

**DISEÑO DEL SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL
APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR**

**JHAN CARLOS MANOSALVA SÁNCHEZ
GERARDO SEBASTIÁN SILVA BOHÓRQUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

**DISEÑO DEL SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL
APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR**

**JHAN CARLOS MANOSALVA SÁNCHEZ
GERARDO SEBASTIÁN SILVA BOHÓRQUEZ**

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico**

**Codirector
JORGE LUIS CHACÓN VELAZCO
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

A mis padres, que se esfuerzan minuto a minuto por la felicidad de sus hijos, que en todo momento me brindan su apoyo incondicional y confianza.

A mis hermanos que los llevo en mi corazón y me motivan a vencer los retos.

A Dayana Vera por su incondicionalidad como pareja y amiga.

Jhan Carlos Manosalva Sánchez

DEDICATORIA

A Dios por permitirme cumplir este objetivo.

A mis padres, Pedro Emilio Silva y Aurora Bohórquez por todo su esfuerzo y apoyo

A mis hermanos por sus sabios consejos y a mi familia en especial Martin Silva.

A mis amigos y las personas que me acompañaron en el proceso de los cuales aprendí demasiado.

Gerardo Sebastián Silva Bohórquez

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Omar Armando Gelvez Arocha y Julian Ernesto Jaramillo, docentes de la escuela de ingeniería mecánica, por la confianza depositada, colaboración, conocimiento y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A todas las personas que nos acompañaron en este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	23
1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	27
2. JUSTIFICACIÓN	28
3. OBJETIVOS	31
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	31
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	31
4. ENERGÍAS RENOVABLES.....	33
4.1 FUENTES INAGOTABLES.....	33
4.2 GENERALIDADES DE LA TECNOLOGÍA DE ENERGÍA RENOVABLE.....	34
4.3 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES	37
4.3.1 Energía solar térmica	37
4.3.2 Energía solar fotovoltaica.....	40
4.3.3 Energía eólica.....	45
4.3.4 Biomasa.....	48
4.3.5 Biogás.....	50
4.3.6 Energía geotérmica.....	51
4.3.7 Hidrogeno	53
4.3.8 Energía oceánica	54
4.3.9 Energía de las olas	55
4.3.10 Energía mareomotriz.....	56
4.3.11 Conversión de energía térmica del océano	58

5.	ENERGÍA SOLAR	59
5.1	RADIACIÓN SOLAR.....	59
5.1.1	El sol.....	59
5.1.2	Movimientos de la tierra	61
5.2	RADIACIÓN SOLAR EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA	62
5.2.1	Atenuación de la atmósfera.....	64
5.3	LA CONSTANTE SOLAR	66
5.4	ANGULO SOLAR	66
5.4.1	Declinación	70
5.4.2	Ángulo de horario.....	73
5.4.3	Ángulo cenit θ_z	74
5.4.4	Ángulo de altitud solar α_s	74
5.4.5	Ángulo de azimut solar γ_s	74
5.4.6	Ángulo de incidencia	75
5.5	IRRADIACIÓN TERRESTRE.....	77
5.5.1	Radiación solar directa.....	78
5.5.2	Radiación solar difusa.....	78
5.5.3	Radiación solar reflejada.....	78
5.6	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN.....	79
5.6.1	Piranómetro	79
5.6.2	Pirheliómetro.....	81
5.6.3	Piranógrafo o actinógrafo	82
5.6.4	Heliógrafo	82
5.7	ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR PROMEDIO	83
5.7.1	Irradiación para superficies inclinadas.....	85
5.8	ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR	85

