACK PROYECTO	21

Resultado económico-financiero instalación térmica para casa de ocupación media con grado de ocupación del 59%

Datos de partida Instalación Térmica	
Inversión inicial	2100
Gastos mantenimiento	31,5
Inflación anual gastos	1,5%
Ahorro eléctrico	2846
Potencia	2kW
Precio kWh PVPC	0,12446267
Descenso producción anual	0,5%
Coste de capital	3,5%
Grado de ocupación	59%
Vida útil	20
Horas equivalentes	1423

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Producción kWh		2846	2831,77	2817,61	2803,52	2789,51	2775,56	2761,68	2747,87	2734,13	2720,46	2706,86	2693,33	2679,86	2666,46	2653,13	2639,86	2626,66	2613,53	2600,46	2587,46
Ahorro por autoconsumo €		208,99	207,95	206,91	205,87	204,84	203,82	202,80	201,78	200,78	199,77	198,77	197,78	196,79	195,81	194,83	193,85	192,88	191,92	190,96	190,00
Ingreso venta kWh		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Subvención instalación																					
Total ahorro + ingresos		208,99	207,95	206,91	205,87	204,84	203,82	202,80	201,78	200,78	199,77	198,77	197,78	196,79	195,81	194,83	193,85	192,88	191,92	190,96	190,00
GASTOS																					
Amortización instalación		105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00
Gastos mantenimiento		31,50	31,97	32,45	32,94	33,43	33,93	34,44	34,96	35,48	36,02	36,56	37,11	37,66	38,23	38,80	39,38	39,97	40,57	41,18	41,80
TOTAL GASTOS		136,50	136,97	137,45	137,94	138,43	138,93	139,44	139,96	140,48	141,02	141,56	142,11	142,66	143,23	143,80	144,38	144,97	145,57	146,18	146,80
Resultado antes de impuestos		72,49	70,97	69,45	67,93	66,41	64,88	63,35	61,82	60,29	58,75	57,22	55,67	54,13	52,58	51,03	49,47	47,91	46,35	44,78	43,21
Desembolso Inicial	-2100																				
CASH FLOW OPERATIVO	-2100	177,49	175,97	174,45	172,93	171,41	169,88	168,35	166,82	165,29	163,75	162,22	160,67	159,13	157,58	156,03	154,47	152,91	151,35	149,78	148,21
CASH FLOW OPERATIVO ACUMULADO	-2100	1922,51	-1746,54	1572,08	1399,15	1227,74	1057,86	-889,50	-722,68	-557,39	-393,63	-231,42	-70,75	88,38	245,96	401,99	556,46	709,37	860,72	1010,49	1158,70
CASH FLOW OPERATIVO ACTUALIZADO	2028,99	165,69	158,72	152,03	145,60	139,44	133,53	127,85	122,40	117,18	112,16	107,35	102,74	98,31	94,06	89,98	86,07	82,32	78,72	75,27	71,96

VAN PROYECTO	232,40
TIR PROYECTO	5%
PAY-BACK PROYECTO	13

Resultado económico-financiero instalación fotovoltaica para casa de ocupación media con grado de ocupación del 10%

Datos de partida Instalación Fovoltaiica			
Inversión inicial	5250	Descenso producción anual	0,2%
Gastos mantenimiento	31,5	Coste de capital	3,5%
Inflación anual gastos	1,5%	Grado de ocupación	10%
Ahorro eléctrico	2846	Vida útil	25
Potencia	3kW	Horas equivalentes	1423
Precio kWh PVPC	0,12446267	Subvención	45% inversión inicial
Precio venta excedente	0,05		

