

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de las Tecnologías
Industriales

Sistema de Generación de Energía Eléctrica a Partir
de Bicicletas Estáticas en un Gimnasio y Viabilidad
de Apoyo Fotovoltaico

Autor: Pablo Bravo Carrasco

Tutores: D. José Antonio Rosendo Macías
D. Manuel Burgos Payán

Dep. de Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2015



Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

**Sistema de Generación de Energía Eléctrica a
Partir de Bicicletas Estáticas y Viabilidad de Apoyo
Fotovoltaico**

Autor:

Pablo Bravo Carrasco

Tutores:

D. José Antonio Rosendo Macías

Catedrático de Universidad

D. Manuel Buergos Payán

Profesor Titular de Universidad

Dep. de Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2015



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a mis tutores José Antonio Rosendo Macías y Manuel Burgos Payán la posibilidad que me han brindado de poder realizar mi trabajo fin de grado con ellos, por sus explicaciones y facilidades mostradas durante la realización del mismo.

Por supuesto agradecer a mi familia, en primer lugar, a mis padres Pablo y Rosalía por apoyarme, creer en mí y en mis sueños, por su apoyo y confianza depositados en mí. Ellos son la base de la persona que soy. Con su dedicación y sus enseñanzas he crecido como una persona muy afortunada. A mi hermano Francisco por sus consejos, orientaciones y ayuda a lo largo de toda la carrera. A mi hermano Adrián por preocuparse por mí y soportar algunos enfados sobre todo este último año. Y a mi abuela Carmen, porque con sus historias me hace desconectar cuando lo necesito.

Agradecer también a Jeanette, por su ayuda y ánimo en los momentos difíciles, por sus consejos y por su apoyo incondicional en todo momento, así como por soportarme cuando tengo un mal día o las cosas no salen como las deseaba.

Por último agradecer a mis compañeros de clase y amigos, Juan Carlos, Miguel, Elena, Natalia y Javi, por estar siempre cuando he necesitado ayuda.

A todos vosotros,

MUCHAS GRACIAS



ÍNDICE

Pág.

Índice de figuras..... 8

Índice de tablas..... 16

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

1.1.- Objetivos..... 22

1.2.- Energías Renovables..... 25

1.2.1.- Desarrollo sostenible y energías renovables..... 27

1.2.2.- Motivación..... 28

1.3.- Energía solar fotovoltaica..... 30

1.3.1.- Situación de la energía solar fotovoltaica..... 31

1.3.2.- Situación de la energía solar fotovoltaica en España..... 35

1.3.3.- Energía fotovoltaica dentro del marco actual de las renovables..... 37

1.3.3.1.- ¿Por qué aprovechar energía solar?..... 37

1.3.4.- Ventajas e inconvenientes de la energía solar fotovoltaica..... 39

1.3.5.- Futuro de la energía fotovoltaica..... 41



	<u>Pág.</u>
1.4.- La conversión de energía humana.....	42
1.4.1.- Generación de energía basada en el pedaleo de una bicicleta.....	44
1.4.2.- Cómo trabajan los generadores de energía.....	46
1.4.2.1.- Tipos de equipos que pueden ser convertidos.....	47
1.5.- Responsabilidad Social Empresarial (RSE).....	48

Capítulo 2: EL GIMNASIO

2.1.- Elementos eléctricos del gimnasio.....	53
2.2.- Estimación de horas de Sol.....	57
2.3.- Requerimientos energéticos.....	58
2.4.- Consumos energéticos del gimnasio.....	60
2.2.- Coste del consumo de energía.....	66

Capítulo 3: SISTEMA DE GENERACIÓN BASADO EN BICICLETAS DE SPINNING

3.1. Mecánica de una bicicleta.....	69
3.2.-Estudio del centro BODYTECH.....	71



	<u>Pág.</u>
3.2.1.- Características del grupo acople-generator utilizado en este estudio...	72
3.3.- Equipos utilizados.....	75
3.3.1- Alternador.....	75
3.3.1.1.- Principio de funcionamiento.....	76
3.3.1.2.- Selección del alternador.....	84
3.3.1.3.- Fuente de tensión regulable.....	94
3.3.2.- Bicicleta de spinning.....	97
3.3.2.1.- Modificaciones de la relación de transmisión.....	99
3.3.2.2.- Modificaciones del volante de inercia.....	104
3.3.2.3.- Cálculo de la correa.....	106
3.3.2.4.- Cadena.....	107
3.3.3.- Inversor de corriente.....	110
3.4.- Energía generada por las bicicletas.....	113
3.5.- Análisis económico-financiero.....	115
3.5.1.- Componente utilizados.....	115
3.5.2.- Inversión inicial.....	116
3.5.3.- Ahorro energético.....	119
3.5.4.- Tiempo de retorno de la inversión.....	121
3.5.5.- Tiempo de retorno de la inversión para un aumento del coste de la electricidad.....	124



Capítulo 4: GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

	<u>Pág.</u>
4.1.- Terminología.....	129
4.2.- Elementos de un sistema fotovoltaico.....	132
4.2.1.-Célula fotoeléctrica.....	132
4.2.2.- Módulos solares.....	133
4.2.3.- Generador fotovoltaico.....	135
4.2.4.- Inversor.....	137
4.2.5.- Armario general de protección y medida.....	139
4.2.6.- Funcionamiento.....	141
4.3.- Tipologías de instalaciones solares.....	143
4.3.1.- Instalaciones solares aisladas.....	143
4.3.2.- Instalaciones solares conectadas a red.....	144
4.4.- Tipos de células solares fotovoltaicas y evolución.....	147
4.4.1.- De las placas tradicionales a integración arquitectónica.....	150
4.4.- Cálculo del campo solar.....	152
4.4.1.- Cálculo del número de módulos.....	153
4.4.2.- Influencia de la temperatura.....	155
4.4.3.- Número máximo de módulos en serie.....	156
4.4.4.- Número mínimo de módulos en serie.....	161
4.4.5.- Número máximo de módulos en paralelo.....	164
4.5.- Distancia mínima entre seguidores solares.....	170
4.5.1.- Radiación solar directa y difusa.....	170



	<u>Pág.</u>
4.5.2.- Geometría solar.....	172
4.5.3.- Recorrido óptico de la radiación solar.....	175
4.5.4.- Irradiancia en superficies inclinadas.....	176
4.4.5.- Horas de sol pico.....	178
4.4.6.- El movimiento solar.....	178
4.5.7.- Cálculo de las sombras.....	181
4.5.7.1.- Altura solar α	186
4.5.7.2.- Separación entre las filas.....	189
4.5.8.- Cálculo de pérdidas.....	190
4.5.8.1.- Pérdidas por sombreado.....	191
4.5.8.2.- Pérdidas por temperatura.....	193
4.5.8.3.- Pérdidas por dispersión del módulo fotovoltaico.....	196
4.5.8.4.- Pérdidas en el cableado.....	196
4.6.- Energía generada por los paneles fotovoltaicos.....	199
4.7.- Análisis económico-financiero.....	201
4.7.1.- Componentes de la instalación.....	201
4.7.2.- Inversión Inicial.....	202
4.7.3.- Ahorro energético.....	204
4.7.4.- Tiempo de retorno de inversión.....	205
4.7.5.- Tiempo de retorno de la inversión para un aumento del coste de la electricidad.....	207
4.7.5.- Tiempo de retorno de una futura inversión.....	208



Capítulo 5: INSTALACIÓN ACS

	<u>Pág.</u>
5.1.- consideraciones previas.....	212
5.2.- Breve descripción de la instalación de producción de ACS.....	213
5.3.- Instalación de producción solar térmica.....	214
5.3.1.- Sistema de captación.....	214
5.3.2.- Circuito primario.....	215
5.3.2.1.- Vaso de expansión.....	215
5.3.2.2.- Aereotermo.....	216
5.3.2.3.- Sistema de llenado.....	217
5.3.2.4.- Elementos de control.....	217
5.3.3.- Sistema de intercambio.....	218
5.3.4.- Sistema de acumulación.....	219
5.4.- Instalación de producción auxiliar de ACS.....	220
5.5.- Regulador.....	221

Capítulo 6: BALANCE ECONÓMICO-FINANCIERO GLOBAL

6.1.- Representación global de la instalación.....	225
6.2.- Inversión inicial.....	227
6.3.- Ahorro energético.....	230
6.4.- Tiempo de retorno de la inversión total.....	231



	<u>Pág.</u>
6.5.- Tiempo de retorno de la inversión total para un aumento del coste de la electricidad.....	233
 Capítulo 7: <u>CONCLUSIÓN</u>	
7.1.- Conclusiones.....	236
 Anexo 1: <u>ENERGÍA PRODUCIDA EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE BICICLETAS Y HORAS DE FUNCIONAMIENTO.....</u>	
	240
 Anexo 2: <u>INVERSIÓN EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE BICICLETAS.....</u>	
	244
 Anexo 3: <u>TIEMPO DE RETORNO EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE BICILETAS.....</u>	
	248
 Anexo 4: <u>INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....</u>	
	258



	<u>Pág.</u>
Anexo 5: <u>PLANOS</u>	274
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	281

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

Figura 1.1: Potencia instalada en España a finales de 2013.....	26
Figura 1.2: Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.....	30
Figura 1.3: Mapa de irradiación media en España.....	35
Figura 1.4: Potencia solar instalada en España en 2013.....	36
Figura 1.5: Evolución de la energía solar y diferentes energías renovables a lo largo del tiempo.....	41

Capítulo 2: EL GIMNASIO

Figura 2.1: Plano descriptivo del gimnasio.....	56
--	----

Capítulo 3: SISTEMA DE GENERACIÓN BASADO EN BICICLETAS DE SPINNING

	<u>Pág.</u>
Figura 3.1: Esquema de fuerza en el pedal.....	69
Figura 3.2: Histograma de velocidad del volante de la bicicleta durante una sesión de spinning.....	71
Figura 3.3: Transmisión de velocidad.....	73
Figura 3.4: Piezas de un alternador.....	75
Figura 3.5: Elementos principales del alternador.....	76
Figura 3.6: Campo magnético de un alternador.....	77
Figura 3.7: Espira de alternador girando.....	77
Figura 3.8: Onda de corriente alterna.....	78
Figura 3.9: Campo magnético de un alternador moviendo el campo inductor.....	79
Figura 3.10: Campo inductor giratorio con una sola espira.....	80
Figura 3.11: Arrollamientos del alternador conectados entre sí.....	80
Figura 3.12: Onda alterna rectificada.....	81
Figura 3.13: Sistema rectificadores de media onda.....	82
Figura 3.14: Sistema rectificador de onda completa.....	82
Figura 3.15: Onda trifásica completa rectificada.....	83
Figura 3.16: Curva típica de alternadores estabilizados Indiel.....	85
Figura 3.17; Velocidad de rotación según alternador elegido.....	90
Figura 3.18: Características de los alternadores Indiel A115.....	91
Figura 3.19: Curva típica de alternador estabilizado A115 14 [V] – 55 [A].....	92
Figura 3.20: Rango de funcionamiento sobre la curva típica del alternador.....	93
Figura 3.21: Diseño de una fuente de tensión regulable.....	94



	<u>Pág.</u>
Figura 3.22: Partes de una bicicleta estática.....	97
Figura 3.23: Bicicleta de spinning Diadora racer 20.....	99
Figura 3.24: Cambio de la bicicleta colocado en el piñón.....	103
Figura 3.25: Cambio manual colocado en el manillar.....	104
Figura 3.26: Volante de inercia modificado solo con ranuras.....	105
Figura 3.27: Volante de inercia modificado solo con pletinas.....	105
Figura 3.28: Correa del fabricante Gates.....	107
Figura 3.29: Cadena de bicicleta.....	108
Figura 3.30: Conjunto bicicleta, alternador, correa.....	109
Figura 3.31: Inversor para alternadores.....	111
Figura 3.32: Disposición teórica de los elementos.....	112
Figura 3.33: Energía generada por mes en función de la cantidad de bicis y horas diarias de spinning.....	114
Figura 3.34: Monto de inversión inicial en función de la cantidad de bicicletas.....	118
Figura 3.35: Ahorro según número de bicicletas.....	120
Figura 3.36: Tiempo de retorno de la inversión de bicicletas de spinning sin averías.....	122
Figura 3.37: Tiempo de retorno de la inversión teniendo en cuenta averías y reparaciones.....	123
Figura 3.38: Tiempo de retorno de la inversión teniendo en cuenta averías, reparaciones y aumento del coste de la electricidad.....	125

Capítulo 4: GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

	<u>Pág.</u>
Figura 4.1: Ilustración de diferentes radiaciones procedentes del Sol.....	130
Figura 4.2: Radiación solar promedio mundial.....	131
Figura 4.3: Radiación solar promedio en España.....	131
Figura 4.4: Célula fotoeléctrica.....	133
Figura 4.5: Panel solar fotovoltaico convencional.....	135
Figura 4.6: Generador solar fotovoltaico sobre suelo.....	136
Figura 4.7: Fotografía de un inversor fotovoltaico convencional.....	138
Figura 4.8: Instalación solar fotovoltaica, utilización a 230Vca.....	140
Figura 4.9: Diferentes aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.....	146
Figura 4.10: Célula monocristalina de silicio.....	148
Figura 4.11: Célula policristalina de silicio.....	148
Figura 4.12: Célula amorfa.....	149
Figura 4.13: Cubiertas planas.....	151
Figura 4.14: Componente horizontal y normal de la radiación directa.....	171
Figura 4.15: Distribución anual de la irradiación global horizontal, directa normal y difusa horizontal diarias.....	171
Figura 4.16: Irradiancia global en varios estados del tiempo.....	172
Figura 4.17: Geometría Solar.....	173
Figura 4.18: Posición del sol en los días de cambio de estación.....	174
Figura 4.19: Altura solar y valor de AM correspondiente según la posición del sol.....	176



	<u>Pág.</u>
Figura 4.20: Gráfico de la variación energética en función del azimut y la altura solar.....	177
Figura 4.21: Movimiento de translación de la tierra.....	179
Figura 4.22: Movimiento solar en la bóveda celeste.....	180
Figura 4.23: Situación espacial de los diferentes ángulos.....	180
Figura 4.24: Determinación de la altura solar y del azimut de un obstáculo.....	182
Figura 4.25: Diagrama de las trayectorias solares y método de utilización.....	184
Figura 4.26: Resultado del método del diagrama de trayectorias solares.....	185
Figura 4.27: Análisis del valor de la altura solar el día más favorable del año.....	186
Figura 4.28: Análisis del valor de la altura solar el día más favorable del año.....	187
Figura 4.29: Distancia entre filas para evitar sombras.....	189
Figura 4.30: Límites de sombreado para las distancias seleccionadas.....	192
Figura 4.31: Inversión fotovoltaica inicial.....	203
Figura 4.32: Tiempo de retorno de la inversión sin tener en cuenta reparaciones.....	205
Figura 4.33: Tiempo de retorno de la inversión teniendo en cuenta reparaciones.....	206
Figura 4.34: Tiempo de retorno de la inversión teniendo en cuenta reparaciones y aumento del coste de la electricidad.....	207
Figura 4.35: Tiempo de retorno de una segunda inversión.....	209



Capítulo 5: INSTALACIÓN ACS

	<u>Pág.</u>
Figura 5.1: Captador solar.....	214
Figura 5.2: Representación de instalación ACS con las modificaciones.....	222

Capítulo 6: BALANCE ECONÓMICO-FINANCIERO GLOBAL

Figura 6.1: Representación de la instalación completa con flujos de agua y electricidad.....	226
Figura 6.2: Gráfico de presupuestos totales.....	229
Figura 6.3: Tiempo de retorno de la inversión total sin averías.....	231
Figura 6.4: Tiempo de retorno de la inversión total teniendo en cuenta reparaciones y averías.....	232
Figura 6.5: Tiempo de retorno de la inversión teniendo en cuenta averías, reparaciones y aumento del coste de la electricidad.....	234

Anexo 3: TIEMPO DE RETORNO EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE BICICLETAS

Figura A3.1: Tiempo de retorno para 12 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones.....	249
--	-----

	<u>Pág.</u>
Figura A3.2: Tiempo de retorno para 20 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones.....	249
Figura A3.3: Tiempo de retorno para 24 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones.....	250
Figura A3.4: Tiempo de retorno para 30 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones.....	250
Figura A3.5: Tiempo de retorno para 40 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones.....	251
Figura A3.6: Tiempo de retorno para 50 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones.....	251
Figura A3.7: Tiempo de retorno para 12 bicicletas teniendo en cuenta averías y reparaciones.....	252
Figura A3.8: Tiempo de retorno para 20 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones.....	252
Figura A3.9: Tiempo de retorno para 24 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones.....	253
Figura A3.10: Tiempo de retorno para 30 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones.....	253
Figura A3.11: Tiempo de retorno para 40 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones.....	254
Figura A3.12: Tiempo de retorno para 50 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones.....	254
Figura A3.13: Tiempo de retorno para 12 bicicletas con mantenimiento y encarecimiento de electricidad.....	255
Figura A3.14: Tiempo de retorno para 20 bicicletas con mantenimiento y encarecimiento de electricidad.....	255
Figura A3.15: Tiempo de retorno para 24 bicicletas con mantenimiento y encarecimiento de electricidad.....	256
Figura A3.16: Tiempo de retorno para 30 bicicletas con mantenimiento y encarecimiento de electricidad.....	256



	<u>Pág.</u>
Figura A3.17: Tiempo de retorno para 40 bicicletas con mantenimiento y encarecimiento de electricidad.....	257
Figura A3.18: Tiempo de retorno para 50 bicicletas con mantenimiento y encarecimiento de electricidad.....	257

Anexo 4: INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Figura A4.1: Representación de cubiertas inclinadas.....	259
Figura A4.2: Representación de cubiertas planas.....	260
Figura A4.3: Representación de cubiertas colocadas como parasoles.....	260
Figura A4.4: Representación de cubiertas como muros cortina.....	261
Figura A4.5: Representación de cubiertas como paños ciegos.....	261
Figura A4.6: Representación de cubiertas como fachadas.....	262
Figura A4.7: Representación de cubiertas como pérgolas.....	262
Figura A4.8: Representación de cubiertas como techos de aparcamientos.....	263
Figura A4.9: Representación de cubiertas como mobiliario urbano.....	263
Figura A4.10: Representación de cubiertas con otras integraciones arquitectónicas.....	264
Figura A4.11: Representación de cubiertas como parte del techo de una casa.....	265
Figura A4.12: Módulo solar compuesto de células solares transparentes.....	266



	<u>Pág.</u>
Figura A4.13: Panel solar cilíndrico utilizado para la generación de energía solar fotovoltaica.....	267
Figura A4.14: Fotografía de una persiana solar con un diseño vanguardista.....	268
Figura A4.15: Fotografía de un edificio alemán con ventanas solares.....	270
Figura A4.16: Objetos fabricados mediante células solares de forma esférica.....	271
Figura A4.17: Fotografía de un pequeño módulo fotovoltaico orgánico.....	273
Figura A4.18: Edificio con ventanales formados por paneles solares.....	275

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

Tabla 1.1: Reservas actuales de combustibles fósiles.....	29
Tabla 1.2: Energía generada al montar en bicicleta.....	45

Capítulo 2: EL GIMNASIO

Tabla 2.1: Horas de salida y puesta de sol.....	57
Tabla 2.2: Consumo de energía en la zona 1.....	60
Tabla 2.3: Consumo de energía en la zona 2.....	61



	<u>Pág.</u>
Tabla 2.4: Consumo de energía en la zona 3.....	61
Tabla 2.5: Consumo de energía en la zona 4.....	62
Tabla 2.6: Consumo de energía en la zona 5.....	62
Tabla 2.7: Consumo de energía en la zona 6.....	63
Tabla 2.8: Consumo de energía en la zona 7.....	63
Tabla 2.9: Consumo de energía en la zona 8.....	63
Tabla 2.10: Consumo de energía en la zona 9 y 10.....	64
Tabla 2.11: Consumo de energía en la zona 11.....	64
Tabla 2.12: Consumo de energía en la zona 12.....	64
Tabla 2.13: Consumo total de energía.....	65

Capítulo 3: SISTEMA DE GENERACIÓN BASADO EN BICICLETAS DE SPINNING

Tabla 3.1: Datos muestrales de la prueba realizada.....	72
Tabla 3.2: Rango de aplicaciones de los alternadores Indiel 12-14 V.....	88
Tabla 3.3: Rango de aplicaciones de los alternadores Indiel 24 V.....	89
Tabla 3.4: Características de la bicicleta de spinning.....	98
Tabla 3.5: Resumen características de los piñones.....	102
Tabla 3.6: Datos del inversor.....	110
Tabla 3.7: Inversión para 24 bicicletas.....	117



Capítulo 4: GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

	<u>Pág.</u>
Tabla 4.1: Valores característicos del módulo fotovoltaico.....	154
Tabla 4.2: Valores característicos del inversor.....	154
Tabla 4.3: Valores característicos del módulo en función de la temperatura.....	155
Tabla 4.4: Características del inversor solar.....	168
Tabla 4.5: Características del generador solar.....	169
Tabla 4.6: Datos solares.....	187
Tabla 4.7: Radiación global diaria sobre superficie inclinada.....	188
Tabla 4.8: Influencia de la temperatura en los módulos fotovoltaicos.....	193
Tabla 4.9: Datos de irradiación han sido obtenidos del EUMETSAT-CMSAF.....	195
Tabla 4.10: Perdidas del cableado cc.....	197
Tabla 4.11: Inversión fotovoltaica inicial.....	202
Tabla 4.12: Inversión transcurridos 20 años.....	208

Capítulo 6: BALANCE ECONÓMICO-FINANCIERO GLOBAL


Tabla 6.1: Presupuesto total de la inversión.....	228
--	-----

Anexo 1: ENERGÍA PRODUCIDA EN FUNCION DEL NUMERO DE BICICLETAS Y HORAS DE FUNCIONAMIENTO

	<u>Pág.</u>
Tabla A1.1: Producción de energía para 12 bicicletas en función de horas de funcionamiento diario.....	241
Tabla A1.2: Producción de energía para 20 bicicletas en función de horas de funcionamiento diario.....	241
Tabla A1.3: Producción de energía para 24 bicicletas en función de horas de funcionamiento diario.....	242
Tabla A1.4: Producción de energía para 30 bicicletas en función de horas de funcionamiento diario.....	242
Tabla A1.5: Producción de energía para 40 bicicletas en función de horas de funcionamiento diario.....	243
Tabla A1.6: Producción de energía para 50 bicicletas en función de horas de funcionamiento diario.....	243

Anexo 2: INVERSIÓN EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE BICICLETAS

Tabla A2.1: Inversión inicial para 12 bicicletas de spinning.....	245
Tabla A2.2: Inversión inicial para 20 bicicletas de spinning.....	245
Tabla A2.3: Inversión inicial para 24 bicicletas de spinning.....	246
Tabla A2.4: Inversión inicial para 30 bicicletas de spinning.....	246
Tabla A2.5: Inversión inicial para 40 bicicletas de spinning.....	247
Tabla A2.6: Inversión inicial para 50 bicicletas de spinning.....	247



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN



En este primer capítulo vamos a explicar los objetivos del proyecto, donde también se explica brevemente el porqué de las soluciones adoptadas, como se desarrollara el proyecto y se explicara en que consiste la responsabilidad social empresarial.

Posteriormente haremos una introducción sobre la situación actual de las energías renovables en el mundo y España, así como de las reservas de combustibles fósiles de las que disponemos actualmente.

Se mencionara con más hincapié la situación de la energía solar fotovoltaica, su evolución, futuro y ventajas e inconvenientes de su aprovechamiento.

Por último hablaremos de la conversión de energía humana y el aprovechamiento para generar electricidad a partir de bicicletas de spinning.



1.1.- OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo general determinar si es factible técnicamente el aprovechamiento de la energía cinética generada durante una actividad física de las personas como es el spinning, para transformarla en energía eléctrica con los elementos disponibles actualmente en el mercado (alternadores), a un precio que resulte accesible para el inversor, también contaremos con paneles solares que producirán energía fotovoltaica para cubrir una mayor parte de la demanda que tendrá nuestro gimnasio. De esta manera, se genera energía “limpia”, se logra reducir la dependencia de la red eléctrica, y se disminuyen los costes operativos.

De más está decir que la mayor parte de la inversión inicial necesaria deberá ser acorde a las posibilidades económico-financieras de la empresa. El proyecto aquí desarrollado no apunta a obtener un gran beneficio económico ya que para ello necesitaríamos un gran número de usuarios usando nuestro gimnasio durante toda la jornada, algo que es prácticamente inviable, sino que pretende obtener el mayor ahorro posible en la factura de la electricidad y también poder ofrecerse como herramienta de Responsabilidad Social Empresarial para la empresa que decida aplicarlo. El beneficio principal es el ahorro en la factura de electricidad ya que en una instalación de este tipo se requiere una gran cantidad de energía que se puede ver reducida con un buen planteamiento energético.

En el presente capítulo se describe la necesidad que motivó este trabajo, el objetivo del mismo, se explica brevemente cómo está compuesto el establecimiento elegido como ejemplo práctico, qué parte del mismo se va a abarcar, y finalmente se contextualiza en cuanto al panorama nacional actual respecto de la energía eléctrica y su generación.



A lo largo de este trabajo se ha desarrollado el diseño de un sistema que permita generar electricidad a partir de una fuente renovable que en este caso es la energía cinética generada por personas durante su práctica de spinning, actividad aeróbica que se realiza sobre una bicicleta estática en un gimnasio. Dicha energía actualmente no se aprovecha y se disipa en forma de calor y rozamiento.

El objetivo de este proyecto es aprovechar esa energía “desperdiciada”. El sistema está formado por elementos que se encuentran disponibles actualmente en el mercado como son los alternadores, inversores, paneles fotovoltaicos...., y se explica brevemente el funcionamiento de cada uno de ellos a los efectos de entender el funcionamiento global del sistema.

Sabemos por experiencia que las clases de spinning se imparten cuando los clientes terminan su jornada laboral, entorno a las 7 de la tarde, que es además la hora en la que el gimnasio cuenta con más clientes y por lo tanto tendrá una mayor demanda de energía.

En un primer estudio se pensó en la posibilidad de instalar baterías para el almacenamiento de energía en los momentos del día en que la producción fuese mayor que la demanda pero debido al precio elevado de las baterías se desechó la idea.

La decisión de no usar baterías dio lugar a otro problema, ¿qué hacer con la energía si en un determinado momento del día si la producción es superior al consumo?, como respuesta a esta pregunta y dado que si vertemos energía a la red estaremos “tirándola” ya que las compañías eléctricas se oponen a la inyección en red en baja tensión, se ha decidido calentar agua y almacenarla. Por este motivo necesitamos hacer una estimación del consumo mínimo que tendremos en nuestro centro para adaptar la generación a la



demanda de energía, ya que la energía vertida a la red no es rentable puesto que las compañías tienen precios muy bajos o nulos de ahí la importancia de tener concordancia entre generación y consumo. Para ello y para un mayor ahorro en nuestras facturas se tendrán en cuenta placas termosolares que calentarán el agua a través de la energía del sol, esta agua posteriormente será calentada con la energía sobrante y almacenada en depósitos para su posterior uso. Con esto reduciremos también el consumo de gas.

Se han relevado los consumos eléctricos presentes en el establecimiento, que se han tomado como ejemplo práctico, a fin de poder analizar la demanda actual de energía eléctrica. Definidos los elementos que componen el sistema y de acuerdo a los precios de mercado, se indagó el costo del mismo y cómo impacta positivamente en la reducción de energía eléctrica de la red.



1.2.- ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables han constituido una parte importante de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. La navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la del sol, son buenos ejemplos de ello.

Con el invento de la máquina de vapor por James Watt, se van abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables en el tiempo y caprichosas y se utilizan cada vez más los motores térmicos y eléctricos, en una época en que el todavía relativamente escaso consumo, no hacía prever un agotamiento de las fuentes, ni otros problemas ambientales que más tarde se presentaron.

Hacia la década de años 1970 las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura garantizada (a diferencia de los combustibles fósiles que precisan miles de años para su formación) como por su menor impacto ambiental en el caso de las energías limpias, y por esta razón fueron llamadas energías alternativas. Actualmente muchas de estas energías son una realidad, no una alternativa, por lo que el nombre de alternativas ya no debe emplearse.

La principal ventaja de este tipo de energías es que son energías ecológicas, es decir este tipo de energías son distintas a las de combustibles fósiles o centrales nucleares debido a su diversidad y abundancia. Se considera que el Sol abastecerá estas fuentes de energía (radiación solar, viento, lluvia, etc.) durante los próximos cuatro mil millones de años. La primera ventaja de una cierta cantidad de fuentes de energía renovables es que



no producen gases de efecto invernadero ni otras emisiones, contrariamente a lo que ocurre con los combustibles, sean fósiles o renovables. Algunas fuentes renovables no emiten dióxido de carbono adicional, salvo los necesarios para su construcción y funcionamiento, y no presentan ningún riesgo suplementario, tales como el riesgo nuclear.

Pero debemos tener en cuenta que este tipo de energías no carecen de inconvenientes, los más dignos de mención son; su naturaleza difusa, puesto que ciertas fuentes de energía renovable proporcionan una energía de una intensidad relativamente baja, distribuida sobre grandes superficies, son necesarias nuevos tipos de “centrales” para convertirlas en fuentes utilizables. Y la irregularidad, la producción de energía eléctrica permanente exige fuentes de alimentación fiables o medios de almacenamiento. Así pues, debido al elevado coste del almacenamiento de la energía, un pequeño sistema autónomo resulta raramente económico, excepto en situaciones aisladas, cuando la conexión a la red de energía implica costes más elevados.

Potencia instalada a 31 de diciembre del 2013 (102.281 MW)

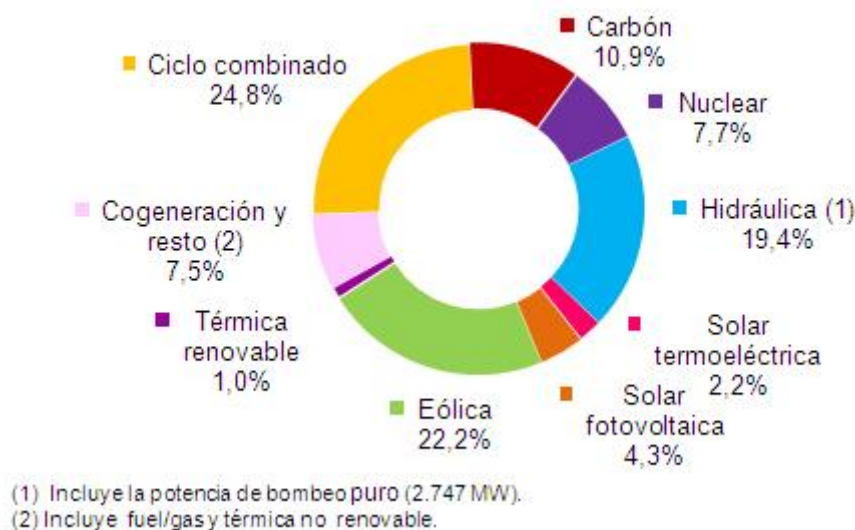


Figura 1.1: Potencia instalada en España a finales de 2013



En España, actualmente un alto porcentaje de la energía eléctrica demandada por los consumidores es producida por energías renovables, de las cuales, las más importantes son eólica e hidráulica.

1.2.1.- DESARROLLO SOSTENIBLE Y ENERGÍAS RENOVABLES

El concepto de desarrollo sostenible forma parte de números discursos políticos y está abierto a diversas interpretaciones, aunque transmite dos ideas básicas: la necesidad de utilizar los recursos naturales que dispone el planeta de manera racional, teniendo en cuenta que algunos de ellos son recursos limitados, y por otra, el impacto que tiene el ser humano en el medioambiente.

Estas consideraciones tienen un papel importante en el plano energético, ya que aproximadamente el 80% de la energía demandada a nivel mundial proviene de combustibles fósiles, tales como el petróleo, gas natural, carbón..., siendo fuentes de disponibilidad limitada y altamente contaminantes en su mayoría.

Como consecuencia de esta situación, cabe destacar los acuerdos alcanzados en el protocolo de Kyoto, vigente desde Febrero de 2005, en el que los países firmantes (todos los industrializados a excepción de EE.UU, Austria, Mónaco y Liechtenstein) se comprometen a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 5,2% de media respecto a los niveles de 1990, en el periodo entre 2008 y 2012.



Los compromisos adoptados en Kyoto, junto con un intento de reducir la dependencia energética del exterior, han propiciado el auge de las denominadas energías renovables, fuentes de energía capaces de auto regenerarse y virtualmente inagotables, de entre las que cabe destacar la biomasa, solar, eólica, hidráulica, mareomotriz y geotérmica.

1.2.2.-MOTIVACIÓN

Hoy día, el mundo se enfrenta a su mayor desafío en forma de escasez de energía. El uso de energía en aparatos eléctricos, vehículos, cocinas, etc. Proviene fundamentalmente de fuentes de energía no renovable (alrededor del 80%). Pero los investigadores dicen que los combustibles fósiles van a ser escasos pronto. A parte de estas fuentes de energía no renovables, también se utiliza energía renovable que proviene de los recursos naturales como la luz del sol, viento, lluvia, mareas, olas y el calor geotérmico. Alrededor del 16% del consumo mundial de energía final viene de fuentes de energías renovables, con un 10% procedente de la biomasa tradicional, que se utiliza principalmente para la calefacción, y el 3,4% de la hidroeléctrica, pero también hay limitaciones con estas fuentes de energías renovables. Como en el caso de la energía solar, que no es posible cubrir toda la superficie disponible con paneles solares, la limitación de viento, es la disponibilidad de la velocidad del viento media adecuada, para la energía de las mareas en los océanos la aleatoriedad de las mareas, el gasto inicial para la instalación de estos convertidores de energía que es muy alta. Por lo tanto, muchos científicos e investigadores se han involucrado desesperadamente en busca de nuevas alternativas que sean eficientes, económicas, disponibles y sean fuentes de energía renovable [1].



Estas serían las reservas estimadas a día de hoy:

combustible	Energía contenida(W/año)	Reservas estimadas
carbón	937/tonelada	7.6 trillones de toneladas
petróleo	168/barril	2 trillones de barriles
gas	$0.036/\text{ft}^3 = 0.0109728 \text{ m}^3$	$10^{16}\text{ft}^3 = 3.048 \cdot 10^{16}\text{m}^3$

Tabla 1.1: Reservas actuales de combustibles fósiles

El consumo global de energía en constante aumento hace que el número de problemas ambientales aumente con el paso del tiempo. Además, es bastante evidente que Europa no es capaz de cumplir plenamente el protocolo de Kyoto. Por esta razón, la sociedad y la presión política para desarrollar productos con menor el consumo de energía está en pleno desarrollo.

Las cuestiones que tienen una alta prioridad legislativa y/o emocional parecen dominar en la elección de los temas de investigación, algo que no siempre se justifica desde un punto de vista científico. La investigación sobre el consumo de energía de los productos recibe poca atención, cuando es un factor dominante sobre el impacto ambiental en el ciclo de vida de productos.

Además, la reciente volatilidad de los precios del petróleo, ha puesto de manifiesto una vez más la dependencia de nuestra vulnerable economía ante este "oro negro". Esta situación es poco probable que cambie en el largo plazo, ya que los precios del petróleo inevitablemente aumentarán cuando nos acercamos a su agotamiento.



1.3.- ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica consiste en la conversión directa de la luz solar en electricidad, mediante un dispositivo electrónico denominado “célula solar”. La conversión de la energía de la luz solar en energía eléctrica es un fenómeno físico conocido como “efecto fotovoltaico”. Presenta características peculiares entre las que se destacan:

- Elevada calidad energética
- Pequeño o nulo impacto ecológico
- Inagotable a escala humana

La energía solar fotovoltaica permite un gran número de aplicaciones, ya que puede suministrar energía en emplazamientos aislados de la red (viviendas aisladas, faros, postes SOS, bombeos, repetidores de telecomunicaciones, etc.), o mediante instalaciones conectadas a la red eléctrica, que pueden ser de pequeño tamaño (instalación en vivienda individual) o centrales de gran tamaño (en España existen proyectos de hasta 48 MW de potencia).

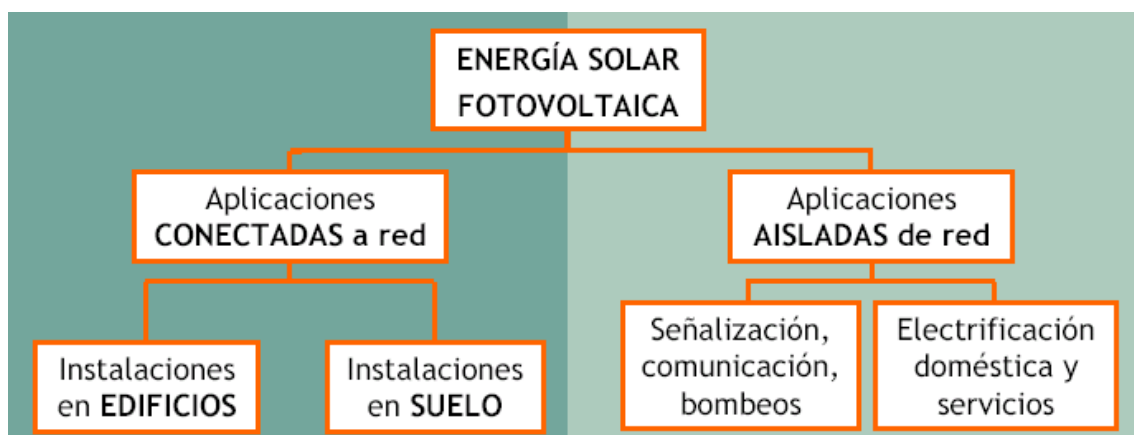


Figura 1.2: Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.



Un punto importante que debemos destacar es que cada kWh generado con energía solar fotovoltaica evita la emisión a la atmósfera de aproximadamente 1kg de CO₂, en el caso de compararlo con generación eléctrica con carbón, o aproximadamente 0,4kg de CO₂ en el caso de compararlo con generación eléctrica con gas natural. Esto es de gran ayuda para la reducción de emisiones que se propone en el Protocolo de Kioto citado anteriormente.

Se dice que la energía solar fotovoltaica es la energía del futuro. Su despegue se produjo en el contexto de programas espaciales, en los cuales se ha permitido hacer funcionar satélites artificiales por energía solar, aprovechando directamente la radiación del sol.

Como características positivas podemos mencionar que la energía solar se transforma en energía eléctrica sin partes móviles, sin ciclos termodinámicos y sin reacciones químicas.

Esta generación eléctrica es de duración prácticamente ilimitada, no requiere mantenimiento, no produce contaminación ni hace ruido.

1.3.1.- SITUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

España es el primer mercado fotovoltaico del mundo porque es el país donde la energía solar destinada al consumo ha crecido más, y es segundo del mundo en cuanto a potencia instalada, únicamente superada por Alemania. Según la Comisión Nacional de



la Energía (CNE), la potencia fotovoltaica instalada y conectada a la red en el pasado mes de enero del presente año ascendía a 3.207 megavatios (MW), un 381,1% más que en 2008, pero si se comparan las cifras acumuladas con los datos registrados hace solamente dos ejercicios, el incremento asciende a un 1.843%.

En situaciones de crisis económica como la actual, la energía solar es un valor refugio, seguro y al alza. En nuestro país la distribución de la potencia fotovoltaica conectada a la red no está repartida de manera equitativa.

De este modo, las comunidades autónomas que lideran el ranking solar son Castilla-La Mancha, Andalucía y Extremadura. En el otro lado, se sitúan Cantabria, Asturias, Ceuta y Melilla.

Alemania es en la actualidad el segundo fabricante mundial de paneles solares fotovoltaicos tras Japón, con cerca de 5 millones de metros cuadrados de paneles solares, aunque sólo representan el 0,03% de su producción energética total. La venta de paneles fotovoltaicos ha crecido en el mundo al ritmo anual del 20% en la década de los noventa. En la UE el crecimiento medio anual es del 30%.

El crecimiento actual de las instalaciones solares fotovoltaicas está limitado por la falta de materia prima en el mercado (silicio de calidad solar) al estar copadas las fuentes actuales, aunque a partir de la segunda mitad de 2008 el precio del silicio de grado solar ha comenzado a disminuir al aumentar su oferta debido a la entrada en escena de nuevos productores. Prueba de ello son los diversos planes se han establecido para nuevas factorías de este material en todo el mundo, incluyendo dos proyectos en España con la colaboración de los principales actores del mercado.



La inyección en red de la energía solar fotovoltaica, estaba regulada por el Gobierno Español mediante el RD 661/2007 con el 575 % del valor del kWh normal, lo que se correspondía con unos 0,44 euros por cada kwh que se inyectaba en red.

A partir del 30 de septiembre de 2008 esta actividad está regulada mediante el RD 1578/2008 de retribución fotovoltaica que establece unas primas variables en función de la ubicación de la instalación (suelo: 0,32 €/kWh o tejado: 0,34 €/kWh), estando sujetas además a un cupo máximo de potencia anual instalada a partir de 2009 que se adaptará año a año en función del comportamiento del mercado.

Actualmente, el acceso a la red eléctrica en España requiere una serie de permisos de la administración y la autorización de la compañía eléctrica distribuidora de la zona. Esta tiene la obligación de dar punto de enganche o conexión a la red eléctrica, pero en la práctica el papeleo y la reticencia de las eléctricas están frenando el impulso de las energías renovables. Las eléctricas buscan motivos técnicos como la saturación de la red para controlar sus intereses en otras fuentes energéticas y con la intención de bloquear la iniciativa de los pequeños productores de energía solar fotovoltaica.

Esta situación provoca una grave contradicción entre los objetivos de la Unión Europea para impulsar las energías limpias y la realidad de una escasa liberalización en España del sector energético que impide el despegue y la libre competitividad de las energías renovables.

Los expertos aquí consultados (IDEA y el EVE) creen que hay varias razones, además de las citadas que explican el escaso desarrollo de la energía solar:



- Condicionantes económico-financieros: se necesita hacer una inversión inicial elevada que no todo el mundo puede asumir
- El período de amortización de la inversión es largo, unos diez años.
- Falta de concienciación ecológica y medioambiental.
- La sociedad española tiene poca información sobre el tema y no conoce todos los beneficios y usos de la energía solar.
- Ausencia de normativa necesaria para fomentar su uso.
- No se cuida lo suficiente la integración de la instalación solar en los edificios.
- En algunos casos la falta de espacio puede ser un inconveniente a la hora de la instalación.
- La normativa exigida en algunos casos puede retraer a algunos consumidores interesados: en las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red el propietario debe hacer declaración de IVA cada tres meses y darse de alta en el impuesto de actividades económicas, porque se vende energía a la compañía eléctrica.



1.3.2.- SITUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA

El recurso solar es abundante en España, que dispone de condiciones muy adecuadas para la energía solar fotovoltaica, con áreas de alta irradiación. La situación respecto a otros países europeos como Alemania es comparativamente muy favorable.

La principal característica de este recurso es estar disponible en toda la superficie al mismo tiempo, estando no obstante condicionado por las sombras de elementos naturales y artificiales y por las particulares condiciones climáticas de cada área geográfica.

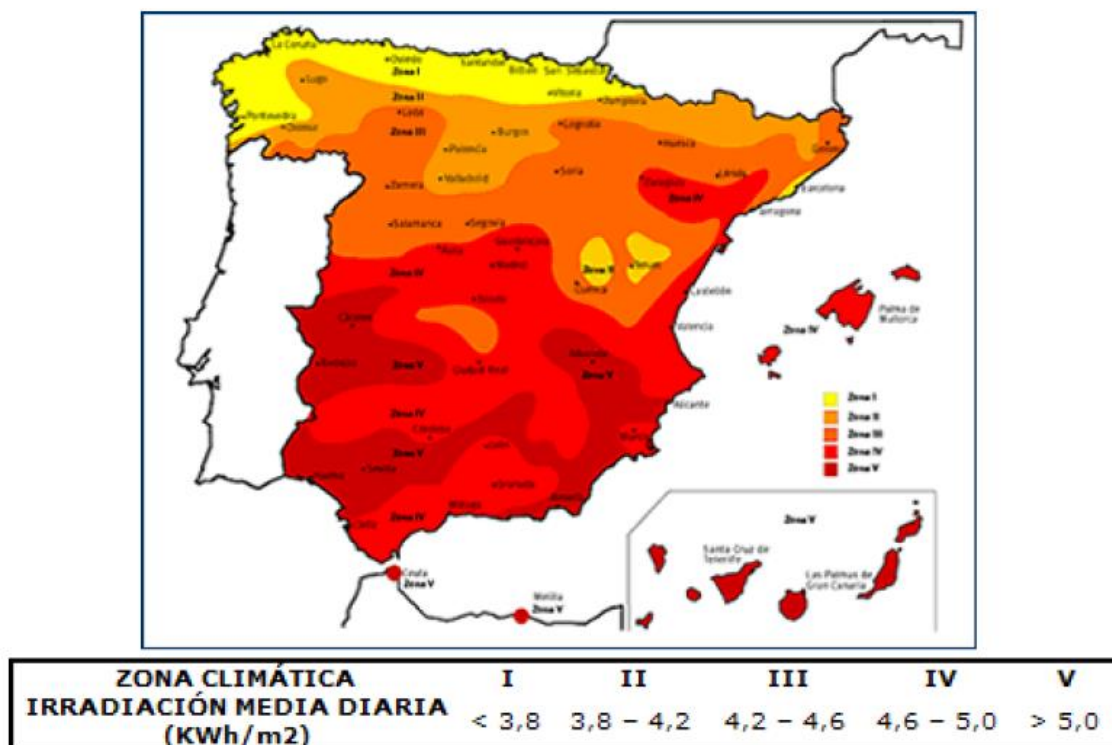


Figura1.3: Mapa de irradiación media en España



Con motivo de alcanzar los objetivos dictados por el Protocolo de Kyoto y reforzar la política de energías limpias en España, se elaboró el Plan de Fomento de las Energías Renovables en España 2000-2010, el cual mostraba que aproximadamente el 12,1% de la energía primaria consumida en 2010 sería proporcionada por las energías renovables, debido a esta frontera ambiciosa hubo de revisarse dicho plan en 2004 y se creó el actual Plan de Fomento de las Energías Renovables 2005-2010.

Centrándonos en el sector solar fotovoltaico, el Plan de Fomento de las energías Renovables en España 2005-2010 establecía una cifra de 400MW de potencia instalada en este tipo de energía. En 2004, la potencia total instalada de energía solar fotovoltaica en España, según los datos disponibles, supero los 37MWp, presentado un incremento cercano al 55% respecto a la potencia instalada en el año 2003.

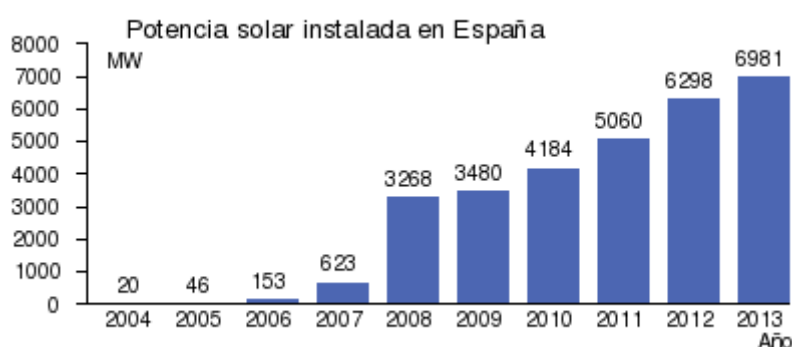


Figura 1.4: Potencia solar instalada en España en 2013

La rápida evolución ha comportado numerosas inversiones industriales relacionadas con la tecnología solar fotovoltaica, desde la fabricación de silicio policristalino, obleas y módulos hasta los seguidores o los inversores, de manera que actualmente en España se pueden producir todos los elementos de la cadena que interviene en una instalación solar fotovoltaica.



1.3.3.- ENERGÍA FOTOVOLTAICA DENTRO DEL MARCO ACTUAL DE LAS RENOVABLES

La producción de energía eléctrica aplicando técnicas fotovoltaicas presenta grandes ventajas energéticas, medioambientales, industriales, sin embargo, en España ese sistema de generación de energía se ha producido de manera lenta, fundamentalmente por barreras de carácter económico.

Pese a todo, existen numerosos factores que hacen de esta tecnología un sistema de producción de energía muy atractivo para nuestro país: existencia de recursos solares abundantes, tecnología y capacidad de fabricación punteras a nivel internacional, perspectivas favorables de evolución a nivel tecnológico y económico, y un marco regulatorio establecido en R.D 436/2004 muy favorable, que establece un atractivo sistema de primas para la producción de energía eléctrica en régimen especial.

1.3.3.1.- ¿POR QUÉ AROVECHAR LA ENERGÍA SOLAR?

Durante los últimos años del siglo XX, surge entre una gran parte de los países desarrollados de nuestro planeta, una creciente preocupación por el estado del ambiente que nos rodea. Los principales Organismos Públicos Mundiales elaboran informes denunciando nuevas problemáticas como el cambio climático y el calentamiento global del planeta que perjudican el estado de nuestro planeta.



A raíz de estos escritos, se convocan cumbres mundiales donde se reúnen los gobernantes de la mayor parte de los países del mundo y debaten acerca de estos y otros problemas que acechan el medioambiente en busca de posibles soluciones.

La cumbre de La Tierra de Río de Janeiro (1992) se convierte en el primer gran evento de estas características. Allí se establecen las bases y los cimientos de nuevas políticas energéticas que pocos años después se concretan con la redacción del Protocolo de Kyoto en 1998. Según este documento los países firmantes se comprometen a reducir sus emisiones contaminantes de CO₂ al nivel de 1990. Unos años después, en el año 2002, la Unión Europea ratifica este tratado, comprometiéndose a reducir en el año 2010 el nivel de emisiones un 8% del nivel de 1990. En el caso de nuestro país, el nivel de emisiones pactado deber ser como máximo un 15% superior al nivel de 1990.

Por último, y en relación a la reducción de emisiones contaminantes y al ahorro de energía, durante la cumbre del Desarrollo Sostenible de Johannesburgo, la Unión Europea se compromete a producir el 12% de la energía necesaria mediante el aprovechamiento de las fuentes de energía renovables.

Nuestro país publica el texto de ratificación el 8 de febrero de 2005. A partir de ese momento, resulta imprescindible la introducción de nuevas medidas y nuevos instrumentos que permitan el desarrollo sostenible de nuestra política energética manteniendo los principios de competitividad, seguridad de suministro y protección del medioambiente. En este texto se busca el empleo de una energía limpia (no contaminante); mejorar la eficiencia energética de las instalaciones; reducir el consumo energético en los edificios; reducir la dependencia energética exterior; y aprovechar los recursos inagotables de nuestro país



El beneficio ambiental de sistemas accionados por humanos se basa en el hecho de que estos productos no consumen energía de fuentes no renovable durante su ciclo de vida. El uso de la energía humana no es contaminante y contribuye a mejorar la eficiencia energética de las instalaciones al reducir el consumo de energía.

Cabe tener en cuenta que nuestro país importa el 80% de los recursos necesario para producir energía frente al 50% de media de la UE. Así, pues ante un incremento del precio del petróleo, esta situación podría generar una tendencia inflacionista e incluso crear desequilibrios macroeconómicos en la economía nacional.

1.3.4.- VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

- Los sistemas fotovoltaicos no requieren abastecimiento de combustible, son totalmente silenciosos, apenas requieren mantenimiento y tienen una vida útil mucho más larga.
- Prácticamente el único mantenimiento que se requiere es controlar el nivel del electrolito en la batería y añadirle agua destilada cada cierto tiempo.
- La duración de una batería de tipo estacionario oscila entre 10 y 15 años. Los paneles solares tienen una duración muy superior (los fabricantes ofrecen garantías de hasta 25 años).



- La electricidad se produce en el mismo lugar donde se consume, eliminando la necesidad de instalar tendidos eléctricos. Además los paneles fotovoltaicos, por su aspecto y constitución, resultan fáciles de integrar y adaptar en las edificaciones rurales.
- Utilizan una fuente de energía renovable (la radiación solar), lo que quiere decir que a la escala temporal humana es inagotable.
- Producen electricidad sin necesidad de ningún tipo de reacción o combustión,
- evitando la emisión a la atmósfera de CO₂ u otros contaminantes.
- Su instalación es simple
- Resiste condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura, humedad.
- No existe una dependencia de los países productores de combustibles.
- Instalación en zonas rurales → desarrollo tecnologías propias.
- Se utiliza en lugar de bajo consumo y en casas ubicadas en parajes rurales donde no llega la red eléctrica general
- Venta de excedentes de electricidad a una compañía eléctrica.



- Tolera aumentar la potencia mediante la incorporación de nuevos módulos fotovoltaicos.

- En cuanto a los inconvenientes, las instalaciones fotovoltaicas tienen unas limitaciones que deben llevar a sus usuarios a la moderación en el consumo y al empleo de aparatos de consumo con elevados rendimientos. Asimismo, el precio y el gran tamaño de los paneles solares frenan su expansión, puesto que la tecnología disponible actualmente requiere de una gran superficie de captación.

1.3.5.- FUTURO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Vistas las ventajas incomparables de este tipo de energía, tanto a nivel ecológico, como económico o puramente práctico, se puede pensar que ésta será una de las grandes energías del futuro. Es de esperar, pues, que su parte en la producción mundial aumente en los próximos años.