5.8.1	Radiación solar mundial	86
5.8.2	Radiación solar en Colombia	87
5.9	USO DE LA ENERGÍA SOLAR EN COLOMBIA	90
5.9.1	Calentadores solares	90
5.9.2	Sistemas fotovoltaicos	91
6.	APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR	93
6.1	PRODUCCIÓN DE ACS	93
6.2	CLIMATIZACIÓN DE PISCINAS.....	94
6.3	CALEFACCIÓN	96
6.4	REFRIGERACIÓN.....	97
6.5	APLICACIONES INDUSTRIALES	97
7.	SERVICIO DE AGUA CALIENTE.....	99
7.1	TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	99
7.2	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN.....	100
7.2.1	Colectores.....	100
7.2.2	Fluidos de transferencia térmica.	100
7.2.3	Almacenamiento de energía térmica.....	101
7.2.4	Intercambiadores de Calor	102
7.2.5	Bombas.....	104
7.2.6	Tuberías.....	104
7.2.7	Válvulas y Medidores	104
7.2.8	Fuentes de calor auxiliares	105
7.2.9	Control	105
7.3	COLECTOR SOLAR DE ENERGÍA.....	106
7.3.1	Calor solar captado.....	107

7.3.2	Colectores de placa plana.....	107
7.3.3	Colectores de tubos al vacío	109
7.3.4	Colectores de concentración.....	114
7.4	PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA	119
7.4.1	Tipos de sistemas	120
7.5	ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	124
7.5.1	Métodos de almacenamiento de energía	126
7.5.2	Tipos de acumuladores.....	129
7.5.3	Carga y descarga del acumulador.....	131
7.6	SISTEMAS DE CALEFACCIÓN SOLAR Y DE REFRIGERACIÓN.....	132
7.6.1	Sistemas solares pasivos.....	133
7.6.2	Sistemas solares activos.....	133
8.	REFRIGERACIÓN SOLAR.....	134
8.1	ESTADO ACTUAL DE LA REFRIGERACIÓN SOLAR	134
8.2	TIPOS DE REFRIGERACIÓN SOLAR	135
8.2.1	Refrigeración solar por compresión eléctrica.....	136
8.2.2	Refrigeración solar por compresión termo-mecánica.	137
8.2.3	Refrigeración solar por adsorción.....	139
8.2.4	Refrigeración solar por absorción.....	141
8.3	MÁQUINA DE ABSORCIÓN.....	143
8.3.1	Componentes.....	144
8.3.2	Clasificación de las máquinas de absorción	147
8.3.3	Problemas de funcionamiento.	162
8.3.4	Mejoras del sistema de absorción	168
9.	SIMULACIÓN	172

9.1	PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN	173
9.1.1	Condiciones ambientales	173
9.1.2	Ubicación solar	173
9.1.3	Datos técnicos de los equipos.....	173
9.1.4	Consumos.....	174
9.2	PROCEDIMIENTO DE LA SIMULACIÓN	174
9.3	MODELOS MATEMÁTICOS.....	175
9.3.1	Modelo matemático del sistema de captación	177
9.3.2	Modelo matemático del sistema de almacenamiento	189
9.3.3	Caldera auxiliar	197
9.3.4	Modelo matemático de la carga necesaria por la máquina de absorción.....	198
9.3.5	Cargas para los servicios de ACS y refrigeración	201
9.3.6	Modelos matemáticos de los diferentes controles de temperatura y estados de encendido y apagado del sistema.....	201
9.4	FUNCIONAMIENTO DE LA SIMULACIÓN.....	205
9.5	ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....	211
9.5.1	Consumo del servicio de refrigeración.	212
9.5.2	Consumo del servicio de ACS.....	213
9.5.3	Calor irradiado Vs calor útil	216
9.5.4	Flujos de entrada a la cámara de mezclado para el servicio de ACS	218
9.5.5	Estratificación en el depósito acumulador	220
9.5.6	Temperatura de entrada y salida del generador	221
9.5.7	Aportes de energía solar Vs aportes de caldera.....	223
10.	INSTALACIÓN SOLAR	226
10.1	DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES	228
10.1.1	Campo de colectores	232