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Producción kWh		3756,72	3749,21	3741,71	3734,22	3726,76	3719,30	3711,86	3704,44	3697,03	3689,64	3682,26	3674,89	3667,54	3660,21	3652,89	3645,58	3638,29	3631,01	3623,75	3616,51	3609,27	3602,05	3594,85	3587,66	3580,48
Ahorro por autoconsumo €		46,76	46,66	46,57	46,48	46,38	46,29	46,20	46,11	46,01	45,92	45,83	45,74	45,65	45,56	45,46	45,37	45,28	45,19	45,10	45,01	44,92	44,83	44,74	44,65	44,56
Venta de excedente		169,05	168,71	168,38	168,04	167,70	167,37	167,03	166,70	166,37	166,03	165,70	165,37	165,04	164,71	164,38	164,05	163,72	163,40	163,07	162,74	162,42	162,09	161,77	161,44	161,12
Subvención instalación	2362,5																									
Total ahorro + ingresos	2362,5	215,81	215,38	214,95	214,52	214,09	213,66	213,23	212,81	212,38	211,96	211,53	211,11	210,69	210,27	209,84	209,43	209,01	208,59	208,17	207,75	207,34	206,92	206,51	206,10	205,69
GASTOS																										
Amortización instalación		210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00
Gastos mantenimiento		78,75	79,93	81,13	82,35	83,58	84,84	86,11	87,40	88,71	90,04	91,39	92,76	94,15	95,57	97,00	98,46	99,93	101,43	102,95	104,50	106,06	107,66	109,27	110,91	112,57
TOTAL GASTOS		288,75	289,93	291,13	292,35	293,58	294,84	296,11	297,40	298,71	300,04	301,39	302,76	304,15	305,57	307,00	308,46	309,93	311,43	312,95	314,50	316,06	317,66	319,27	320,91	322,57
Resultado antes de impuestos		-72,94	-74,55	-76,18	-77,83	-79,49	-81,18	-82,88	-84,59	-86,33	-88,09	-89,86	-91,65	-93,47	-95,30	-97,16	-99,03	100,93	102,84	104,78	106,74	108,73	110,73	112,76	114,81	116,89
Resultado después de impuesto		-78,01	-79,61	-81,23	-82,87	-84,53	-86,20	-87,89	-89,60	-91,32	-93,07	-94,83	-96,62	-98,42	100,24	102,09	103,95	105,84	107,75	109,67	111,62	113,60	115,59	117,61	119,66	121,72
Desembolso Inicial	-5250																									
Cash Flow Operativo	-2887,5	131,99	135,45	133,82	132,17	130,51	128,82	127,12	125,41	123,67	121,91	120,14	118,35	116,53	114,70	112,84	110,97	109,07	107,16	105,22	103,26	101,27	99,27	97,24	95,19	93,11
Cash Flow Operativo Acumulado	-2887,5	2755,51	2620,07	2486,25	2354,08	2223,57	2094,75	1967,62	1842,22	1718,55	1596,64	1476,50	1358,15	1241,62	1126,92	1014,08	903,11	794,03	686,88	581,66	478,40	377,13	277,86	180,62	-85,43	7,68
Cash Flow Operativo Actualizado	-2789,86	123,21	122,17	116,61	111,28	106,17	101,25	96,54	92,01	87,67	83,50	79,51	75,67	71,99	68,46	65,08	61,83	58,72	55,74	52,88	50,14	47,51	45,00	42,59	40,28	38,07

VAN PROYECTO	-895,97
TIR PROYECTO	0%
PAY-BACK PROYECTO	25

Resultado económico-financiero instalación fotovoltaica para casa de ocupación media con grado de ocupación del 33%

Datos de partida Instalación Fovovoltaica			
Inversión inicial	5250	Descenso producción anual	0,2%
Gastos mantenimiento	31,5	Coste de capital	3,5%
Inflación anual gastos	1,5%	Grado de ocupación	33%
Ahorro eléctrico	2846	Vida útil	25
Potencia	3kW	Horas equivalentes	1423
Precio kWh PVPC	0,12446267	Subvención	45% inversión inicial
Precio venta excedente	0,05		