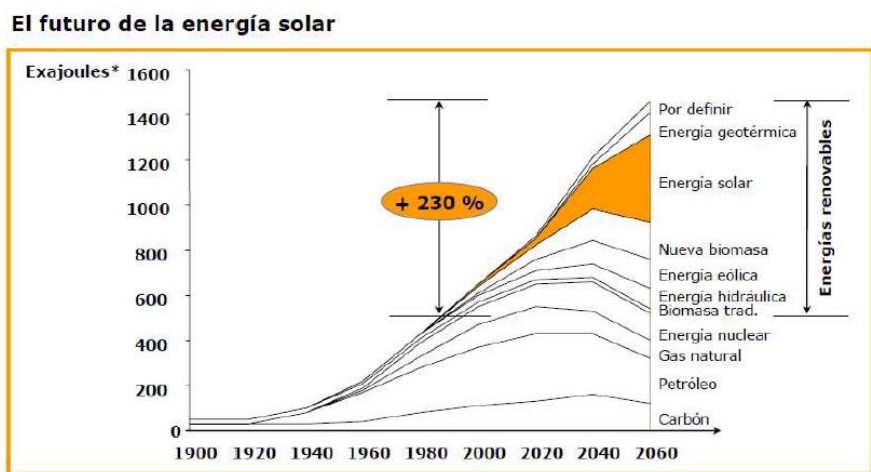


Figura 1.5: Evolución de la energía solar y diferentes energías renovables a lo largo del tiempo



1.4.- LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA HUMANA

El poder humano fue tal vez la primera fuente de energía conocida por la humanidad. Sus primeros usos fueron en la fabricación de herramientas, arar, barcos con remos, y así sucesivamente. Usos mecanizados del poder humano se lograron en la forma de operación manual por los romanos. Sin embargo, el pedaleo que es un medio de los más simples y menos tediosos de conversión de energía humana, pero no vinieron hasta cerca del siglo XIX con la invención de la bicicleta. El poder humano se utiliza ampliamente en los países desarrollados a finales de siglo XIX y principios del siglo XX para fines tales como riego, maquinaria, y como fuente de electricidad para ver la televisión o escuchar la radio. En muchos de los países en desarrollo, el poder humano sigue siendo ampliamente utilizado en la agricultura, la industria y los servicios.

En los últimos años, la conversión de energía humana está haciendo una reaparición debido a una variedad de factores económicos, ambientales, y factores tecnológicos [2]:

- Aplicaciones en los países menos desarrollados y ubicaciones remotas de los países desarrollados (por ejemplo, camping)
- El uso en la informática portátil, donde el progreso en tecnología de la batería se queda atrás en la evolución ordenadores portátiles
- El uso en situaciones de emergencia, por ejemplo, los terremotos y huracanes.



- Ahorro de energía, por ejemplo, para reducir al mínimo la energía requerida en los dispositivos de asistencia para ancianos y discapacitados
- Avances en los actuadores, los materiales y el almacenamiento de técnicas de energía
- Los retos tecnológicos como la tracción humana y sus beneficios

El beneficio ambiental de sistemas accionados por humanos se basa en el hecho de que estos productos no consumen energía de fuentes no renovable durante su ciclo de vida. El uso de la energía humana no es contaminante. Los sistemas accionados por humanos son sinónimos de esfuerzo. Girar una manivela, tirar de una cuerda o pedalear no son los movimientos cómodos de acuerdo con la percepción de productos modernos. Estos sistemas ayudan a sus usuarios a pensar de una manera diferente: animándolos a esforzarse en 'producir' su propia energía. Al mismo tiempo también ayuda a combatir algunas enfermedades como las enfermedades del corazón, obesidad, diabetes, presión arterial alta... que pueden ocurrir debido a la falta de actividad física.

Con el uso de generadores accionados por humanos podemos transformar energía procedente de nuestro cuerpo, que tenemos almacenada y que vamos a “mal gastar” para ponernos en forma, en energía eléctrica con el mismo esfuerzo que si usamos sistemas para hacer ejercicios convencionales.

Existen diferentes aparatos que son activados por la tracción humana [3]:

- El gimnasio de tracción humana.



- La suela de zapato impulsada: Con cada paso, los elementos piezoeléctricos integrados cargan una batería recargable.
- Hula hoop inspirado en el poder eléctrico de los humanos
- Baterías recargables manualmente
- La bicicleta cargada teléfono móvil.
- Un club de baile con baldosas de captación de energía
- Un balancín típico de un patio con un disco con muelles helicoidales.

1.4.1.- GENERACIÓN DE ENERGÍA BASADA EN EL PEDALEO DE UNA BICICLETA

La energía de rotación que se genera cuando el neumático gira debido a la aplicación de la fuerza en los pedales puede ser utilizada de dos maneras, esta energía se puede utilizar en dínamo / alternador, que se convierte entonces en energía eléctrica, o la energía de rotación del neumático puede ser utilizada para bombear agua fuera del pozo, para conducir una máquina de lavado, para operar aplicaciones licuadora / amoladora etc. Estos pueden ser de gran uso en lugares no electrificados. Los refrigeradores también puede ser alimentado por de pedaleo, que se utilizan para preservar la comida durante un viaje en bicicleta. La bomba accionada a pedales puede bombear agua de



pozos y perforaciones, que son muy profundos y se puede utilizar para el riego y con fines de agua potable, así, el consumo de agua también se puede reducir.

El potencial significativo del poder humano como fuente de energía se puede realizar por el hecho de que el ser humano promedio diario el consumo calórico es de aproximadamente 2500 kcal.

$$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J} \rightarrow 2.500 \text{ kcal} = 10,5 \text{ MJ} \approx 3\text{kWhr}$$

De las discusiones hasta ahora, podemos concluir que los sistemas basados en la conversión de potencia humana desarrollados están principalmente basados en el aprovechamiento de la energía humana individual, por lo tanto, se limitan principalmente a la alimentación de dispositivos de baja potencia de electrónica, y los sistemas existentes se basan en el esfuerzo deliberado por individuos.

Los datos de la siguiente tabla son una orientación del uso de algunos aparatos.

ENERGIA APROVECHABLE AL MONTAR EN BICICLETA	
Tiempo	Utilidad de productos
30segundos	Una hora de música en un discman de música
4 minutos	Un reloj para toda la vida
12 minutos	Carga completa de un teléfono móvil
7 horas	Más de un día de una bombilla 60 W
7horas	4 horas de uso de un ordenador

Tabla 1.2: Energía generada al montar en bicicleta [3].



1.4.2.- CÓMO TRABAJAN LOS GENERADORES DE ENERGÍA

Muchas máquinas de ejercicio ya tienen un pequeño generador que alimenta la consola de supervisión y también sirven para aumentar la cantidad de resistencia que el usuario pone en el ejercicio. En lugar de perder la energía del equipo de gimnasio lo ideal sería eliminar la resistencia interna que la tiene máquina y colocarla a una carga externa, que es otro equipo para convertir la corriente continua de las máquinas a AC, conectando las máquinas a una unidad central que contiene un inversor que luego proporciona energía para el edificio.

Los equipos de reequipamiento son un método ideal para la creación de un gimnasio de generación de energía, ya que cuesta menos y convierte el equipo que ya funciona en máquinas generadoras de energía. Las nuevas máquinas pueden ser más eficiente y diseñadas específicamente para la generación de energía, pero para los gimnasios que ya cuentan con un conjunto completo de equipo, tiene más sentido en términos de conservación de los recursos para convertir el equipo y espere hasta que se averíe o ya no funciona antes de comprar un nuevo equipo de generación de energía [4].



1.4.2.1.- TIPOS DE EQUIPOS QUE PUEDEN SER CONVERTIDOS

Las máquinas de los equipos de gimnasios aeróbicos, incluyendo elípticas, steppers y bicicletas fijas se pueden convertir de manera que cuando los usuarios ejercen sobre ellos, la electricidad se genera. Algunas compañías están creando su propio equipo de gimnasio especialmente diseñado para optimizar la generación de energía, y algunas de estas máquinas se pueden conectar juntas para que la energía total este saliendo de una fuente colectiva. Un ejemplo incluye no sólo una pieza típica bicicleta estacionaria, pero también combina esto con una parte de entrenamiento del brazo para aumentar la cantidad de energía y de entrenamiento [4].



1.5.- RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIAL (RSE)

La Responsabilidad Social Empresarial también llamada Responsabilidad Social Corporativa (RSC), se define como la contribución activa y voluntaria al mejoramiento social, económico y ambiental por parte de las empresas, generalmente con el objetivo de mejorar su situación competitiva, valorativa y su valor añadido.

Ya sea para bien o para mal, las empresas influyen, y cada vez más, en la calidad de vida de la sociedad. Generan empleo y riqueza, pero también contaminación y ruido entre otras cosas.

Por esta razón la Responsabilidad Social Empresarial se convierte en una herramienta útil para contrarrestar diferentes aspectos como el desmejoramiento de la calidad de vida de la población, los cambios en el medio ambiente, la violación a los derechos humanos y los escándalos corporativos por la ausencia de la ética empresarial. Es una visión de negocios que integra armónicamente a la estrategia empresarial, el respeto por los valores éticos, las personas, la comunidad y el medio ambiente.

Para la Organización Internacional del Trabajo (OIT) "la Responsabilidad Social Empresarial es el reflejo de la manera en que las empresas toman en consideración las repercusiones que tienen sus actividades sobre la sociedad, y en la que afirman los principios y valores por los que se rigen, tanto en sus propios métodos y procesos internos como en su relación con los demás actores. Es una iniciativa de carácter voluntario y que sólo depende de la empresa, y se refiere a actividades que se considera rebasan el mero cumplimiento de la legislación."

Hasta hace relativamente poco tiempo, se asumía que la responsabilidad de las empresas



era únicamente generar utilidades. Actualmente, esta concepción no es suficiente ni aceptable.

Además de generar utilidades para sus accionistas, la empresa, en tanto integrante del tejido social, debe asumir que sus actividades afectan, positiva o negativamente, la calidad de vida de sus empleados y de las comunidades en las que realiza sus operaciones.

Aunque la Responsabilidad Social Empresarial es inherente a la empresa, recientemente se ha convertido en una nueva forma de gestión y de hacer negocios, en la cual la empresa se ocupa de que sus operaciones sean sustentables en lo económico, lo social y lo ambiental, reconociendo los intereses de los distintos grupos con los que se relaciona y buscando la preservación del medio ambiente y la sustentabilidad de las generaciones futuras. Es una visión de negocios que integra el respeto por las personas, los valores éticos, la comunidad y el medioambiente con la gestión misma de la empresa, independientemente de los productos o servicios que ésta ofrece, del sector al que pertenece, de su tamaño o nacionalidad.

Es el compromiso consciente y congruente de cumplir integralmente con la finalidad de la empresa, tanto en lo interno como en lo externo, considerando las expectativas económicas, sociales y ambientales de todos sus participantes, demostrando respeto por la gente, los valores éticos, la comunidad y el medio ambiente, contribuyendo así a la construcción del bien común. Estas prácticas permiten reforzar la imagen positiva de la empresa y lograr la fidelización de sus clientes y colaboradores, lo cual contribuye a la rentabilidad de la empresa en el mediano o largo plazo.

La RSE no sólo apunta a las multinacionales. Hoy en día son cada vez más las PyMEs que incorporan temas de RSE, logrando entrar al mercado, posicionándose como




organizaciones con buena reputación y ganando la confianza de sus clientes. El modelo empresarial que tienen las pequeñas empresas, es un escenario perfecto para adoptar prácticas de RSE que contribuyan tanto a su crecimiento económico como social ya que se pueden adaptar más rápidamente, y con mayor flexibilidad, a las demandas de la sociedad.

A pesar de los riesgos que puede enfrentar una PyME al incorporar el concepto de RSE, es importante entender que la misma no es un gasto, sino una inversión a largo plazo que permitirá escuchar, atender, comprender y satisfacer las expectativas legítimas de los diferentes actores que contribuyen a su desarrollo. Puede ser entendido también como un gasto en publicidad tendiente a fidelizar los clientes existentes y atraer nuevos.

Es un proceso en el cual una empresa adopta sus decisiones de marketing con un triple objetivo: interés empresarial, satisfacción del consumidor y el bienestar a largo plazo de éste y de la sociedad en su conjunto. Son acciones que desarrolla la empresa para lograr el compromiso de los consumidores con un determinado comportamiento de interés social y que favorece al mismo tiempo la posición o la imagen de la empresa en los mercados

Para que una empresa pueda transformar sus prácticas de RSE en una ventaja competitiva, mejorando su imagen y posicionándose como una empresa responsable en el mercado, es necesario dar a conocer a sus clientes, tanto internos como externos, dichas prácticas así como el valor de sus productos o servicios.



CAPÍTULO 2:

EL GIMNASIO



En este capítulo se enumeraran los elementos eléctricos que componen el gimnasio y se representará gráficamente para tener una visión básica de cómo está distribuido.

Posteriormente se hará un balance de las horas de sol con la que cuenta nuestro establecimiento, ya que tiene grandes ventanales, para aprovechar la luz del sol.

Por último se hará una estimación del consumo de energía diario, calculando los coeficientes de utilización y consumo con el fin de saber cuál es el valor de la factura de electricidad mensual y anual para en posteriores capítulos poder calcular el beneficio de instalar nuestros sistemas.



2.1.- ELEMENTOS ELÉCTRICOS DEL GIMNASIO

Se enumeran a continuación los aparatos eléctricos con los que cuenta nuestro establecimiento separados por zonas.

Zona 1: Sala de máquinas cardiovasculares y musculación

- 32 tubos fluorescentes
- 6 luces de emergencia
- 2 máquinas de aire acondicionado
- 1 televisor
- 1 equipo de música
- 5 cintas estáticas de correr

Zona 2: Sala de spinning

- 12 tubos fluorescentes
- 2 luces de emergencia
- 1 máquina de aire acondicionado
- 1 televisor
- 1 equipo de música



Zona 3: Oficina

- 4 tubos fluorescentes
- 1 luces de emergencia
- 1 máquina de aire acondicionado
- 1 ordenador

Zona 4: Vestuario masculino

- 6 tubos fluorescentes
- 2 luces de emergencia
- 1 máquina de aire acondicionado
- 1 secador

Zona 5: Vestuario femenino

- 7 tubos fluorescentes
- 2 luces de emergencia
- 1 máquina de aire acondicionado
- 1 secador

Zona 6: Vestuario para minusválidos

- 1 tubos fluorescentes
- 1 luces de emergencia



Zona 7: Pasillo

- 4 tubos fluorescentes
- 2 luces de emergencia

Zona 8: Recepción

- 4 tubos fluorescentes
- 1 luces de emergencia
- 1 ordenador

Zona 9: Cuarto de instalaciones eléctricas

- 2 tubos fluorescentes
- 1 luces de emergencia

Zona 10: Cuarto de instalaciones ACS

- 2 tubos fluorescentes
- 1 luces de emergencia

Zona 11: Pista de pádel

- 4 focos

Zona 12: Jardín

- 4 focos



Se representa en la siguiente figura la distribución del gimnasio y las salas con las que cuenta. En el anexo 5 se presentará de manera más detallada.

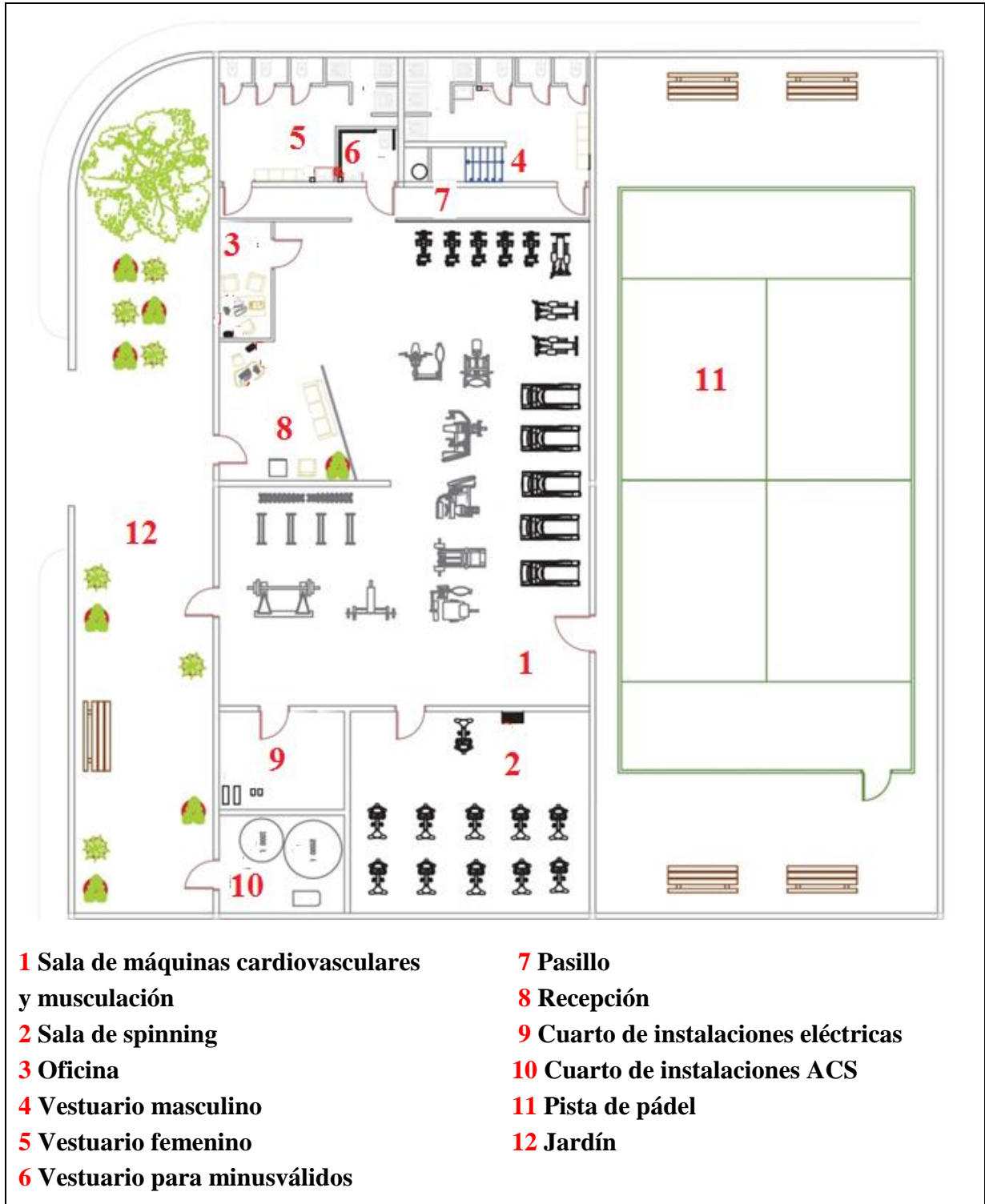


Figura 2.1: Plano descriptivo del gimnasio



2.2.- ESTIMACIÓN DE HORAS DE SOL

El gimnasio cuenta con grandes puertas y ventanas que permiten una buena iluminación durante el día sin necesidad de luz artificial. El gimnasio tiene un horario de apertura de 7:00 a 23:00 de lunes a sábado.

Para tener una idea de las horas de funcionamiento de la luz artificial, se ha consultado el calendario solar del año 2013 a fin de conocer la hora de salida y puesta de Sol para los días 21 de junio y 21 de diciembre, el día más corto y el más largo del año respectivamente.

Día	Salida del sol	Puesta del sol	Horas de día
21/12/2014	8:34	18:09	9:35
21/06/2014	7:03	21:48	14:45

Tabla 2.1: Horas de salida y puesta de sol

Durante el día el gimnasio cuenta con muy buena iluminación natural sin necesidad de recurrir a la luz artificial.



2.3.- REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS

A fin de conocer los requerimientos de energía eléctrica del gimnasio, se hizo un relevamiento de los equipos presentes por zona y la demanda de potencia (expresada en W) de cada equipo.

A continuación se incorporaron los siguientes conceptos:

- Coeficiente de potencia: es la relación entre la potencia instantánea promedio demandada por el equipo y la potencia máxima del mismo. Se incorpora para reflejar las distintas potencias que pueden requerir equipos como los ventiladores y equipos de aire acondicionado, los cuales funcionan en más de una potencia o velocidad. Para equipos como los de iluminación este coeficiente es igual a 1.

$$\text{Coeficiente de potencia} = \frac{\text{potencia instantanea promedio}}{\text{potencia máxima}}$$

- Coeficiente de utilización: es el porcentaje de horas diarias que funciona cada equipo según la zona.

$$\text{Coeficiente de utilización} = \frac{\text{Horas de utilizacion}}{\text{Horas día}} = \frac{\text{Horas de utilización}}{24 [h]}$$



- La *Potencia total [W]* se calculó en cada zona como el producto de la *Potencia [W]* de cada equipo por la *Cantidad* de equipos del mismo tipo.

$$Potencia\ total\ [W] = Potencia\ [W] \times Cantidad$$

- La *Demanda promedio [W]* se calculó como el producto de la *Potencia total [W]* multiplicada por el *Coeficiente de Potencia* y el *Coeficiente de utilización*:

$$Demanda\ promedio\ [W] = Pot.\ total\ [W] \times Coef.\ de\ Pot. \times Coef.\ de\ utilización$$

- La *Demanda diaria [kWh]* es la *Demanda promedio [W]* multiplicada por 24 [h].

$$Demanda\ diaria\ [kWh] = Demanda\ promedio\ [W] \times 24\ [hs]$$



2.4.- CONSUMOS ENERGÉTICOS DEL GIMNASIO

En las siguiente tablas se calculan los consumos eléctricos teniendo en cuenta lo requerimientos energéticos definidos en la sección anterior.

Zona 1: Sala de máquinas cardiovasculares y musculación							
Descripción	Cant.	Potencia Unitaria [W]	Potencia total [W]	Coef. de potencia	Coef. de utilización	Demanda promedio [W]	Demanda diaria [kWh]
Tubos fluorescentes	36	16	576	100%	15%	86,4	2,0736
Luces de emergencia	6	7,4	44,4	100%	100%	44,4	1,065
Aire acondicionado	2	1000	2000	100%	45%	900	21,6
Televisor	1	120	120	100%	60%	72	1,728
Equipo de música	1	100	100	100%	60%	60	1,44
Cintas de correr	5	1800	9000	100%	15%	1350	32,4
Total			11840,4			2512,8	60,3072

Tabla 2.2: Consumo de energía en la zona 1



Zona 2: Sala de spinning							
Descripción	Cant.	Potencia Unitaria [W]	Potencia total [W]	Coef. de potencia	Coef. de utilización	Demanda promedio [W]	Demanda diaria [kWh]
Tubos fluorescentes	12	16	192	100%	15%	28,8	0,6912
Luces de emergencia	2	7,4	14,8	100%	100%	14,8	0,3552
Aire acondicionado	1	1000	1000	100%	45%	450	10,8
Televisor	1	120	120	100%	60%	72	1,728
Equipo de música	1	100	100	100%	60%	60	1,44
Total			1426,8			625,6	15,014

Tabla 2.3: Consumo de energía en la zona

Zona 3: Oficina							
Descripción	Cant.	Potencia Unitaria [W]	Potencia total [W]	Coef. de potencia	Coef. de utilización	Demanda promedio [W]	Demanda diaria [kWh]
Tubos fluorescentes	4	16	64	100%	10%	6,4	0,1536
Luces de emergencia	1	7,4	7,4	100%	100%	7,4	0,1776
Aire acondicionado	1	1000	1000	100%	15%	150	3,6
Ordenador	1	300	300	100%	15%	45	1,08
Total			1371,4			208,8	5,0112

Tabla 2.4: Consumo de energía en la zona 3



Zona 4: Vestuario masculino							
Descripción	Cant.	Potencia Unitaria [W]	Potencia total [W]	Coef. de potencia	Coef. de utilización	Demanda promedio [W]	Demanda diaria [kWh]
Tubos fluorescentes	6	16	96	100%	15%	14,4	0,3456
Luces de emergencia	2	7,4	14,8	100%	100%	14,8	0,3552
Aire acondicionado	1	1000	1000	100%	45%	450	10,8
Secador de pelo	1	120	120	100%	2%	2,4	0,0576
Total			1230,8			481,6	11,558

Tabla 2.5: Consumo de energía en la zona 4

Zona 5: Vestuario femenino							
Descripción	Cant.	Potencia Unitaria [W]	Potencia total [W]	Coef. de potencia	Coef. de utilización	Demanda promedio [W]	Demanda diaria [kWh]
Tubos fluorescentes	7	16	112	100%	15%	16,8	0,4032
Luces de emergencia	2	7,4	14,8	100%	100%	14,6	0,3552
Aire acondicionado	1	1000	1000	100%	45%	450	10,800
Secador de pelo	1	120	120	100%	3%	2,4	0,0576
Total			1246,8			483,8	11,611

Tabla 2.6: Consumo de energía en la zona 5



Zona 6: Vestuario para minusválidos							
Descripción	Cant.	Potencia Unitaria [W]	Potencia total [W]	Coef. de potencia	Coef. de utilización	Demanda promedio [W]	Demanda diaria [kWh]
Tubos fluorescentes	1	16	16	100%	5%	0,8	0,0192
Luces de emergencia	1	7,4	7,4	100%	100%	7,4	0,1776
Total			23,4			6,2	0,1488

Tabla 2.7: Consumo de energía en la zona 6

Zona 7: Pasillo							
Descripción	Cant.	Potencia Unitaria [W]	Potencia total [W]	Coef. de potencia	Coef. de utilización	Demanda promedio [W]	Demanda diaria [kWh]
Tubos fluorescentes	4	16	64	100%	5%	3,2	0,0768
Luces de emergencia	2	7,4	14,8	100%	100%	14,8	0,3552
Total			78,8			18	0,432

Tabla 2.8: consumo de energía en la zona 7

Zona 8: Recepción							
Descripción	Cant.	Potencia Unitaria [W]	Potencia total [W]	Coef. de potencia	Coef. de utilización	Demanda promedio [W]	Demanda diaria [kWh]
Tubos fluorescentes	4	16	64	100%	5%	3,2	0,076
Luces de emergencia	1	7,4	7,4	100%	100%	7,4	0,1776
Ordenador	1	300	300	100%	66%	198	4,752
Total			371,4			208,6	5,006

Tabla 2.9: Consumo de energía en la zona 8



Zona 9 y 10: Cuarto de instalaciones eléctricas e instalaciones ACS							
Descripción	Cant.	Potencia Unitaria [W]	Potencia total [W]	Coef. de potencia	Coef. de utilización	Demanda promedio [W]	Demanda diaria [kWh]
Tubos fluorescentes	4	16	64	100%	3%	1,92	0,046
Luces de emergencia	2	7,4	14,8	100%	100%	14,8	0,3552
Total			78,8			16,72	0,402

Tabla 2.10: Consumo de energía en la zona 9 y 10

Zona 11: Pista de pádel							
Descripción	Cant.	Potencia Unitaria [W]	Potencia total [W]	Coef. de potencia	Coef. de utilización	Demanda promedio [W]	Demanda diaria [kWh]
Focos	4	300	1200	100%	8%	96	2,304
Total			1200			96	2,304

Tabla 2.11: Consumo de energía en la zona 11

Zona 12: Jardín							
Descripción	Cant.	Potencia Unitaria [W]	Potencia total [W]	Coef. de potencia	Coef. de utilización	Demanda promedio [W]	Demanda diaria [kWh]
Focos	4	100	400	100%	20%	80	1,92
Total			400			80	1,92

Tabla 2.12: Consumo de energía en la zona 12



Consumo total			
Descripcion	Potencia total	Demanda Promedio	Demanda Diaria [kWh]
Zona 1	11840,4	2512,8	60,30
Zona 2	1426,8	625,6	15,014
Zona 3	1371,4	208,8	5,0112
Zona 4	1230,8	481,6	11,558
Zona 5	1246,8	483,8	11,611
Zona 6	23,4	6,2	0,1488
Zona 7	78,8	18	0,432
Zona 8	371,4	208,6	5,006
Zona 9 y 10	78,8	16,72	0,402
Zona 11	120	96	2,304
Zona 12	400	80	1,92
TOTAL	18188,6	4738,12	113,714

Tabla 2.13: Consumo total de energía



2.5.- COSTE DEL CONSUMO DE ENERGÍA

Actualmente no están operativas para todas las compañías las tarifas por discriminación horaria por lo que se tomará como base el precio de la energía de una tarifa sin discriminación horaria.

Se ha evaluado el precio de la energía de las diferentes compañías que hay en España para potencia contratadas de entre 10 y 15 kW y se ha obtenido un precio medio de 0,14 €/kWh. Nuestro gimnasio cuenta con una potencia contratada de 13,8 kW monofásica.

Por otro lado sabemos que el gimnasio abre de lunes a sábado por lo que tomaremos los meses con 25 días hábiles.

Procedemos a calcular el coste de la energía:

- Coste diario [€] = $0,14\text{€/kWh} \cdot 113,714\text{ kWh} = 15,92\text{ €}$
- Coste mensual[€] = $15,92\text{€} \cdot 25\text{ días} = 398\text{ €}$
- Coste anual[€] = $398\text{€} \cdot 12\text{ meses} = 4775,99\text{ €}$

Tenemos que el coste anual de la energía en nuestro gimnasio es de 4775,99 €, con nuestras modificaciones en el gimnasio intentaremos reducir este coste el máximo posible.



CAPÍTULO 3:

SISTEMA DE

GENERACIÓN

BASADO EN

BICICLETAS DE

SPINNING



En este capítulo se comienza hablando sobre la fuerza que aplicamos sobre unos pedales y el par que somos capaces de generar sin hacer distinción entre hombres y mujeres.

A continuación se muestra un estudio realizado en el Centro de acondicionamiento Físico Bodytech, del cual podemos obtener una información importante sobre la capacidad de pedaleo de las personas y por lo tanto a las revoluciones que girará nuestro alternador para obtener la mayor eficiencia.

Se explica brevemente el funcionamiento del alternador y los criterios seguidos para su elección, así como las modificaciones que deberán sufrir las bicicletas ya existentes en el gimnasio para adaptarlas al generador.

Posteriormente se realizará un presupuesto de la inversión para 24 bicicletas que serán las que tengamos en el gimnasio pero en algunas secciones se indicará el coste para 12, 20, 24, 30, 40 y 50 bicicletas.

Por último se calculará el tiempo de retornos de la inversión de la instalación de generación de electricidad a partir de bicicletas de spinning.



3.1.- MECÁNICA DE UNA BICICLETA

El funcionamiento mecánico de la bicicleta requiere un simple impulso de un par de pedales con las piernas (parte del cuerpo humano que tiene mayor potencia muscular). Este esfuerzo puede ajustarse a partir de un sistema de fricción manual, denominado regulador de resistencia.

Poseen una rueda de inercia o volante de varios kilogramos, a fin de facilitar el pedaleo, y que para efectos del sistema a diseñarse, es la parte de contacto a partir de la cual se transmitirá la energía de la bicicleta al generador DC.

La potencia generada por una persona promedio en una bicicleta oscila entre 270 W a 400 W. La Figura 3.1 ilustra la dinámica del pedaleo de un tripulante.

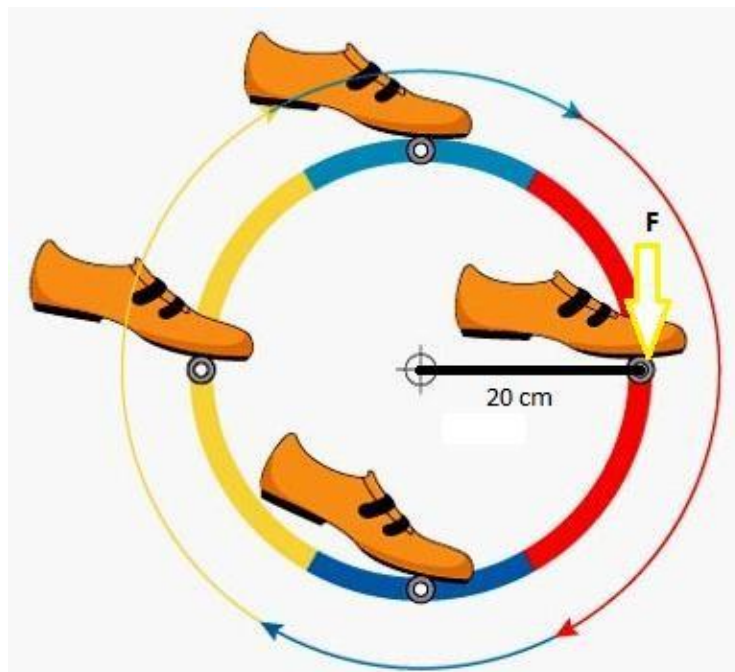


Figura 3.1. Esquema de fuerza en el pedal.



El par generado por la fuerza ejercida en el pedaleo está dado por:

$$T = F \times d$$

La fuerza máxima promedio que pueden generar los adultos pedaleando, sin distinción de sexo es de 294,3 N pero esta fuerza se podría aplicar durante algunos segundos, por ello basaremos nuestros cálculos en la fuerza media promedio que pueden generar los adultos, dicha fuerza es de 205,8 N, y sabiendo que la longitud promedio de la biela del pedal es de 20 cm tenemos:

$$T = 205,8 \cdot 0,2 = 41,16 \text{ N}\cdot\text{m}$$

El par sería de 41,16 N·m. De acuerdo con la siguiente ecuación, si se logra una velocidad angular de 60 rpm ó 6,2832 rad/seg, la potencia alcanzada sería de:

$$P_m = T \times \omega$$

$$P_m = 41,16 \cdot 6,2832 = 258,61 \text{ W}$$



3.2.- ESTUDIO DEL CENTRO BODYTECH

Una prueba realizada en el Centro de Acondicionamiento Físico Bodytech de la ciudad de Bucaramanga [5], durante una clase de Indoor Cycling², de 60 minutos. Se contó con la participación de tres personas de condiciones físicas promedio.

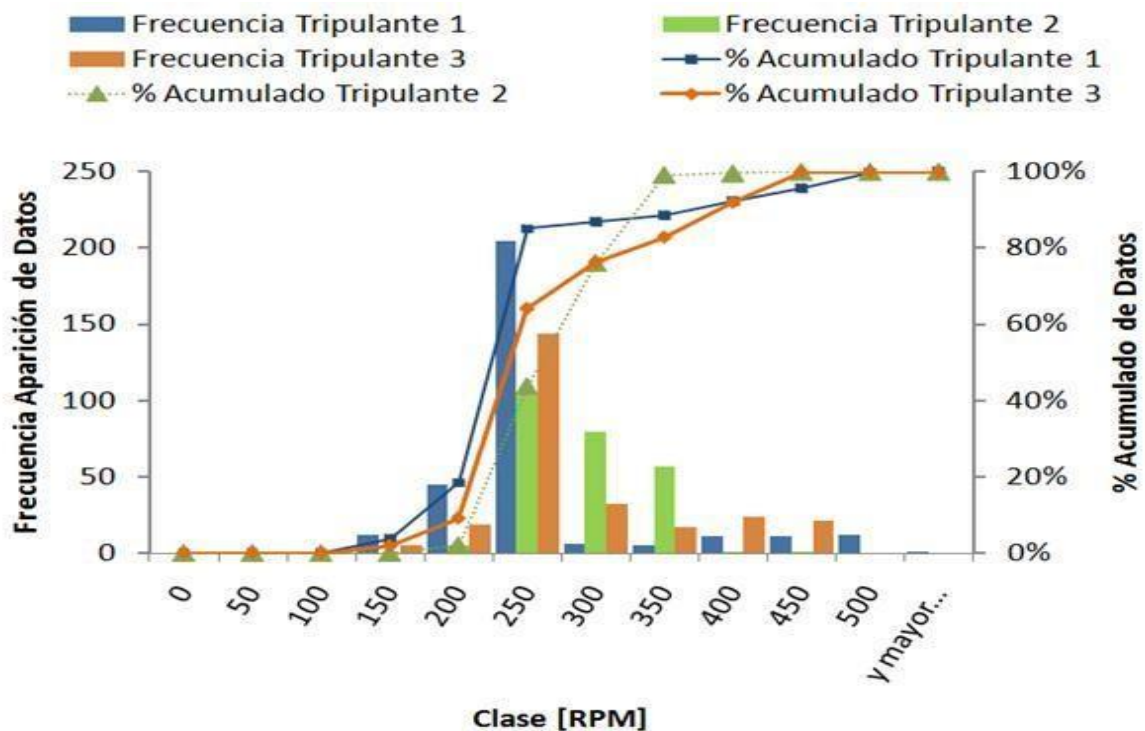


Figura 3.2. Histograma de velocidad del volante de la bicicleta durante una sesión de spinning.

Se encontró que el rango de velocidades predominantes para los tres casos es de 200 rpm a 250 rpm. Los datos estadísticos experimentales se presentan en la Tabla 3.1.



MUESTRA	DATOS	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR σ
A	246	211,1 rpm (18,2km/h)	48,7 (4,8 km/h)
B	308	262,2 rpm (22,6 km/h)	34,5 (2,9 km/h)
C	262	233,8rpm (20,15 km/h)	56 rpm (4,8 km/h)

Tabla 3.1. Datos muestrales de la prueba realizada

De esta prueba se establece que en una sesión de spinning, la velocidad promedio de un tripulante está alrededor de 242 rpm en el volante de inercia de la bicicleta; además, que la velocidad de pedaleo se encuentra por encima de 200 rpm el 80% del tiempo.

3.2.1.- CARACTERÍSTICAS DEL GRUPO ACOPLE-GENERADOR UTILIZADO EN ESTE ESTUDIO

Las velocidades del eje del generador y del volante de inercia, al igual que las velocidades del volante y de los pedales de la bicicleta están relacionadas a partir de sus diámetros de la siguiente forma:

$$D \cdot n_1 = d \cdot n_2$$



La Figura 3.3 esboza el proceso de transmisión de velocidad desde el pedal de la bicicleta hasta el eje del generador. La velocidad varía de acuerdo con los diámetros de cada uno de los componentes. Las dimensiones indicadas se basaron en la revisión de diferentes bicicletas estáticas.

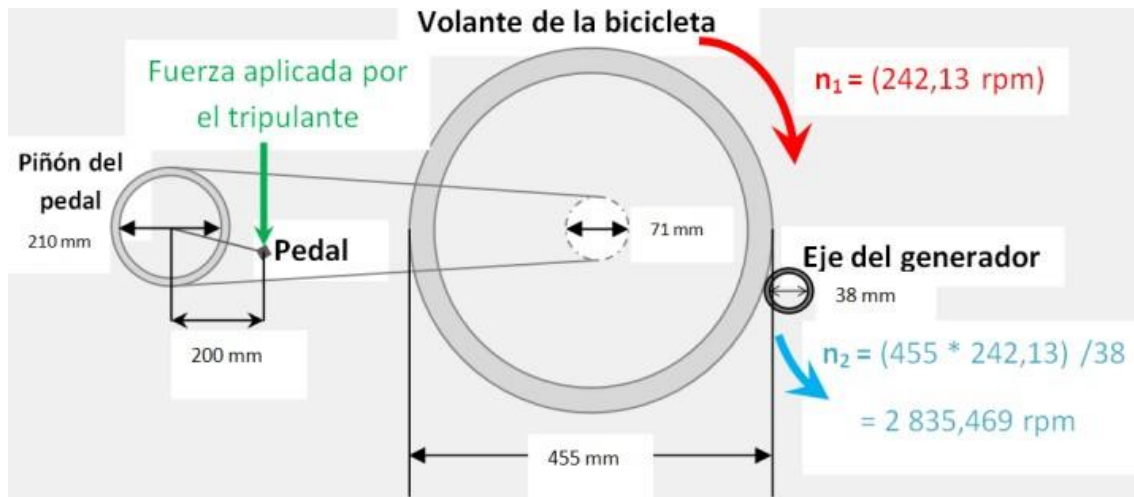


Figura 3.3: Transmisión de velocidad.

Mediante la ecuación anterior, y sabiendo la velocidad promedio a la que gira el volante de inercia podemos obtener la velocidad media a la que pedalea una persona:

$$D_{\text{pedal}} \cdot n_{\text{pedal}} = D_{\text{volante}} \cdot n_{\text{volante}}$$

$$n_{\text{pedal}} = \frac{D_{\text{volante}} \cdot n_{\text{volante}}}{D_{\text{pedal}}} = \frac{71 \cdot 242,13}{210} = 81,8 \text{ rpm} \approx 9 \text{ rad/s}$$



Una persona pedalea con una velocidad promedio de 81,8 rpm o lo que es lo mismo 9 rad/s, conocidos estos datos y sabiendo que una persona puede generar una fuerza promedio de 205,8N y que la velocidad media a la que es capaz de pedalear durante una hora son 86 rpm, tenemos que la potencia mecánica en el eje de los pedales es de 370 W.

$$P_m = T \times \omega = 41,16 \cdot 9 = 370,4 \text{ W} \approx 370 \text{ W}$$



3.3.- EQUIPOS UTILIZADOS

3.3.1.- ALTERNADOR

Vamos a utilizar un alternador de un coche debido a su amplio rango de funcionamiento y su bajo precio comprándolo con otro tipo generadores. Para determinar el comportamiento de la variable potencia eléctrica generada en función de la velocidad desarrollada por un tripulante, se deben conocer: (1) la curva de potencia - velocidad característica del generador y (2) la relación entre las velocidades del eje del generador y la velocidad del volante.

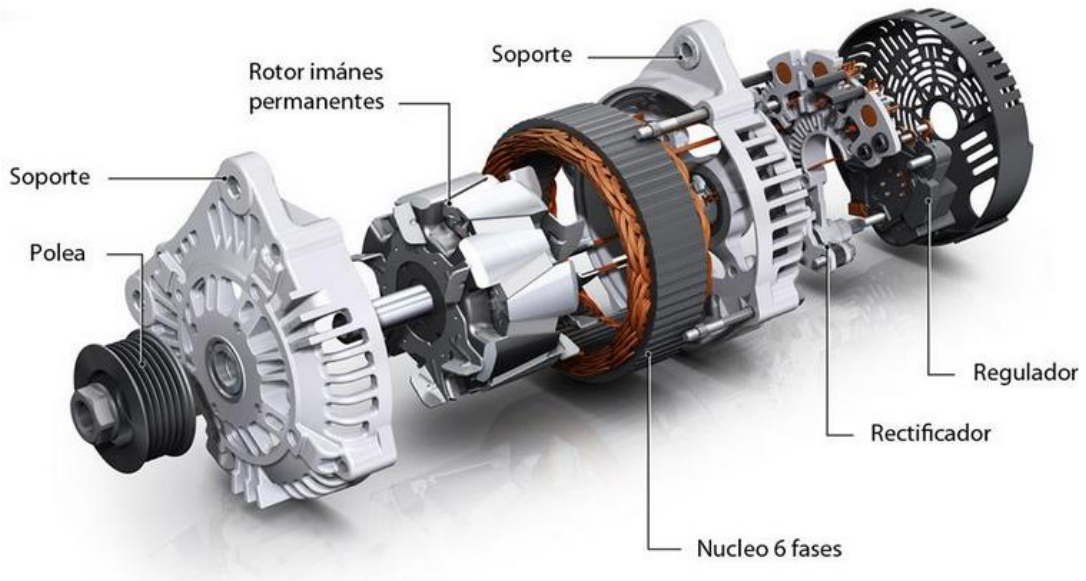


Figura 3.4: Piezas de un alternador

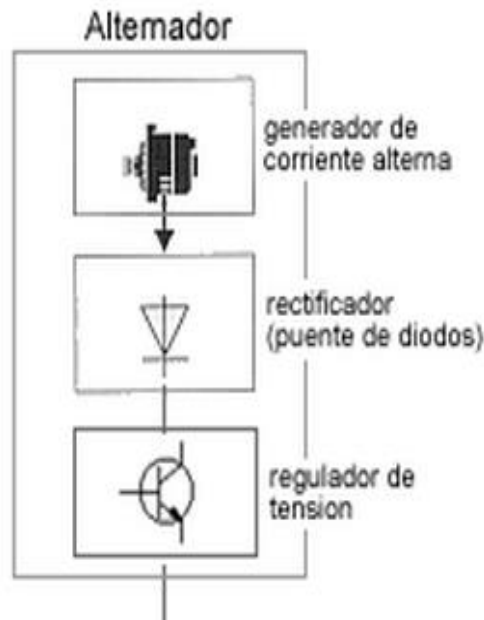


Figura3.5: Elementos principales del alternador

3.3.1.1.- PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Se explicará a continuación brevemente el principio de funcionamiento de un alternador. El principio básico de generación de corriente es la inducción electromagnética. Cuando las líneas de fuerza producidas por un campo magnético cortan un conductor en movimiento, se obtiene en los extremos de éste una diferencia de potencial o tensión inducida. Si se conectan dichos extremos a un circuito provocarán una circulación de corriente eléctrica a través del mismo. El sentido de circulación de la corriente varía de acuerdo a la dirección de desplazamiento del conductor dentro del campo magnético 3.6.

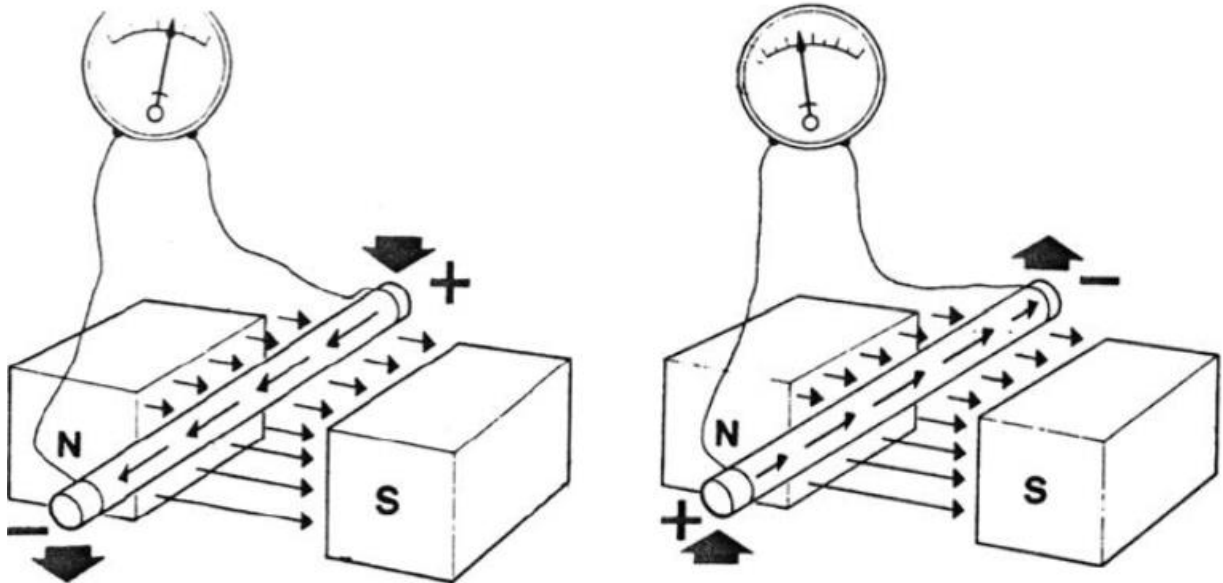


Figura 3.6: Campo magnético de un alternador

Si con este conductor formamos ahora una espira a la cual hacemos dar un giro de 360 grados (Figura 3.7), obtendremos una onda de corriente alterna (Figura 3.8)

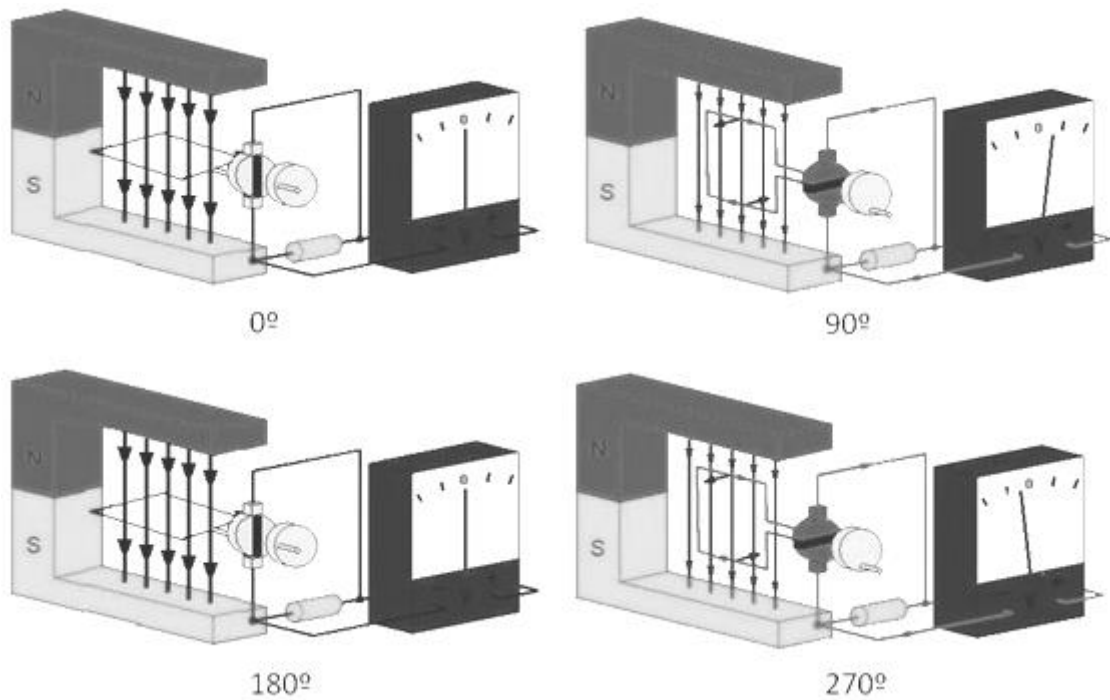


Figura 3.7: Espira de alternador girando

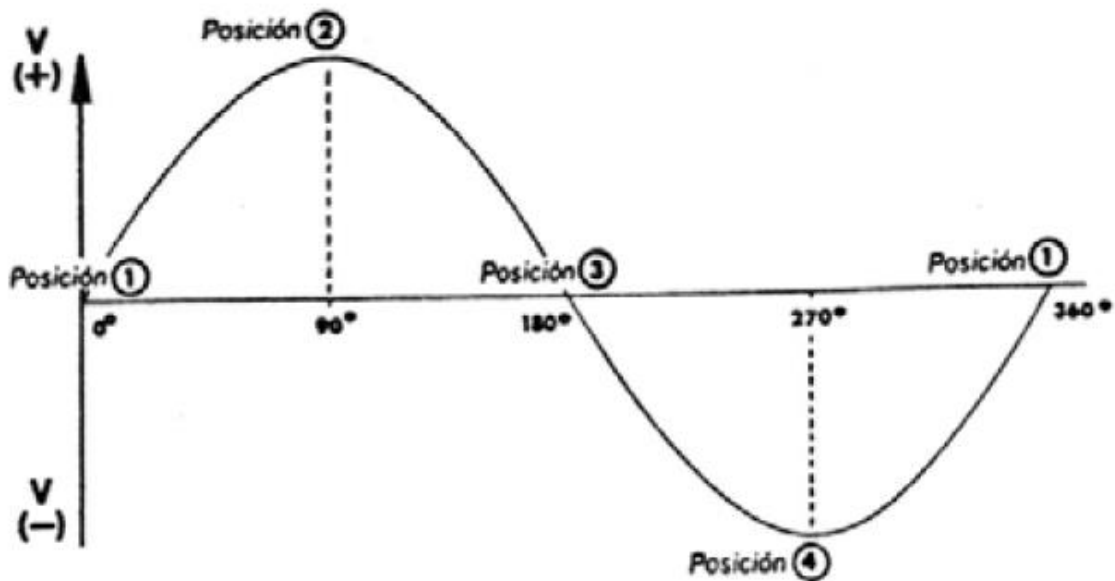


Figura 3.8: Onda de corriente alterna

En los casos representados, el campo inductor permanece fijo, pero si ahora hacemos la operación inversa, es decir, movemos el campo inductor, tendremos el mismo efecto también para un giro del mismo de 0 a 360 grados (Figura 3.9). La representación gráfica de la corriente obtenida en el giro completo será la misma que para el caso anterior, es decir, una sinusoide.