10.1.2	Fluido térmico	233
10.1.3	Tanque de almacenamiento.....	233
10.1.4	Tuberías.....	234
10.1.5	Bombas.....	235
10.1.6	Vasos de expansión.....	235
10.1.7	Sistema de control	237
10.1.8	Otros componentes.....	238
11.	CONCLUSIONES.....	239
12.	RECOMENDACIONES.....	241
	BIBLIOGRAFÍA.....	242
	ANEXOS	244

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Situación Actual de energías renovables en Latinoamérica y el Caribe	.30
Figura 2. Horno solar, utilizado en 1774 por Lavoisier	38
Figura 3. Esquema de la instalación de un sistema fotovoltaico residencial	40
Figura 4. Energía eólica	46
Figura 5. Variedad de aerogeneradores. a) máquinas de eje horizontal. b) máquinas de eje vertical	47
Figura 6. Materia prima para la producción de biomasa	49
Figura 7. Producción de energía en una planta de biogás	51
Figura 8. Descripción del ciclo de aprovechamiento de la energía geotérmica	52
Figura 9. Celda de hidrogeno	53
Figura 10. Principio de funcionamiento del aprovechamiento de la energía oceánica	55
Figura 11. Principio de funcionamiento de un conversor de energía de las olas	56
Figura 12. Conversores de la energía mareomotriz a la mecánica	57
Figura 13. Planta de energía térmica del océano para acondicionamiento residencial	58
Figura 14. Relación Tierra – Sol	60
Figura 15. Estructura del sol	61
Figura 16. Ejes de rotación de la tierra	62
Figura 17. Espectro de la radiación solar al nivel del mar, para una masa de aire de 1,0	64
Figura 18. Atenuación de la radiación por la atmosfera	65
Figura 19. Movimiento anual de la tierra alrededor del sol	67
Figura 20. Cambio anual de la posición del sol en el cielo para el hemisferio norte	68
Figura 21. (a) Angulo cenit, pendiente, acimut de la superficie y acimut solar. (b) vista plano superior ángulo acimut solar	69
Figura 22. Declinación solar	70

Figura 23. Variación de la declinación en las estaciones del año.....	71
Figura 24. Variación anual de la declinación solar.....	72
Figura 25. Angulo horario ω	73
Figura 26. Angulo de altitud solar y el ángulo de perfil para una superficie.	76
Figura 27. Componentes de la radiación global.....	79
Figura 28. Piranómetro	80
Figura 29. Piranómetro con aro de sombra	81
Figura 30. Pirheliómetro medidor de la radiación solar.....	81
Figura 31. Actinógrafo.....	82
Figura 32. Ilustración del funcionamiento del heliógrafo	83
Figura 33. Mapa de la potencial energía solar mundial	87
Figura 34. Mapa radiación solar global de Colombia para el mes de noviembre...89	
Figura 35. Ciclo de producción de agua caliente sanitaria.....	94
Figura 36. Uso de la energía térmica para la climatización de piscinas.....	95
Figura 37. Esquema de un sistema de captación más almacenamiento.	102
Figura 38. Tipos de colectores.....	106
Figura 39. Despiece placa colectora.....	108
Figura 40. Partes principales del tubo de vacío	111
Figura 41. Conexión hidráulica de tubos al vacío	113
Figura 42. Colector plano con alas reflectantes	115
Figura 43. Concentrador parabólico.....	116
Figura 44. (a) colector cilindro parabólico. (b) concentrador parabólico compuesto.	117
Figura 45. Colector cilindro parabólico de Fresnel.....	118
Figura 46. Concentrador lineal de Fresnel.....	118
Figura 47. Instalación solar	119
Figura 48. Refrigeración por compresión eléctrica.....	136
Figura 49. Sistema de refrigeración solar por compresión termo-mecánica	138
Figura 50. Sistema de refrigeración solar por adsorción.....	140
Figura 51. Refrigeración por absorción	142