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Producción kWh		3756,72	3749,21	3741,71	3734,22	3726,76	3719,30	3711,86	3704,44	3697,03	3689,64	3682,26	3674,89	3667,54	3660,21	3652,89	3645,58	3638,29	3631,01	3623,75	3616,51	3609,27	3602,05	3594,85	3587,66	3580,48
Ahorro por autoconsumo €		154,30	153,99	153,68	153,37	153,07	152,76	152,46	152,15	151,85	151,54	151,24	150,94	150,64	150,33	150,03	149,73	149,43	149,14	148,84	148,54	148,24	147,95	147,65	147,35	147,06
Venta de excedente		125,85	125,60	125,35	125,10	124,85	124,60	124,35	124,10	123,85	123,60	123,36	123,11	122,86	122,62	122,37	122,13	121,88	121,64	121,40	121,15	120,91	120,67	120,43	120,19	119,95
Subvención instalación	2362,5																									
Total ahorro + ingresos	2362,5	280,15	279,59	279,03	278,47	277,91	277,36	276,80	276,25	275,70	275,15	274,60	274,05	273,50	272,95	272,41	271,86	271,32	270,77	270,23	269,69	269,15	268,61	268,08	267,54	267,01
GASTOS																										
Amortización instalación		210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00
Gastos mantenimiento		78,75	79,93	81,13	82,35	83,58	84,84	86,11	87,40	88,71	90,04	91,39	92,76	94,15	95,57	97,00	98,46	99,93	101,43	102,95	104,50	106,06	107,66	109,27	110,91	112,57
TOTAL GASTOS		288,75	289,93	291,13	292,35	293,58	294,84	296,11	297,40	298,71	300,04	301,39	302,76	304,15	305,57	307,00	308,46	309,93	311,43	312,95	314,50	316,06	317,66	319,27	320,91	322,57
Resultado antes de impuestos		-8,60	-10,34	-12,10	-13,88	-15,67	-17,48	-19,30	-21,15	-23,01	-24,90	-26,80	-28,72	-30,66	-32,62	-34,60	-36,59	-38,62	-40,66	-42,72	-44,80	-46,91	-49,04	-51,19	-53,37	-55,57
Resultado después de impuesto		-12,38	-14,11	-15,86	-17,63	-19,41	-21,22	-23,04	-24,87	-26,73	-28,60	-30,50	-32,41	-34,34	-36,29	-38,27	-40,26	-42,27	-44,31	-46,36	-48,44	-50,54	-52,66	-54,81	-56,97	-59,17
Desembolso Inicial	-5250																									
Cash Flow Operativo	-2887,5	197,62	199,66	197,90	196,12	194,33	192,52	190,70	188,85	186,99	185,10	183,20	181,28	179,34	177,38	175,40	173,41	171,38	169,34	167,28	165,20	163,09	160,96	158,81	156,63	154,43
Cash Flow Operativo Acumulado	-2887,5	2689,88	2490,22	2292,32	2096,20	1901,86	1709,34	1518,65	1329,80	1142,81	957,71	774,50	593,22	413,88	236,49	-61,09	112,32	283,70	453,04	620,32	785,52	948,61	1109,57	1268,37	1425,01	1579,44
Cash Flow Operativo Actualizado	-2789,86	184,48	180,08	172,46	165,13	158,09	151,32	144,82	138,56	132,56	126,79	121,24	115,91	110,80	105,88	101,16	96,62	92,27	88,08	84,07	80,21	76,51	72,96	69,55	66,28	63,14

VAN PROYECTO	109,11
TIR PROYECTO	4%
PAY-BACK PROYECTO	16

Resultado económico-financiero instalación fotovoltaica para casa de ocupación media con grado de ocupación del 59%

Datos de partida Instalación Fovovoltaica			
Inversión inicial	5250	Descenso producción anual	0,2%
Gastos mantenimiento	31,5	Coste de capital	3,5%
Inflación anual gastos	1,5%	Grado de ocupación	59%
Ahorro eléctrico	2846	Vida útil	25
Potencia	3kW	Horas equivalentes	1423
Precio kWh PVPC	0,12446267	Subvención	45% inversión inicial
Precio venta excedente	0,05		