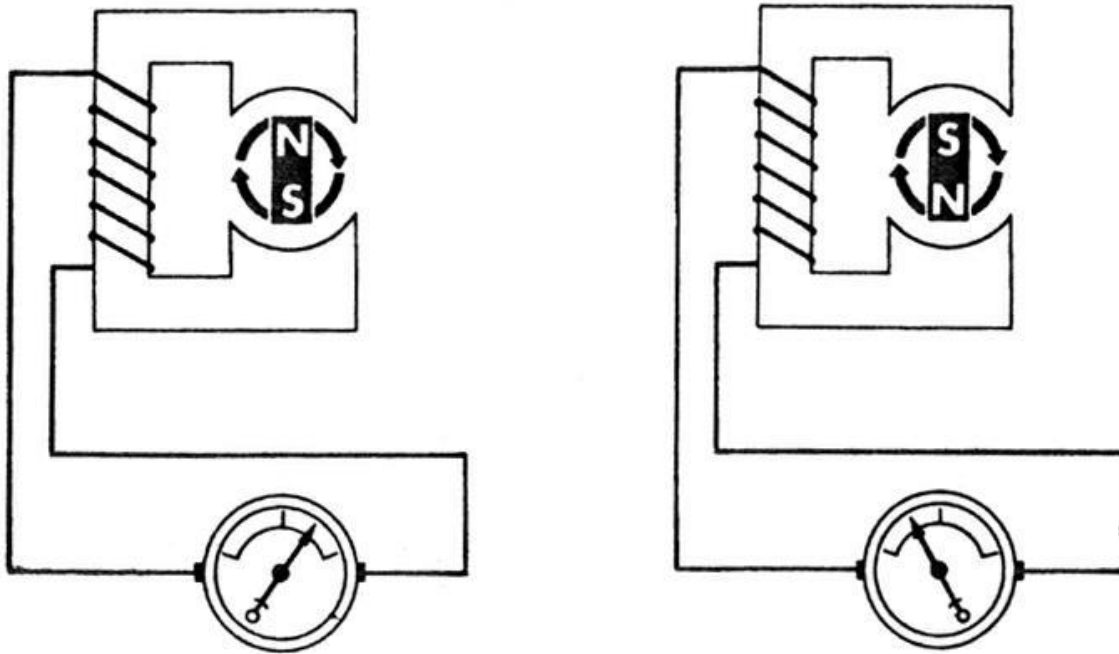


Figura 3.9: Campo magnético de un alternador moviendo el campo inductor

Si en lugar de utilizar un imán permanente como campo inductor giratorio, utilizamos un arrollamiento giratorio, por el cual hacemos circular corriente, tendremos también un campo inductor, al cual llamaremos rotor. Mientras que el arrollamiento fijo o estacionario lo denominaremos estator. Por lo tanto, en el alternador, el rotor gira en el interior de los arrollamientos del estator. Cuando el bobinado del rotor es excitado con corriente continua a través del sistema escobillas y colector y comienza a girar, induce en los arrollamientos del estator una diferencia de potencial o tensión inducida.

Para un estator de una sola espira, el procedimiento sería el que muestra la figura 3.10.

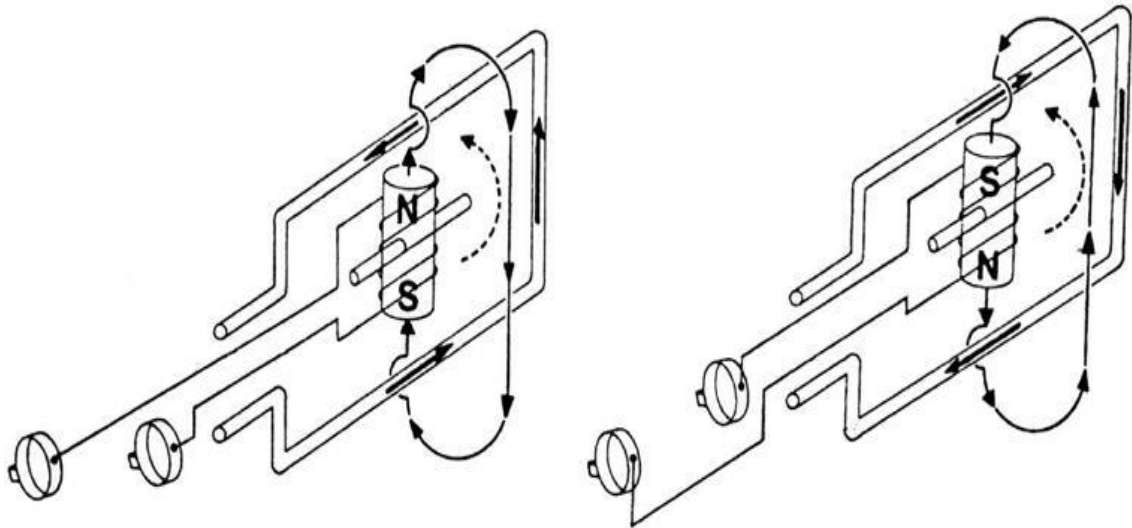


Figura 3.10: Campo inductor giratorio con una sola espira

En el alternador, el bobinado del estator está compuesto por 3 arrollamientos que se encuentran interconectados entre sí en estrella.

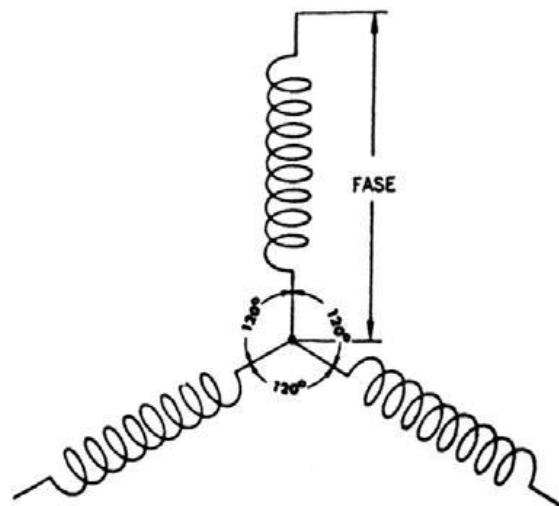


Figura 3.11: Arrollamientos del alternador conectados entre sí



Pero considerando que los requerimientos de los sistemas de carga en los vehículos son de corriente continua, es preciso rectificar dicha onda de corriente utilizando para ello los denominados diodos de silicio. En el caso del modelo AVI-128 de Indiel estos diodos son de tipo Zener de 30 Voltios. Este tipo de diodo tiene la ventaja de, ante una desconexión de batería, los pulsos del alternador están limitados a 30 Voltios, protegiendo de esta forma todos los dispositivos electrónicos que equipan hoy a los automóviles modernos.



Figura 3.12: Onda alterna rectificada

Los diodos rectificadores presentan baja resistencia en un sentido, por lo que se puede considerar a éstos como un conductor permitiendo el paso de la corriente del medio ciclo positivo (diodos positivos). Cuando la corriente es de signo contrario, la resistencia que presentan es muy elevada, pudiendo considerarse como un circuito abierto. En el caso de diodos negativos el efecto es inverso (permiten el pasaje de corriente del medio ciclo negativo). Básicamente para un estator de una sola espira el proceso de rectificación de corriente sería el que se muestra en la figura 3.13. En este caso, como se trata de un diodo positivo, el circuito entregará una corriente pulsante de media onda.

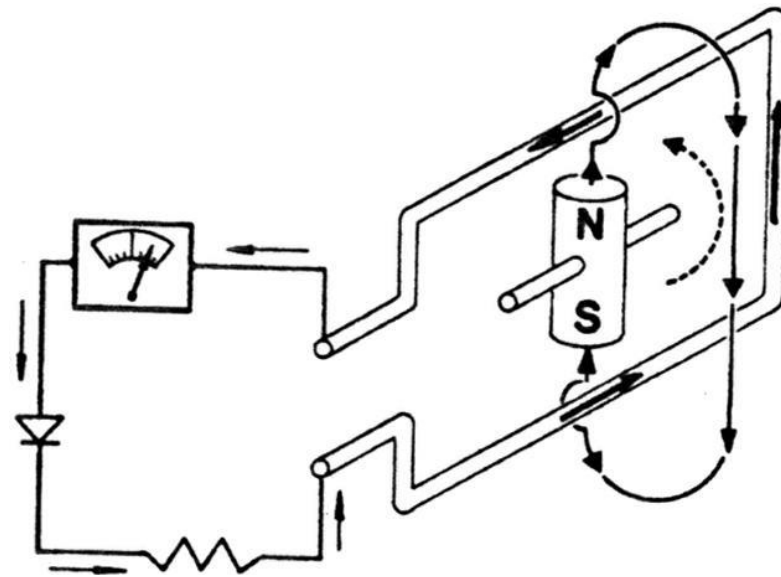


Figura 3.13: Sistema rectificador de media onda

Si se aumenta el número de diodos y se ubican como muestra la figura 3.14, se obtiene una corriente pulsante de onda completa.

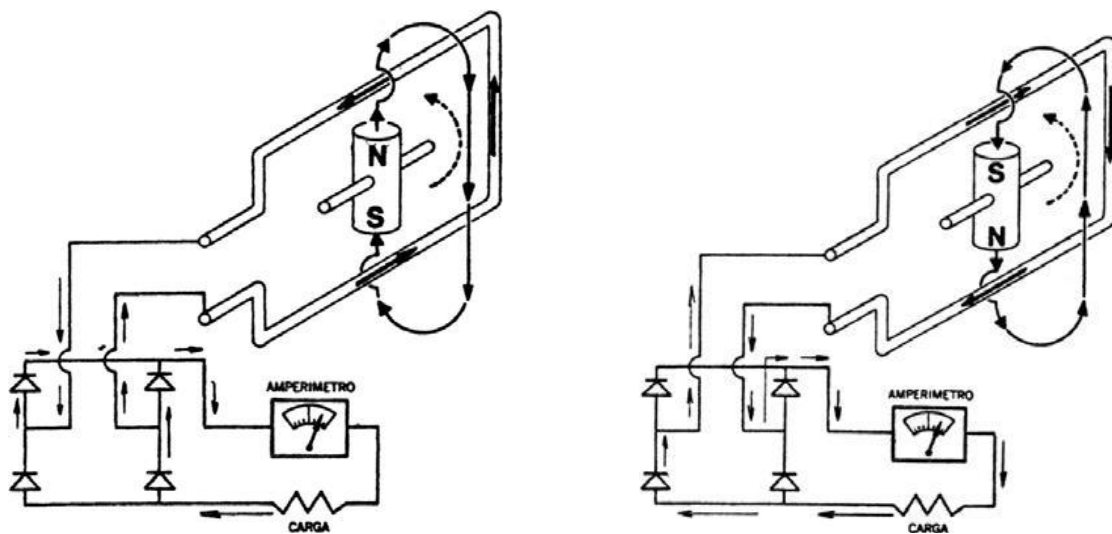


Figura 3.14: Sistema rectificador de onda completa



En los alternadores el proceso de rectificación de corriente se logra a través de los diodos de silicio conectados a las salidas del estator. La onda de corriente alterna trifásica rectificada presentará la forma representada en la figura 3.15.

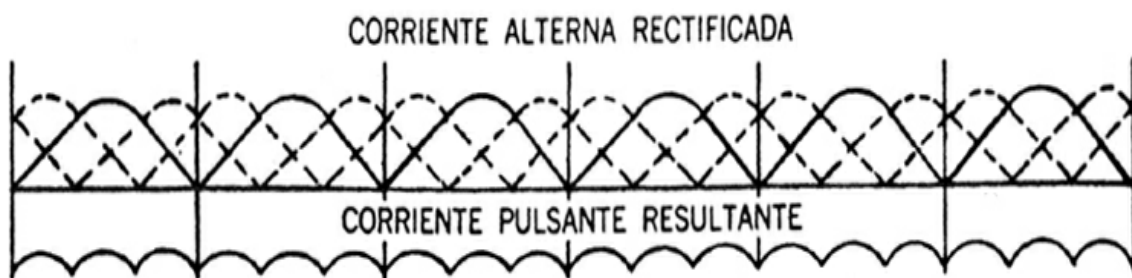


Figura 3.15: Onda trifásica completa rectificada

La tensión así rectificada llega al borne positivo del alternador, siendo su valor controlado por medio de un regulador de voltaje, que varía la intensidad de excitación que circula por el arrollamiento de campo, así, con regímenes de velocidades bajos la intensidad de excitación es muy grande para mantener el voltaje fijo, a medida que las revoluciones van aumentando la excitación va disminuyendo hasta llegar a un cierto límite en el que se desconecta por completo, esto sucede cuando el alternador llega a su nivel máximo de revoluciones. La innovación tecnológica llevó a desarrollar máquinas que puedan soportar niveles de exigencia mucho mayor y tengan además mejores prestaciones, más durabilidad y una mayor confiabilidad.



3.3.1.2.- SELECCIÓN DEL ALTERNADOR

Al momento de buscar un alternador, se consultó a vendedores mayoristas y minoristas de estas piezas, con regulador de voltaje para proteger el sistema. Se optó por los de la marca *Indiel Prestolite* por las siguientes razones:

- Su calidad
- La disponibilidad de los mismos en el mercado
- La disponibilidad de catálogos e información técnica de fácil acceso

También se consideraron los alternadores Magnetti Marelli y Bosch, pero la información técnica disponible es escasa.

Se presenta la curva típica para cada tipo de alternador Indiel en la figura 3.16.

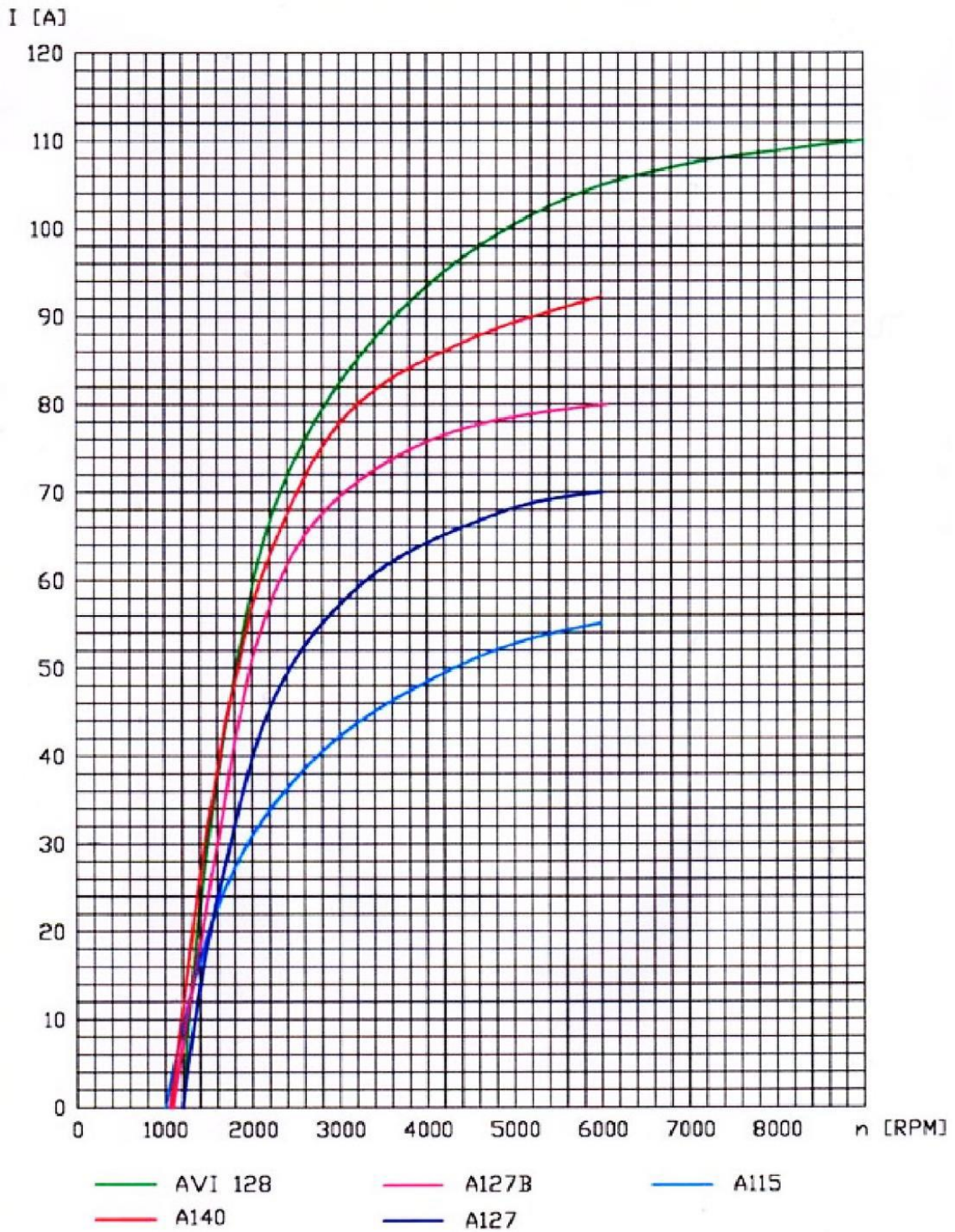


Figura 3.16. Curva típica de alternadores estabilizados Indiel



Los AVI 128 son alternadores de ventiladores internos que poseen las siguientes ventajas como piezas de automóvil frente al resto de los alternadores Indiel:

- Diodos principales tipo Zener que protegen los dispositivos electrónicos de los vehículos modernos y además tienen un mayor rango de temperatura de trabajo (hasta 205°C máx.).
- Regulador de voltaje RT-8 con tecnología de película gruesa con interconexiones en alambre de Níquel y con bloques de soldadura, con las ventajas de tener menor número de elementos soldados, poseer una estabilidad térmica mayor y además soportar a un rango de temperatura más elevado.
- Poseer 2 ventiladores internos de diseño de avanzada que ventilan en forma separada las partes electrónicas (Regulador y Conjunto rectificador) y los bobinados del rotor y estator, además tienen un nivel de ruido inferior a los alternadores de ventilado externo.
- Puede trabajar a velocidades superiores, (20.000 RPM)
- Temperatura de funcionamiento: -40 °C a +135°C.
- Corriente de salida de 80 hasta 110 Amp. según la aplicación.
- Mayor corriente de salida a bajas RPM. Entre 54 y 59 Amp. a 2.000 RPM de alternador (Ralentí del vehículo).
- Disponible con polea con embrague para aplicaciones diesel.



Se espera que una persona genere en promedio entre 270 y 400 [W] durante 60 minutos. Teniendo en cuenta la vida útil del alternador, se espera que el mismo trabaje a velocidades lo más cercanas posible a las 2.000 rpm (si es posible por encima de este régimen para una mayor eficiencia del alternador).

Si se optara por trabajar con un alternador de 24 [V], las corrientes de salida serían menores, pero tendríamos caídas de tensión menores. Sin embargo, teniendo en cuenta la potencia generada por la bici, la corriente de salida sería en promedio de entre 11 [A] y 17 [A].

$$\text{Corriente de salida promedio} = \frac{\text{Potencia promedio}}{\text{Tensión del alternador}}$$

$$\text{Corriente de salida promedio}_1 = \frac{270 [W]}{24 [V]}$$

$$\text{Corriente de salida promedio}_1 = 11,25 [A]$$

$$\text{Corriente de salida promedio}_2 = \frac{400 [W]}{24 [V]}$$

$$\text{Corriente de salida promedio}_2 = 16,6 [A]$$

Con esta corriente de salida, como se puede apreciar en la figura 3.16, la velocidad de rotación del alternador estaría entre 1200 y 1550 rpm que es una velocidad muy cercana a las 1.000 rpm, que es la velocidad mínima de funcionamiento y tendríamos una eficiencia menor. También es posible que una persona por sus características no sea



capaz de superar una velocidad del eje del alternador de 1000 rpm por lo que su esfuerzo no serviría para generar electricidad y todo su esfuerzo sería desaprovechado por el sistema.

El rango de funcionamiento de estos alternadores tal y como aparece en las siguientes tablas varía dependiendo del modelo y de su tensión de salida.

Rango de funcionamiento alternadores 12-14 [V]									
A140							80	100	
AV128							80		110
AV127BV				50			85		
A127B			45				85		
A127			45		70				
A115	25			70					

20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 A

Tabla 3.2: Rango de aplicaciones de los alternadores Indiel 12-14 V



Rango de funcionamiento alternadores 24 [V]										
A140								80	90	
A127		30	40							
A115		25	35							
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110A

Tabla3.3: Rango de aplicaciones de los alternadores Indiel 24 V.

Trabajando con un alternador de 14 [V], la corriente de salida promedio sería de entre 19 y 29 [A].

$$\text{Corriente de salida promedio} = \frac{\text{Potencia promedio}}{\text{Tensión del alternador}}$$

$$\text{Corriente de salida promedio}_1 = \frac{270 [W]}{14[V]}$$

$$\text{Corriente de salida promedio}_1 = 19,28 [A]$$



$$\text{Corriente de salida promedio}_2 = \frac{400 [W]}{14[V]}$$

$$\text{Corriente de salida promedio}_2 = 28,57[A]$$

Con esta corriente de salida, la velocidad de rotación promedio del alternador sería de entre 1.800 y 2.400 [RPM] dependiendo del tipo de alternador. Por esta razón es conveniente utilizar alternadores de 14 [V], más específicamente uno del tipo A115 ya que por tener la curva con menor pendiente tiene una velocidad mínima de funcionamiento más baja y una velocidad promedio de rotación más cercana a las 2.000 rpm (figura 3.14). En la figura 3.18 se detallan las características de este tipo de alternador.

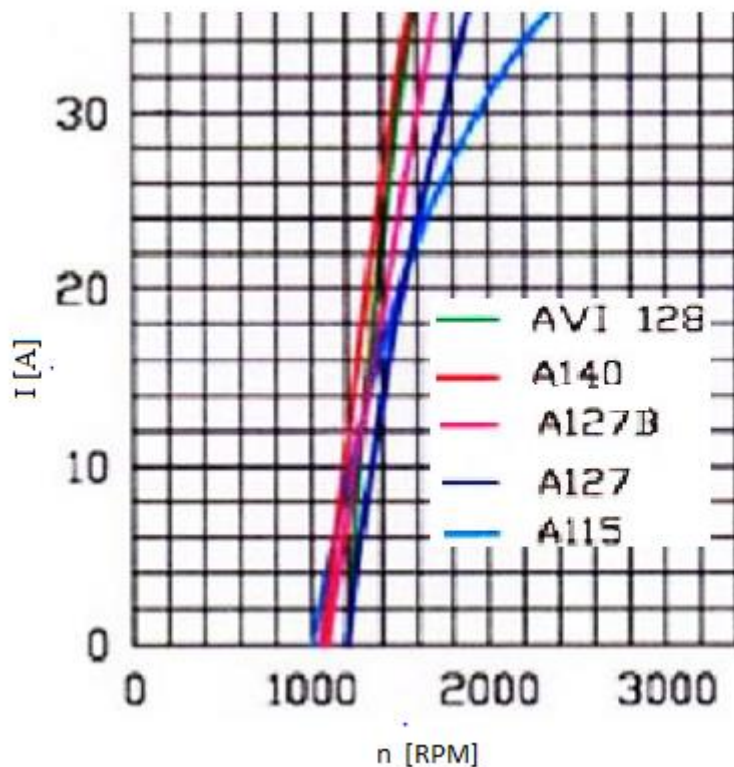


Figura 3.17. Velocidad de rotación según alternador elegido



Alternador A115

- Tensión regulada ajustada según requerimiento de la termina
- Temperatura ambiente de trabajo: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ / $100\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Velocidad máxima continua: 13000 RPM
- Velocidad máxima transitoria: 16000 RPM
- Zona de escobillas protegida ocntra la entrada de polvo
- Larga vida de escobillas y rodameintos
- Regulador con tecnología de montaje superficial
- Condensador externo supresor de ruido
- Ventiladores de giro horario y anti-horario



Figura 3.18. Características de los alternadores Indiel A115

Al consultar con los proveedores mayoristas y minoristas de alternadores, buscando un modelo de rotación considerable para asegurar su disponibilidad, y de acuerdo a sus características; se optó por el alternador A115 14V – 55 [A] (Cód. 35213745).

Este alternador corresponde a los vehículos Fiat 125 1.6, 128 1.3 y 1.5, 147 1.3, Duna 1.3 y 1.4, Fiorino 1.3 y Spazio 1.3.

En la figura 3.19 se muestra la corriente de salida en función de la velocidad de rotación para el alternador elegido.

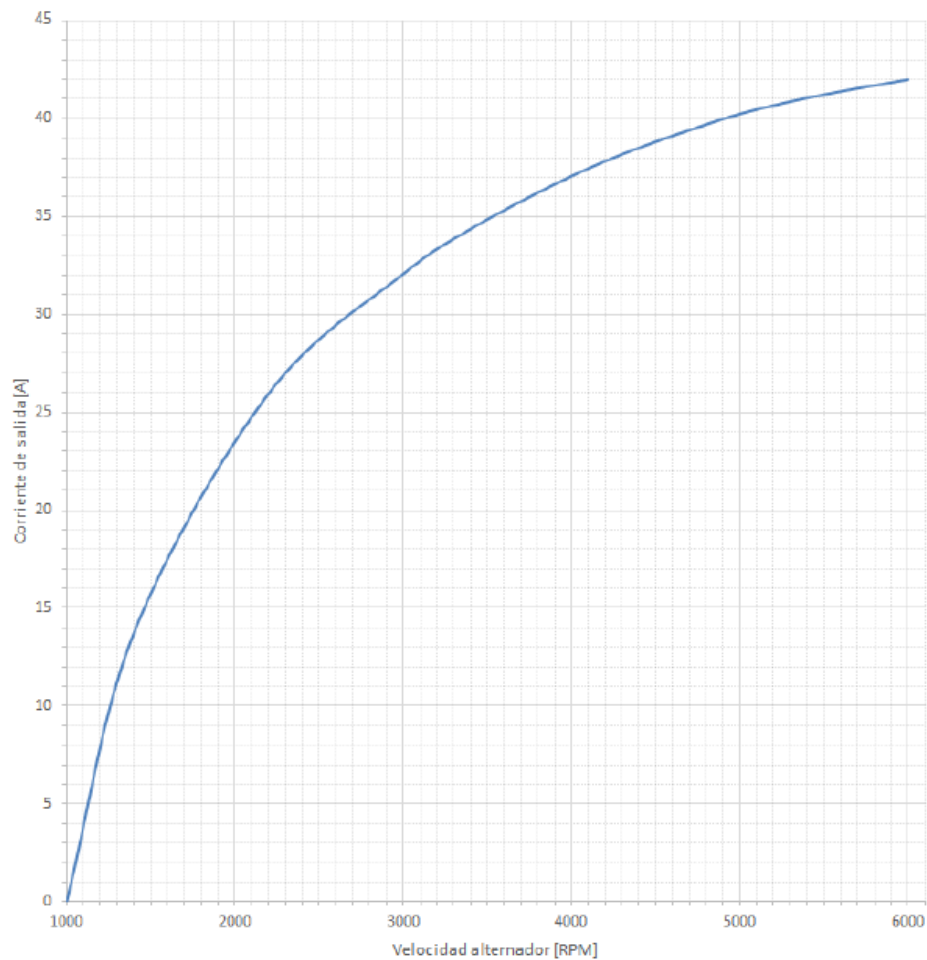


Figura 3.19. Curva típica de alternador estabilizado A115 14 [V] – 55 [A]

Según las corrientes de salida promedio calculadas anteriormente, este alternador tendrá una velocidad de rotación entre 1.700 y 2.450 rpm como se muestra en la figura 3.20.

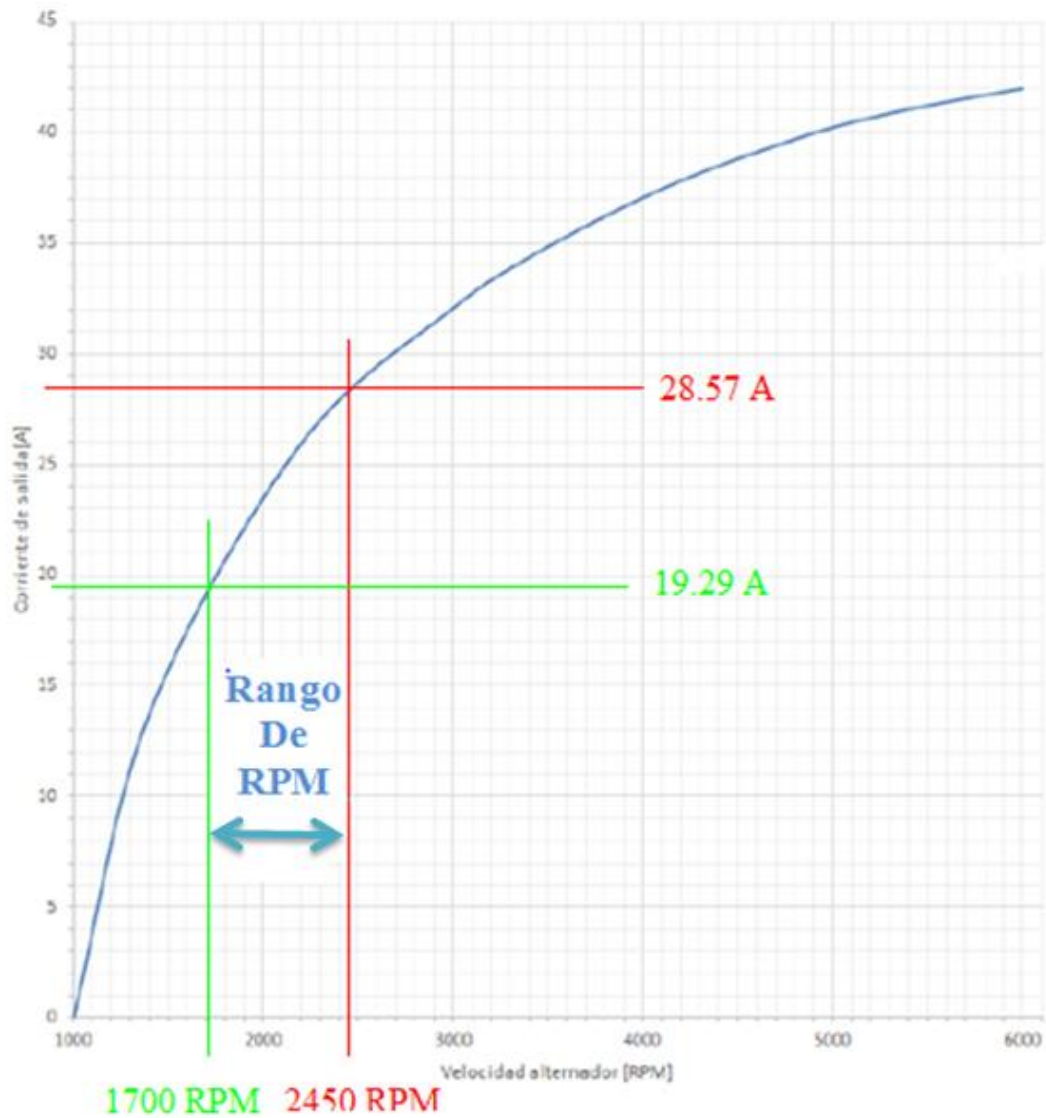


Figura 3.20: Rango de funcionamiento sobre la curva típica de alternador



3.3.1.3.- FUENTE DE TENSION REGULABLE

Se conecta a la salida del alternador y permite obtener distintos valores de tensión según la posición del selector, el cual servirá como regulador de esfuerzo para la bicicleta. A continuación se muestra el funcionamiento del LM317, un regulador de tensión ajustable de tres terminales, capaz de suministrar en condiciones normales 1.5 [A], en un rango que va desde 1,2 hasta 37 [V].

Para su utilización requiere de dos resistencias exteriores para conseguir la tensión de salida deseada.

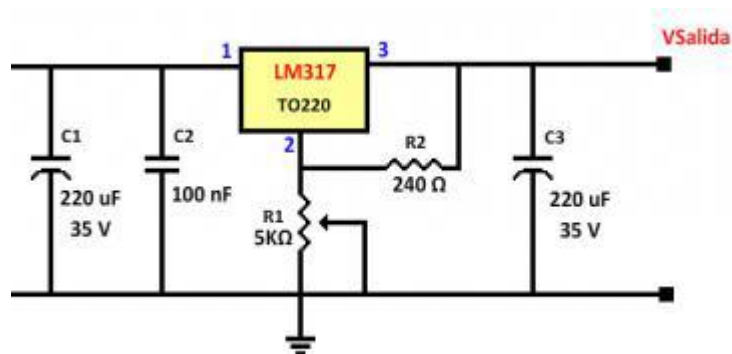


Figura 3.21: Diseño de una fuente de tensión regulable

La tensión entre la patilla de ajuste y de salida es siempre de 1,25 [V] (tensión establecida internamente por el regulador), y en consecuencia la corriente que circula por el resistor R_2 es:

$$I_{R_2} = \frac{V}{R_2} = \frac{1,25[V]}{R_2}$$



Esta misma corriente es la que circula por R_1 . Entonces la tensión en R_1 :

$$V_{R1} = I_{R2} \times R_1$$

$$V_{R1} = 1,25[V] \times \frac{R_1}{R_2}$$

$$V_{salida} = V_{R1} + V_{R2}$$

$$\Rightarrow V_{salida} = 1,25[V] \times \frac{R_1}{R_2} + 1,25[V] = 1,25[V] \times \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right)$$

A partir de esta ecuación se evidencia que modificando la resistencia R_1 es posible variar la tensión de salida. Se ha despreciado la corriente (I_{aj}) que circula entre la patilla de ajuste y la unión de R_1 y R_2 . Esta corriente se puede despreciar. Tiene un valor máximo de 100 [μ A] y permanece constante con la variación de la carga y/o de la tensión de entrada.

Con el propósito de optimizar la regulación, la resistencia R_2 se debe colocar lo más cercano posible al regulador, mientras que el terminal que se conecta a tierra de la resistencia R_1 debe estar lo más cercano posible a la conexión de tierra de la carga.

Con el propósito de optimizar el funcionamiento del regulador se pueden incorporar al diseño algunos elementos adicionales:



- Se dispone un condensador C_1 de 220 ó 4.700 [μF] en la patilla de entrada (IN) si el regulador se encuentra alejado del bloque que se encarga de la rectificación. Seguido de éste se coloca un condensador cerámico de 100 [nF] con el propósito de mejorar el rechazo del rizado.
- Se pone un condensador C_3 de 1 [μF] de tantalio ó 220 [μF] electrolítico en la patilla de salida (OUT) con el propósito de mejorar la respuesta a transitorios.
- Para tener control de la tensión que va a entregar el regulador, se pone un potenciómetro de 5 [$\text{k}\Omega$] entre masa, y la patilla de ajuste del regulador.
- Se pone un resistor de aproximadamente 240 [Ω] en paralelo entre la patilla de ajuste y salida del regulador.

Ante este tipo de regulación surgen dos problemas:

El primero es que este tipo de dispositivos manejan intensidades muy pequeñas. La mayor corriente que soporta son 3 amperios lo que queda muy lejos de las intensidades que saldrán del alternador. Existen fabricantes que realizan reguladores por encargo de hasta 10 amperios. Esto encarecería el sistema pues al ser a especiales aumentarían el precio. Pero aun así seguirían siendo pequeños y necesitaríamos mínimo dos reguladores por bicicleta.

El segundo problema y el que más afecta a la eficiencia del sistema es que un regulador de tensión funciona variando su resistencia, de manera que si queremos que variar la tensión variamos la resistencia, con esto tendríamos una disipación de calor por parte de la resistencia que no sería aprovechable.



3.3.2.- BICICLETA DE SPINNING

Una bicicleta de este tipo es similar a una bicicleta de calle con la única diferencia de que una bici de spinning no tiene ruedas, sino un volante de inercia en la parte delantera para un buen funcionamiento.



Figura 3.22. Partes de una bicicleta estática

Hemos seleccionado una bicicleta estándar similar a la que puede haber en cualquier gimnasio, se trata de la bicicleta de ciclismo indoor Diadora Racer 20 y tiene las siguientes características:



Características de la bicicleta de spinning	
Volante de inercia	20kg
Diámetro del volante	450 mm
Número de dientes del piñón del volante	14
Función de la consola	Velocidad, distancia, calorías y pulsaciones
Resistencia	Rozamiento por zapata
Frenado de emergencia	Si
Transmisión	Por cadena
Ajuste de manillar	vertical
Ajuste de sillín	Vertical y horizontal
Eje del pedalier	Rodamientos
Bielas	Independientes del eje del pedalier
Pedales	Plataforma
Estructura	Cuadro de acero
Peso máximo del usuario	120 Kg
Peso de la bicicleta	41 Kg
dimensiones	121x50x115 cm

Tabla 3.4: Características de la bicicleta de spinning



Figura 3.23: Bicicleta de spinning Diadora racer 20

3.3.2.1.- MODIFICACIONES DE LA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

Se sabe que no todas las personas tienen la misma fisionomía y por lo tanto no generan la misma potencia. Por esto vamos a incluir unos piñones en el eje del pedal de la bicicleta para poder cambiar la relación de transmisión y así facilitar el ejercicio a personas con menos fuerza, y endurecerlo a persona que sean capaces de generar una potencia mayor.

Sabemos que la potencia mecánica se define como: $P_m = T \times \omega$, por lo tanto si el par lo mantenemos constante, al tener mayor velocidad angular tendremos mayor potencia. Para tener un mayor rango de relaciones de transmisión colocaremos 4 coronas de piñones con distinto número de dientes en lugar de 3.



Cuando estemos realizando un ejercicio y notemos que no somos capaces de pedalear bajaremos un piñón para reducir la relación de transmisión y pedalear más fácilmente, lo que generara una potencia menor. Lo mismo ocurre si notamos que tenemos poca resistencia al pedalear y nos cuesta poco esfuerzo, subiremos un piñón para aumentar la relación de transmisión y con ésto, una potencia mayor.

Como se mencionó anteriormente, cada persona pedalea a un promedio de 86 rpm y entrega una potencia mecánica promedio entre 270y 400 W. Con estos datos tenemos de la sección 3.3.1.2 que, el rango velocidad del alternador oscila entre 1700 y 2450 rpm por lo tanto tenemos:

- Para 1700 RPM

$$rt1 = \frac{1700 [RPM]}{86 [RPM]}$$

$$rt1 = 19,7674$$

- Para 2450 [RPM]

$$rt4 = \frac{2400 [RPM]}{86 [RPM]} = 28,489$$

$$rt4 = 28,489$$



Conocidos estos datos, los de la bicicleta y sabiendo que el eje del alternador tiene un diámetro de 60mm, debemos elegir los piñones para ajustarnos a la relación de transmisión.

$$rt\ 1 = \frac{d1}{d2} \times \frac{Z4}{Z1}$$

$$rt\ 1 = \frac{450}{60} \times \frac{36}{14}$$

- $rt1 = 19,2857$

$$rt\ 4 = \frac{d1}{d2} \times \frac{Z4}{Z1}$$

$$rt\ 4 = \frac{450}{60} \times \frac{54}{14}$$

- $rt4 = 28,9285$

Obtenemos que el número de dientes del piñón mayor es de 54 y del piñón menor es de 36, por lo tanto el número de dientes de los dos piñones restantes estará entre 36 y 54 dientes.



$$rt\ 2 = \frac{d1}{d2} \times \frac{Z4}{Z1}$$

$$rt\ 2 = \frac{450}{60} \times \frac{42}{14}$$

- $rt2 = 22,5$

$$rt\ 3 = \frac{d1}{d2} \times \frac{Z4}{Z1}$$

$$rt\ 3 = \frac{450}{60} \times \frac{48}{14}$$

- $rt3 = 25,7142$

Haremos un resumen de la relación de transmisión, número de dientes y velocidades del volante de inercia y del alternador.

	<i>rt</i>	<i>Z</i>	RPM volante	RPM alternador
Corona 1	$rt1=19,2857$	36	221,14	1658,57
Corona 2	$rt2=22,5$	42	258	1935
Corona 3	$rt3=25,7142$	48	294,85	2211,42
Corona 4	$rt4=28,9285$	54	331,714	2487,85

Tabla 3.5: Resumen características de los piñones



Las revoluciones que aparecen en la tabla anterior serían las producidas por una persona que pedalea con una velocidad de 9 rad/s o lo que es lo mismo 86 RPM.

Para realizar el cambio de un piñón a otro lo haremos igual que lo hacen las bicicletas de calle, pero en este caso en lugar de 6 o 7 piñones sólo tendremos 4. En el manillar colocaremos la parte del sistema que nos permite cambiar la relación de transmisión y seleccionar la adecuada a nuestras características.



Figura 3.24: Cambio de la bicicleta colocado en el piñón



Figura 3.25: Cambio manual colocado en el manillar

3.3.2.2.- MODIFICACIONES DEL VOLANTE DE INERCIA

La superficie exterior del volante de inercia, donde se coloca la correa, es completamente lisa, lo que hace que la correa pueda deslizar y perder gran parte de la potencia por rozamiento. Para ello se le harán una serie de ranuras o estrías en dicha superficie para que el acoplamiento de la correa sea perfecto.



Figura 3.26: Volante de inercia modificado solo con ranuras

También se colocara en ambos extremos del volante de inercia una pletina para evitar que la correa pueda salirse y provocar algún daño en el sistema.

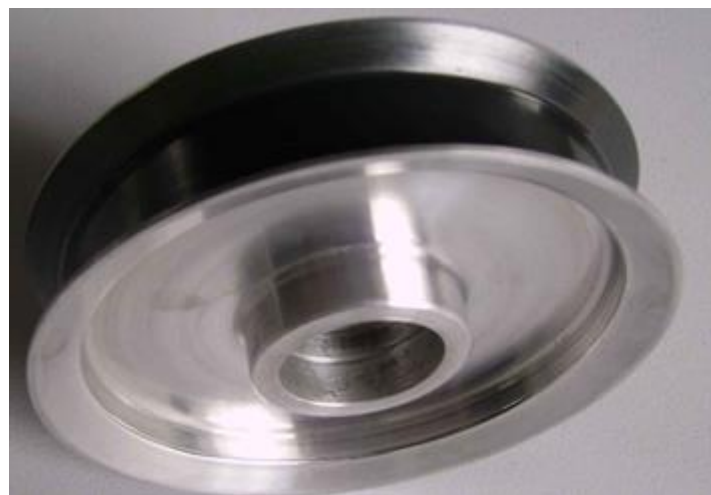


Figura 3.27: Volante de inercia modificado solo con pletinas



3.3.2.3.- CÁLCULO DE LA CORREA

Según el manual de correas, la longitud primitiva de la correa se calcula de la siguiente manera:

$$L [\text{mm}] = 2 \cdot I + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4I}$$

Donde

L: longitud primitiva de la correa

I: distancia entre centros

D: diámetro de la polea mayor

d: diámetro de la polea menor

$$I = \sqrt{297,42^2 + 118,09^2} [\text{mm}]$$

$$I = 320,01 [\text{mm}]$$

$$D = 450 [\text{mm}]$$

$$d = 60 [\text{mm}]$$

$$L = 2 \cdot 320,01 [\text{mm}] + \frac{\pi}{2}(450 + 60) + \frac{(450 - 60)^2}{4 \cdot 650}$$

$$L = 640,02 [\text{mm}] + \pi \cdot 255 [\text{mm}] + 58,5$$

$$L = 1499,926 [\text{mm}] = 1,499 [\text{m}] = 59,04 \text{ pulgadas}$$



Para la selección de las correas, se consultó a una la empresa de correas, quien recomendó el uso de correas dentadas del fabricante *Gates*. La longitud primitiva es de 59 pulgadas y correspondería el modelo BX56 pero resulta más eficiente el modelo BX55 cuya longitud primitiva es de 58 pulgadas (1346,2 mm) ya que las correas tienden a estirarse con el paso de los años.



Figura 3.28: Correa del fabricante Gates

3.3.2.4.- CADENA

La cadena que vamos a usar es una cadena como la que usa una bicicleta normal de calle, puesto que vamos a usar piezas como son los piñones que se adaptan perfectamente a la cadena.

Las bicicletas de spinning suelen tener transmisión por cadena por lo que en el volante de inercia no tendremos que hacer ninguna modificación al menos en la zona de la cadena.



El único cambio que debemos realizar en la cadena es su tamaño, al ponerle coronas de diferentes diámetros necesitaremos una cadena de mayor longitud. Con estas consideraciones sabemos que una cadena modificada tiene aproximadamente 1,5 veces la longitud de una cadena sin modificaciones por lo tanto necesitaremos media cadena además de la que teníamos, es decir, que con una cadena ajustaremos la longitud necesaria de dos bicicletas.

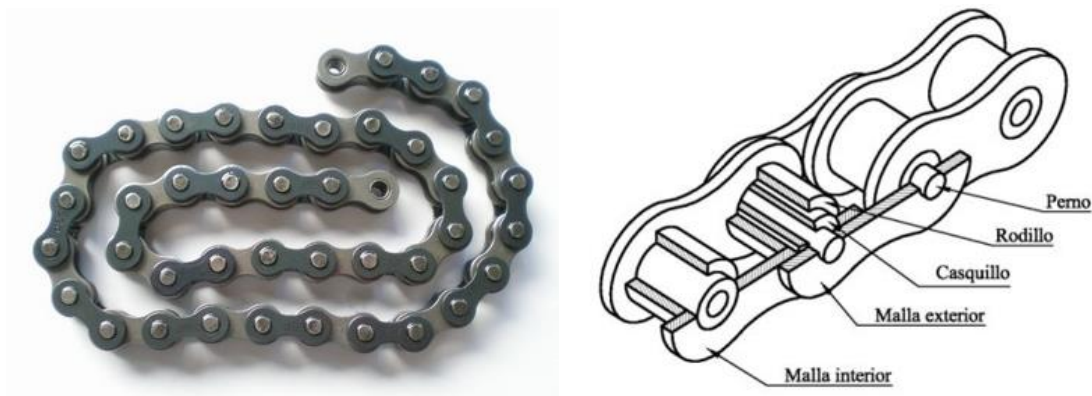


Figura 3.29: Cadena de bicicleta

A continuación se representa como quedaría el conjunto bicicleta, alternador y correa. Para mayor simplicidad se representa sin el cambio de piñones y solo con la corona grande que sería la que iría en la parte más exterior del eje.

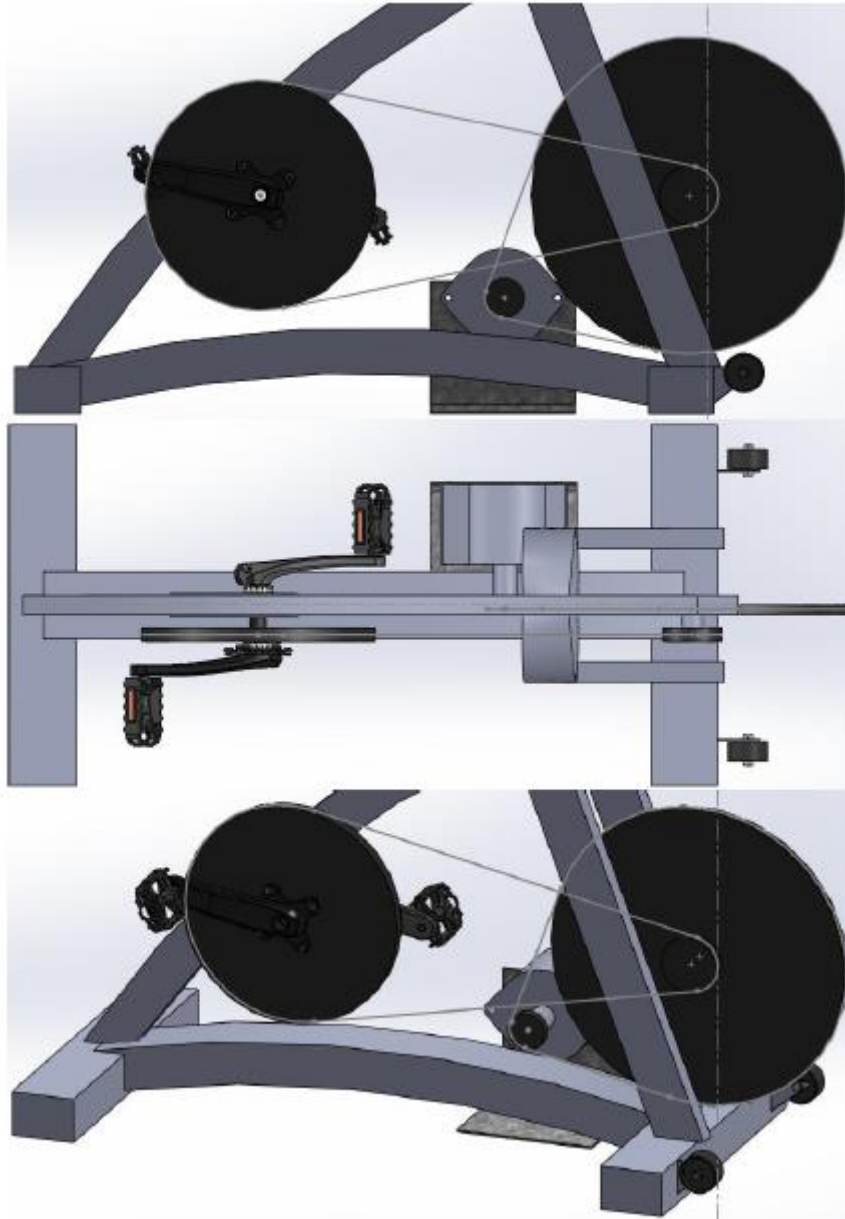


Figura 3.30: Conjunto bicicleta, alternador, correa.

En un primer diseño se pensó en colocar el alternador delante de la bicicleta ya que es más fácil de instalar, pero se replanteó la idea ya que ocupaba más espacio y podía provocar choque de los clientes y caídas, incluso si el choque es fuerte se puede sacar la correa de las poleas quedando el alternador fuera de servicio.



3.3.3.- INVERSOR DE CORRIENTE

La función del inversor de corriente es la de convertir la corriente continua, en este caso de 14 V proveniente de los alternadores, en corriente alterna con una tensión de 220 V en caso monofásico.

En cuanto a los inversores trifásicos, es decir de 12 [V] a 380 [V], se consultó pero solo se fabrican para potencias muy elevadas, normalmente a partir de 40 [kVA]. Por ello, se ha decidido excluir los equipos trifásicos del análisis. En este caso, en nuestra instalación no contamos con aparatos trifásicos.

Para el sistema de bicicletas usaremos dos inversores de la marca *Brand new* de 5000w cada uno ya que con uno solo no cubriríamos la potencia generada por los alternadores.

A continuación se detallan algunos datos de interés.

inversor	
Rango de voltaje DC	11-15 V
Eficiencia	Mayor de 92%
Voltaje AC	220/230/240 V
Potencia continua	5000W
Potencia pico	10000W
Frecuencia	50 ó 60 Hz

Tabla 3.6: Datos del inversor



Figura 3.31: Inversor para alternadores

A continuación se presenta un ejemplo de la disposición teórica de los elementos desarrollados en el presente capítulo. En verde se encuentran representados los conductores eléctricos que interconectan los componentes del sistema y en amarillo los inversores de corriente.

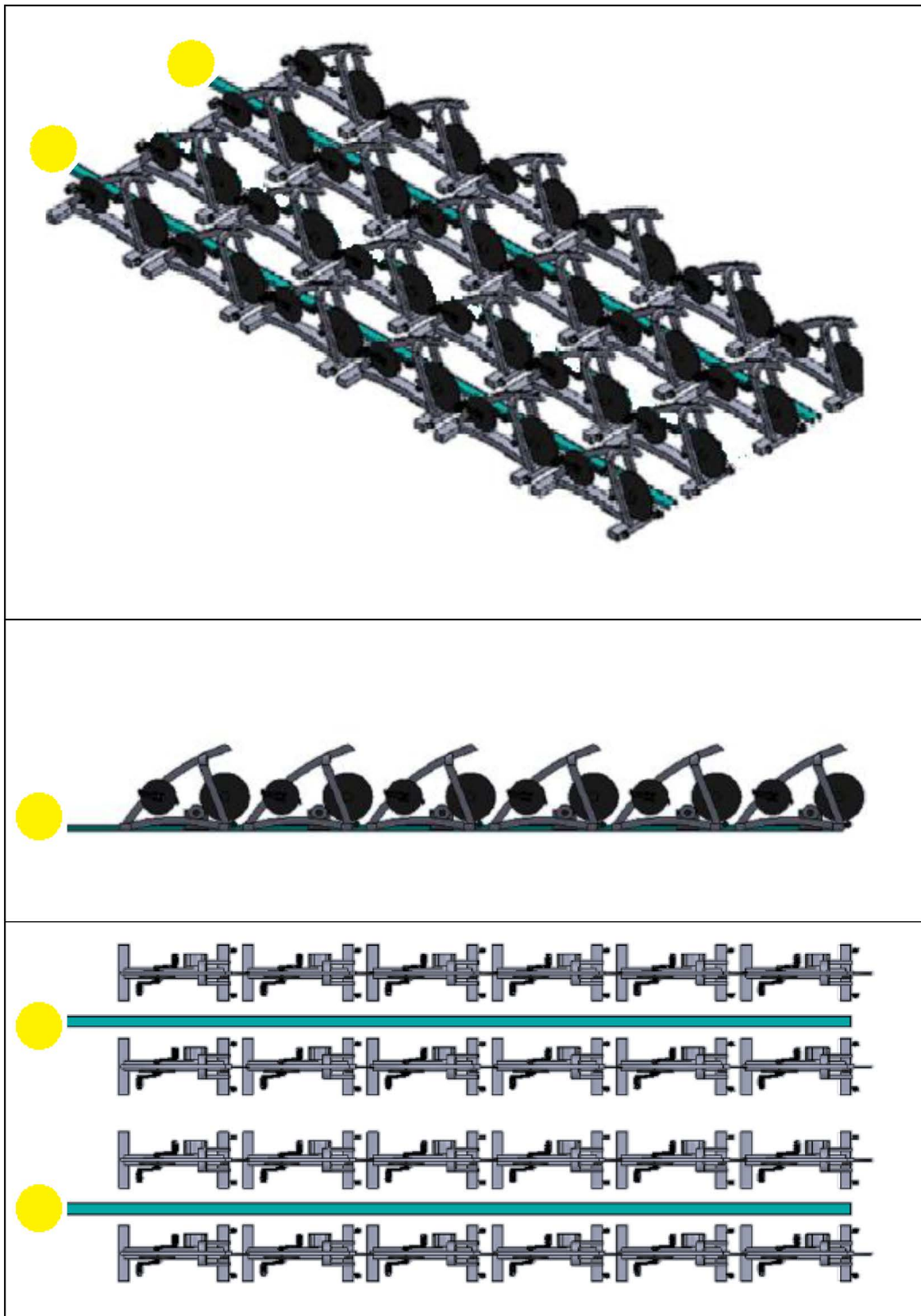


Figura 3.32: Disposición teórica de los elementos



3.4.- ENERGÍA GENERADA POR LAS BICICLETAS

Como se mencionó en la sección 3.2.1, cada persona generará en promedio 370 [W]. Considerando un rendimiento global del sistema del 85%, se tomará para este análisis una potencia generada promedio por bici de 315 [W].