Figura 52. Sistema de refrigeración por absorción asistido por energía solar y gas natural.....	144
Figura 53. Generador maquina absorción	145
Figura 54. Condensador maquina absorción	146
Figura 55. Evaporador maquina absorción.	146
Figura 56. Absorbedor máquina de absorción	147
Figura 57. Esquema máquina de absorción de simple efecto.	149
Figura 58. Esquema máquina de absorción de doble efecto	150
Figura 59. Máquina de absorción H ₂ O-BrLi.....	157
Figura 60. Máquina de absorción H ₂ O-NH ₃	159
Figura 61. Línea de Cristalización en una máquina de absorción.....	165
Figura 62. Maquinas con absorción rotativa Rotartica.	171
Figura 63. Esquema básico del sistema de aprovechamiento térmico de la energía solar para servicio de ACS y refrigeración absorción	175
Figura 64. Radiación promedio por colores en la ciudad de Bucaramanga.....	181
Figura 65. Volumen de control del sistema de captación y almacenamiento de energía térmica.....	191
Figura 66. Estratificación del tanque de almacenamiento por el método de nodos	193
Figura 67. Estratificación del tanque de almacenamiento por el método de tanques	194
Figura 68. Sistema de captación y almacenamiento con estratificación de temperatura	195
Figura 69. Variación de la temperatura a través de la placa colectora	197
Figura 70. Diagrama PI&D de la planta.	202
Figura 71. Datos condiciones climáticas y geográficas.....	206
Figura 72. Datos de los colectores.....	207
Figura 73. Datos de tuberías	207
Figura 74. Control diferencial.....	208
Figura 75. Consumos y control de la mezcla de salida ACS	209

Figura 76. Estratificación del acumulador	209
Figura 77. (a) Exportación de resultados a una matriz en Matlab, (b) Monitoreo de resultados.	210
Figura 78. Comportamiento de las temperaturas de depósito y a la entrada de la máquina refrigeradora. (a) Consumo 500 L/día de ACS y 6 horas de refrigeración, (b) consumo variado ACS y 6 horas de refrigeración, (c) consumo 100 L/día ACS y 3 horas de refrigeración.	212
Figura 79. Consumos de ACS y temperatura de salida del depósito. (a) consumo 500 L/día de ACS y 6 horas de refrigeración, (b) consumo variado ACS y 6 horas de refrigeración, (c) consumo 100 L/día ACS y 3 horas de refrigeración.	214
Figura 80. Comparación entre el calor irradiado y el calor útil. (a) consumo 500 L/día de ACS y 6 horas de refrigeración, (b) consumo variado ACS y 6 horas de refrigeración, (c) consumo 100 L/día ACS y 3 horas de refrigeración.	216
Figura 81. Zoom del calor irradiado Vs calor útil para días de interés (2º y 7º). (a) consumo 500 L/día de ACS y 6 horas de refrigeración, (b) consumo variado ACS y 6 horas de refrigeración, (c) consumo 100 L/día ACS y 3 horas de refrigeración.....	217
Figura 82. Flujos de entrada y salida de la cámara de mezclado para el servicio de ACS. (a) consumo 500 L/día de ACS y 6 horas de refrigeración, (b) consumo variado ACS y 6 horas de refrigeración, (c) consumo 100 L/día ACS y 3 horas de refrigeración.....	219
Figura 83. Estratificación de temperaturas en el depósito. (a) consumo 500 L/día de ACS y 6 horas de refrigeración, (b) consumo variado ACS y 6 horas de refrigeración, (c) consumo 100 L/día ACS y 3 horas de refrigeración.	220
Figura 84. Temperaturas en el depósito, a la entrada y salida del generador. (a) consumo 500 L/día de ACS y 6 horas de refrigeración, (b) consumo variado ACS y 6 horas de refrigeración, (c) consumo 100 L/día ACS y 3 horas de refrigeración.....	222

Figura 85. Aportes de energía solar Vs aportes de calor en la caldera con consumo de 500 L/día.	223
Figura 86. Aportes de energía solar Vs aportes de calor en la caldera con consumo variado.	224
Figura 87. Aportes de energía solar Vs aportes de calor en la caldera con consumo mínimo.	225
Figura 88. Instalación completa	226
Figura 87. Comparación de la eficiencia de los distintos colectores.	239