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Producción kWh		3756,72	3749,21	3741,71	3734,22	3726,76	3719,30	3711,86	3704,44	3697,03	3689,64	3682,26	3674,89	3667,54	3660,21	3652,89	3645,58	3638,29	3631,01	3623,75	3616,51	3609,27	3602,05	3594,85	3587,66	3580,48
Ahorro por autoconsumo €		275,87	275,32	274,76	274,22	273,67	273,12	272,57	272,03	271,48	270,94	270,40	269,86	269,32	268,78	268,24	267,71	267,17	266,64	266,10	265,57	265,04	264,51	263,98	263,45	262,93
Venta de excedente		77,01	76,86	76,71	76,55	76,40	76,25	76,09	75,94	75,79	75,64	75,49	75,34	75,18	75,03	74,88	74,73	74,58	74,44	74,29	74,14	73,99	73,84	73,69	73,55	73,40
Subvención instalación	2362,5																									
Total ahorro + ingresos	2362,5	352,88	352,17	351,47	350,77	350,07	349,37	348,67	347,97	347,27	346,58	345,89	345,19	344,50	343,81	343,13	342,44	341,76	341,07	340,39	339,71	339,03	338,35	337,67	337,00	336,33
GASTOS																										
Amortización instalación		210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00
Gastos mantenimiento		78,75	79,93	81,13	82,35	83,58	84,84	86,11	87,40	88,71	90,04	91,39	92,76	94,15	95,57	97,00	98,46	99,93	101,43	102,95	104,50	106,06	107,66	109,27	110,91	112,57
TOTAL GASTOS		288,75	289,93	291,13	292,35	293,58	294,84	296,11	297,40	298,71	300,04	301,39	302,76	304,15	305,57	307,00	308,46	309,93	311,43	312,95	314,50	316,06	317,66	319,27	320,91	322,57
Resultado antes de impuestos		64,13	62,24	60,34	58,42	56,48	54,53	52,56	50,57	48,56	46,54	44,49	42,43	40,35	38,25	36,13	33,98	31,82	29,64	27,44	25,21	22,96	20,70	18,40	16,09	13,75
Resultado después de impuesto		61,82	59,94	58,04	56,12	54,19	52,24	50,27	48,29	46,29	44,27	42,23	40,17	38,09	36,00	33,88	31,74	29,59	27,41	25,21	22,99	20,75	18,48	16,19	13,88	11,55
Desembolso Inicial	-5250																									
Cash Flow Operativo	-2887,5	271,82	272,24	270,34	268,42	266,48	264,53	262,56	260,57	258,56	256,54	254,49	252,43	250,35	248,25	246,13	243,98	241,82	239,64	237,44	235,21	232,96	230,70	228,40	226,09	223,75
Cash Flow Operativo Acumulado	-2887,5	2615,68	2343,44	2073,10	1804,68	1538,20	1273,67	1011,11	750,54	491,98	235,44	19,05	271,48	521,83	770,08	1016,20	1260,19	1502,01	1741,65	1979,09	2214,30	2447,26	2677,96	2906,36	3132,45	3356,21
Cash Flow Operativo Actualizado	-2789,86	253,75	245,55	235,59	226,00	216,78	207,92	199,39	191,19	183,30	175,71	168,42	161,40	154,66	148,18	141,94	135,95	130,19	124,65	119,33	114,21	109,30	104,57	100,03	95,67	91,48

VAN PROYECTO	1245,29
TIR PROYECTO	7%
PAY-BACK PROYECTO	11

Resultado económico-financiero instalación biodigestor para “Casas de Don Emilio” con grado de ocupación del 33%

Datos de partida Biodigestor	
Inversión inicial	2558 €
Gastos mantenimiento	102,32 €
Inflación anual gastos	1,5%
Ahorro eléctrico	4110,6 kWh
Precio kWh PVPC	0,1244627
Potencia	0,527
Coste de capital	3,5%
Grado de ocupación	33%
Horas Equivalentes	7.800
Vida útil	20 años

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Producción kWh		1356,498	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50	1356,50
Ahorro por autoconsumo €		168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83
Subvención instalación																					
Total ahorro + ingresos		168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83	168,83
GASTOS																					
Amortización instalación		127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90
Gastos mantenimiento		102,32	103,85	105,41	106,99	108,60	110,23	111,88	113,56	115,26	116,99	118,75	120,53	122,34	124,17	126,03	127,92	129,84	131,79	133,77	135,77
TOTAL GASTOS		230,22	231,75	233,31	234,89	236,50	238,13	239,78	241,46	243,16	244,89	246,65	248,43	250,24	252,07	253,93	255,82	257,74	259,69	261,67	263,67
Resultado antes de impuestos		-61,39	-62,92	-64,48	-66,06	-67,67	-69,29	-70,95	-72,63	-74,33	-76,06	-77,81	-79,59	-81,40	-83,24	-85,10	-86,99	-88,91	-90,86	-92,83	-94,84
Desembolso Inicial	-2558																				
CASH FLOW OPERATIVO	-2558	66,51	64,98	63,42	61,84	60,23	58,61	56,95	55,27	53,57	51,84	50,09	48,31	46,50	44,66	42,80	40,91	38,99	37,04	35,07	33,06
CASH FLOW OPERATIVO ACUMULADO	-2558	-2491,49	-2426,51	-2363,09	-2301,25	-2241,01	-2182,41	-2125,46	-2070,18	-2016,61	-1964,77	-1914,68	-1866,38	-1819,88	-1775,22	-1732,42	-1691,51	-1652,52	-1615,47	-1580,41	-1547,35
CASH FLOW OPERATIVO ACTUALIZADO	-2471,50	62,09	58,61	55,27	52,07	49,00	46,06	43,25	40,56	37,98	35,51	33,15	30,89	28,73	26,66	24,68	22,79	20,99	19,27	17,62	16,05