Cada persona generará entonces, en promedio, 315 [W] durante 60 minutos, tiempo que dura una clase de spinning. La máxima energía que es posible generar vendrá dada entonces por la cantidad de bicis disponibles y la cantidad de clases que se dicten por día.

En el anexo 1 se muestra en tablas la potencia y la energía que es posible generar en función de la cantidad de bicis y la cantidad de clases que se dicten diariamente. Se plantean los casos de tener 12, 20, 24, 30, 40 ó 50 bicis, y de dictar desde 2 hasta 10 clases de spinning diarias para cada caso.

Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente figura. Para el cálculo de la energía generada por mes, se tuvieron en cuenta 25 días hábiles al mes, ya que los sábados también se abre el gimnasio, es decir que se multiplica la energía generada por día por 25 días.

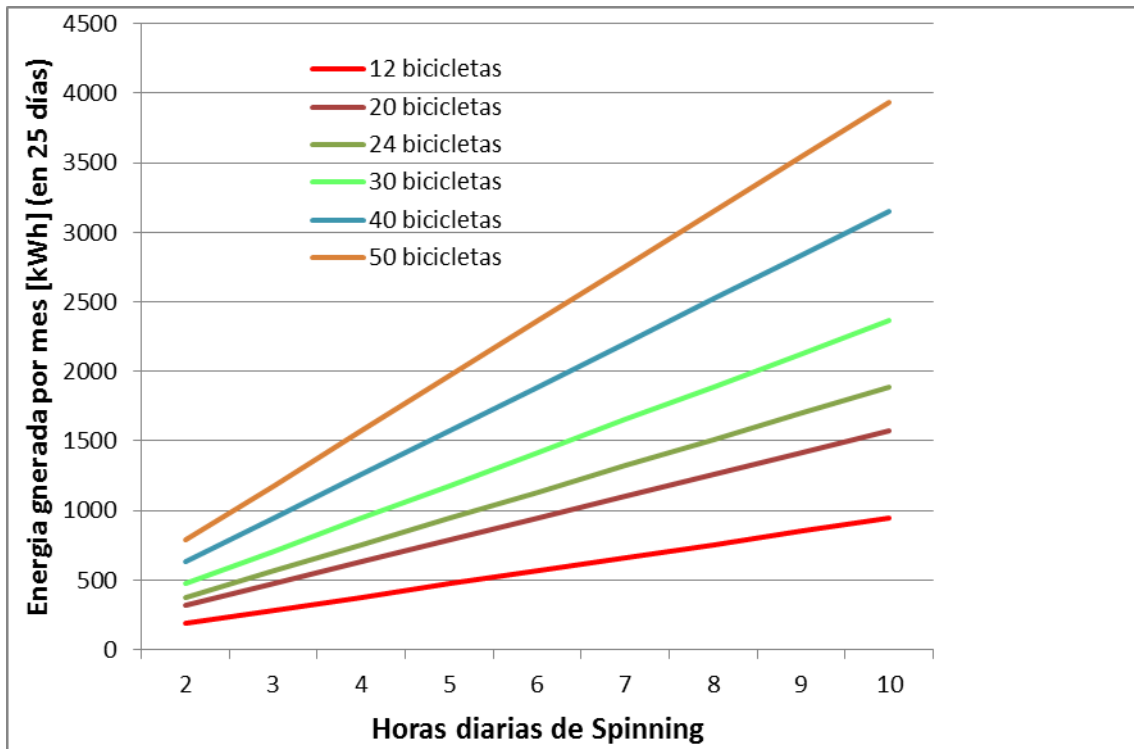


Figura 3.33: Energía generada por mes en función de la cantidad de bicis y horas diarias de spinning

Se tomará para el presente trabajo la opción de trabajar con 24 bicicletas y 3 clases diarias, ya que sería complicado contar un número tan elevado de usuarios para poder impartir más clases. Con esta elección y sabiendo que una bicicleta genera 315 W, tendremos una potencia de 7560 W, lo que supondría 22,68 kWh al día y lograremos 567 kWh por mes aproximadamente como aparece en el anexo 1.



3.5.- ANÁLISIS ECONÓMICO-FINACIERO

3.5.1.- COMPONENTES UTILIZADOS

❖ Componentes por cada bicicleta

- Cadena
- Correa
- Piñones
- Alternador
- Anclaje para el alternador
- Kit de cambio de piñon

❖ Inversores decorriente

Según lo calculado en la sección 3.4, la producción de potencia con 24 bicicletas y 3 horas de clases diarias sería de 7560 W. Sabemos que el inversor que hemos elegido tiene una potencia nominal de 5000 W soportando picos de 10000W. Por ello se colocaran 2 inversores en paralelo y tendrán capacidad suficiente para la potencia generada.



Esta elección también ha sido tomada desde el punto de vista de la avería del inversor, si contáramos con uno de 10 kW y se averiase no podríamos producir nada de energía, pero en el caso de contar con dos inversores, al menos uno de ellos sí que estaría en funcionamiento perdiendo solo la mitad de la producción y no toda.

3.5.2.- INVERSIÓN INICIAL

El monto de la inversión inicial dependerá de la cantidad de bicicletas que se desee utilizar para generar energía. Cabe destacar que el costo de adquisición de las bicicletas no se incluye en este análisis puesto que ya existirían en el gimnasio y solo sería necesario aplicarle algunas modificaciones.

Se presenta a continuación el cálculo para 24 bicicletas, cantidad que hemos elegido que puede ser más coherente.



Cantidad de bicicletas:24			
Descripción	Precio unitario	cantidad	Precio total
Cadena	6,50 €	12	78 €
Correa	19,53 €	24	468,72 €
Piñones cuádruples Btt acero dentado 54/48/42/36	19,95 €	24	478,8 €
Alternador Indiel A115 14V – 55 [A]	45,45 €	24	1090,8 €
Anclaje alternador	7,20 €	24	172,8 €
Maneta Shimano Altus MI 310 + cambio trasero Shimano TX35 TORNEO 7.6)	6,90€+9,99 €	24	405,36 €
Inversor	444,5 €	2	889 €
Conductor unipolar 16mm ²	1,60 €/m	60 m	96 €
Caja de protección	145,95 €	1	145,95 €
Canalización de cableado	3.25 €/m	20 m	65 €
Mano de obra e instalación	25 €	24 h	600 €
TOTAL			4490,43 €

Tabla 3.7: Inversión para 24bicicletas

Con el objetivo de presentar al inversor las distintas posibilidades, se realiza el cálculo de dicho monto para diferentes cantidades de bicis (12, 20, 24, 30, 40 y 50). Dichos cálculos se encuentran detallados en el anexo 2.

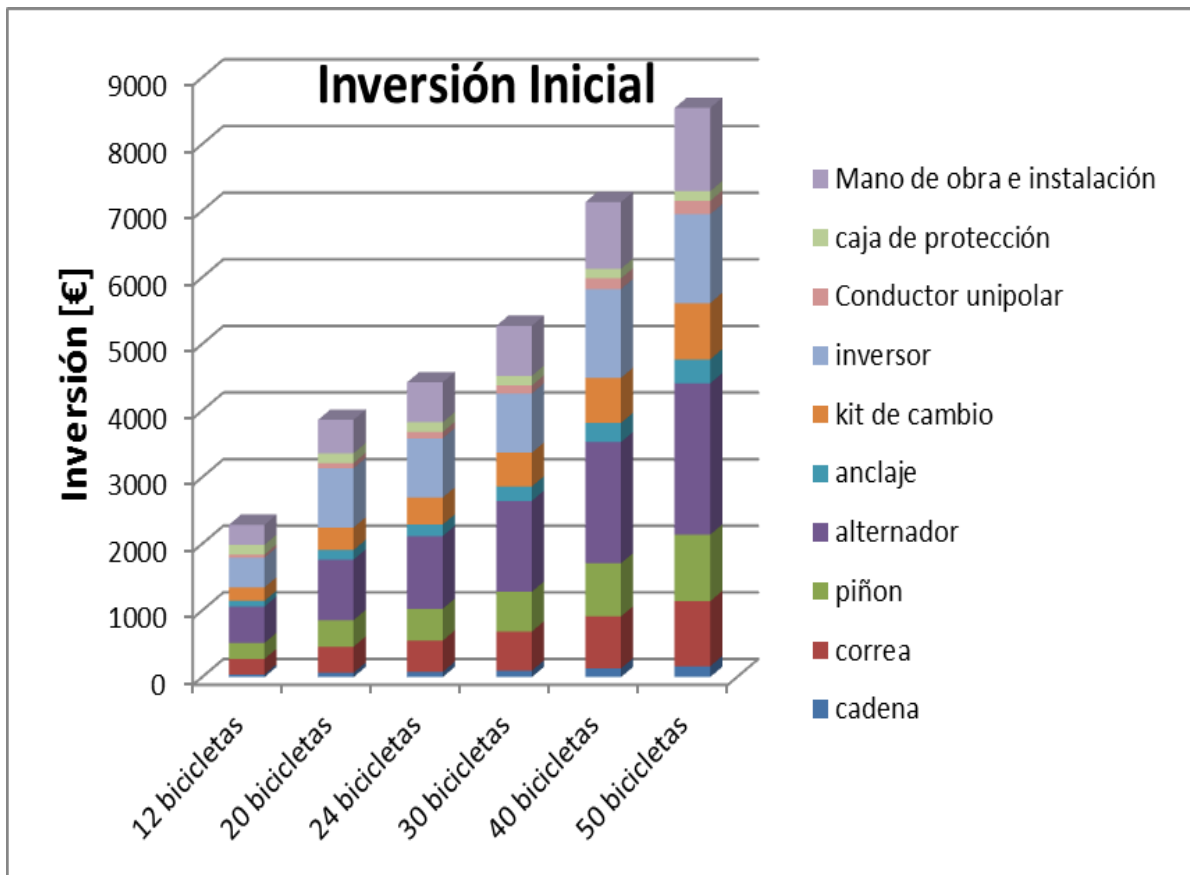


Figura 3.34: Monto de inversión inicial en función de la cantidad de bicicletas

Como podemos observar el alternador, el inversor y la mano de obra suponen la mayor parte del desembolso inicial, y la cadena, la caja de protección y el anclaje del alternador suponen solo una pequeña cantidad del total.



3.5.3.- AHORRO ENERGÉTICO

Actualmente no están operativas para todas las compañías las tarifas por discriminación horaria por lo que se tomará como base el precio de la energía de una tarifa sin discriminación horaria. Cuando las compañías tengan instaladas esta discriminación, lo más rentable será que las clases de spinning sean en las horas punta del coste de la energía para así tener un mayor ahorro.

Se ha evaluado el precio de la energía de las diferentes compañías que hay en España para potencia contratadas de entre 10 y 15 kW y se ha obtenido un precio medio de 0,14 €/kWh.

Para 24 bicicletas, tenemos en el primer año:

- Ahorro mensual [€]= Energía generada [kWh] x precio unitario [€/kWh]
- **Ahorro mensual**= 567 kWh x 0,14 €/kWh = **79,38 €**
- **Ahorro anual** = 79,38€/mes x 12 meses= **952,56 €**

Tendremos un ahorro anual de 952,56€ para 24 bicicletas, cantidad que varía según el número de bicicletas que tengamos. A continuación se representa el ahorro para distinto número de bicicletas.

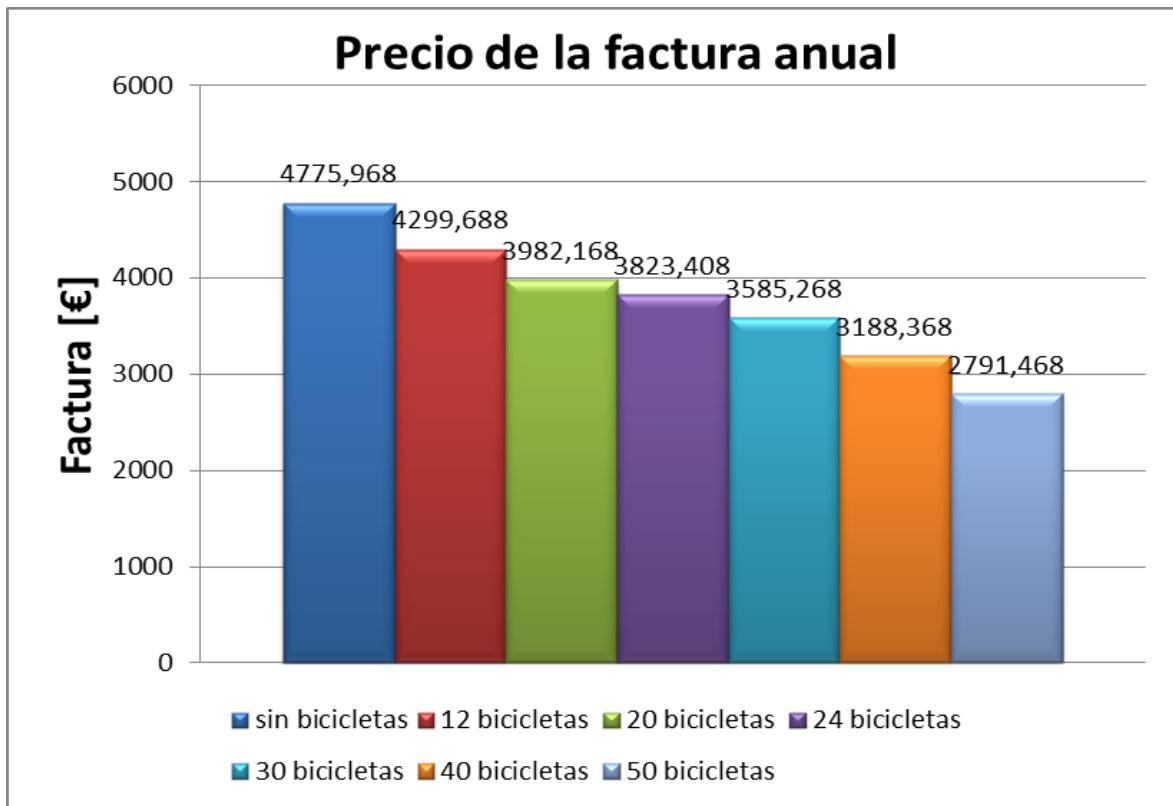


Figura 3.35: Ahorro según número de bicicletas

Como podemos observar la factura de la electricidad se ve reducida una cantidad importante de dinero, ahora tenemos que comprobar que sea rentable realizar la instalación o no.



3.5.4.- TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN

El coste de la energía esta en alrededor de 0,14€/kWh por lo tanto si contamos con 24 bicicletas como se indica en el apartado 3.5.2, tendremos una producción mensual de 567 kWh, lo que supondría una producción anual de 6804 kWh, que multiplicándolo por el precio de la energía tendríamos un ahorro total de 952.56 € al año. Este ahorro se puede considerar como ingreso puesto que estaríamos teniendo menos gasto.

Los alternadores son aparatos robustos que no suelen tener averías, lo mismo sucede con las bicicletas, cadenas y correas, por esto hemos decidido hacer un estudio económico sobre 20 años, aunque la vida de estos elementos es mucho mayor se toma este número de años para ver si la inversión es rentable.

En un primer estudio se ha decidido optar porque nuestro sistema no tenga ninguna avería por lo que el tiempo de retorno sería menor.

La inflación ha crecido en España un 26% entre 2004 y 2014 [6]. Para nuestra inversión tomaremos un aumento similar a éste, supondremos un aumento de la inflación en los 20 años de vida de nuestra instalación del 50%. Asumiremos además que se producirá un aumento lineal, es decir, que cada año la inflación subirá un 2%.

Tendremos:

- VAN= 8.775,63 €
- TIR=23,13 %

Para calcular el TIR se ha tomado un tipo de interés similar al que nos pediría un banco



al pedir un crédito para financiar nuestra inversión. La tasa de interés para el mes de junio del 2015 es de 5,8% para créditos de empresa según el Banco de España [7].

En la siguiente figura se representa el tiempo de retorno para 24 bicicletas ya que es el número que hemos escogido en nuestro gimnasio. En el anexo 3 aparece el tiempo de retorno para el distinto número de bicicletas propuesto anteriormente.

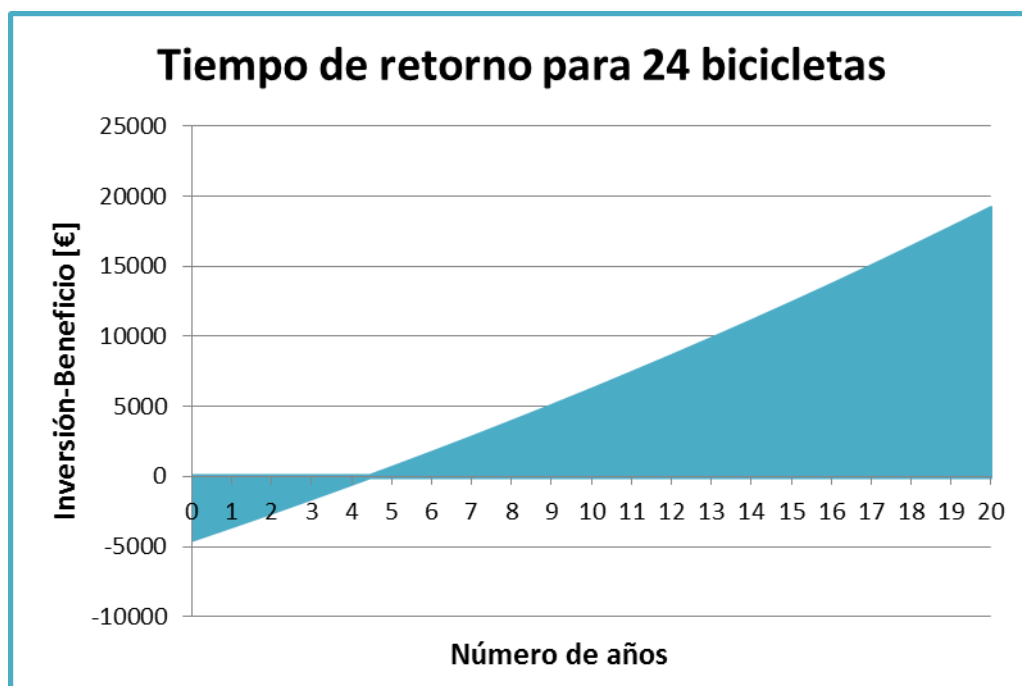


Figura 3.36: Tiempo de retorno de la inversión de bicicletas de spinning sin averías

En un segundo estudio teniendo en cuenta reparaciones y averías se ha contado con que el 15% de lo producido será destinado a cubrir este tipo de problemas. En los primeros años el sistema tendrá menos averías pero se ha optado por un porcentaje medio.



Con estas consideraciones tenemos:

- VAN= 6.785,72 €
- TIR=19,6 %

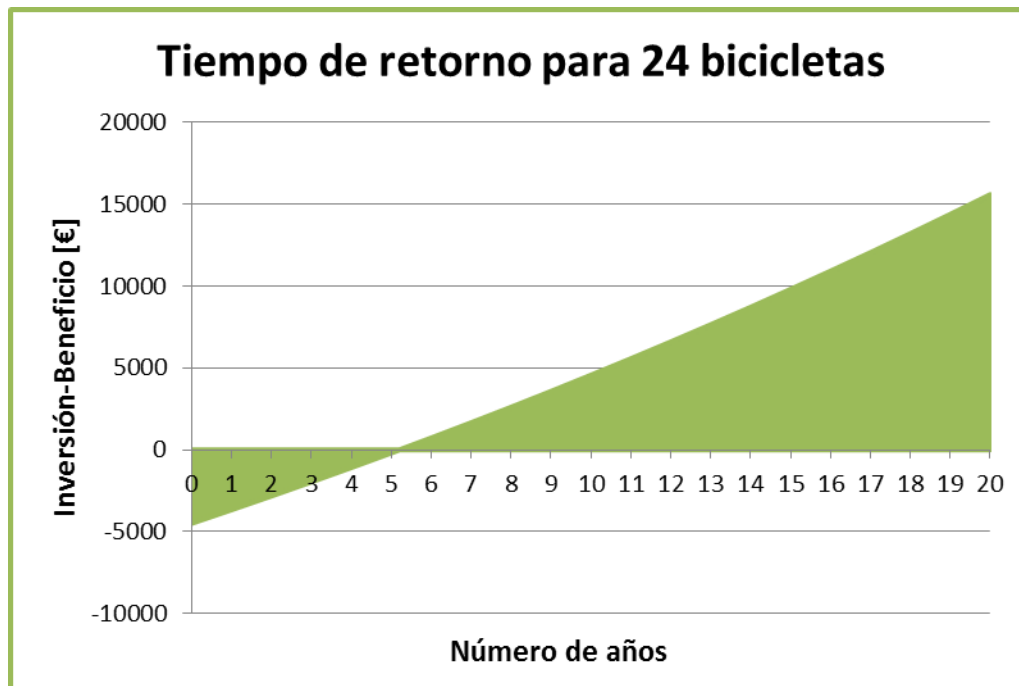


Figura 3.37: Tiempo de retorno de la inversión teniendo en cuenta averías y reparaciones

Como se puede observar, cuando tenemos en cuenta las averías y reparaciones los beneficios son menores, concretamente un 15% que es el valor estimado que necesitaremos para cubrir los problemas que puedan aparecer, el tiempo de retorno aumenta de 4 años y medio a 5 años.



3.5.5.- TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN PARA UN AUMENTO DEL COSTE DE LA ELECTRICIDAD

Durante los últimos 10 años el coste de la energía eléctrica ha crecido un 32.3%, pero si descontamos el aumento de la inflación (26%), nos queda un aumento del 6,3%. En 2005 el coste de la electricidad era de 0,081587 €/kWh y en 2015 es de 0,14 €/kWh, aunque el mayor coste de energía se produjo en el primer trimestre del año 2012 con un precio de 0,168075 €/kWh.

Actualmente es poco probable el precio de la energía eléctrica baje, lo normal es que siga subiendo aunque haya algunos picos, pero teniendo en cuenta que nuestra inversión tiene una vida útil de 20 años, es seguro que aumentará.

Para este periodo de 20 años, tomaremos un aumento del 10% ya que es difícil que se produzca un aumento tan alto desde que las energías renovables han emergido. Supondremos un aumento lineal del 0,45% anual para simplificar cálculos.

En esta consideración se tiene también en cuenta el porcentaje destinado a averías y mantenimiento ya que esto es prácticamente inevitable, como también lo es el aumento que se produce año tras año en el precio de la electricidad. Con estas premisas tendremos:

- VAN= 7.260,34 €
- TIR=20,16 %

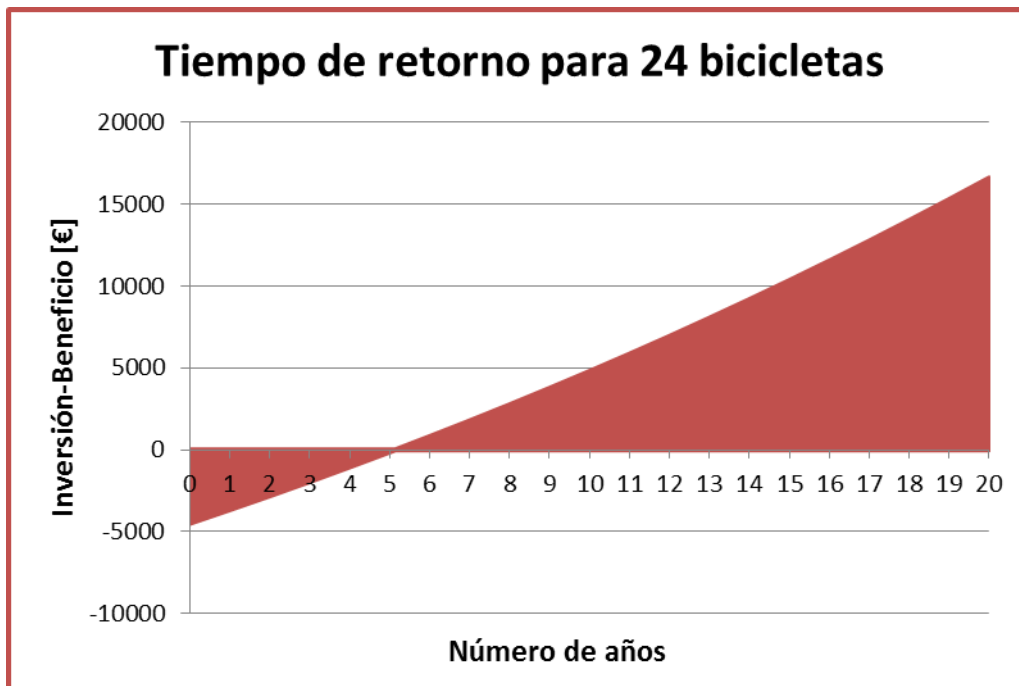


Figura 3.38: Tiempo de retorno de la inversión teniendo en cuenta averías, reparaciones y aumento del coste de la electricidad

Como se puede observar en el gráfico el tiempo de retorno es prácticamente el mismo pero la diferencia está en el beneficio una vez pasados los 20 años, pasamos de obtener un beneficio de 15.600 € a un beneficio de 16.600 € lo que hace aún más rentable la inversión.



CAPÍTULO 4:

GENERACIÓN

FOTOVOLTAICA



En este capítulo comenzaremos hablando sobre algunos términos referidos a la energía solar que son importantes a nivel de captación de energía

Posteriormente se describirá brevemente como funciona un sistema solar fotovoltaico, cuáles son sus principales componentes y que función realizan estos dentro del sistema global.

A continuación se mencionarán los distintos tipos de instalaciones solares. También se hace una breve descripción sobre la diversidad de células fotovoltaicas en función de los materiales con los que están compuestas y de su rendimiento.

En el siguiente punto se calculará el campo solar teniendo en cuenta las características del panel fotovoltaico y del inversor. Se valorarán los cambios de temperatura en los paneles, así como las sombras que puedan afectar al sistema bajando su rendimiento. Se calculará el número máximo y mínimo de paneles en serie y paralelo, y la distancia mínima que tiene que haber entre distintas filas de paneles atendiendo a la órbita solar para minimizar las pérdidas.

Por último se hará un análisis económico-financiero de la inversión teniendo en cuenta diversos factores como es el tiempo de retorno tanto para la primera como para posteriores inversiones.



4.1.- TERMINOLOGÍA

Básicamente, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, podemos obtener calor y electricidad.

El calor se logra mediante los colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados módulos fotovoltaicos. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación. Hoy en día empieza a cobrar importancia la denominada energía solar termoeléctrica, de la que obtenemos electricidad a través del calor producido por la radiación solar y por un ciclo termodinámico.

La radiación solar se valora en varias unidades físicas concretas:

- **Irradiancia:** Es la potencia de la radiación solar por unidad de superficie, su unidad es $[W/m^2]$.
- **Irradiación:** Energía que incide por unidad de superficie en un tiempo.
Irradiación = Irradiancia · tiempo; por lo tanto sus unidades serán $[J/m^2]$ ó $[kW \cdot h]$ donde $1kW \cdot h$ equivale a 3.6 MJ.
- **Irradiancia espectral:** Es la potencia radiante por unidad de área y de longitud de onda $[W/(m^2 \cdot \mu m)]$
- **Irradiancia directa:** Es la radiación que llega a un determinado lugar procedente del disco solar, su unidad de medida es $[W/m^2]$.
- **Irradiancia difusa:** Es la radiación procedente de toda bóveda celeste excepto la procedente del disco solar y cuya unidad de medida es $[W/m^2]$.
- **Irradiancia reflejada:** Es la radiación reflejada por el suelo (albedo), se mide en $[W/m^2]$.



- **Irradiancia global:** Se puede entender que es la suma de la irradiancia directa, difusa y reflejada. Es el total de la radiación que llega a un lugar en $[W/m^2]$.
- **Irradiancia circumsolar:** Es la parte de la radiación difusa procedente de las proximidades del disco solar en $[W/m^2]$.
- **Radiación extraterrestre:** Es la radiación que llega al exterior de la atmósfera terrestre $[W/m^2]$. Sólo varía con la distancia entre la tierra y el Sol.
- **TONC:** Temperatura de operación normal de la célula.

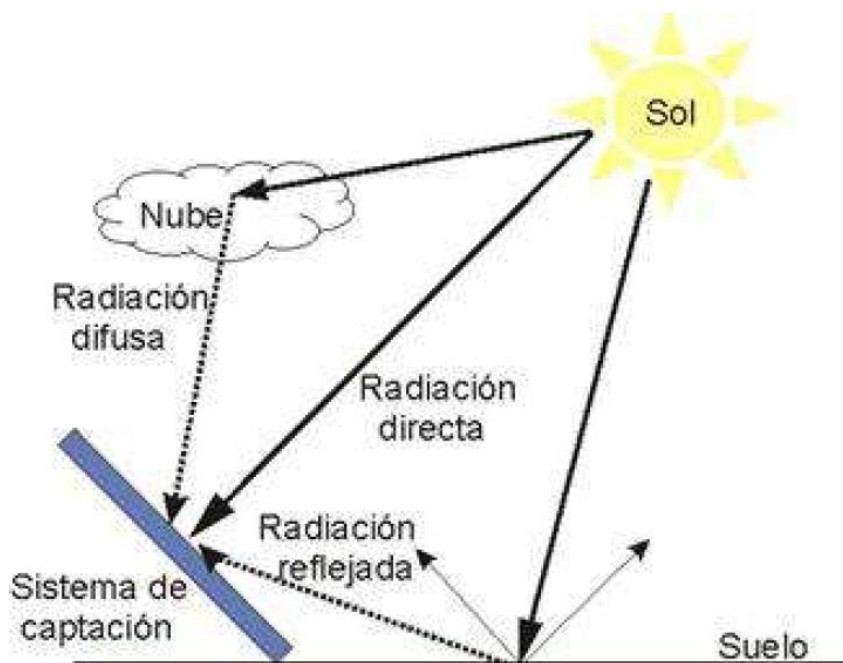


Figura 4.1: Ilustración de diferentes radiaciones procedentes del Sol

Si se suma toda la radiación global que incide sobre un lugar determinado en un periodo de tiempo definido se obtiene la energía en $kW \cdot h/m$ este valor será diferente según la región en donde nos encontremos.

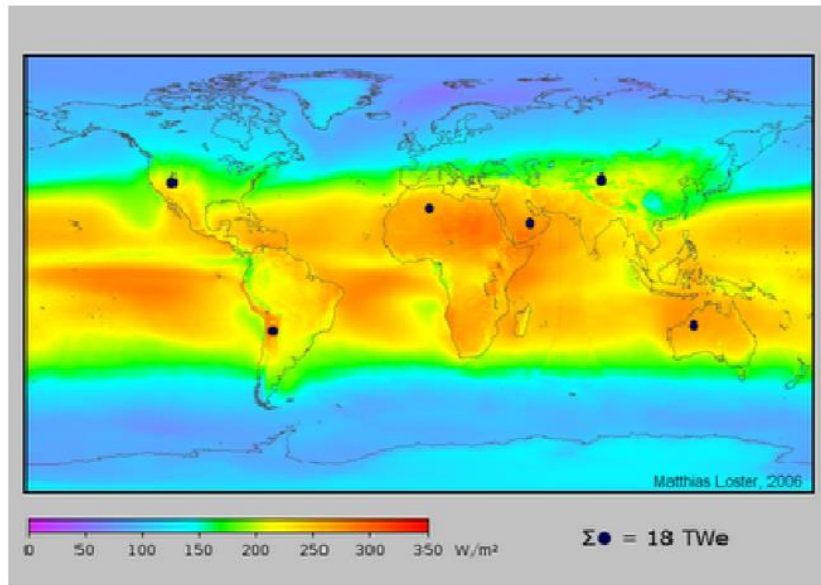


Figura4.2: Radiación solar promedio mundial

A continuación se muestra las diferentes zonas españolas en cuanto a su valor de irradiancia global media anual.

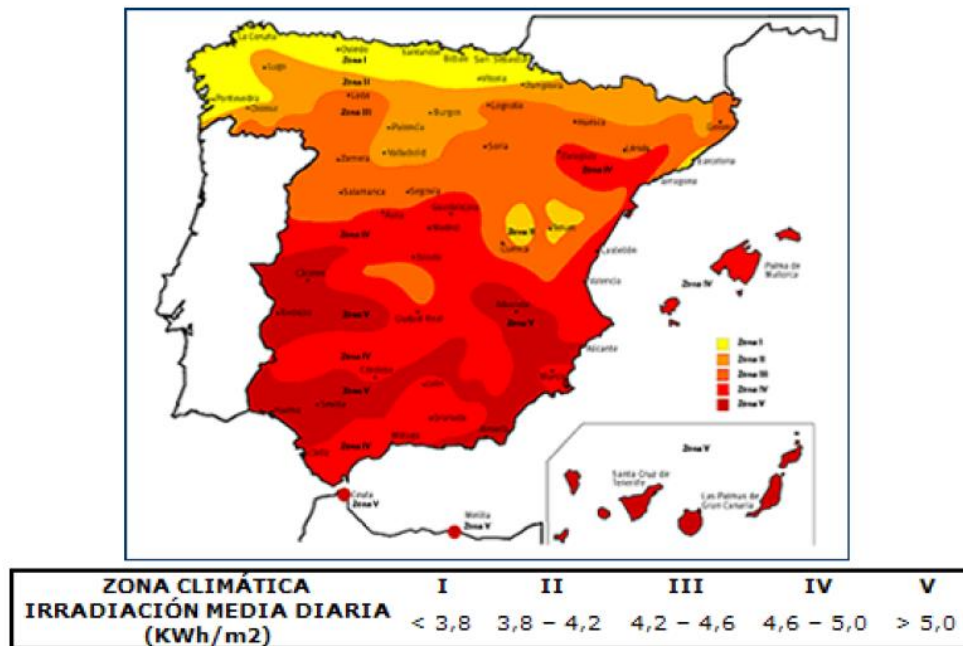


Figura 4.3: Radiación solar promedio en España



4.2.- ELEMENTOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Un sistema fotovoltaico es un dispositivo que, a partir de la radiación solar, produce energía eléctrica en condiciones de ser aprovechada por el hombre.

4.2.1.- CÉLULA FOTOELÉCTRICA

Una célula fotoeléctrica, también llamada celda fotovoltaica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico.

Las celdas fotovoltaicas están compuestas de un material que presenta efecto fotoeléctrico, absorben fotones de luz y emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

La eficiencia de conversión media obtenida por las células disponibles comercialmente está alrededor del 11-12%, pero según la tecnología utilizada varía desde el 6% de las células de silicio amorfo hasta el 14-19% de las células de silicio monocristalino.

También existen células multicapa, normalmente de Arseniuro de Galio, que alcanzan eficiencias del 30%. En laboratorio se ha superado el 42% con nuevos paneles.



La vida útil media a máximo rendimiento se sitúa en torno a los 25 años, período a partir del cual la potencia entregada disminuye.

Al grupo de células fotoeléctricas para energía solar se le conoce como panel fotovoltaico. El tipo de corriente eléctrica que proporcionan es corriente continua, por lo que si necesitamos corriente alterna o aumentar su tensión, tendremos que añadir un inversor y/o un convertidor de potencia.



Figura 4.4: Célula fotoeléctrica

4.2.2.- MÓDULOS SOLARES

Los módulos fotovoltaicos o colectores solares fotovoltaicos están formados por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son:



- Radiación de 1000 W/m²
- Temperatura de célula de 25°C (no temperatura ambiente).

La asociación de las células solares puede ser en serie o en paralelo. Al conectar en serie las células se suman las tensiones de cada célula y se mantiene la corriente, mientras que al conectar en paralelo las células, se suman las corrientes de cada una de ellas y se mantiene la tensión. Por tanto el comportamiento del módulo dependerá del comportamiento de las células y su disposición.

Con frecuencia las instalaciones solares disponen de baterías, las cuales tienen una tensión múltiplo de 12 V, es por eso que los módulos puedan alcanzar fácilmente esa tensión para cargar las baterías. La mayoría de los módulos estándar de silicio cristalino está constituido por la asociación de uno, dos o tres ramales de 36 células asociadas en serie. A su vez estos ramales se podrán conectar en serie o en paralelo.

Un módulo típico estándar se compone de 36 a 108 células y tiene una potencia de 50 a 165 W_p.

Una vez las células están conectadas en serie o en paralelo se encapsulan para protegerlas de las condiciones climáticas como lluvia, polvo, nieve, granizo...

En la parte frontal se emplea normalmente vidrios específicos con la mayor transparencia posible para que la radiación solar incida correctamente. Por la parte posterior normalmente se utiliza un polímero opaco.

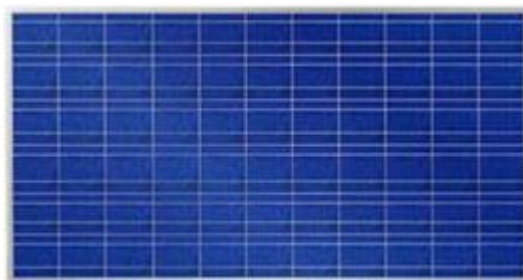


Figura 4.5: Panel solar fotovoltaico convencional

4.2.3.- GENERADOR FOTOVOLTAICO

Los generadores fotovoltaicos es la asociación tanto en serie como en paralelo de diferentes módulos solares fotovoltaicos. Su función es captar la energía luminosa procedente del sol y transformarla en corriente continua a baja tensión.

Cuando variamos el número de paneles solares en serie lo que estamos haciendo es variar la tensión del generador manteniendo constante la corriente que circula por el mismo, mientras que si variamos el número de paneles en paralelo, la tensión se mantendrá constante mientras que la corriente es la que varía.

Es de vital importancia utilizar módulos iguales, es decir de la misma marca, modelo y por supuesto de la misma potencia, teniendo todos ellos las mismas curvas características con el fin de reducir pérdidas causadas por la dispersión de los parámetros eléctricos.



No hay que olvidar que la asociación de módulos en serie se denomina ramal y la asociación de ramales en paralelo es lo que va a determinar el generador fotovoltaico.

Además todos los módulos solares de un mismo ramal estarán colocados con la misma orientación e inclinación.



Figura 4.6: Generador solar fotovoltaico sobre suelo

Los generadores fotovoltaicos por razones de seguridad también cuentan con:

- **Un acumulador**, que almacena la energía producida por el generador y permite disponer de corriente eléctrica fuera de las horas de luz o días nublados.
- **Un regulador de carga**, que controla la entrada y salida de corriente en el acumulador y su misión es evitar sobrecargas o descargas excesivas al acumulador, que le produciría daños irreversibles; y asegurar que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia.



4.2.4.- INVERSOR

Un inversor es un dispositivo electrónico de potencia cuya misión básica es convertir la corriente continua de la instalación fotovoltaica en corriente alterna para la alimentación de los receptores. Estos inversores suelen trabajar con corriente alterna.

Hoy en día con la ayuda de la electrónica de potencia esta conversión se consigue con muy pocas pérdidas.

Se pueden distinguir 2 tipos de inversores; los inversores de conmutación natural y los inversores de conmutación forzada.

Los primeros son conocidos como inversores conmutados por la red, por ser esta la que determina el fin del estado de conducción en los dispositivos electrónicos. Su aplicación es para sistemas fotovoltaicos conectados a la red. En la actualidad están siendo desplazados por los inversores de conmutación forzada tipo PWM.

Los inversores de conmutación forzada o autoconmutados son usados para sistemas fotovoltaicos aislados y permiten conseguir corriente alterna mediante la apertura y cierre forzada del sistema de control.

En las instalaciones de conexión a red la salida del inversor está conectada directamente a la red de distribución de la compañía eléctrica, sin pasar por los equipos de consumo de las viviendas, estando prohibida por la legislación vigente la instalación de baterías.



El inversor debe hacer trabajar al generador fotovoltaico en su punto de máxima potencia, esto lo consigue colocando un convertidor de corriente continua en corriente continua delante del propio inversor, ajustando la tensión de entrada del inversor a la tensión de máxima potencia del generador fotovoltaico.

La conexión con la red de distribución será trifásica cuando la potencia del inversor sea mayor de 5 kW.



Figura 4.7: Fotografía de un inversor fotovoltaico convencional



4.2.5.- ARMARIO GENERAL DE PROTECCIÓN Y MEDIDA

Como cualquier instalación eléctrica, el sistema dispone de las necesarias protecciones para garantizar la seguridad.

El Armario general de protección y medida deberá contener:

- Armario de poliéster prensado en caliente reforzado con fibra de vidrio. Dispone de una placa base de montaje de los equipos a montar, con velo protector y ventanilla para accionamiento del magnetotérmico y diferencial.
- Un interruptor magnetotérmico (Interruptor General Manual) con una intensidad de cortocircuito superior a la indicada por la empresa distribuidora del punto de conexión.
- Un interruptor diferencial con el objeto de proteger a las personas en el caso de derivación de cualquier elemento de la parte continua de la instalación.
- Un contador de la energía producida por la instalación solar y otro que en contraposición medirá el consumo del sistema fotovoltaico, como hemos citado anteriormente.



- Transformadores de intensidad para la medida de Energía.
- Fusible seccionador de control el cual une el circuito de consumo eléctrico convencional, en paralelo con el circuito de generación, con la red de distribución de la compañía y, a su vez, cierra todos los elementos de medida y control.

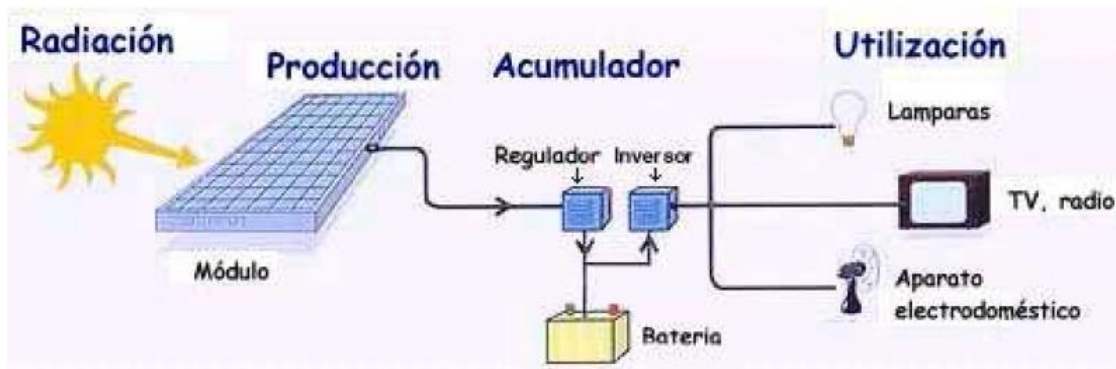


Figura 4.8: Instalación solar fotovoltaica, utilización a 230Vca

Una vez almacenada la energía eléctrica en el acumulador hay dos opciones: sacar una línea directamente de éste para la instalación y utilizar lámparas y elementos de consumo de 12 ó 24 Vcc, o bien transformar la corriente continua en alterna de 23 V a través de un inversor

Si el sistema fotovoltaico estuviera conectado a red, deberíamos de añadir algunos elementos adicionales como algunas protecciones contadores de energía, conexión a red etc. con el fin de asegurar la eficiencia y la seguridad de la instalación.



4.2.6.- FUNCIONAMIENTO

En un sistema típico, el proceso de funcionamiento es el siguiente: la luz solar incide sobre la superficie del captador fotovoltaico, donde es transformada en energía eléctrica de corriente directa por las celdas solares; esta energía es recogida y conducida hasta un controlador de carga, el cual tiene la función de enviar toda o parte de esta energía hasta el banco de baterías, en donde es almacenada, cuidando que no se excedan los límites de sobrecarga y sobre descarga. En algunos diseños, parte de esta energía es enviada directamente a las cargas.

La energía almacenada es utilizada para abastecer las cargas durante la noche o en días de baja insolación, o cuando el arreglo fotovoltaico es incapaz de satisfacer la demanda por sí solo. Si las cargas a alimentar son de corriente directa, esto puede hacerse directamente desde el arreglo fotovoltaico o desde la batería; si, en cambio, las cargas son de corriente alterna, la energía proveniente del arreglo y de las baterías, limitada por el controlador, es enviada a un inversor de corriente, el cual la convierte a corriente alterna.

La producción está basada en el fenómeno físico denominado "efecto fotovoltaico", que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas. Estas células están elaboradas a base de silicio puro (uno de los elementos más abundantes, componente principal de la arena) con adición de impurezas de ciertos elementos químicos (boro y fósforo), y son capaces de generar cada una corriente de 2 a 4 Amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 Voltios, utilizando como fuente la radiación luminosa. Las células se montan en serie sobre paneles o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado.

Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión (rebota) y otra parte por transmisión (atraviesa la célula). El resto es capaz de hacer saltar electrones de una capa



a la otra creando una corriente proporcional a la radiación incidente. La capa antirreflejo aumenta la eficacia de la célula.



4.3.- TIPOLOGÍAS DE INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS

Cuando se plantea la instalación de generadores de energía solar fotovoltaica, fundamentalmente se atiende a dos razones principales:

- La necesidad de proporcionar energía eléctrica a una zona aislada o de difícil acceso para la red de distribución.
- La posibilidad de inyectar energía eléctrica a la red de distribución.

En función de estos criterios, existen dos tipologías básicas de instalaciones fotovoltaicas: instalaciones aisladas e instalaciones conectadas a la red.

Desde un punto de vista económico las instalaciones conectadas a la red son más adecuadas que las instalaciones aisladas cuando el objetivo principal de la instalación es realizar una inversión de capital para obtener un rendimiento económico, obteniendo beneficio de la venta de energía.

4.3.1.- INSTALACIONES SOLARES AISLADAS

Hacen posible la electrificación de manera autónoma, aprovechando la energía del sol, en aquellos lugares donde no llega la red eléctrica o en los que conectarse a la red de



distribución no es viable técnica o económicamente.

Sus aplicaciones fundamentales son aplicaciones domésticas, instalaciones agrícolas y ganaderas, bombeo de caudales, iluminación, etc.

Para el diseño de este tipo de instalaciones es necesario estimar el consumo medio de energía diario del emplazamiento, determinar el rendimiento energético de la instalación, calcular el generador mínimo requerido y adecuar el tamaño del generador y del acumulador en función de las necesidades de autonomía del sistema y de la probabilidad de pérdida de carga requerida, respetando los límites establecidos en el pliego de condiciones técnicas del IDAE para poder optar a las ayudas y subvenciones ofrecidas por este organismo.

4.3.2.- INSTALACIONES SOLARES CONECTADAS A RED

Los sistemas de conexión a la red eléctrica son los que han experimentado mayor desarrollo en los últimos años, gracias a los incentivos establecidos por la legislación vigente, que permite vender la totalidad de la producción de la instalación solar a la empresa distribuidora de electricidad, a un precio por kWh fijado, superior al kWh consumido. De este modo la instalación se convierte en una pequeña central productora acogida al régimen especial, vendiendo la energía entregada a un precio subvencionado, acortando sensiblemente los plazos de amortización y de obtención de beneficios.

Estos sistemas se caracterizan por su simplicidad constructiva, la generación de energía



eléctrica silenciosa y no contaminante, una gran fiabilidad, larga duración y poco mantenimiento.

El funcionamiento de este tipo de instalaciones es muy simple. El generador fotovoltaico transforma la energía solar incidente en los módulos de corriente continua, que es convertida por el inversor en corriente alterna de la misma tensión y frecuencia que la red eléctrica.

Para contabilizar la energía eléctrica inyectada a la red de la empresa de distribución se utiliza un contador de energía intercalado entre la red de baja tensión y el inversor.

También es necesario instalar un contador de entrada de energía para contabilizar el posible consumo de la instalación, o bien se puede utilizar un único contador bidireccional para realizar ambas funciones.

El mantenimiento de estas instalaciones es mínimo, y consiste básicamente en la limpieza periódica de los módulos y en la comprobación de las conexiones eléctricas y el buen funcionamiento del inversor, estimándose su vida útil en más de 30 años.

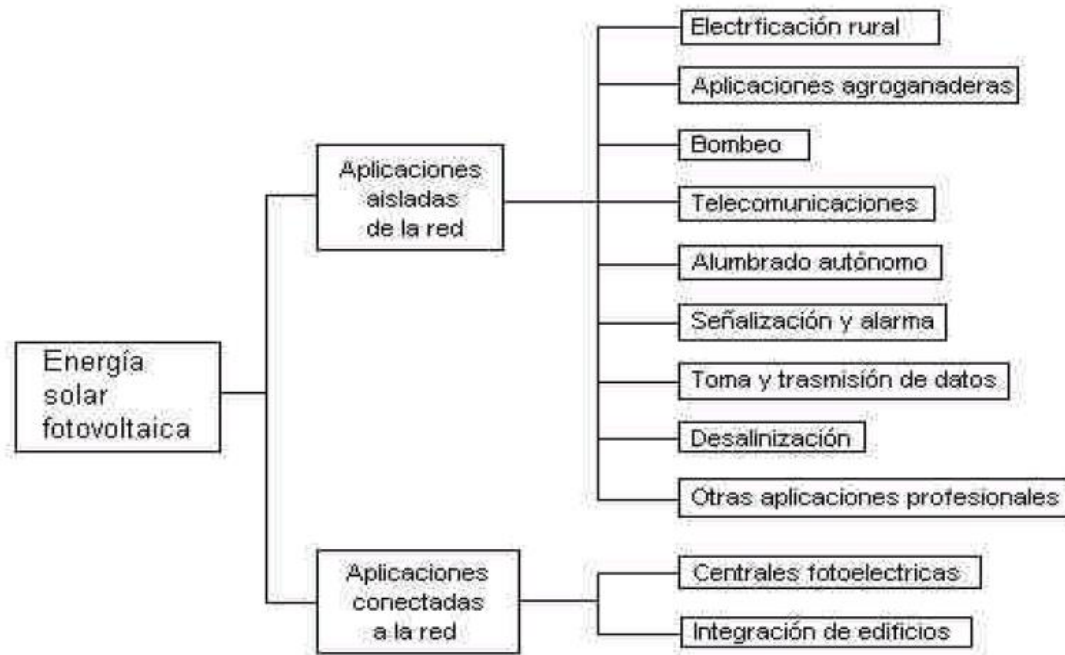


Figura 4.9: Diferentes aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

Además, existen otros sistemas para instalar paneles fotovoltaicos:

- Mediante un sistema de soporte a la red: donde el sistema no comienza a volcar energía a la red general hasta que sus baterías están cargadas, quedando entonces como sistema de emergencia.
- Siguiendo un sistema híbrido (es decir, acompañando a otro sistema de generación de energía, que a su vez puede estar o no conectado a la red general).



4.4.- TIPOS DE CÉLULAS SOLARES FOTOVOLTAICAS Y EVOLUCIÓN

- **Célula solar convencional:** Lleva una capa de silicio positiva y otra negativa que forman un campo eléctrico. La energía de la luz incidente activa los portadores de carga positiva y también los de carga negativa. La corriente fluye al unir los dos polos desde el exterior y se descarga a través de unos dedos metálicos.
- **Célula electroquímica:** En ella, la luz estimula los portadores de carga en una película de colorante. El dióxido de titanio facilita que la carga negativa fluya a la capa conductora de una capa de vidrio. El colorante compensa la falta de carga con una solución de yodo y así se crea la corriente.
- **Alfombra solar enrollable:** Permite cubrir con ella casas enteras. La luz activa ciertas moléculas que se encuentran sobre la superficie plástica, y la corriente se produce
- **Células monocristalinas de silicio:** Son las primeras que salieron al mercado y las más utilizadas en todo tipo de aplicaciones. El silicio que compone las células es un único cristal. La red cristalina es la misma en todo el material y tiene muy pocas imperfecciones. El proceso de cristalización es complicado y costoso. Ofrecen unos niveles de rendimiento elevados entre el 15 y el 18% y potencias por unidad de superficies altas. Están protegidas por un cristal que con buenas propiedades térmicas, pero por el contrario son frágiles.



Figura 4.10: Célula monocristalina de silicio

- **Células policristalinas:** Se construyen básicamente con silicio, mezclado con arsenio y galio, son un agregado de materiales. Son más sencillas de conseguir y consiguen unos rendimientos nada despreciables (15%). No duran tanto tiempo pero son perfectas para lugares en los que por las condiciones ambientales, aunque las células sean muy duraderas se rompan igualmente, como la alta montaña, los desiertos etc.



Figura 4.11: Célula policristalina de silicio



- **Células amorfas:** Las más baratas, menos duraderas y con rendimientos muy bajos de alrededor de un 6% que tienden a cero con el envejecimiento. Son las utilizadas en calculadoras y aparatos por el estilo ya que la energía que proporcionan es muy baja. Se construyen a base de evaporar encima de un cristal en una cámara de efluvios el material semiconductor o fotoreactivo y colocar un par de electrodos en cada una de las unidades correspondientes.



Figura 4.12: Célula amorfa



4.4.1.- DE LAS PLACAS TRADICIONALES A LA INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA

Las instalaciones tradicionales de componentes solares en edificios suelen usar los módulos estándar, normalmente sobre estructuras independientes y en el mejor de los casos sobrepuestas a alguna parte del edificio como tejados o fachadas. Recientemente se están comercializando algunos componentes solares especialmente diseñados para edificios.