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Potencial de la energía solar en Colombia.....	29
Tabla 2. Valor de N para el íésimo día del mes y algunos valores de declinación.	72
Tabla 3. Valores de reflectividad para distintas superficies	182
Tabla 4. Temperaturas para diferentes aplicaciones de agua caliente	214
Tabla 5. Característica de los equipos seleccionados y equipos alternativos.....	228
Tabla 6. Coeficientes de dilatación en función de la temperatura máxima de servicio.....	236
Tabla 7. Contenido de las tuberías por cada metro lineal en función del diámetro.	237
Tabla 8. Relación de costo Vs área de colector.....	240

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: Datos de referencia del mes de noviembre usados para la simulación, del mes, día, hora, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco, radiación directa y radiación difusa.....	245
ANEXO B: Estudio realizado sobre las condiciones de trabajo a la máquina de absorción ROTARTICA 045 v de una tonelada de refrigeración	265
ANEXO C: Catálogos para la selección de colectores térmicos.	286
ANEXO D: Catálogos para la selección del acumulador.	291
ANEXO E: Catálogos para la selección de grupos hidráulicos y vaso de expansión	295
ANEXO F: Catálogos para la selección de la centralita y válvulas motorizadas.	298
ANEXO G: Catálogo para la selección de la máquina de absorción.....	303
ANEXO H: Modelo térmico del sistema a distintas condiciones de radiación solar y dimensiones geométricas de los componentes del sistema en la plataforma SIMULINK.....	306
ANEXO I: Análisis de costo de inversión del montaje experimental dentro de la metodología de proyectos de inversión de la uis.	308

RESUMEN

TITULO:

DISEÑO DEL SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR*

AUTORES:

Jhan Carlos Manosalva Sánchez

Gerardo Sebastián Silva Bohórquez**

Descripción:

La energía solar es un recurso que actualmente se está aprovechando y desarrollando con la propuesta de sustituir combustibles fósiles, en Colombia, brevemente se está viendo esta solución, debido a que aún es un campo desconocido ante la inminente falta de investigación, los combustibles a base de hidrocarburos aún son muy utilizados para labores en las cuales se puede utilizar la energía solar.

Los sistemas informáticos y simulaciones han servido como aproximaciones muy exactas para definir casos reales o tangibles, estos sistemas nos ayudan a comprender el comportamiento a largo plazo de materiales y también el comportamiento de fluidos.

Nuestro trabajo consistió en desarrollar un programa en Simulink el cual modele la capacidad de aprovechamiento térmico de la energía solar para una región determinada, en este caso Bucaramanga. Con esto se busca ver que tan viable es utilizar un sistema solar para refrigerar y para servicio de agua sanitaria. Observar su comportamiento a diferentes valores de radiación y con dos tipos de colectores de calor solar, de este modelo se obtiene valores muy aceptables a los reales o curvas de fabricantes, se permite cambiar y modificar algunos valores para diferentes aplicaciones.

En consecuencia se trata de transmitir un ámbito investigativo y avance tecnológico con respecto a las energías alternativas, en donde sus aplicaciones puedan desarrollarse y aplicarse en las ciudades para evitar más contaminación.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA. Co-Director: JORGE LUIS CHACON VELAZCO

ABSTRACT

TITLE:

SYSTEM DESIGN TO THE EXPERIMENTAL STUDY OF THERMAL USE OF SOLAR ENERGY*

AUTHORS:

Jhan Carlos Manosalva Sánchez

Gerardo Sebastián Silva Bohórquez**

Description:

The solar energy is a resource that currently is been used and developed with the proposal of replace fossil fuels, in Colombia, that solution is been seen briefly, due to the fact that this is still an unkown field before the imminent lack of investigation, the fuels based on hydrocarbons are still used in tasks in which the solar energy can be implemented.

Computer systems and simulations have served as very accurate aproximations to define real or tangible cases, those systems help us to understand the performance for long term of materials and also the performance of fluids.