VAN PROYECTO	-1750,28
TIR PROYECTO	-8,29%
PAY-BACK PROYECTO	21

Resultado económico-financiero instalación biodigestor para “Casas de Don Emilio” con grado de ocupación del 59%

Datos de partida Biodigestor	
Inversión inicial	2558 €
Gastos mantenimiento	102,32 €
Inflación anual gastos	1,5%
Ahorro eléctrico	4110,6 kWh
Precio kWh PVPC	0,1244627
Potencia	0,527
Coste de capital	3,5%
Grado de ocupación	59%
Horas Equivalentes	7.800
Vida útil	20 años

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Producción kWh		2425,254	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25	2425,25
Ahorro por autoconsumo €		301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85
Subvención instalación																					
Total ahorro + ingresos		301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85	301,85
GASTOS																					
Amortización instalación		127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90	127,90
Gastos mantenimiento		102,32	103,85	105,41	106,99	108,60	110,23	111,88	113,56	115,26	116,99	118,75	120,53	122,34	124,17	126,03	127,92	129,84	131,79	133,77	135,77
TOTAL GASTOS		230,22	231,75	233,31	234,89	236,50	238,13	239,78	241,46	243,16	244,89	246,65	248,43	250,24	252,07	253,93	255,82	257,74	259,69	261,67	263,67
Resultado antes de impuestos		71,63	70,10	68,54	66,96	65,35	63,73	62,07	60,39	58,69	56,96	55,21	53,43	51,62	49,78	47,92	46,03	44,11	42,16	40,19	38,18
Desembolso Inicial	-2558																				
CASH FLOW OPERATIVO	-2558	199,53	198,00	196,44	194,86	193,25	191,63	189,97	188,29	186,59	184,86	183,11	181,33	179,52	177,68	175,82	173,93	172,01	170,06	168,09	166,08
CASH FLOW OPERATIVO ACUMULADO	-2558	-2358,47	-2160,47	-1964,03	-1769,17	-1575,91	-1384,29	-1194,31	-1006,02	-819,43	-634,57	-451,46	-270,13	-90,62	87,07	262,89	436,82	608,83	778,89	946,98	1113,06
CASH FLOW OPERATIVO ACTUALIZADO	-2471,50	186,27	178,58	171,19	164,07	157,21	150,62	144,27	138,16	132,28	126,62	121,18	115,94	110,90	106,06	101,40	96,91	92,60	88,46	84,47	80,64

VAN PROYECTO	76,33
TIR PROYECTO	3,85%
PAY-BACK PROYECTO	14

Resultado económico-financiero instalación térmica para "Casas de Don Emilio" con grado de ocupación del 33%

Datos de partida Térmica	
Inversión inicial	5082 €
Gastos mantenimiento	76.23 €
Inflación anual gastos	1,5%
Ahorro eléctrico	6887,32kWh
Precio kWh PVPC	0,1244627
Potencia	4.84
Coste de capital	3,5%
Grado de ocupación	33%
Horas Equivalentes	1423
Vida útil	20 años
Subvención	45%