Los módulos fotovoltaicos están fabricados para la intemperie, por tanto pueden formar parte de la piel de un edificio. Sin embargo, las diferentes tecnologías de encapsulado dan como resultado una gama de elementos constructivos con diferentes características:

- Cristal-plástico posterior: El adhesivo transparente es normalmente EVA (Etil-Vinil-Acetato) y el plástico posterior Tedlar TM en diferentes colores, translúcido o transparente.
- Cristal-cristal: El plástico posterior se sustituye por otro cristal. El adhesivo transparente son resinas o siliconas.

Los módulos estándar tienen un marco de aluminio. Los que no llevan marco, llamado laminados, se usan preferentemente para integración arquitectónica. Varios fabricantes de módulos ofrecen productos a medida del cliente en cuanto a tamaño, forma, tipo de células y disposición de estas, permitiendo una gran creatividad y adaptabilidad a los requerimientos arquitectónicos de la edificación existente.



En el anexo 4 aparecen imágenes de los distintos tipos de integración arquitectónica que existen actualmente.

Para nuestro gimnasio escogeremos las cubiertas planas ya que la azotea del edificio es plana y no cuenta con pendiente alguna.

CUBIERTAS PLANAS

- Instalación sencilla
- Estructuras soporte convencionales
- Excelente rendimiento energético

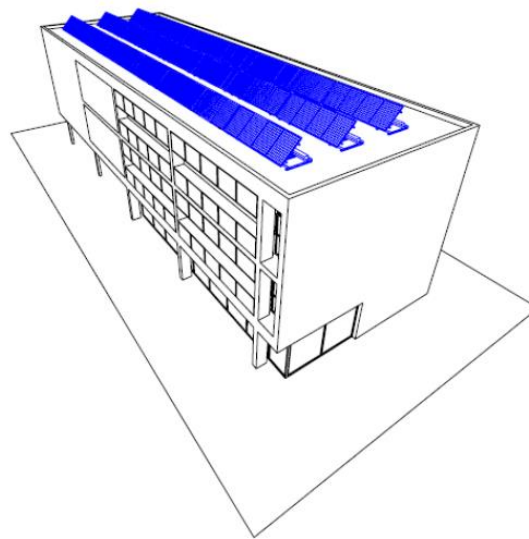


Figura 4.13: Cubiertas planas



4.4.- CÁLCULO DEL CAMPO SOLAR

Para tener una idea del tamaño de nuestra instalación fotovoltaica hemos calculado el consumo mínimo que tendría nuestro centro, ya que si producimos una cantidad muy superior a nuestra demanda estaremos “tirando” energía y lo que es más importante desde el punto de vista de la inversión estaremos “tirando dinero”.

Se ha llegado a la conclusión de que la demanda mínima será aproximadamente de 6700W ya que tenemos aparatos que estarán en funcionamiento prácticamente todo el día, estos elementos son:

- 19 luces de avería
- 4 máquinas de aire acondicionado
- 1 televisor
- 1 equipo de música
- 1 ordenador
- 13 tubos fluorescentes
- 1 cinta de correr

Con estas premisas hemos decidido usar un inversor de 10kW que es el que mejor se adapta a nuestras necesidades, además es bastante probable que la demandan sea mayor a 6700W por lo que podremos cubrirla sin problema.

Para la realización de estos cálculos, usaremos un inversor INGECOM Sun Smart 10 y los módulos fotovoltaicos Eastesh solar ESF-300MA.



4.4.1.- CÁLCULO DEL NÚMERO DE MÓDULOS

Se calculan en este apartado las agrupaciones en serie/paralelo de módulos fotovoltaico con el fin de sobrepasar las limitaciones del inversor y obtener la potencia deseada.

Parámetros necesarios

Para que el inversor inicie la generación es necesario que del campo de módulos le llegue una tensión mínima. Asimismo, no debe sobrepasarse la tensión máxima permitida por el inversor ni la intensidad máxima de entrada.

Para ello se deben asociar en serie un número de módulos por ramal de forma que la tensión mínima y máxima del punto de máxima potencia del ramal esté, en todo momento, dentro del rango de tensiones de entrada al inversor.

Para realizar dichos cálculos necesitaremos los valores de tensiones e intensidades aportados por los módulos fotovoltaicos, así como los valores límite permitidos por el inversor:



Módulo Fotovoltaico	
Potencia pico	300 W
Corriente de cortocircuito (Isc)	8,48A
Tensión de vacío (Uoc)	44,78 V
Corriente MPP	7,92 A
Tensión MPP	37,87 V

Tabla 4.1: Valores característicos del módulo fotovoltaico

Inversor INGECON Sun Smart 10	
Tensión máxima admisible	900 Vcc
Intensidad máxima admisible	26 A
Rango de voltaje de MPP	405 a 750 V

Tabla 4.2: Valores característicos del inversor



4.4.2.- INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

Los valores dados para el inversor son únicamente para condiciones estándar (STC, 1000 W/m², 25°C, AM 1,5). Por tanto, a las temperaturas límite que puede trabajar la célula solar los valores característicos del módulo fotovoltaico son diferentes.

Dichas variaciones dependen de las cualidades del módulo y son valores de catálogo:

Módulo Fotovoltaico	
Coefficiente T ^a Tensión de circuito abierto	- 0,38 % / °C
Coefficiente T ^a Corriente de cortocircuito	+ 0,04 % / °C
Coefficiente T ^a potencia MPP	- 0,47 % / °C
TONC	47°C ± 2 °C

Tabla 4.3: Valores característicos del módulo en función de la temperatura

Las variaciones porcentuales de intensidad y tensión nos permitirán definir los nuevos valores a las temperaturas extremas, que se calculan en este apartado.



La variación porcentual de la potencia MPP y TONC (Normal Operating Cell Temperature, en sus siglas en inglés, NOCT) permitirán evaluar las pérdidas por temperatura. Las células, en condiciones normales de operación, alcanzan una temperatura superior a las condiciones estándar de medida del laboratorio.

El TONC es una medida cuantitativa de este incremento. La medición del TONC se realiza en las siguientes condiciones: radiación de 0,8 kW/m², temperatura ambiente de 20°C y velocidad del viento de 1m/s.

4.4.3.- NÚMERO MÁXIMO DE MÓDULOS EN SERIE

El número máximo de módulos en serie que pueden conectarse vendrá determinado por el mínimo valor de las dos estimaciones siguientes:

- La máxima tensión necesaria para que el inversor pueda buscar el punto de MPP cuando la Tensión MPP de los módulos alcanza su valor máximo
- La máxima tensión que admite el inversor a la entrada cuando los módulos alcanzan el máximo de tensión posible, donde dicho valor se obtendrá para la Tensión de Vacío del módulo (U_{oc}) a la temperatura mínima.

El máximo valor de tensión posible de los módulos, tanto para U_{oc} como para la tensión



MPP, corresponde a dichas tensiones cuando la temperatura del módulo es mínima. La temperatura mínima del módulo corresponde con una temperatura ambiente mínima, que suele corresponder a invierno y que, para climas como el de España, se puede considerar una media de temperaturas mínimas de 2 °C en la zona de implantación de la instalación y para una irradiancia mínima que se considera 0 W/m².

- La temperatura del módulo en estas condiciones se determina mediante la siguiente expresión aproximada:

Cálculo de Temperatura del módulo

$$T_p = T_a + \frac{T_{ONC} - 20}{800} \cdot I$$

Donde:

T_p : Temperatura del módulo (°C)

T_a : Temperatura ambiente (°C)

T_{ONC} : Temperatura de operación normal de la célula (°C)

I : Irradiancia (W/m²)

$$T_p = 2 + \frac{47 - 20}{800} \cdot 0 = 2 \text{ °C}$$



Para las condiciones anteriores, la temperatura del módulo es aproximadamente de 2 °C.

- La Tensión de MPP a 2 °C, a partir de la tensión en condiciones estándar, se calcula de la siguiente forma:

Cálculo de Tensión MPP

$$\Delta U_{MPP} = \Delta U_{uoc} \cdot (T_p - 25)$$

$$\Delta U_{MPP(TP)} = \Delta U_{MPP(STC)} \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_{MPP}}{100}\right)$$

Donde:

U_{MPP} : Tensión MPP del módulo (V)

ΔU_{uoc} : Coeficiente de T^a de Tensión a circuito abierto (% / °C)

$$\Delta U_{MPP}(2\text{ °C}) = -0,38 \cdot (2-25) = 8,74\%$$

$$\Delta U_{MPP}(2\text{ °C}) = 37,87 \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_{MPP}(2\text{ °C})}{100}\right) = 41,17V$$



- La Tensión de Circuito Abierto (U_{oc}) a 2 °C, a partir de la tensión en condiciones estándar, se calcula de la siguiente forma:

Cálculo de Tensión en Vacío

$$U_{OC(TP)} = U_{OC(STC)} \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_{oc}}{100}\right)$$

$$\Delta U_{oc} = \Delta U_{uoc} \cdot (T_p - 25)$$

Donde:

$U_{oc(TP)}$: Tensión a Circuito Abierto a T^a del módulo (V)

$U_{oc(STC)}$: Tensión a Circuito abierto en condiciones estándar (V)

ΔU_{uoc} : Coeficiente de T^a de Tensión a circuito abierto (% / °C)

$$\Delta U_{oc} = -0,38 \cdot (2 - 25) = 8,74\%$$

$$U_{OC(2^\circ C)} = 44,78 \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_{oc}}{100}\right) = 48,69V$$



El número máximo de módulos por ramal conectados en serie se determina como el mínimo valor de:

- a) El cociente entre el Límite Superior de voltaje MPP del inversor y la tensión de MPP del módulo a su temperatura mínima, que es de 2 °C.
- b) El cociente entre la Tensión máxima de entrada del inversor y la Tensión a Circuito Abierto del módulo (U_{oc}) a su temperatura mínima, que es la establecida en °C.

De acuerdo con lo indicado anteriormente:

Límite Superior módulos en serie

$$a) \ n_{\text{máx serie}} = \frac{U_{\text{lim sup}}(\text{INV})}{U_{\text{MPP}}(T_{\text{min}})}$$

$$b) \ n_{\text{máx serie}} = \frac{U_{\text{máx}}(\text{INV})}{U_{oc}(T_{\text{min}})}$$

Donde:

n_{max} : Número máximo de módulos por ramal conectados en serie

$U_{\text{Lim Sup MPP}}(\text{INV})$: Límite Superior de voltaje MPP del inversor (V)

$U_{\text{máx}}(\text{INV})$: Tensión máxima de entrada del inversor (V)

$U_{\text{MPP}}(T_{\text{min}})$: Tensión de MPP del módulo a 2 °C (V)

$U_{oc}(T_{\text{min}})$: Tensión a Circuito Abierto del módulo a 2 °C (V)



$$n_{\text{máx. serie}} = \frac{750}{41,17} = 18,21$$

$$n_{\text{máx serie}} = \frac{900}{48,69} = 18,48$$

Por lo que, tras examinar los dos resultados obtenidos, tomamos el mínimo valor, siendo el mismo el límite máximo de módulos en serie, es decir, 18 módulos.

4.4.4.- NÚMERO MÍNIMO DE MÓDULOS EN SERIE

El número mínimo de módulos en serie por ramal que pueden conectarse vendrá limitado por la mínima tensión necesaria para que el inversor pueda buscar el punto de MPP cuando los módulos alcanzan el mínimo de tensión posible. El mínimo valor de tensión posible de los módulos corresponde a la Tensión MPP cuando la temperatura del módulo es máxima. La temperatura máxima del módulo corresponde con una temperatura ambiente máxima, que suele corresponder a verano y que, para climas como el de España, se puede considerar 42 °C y para una irradiancia del orden de 1000 W/m².



La temperatura del módulo en estas condiciones se calcula siguiendo la misma expresión que en apartado anterior:

$$T_p = T_a + \frac{TONC-20}{800} \cdot I = 42 + \frac{47-20}{800} \cdot 1000 = 75,75 \text{ °C}$$

Para las condiciones anteriores, la temperatura del módulo es aproximadamente de 75,75 °C.

- La Tensión del Punto de Máxima Potencia a 75,75 °C a partir de la tensión en condiciones estándar, se calcula de la siguiente forma:

Cálculo de Tensión de máxima potencia (MPP)

$$\Delta U_{MPP(TP)} = \Delta U_{MPP(STC)} \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_{MPP}}{100}\right)$$

$$\Delta U_{MPP} = \Delta U_{uoc} \cdot (T_p - 25)$$

Donde:

$U_{MPP(TP)}$: Tensión MPP a T^a del módulo T_p (V)

$U_{MPP(STC)}$: Tensión MPP en Condiciones Estandar (V)

ΔU_{uoc} : Coeficiente de T^a Tensión a Circuito Abierto (% / °C)



$$\Delta U_{MPP}(75,75 \text{ °C}) = -0,38 \cdot (75,75 - 25) = -19,29\%$$

$$\Delta U_{MPP}(75,75 \text{ °C}) = 37,87 \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_{MPP}(-75,75 \text{ °C})}{100}\right) = 30,47\text{V}$$

El número mínimo de módulos por ramal conectados en serie se determina como el cociente entre el Límite Inferior de voltaje MPP del inversor y la tensión MPP del módulo a su temperatura máxima, en este caso de 75,75 °C.

De acuerdo con lo indicado anteriormente:

$$n_{\text{min serie}} = \frac{U_{\text{lim inf MPP (INV)}}}{U_{MPP(T \text{ máx})}}$$

Donde:

n_{min} : Número mínimo de módulos por ramal conectados en serie

$U_{\text{Lim Inf MPP(INV)}}$: Límite inferior de voltaje MPP del inversor (V)

$U_{MPP(T^{\text{max}})}$: Tensión de MPP del módulo a 75,75°C

$$n_{\text{min serie}} = \frac{405}{30,47} = 13,29 \rightarrow 14$$



El número mínimo de módulos que podemos conectar en serie es de 14 para el INGECON Sun Smart 10.

Tenemos que el número de módulos en serie está entre 14 y 18. Mientras más alto sea el número de paneles en serie menor caída de tensión tendremos. Por lo tanto tomaremos 18 módulos en serie.

4.4.5.- NÚMERO MÁXIMO DE MODULOS EN PARALELO

El número máximo de conjuntos en paralelo que pueden conectarse vendrá dado por el mínimo valor de las dos siguientes estimaciones:

- a) El cociente entre la Intensidad Máxima Admisible del inversor entre la Corriente del Cortocircuito (I_{sc}) del módulo cuando alcanza su valor más elevado
- b) El cociente entre la potencia máxima del inversor y la potencia pico de un conjunto.

El máximo valor de intensidad posible de los módulos, corresponde a la Intensidad de Cortocircuito (I_{sc}) cuando la temperatura del módulo es máxima.

La temperatura máxima del módulo corresponde con una temperatura ambiente máxima, que como se ha visto anteriormente corresponde a 42 °C y para una irradiancia de 1000 W/m².



La temperatura del módulo en estas condiciones se calcula siguiendo la misma expresión que en el apartado anterior.

$$T_p = T_a + \frac{TONC-20}{800} \cdot I = 42 + \frac{47-20}{800} \cdot 1000 = 75,75 \text{ }^\circ\text{C}$$

Para las condiciones anteriores, la temperatura del módulo es aproximadamente de 75,75 °C

- La Intensidad de Cortocircuito (I_{sc}) a 75,75 °C, a partir de dicha intensidad en condiciones estándar, se calcula de la siguiente forma

Cálculo de la Intensidad de Cortocircuito I_{sc} .

$$I_{sc(TP)} = I_{sc(STC)} \cdot \left(1 + \frac{\Delta I_{sc}}{100}\right)$$

$$\Delta I_{sc} = \Delta I_{sc} \cdot (T_p - 25)$$

Donde:

$I_{sc(TP)}$: Intensidad de Cortocircuito a T^a del módulo (A)

$I_{sc(STC)}$: Intensidad de Cortocircuito Condiciones Estándar (A)

ΔI_{sc} : Coeficiente de T^a Intensidad de Cortocircuito (% / °C)



$$\Delta I_{sc(75,75)} = 0,04 \cdot (75,75 - 25) = 2,03\%$$

$$I_{sc(TP)} = 8,48 \cdot \left(1 + \frac{\Delta I_{sc}}{100}\right) = 8,65 \text{ A}$$

De acuerdo con lo indicado anteriormente:

$$\text{a) } n_{\text{máx paralelo}} = \frac{I_{\text{máx}}(INV)}{I_{sc}(T_{\text{máx}})}$$

$$\text{b) } n_{\text{máx paralelo}} = \frac{P(INV)}{n_{\text{serie}} \cdot P_{\text{módulo}}}$$

Donde:

$I_{\text{máx}}(INV)$: Intensidad Máxima Admisible del inversor (A)

$I_{sc}(T_{\text{máx}})$: Corriente de Cortocircuito del módulo a 75,75 °C (A)

P_{inv} : Potencia máxima del inversor (W)

$P_{\text{módulo}}$: Potencia pico de los módulos (W)

n_{serie} : Número de módulos en serie



$$\text{a) } n_{\text{paralelo}}^{\text{máx}} = \frac{26}{8,65} = 3,003$$

$$\text{b) } n_{\text{paralelo}}^{\text{máx}} = \frac{13000}{18 \cdot 300} = 2,4$$

Se debe cumplir que la potencia nominal del inversor no sea superior a 1,2 veces la potencia pico del generador fotovoltaico.

Además, habrá que comprobar que el inversor admite la corriente de cortocircuito que resulta al asociar los ramales en paralelo.

Por lo que, tras examinar los resultados obtenidos, tomamos el mínimo valor, siendo el límite máximo de conjuntos en paralelo de 2 módulos.

Comprobamos que la Intensidad máxima que admite el inversor es superior a la Intensidad de Cortocircuito de los conjuntos en paralelo a 75,75 °C.

La Intensidad de Cortocircuito (I_{sc}) es menor, en ambos, casos que la Intensidad máxima admitida por cada inversor, con lo que concluimos que la instalación es correcta.



$$I_{\text{máx}}(\text{INV}) = 26 \text{ A}$$

$$n_{\text{paralelo}} \cdot \text{ISC}(T^{\text{a}}_{\text{max}}) = 2 \cdot 8,65 = 17,3 \text{ A}$$

Conclusión

Inversor	INGECON Sun Smart 10	Seguidor Solar
Potencia Nominal	10 kW	
Máxima Potencia	13 kW	10,8 kW
Lim. Inf. U del rango MPP	405 V	548,46 V
Lim. Sup. U del rango MPP	750 V	741,06 V
Máxima U admisible	900 V	876,42 V
Máxima I admisible	26 A	17,3 A

Tabla 4.4: Características del inversor solar



Generador FV	Eastech Solar ESF-300MA
Potencia Pico Módulo	300 W _p
Nº módulos en serie	18
Nº módulos en Paralelo	2
Nº Total módulos/inversor	36
Potencia Pico total	10,8 kW
Tensión MPP, U _{MPP}	37,87 V
Intensidad MPP, I _{MPP}	7,92 A
Intensidad de Cortocircuito, I _{sc}	8,48 A
Tensión de Vacío, U _{oc}	44,78 V
Coefficiente T ^a I _{sc}	0,04 % / °C
Coefficiente T ^a U _{oc}	-0,38 % / °C
Coefficiente T ^a Potencia MPP	-0,47 % / °C
TONC	47±2% °C
Dimensiones	1956x992 mm ²
Superficie total de módulos	69,85 m ²

Tabla 4.5: Características del generador solar



4.5.- DISTANCIA MÍNIMA ENTRE SEGUIDORES SOLARES

4.5.1.- RADIACIÓN SOLAR DIRECTA Y DIFUSA

La radiación solar que incide sobre la superficie terrestre se puede aceptar formada por dos componentes: directa y difusa. La radiación directa es aquella que alcanza la superficie directamente desde el sol, mientras que la difusa procede de toda la bóveda celeste y se origina sobre todo en las interacciones (difusión y absorción) de la radiación solar con los componentes atmosféricos.

Cuando se mide la componente directa de la radiación solar es necesario utilizar un dispositivo seguidor del movimiento aparente del sol, de tal manera que la radiación procedente del disco solar sea la que incide sobre el sensor de radiación correspondiente. Esa medida es la llamada componente normal de la radiación directa.

Otras veces, sin embargo, la componente directa de la radiación se calcula a partir de las medidas de la radiación global horizontal y de la difusa horizontal. En ese caso, la componente directa que se obtiene como diferencia entre ellas es la componente horizontal (proyección horizontal) de la radiación directa y se relaciona con la componente normal como se indica en la figura.

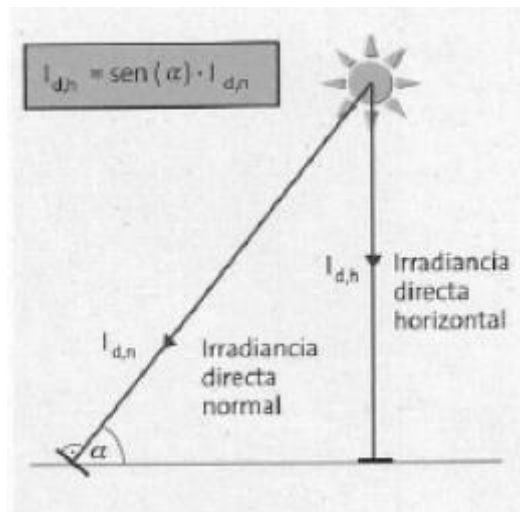


Figura 4.14: Componente horizontal y normal de la radiación directa

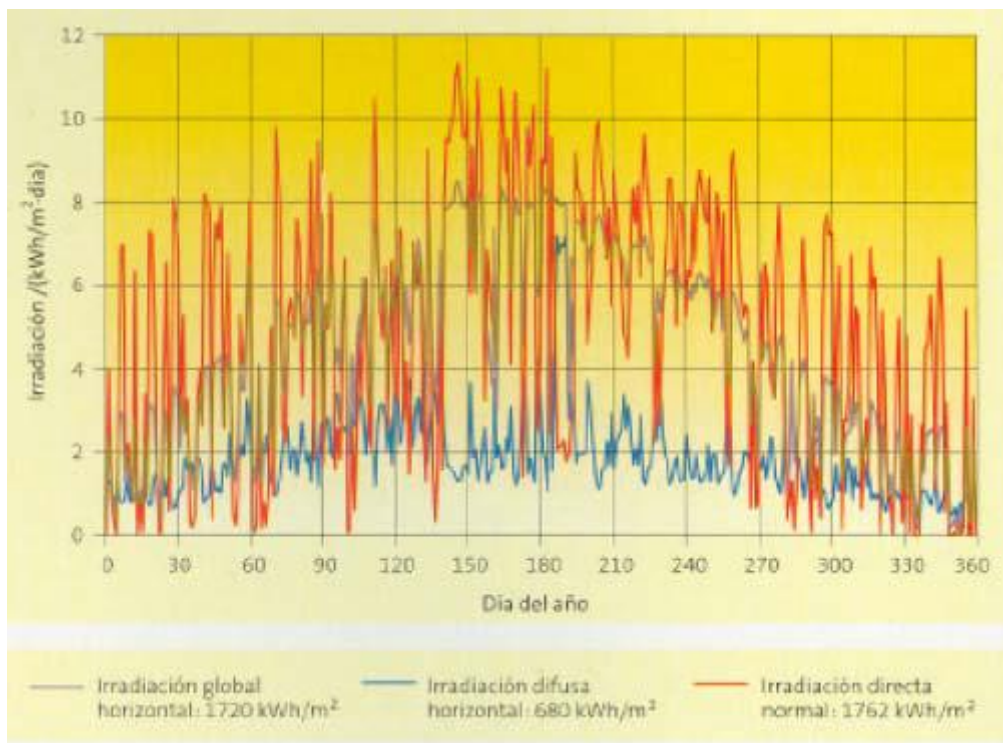


Figura 4.15: Distribución anual de la irradiación global horizontal, directa normal y difusa horizontal diarias



En la próxima figura se tiene un esquema en el que se representan los valores aproximados de la irradiancia máxima en días con diferente nivel de nubosidad. En él se indica que en los días muy nubosos la componente difusa es la predominante y en los días claros, lo es la directa.

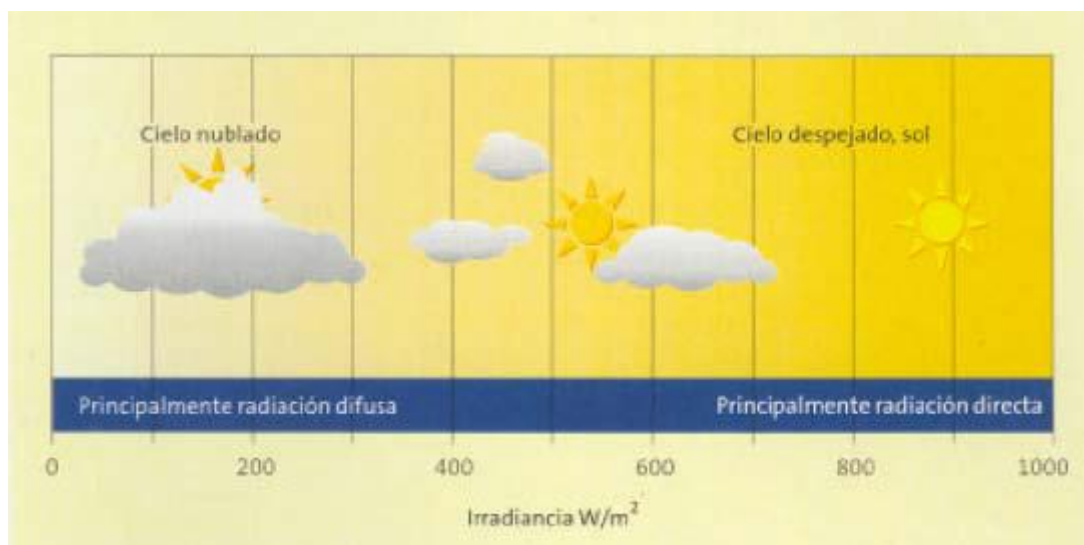


Figura 4.16: Irradiancia global en varios estados del tiempo

4.5.2.- GEOMETRÍA SOLAR

Para el cálculo de la producción energética de una instalación solar es fundamental conocer la irradiación solar en el plano correspondiente a la instalación y la trayectoria solar en el lugar en las diferentes épocas del año. La situación del sol en un lugar cualquiera viene determinada por la altura y el azimut del sol.

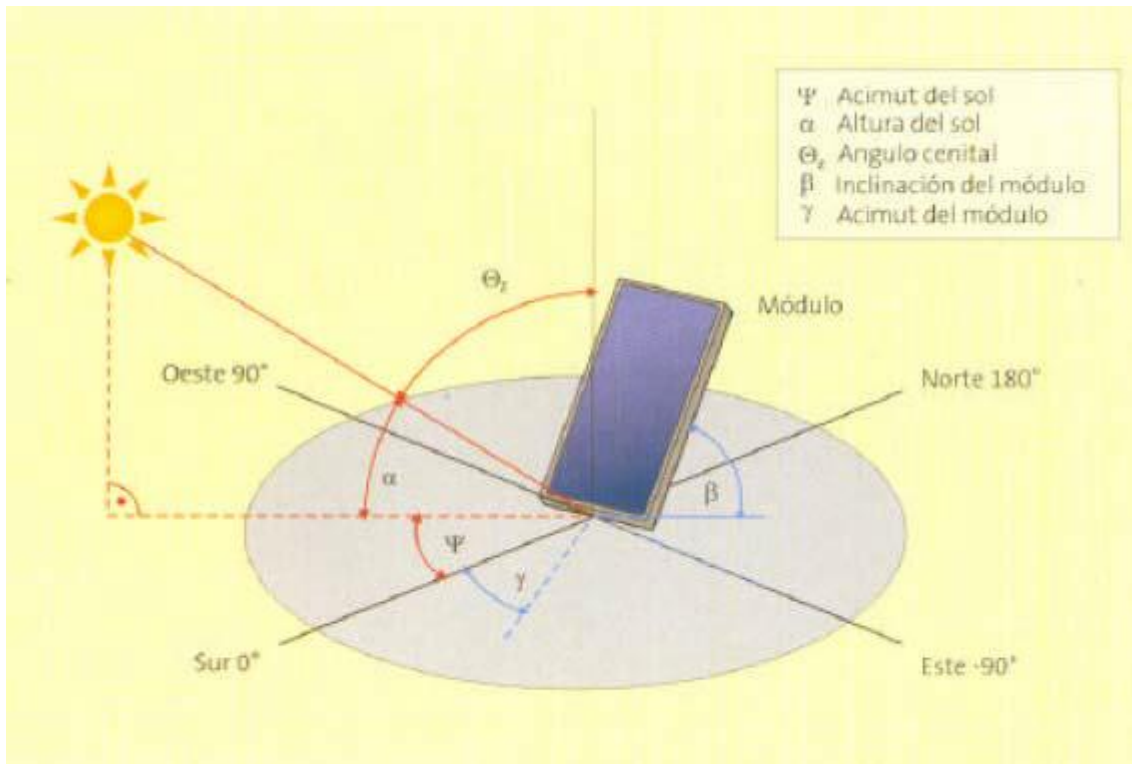


Figura 4.17: Geometría Solar

Se define la orientación mediante el acimut. El acimut solar es el ángulo que forma la dirección sur con la proyección horizontal del sol, hacia el norte por el noreste o por el noroeste, considerando la orientación sur con $\psi = 0^\circ$, y considerando los ángulos entre el sur y el noreste negativos y entre el sur y el noroeste positivos.

Por ejemplo la orientación este se considera $\psi = -90^\circ$, mientras que para la orientación oeste, $\psi = 90^\circ$.

La inclinación viene definida por el ángulo β (para el módulo) y por la altura solar α o su complementario θ_z , (ángulo cenital) para el sol.



En la siguiente figura se visualiza la trayectoria aparente del sol en relación a una instalación solar situada en la cubierta de un edificio en días determinados del año (solsticios de verano e invierno y equinoccios de primavera y otoño). Los demás días del año el sol recorre trayectorias intermedias entre las representadas. No es difícil calcular la posición del sol en cualquier lugar en cualquier momento y también el ángulo de incidencia con cualquier plano.

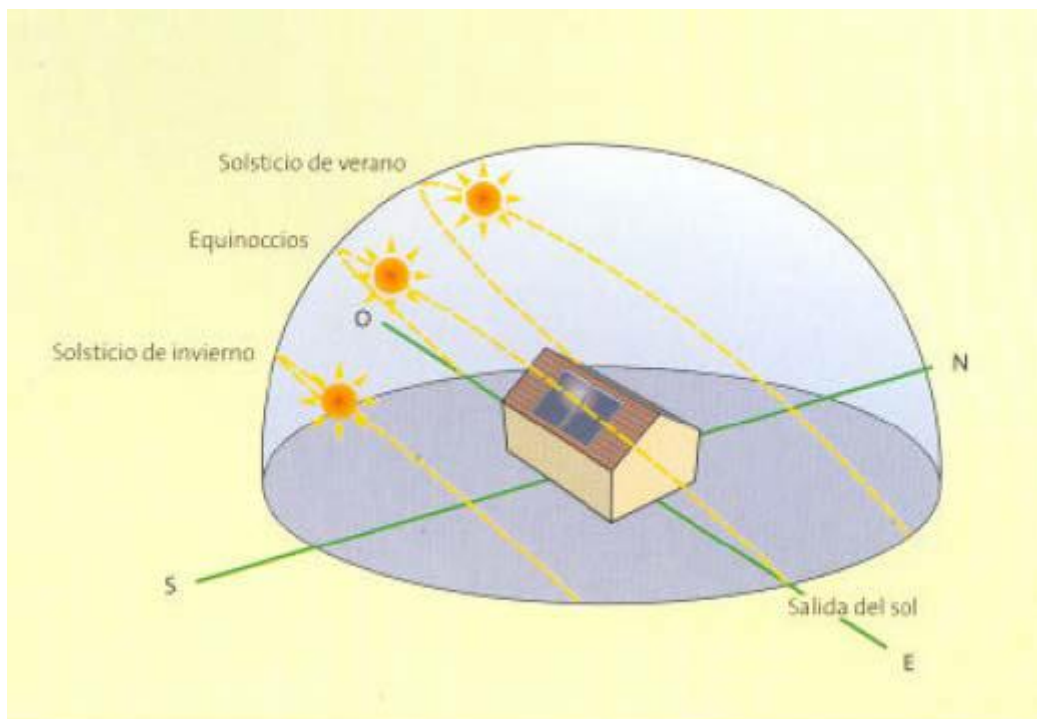


Figura 4.18: Posición del sol en los días de cambio de estación



4.5.3.- RECORRIDO ÓPTICO DE LA RADIACIÓN SOLAR

Cuanto más perpendicular se encuentra el sol con respecto a la superficie terrestre (menor valor del ángulo cenital) menor es el camino que recorre la radiación solar a través de la atmósfera. Por el contrario para ángulos cenitales mayores (menor altura solar) el camino a recorrer por la radiación solar en la atmósfera es mayor, lo que implica que la intensidad de la radiación solar que llega a la superficie terrestre es menor.

Se define la masa de aire (AM), como el cociente entre el recorrido óptico de un rayo solar y el correspondiente a la normal a la superficie terrestre (ángulo cenital cero).

Para $a= 90^\circ$, $AM = 1$, que es el valor mínimo de AM y se corresponde con la situación del sol en el cenit (vertical del observador).

En la figura adjunta se tiene la altura solar y su correspondiente valor de AM, de acuerdo con la fórmula anterior. El valor de $AM = 1$ (sol en el cenit) no se da ningún día del año en nuestras latitudes. La radiación solar en el espacio exterior, es decir sin atravesar la atmósfera terrestre, supone $AM=0$.

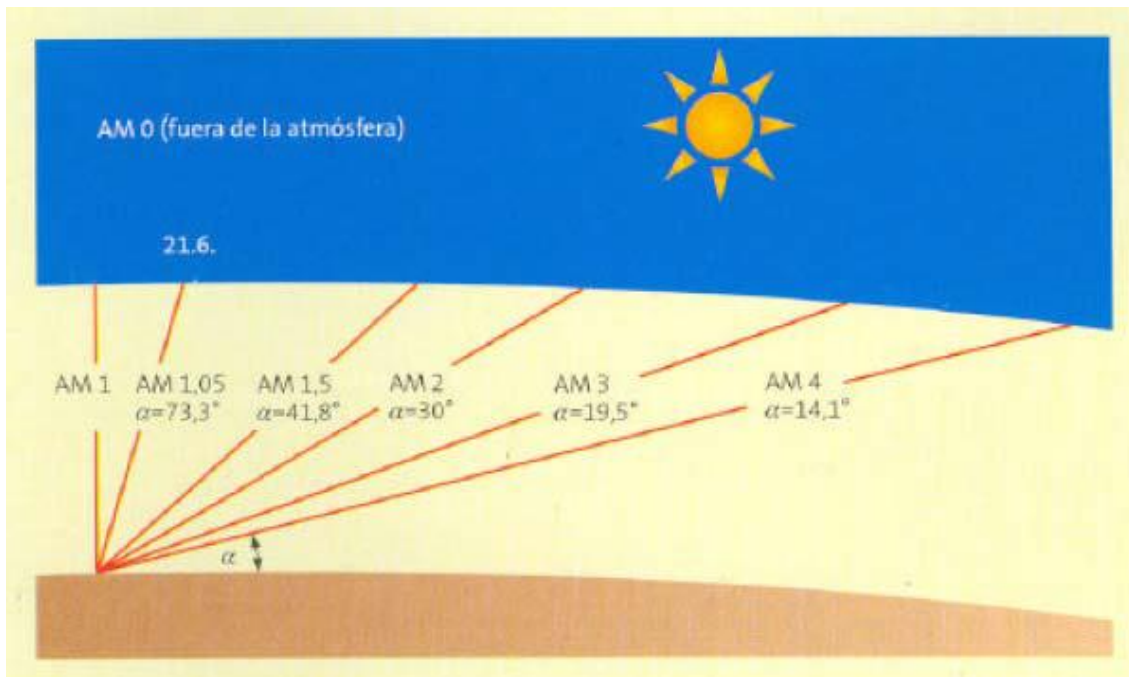


Figura 4.19: Altura solar y valor de AM correspondiente según la posición del sol

4.5.4.- IRRADIANCIA EN SUPERFICIES INCLINADAS

La radiación solar en una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar es siempre mayor que en la misma superficie colocada en cualquier otra posición. Al variar el azimut y la altura solar a lo largo del día y del año, el ángulo de incidencia de radiación óptimo en una superficie dada no es constante. La situación óptima se daría en un tejado cuya inclinación y orientación variara constantemente. Lo normal, sin embargo, es que la superficie sea fija.

Para considerar si una determinada superficie ya existente es apta para su uso solar, es necesario conocer la radiación solar incidente sobre dicha superficie.



En la figura se muestra un ejemplo de gráfico para Sevilla, donde se ha calculado la radiación solar de un año sobre una superficie cualquiera dependiendo del azimut y del ángulo de inclinación como porcentaje respecto del máximo.

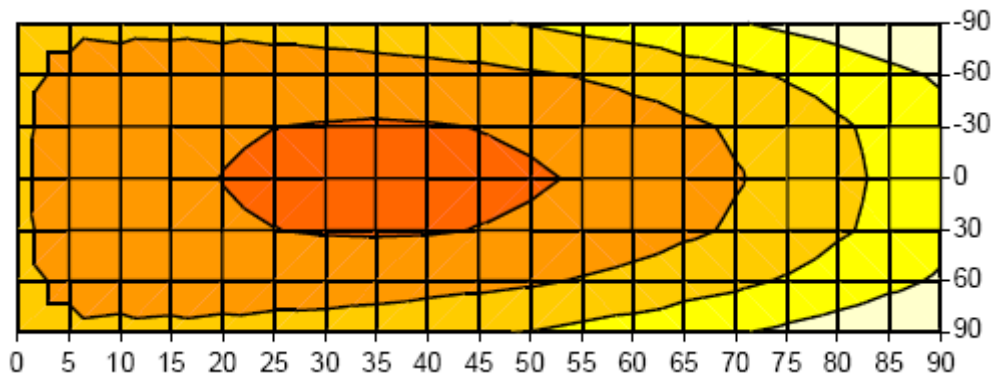


Figura 4.20: Gráfico de la variación energética en función del azimut y la altura solar

Dado que no se mide la radiación solar en todas las superficies inclinadas que son posibles para colocar una instalación solar se han establecido diferentes sistemas de cálculo que permiten obtener el valor de la irradiación sobre una superficie inclinada con cualquier orientación e inclinación en periodos de tiempo definidos, normalmente una hora o un día representativos de un periodo de tiempo mayor, habitualmente un mes.



4.5.5.- HORAS DE SOL PICO

En la tecnología fotovoltaica se emplea un concepto relacionado con la radiación solar que conviene explicar someramente. Se trata de las horas de sol pico. Se puede definir como número de horas de un día con una irradiancia ficticia de 1000 W/m² que tendría la misma irradiación total que la real de ese día. Con esa definición, si se tiene la irradiación de un determinado día, y se divide por 1000 W/m², se tienen las horas de sol pico.

Hay un caso singular particularmente interesante: Cuando la irradiación se expresa en kWh/m² y se divide por los citados 1000 W/m² el resultado es obviamente el mismo número en el que estaba expresada la irradiación.

Por ejemplo:

$$HSP = 5 \text{ kWh/m}^2 / 1000 \text{ W/m}^2 = 5$$

Así pues, una tabla o mapa de radiación expresada en kWh/m² sirve como tabla o mapa de horas de sol pico.

4.5.6.- EL MOVIMIENTO SOLAR

Sabemos que el sol sale por el este, se pone por el oeste y se eleva más o menos, dependiendo de la estación en la que nos encontremos. Hace mucho tiempo se pensaba que el Sol se movía, pero en la actualidad se sabe que ese movimiento aparente es



debido al movimiento de la Tierra, girando una vez cada 24 horas. Pero para estudiar éste fenómeno, vamos a suponer que el elemento que se mantiene inmóvil es la Tierra, y es el Sol el que gira a su alrededor.

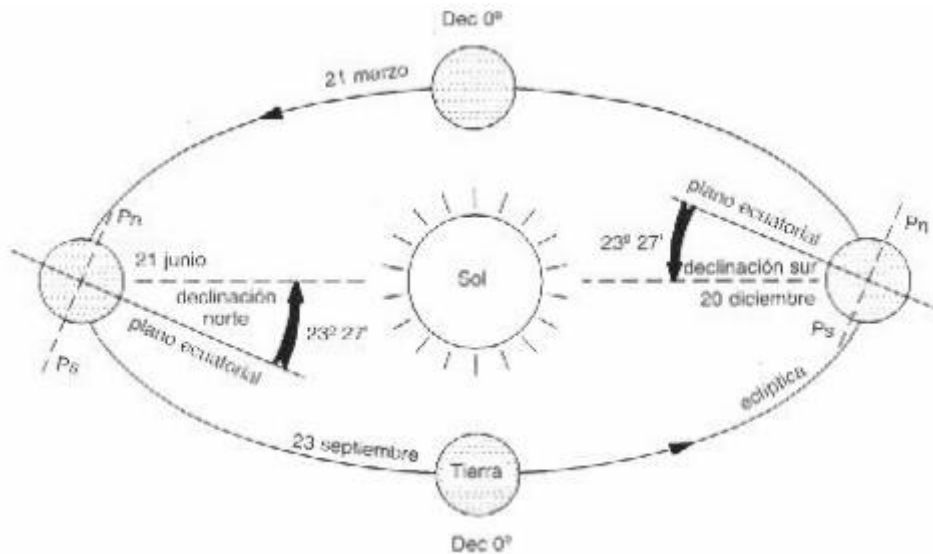


Figura 4.21: Movimiento de translación de la tierra

La Tierra se mueve en una órbita en forma de elipse alrededor del Sol. El eje de rotación de la Tierra forma un ángulo de $23,5^\circ$ con la normal al plano de la elipse, y es el responsable de la duración del día y de la noche en las distintas estaciones del año.

En la siguiente figura se muestra las posiciones de la Tierra en sus puntos extremos (solsticio de verano e invierno). En España, tenemos mucho más tiempo de Sol en junio que en diciembre, ya que ilumina el hemisferio norte mucho mejor. En el hemisferio sur, sería al revés.

En el polo norte, el día del equinoccio de primavera, el sol girará justo sobre el horizonte, y a medida el ángulo entre el eje de rotación y los rayos solares de va



haciendo menor, el sol se mantendrá por encima del horizonte durante todo el día hasta que en el día 21 de junio alcanza una altura máxima sobre el horizonte de $23,5^\circ$, empezando a disminuir nuevamente hasta que se vuelve a esconder por el horizonte en el equinoccio de invierno. El resultado conocido por todos es que en los polos hay un periodo de seis meses donde no se pone nunca el sol, y un periodo equivalente donde el sol nunca sale y es de noche continuamente.

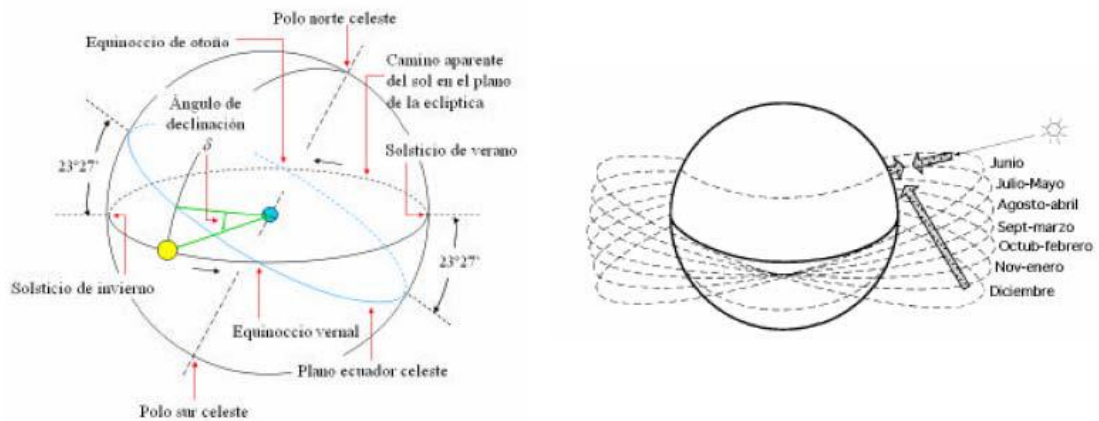


Figura 4.22: Movimiento solar en la bóveda celeste

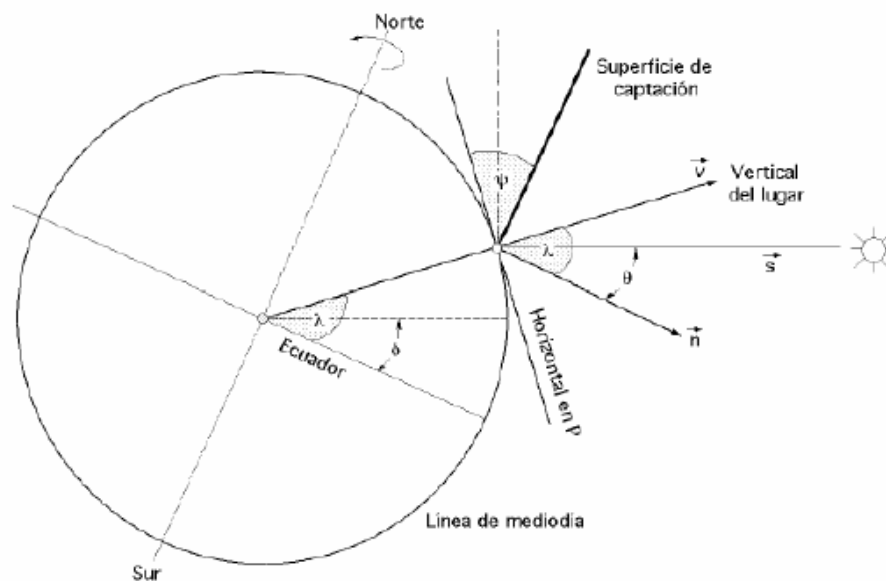


Figura 4.23: Situación espacial de los diferentes ángulos



El equinoccio es cuando tenemos igual tiempo de oscuridad que de luz, y suele ser el 21 de marzo (equinoccio de primavera), y el 23 septiembre (equinoccio de otoño).

En el solsticio de verano tenemos el día más largo, que corresponde al 21 de junio, mientras que el día de menor duración es el 22 de diciembre.

4.5.7.- CÁLCULO DE LAS SOMBRAS

Para conocer cuando se produce sombreado temporal es necesario analizar las posibilidades de nieve, polvo, caída de hojas, etc... en función del entorno de la instalación. Sin embargo, los otros dos tipos de sombras se pueden conocer con detalle, es decir, qué días y a que horas se puede producir la sombra. En este apartado se explica un procedimiento para calcular estos dos tipos de sombras.

La sombra se suele determinar en relación a un punto de la instalación, por lo general el punto medio del generador fotovoltaico y en función del contorno de los posibles obstáculos entre el sol y la instalación. En el caso de grandes instalaciones este análisis se realiza para varios puntos del generador.

El procedimiento consiste en analizar el contorno de los posibles obstáculos entre el sol y la instalación. Esto se puede realizar con:

- Un analizador de sombras (fotográficamente o a través de una cámara digital y un software)



- Un diagrama de trayectorias solares en una lámina.
- Con un plano de la situación y un diagrama de trayectorias solares.

En un plano y con un diagrama de trayectorias solares se obtienen las distancias y medidas de las sombras arrojadas por los obstáculos. Con esos datos se determinan, como se indica continuación, los ángulos azimut y la altura solar.

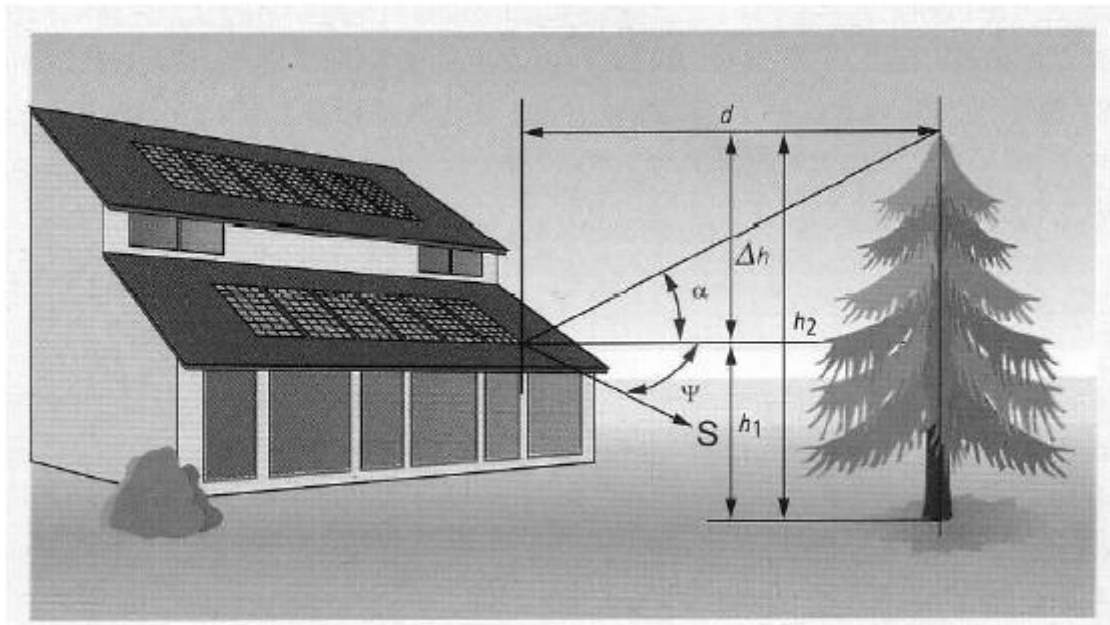


Figura 4.24: Determinación de la altura solar y del azimut de un obstáculo

La altura solar α se calcula a partir de la diferencia entre la altura de la instalación fotovoltaica h_1 , la altura del objeto que hace sombra h_2 , y de su distancia de separación d .

$$\tan(\alpha) = \frac{h_2 - h_1}{d} \rightarrow \alpha = \arctan \frac{\Delta h}{d}$$



La determinación de la altura solar se realiza para todos los obstáculos de los alrededores de la instalación solar, para lo cual se deben conocer tanto la altura como la distancia al punto de observación. El cálculo del azimut del obstáculo se puede obtener directamente del plano de situación o de un esquema.

La determinación de la altura solar y del azimut de los objetos también se puede obtener con un analizador de sombras (con una cámara de fotos adecuadas, o cámara digital y software).

También es suficiente un diagrama de trayectorias solares. Éste se copia en una transparencia y se coloca de forma semicircular. El observador, colocado en el punto de visión de la instalación, observa el objeto a través del diagrama de forma que puede leer directamente en él la altura solar y el azimut y anotarlos.

En el caso de querer abarcar un ángulo sólido mayor puede ser muy útil el empleo de una lente de gran angular como sería el caso, por ejemplo, del utilizado en la mirilla de una puerta.

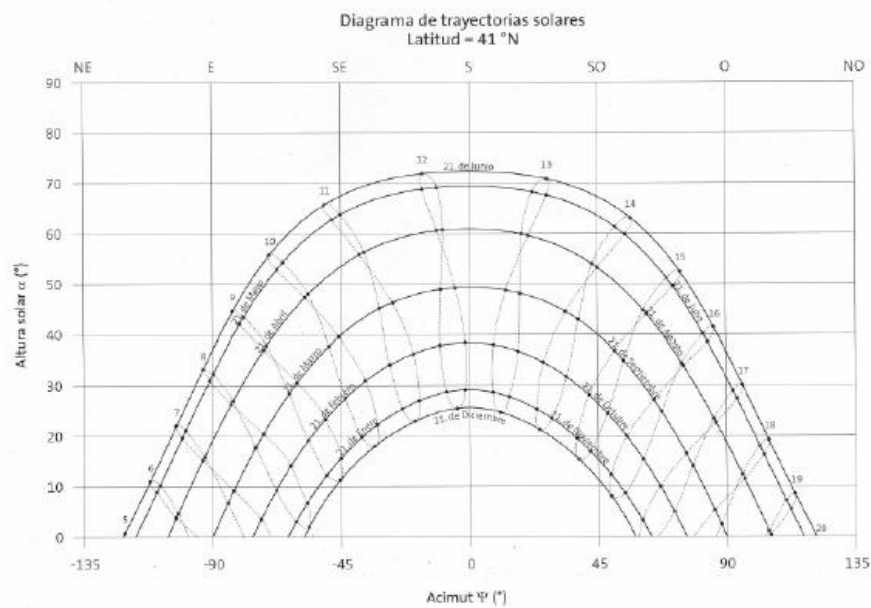
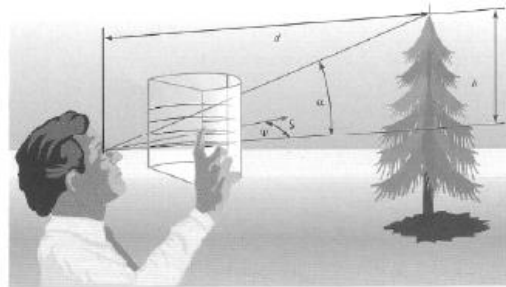


Figura 4.25: Diagrama de las trayectorias solares y método de utilización

Con objeto de cuantificar lo intensa que es la sombra, para el caso de árboles, se indican unos coeficientes de transmisión de la radiación solar a través del árbol:

Para árboles de hoja de aguja: $t = 0,30$

Para árboles de hoja ancha: $t = 0,64$ (invierno) y $t = 0,23$ (verano)

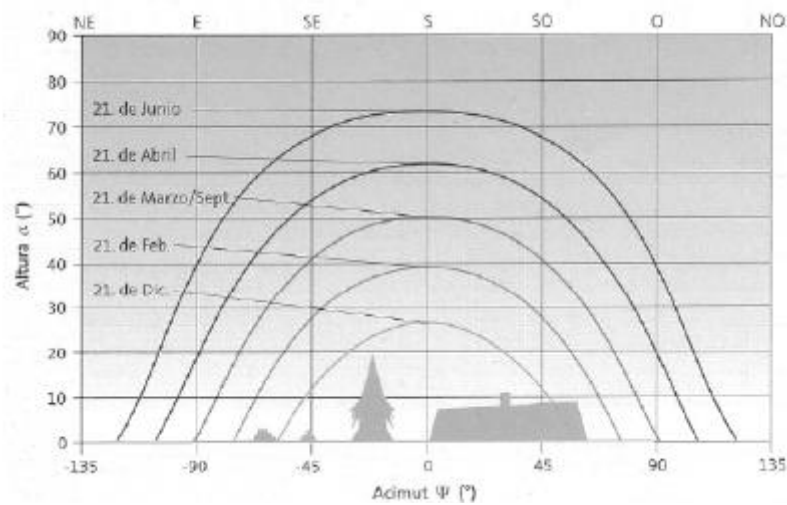


Figura 4.26: Resultado del método del diagrama de trayectorias solares

Sobre dicho diagrama se puede observar, en qué meses se van a producir sombras. En el ejemplo presentado se observa que la cubierta sólo estará sombreada desde el mes de noviembre hasta el mes de enero durante la tarde. A partir de unos días antes del 21 de febrero no hay ningún tipo de sombras. En el periodo de marzo a octubre (inclusive) no se tiene ninguna sombra.