Our work consisted in the development of a program in Simulink that could modelate the capacity of the termic utilization of the solar energy for a specific región in that case Bucaramanga. This is implemented in order to analyse the efectivness of a solar sistem to refrigerate the temperature in the sanitary wáter service. To observe its performance in different radiation values and using two types of collectors of solar heat, in this model is obtained acceptable values related to the original or curves of the manufacturers, it is allowed to change and modify some values for different applications.

Therefore, this is about how to transmit an investigative field and tecnological progress with regard to the alternative energies, where their applications can be developed and applied in cities in order to avoid more contamination.

* Graduation Project

** Faculty of Physics-Mechanic Engineering's, School of Mechanic Engineering Director: OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA. Co-Director: JORGE LUIS CHACON VELAZCO

INTRODUCCIÓN

La energía solar ha ido en aumento en los últimos años por varias razones, entre ellas, que la tecnología ha logrado reducir costos y hacerla más accesible, aunque aún no es suficiente. La falta de apoyo de inversión desde un punto cultural no se hace ver y se encuentra la problemática de que su precio inicial o de adquisición es demasiado alto aún para ser accesible a todas las clases sociales.

Las aplicaciones que generan calor tienen menos atractivo que las que generan electricidad debido a la utilidad y su demanda, calentar agua hablando técnicamente es fácil, pero realizarlo de forma eficiente es complicado, se requiere de una cierta gama de equipos, conectarlos entre sí, dejar un receptor al sol y buscar que el agua supere la temperatura de la atmosfera para su utilización, por el lado del agua caliente sanitaria.

En este trabajo de grado se pretende realizar el diseño de un montaje experimental del aprovechamiento de la energía solar térmica como proyecto de inversión, para la realización de pruebas y mejoras en los sistemas de energía solar térmica, los cuales son de mucha utilidad en el país debido a la crisis energética, por el uso de energías contaminantes y no renovables.

Con el diseño de este montaje experimental del aprovechamiento térmico de la energía solar, se pretende formar a personas con interés por el cuidado del medio ambiente y el uso óptimo de la energía, en cuanto a la importancia de usar energías limpias que no afecten al medio ambiente con desechos contaminantes y que sean fuente de energías inagotables, concientizando del colapso petrolero y motivándolos a desarrollar investigaciones que permitan encontrar fuentes de

energías que sean más amigables con el medio ambiente y no deterioren los recursos naturales.

El diseño está adecuado para hacer las pruebas y mediciones necesarias para entender mejor los fenómenos térmicos. Contará con una serie de subsistemas para hacer la captación de energía, transporte, transformación y el uso de ella (Como agua caliente y aire refrigerado). Se estudiará la energía solar y el uso correcto o aprovechamiento de esta, por medio de resultados obtenidos en éste se pretende facilitar la enseñanza de estas áreas, la búsqueda de optimización de los diferentes subsistemas y facilitar el desarrollo de investigación.

El montaje experimental será diseñado bajo requerimientos de fácil manejo pensando en que los operarios tengan conocimientos básicos o sean estudiantes que estén en proceso de aprendizaje y facilidad de visualización de los procesos.

Lo relacionado con el aprovechamiento térmico de la energía solar se encuentra en el actual libro en el siguiente orden.

Capítulo 1, se presenta la descripción del problema que se quiere abordar.

Capítulo 2, se da una justificación para realizar el proyecto.

Capítulo 3, se describen los objetivos general y específicos del proyecto.

Capítulo 4, en este capítulo se desarrolla un descripción de las energías alternativas que debemos aprovechar y se pueden utilizar, haciendo énfasis en la solar térmica.

Capítulo 5, el capítulo describe las características de la radiación que llega a la superficie de la tierra, sus componentes, ángulos y elementos de medición de esta radiación.

Capítulo 6, en este capítulo se describe las aplicaciones de la energía solar térmica y su aprovechamiento.

Capítulo 7, en este capítulo se describe la aplicación del servicio de agua caliente sanitaria, los equipos que se utilizan para esta aplicación.