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Producción kWh		6887,32	6852,88	6818,62	6784,53	6750,60	6716,85	6683,27	6649,85	6616,60	6583,52	6550,60	6517,85	6485,26	6452,83	6420,57	6388,46	6356,52	6324,74	6293,12	6261,65
Ahorro por autoconsumo €		282,88	281,47	280,06	278,66	277,27	275,88	274,50	273,13	271,76	270,40	269,05	267,71	266,37	265,04	263,71	262,39	261,08	259,77	258,48	257,18
Subvención instalación	2286,9																				
Total ahorro + ingresos		282,88	281,47	280,06	278,66	277,27	275,88	274,50	273,13	271,76	270,40	269,05	267,71	266,37	265,04	263,71	262,39	261,08	259,77	258,48	257,18
GASTOS																					
Amortización instalación		254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10
Gastos mantenimiento		76,23	77,37	78,53	79,71	80,91	82,12	83,35	84,60	85,87	87,16	88,47	89,80	91,14	92,51	93,90	95,31	96,73	98,19	99,66	101,15
TOTAL GASTOS		330,33	331,47	332,63	333,81	335,01	336,22	337,45	338,70	339,97	341,26	342,57	343,90	345,24	346,61	348,00	349,41	350,83	352,29	353,76	355,25
Resultado antes de impuestos		-47,45	-50,01	-52,58	-55,15	-57,74	-60,34	-62,95	-65,58	-68,21	-70,86	-73,52	-76,19	-78,88	-81,57	-84,29	-87,01	-89,76	-92,51	-95,28	-98,07
Desembolso Inicial	-5082																				
Cash Flow Operativo	-2795,1	206,65	204,09	201,52	198,95	196,36	193,76	191,15	188,52	185,89	183,24	180,58	177,91	175,22	172,53	169,81	167,09	164,34	161,59	158,82	156,03
Cash Flow Operativo Acumulado	-2795,1	2588,45	2384,36	2182,83	1983,88	1787,53	1593,77	1402,62	1214,10	1028,21	-844,97	-664,39	-486,48	-311,25	-138,72	31,09	198,17	362,52	524,11	682,92	838,95
Cash Flow Operativo Actualizado	2700,58	192,91	184,08	175,62	167,51	159,74	152,29	145,16	138,33	131,78	125,51	119,51	113,76	108,25	102,98	97,93	93,10	88,48	84,05	79,82	75,76

VAN PROYECTO	-164,03
TIR PROYECTO	3%
PAY-BACK PROYECTO	15

Resultado económico-financiero instalación térmica para “Casas de Don Emilio” con grado de ocupación del 59%.

Datos de partida Térmica	
Inversión inicial	5082 €
Gastos mantenimiento	76.23 €
Inflación anual gastos	1,5%
Ahorro eléctrico	6887,32kWh
Precio kWh PVPC	0,1244627
Potencia	4.84
Coste de capital	3,5%
Grado de ocupación	59%
Horas Equivalentes	1423
Vida útil	20 años

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Producción kWh		6887,32	6852,88	6818,62	6784,53	6750,60	6716,85	6683,27	6649,85	6616,60	6583,52	6550,60	6517,85	6485,26	6452,83	6420,57	6388,46	6356,52	6324,74	6293,12	6261,65
Ahorro por autoconsumo €		505,76	503,23	500,71	498,21	495,72	493,24	490,77	488,32	485,88	483,45	481,03	478,62	476,23	473,85	471,48	469,12	466,78	464,44	462,12	459,81
Subvención instalación	2286,9																				
Total ahorro + ingresos		505,76	503,23	500,71	498,21	495,72	493,24	490,77	488,32	485,88	483,45	481,03	478,62	476,23	473,85	471,48	469,12	466,78	464,44	462,12	459,81
GASTOS																					
Amortización instalación		254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10	254,10
Gastos mantenimiento		76,23	77,37	78,53	79,71	80,91	82,12	83,35	84,60	85,87	87,16	88,47	89,80	91,14	92,51	93,90	95,31	96,73	98,19	99,66	101,15
TOTAL GASTOS		330,33	331,47	332,63	333,81	335,01	336,22	337,45	338,70	339,97	341,26	342,57	343,90	345,24	346,61	348,00	349,41	350,83	352,29	353,76	355,25
Resultado antes de impuestos		175,43	171,75	168,08	164,40	160,71	157,02	153,32	149,61	145,90	142,19	138,46	134,73	130,99	127,24	123,48	119,72	115,94	112,16	108,36	104,56
Desembolso Inicial	-5082																				
Cash Flow Operativo	-2795,1	429,53	425,85	422,18	418,50	414,81	411,12	407,42	403,71	400,00	396,29	392,56	388,83	385,09	381,34	377,58	373,82	370,04	366,26	362,46	358,66
Cash Flow Operativo Acumulado	-2795,1	2365,57	1939,72	1517,54	1099,05	-684,24	-273,12	134,30	538,01	938,02	1334,30	1726,87	2115,70	2500,79	2882,13	3259,71	3633,53	4003,57	4369,83	4732,30	5090,95
Cash Flow Operativo Actualizado	2700,58	400,97	384,10	367,90	352,36	337,45	323,13	309,40	296,22	283,57	271,43	259,79	248,62	237,90	227,62	217,76	208,29	199,22	190,51	182,16	174,15

VAN PROYECTO	2771,98
TIR PROYECTO	13%
PAY-BACK PROYECTO	7

Resultado económico-financiero instalación fotovoltaica para “Casas de Don Emilio” con grado de ocupación del 33%.