Se puede realizar una valoración más extensa del diagrama gráficamente, numéricamente o de manera más sencilla mediante un software. La mayoría de los programas de simulación calculan la disminución de la radiación incidente, y a partir de éstas, las pérdidas de producción. Para ello se proporciona el contorno de la sombra en un punto del generador fotovoltaico, generalmente el punto medio. La exactitud es en muchos casos suficiente.

La geometría del generador y el conexionado de los módulos, se tiene en cuenta únicamente en programas de simulación más sofisticados. Si no se usa un software se necesitan los valores de radiación para cada uno de los meses en el lugar de la



instalación. De aquí se puede estimar para cada uno de los meses las pérdidas de radiación a partir del porcentaje de sombras obtenido en el diagrama de trayectorias solares.

4.5.7.1.- ALTURA SOLAR α

Si analizamos el movimiento y el valor de la altura solar a lo largo del año, se observa que:

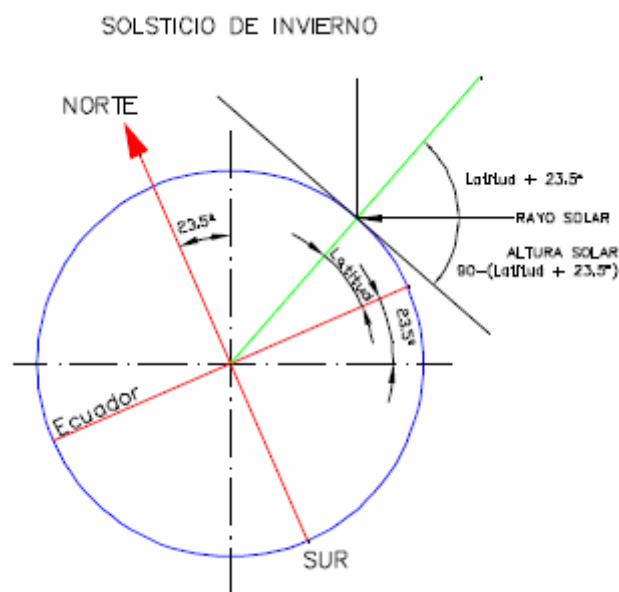


Figura 4.27: Análisis del valor de la altura solar el día más favorable del año

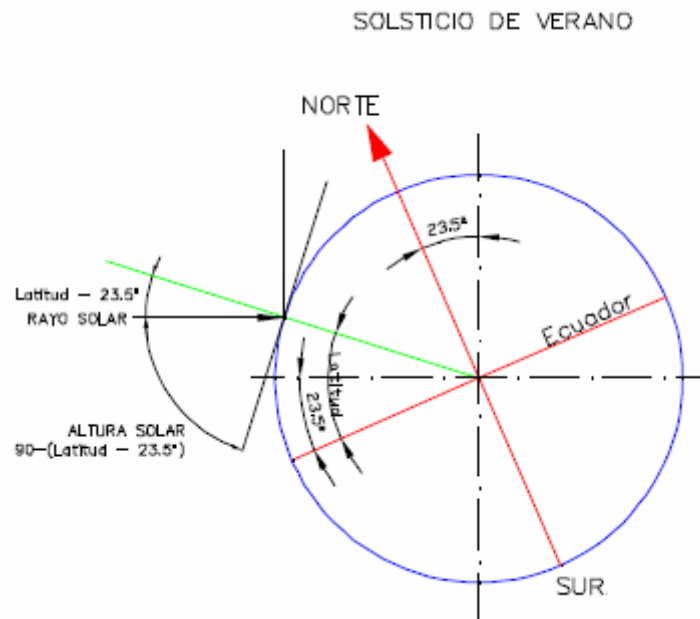


Figura 4.28: Análisis del valor de la altura solar el día más favorable del año

	Latitud	Declinación	Altura solar
Invierno	40	23,5	$90-(40+23,5)=26,5^\circ$
Primavera		0	$90-40=50^\circ$
Verano		23,5	$90-(40-23,5)=73,5^\circ$
Otoño		0	$90-40=50^\circ$

Tabla 4.6: Datos solares

Como conclusión de los valores obtenidos en la tabla, podemos decir que la peor situación, es decir, el momento en que la posición del sol está más baja y además es cuando producirá la sombra más larga de todo el año, es el solsticio de invierno, cuyo rayo solar tiene una inclinación con respecto a la horizontal de $26,5^\circ$.



A partir de entonces, la altura solar va aumentando a medida que avanza los días y en consecuencia la sombra se hace más pequeña. Por éste motivo para calcular la separación que se deberá dejar entre las filas de paneles se tienen que calcular para una altura solar $\alpha = 26^\circ$.

Ángulo de inclinación de los módulos

Radiación Global Diaria sobre superficie inclinada en MJ/m ² ·día en España (fuente: Suntechnics)													
Orientación SUR													
Inclin.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
0	9,9	13,4	16,1	20,0	24,7	25,6	25,5	24,2	18,9	15,0	11,3	10,0	17,9
5	9,9	13,4	16,1	20,0	24,7	25,6	25,5	24,2	18,9	15,0	11,3	10,0	17,9
10	11,1	14,3	16,8	20,6	24,5	25,4	25,7	24,4	20,1	16,5	13,2	11,8	18,7
15	12,0	15,0	17,2	20,4	23,3	24,2	24,5	23,7	20,4	17,1	14,1	12,7	18,7
20	12,3	15,4	17,6	20,9	23,9	24,8	25,1	24,3	20,9	17,5	14,4	13,0	19,2
25	12,9	15,8	17,9	20,4	23,3	23,3	24,2	24,2	20,8	17,9	15,0	14,2	19,2
30	13,0	15,9	18,0	20,5	23,4	23,4	24,3	24,3	20,9	18,0	15,1	14,2	19,3
35	13,5	16,3	17,9	20,0	22,4	22,0	22,9	23,3	20,8	18,4	15,6	14,8	19,0
40	13,5	16,3	17,9	20,0	22,4	22,0	22,9	23,3	20,8	18,4	15,6	14,8	19,0
45	14,1	16,3	17,4	19,1	20,6	20,2	20,7	21,9	20,3	18,4	15,6	15,3	18,3
50	14,1	16,3	17,4	19,1	20,6	20,2	20,7	21,9	20,3	18,4	15,6	15,3	18,3
60	13,4	16,2	16,9	17,8	18,6	18,3	18,5	20,1	19,3	17,7	15,5	15,2	17,3
70	11,3	12,7	12,6	11,9	10,9	9,8	10,1	12,6	13,6	13,8	13,3	13,8	12,2
80	11,3	12,7	12,6	11,9	10,9	9,8	10,1	12,6	13,6	13,8	13,3	13,8	12,2
90	11,3	12,7	12,6	11,9	10,9	9,8	10,1	12,6	13,6	13,8	13,3	13,8	12,2

Tabla 4.7: Radiación global diaria sobre superficie inclinada

Como se observa claramente en la tabla, el ángulo de inclinación de panel que anualmente es capaz de captar más radiación por metro cuadrado es una de 30° .



4.5.7.2.- SEPARACIÓN ENTRE FILAS

Para entender mejor los cálculos que determinan la separación adecuada que debe existir entre filas para evitar que se generen sombras, la siguiente figura nos será bastante fácil de entender.

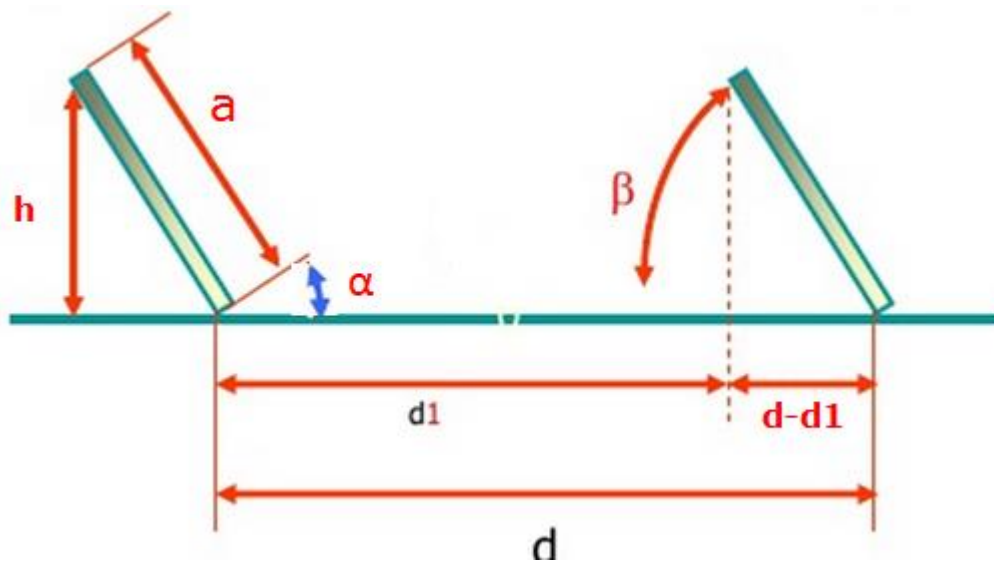


Figura 4.29: Distancia entre filas para evitar sombras

Donde:

a : ancho del modulo

d : distancia entre filas

d_1 : distancia entre paneles

h : altura de la estructura

β : inclinación de módulos

α : ángulo de altura



Por lo tanto, con las medidas de los módulos FV que son de 1956x992 mm. Aunque tomaremos como medidas más simples una dimensión de 2000x1000mm.

Tendremos:

$$h = a \cdot \operatorname{sen} \beta = 2 \cdot \operatorname{sen} 30 = 1 \text{ m}$$

$$d1 = h / \operatorname{tg} \alpha = 1 / \operatorname{tg} 26 = 2,05 \text{ m}$$

$$d = a \cdot \operatorname{cos} \beta + d1 = 4 \cdot \operatorname{cos} 30 + 3,61 = 3,78 \text{ m}$$

Para nuestro gimnasio bastaría con una hilera de paneles que constara con dos módulos en paralelo y 18 módulos en serie, el problema aparece al colocar los módulos en serie ya que ocuparían una longitud de 35 m aproximadamente y nuestra azotea tiene una longitud menos a los 35m. Por esta razón se colocaran tres hileras conectadas en serie para obtener mayor voltaje y menores perdidas en los conductores.

4.5.8.- CÁLCULO DE PÉRDIDAS

Cualquier sistema de producción energética está sometido a una serie de pérdidas en las diferentes etapas de transformación y/o transporte de la energía que afectan al global de la energía producida.



Evaluarlas y limitarlas forma parte del diseño adecuado de la instalación fotovoltaica. Se podrán distinguir el siguiente conjunto de pérdidas:

❖ Pérdidas por tolerancia respecto a valores nominales	4.5%
❖ Pérdidas por sombreado.	2%
❖ Pérdidas por temperatura.	3,5%
❖ Dispersión del módulo FV.	3 %
❖ Pérdidas en el cableado.	1,25%
❖ Pérdidas por polvo y suciedad.	2,5%
❖ Pérdidas en el inversor.	6,7%
TOTAL DE PÉRDIDAS	23,4%

4.5.8.1.- PÉRDIDAS POR SOMBREADO

Dado que la instalación se encuentra ubicada en campo abierto, las únicas pérdidas posibles son las propias, que pueden estar producidas por:

- Otros paneles solares
- Casetas de transformadores
- Apoyos de la línea aérea
- Vallado perimetral

Dado que se dispone de espacio suficiente, la caseta del centro de transformación, el vallado perimetral que pueden provocar sombras, se ubicarán a distancia suficiente para



que no causen efecto de sombreado.

Los únicos componentes presentes en la azotea que producirán el efecto negativo de las sombras, son los propios paneles solares entre ellos mismos y algunos árboles que pueda haber en el jardín.

Con esta configuración, la sombra de un seguidor se proyecta sobre el de atrás en un rango de horas en los que los valores de radiación son tan pequeños que el propio inversor ya ha cortado la entrada de corriente por no hacer el seguimiento del punto MPP.

Como podemos ver en otra simulación realizada con PVsys, los límites de sombreado para las distancias seleccionadas permiten descartar cualquier pérdida por sombreado.

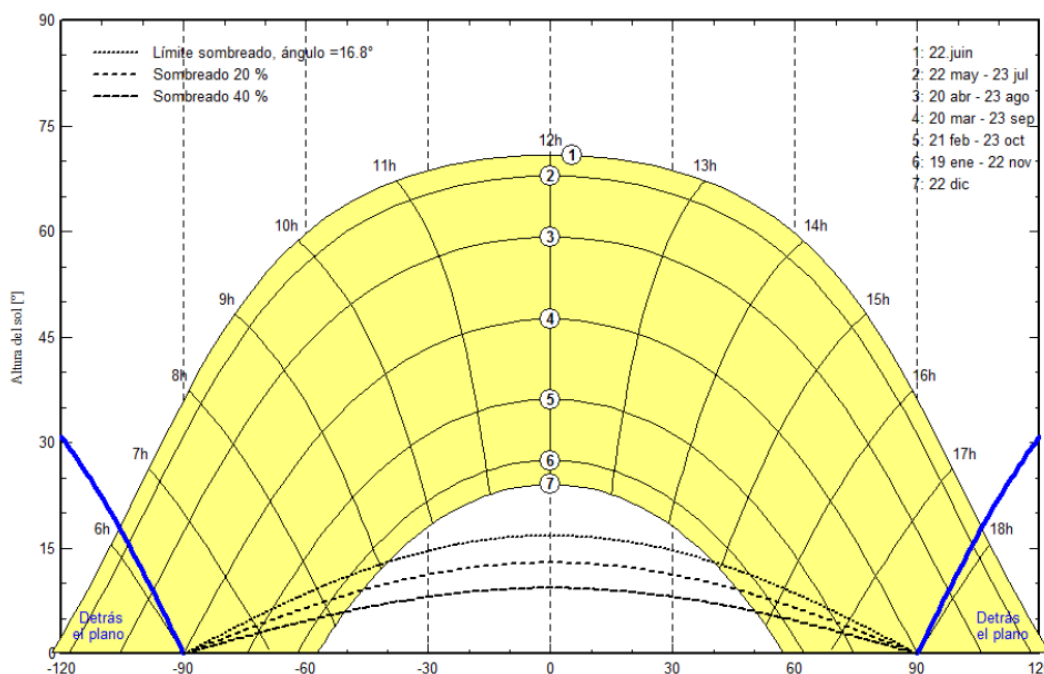


Figura 4.30: Límites de sombreado para las distancias seleccionadas



4.5.8.2.- PÉRDIDAS POR TEMPERATURA

Los efectos de la temperatura no son únicamente sobre los parámetros eléctricos de tensiones y corrientes, que tanto afectan al dimensionado del campo solar.

Lejos de ello, la temperatura influye decisivamente sobre la potencia que puede suministrar el módulo fotovoltaico a razón de lo indicado por el fabricante.

Módulo Fotovoltaico	
Coeficiente T ^a potencia MPP	- 0,47 % / °C
TONC	47°C ± 2°C

Tabla 4.8: Influencia de la temperatura en los módulos fotovoltaicos

Los datos de las temperaturas los obtenemos de la Guía resumida del Clima en España proporcionada por la AEMET (Agencia Estatal de la Meteorología).

Cálculo Temperatura de la célula

$$T_{\text{célula}} = T_{\text{ambiente}} + G \cdot \left(\frac{T_{\text{ONC}} - 20}{800} \right)$$

Donde:

T_{CELULA}: T^a del módulo (°C)

T_{AMBIENTE}: Temperatura ambiente (°C)



Esta temperatura de célula ha permitido calcular la radiación efectiva recibida por la placa a lo largo del año, la cual se obtiene mediante la siguiente ecuación, tomando las ponderaciones mensuales de dicha radiación junto con las recibidas por cada módulo solar sin aplicar el efecto de la temperatura, podremos evaluar las pérdidas de potencia por la aplicación del coeficiente anteriormente mostrado.

Cálculo de Radiación efectiva para planos inclinados

$$G_{\text{efectiva}} = G_{\text{dm}}(\alpha, \beta) \cdot \left(1 + \frac{\Delta G}{100}\right)$$

$$\Delta G = \Delta P_{\text{MPP}} \cdot (T_{\text{célula}} - 25)$$

Donde:

G_{efectiva} : Radiación efectiva media de cada mes para su inclinación óptima (W/m²)

$G_{\text{dm}}(\alpha, \beta)$: Radiación media de cada mes para su inclinación óptima (W/m²)

ΔP_{MPP} : Coeficiente de T^a Potencia MPP (% / °C)

$T_{\text{célula}}$: Temperatura del módulo (°C)

Los datos de irradiación han sido obtenidos del EUMETSAT-CMSAF (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) para obtener los valores de irradiación e inclinación óptima. La Radiación media mensual para la inclinación óptima ha sido realizada mediante una media ponderada dado que el peso específico de cada valor no es el mismo para cada hora del día.



Mes	T ^a máx mas alta °C	T ^a Célula °C	G _{dm} (0) (W/m ²)	G _{dm} (α,β) (W/m ²)	G _{efectiva} (W/m ²)	Pérdidas %
enero	13,1	15,45	70,82	165,8	173,25	-4,30%
febrero	16,6	20,11	108,32	223,74	228,88	-2,25%
marzo	20,2	25,53	164,14	298,04	297,29	0,25%
abril	20,4	26,99	210,38	327	323,94	0,95%
mayo	25,1	33	242,04	355,59	342,22	3,91%
junio	31,4	40,26	277,87	409,88	380,47	7,73%
julio	33,4	42,78	293,29	457,06	418,86	9,12%
agosto	34,3	42,54	247,46	385,3	353,52	8,99%
septiembre	29,4	35,72	194,14	350,01	332,37	5,31%
octubre	23,5	27,69	126,65	252,04	248,85	1,28%
noviembre	17	19,56	79,99	178,9	183,47	-2,49%
diciembre	12,6	14,65	63,74	174,99	183,5	-4,64%

Tabla 4.9: Datos de irradiación han sido obtenidos del EUMETSAT-CMSAF



4.5.8.3.- PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

Las pérdidas por desacoplo o dispersión de parámetros del inversor provienen del hecho obvio de que no es posible fabricar todos los módulos perfectamente iguales, por lo que sufren ligeras variaciones sobre los valores de catálogo.

Suelen oscilar entre un 3 y un 6% según la tolerancia de los módulos, lo que más importante es que estén acotadas y documentadas.

En el caso de los módulos Eastech Solar ESF-300MA, el fabricante nos indica que esta tolerancia es de un 3%

4.5.8.4.- PÉRDIDAS EN EL CABLEADO

Tanto en los cables de CC como en los de CA se produce una pérdida de potencia que depende en gran medida de la longitud del circuito. Estas se calcularán para la máxima corriente posible (máxima radiación). Se calculan de forma diferente para los circuitos CC y CA.



Pérdidas en circuitos CC

Se evalúan con la ecuación:

$$\Delta P_{cc} = I^2 \cdot R$$

Donde:

ΔP_{cc} : Pérdidas (W)

R: Resistencia del tramo del cable (ida y vuelta) (Ω)

I: Intensidad que circula (A)

En nuestro caso las pérdidas en el circuito de CC van a ser mínimas porque los inversores se encuentran al pie de cada seguidor solar.

L[m]	S[mm ²]	I _{max} [A]	Resistencia[Ω]	Pérdidas[W]
38,5	4	17,3	0,3512	105,11

Tabla 4.10: Perdidas del cableado cc

Tras analizar los datos anteriores podemos ver que las pérdidas son relativamente pequeñas. Tenemos un 0,95% de pérdidas.



Pérdidas en circuitos de CA

Se evalúan con la ecuación:

$$P_{CA} = 3 \cdot R \cdot I^2 \cdot L$$

Donde:

P_{CA} : Pérdidas (W)

R: Resistencia del cableado (Ω/km)

I: Intensidad que circula (A)

L: Longitud del cableado (km)

Las pérdidas en corriente alterna no se han calculado, teniendo en cuenta que solo tomaríamos la distancia hasta el cuadro general de protecciones de la red y serían muy pequeñas al tener una longitud de cable tan pequeña, en torno al 0,25%.



4.6.- ENERGÍA GENERADA POR LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

Nuestra instalación está formada por 2 paneles el paralelo y 18 paneles en serie lo que hace un total 36 paneles.

Cada panel tiene una potencia de 300 Wp pero como se indicó en el apartado 4.4.1, tenemos unas pérdidas que minimizan esta potencia. El sistema tiene un rendimiento global del 76,6% teóricamente pero para facilitar los cálculos y sabiendo que los paneles con el paso de los años van perdiendo rendimiento lo fijaremos en el 75%.

Por otra parte dependiendo del día tendremos más o menos horas de solo por lo que haremos una media de todo el año ya que nuestros cálculos se basan en periodos anuales. Del apartado 2.2, tenemos que las horas del sol del día 21 de diciembre son 9:35h y las del día 21 de junio 14:45h, por lo tanto tenemos una media de horas diarias de sol anuales de 12:10 h.

De estas 12:10 horas no todas son aprovechables ya que en la salida y en la puesta de sol los rayos inciden con ángulos que generan una energía muy pequeña. Teniendo en cuenta estas pautas consideraremos que las horas de sol aprovechables serán de media 9h. De donde obtenemos la energía diaria producida:



$$E=N \cdot P \cdot T \cdot \eta$$

Donde

E: energía producida en W/h

N: número de paneles fotovoltaicos

P: potencia de cada panel

T: tiempo de funcionamiento en h

η : rendimiento

$$E= 2 \cdot 18 \cdot 300 \cdot 9 \cdot 0,75 = 72900 \text{ Wh/día}$$

- La energía producida mensual sería de 2187 kWh/mes.
- La energía producida anual sería de 26244 kWh/año.



4.7.- ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO

Según el EU Energy Institute “*la gran mayoría de los paneles solares producidos en los últimos 10 años tendrán una vida útil de aproximadamente 30 años, a diferencia de la esperanza de vida de 20 años que se había estimado anteriormente. Los nuevos paneles pueden alcanzar hasta los 40 años de vida*”

Para nuestros cálculos tomaremos 20 años de vida útil para tener mayor facilidad de cálculo, ya que a la inversión de las bicicletas de spinning se le ha dado el mismo periodo de vida útil.

4.7.1.- COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN

- Panels fotovoltaicos
- Inversor
- Cableado
- Estructura de paneles
- Caja de protecciones



4.7.2.- INVERSIÓN INICIAL

El monto de la inversión inicial dependerá de la cantidad de paneles que se desee instalar y de la cantidad de inversores. En nuestro caso tan solo contamos con un inversor de 10kW y de 36 paneles de 300Wp.

El coste de adquisición junto con el costo de la instalación se detalla en la siguiente tabla.

Presupuesto instalación fotovoltaica			
Descripción	Precio unitario	cantidad	Precio total
Módulo fotovoltaico EASTECH ESF 300-MA	249,80€	36 uds.	8992,8€
Inversor INGECON SUN SMART 10	1842,92€	1uds.	1842,92€
Conductor unipolar 16mm ²	1,60€/m	90 m.	144€
Conductor tripolar 25 mm ²	11,68€/m	10m	116,8€
Caja de protección	145,95€	1 ud.	145,95€
Estructuras de los paneles	97,20€	18 uds.	1749,6€
Instalación	8€/h	60h	480€
TOTAL			13471,87€

Tabla 4.11: Inversión fotovoltaica inicial

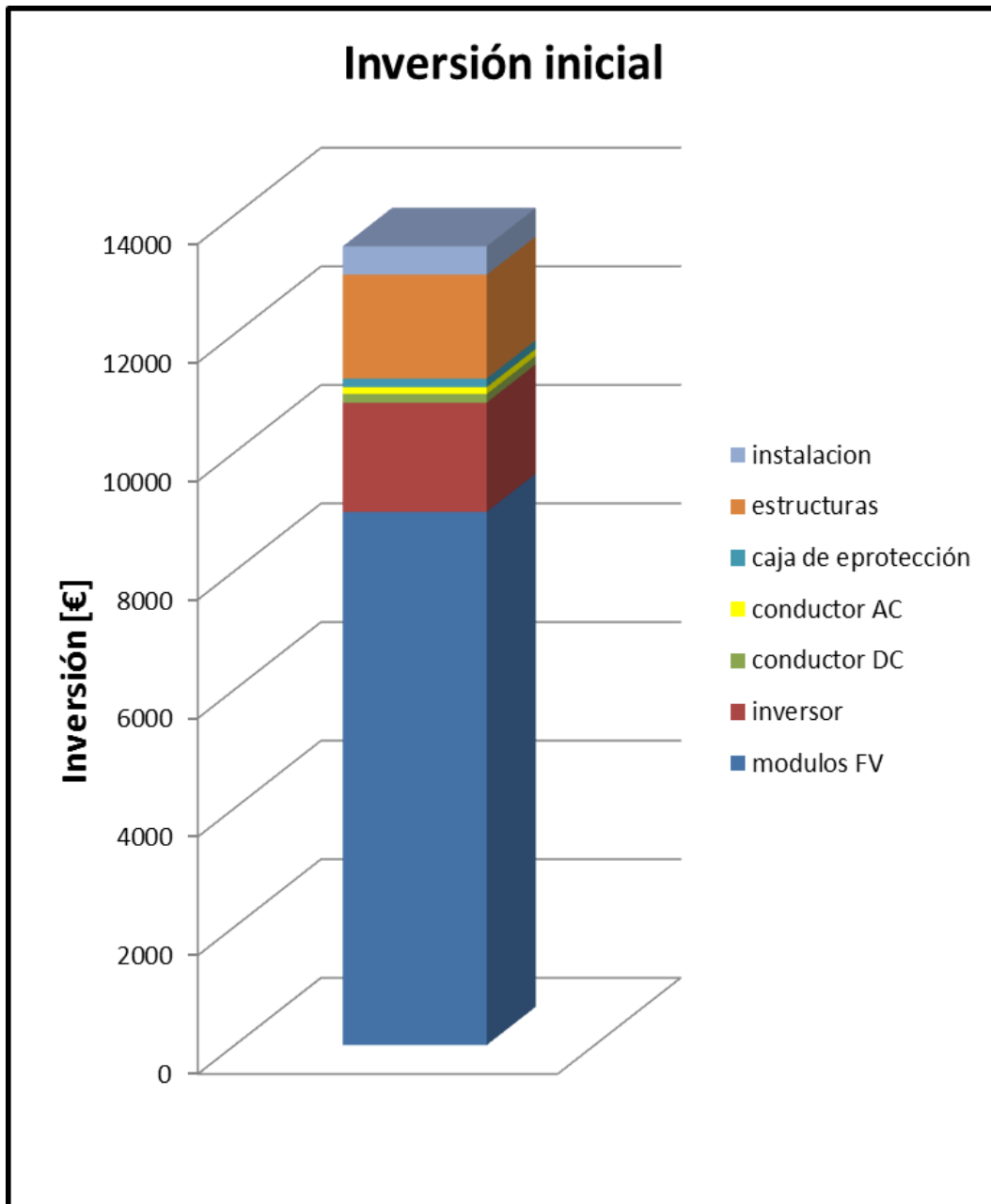


Figura 4.31: Inversión fotovoltaica inicial



4.7.3.- AHORRO ENERGÉTICO

Como ya se mencionó en la sección 2.4.1, actualmente no están operativas para todas las compañías las tarifas por discriminación horaria por lo que se tomará como base el precio de la energía de una tarifa sin discriminación horaria.

Se ha evaluado el precio de la energía de las diferentes compañías que hay en España para potencia contratadas de entre 10 y 15 kW y se ha obtenido un precio medio de 0,14 €/kWh.

Del apartado 4.6, tenemos que la energía producida en un día es de 72.900 Wh/día

Ahorro diario [€]= Energía generada [kWh] x precio unitario [€/kWh]

Ahorro diario= 72,9 kWh x 0,14 €/kWh = 10,21 €

Para el cálculo del ahorro mensual tomaremos 25 días al mes ya que los domingo el gimnasio no abre y no tendremos demanda de energía exceptuando las luces de emergencia que tienen un consumo muy pequeño comprándolo con la producción que tenemos con los paneles fotovoltaicos, por esta razón los domingos se desconectarán para evitar verter energía a la red y tener algún problema con la compañía eléctrica.

- **Ahorro mensual** = 10,21€/día x 25días = **255,15€/mes**
- **Ahorro anual** = 255,15€/mes x 12 meses=**3061,8 €/año**



4.7.4.- TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN

Para nuestro estudio tomaremos las mismas consideraciones que hemos tomado para el estudio de generación basada en bicicletas de spinning.

- Coste de la energía = 0,14 €/kWh.
- Vida útil de la instalación 20 años.
- Tasa de inflación para los próximos 20 años del 50%, teniendo 2% anual de crecimiento lineal.
- Tasa de interés de 5,8%.

Con estas premisas obtenemos:

- VAN= 29.168,9€
- TIR= 24,77%

A continuación se represente cual sería el tiempo de retorno de la inversión.



Figura 4.32: Tiempo de retorno de la inversión sin tener en cuenta reparaciones



En un segundo estudio, teniendo en cuenta reparaciones y averías se ha contado con que el 15% de lo producido será destinado a cubrir este tipo de problemas. En los primeros años el sistema tendrá menos averías pero se ha optado por un porcentaje medio.

- VAN= 24.473,45€
- TIR= 21,65%



Figura 4.33: Tiempo de retorno de la inversión teniendo en cuenta reparaciones

Como se puede observar el tiempo que se tarda en recuperar la inversión es aproximadamente una cuarta parte de la vida útil de la instalación, a priori parece que es una buena inversión ya que son tan solo 5 años y se produce un gran beneficio.



4.7.5.- TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN PARA UNAUMENTO DEL COSTE DE LA ELECTRICIDAD

Como ya se ha mencionado en la sección 3.5.5. el precio de la electricidad subirá con toda seguridad. Tomaremos un aumento del 10% en 20 años una vez descontada la inflación. Esto nos dará una subida media anual del 0,45%. Tenemos también en cuenta como es lógico un cierto porcentaje destinado a averías y reparaciones.

- VAN= 24.298,35 €
- TIR= 21,59%



Figura 4.34: Tiempo de retorno de la inversión teniendo en cuenta reparaciones y aumento del coste de la electricidad



Como podemos observar el tiempo de retorno es prácticamente el mismo la diferencia está en el beneficio obtenido tras los 20 años de vida útil del sistema, obtendríamos unos 5.000€ más de beneficio.

4.7.6.- TIEMPO DE RETORNO DE UNA FUTURA INVERSIÓN

Otro aspecto que puede resultar de interés es que cuando tengamos que cambiar la instalación algunos de los elementos de la instalación antigua pueden ser usados nuevamente, como es el caso de las estructuras de los paneles, lo que conlleva a que serán necesarias menos horas para la instalación de estos nuevos generadores fotovoltaicos. En este cálculo no hemos tenido en cuenta el aumento del precio de la electricidad.

Para la nueva inversión tendremos los siguientes costes:

Presupuesto instalación fotovoltaica			
Descripción	Precio unitario	cantidad	Precio total
Módulo fotovoltaico EASTECH ESF 300-MA	249,80€	36 uds.	8992,8€
Inversor INGECON SUN SMART 10	1842,92€	1uds.	1842,92€
Conductor unipolar 16mm ²	1,60€/m	90 m.	144€
Conductor tripolar 25 mm ²	11,68€/m	10m	116,8€
Caja de protección	145,95€	1 ud.	145,95€
Estructuras de los paneles	0€	18 uds.	0€
Instalación	8€/h	60h	320€
TOTAL			11562,27€

Tabla 4.12: Inversión transcurridos 20 años



- VAN= 26.208,35 €
- TIR= 25,08%

El tiempo de retorno que tendremos será:



Figura 4.35: Tiempo de retorno de una segunda inversión

Como podemos observar la inversión se amortiza casi en un año menos, lo que para futuros cambios de paneles habría que tener en cuenta. Esto se debe a que nos ahorramos colocar las estructuras de los paneles ya que estaban colocadas en la primera inversión ya que este tipo de material es muy duradero.



CAPÍTULO 5:

INSTALACIÓN

ACS



En primer lugar se mencionan una serie de consideraciones técnicas, una breve explicación de en qué consiste una instalación ACS y de cómo es la instalación ya existente en nuestro gimnasio.

En la siguiente sección se hace una descripción de los elementos que forman el sistema y su funcionamiento dentro del conjunto. También se explica cómo funciona la instalación en conjunto.

A continuación se habla sobre el sistema de acumulación auxiliar y de su función. También se explica el funcionamiento del regulador de temperatura de agua caliente.

Por último se presenta una ilustración de cómo quedaría el conjunto global para su mejor comprensión.



5.1.- CONSIDERACIONES PREVIAS

La producción de ACS engloba todos los elementos que forman parte de la instalación de captación de energía solar térmica (Captadores, elementos circuito primario, acumulador/es de ACS solar,...), el sistema de energía auxiliar y la red de distribución y recirculación de ACS.

La instalación de captación de energía solar térmica se conecta en serie con el sistema de energía auxiliar, de manera que la instalación de captación solar precalienta el agua de red hasta el nivel térmico posible y el sistema auxiliar termina de calentar el ACS a la temperatura deseada si fuera necesario.

Nuestro gimnasio ya contaba con una instalación de ACS por lo tanto sólo tendremos que hacer una pequeña modificación, que será incluir un acumulador ACS o termo que use la energía sobrante de las placas fotovoltaicas para calentar el agua a una temperatura mayor que la temperatura que puede alcanzar el agua a la salida del intercambiador.

La instalación de agua caliente sanitaria para el edificio se inicia en una derivación del colector de impulsión del grupo de presión de agua fría situado en la sala de máquinas con llave de corte a fin de poder independizar la instalación en caso de avería o necesidad, facilitando los trabajos de reparación y mantenimiento.



5.2.- BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ACS

La tipología de instalación adoptada es la de captación colectiva con acumulación centralizada y producción de energía auxiliar centralizada mediante termos eléctricos con la energía sobrante de las placas fotovoltaicas y caldera de gas natural si hiciera falta.

La energía calorífica absorbida por el sistema de captación es transmitida mediante unas bombas (algunos sistemas no tienen bombas y lo hacen por convección), y un circuito primario de tuberías hasta un intercambiador de placas externo. Aquí, un segundo circuito lleva el agua hasta los acumuladores de ACS, conectados en serie con el sistema de energía auxiliar formado por un acumulador auxiliar de ACS, calentado mediante resistencias con la electricidad sobrante de las placas solares. A la salida de este depósito con resistencias (termo eléctrico) se coloca el sistema de gas para calentar el agua.

El sistema de gas solo entraría en funcionamiento cuando el sistema de regulación de temperatura que se encarga de mantener la salida del agua a una temperatura constante lo conecte.

El sistema de regulación consta de dos entradas de agua, una caliente y una fría, controla las válvulas permitiendo más o menos entrada de agua fría o caliente, cuando detecte que el agua caliente que recibe está por debajo de la temperatura a la que está programado encenderá la caladera.



5.3.-INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN SOLAR TÉRMICA

5.3.1.- SISTEMA DE CAPTACIÓN

Está formado por los captadores solares térmicos, los cuales son los encargados de absorber la mayor parte de radiación solar posible y transmitírsela al fluido caloportador.

Los captadores son los encargados de absorber el máximo calor posible para poder así calentar el agua.

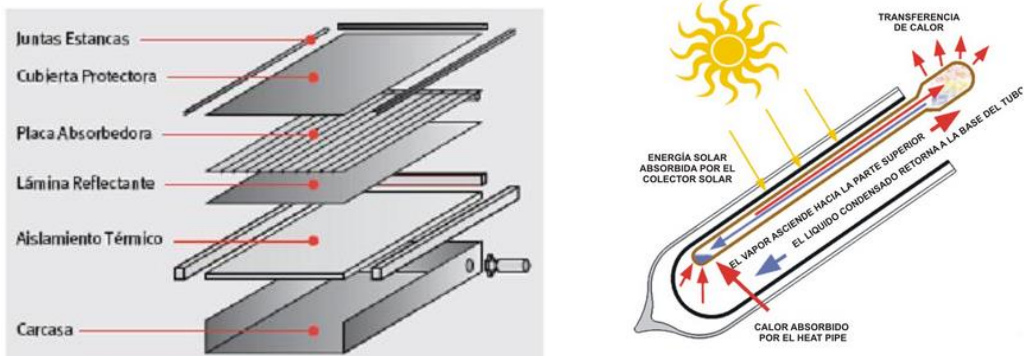


Figura 5.1: Captador solar



5.3.2.- CIRCUITO PRIMARIO

El circuito solar primario es la instalación que enlaza los captadores con los intercambiadores encargados de calentar la acumulación de ACS solar prevista. Esta instalación se realiza de manera que este resulte hidráulicamente equilibrado, mediante válvulas de equilibrado.

La recirculación del agua y la impulsión necesaria para vencer las pérdidas de carga del circuito cerrado se efectuará mediante un grupo de dos bombas (una de reserva), recirculando el fluido por el intercambiador y las placas solares. Estas bombas estarán montadas con válvulas de corte y válvulas de retención en sus salidas. Se colocara una válvula de equilibrado para confirmar y asegurar que la bomba de primario trabaja en el punto adecuado de su curva característica.

5.3.2.1.- VASO DE EXPANSIÓN

Toda instalación solar requiere de un vaso de expansión puesto que se trata de un circuito cerrado sometido a variaciones de temperatura, presión y volumen.

El dimensionado de este elemento depende del volumen de los paneles solares y el volumen total del circuito primario, de las temperaturas de trabajo, de la altura a la que trabaja en la instalación y la presión de tara de la válvula de seguridad. El tamaño del vaso de expansión se dimensiona para recoger el contenido de vapor que pueda formarse en el circuito primario y así no pueda salir ningún medio portador por las válvulas de seguridad.



El vaso de expansión se conecta en la aspiración de la bomba de recirculación del primario. Previa conexión del depósito de expansión al circuito primario se colocará un vaso amortiguador de temperatura con el objetivo de proteger la membrana del vaso de expansión de las altas temperaturas que se alcanzan en el circuito solar.

La presión mínima de funcionamiento en el vaso de expansión deberá elegirse de manera que, en cualquier punto del circuito y con cualquier régimen de funcionamiento, la presión existente sea mayor que la presión atmosférica o la presión de saturación del vapor del fluido a la máxima temperatura de funcionamiento de la bomba del primario, y siempre como mínimo una sobrepresión en los colectores en estado frío de 1,5 bar.

5.3.2.2.- AEREOTERMO

Se protege la instalación contra posibles sobrecalentamientos mediante un aereotermo situado en cubierta, preferentemente en un lugar sombreado. Estará preparado para instalarse en la intemperie.

Se dimensionará para una potencia mínima de 800 W/m² de área de captación, para una temperatura ambiental de 35 °C y un salto térmico del fluido calo-portador de 25 °C.



5.3.2.3.- SISTEMA DE LLENADO

El sistema de llenado consta de una bomba y un depósito de polietileno con una capacidad superior al volumen de la mezcla de agua y anticongelante para todo el circuito.

El llenado del circuito será manual.

EL juego de válvulas del sistema de llenado permitirá el vaciado manual de toda la instalación en caso de necesidad o avería.

5.3.2.4.- ELEMENTOS DE CONTROL

Se instala una sonda de presión, junto con un manómetro, en el circuito primario para detectar una posible fuga en el circuito debido a la actuación de alguna válvula de seguridad o alguna avería. El campo dispondrá de una sonda de temperatura a la salida de una batería de captadores.

La sonda de radiación se dispondrá en un lugar libre de sombras.

Se instalan junto a todas las sondas termostáticas, termómetros de lectura manual para comprobar la lectura de las sondas.

Se instalan válvulas de retención, filtros, manómetros con tomas y válvulas de corte en



todas las bombas del sistema.

Para un funcionamiento automático de la instalación solar se debe dotar dicha instalación de un sistema de seguridad que permita arrancar las bombas del primario cuando exista suficiente energía en las placas solares para ser empleada, y que pare las bombas cuando ya no exista el aporte solar suficiente.

La regulación del sistema se consigue gracias a una centralita de regulación para la instalación de ACS/solar y una centralita de regulación para la instalación de producción auxiliar de agua caliente que en base a la información suministrada por una serie de sondas, actúa convenientemente sobre los distintos elementos de la instalación para optimizar el funcionamiento de la instalación.

5.3.3.- SISTEMA DE INTERCAMBIO

Es el elemento que separa hidráulicamente el circuito primario (cargado de agua y anticongelante) del circuito secundario (cargado de agua de red de consumo). Además permite unir ambos circuitos energéticamente para transferir todo el calor captado hacia el acumulador solar.



5.3.4.- SISTEMA DE ACUMULACIÓN

El agua precalentada se almacenará en un depósito acumulador de agua caliente de 2000 litros, galvanizado por inmersión en caliente o con revestimiento de pintura epoxy, interior y exteriormente, para presión de trabajo de 8 kg/cm², incorporando boca de hombre lateral de diámetro mínimo 400 mm para registro y limpieza, bridas y manguitos para entrada, salida de agua, vaciado, purgador automático de aire.

La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador del circuito primario se realizará a una altura comprendida entre el 50 % y el 75 % de la altura total del acumulador. La conexión de agua fría se realizará por la parte inferior y la extracción de agua precalentada por la parte superior.



5.4.- INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN AUXILIAR DE ACS

Se ha previsto realizar la producción auxiliar del agua caliente sanitaria mediante un termo instalado junto al acumulador, alimentado mediante los paneles fotovoltaicos.

El agua calentada se almacenará en un depósito vertical acumulador de agua caliente de 300 litros.

La conexión de agua precalentada se realizará por la parte inferior del acumulador. Las extracciones se realizarán por la parte superior.

El depósito de acumulación recibirá el agua calentada en el intercambiador y la calentará con la energía fotovoltaica sobrante.

Como último paso para calentar el agua está la caldera de gas comandada por el sistema de regulación de temperatura que permitirá o no su puesta en marcha.



5.5.- REGULADOR

El regulador es un depósito de mezcla de agua con termostatos.

Al depósito llegan tres tuberías, una procedente del circuito solar-térmico, otra de la caldera de gas y la última es una entrada de agua sanitaria. El primer termostato está colocado en la entrada de la tubería solar-térmica y mide su temperatura constantemente. El segundo termostato se encuentra en el depósito de mezcla y se encarga de mandar señales a un sistema electrónico que permite más o menos paso de agua de las distintas tuberías de alimentación.

Mientras la temperatura del termostato de la tubería solar-térmica sea mayor que la temperatura a la que tengamos programado el regulador simplemente mezclara el agua de la tubería sanitaria con el agua procedente del circuito térmico.

Cuando agotemos el agua del circuito térmico o simplemente no tengamos la temperatura que demandamos, el regulador arrancará la caldera de gas y por lo tanto la entrada de agua caliente vendrá por la tubería de la caldera.

En ambos casos el regulador abre o cierra la válvula de entrada de agua sanitaria para tener la temperatura que deseemos.

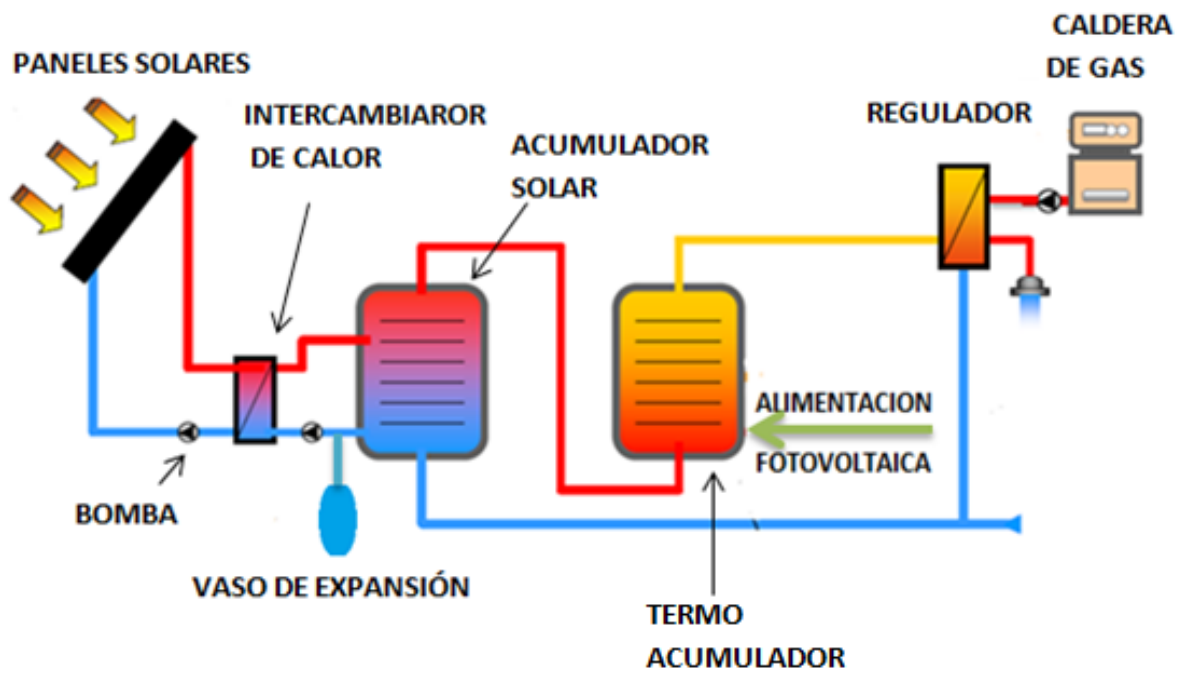


Figura 5.2: Representación de instalación ACS con las modificaciones



CAPÍTULO 6:
BALANCE
ECONÓMICO-
FINANCIERO
GLOBAL



En este capítulo se muestra una figura con una visión general de toda la instalación y una breve descripción.

Vamos a comparar conjuntamente las inversiones de la generación mediante bicicletas de spinning y mediante placas fotovoltaicas.

En primer lugar mostraremos el monto de inversión inicial total y se representará para ver los elementos que suponen un mayor desembolso.

A continuación se calculará el ahorro anual global que tendremos teniendo en cuenta las dos partes de la generación.

Posteriormente se calcula el tiempo de retorno total de la inversión, tanto si el sistema no tiene averías como para un porcentaje de averías medio que suelen tener estos sistemas y para un aumento del coste de la energía.



6.1.- REPRESENTACIÓN GLOBAL DE LA INSTALACIÓN

En la instalación completa por un lado tenemos la energía producida por las bicicletas de spinning, esta energía se produce en el alternador y pasa por el inversor hasta llegar a la caja de protecciones de las bicicletas, de esta caja llega al selector de alimentación del gimnasio que se encarga de elegir la procedencia de la alimentación.

Por otro lado tenemos la energía generada por los paneles fotovoltaicos que llega al selector de alimentación pasando por el inversor y por la caja de protecciones fotovoltaica.

El selector de alimentación no es más que un selector de fases que tiene tres entradas, red eléctrica, paneles fotovoltaicos y bicicletas de spinning, y dos salidas, una que cubre las necesidades del gimnasio y otra que se destina a calentar agua en la instalación ACS con la energía sobrante de la instalación fotovoltaica una vez cubierta la demanda del gimnasio. Este selector se encarga de dejar pasar la corriente según la preferencia que deseemos.

La instalación ACS ya estaba instalada en nuestro gimnasio, sólo se ha colocado un termo eléctrico que permita calentar aún más el agua con la energía sobrante de los paneles fotovoltaicos antes de pasar por el termo de gas y permitirnos así un mayor ahorro.

En la caja de protecciones de la red, también podemos incluir un dispositivo denominado “de inyección 0”, que no permite que se vierta energía a la red. Este dispositivo comprara la producción y la demanda. Cuando la producción es mayor que la demanda se activa haciendo que dicha producción disminuya.

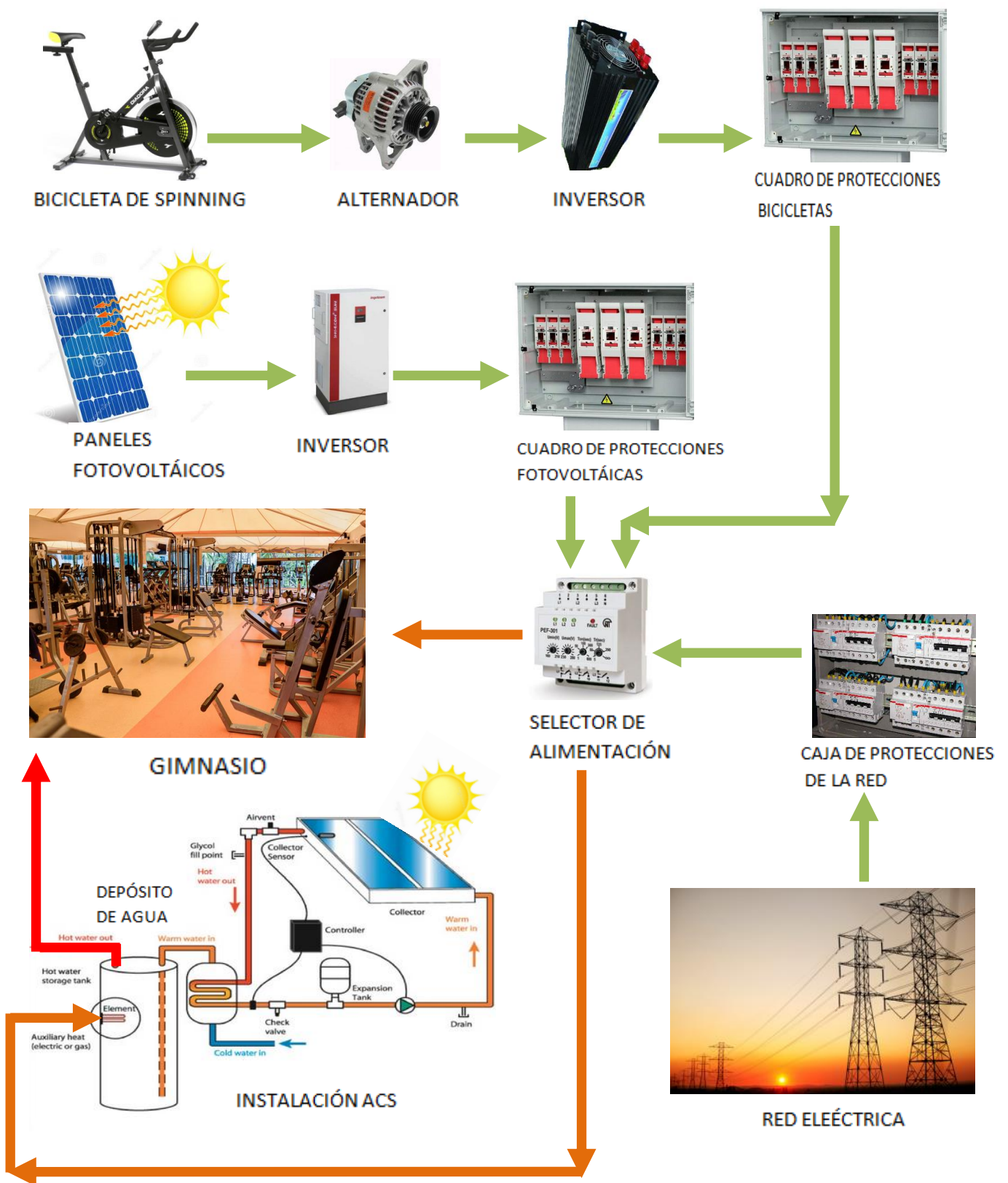


Figura 6.1: Representación de la instalación completa con flujos de agua y electricidad



6.2.- INVERSIÓN INICIAL

En las secciones 3.5.2. y 4.7.2. aparecen por separados los balances económicos-financieros de las bicicletas de spinning y de la instalación fotovoltaica. En esta sección haremos un balance del global de toda la instalación y de las modificaciones que debemos hacer en la instalación ACS ya existente.