Datos de partida Instalación Fovovoltaica			
Inversión inicial	21000	Descenso producción anual	0,2%
Gastos mantenimiento	315	Coste de capital	3,5%
Inflación anual gastos	1,5%	Grado de ocupación	33%
Ahorro eléctrico	17076	Vida útil	25
Potencia	12kW	Horas equivalentes	1423
Precio kWh PVPC	0,12446267	Subvención	45% inversión inicial
Precio venta excedente	0,05		

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Producción kWh		15026,88	14996,83	14966,83	14936,90	14907,03	14877,21	14847,46	14817,76	14788,13	14758,55	14729,03	14699,57	14670,18	14640,84	14611,55	14582,33	14553,17	14524,06	14495,01	14466,02	14437,09	14408,22	14379,40	14350,64	14321,94	
Ahorro por autoconsumo €		617,19	615,96	614,73	613,50	612,27	611,05	609,82	608,61	607,39	606,17	604,96	603,75	602,54	601,34	600,14	598,94	597,74	596,54	595,35	594,16	592,97	591,78	590,60	589,42	588,24	
Venta de excedente		503,40	502,39	501,39	500,39	499,39	498,39	497,39	496,40	495,40	494,41	493,42	492,44	491,45	490,47	489,49	488,51	487,53	486,56	485,58	484,61	483,64	482,68	481,71	480,75	479,78	
Subvención instalación	9450																										
Total ahorro + ingresos	9450	1120,59	1118,35	1116,12	1113,88	1111,66	1109,43	1107,21	1105,00	1102,79	1100,58	1098,38	1096,19	1093,99	1091,81	1089,62	1087,44	1085,27	1083,10	1080,93	1078,77	1076,61	1074,46	1072,31	1070,17	1068,03	
GASTOS																											
Amortización instalación		840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	
Gastos mantenimiento		315,00	319,73	324,52	329,39	334,33	339,34	344,43	349,60	354,85	360,17	365,57	371,05	376,62	382,27	388,00	393,82	399,73	405,73	411,81	417,99	424,26	430,62	437,08	443,64	450,29	
TOTAL GASTOS		1155,00	1159,73	1164,52	1169,39	1174,33	1179,34	1184,43	1189,60	1194,85	1200,17	1205,57	1211,05	1216,62	1222,27	1228,00	1233,82	1239,73	1245,73	1251,81	1257,99	1264,26	1270,62	1277,08	1283,64	1290,29	
Resultado antes de impuestos		-34,41	-41,37	-48,40	-55,50	-62,67	-69,91	-77,22	-84,60	-92,05	-99,58	-107,19	-114,87	-122,63	-130,46	-138,38	-146,38	-154,46	-162,63	-170,88	-179,22	-187,65	-196,16	-204,77	-213,47	-222,27	
Resultado después de impuesto		-49,51	-56,44	-63,45	-70,52	-77,65	-84,86	-92,14	-99,49	-106,92	-114,42	-121,99	-129,64	-137,37	-145,18	-153,06	-161,03	-169,09	-177,23	-185,45	-193,76	-202,16	-210,64	-219,22	-227,90	-236,66	
Desembolso Inicial	-21000																										
Cash Flow Operativo	-11550	790,49	798,63	791,60	784,50	777,33	770,09	762,78	755,40	747,95	740,42	732,81	725,13	717,37	709,54	701,62	693,62	685,54	677,37	669,12	660,78	652,35	643,84	635,23	626,53	617,73	
Cash Flow Operativo acumulado	-11550	10759,51	9960,88	9169,28	8384,79	7607,46	6837,37	6074,59	5319,19	4571,25	3830,83	3098,02	2372,88	1655,51	-945,97	-244,35	449,27	1134,81	1812,18	2481,30	3142,08	3794,43	4438,27	5073,49	5700,02	6317,75	
Cash Flow Operativo Actualizado	-	11159,42	737,93	720,32	689,83	660,52	632,36	605,28	579,26	554,26	530,23	507,15	484,96	463,65	443,18	423,52	404,63	386,49	369,07	352,34	336,28	320,86	306,05	291,84	278,20	265,11	252,55

VAN PROYECTO	436,45
TIR PROYECTO	4%
PAY-BACK PROYECTO	16

Resultado económico-financiero instalación fotovoltaica para “Casas de Don Emilio” con grado de ocupación del 59%.