Con respecto al número de bicicletas, el balance se hará para 24 bicicletas, ya que el tiempo de retorno de esta inversión es prácticamente el mismo sin dependencia del número de bicicletas que instalemos.



Inversión total			
Descripción	Precio unitario	cantidad	Precio total
Cadena	6,50 €	12	78€
Correa	19,53 €	24	468,72 €
Piñones cuádruples Btt acero dentado 54/48/42/36	19,95 €	24	478,8 €
Alternador Indiel A115 14V – 55 [A]	45,45 €	24	1090,8 €
Anclaje alternador	7,20 €	24	172,8 €
Maneta Shimano Altus MI 310 + cambio trasero Shimano TX35 TORNEO 7.6	6,90€+9,99 €	24	405,36 €
Inversor	444,5 €	2	889 €
Conductor unipolar 16mm ²	1,60 €/m	60 m	96 €
Caja de protección bicicletas	145,95 €	1	145,95 €
Mano de obra e instalación	25 €	24 h	600 €
Canalización del cableado	3,25 €/m	20 m	65 €
Módulo fotovoltaico EASTECH ESF 300-MA	249,80 €	36	8992,8€
Inversor INGECON SUN SMART 10	1842,92 €	1	1842,92€
Conductor unipolar 16mm ²	1,60 €/m	90 m.	144€
Conductor tripolar 25 mm ²	11,68 €/m	10 m	116,8€
Caja de protección	145,95 €	1	145,95€
Estructuras de los paneles	97,20 €	18	1749,6€
Instalación paneles	8 €/h	60 h	480€
Termo eléctrico 200L y 2200W	339 €	1	339€
Selector de alimentación	600 €	1	600€
Instalación del termo y modificaciones	8 €/h	8 h	64€
TOTAL			18965,3€

Tabla 6.1: Presupuesto total de la inversión

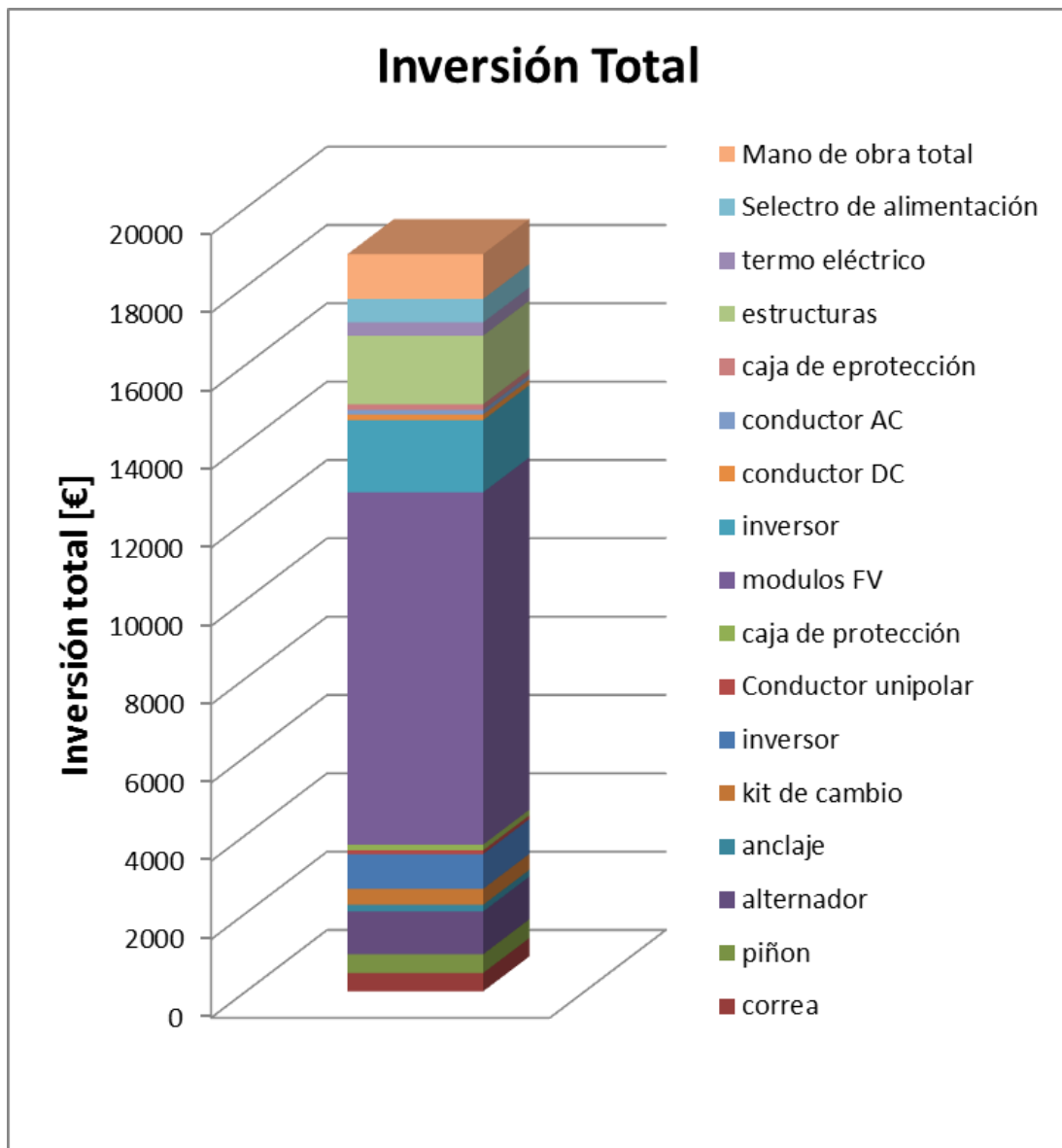


Figura 6.2: Gráfico de presupuestos totales

Como podemos observar, paneles fotovoltaicos, inversores, alternadores, estructuras para los paneles y mano de obra suponen la mayor parte del desembolso inicial, como ya se comentó en la sección 4.7.4, cuando tengamos que cambiar la instalación fotovoltaica habrá elementos como las estructuras de los paneles que no necesitaran ser cambiadas y tendremos un desembolso menor.



6.3.- AHORRO ENERGÉTICO

Como se ha mencionado en las secciones 3.5.3 y 4.7.3, el precio de la energía esta alrededor a 0,14€/kW, y obtendremos lo siguiente ahorros energéticos.

- De la sección 3.5.3 tenemos el ahorro por parte de las bicicletas de spinning:

$$\text{Ahorro diario} = 22.68 \text{ kWh} \times 0,14 \text{ €/kWh} = 3,175 \text{ €}$$

$$\text{Ahorro anual bicicletas} = 3,175 \text{ €} \cdot 25 \text{ días/mes} \cdot 12 \text{ meses/año} = \mathbf{952,56 \text{ €}}$$

- De la sección 4.7.3 tenemos el ahorro por parte de los paneles fotovoltaicos:

$$\text{Ahorro diario} = 72,9 \text{ kWh} \times 0,14 \text{ €/kWh} = 10,21 \text{ €}$$

$$\text{Ahorro anual paneles fotovoltaicos} = 10,21 \text{ €} \cdot 25 \text{ días/mes} \cdot 12 \text{ meses/año} = \mathbf{3061,8\text{€}/año}$$

$$\text{Ahorro anual total} = 952,56\text{€} + 3061,8\text{€} = \mathbf{4014,36\text{€}}$$



6.4.- TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN TOTAL

Tanto para el sistema de bicicletas de spinning como para los paneles fotovoltaicos hemos tomado como tiempo de vida útil 20 años por lo tanto en este apartado también tomaremos el mismo número de años.

Sabiendo que el monto de la inversión total es de 18.300,3€ y que nuestro sistema nos aporta un ahorro energético de 4.014,36€ al año, vamos a calcular cual sería el tiempo de retorno que tendríamos para todas las modificaciones e instalaciones necesarias.

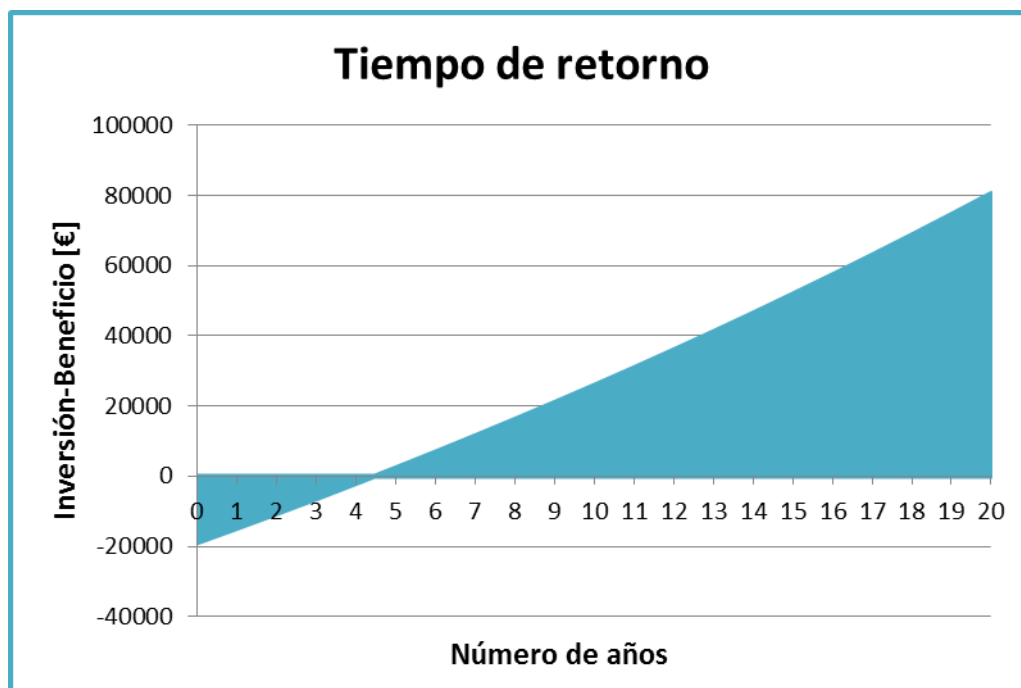


Figura 6.3: Tiempo de retorno de la inversión total sin averías

- VAN=36.941,65€
- TIR=23,08%



El VAN y el TIR en esta sección están calculados con los mismos requisitos que se han aplicado en los capítulos 3 y 4 para el cálculo del tiempo de retorno para bicicletas de spinning y paneles solares por separado:

- Coste de la energía =0,14€/kWh.
- Vida útil de la instalación 20 años.
- Tasa de inflación para los próximos 20 años del 50%, teniendo 2% anual de crecimiento lineal.
- Tasa de interés de 5,8%.

Como se ha hecho por separado para las inversiones de bicicletas de spinning y de paneles fotovoltaicos, también tendremos en cuenta un cierto porcentaje medio que será destinado a cubrir averías y mantenimiento de las instalaciones. En la siguiente grafica aparece cual sería el tiempo de retorno de la inversión si tomamos un 15% del beneficio para cubrir estas necesidades.



Figura 6.4: Tiempo de retorno de la inversión total teniendo en cuenta reparaciones y averías.



- VAN=28.555,61€
- TIR=19,6%

Podemos observar que transcurridos los 20 años tenemos un beneficio actualizado a día de hoy de 65.600€. Si actualizamos el coste total de energía que tenemos con la tasa de inflación, tendremos a día de hoy un gasto de 129.800€. El ahorro que tendremos en los 20 años será del 50,5%.

6.5.- TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN TOTAL PARA UN AUMENTO DEL COSTE DE LA ELECTRICIDAD

Como ya se ha mencionado en la sección 3.5.5. tomaremos un porcentaje de subida del precio de la electricidad para los próximos 20 años del 10% una vez descontada la tasa de inflación, asumiendo un crecimiento lineal del 0,45% anual. También tendremos presente el gasto destinado a averías y mantenimiento mencionado anteriormente.

- VAN=30.555,82€
- TIR=20,11%



Figura 6.5: Tiempo de retorno de la inversión teniendo en cuenta averías, reparaciones y aumento del coste de la electricidad

Podemos observar que nuestra inversión se amortiza en 5 años aproximadamente, tan solo dos meses antes que si no tenemos en cuenta este aumento de precio. Transcurridos los 20 años de vida útil previsto para nuestra instalación, tendríamos un beneficio de 69.700€ una vez amortizada la inversión inicial, lo que supondría que tendríamos un ahorro en nuestra factura en los 20 años del 53,7%. Pasaríamos de pagar 129.800 € en los 20 años a pagar 60.100€.

Podemos apreciar que el beneficio que tenemos es directamente proporcional al aumento del coste de la electricidad, es decir, que para un precio de la energía mayor, nuestro sistema tendrá mayores beneficios como se aprecia comparando las figuras 6.4 y 6.5.



CAPÍTULO 7:

CONCLUSIÓN



7.1.- CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha buscado analizar virtudes y defectos de un sistema alternativo de generación de energía, abordando la posibilidad de aportar una solución a un problema de extrema actualidad, tal como el agotamiento de las fuentes de energía. Analizaremos las inversiones de bicicletas de spinning y generación fotovoltaica por separado y para finalizar un balance de ambas inversiones en conjunto.

En lo que se refiere a la generación con bicicletas de spinning, la búsqueda no sólo debe apuntar a generar nuevas fuentes, sino que ésta además debe contrarrestar el fuerte impacto ecológico que provocan las actuales formas de generación. Es por ello que, el balance económico del estudio se encuentra lejos de obtener un alto beneficio en las condiciones macroeconómicas actuales, pero es valioso el resultado como una fuente de generación de energía que nos permitirá ahorrar casi el 12% en el consumo de electricidad. Además es importante en el sentido de la búsqueda de formas limpias de producción de energía, y hasta de producir un efecto concienciador, exhibiendo al público un sistema alternativo, fácil de instalar, sano y acoplado a una actividad gratificante como el ejercicio físico, donde el usuario se siente parte misma del fenómeno. Todo esto, y que con este sistema tendríamos una dependencia menor de la red eléctrica aprovechando una energía que sería desperdiciada, hacen que su instalación sea bastante atractiva.

Atendido al tema de la inversión, como aparece en la sección 3.5.4., nuestra inversión quedaría amortizada en 4 años y medio, pero teniendo en cuenta que necesitaremos destinar un cierto porcentaje para reparaciones y mantenimiento nuestro tiempo de retorno de la inversión será de 5 años. Como se ha mencionado anteriormente tendríamos un ahorro del 12% en nuestra factura de la electricidad, lo que supondría un



ahorro anual de 953€ y un beneficio neto actualizado a día de hoy casi 15.500€ transcurridos los 20 años. Una cantidad más que coherente para decidir que la inversión será exitosa puesto que los elementos necesarios para su instalación se pueden encontrar fácilmente en el mercado y no tienen precios excesivamente elevados.

Otro aspecto a tener en cuenta es el aumento del precio de la energía eléctrica, como se ve en la sección 3.5.5. Nuestro ahorro será mayor cuanto mayor sea el precio de la electricidad. En los últimos 10 años el precio de la electricidad ha subido un 32,3%. Si al aumento del precio de la electricidad le descontamos la tasa de crecimiento de la inflación nos queda una subida de un 6,3%. Tomaremos un 10% de aumento para los 20 años de vida útil de nuestra instalación, y pasaremos de ahorrar 15.500€ a 16.600 una vez amortizada la inversión, todo esto teniendo en cuenta que el 15% de nuestro beneficio total está destinado a mantenimiento y reparación de averías.

Los estudios de sistemas fotovoltaicos están muy estudiados en la actualidad y son una fuente de energía renovables muy utilizada, por lo que al igual que para el sistema de generación con bicicletas de spinning encontrar los elementos necesarios para la instalación no será tarea difícil. El problema surge con el precio de los paneles fotovoltaicos, ya que para una producción a pequeña escala como es la nuestra resultan bastante costosos y suponen más del 65% de la inversión inicial.

La amortización de esta inversión será de 4 años, pero si tenemos en cuenta reparaciones y mantenimiento nos quedará un tiempo de retorno de 5 años aproximadamente. Este tiempo de retorno hace que la inversión sea muy adecuada, el problema surge con la empresa comercializadora de energía, ya que la inyección de electricidad a la red conlleva para una serie de peajes que son bastante caros y pueden hacer que nuestra inversión no sea tan rentable como esperábamos. Mientras tengamos inyección 0 en la red no tendremos problemas, ya que la mayoría de comunidades en España permiten el autoconsumo. Para poder lograr esta deseada inyección 0, existen



dispositivos que nos permiten no verter nada de energía a la red, de esta manera, no tendremos ningún problema con la empresa comercializadora de energía. En nuestro caso la energía sobrante es destinada a calentar el agua en la instalación ACS por lo que en principio no deberíamos tener ningún problema con la empresa comercializadora.

La generación fotovoltaica nos proporcionará un ahorro anual de 3.061€ lo que supondría un ahorro actualizado neto de unos 51.000€ de transcurridos los 20 años, donde se incluye el proceso de calentar agua en la instalación de ACS con la energía sobrante y el 15% destinado a mantenimiento y averías.

Al igual que ocurre con la generación de energía mediante bicicletas de spinning, si el precio de la electricidad sube tendremos mayor ahorro. Tomando un incremento del 10% en los 20 años de vida útil de nuestra instalación, obtendremos un beneficio de 54.300€ en lugar de 51.000€.

Si analizamos ambas inversiones en conjunto, tendremos un ahorro anual de 4.014€, lo que supondría un ahorro neto actualizado de 65.600€ en los 20 años de vida útil de nuestra instalación completa. Esto supondría un tiempo de retorno de la inversión de 5 años teniendo en cuenta el porcentaje destinado a mantenimiento y reparaciones.

Como ya se ha mencionado anteriormente es prácticamente seguro que el precio de la electricidad va a subir, si tomamos el 10% de aumento tendremos que trascurridos los 20 años nuestro sistema nos dejara un beneficio de 69.800€ una vez amortizada la inversión.

Como conclusión final podemos decir que la inversión de generación de energía partir de bicicletas de spinning es viable debido al bajo coste de los elementos necesarios para su implantación y a que las bicicletas ya las tendría el propio centro y no



sería necesario comprarlas, solamente aplicarles las modificaciones que aparecen en el capítulo 3. Por otra parte con la inversión fotovoltaica sucede lo mismo, ya que son elementos fáciles de adquirir, el único hándicap es el coste de los paneles fotovoltaicos que a día de hoy, son los más caros del sistema ya que se necesita un gran número de ellos. Pero debido a que tiene un número mayor de horas de funcionamiento se amortizan en un periodo similar al del sistema de generación basado en bicicletas de spinning. El mayor problemas que podemos tener es lograr inyección 0 en la red pero hoy día no parece una cuestión muy problemática puesto que existen aparatos que nos permiten solucionar este problema.



ANEXO 1:

ENERGÍA PRODUCIDA

EN FUNCIÓN DEL

NÚMERO DE

BICICLETAS Y HORAS

DE FUNCIONAMIENTO



Cantidad de bicicletas: 12		
Horas diarias de clase	Energía generada por día [kWh]	Energía generada por mes [kwh] (en 25 días)
2	7,56	189
3	11,34	283,5
4	15,12	378
5	18,9	472,5
6	22,68	567
7	26,46	661,5
8	30,24	756
9	34,02	850,5
10	37,8	945

Tabla A1.1: Producción de energía para 12 bicicletas en función de horas de funcionamiento diario

Cantidad de bicicletas: 20		
Horas diarias de clase	Energía generada por día [kWh]	Energía generada por mes [kwh] (en 25 días)
2	12,6	315
3	18,9	472,5
4	25,2	630
5	31,5	787,5
6	37,8	945
7	44,1	1102,5
8	50,4	1260
9	56,7	1417,5
10	63	1575

Tabla A1.2: Producción de energía para 20 bicicletas en función de horas de funcionamiento diario



Cantidad de bicicletas: 24		
Horas diarias de clase	Energía generada por día [kWh]	Energía generada por mes [kwh] (en 25 días)
2	15,12	378
3	22,68	567
4	30,24	756
5	37,8	945
6	45,36	1134
7	52,92	1323
8	60,48	1512
9	68,04	1701
10	75,6	1890

Tabla A1.3: Producción de energía para 24 bicicletas en función de horas de funcionamiento diario

Cantidad de bicicletas: 30		
Horas diarias de clase	Energía generada por día [kWh]	Energía generada por mes [kwh] (en 25 días)
2	18,9	472,5
3	28,35	708,75
4	37,8	945
5	47,25	1181,25
6	56,7	1417,5
7	66,15	1653,75
8	75,7	1890
9	85,05	2126,25
10	94,5	2362,5

Tabla A1.4: Producción de energía para 30 bicicletas en función de horas de funcionamiento diario



Cantidad de bicicletas: 40		
Horas diarias de clase	Energía generada por día [kWh]	Energía generada por mes [kwh] (en 25 días)
2	25,2	630
3	37,8	945
4	50,4	1260
5	63	1575
6	75,6	1890
7	88,2	2205
8	100,8	2520
9	113,4	2835
10	126	3150

Tabla A1.5: Producción de energía para 40 bicicletas en función de horas de funcionamiento diario

Cantidad de bicicletas: 50		
Horas diarias de clase	Energía generada por día [kWh]	Energía generada por mes [kwh] (en 25 días)
2	31,5	787,5
3	47,25	1181,25
4	63	1575
5	78,75	1968,75
6	94,5	2362,5
7	110,25	2756,25
8	126	3150
9	141,75	3543,75
10	157,5	3937,5

Tabla A1.6: Producción de energía para 50 bicicletas en función de horas de funcionamiento diario



ANEXO 2:

INVERSIÓN

EN FUNCIÓN DEL

NÚMERO DE

BICICLETAS



Cantidad de bicicletas:12			
Descripción	Precio unitario	cantidad	Precio total
Cadena	6,50 €	6	39 €
Correa	19,53 €	12	234,36 €
Piñones cuádruples Btt acero dentado 54/48/42/36	19,95 €	12	239,4 €
Alternador Indiel A115 14V – 55 [A]	45,45 €	12	545,4 €
Anclaje alternador	7,20 €	12	86,4 €
maneta Shimano Altus MI 310 + cambio trasero Shimano TX35 TORNEO 7.6	6,90€+9,99 €	12	202,68 €
Inversor	444,5 €	1	444,5 €
Conductor unipolar 16mm ²	1,60 €/m	30 m	48 €
Caja de protección	145,95 €	1	145,95 €
Canalización del cableado	3,25 €/m	12 m	39 €
Mano de obra e instalación	25 €/h	12 h	300 €
TOTAL			2324,69 €

Tabla A2.1: Inversión inicial para 12 bicicletas de spinning

Cantidad de bicicletas:20			
Descripción	Precio unitario	cantidad	Precio total
Cadena	6,50 €	10	65 €
Correa	19,53 €	20	390,6 €
Piñones cuádruples Btt acero dentado 54/48/42/36	19,95 €	20	399 €
Alternador Indiel A115 14V – 55 [A]	45,45 €	20	909 €
Anclaje alternador	7,20 €	20	144 €
maneta Shimano Altus MI 310 + cambio trasero Shimano TX35 TORNEO 7.6	6,90€+9,99 €	20	337,8 €
Inversor	444,5 €	2	889 €
Conductor unipolar 16mm ²	1,60 €/m	50 m	80 €
Caja de protección	145,95 €	1	145,95 €
Canalización del cableado	3,25 €/m	16 m	52 €
Mano de obra e instalación	25 €/h	20 h	500 €
TOTAL			3912,35 €

Tabla A2.2: Inversión inicial para 20 bicicletas de spinning



Cantidad de bicicletas:24			
Descripción	Precio unitario	cantidad	Precio total
Cadena	6,50 €	12	78 €
Correa	19,53 €	24	468,72 €
Piñones cuádruples Btt acero dentado 54/48/42/36	19,95 €	24	478,8 €
Alternador Indiel A115 14V – 55 [A]	45,45 €	24	1090,8 €
Anclaje alternador	7,20 €	24	172,8 €
Maneta Shimano Altus MI 310 + cambio trasero Shimano TX35 TORNEO 7.6	6,90€+9,99 €	24	405,36 €
Inversor	444,5 €	2	889 €
Conductor unipolar 16mm ²	1,60 €/m	60 m	96 €
Caja de protección	145,95 €	1	145,95 €
Canalización del cableado	3.25 €/m	20 m	65 €
Mano de obra e instalación	25 €	24 h	600 €
TOTAL			4490,43 €

Tabla A2.3: Inversión inicial para 24 bicicletas de spinning

Cantidad de bicicletas:30			
Descripción	Precio unitario	cantidad	Precio total
Cadena	6,50 €	15	97,5 €
Correa	19,53 €	30	585,9 €
Piñones cuádruples Btt acero dentado 54/48/42/36	19,95 €	30	598,5 €
Alternador Indiel A115 14V – 55 [A]	45,45 €	30	1363,5 €
Anclaje alternador	7,20 €	30	216 €
Maneta Shimano Altus MI 310 + cambio trasero Shimano TX35 TORNEO 7.6	6,90€+9,99 €	30	506,7 €
Inversor	444,5 €	2	889 €
Conductor unipolar 16mm ²	1,60 €/m	75 m	120 €
Caja de protección	145,95 €	1	145,95 €
Canalización del cableado	3.25 €/m	25 m	81,25 €
Mano de obra e instalación	25 €	30 h	750 €
TOTAL			5353,3 €

Tabla A2.4: Inversión inicial para 30 bicicletas de spinning



Cantidad de bicicletas:40			
Descripción	Precio unitario	cantidad	Precio total
Cadena	6,50 €	20	130 €
Correa	19,53 €	40	781,2 €
Piñones cuádruples Btt acero dentado 54/48/42/36	19,95 €	40	798 €
Alternador Indiel A115 14V – 55 [A]	45,45 €	40	1818 €
Anclaje alternador	7,20 €	40	288 €
Maneta Shimano Altus MI 310 + cambio trasero Shimano TX35 TORNEO 7.6	6,90€+9,99 €	40	675,6 €
Inversor	444,5 €	3	1333,5€
Conductor unipolar 16mm ²	1,60 €/m	100 m	160 €
Caja de protección	145,95 €	1	145,95 €
Canalización del cableado	3,25 €/m	30 m	97,5 €
Mano de obra e instalación	25 €	40 h	1000 €
TOTAL			7227,75 €

Tabla A2.5: Inversión inicial para 40 bicicletas de spinning

Cantidad de bicicletas:50			
Descripción	Precio unitario	cantidad	Precio total
Cadena	6,50 €	25	162,5 €
Correa	19,53 €	50	976,5 €
Piñones cuádruples Btt acero dentado 54/48/42/36	19,95 €	50	997,5 €
Alternador Indiel A115 14V – 55 [A]	45,45 €	50	2272,5 €
Anclaje alternador	7,20 €	50	360 €
Maneta Shimano Altus MI 310 + cambio trasero Shimano TX35 TORNEO 7.6	6,90€+9,99 €	50	844,5 €
Inversor	444,5 €	3	1333,5 €
Conductor unipolar 16mm ²	1,60 €/m	125 m	200 €
Caja de protección	145,95 €	1	145,95 €
Canalización del cableado	3,25 €/m	35 m	113,75 €
Mano de obra e instalación	25 €	50 h	1250 €
TOTAL			8656,7 €

Tabla A2.6: Inversión inicial para 50 bicicletas de spinning



ANEXO 3:

TIEMPO DE RETORNO

EN FUNCIÓN DEL

NÚMERO DE

BICICLETAS



- **TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN SIN TENER EN CUENTA AVEÍAS Y MANTENIMIENTO**

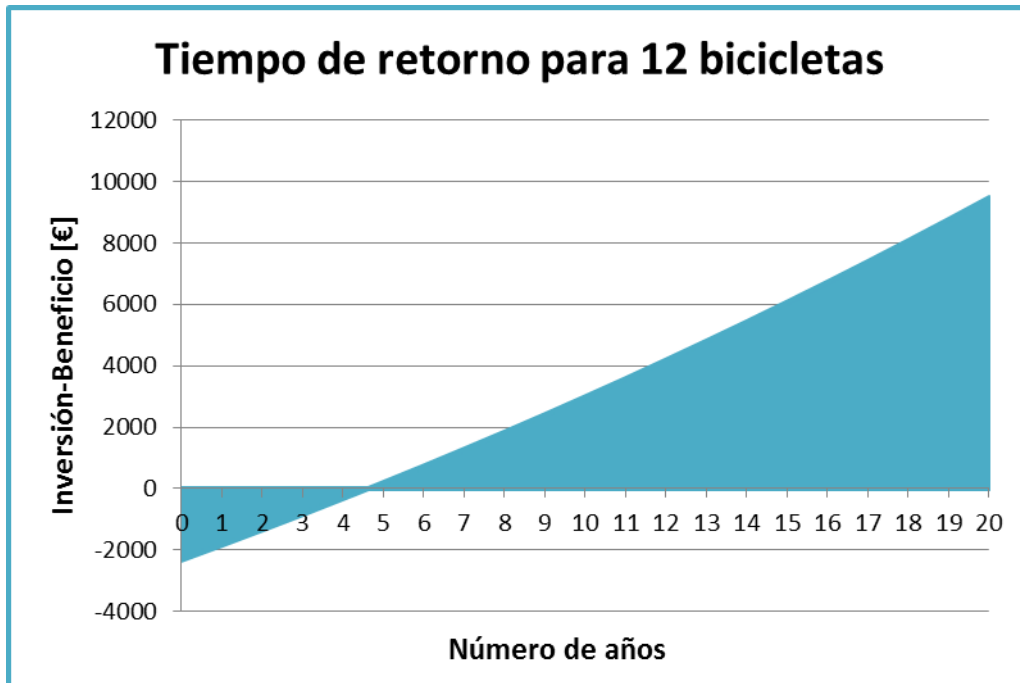


Figura A3.1: Tiempo de retorno para 12 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones

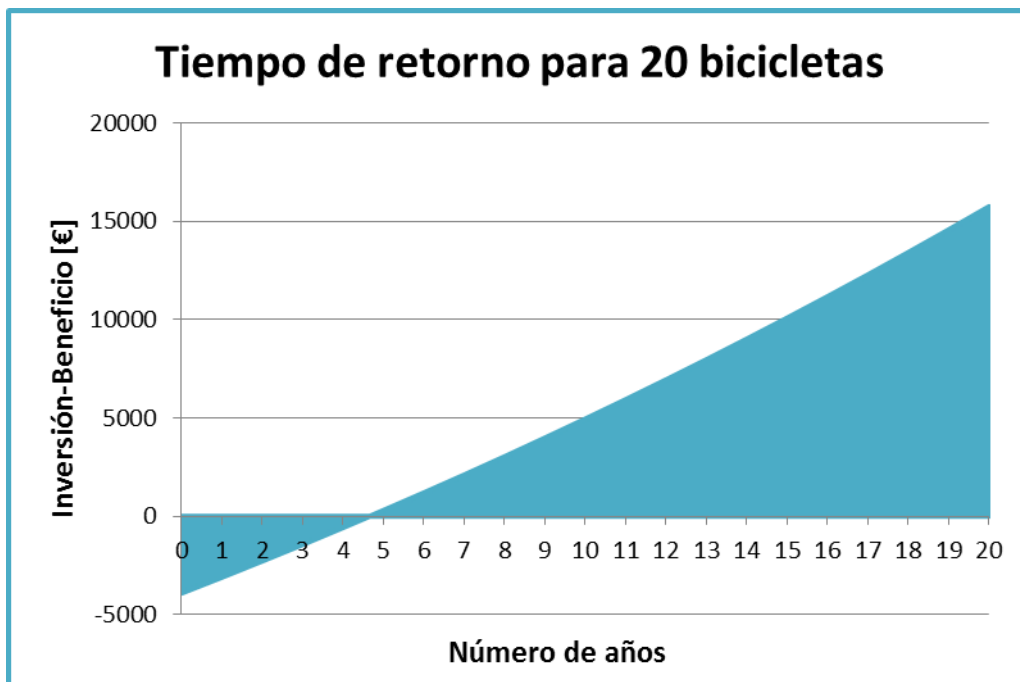


Figura A3.2: Tiempo de retorno para 20 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones

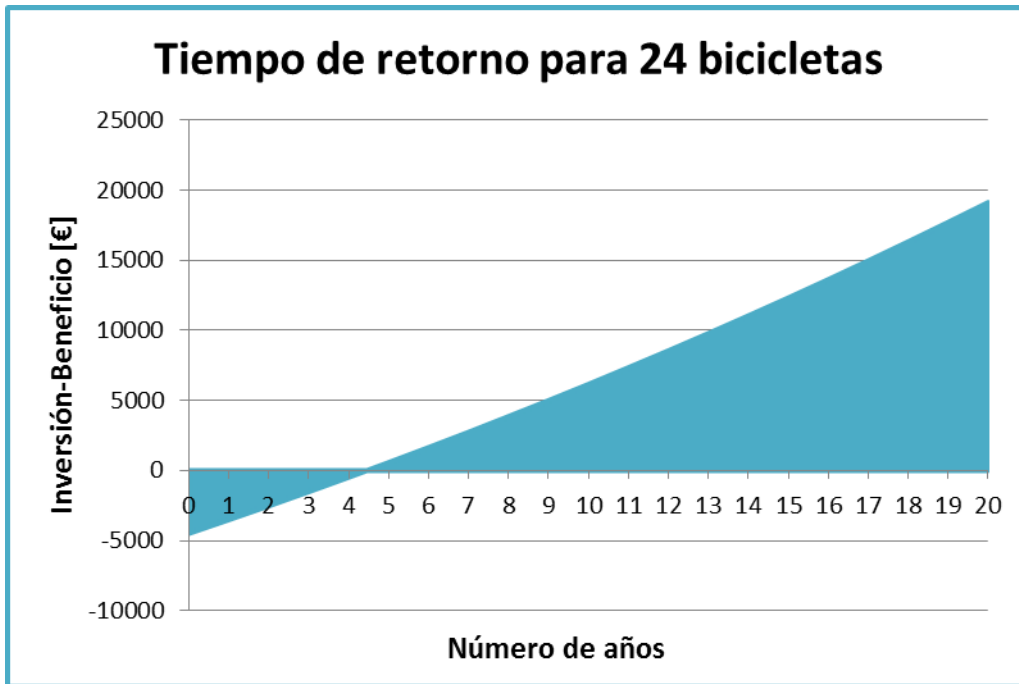


Figura A3.3: Tiempo de retorno para 24 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones

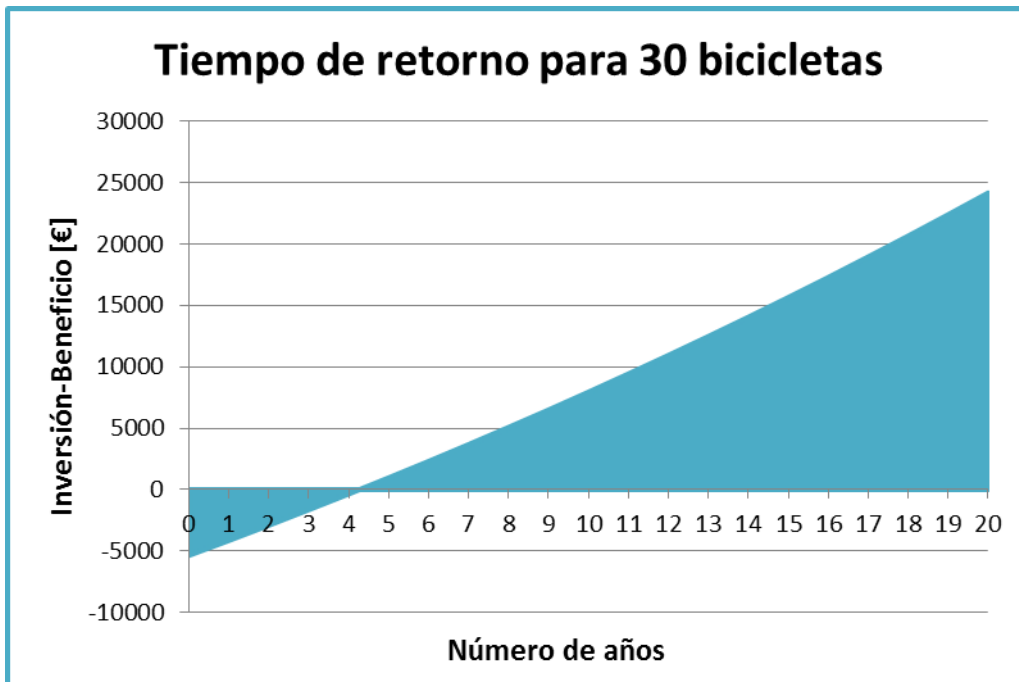


Figura A3.4: Tiempo de retorno para 30 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones

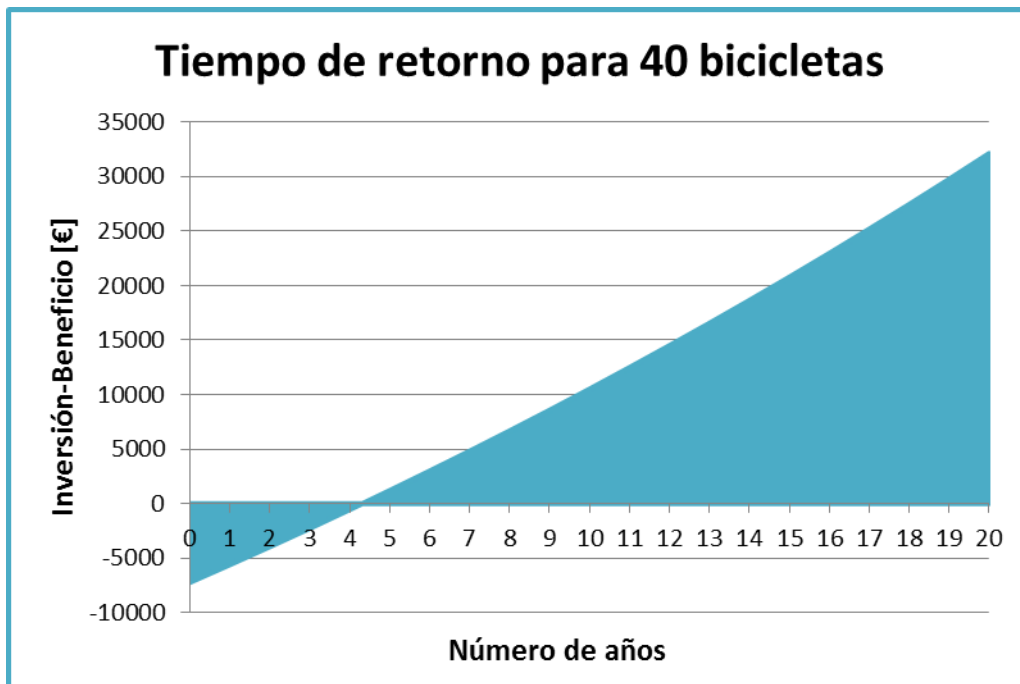


Figura A3.5: Tiempo de retorno para 40 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones

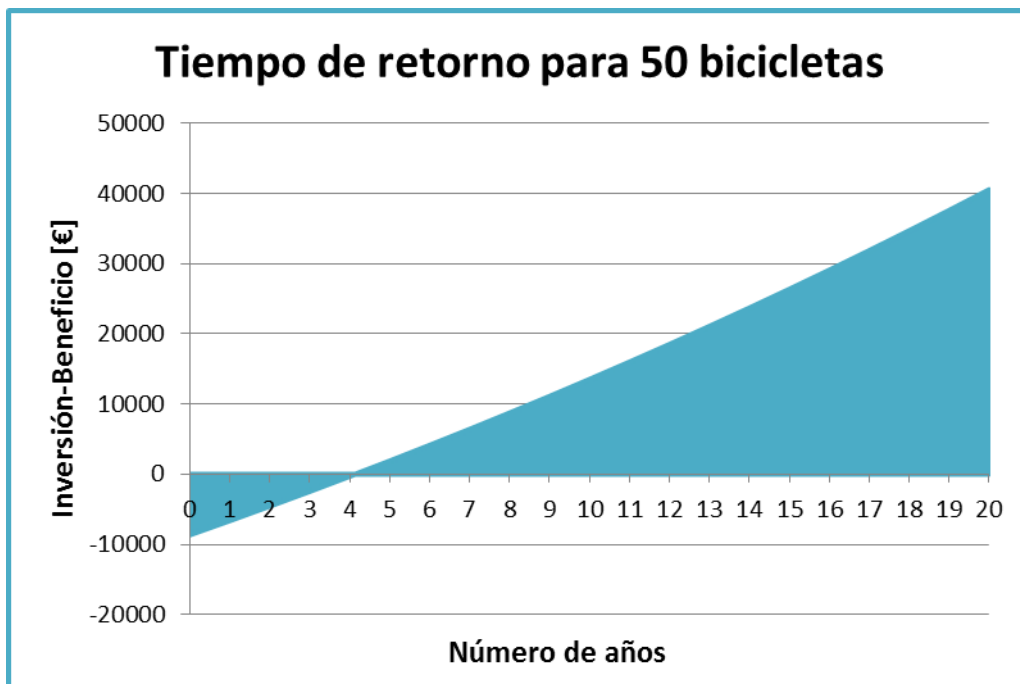


Figura A3.6: Tiempo de retorno para 50 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones



- **TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN TENIENDO EN CUENTA AVERÍAS Y MANTENIMIENTO**

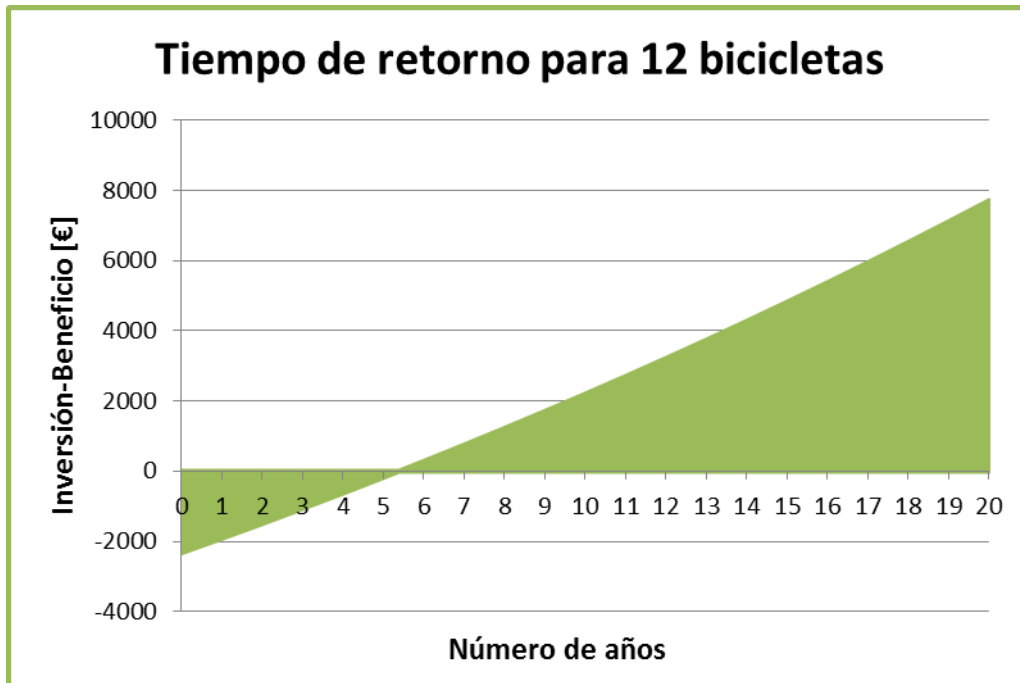


Figura A3.7: Tiempo de retorno para 12 bicicletas teniendo en cuenta averías y reparaciones

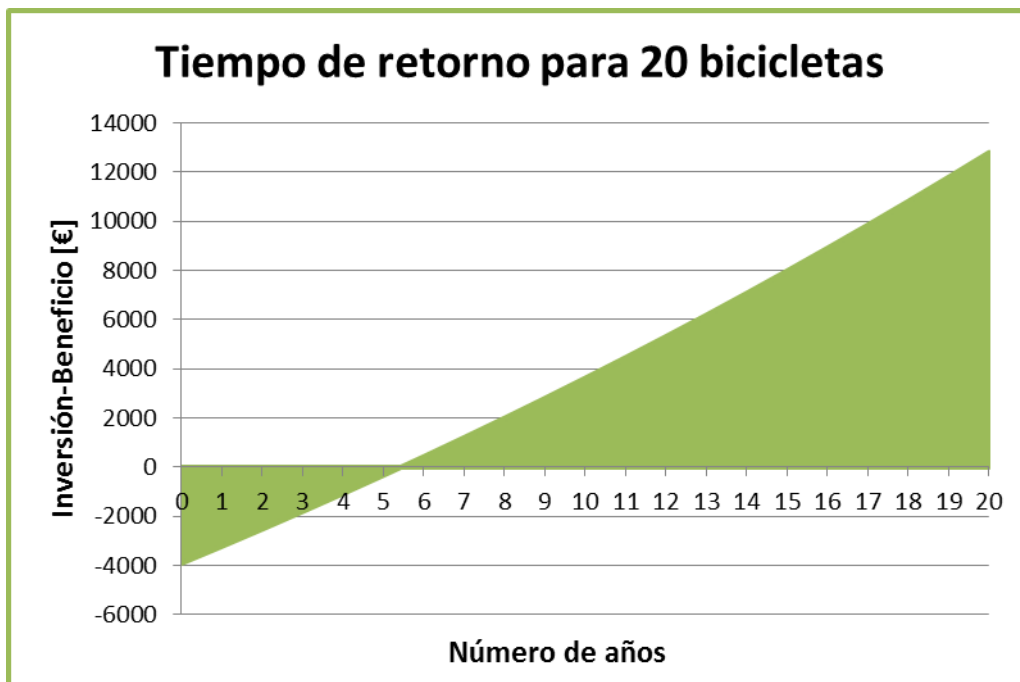


Figura A3.8: Tiempo de retorno para 20 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones

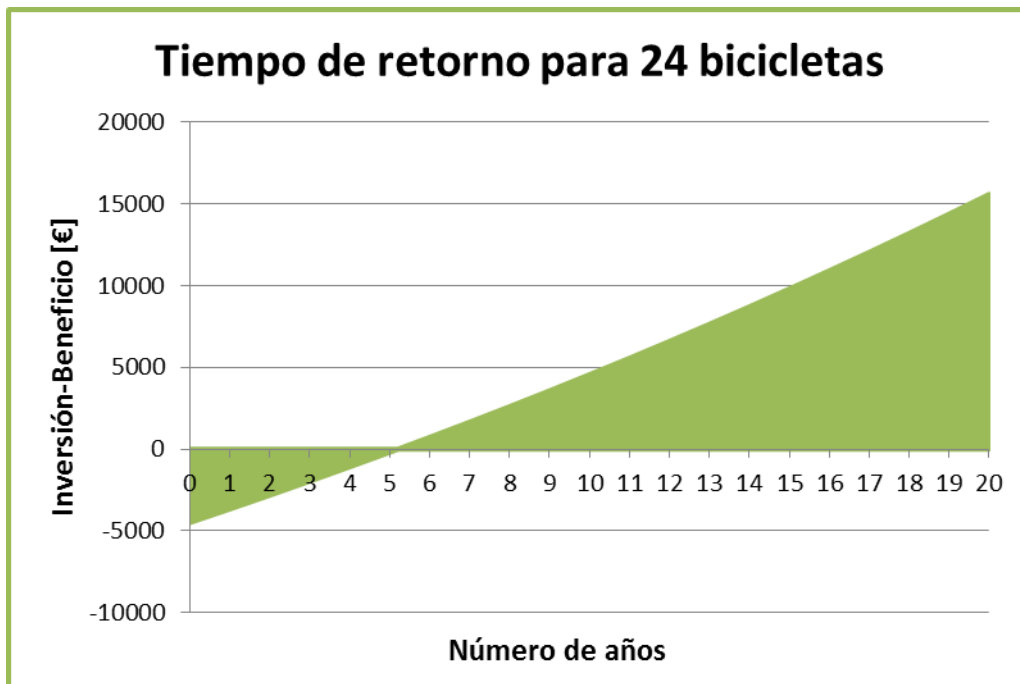


Figura A3.9: Tiempo de retorno para 24 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones

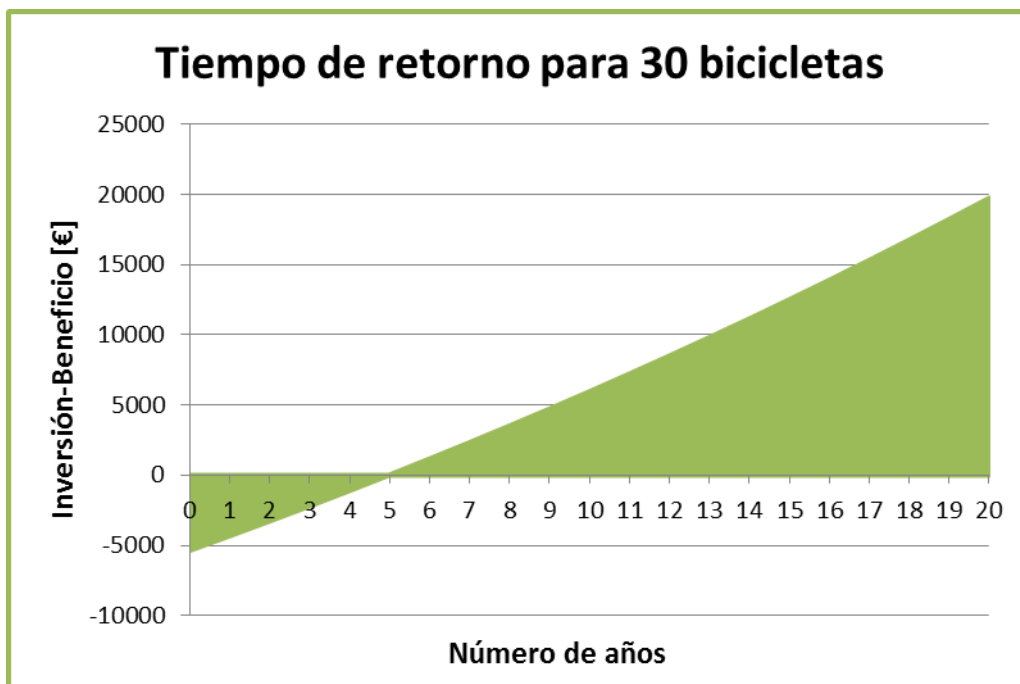


Figura A3.10: Tiempo de retorno para 30 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones

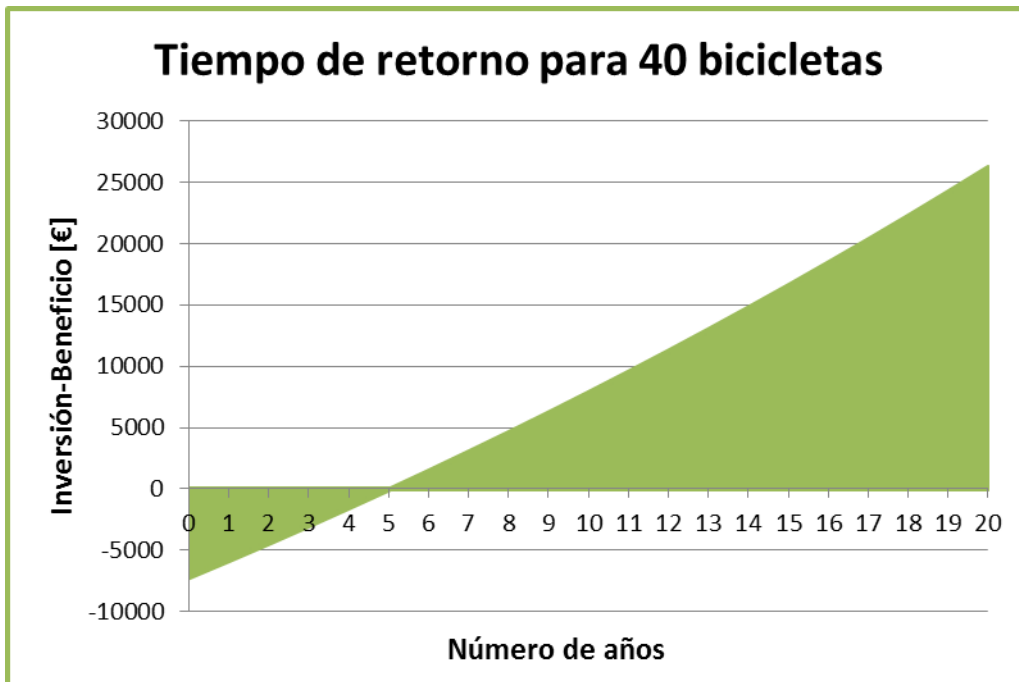


Figura A3.11: Tiempo de retorno para 40 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones

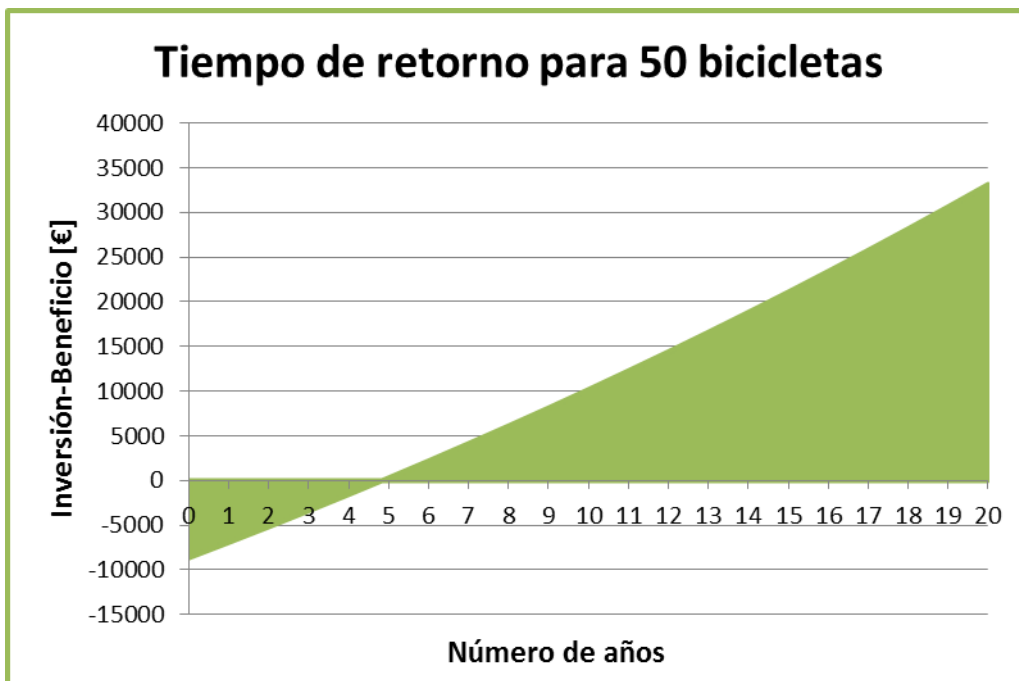


Figura A3.12: Tiempo de retorno para 50 bicicletas sin tener en cuenta averías y reparaciones



- **TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN TENIENDO EN CUENTA AVERÍAS, MANTENIMIENTO Y ENCARECIMIENTO DE LA ELECTRICIDAD**

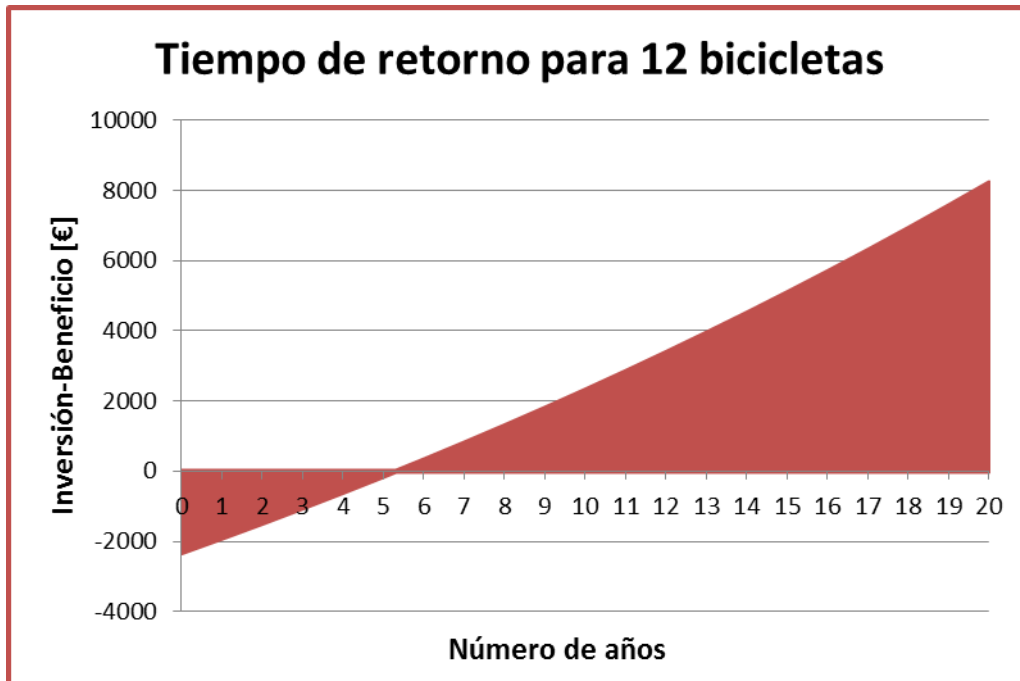


Figura A3.13: Tiempo de retorno para 12 bicicletas con mantenimiento y encarecimiento de electricidad

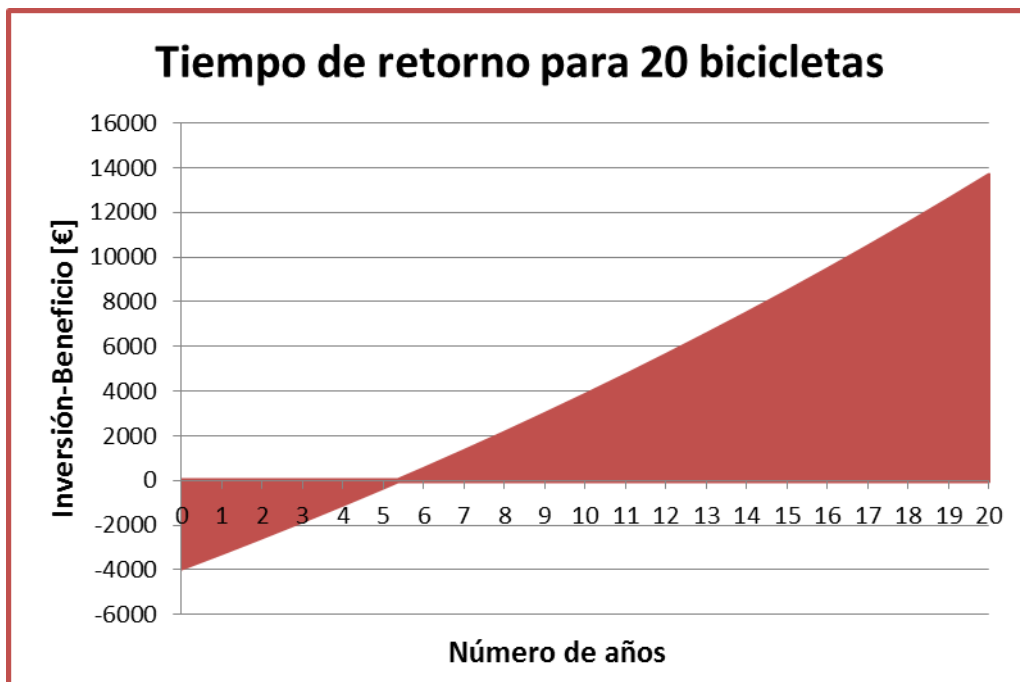


Figura A3.14: Tiempo de retorno para 20 bicicletas con mantenimiento y encarecimiento de electricidad

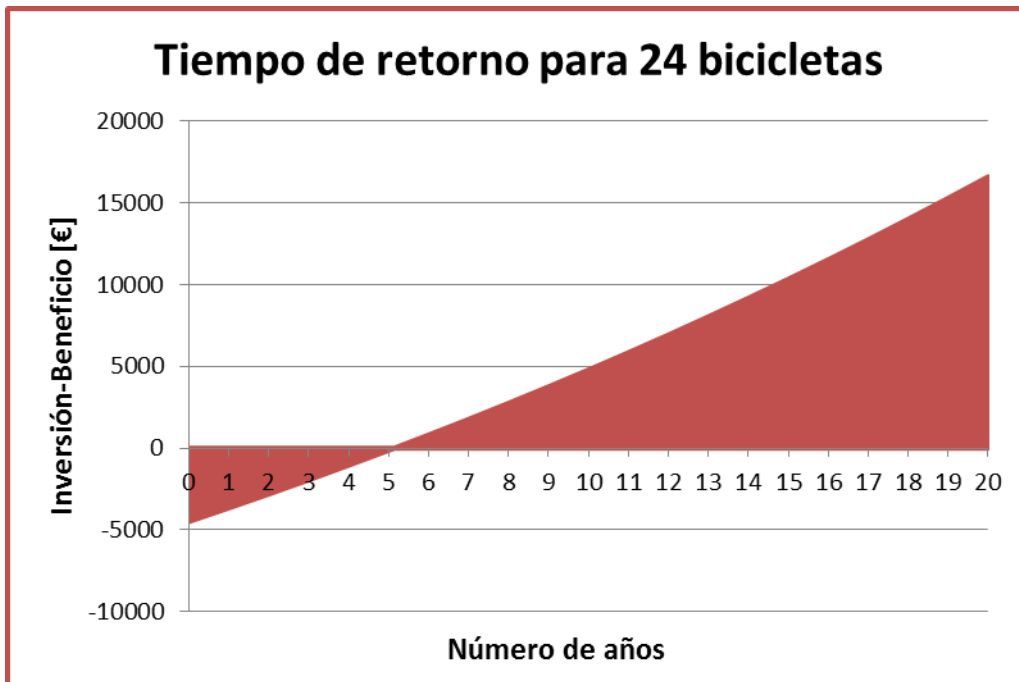


Figura A3.15: Tiempo de retorno para 24 bicicletas con mantenimiento y encarecimiento de electricidad

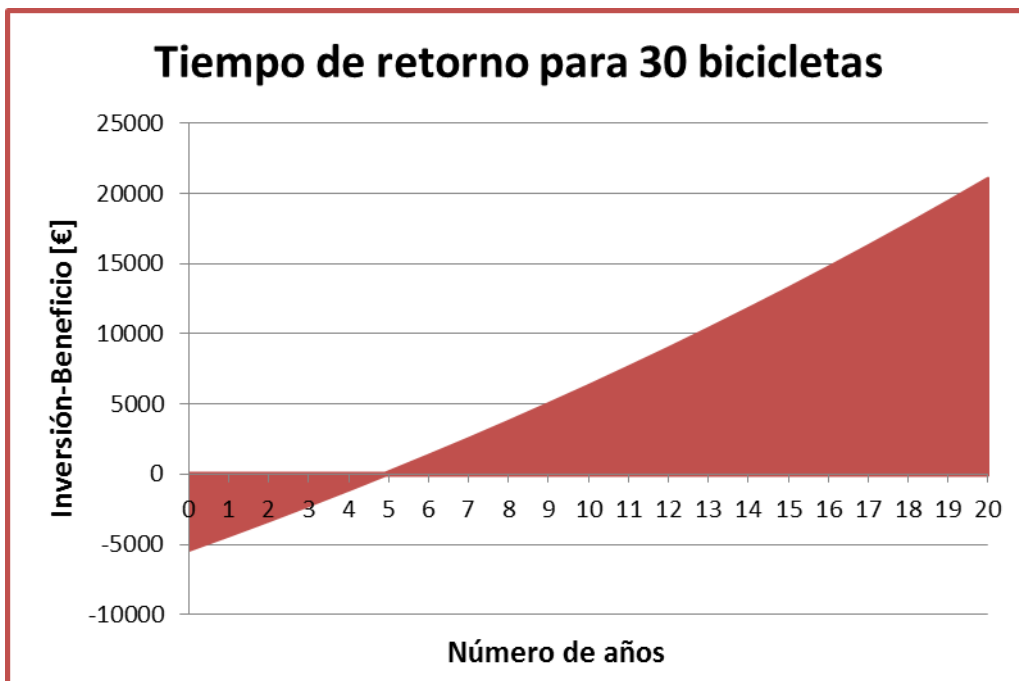


Figura A3.16: Tiempo de retorno para 30 bicicletas con mantenimiento y encarecimiento de electricidad

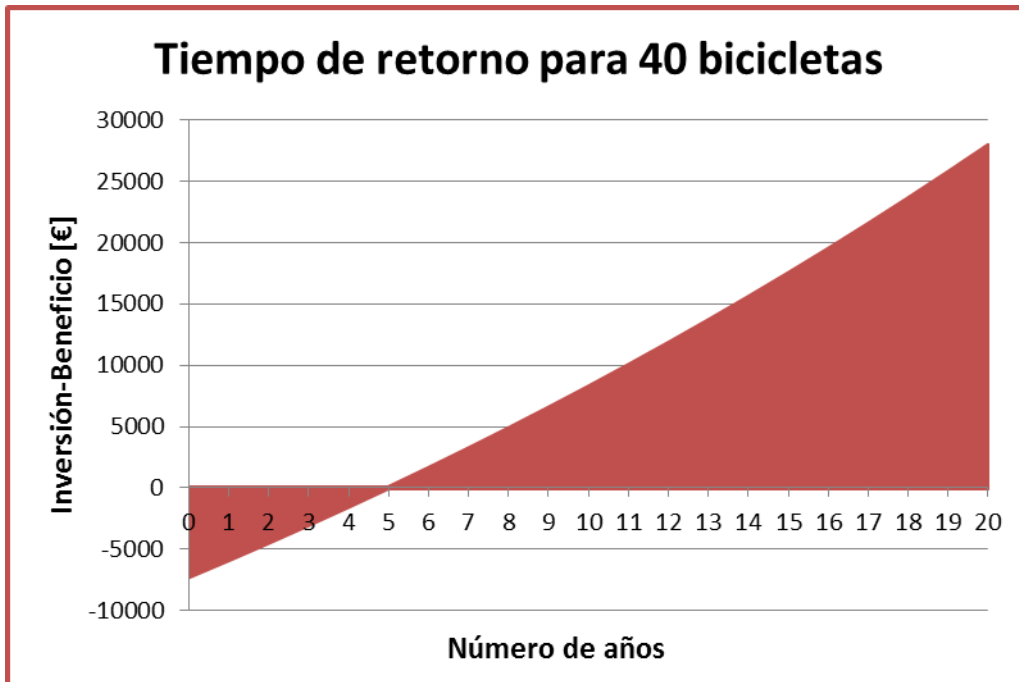


Figura A3.17: Tiempo de retorno para 40 bicicletas con mantenimiento y encarecimiento de electricidad

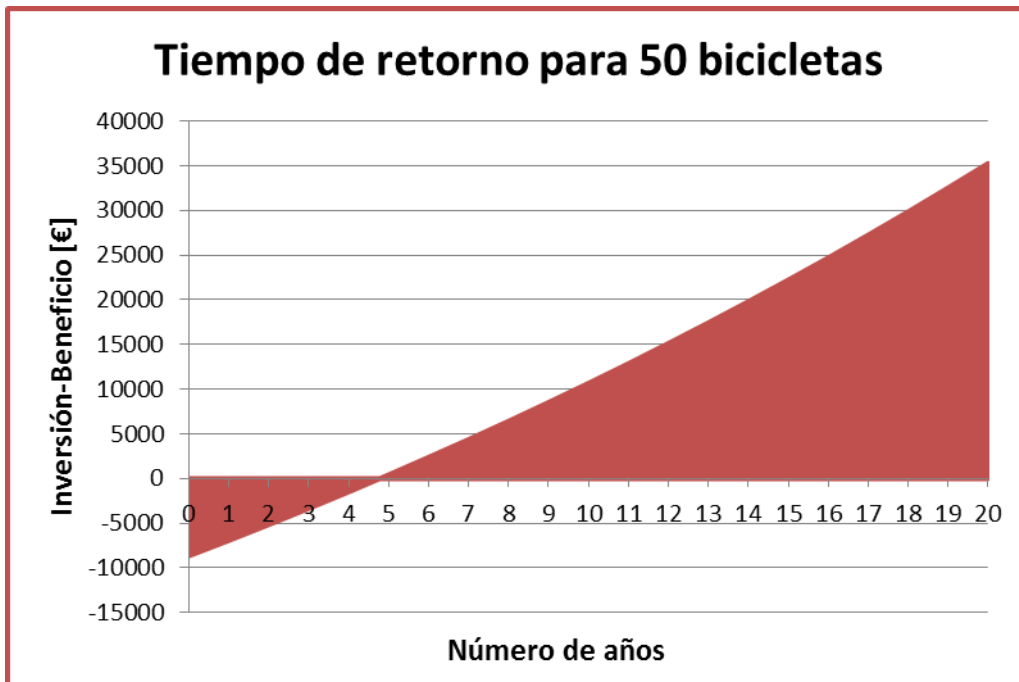


Figura A3.18: Tiempo de retorno para 50 bicicletas con mantenimiento y encarecimiento de electricidad



ANEXO 4:

INTEGRACIÓN

ARQUITECTÓNICA

DE LA ENERGÍA SOLAR

FOTOVOLTAICA



Integración en cubiertas de edificios

CUBIERTAS INCLINADAS

- Superposición sobre cubierta existente
- Adaptabilidad
- Funciones de estanqueidad

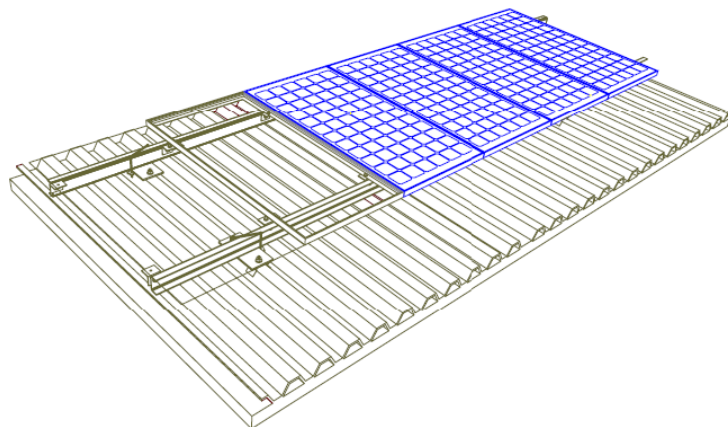


Figura A4.1: Representación de cubiertas inclinadas



CUBIERTAS PLANAS

- Instalación sencilla
- Estructuras soporte convencionales
- Excelente rendimiento energético

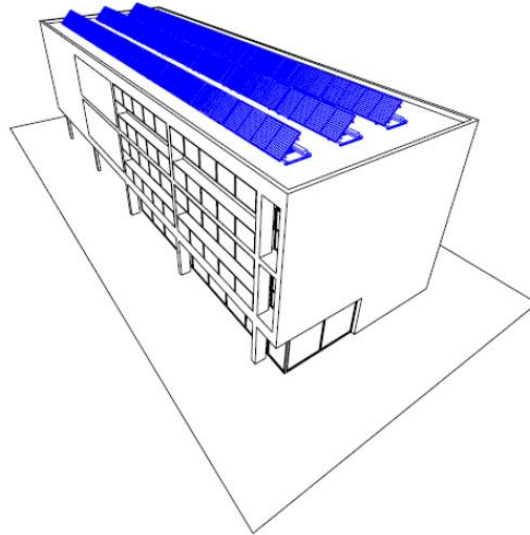
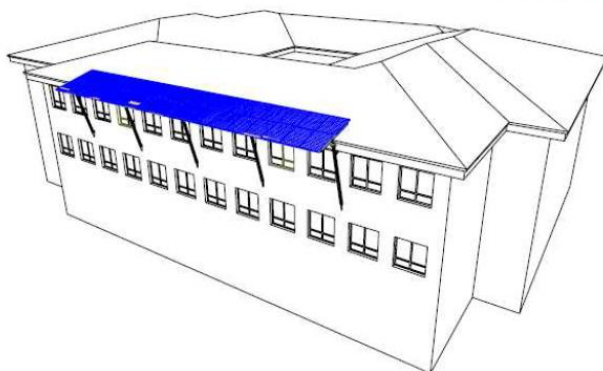


Figura A4.2: Representación de cubiertas planas

PARASOLES



- Cubriciones y sombreado
- Reducción de la carga térmica.
- Impacto estético

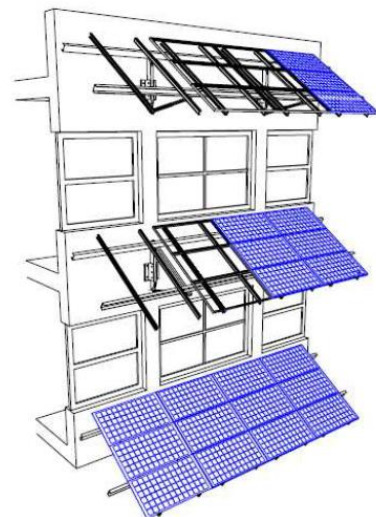


Figura A4.3: Representación de cubiertas colocadas como parasoles



MUROS CORTINA

- Permite filtrar la luz
- Acristalamiento semitransparente
- Gran impacto visual
- Adaptable a tecnologías constructivas ya existentes

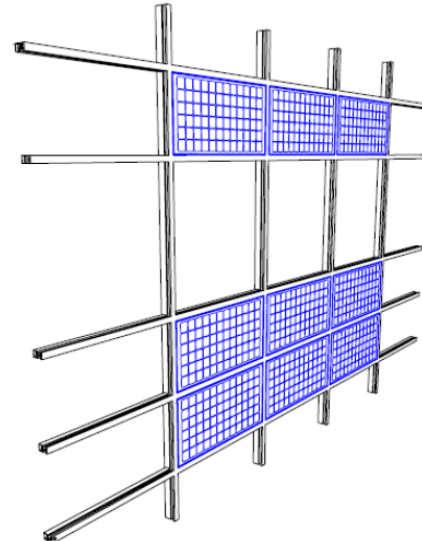


Figura A4.4: Representación de cubiertas como muros cortina

PAÑOS CIEGOS

- Sistemas de montantes y rastreles ya existentes en el mercado
- Fácil instalación

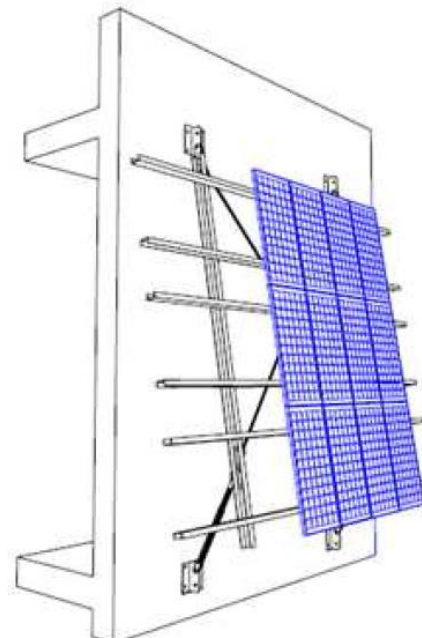


Figura A4.5: Representación de cubiertas como paños ciegos

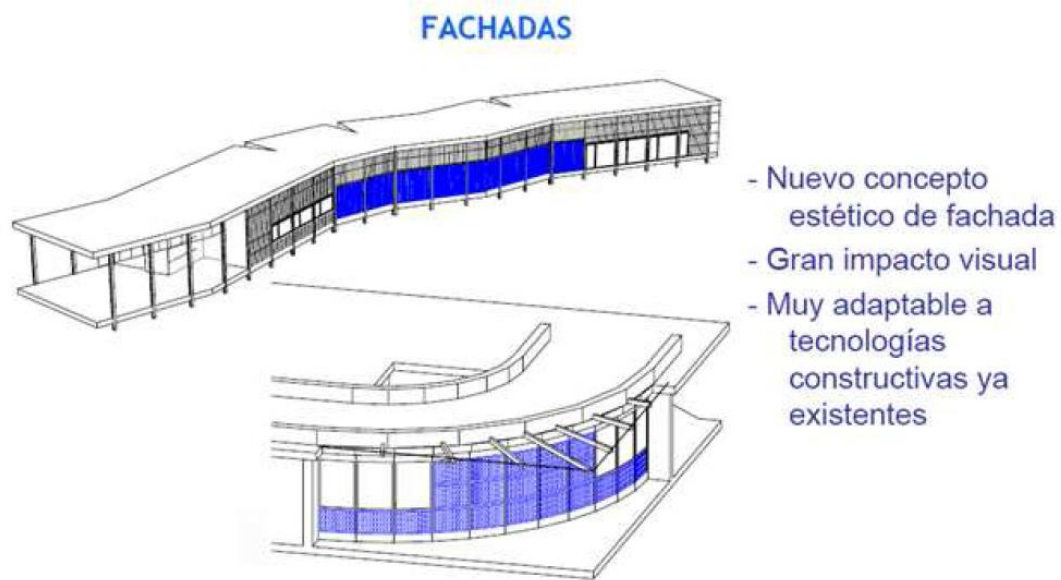


Figura A4.6: Representación de cubiertas como fachadas

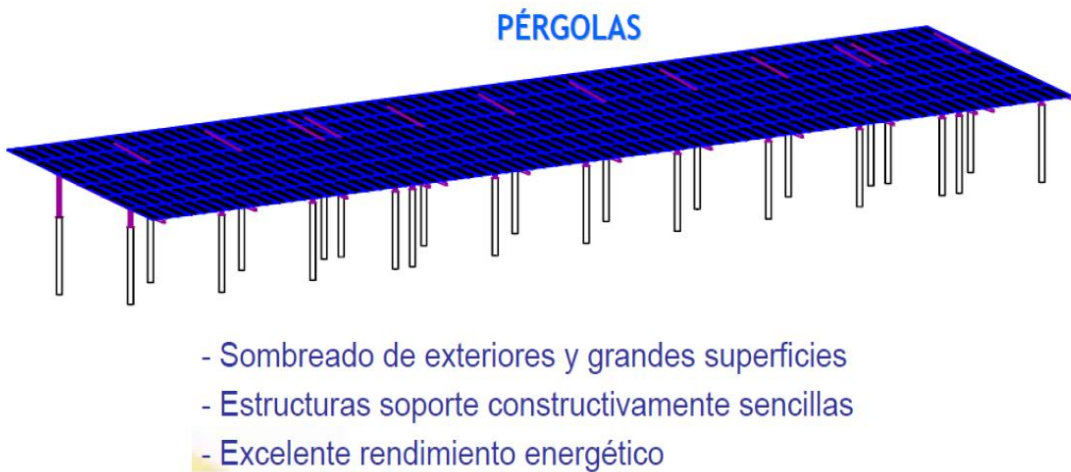


Figura A4.7: Representación de cubiertas como pérgolas

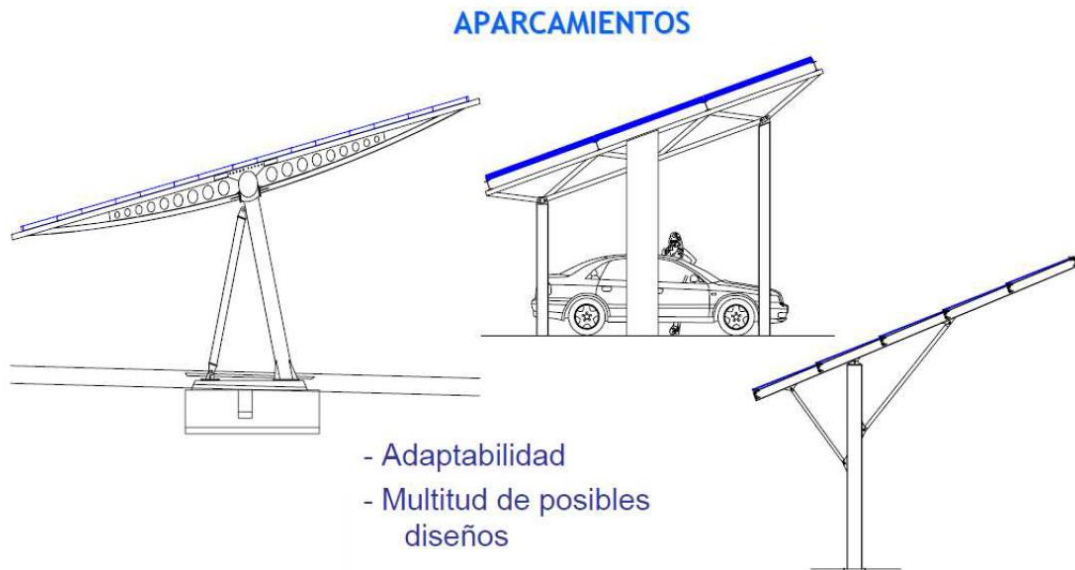


Figura A4.8: Representación de cubiertas como techos de aparcamientos



Figura A4.9: Representación de cubiertas como mobiliario urbano



Figura A4.10: Representación de cubiertas con otras integraciones arquitectónicas

A continuación se muestra una imagen de las nuevas tecnologías relacionadas con la energía solar fotovoltaica, con el fin de dotar al sistema de mayor eficiencia, así como de un menor coste. Además muchas de ellas contribuyen a disminuir el impacto medioambiental que producen las actuales instalaciones solares.



Figura A4.11: Representación de cubiertas como parte del techo de una casa

Construir un tejado y al mismo tiempo producir electricidad para la vivienda es una idea nueva, fabricar tejas que parecen tejas y producen electricidad es una tecnología nueva.

Las empresas están desarrollando unos paneles solares muy particulares que, con el ojo en el diseño, tienen la forma de las tejas de techo convencionales. Se trata de unas células solares que presentan el tamaño y la fisonomía de las clásicas tejas color terracota aunque en este caso su tono es más oscuro.

Más allá de su aspecto, logran una eficiente de entre un 8 y un 10 por ciento y pueden conseguir 860 Kwh al año por cada pie cuadrado de tejado en zonas con una media anual de poco menos de seis horas de luz solar al día.



El concepto de la construcción flexible con tejas fotovoltaicas de silicio monocristalino permite instalar desde potencias mínimas de 6 Wp (una teja) hasta más de 15 KWp.

La instalación puede ser efectuada para viviendas con o sin conexión a la red eléctrica y de esa manera se mantiene la estética de su vivienda.

Paneles transparentes



Figura A4.12: Módulo solar compuesto de células solares transparentes

Los paneles solares con unas nuevas células solares transparentes se alejan de los paneles tradicionales que conocemos.



Más allá de la funcionalidad, la gran ventaja de estos paneles remite a su estética pues pueden compatibilizar con la decoración presente en la vivienda logrando un estilo más armonioso. Así es como estos paneles se pueden integrar en la vivienda sin mayores inconvenientes pudiendo colocarse en las ventanas gracias a que las células han sido fabricadas en plástico flexible por lo que pueden colocarse entre dos láminas de vidrio.

Pero está no es la única ventaja de estos paneles. Versátiles y divertidos, pueden teñirse con distintos colores para así servir como complemento decorativo en el hogar. Si hay algo en su contra es que por el momento tienen una vida útil de 25 años, bastante menos que los paneles rígidos. Por otra parte, aún no son demasiado eficientes a la hora de convertir la energía de los rayos en electricidad.

Paneles solares cilíndricos



Figura A4.13: Panel solar cilíndrico utilizado para la generación de energía solar fotovoltaica



A diferencia de los tradicionales paneles rectangulares, esta fisonomía permite una mejor absorción de la luz al tiempo que son más resistentes al viento, lo que a su vez influye en el costo de instalación en los techos, que se vuelven más económicos.

Fabricados a partir de rollos de células solares cilíndricas hechas a partir de una fina lámina de material semiconductor, el viento puede pasar entre ellos y así se evita una complicada instalación para sujetarlos.

Persianas que captan energía e iluminan de noche



Figura A4.14: Fotografía de una persiana solar con un diseño vanguardista



Estas persianas solares utilizan dos tecnologías, la iluminación OLED (iluminación por medio de LED's orgánicos y la energía solar. El sistema, llamado Lightway, es un sistema de persianas giratorias y transparentes que se recargan con la energía solar durante el día y por la noche iluminan el interior de las casas o edificios.

Un tema interesante, es que el inventor, Damian Savio, no creó estas persianas solares desde cero, tomó unas persianas motorizadas y transparentes que ya existían y sólo les añadió las células solares microscópicas y los OLED transparentes, con lo que se permite la entrada de luz durante el día, al mismo tiempo que se carga el sistema para iluminar en la noche.

En teoría estas persianas consiguen iluminar igual que un foco de 60 W, con lo que no es necesario prenderlos durante las noches. Se estima que instalando estas persianas solares, se puede tener un ahorro del 22% en la factura eléctrica de las casas.

Estas persianas fueron finalistas del Premio de diseño Australiano para estudiantes, por lo que tuvo mucha publicidad, esperamos algún inversionista vea el potencial de este proyecto e invierta para tenerlas pronto en el mercado.

Ventanas solares

Un grupo de científicos de Taiwán desarrollaron un cristal para ventanas que se limpia a sí mismo, es un aislante térmico ideal y por sí fuera produce electricidad.



Figura A4.15: Fotografía de un edificio alemán con ventanas solares

El cristal inventado se compone de 3 capas: una que funciona como limpiador, otra que genera electricidad y una última que es el aislante. Esta última capa es mucho más eficaz que los cristales aislantes comunes.



Nuevas células solares con forma esférica

Nuevas células solares con forma esférica y tamaño diminuto (entre 1 y 1.5 mm de diámetro) podrían suponer una importante revolución en la expansión y campo de aplicación de la energía solar fotovoltaica.



Figura A4.16: Objetos fabricados mediante células solares de forma esférica

En Japón líder en tecnología fotovoltaica se ha desarrollado unas nuevas celdas solares con forma esférica y minúsculo tamaño entre 1 y 1,5 mm de diámetro, a diferencia de las celdas planas tradicionales de 72 mm.

El avance podría suponer una revolución en la energía solar fotovoltaica.



Consiste en una matriz de pequeñas células solares esféricas capaces de absorber la radiación solar con cualquier ángulo, pudiendo aprovechar tanto la radiación reflejada como la difusa, con esta tecnología no es necesario el uso de seguidores y su eficiencia llega a superar el 20%.

La disposición de las células en un medio flexible y transparente, amplía el campo de aplicaciones para la energía solar fotovoltaica, como la posibilidad de incorporarlas en pequeños aparatos electrónicos o convertir grandes superficies acristaladas como generadores de electricidad. Su aplicación en España permitiría reducir el impacto visual, especialmente en grandes ciudades y zonas de interés turístico.

Según la empresa, los costes de producción se reducen a la mitad, comparándolo con la fabricación de las células de silicio convencionales, ya que el silicio empleado se aprovecha eficientemente tanto en la fabricación de las células como en la producción posterior de energía.



Paneles fotovoltaicos orgánicos y CIGS

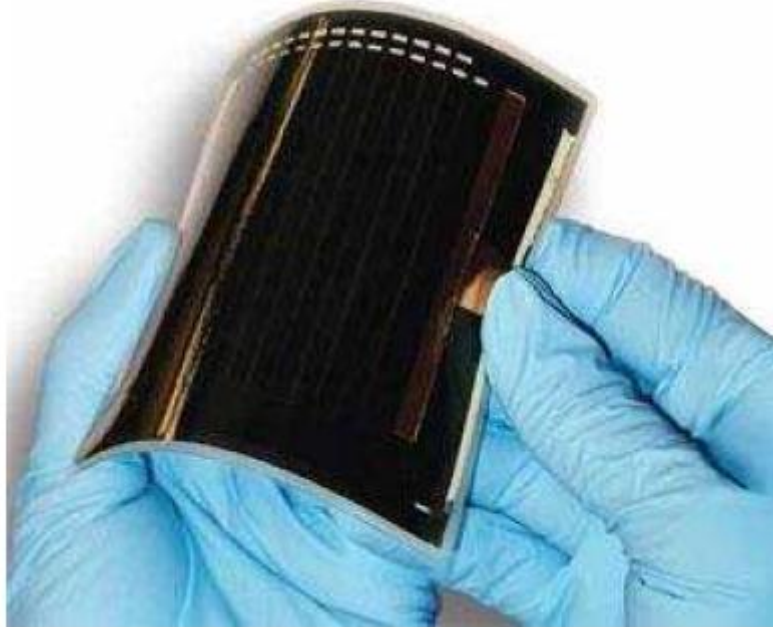


Figura A4.17: Fotografía de un pequeño módulo fotovoltaico orgánico

El gran auge del uso de Paneles fotovoltaicos para la generación eléctrica en los últimos años ha permitido que la industria de Paneles desarrolle nuevas tecnologías para producir paneles cada vez de menor coste.

Actualmente existen diversas soluciones técnicamente viables para la generación de electricidad a partir de luz solar, basadas fundamentalmente, en células fotovoltaicas de silicio relativamente caras. Las tecnologías actuales de película delgada basadas en el silicio podrían estar llegando al límite en cuanto a la relación eficacia-coste.

Además el nuevo precio de la energía para las instalaciones de tecnología solar fotovoltaica en España exige una importante reducción en la inversión para su viabilidad económica. El principal coste está en los paneles fotovoltaicos.

Los fotovoltaicos orgánicos (OPV) cuentan con la ventaja de que se pueden pintar sobre



una superficie, con las paredes exteriores de un edificio o el tejado. Además se pueden elaborar por medio de procesos de impresión y de recubrimiento de alta velocidad y escalables, como las pinturas en aerosol y la impresión de inyección de tinta para cubrir áreas más extensas.

Los módulos de película delgada (thin-film) no están hechos a base de células de silicio convencionales, sino que se basan en CIGS (Cobre Indio Galio Selenio) incrustadas en un soporte flexible y ligero y aptas para colocarlas no sólo sobre los tejados, sino también sobre la fachada de los edificios, ventanas, teléfonos móviles, ordenadores portátiles y coches.

Estas nuevas tecnologías que se revelan como más rentables y eco eficientes, constituyen una alternativa de bajo coste que permite la inversión acorde a las condiciones económicas del precio de la energía en España y el mundo.



Fachadas solares



Figura A4.18: Edificio con ventanales formados por paneles solares

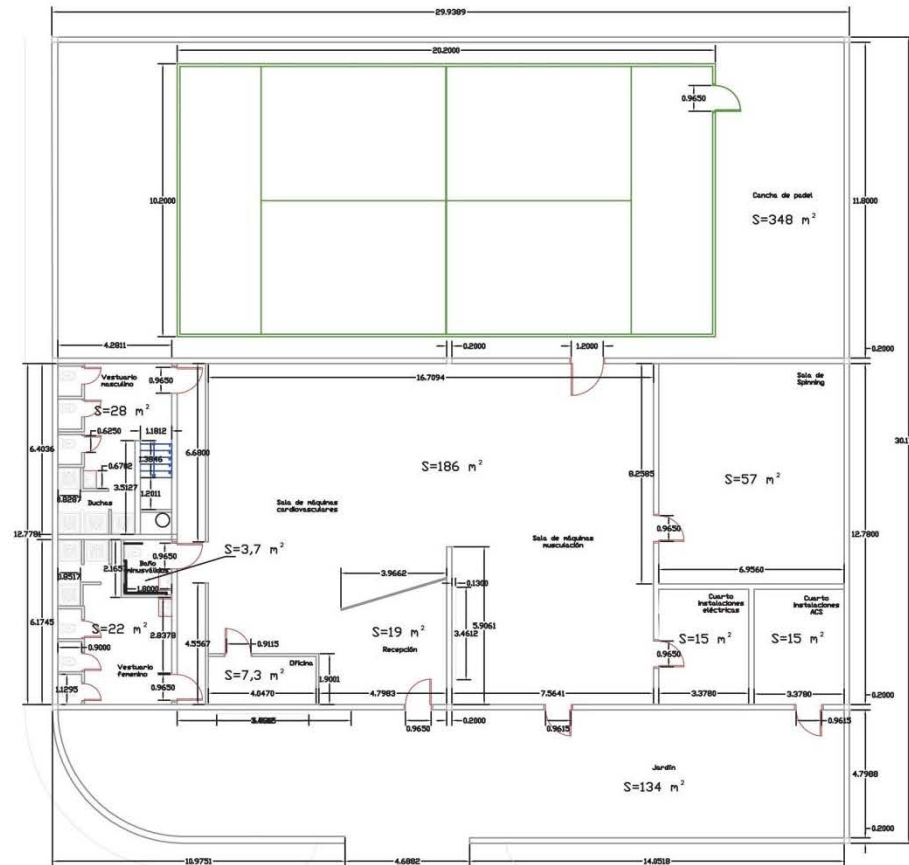


Vamos a tener que acostumbrarnos a ver cada vez más las fachadas solares, sobre todo para edificios de oficinas. Al igual que hace unos años se puso de moda construir edificios de oficinas inteligentes con ventanas no practicables súper aislados del exterior (y en ocasiones con problemáticas asociadas), ahora nos vamos a tener que acostumbrar a ver fachadas de cristal captador de energía solar. El progreso que es imparable. Todo sea por el ahorro de combustible fósiles.



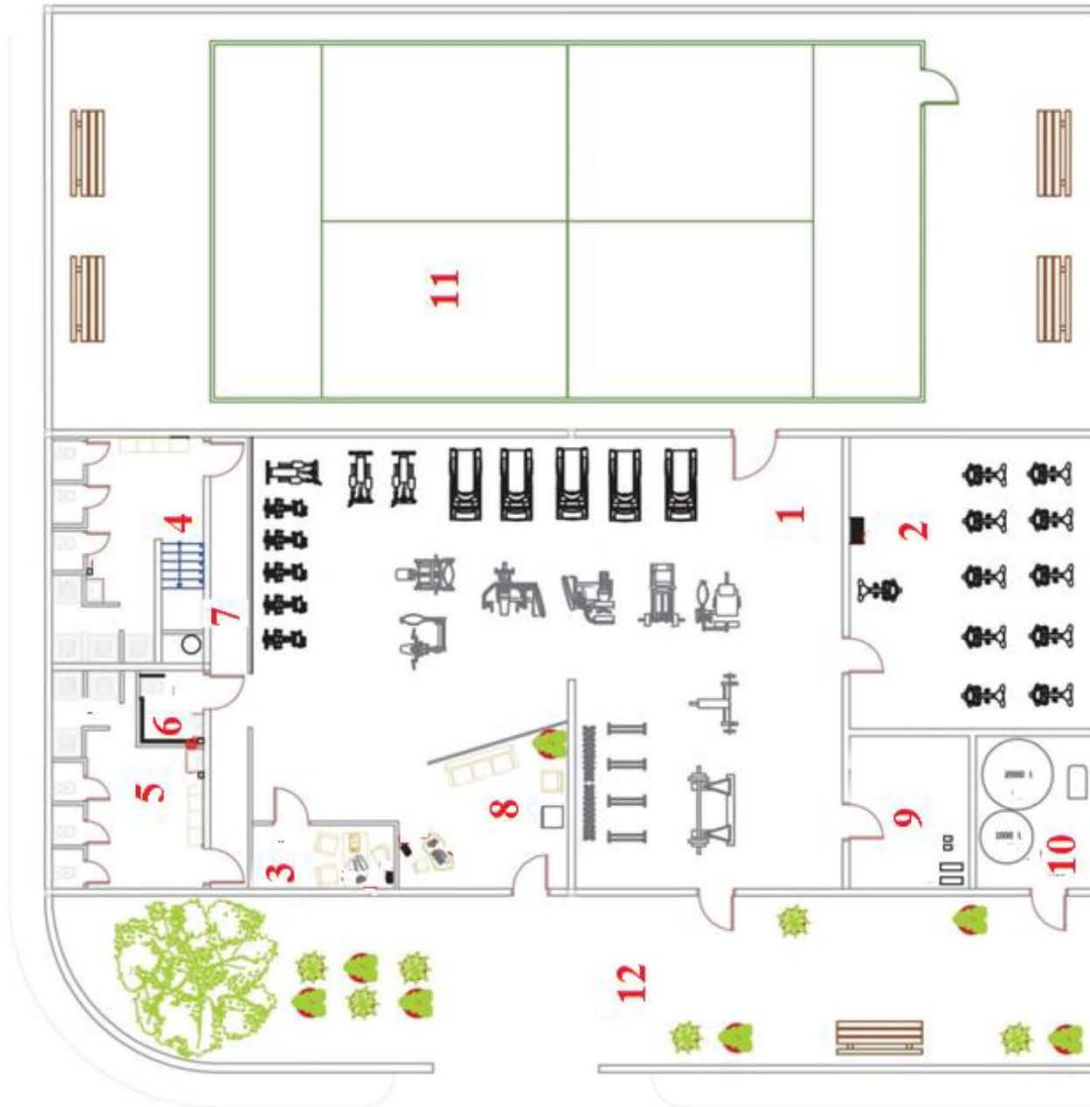
ANEXO 5:

PLANOS



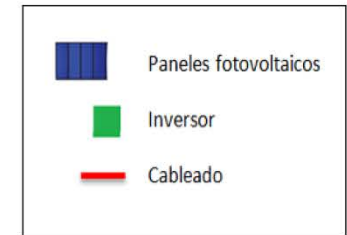
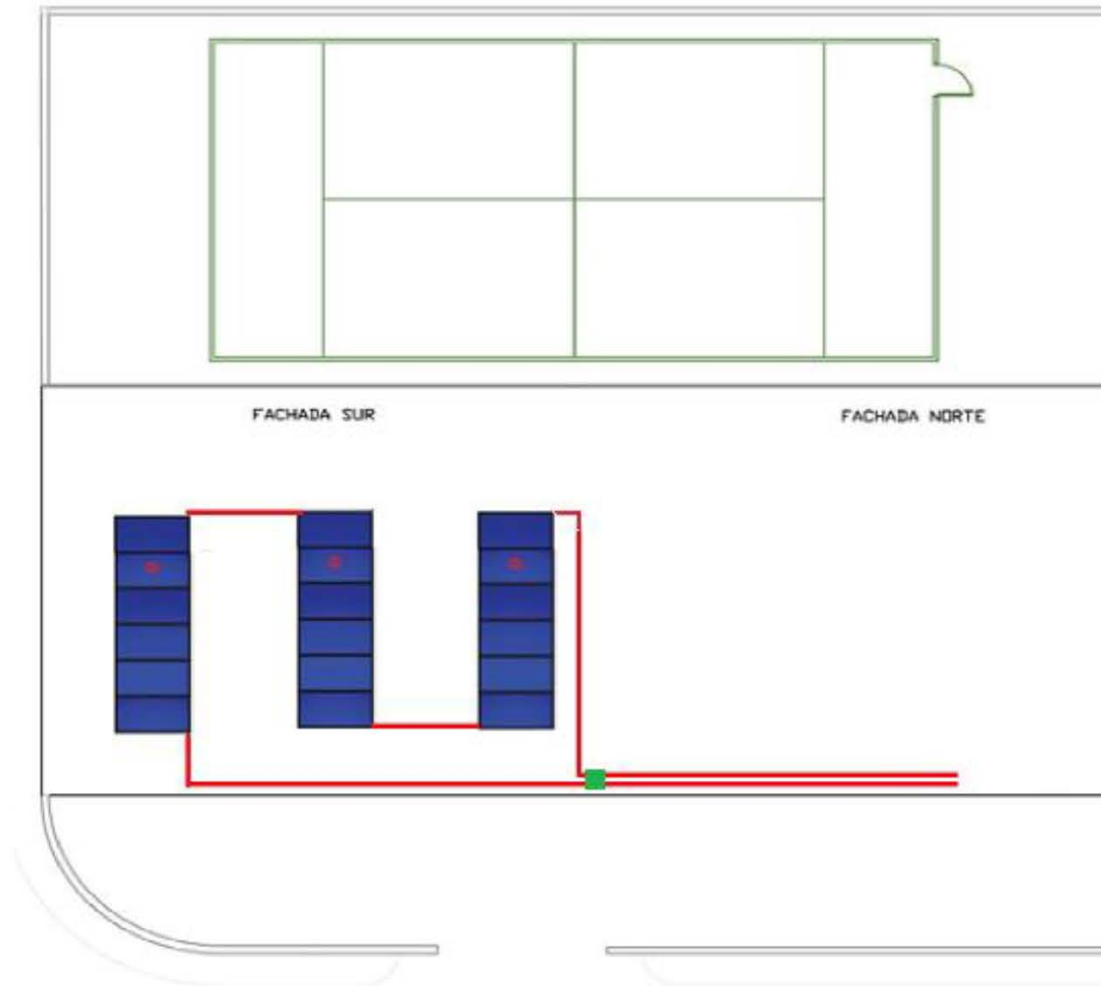
SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BICICLETAS ESTÁTICAS EN UN GIMNASIO Y VIABILIDAD DE APOYO FOTOVOLTAICO

Dibujo comprobado	Fecha Septiembre 2015	Autor Pablo Bravo carrasco		Escuela Superior de Ingenieros Grado en ing. de las tecnologías industriales Universidad de Sevilla
Id. S. normas	UNE-EN-DIN			
Escala S/N	Plano acotado del gimnasio		Nº de plano:1	



- 1** Sala de máquinas cardiovasculares y musculación
- 2** Sala de spinning
- 3** Oficina
- 4** Vestuario masculino
- 5** Vestuario femenino
- 6** Vestuario para minusválidos
- 7** Pasillo
- 8** Recepción
- 9** Cuarto de instalaciones eléctricas
- 10** Cuarto de instalaciones ACS
- 11** Pista de pádel
- 12** Jardín

SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BICICLETAS ESTÁTICAS EN UN GIMNASIO Y VIABILIDAD DE APOYO FOTOVOLTAICO			
Dibujo comprobado	Fecha Septiembre 2015	Autor Pablo Bravo carrasco	 Escuela Superior de Ingenieros Grado en ing. de las tecnologías industriales Universidad de Sevilla
Id. S. normas	UNE-EN-DIN		
Escala S/N	Distribución del gimnasio		Nº de plano:2



SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BICICLETAS ESTÁTICAS EN UN GIMNASIO Y VIABILIDAD DE APOYO FOTOVOLTAICO			
Dibujo comprobado	Fecha Septiembre 2015	Autor Pablo Bravo carrasco	 Escuela Superior de Ingenieros Grado en ing. de las tecnologías industriales Universidad de Sevilla
Id. S. normas	UNE-EN-DIN		
Escala S/N	Ubicación de paneles fotovoltaicos		Nº de plano:3



BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

REFERENCIAS

- [1] Anup Kumar Prasad, ***“Human motion energy: an available and efficient source of energy”*** Larsen and Toubro ECC, Kolkata
- [2] Shunmugham R. Pandian ***“A Human Power Conversion System Based on Children’s Play”*** Department of Electrical Engineering and Computer Science, Tulane University
- [3] Kazazia , Arjen Jansen ***“Eco-design and human-powered products”*** O2 France, PES research group, Delft University of Technology
- [4] Melissa Ott ***“Gym Equipment Energy Generation & its Implementation at UC Santa Cruz Wellness Center”*** Student Environmental Center: Transportation Campaign
- [5] ***Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de bicicletas estáticas”*** Karl Von Drais y Thomas McCal
- [6] ***Índice de precios al consumo*** Instituto nacional de Estadística
- <http://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=10305>



- [7] *Tipo de interés practicado por las entidades* Banco de España
- http://www.bde.es/clientebanca/es/areas/Tipos_de_Interes/entidades/

BIBLIOGRAFÍA

- **Página web Endesa educa**
 - ❖ http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/v.-funcionamiento-basico-de-generadores

- **Página web del centro de defensa de Zaragoza**
 - ❖ http://www.unizar.es/innovacion/convocatorias2011/documentos/307PIIDUZ_2011_2_307_BICIGEN_.pdf

- **Catálogo de alternadores Indiel**
 - ❖ http://www.indiel.com.ar/images/productos/alternadores_a127b.htm

- **Información sobre alternador**
 - ❖ <http://www.tuveras.com/maquinascc/dinamo/excitaciondinamo.htm>
 - ❖ <http://www.aficionadosalamecanica.net/alternador.htm>
 - ❖ <http://www.aficionadosalamecanica.net/alternador-reg.htm>



- ❖ <http://www.ro-des.com/mecanica/alternador-del-coche-que-es-y-averias-frecuentes/>
- ❖ <http://dasczxczcxzc.blogspot.com.es/>
- ❖ http://www.csi-csif.es/andalucia/modules/mod_ense/revista/pdf/Numero_23/JESUS_DIAZ_FONSECA01.pdf

- **Página web de Ingecom sun Smart**
 - ❖ http://www.sumsol.es/wp-content/uploads/clearspace/one/2012/12/109-05-Ingecon-Sun-Smart-10-125-15-20-25-30-ED1106_es.pdf

- **Página web aliexpress**
 - ❖ http://es.aliexpress.com/store/product/Peak-10000W-Modified-Sine-Wave-power-inverter-5000w-DC-12V-to-AC-240V-power-inversor-with/412461_2042838399.html

- **Página web de paneles fotovoltaicos eastechsolar**
 - ❖ <http://www.eastechsolar.com/productos/verproducto/esf-300ma>

- **Página web de correas Gates**
 - ❖ <http://comanosa.com/imagenes/catBandasInd.pdf>

- **Páginas web de estudios similares**
 - ❖ <http://nicolasdiruscio.redirectme.net/archivos/Libros/Bicicleta%20generadora%20de%20electricidad.pdf>



- ❖ <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/339pub.pdf>
- ❖ http://www.unizar.es/innovacion/convocatorias2011/documentos/307PIIDUZ_2011_2_307_BICIGEN_.pdf

- **Páginas web sobre facturación de energía**
 - ❖ <http://facua.org/es/documentos/evoluciontarifaselectricas1993-2013.pdf>
 - ❖ <https://www.iberdrola.es/clientes/empresas/info/suministros-baja-tension>
 - ❖ <http://solartradex.com/blog/inyeccion-0-el-nuevo-credo-del-utoconsumo-solar/>

- **Resto de páginas de interés**
 - ❖ http://www.rakuten.es/tienda/triavip/producto/2091165500/?sclid=a_pla_es&pup_e=3747&pup_id=2091165500&gclid=CJuDycuQ8cYCFUXItAodaHUJTg
 - ❖ <http://www.sumidelec.com/cable-electrico-unipolar-por-metros-libre-halogenos-azul-16mm-p-4746>
 - ❖ <http://www.alltricks.es/mtb/cambios/cambios-traseros/cambio-trasero-shimano-tx35-torneo-76-v-gs-negro-120-183577.html?gclid=CLfZ9bGR8cYCFUbkwgodjJ8IGw#ectrans=1>
 - ❖ <http://www.amtriathlon.com/2009/07/eficiencia-de-la-transmision-de-la-bici.html>
 - ❖ <http://www.greenfit-outlet.com/bicis-ciclismo-indoor/10-bicicleta-spinning-racer-22-8033182748790.html>