Datos de partida Instalación Fovovoltaica			
Inversión inicial	21000	Descenso producción anual	0,2%
Gastos mantenimiento	315	Coste de capital	3,5%
Inflación anual gastos	1,5%	Grado de ocupación	59%
Ahorro eléctrico	17076	Vida útil	25
Potencia	12kW	Horas equivalentes	1423
Precio kWh PVPC	0,12446267	Subvención	45% inversión inicial
Precio venta excedente	0,05		

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Producción kWh		15026,8 8	14996,8 3	14966,8 3	14936,9 0	14907,0 3	14877,2 1	14847,4 6	14817,7 6	14788,1 3	14758,5 5	14729,0 3	14699,5 7	14670,1 8	14640,8 4	14611,5 5	14582,3 3	14553,1 7	14524,0 6	14495,0 1	14466,0 2	14437,0 9	14408,2 2	14379,4 0	14350,6 4	14321,9 4	
Ahorro por autoconsumo €		617,19	615,96	614,73	613,50	612,27	611,05	609,82	608,61	607,39	606,17	604,96	603,75	602,54	601,34	600,14	598,94	597,74	596,54	595,35	594,16	592,97	591,78	590,60	589,42	588,24	
Venta de energía		503,40	502,39	501,39	500,39	499,39	498,39	497,39	496,40	495,40	494,41	493,42	492,44	491,45	490,47	489,49	488,51	487,53	486,56	485,58	484,61	483,64	482,68	481,71	480,75	479,78	
Subvención instalación	9450																										
Total ahorro + ingresos	9450	1120,59	1118,35	1116,12	1113,88	1111,66	1109,43	1107,21	1105,00	1102,79	1100,58	1098,38	1096,19	1093,99	1091,81	1089,62	1087,44	1085,27	1083,10	1080,93	1078,77	1076,61	1074,46	1072,31	1070,17	1068,03	
GASTOS																											
Amortización instalación		840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	840,00	
Gastos mantenimiento		315,00	319,73	324,52	329,39	334,33	339,34	344,43	349,60	354,85	360,17	365,57	371,05	376,62	382,27	388,00	393,82	399,73	405,73	411,81	417,99	424,26	430,62	437,08	443,64	450,29	
TOTAL GASTOS		1155,00	1159,73	1164,52	1169,39	1174,33	1179,34	1184,43	1189,60	1194,85	1200,17	1205,57	1211,05	1216,62	1222,27	1228,00	1233,82	1239,73	1245,73	1251,81	1257,99	1264,26	1270,62	1277,08	1283,64	1290,29	
Resultado antes de impuestos		-34,41	-41,37	-48,40	-55,50	-62,67	-69,91	-77,22	-84,60	-92,05	-99,58	-107,19	-114,87	-122,63	-130,46	-138,38	-146,38	-154,46	-162,63	-170,88	-179,22	-187,65	-196,16	-204,77	-213,47	-222,27	
Resultado después de impuesto		-49,51	-56,44	-63,45	-70,52	-77,65	-84,86	-92,14	-99,49	-106,92	-114,42	-121,99	-129,64	-137,37	-145,18	-153,06	-161,03	-169,09	-177,23	-185,45	-193,76	-202,16	-210,64	-219,22	-227,90	-236,66	
Desembolso Inicial	-21000																										
Cash Flow Operativo	-11550	790,49	798,63	791,60	784,50	777,33	770,09	762,78	755,40	747,95	740,42	732,81	725,13	717,37	709,54	701,62	693,62	685,54	677,37	669,12	660,78	652,35	643,84	635,23	626,53	617,73	
Cash Flow Operativo acumulado	-11550	10759,5 1	9960,88	9169,28	8384,79	7607,46	6837,37	6074,59	5319,19	4571,25	3830,83	3098,02	2372,88	1655,51	-945,97	-244,35	449,27	1134,81	1812,18	2481,30	3142,08	3794,43	4438,27	5073,49	5700,02	6317,75	
Cash Flow Operativo Actualizado	-	11159,4 2	737,93	720,32	689,83	660,52	632,36	605,28	579,26	554,26	530,23	507,15	484,96	463,65	443,18	423,52	404,63	386,49	369,07	352,34	336,28	320,86	306,05	291,84	278,20	265,11	252,55

VAN PROYECTO	436,45
TIR PROYECTO	4%
PAY-BACK PROYECTO	16