Capítulo 8, en este capítulo se describe la aplicación de refrigeración solar, los tipos de refrigeración solar que se tienen hoy día y se describe el método que utilizamos.

Capítulo 9, en este capítulo se describe el proceso de simulación, las ecuaciones, los parámetros que se tuvieron en cuenta para los modelos matemáticos.

Capítulo 10, en este capítulo se habla de los equipos que componen una instalación solar, se cuantifican y se describe el funcionamiento dentro del sistema.

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente los estudiantes de la educación media superior y educación superior muestran poca motivación con respecto a temas de: aprovechamiento de la energía y uso de energías alternativas, puesto que no se les muestra la necesidad e importancia de esta ciencia para los avances de la sociedad. Esto lleva a un déficit en las investigaciones, ya que no solo es la falta de motivación sino también el desconocimiento de la problemática asociado al uso racional de la energía y la posibilidad de utilizar fuentes alternas de energía por parte de la juventud.

Debido a la carencia de escenarios físicos (laboratorio equipado de aprovechamiento térmico de la energía solar), los estudiantes tienen pocas instancias para motivarse y trabajar en actividades prácticas, ya que no cuentan con un espacio para desarrollar, desde la educación media superior y hasta la educación superior, habilidades científicas para: explorar hechos y fenómenos de los sistemas solares térmicos; analizar problemas; observar, recoger y analizar información relevante; utilizar diferentes métodos de análisis; evaluar los métodos y compartir los resultados.

El desinterés a las investigaciones nos deja atrás respecto de otros países que si dan más importancia al estudio de fuentes alternativas de energía y el país adicionalmente se topa con problemas ambientales a causa de la extracción de materia prima o contaminación por la quema de estos mismos, lo cual se presenta por no generar conciencia en la juventud de estos problemas.

2. JUSTIFICACIÓN

Estimulados por la falta de espacios para el estudio de energías alternativas, crece la necesidad por realizar el diseño de un sistema de aprovechamiento de la energía solar térmica, que permite contribuir al estudio de esta ciencia por medio laboratorios que van de la mano con las clases impartidas en las instituciones educativas y así motivar el avance de las investigaciones en esta área. Los ejercicios del laboratorio se utilizan como herramientas de enseñanza para afirmar los conocimientos adquiridos en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Cabe destacar que, en especial, permiten mostrar el fenómeno y comportamiento de ciertos procesos; mientras que, en el terreno de la investigación, permiten avanzar el estado del conocimiento y realizar investigación de punta que con altas expectativas en algún día podrán dar soluciones al colapso petrolero y problemas medioambientales por la contaminación de los tradicionales combustibles.

La implementación de una instalación tipo laboratorio, que muestre las particularidades de la utilización de la energía solar, conlleva a generar el interés en las investigaciones sobre el uso racional de la energía y energías alternas, como la energía solar, lo cual asegura y fomenta el conocimiento de la juventud sobre esta moderna tecnología. Beneficiando a toda la comunidad regional, al hacer uso de esta fuente energética económica a largo plazo, ya que los costos se pueden calcular con exactitud y con muchos años de antelación, por lo cual representan una inversión segura independiente del aumento de los costos de las empresas prestadoras de energía y que a la vez busca ser amigable con el medio ambiente, dado que suministran energía sin emisión alguna de gases que provocan efecto invernadero.

El proyecto hace parte de una propuesta macro “RED DE NODOS DE INNOVACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA LA GESTIÓN EFICIENTE DEL USO RACIONAL Y SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS DE

SANTANDER” para la Escuela Normal Superior de Bucaramanga, que busca innovar mediante la implementación del laboratorio para el estudio y aprovechamiento de los recursos energéticos en el departamento.

La evaluación del potencial solar de Colombia se ha realizado empleando principalmente información de estaciones meteorológicas del IDEAM (Instituto de Estudios Ambientales), procesada para ser transformada de información meteorológica en información energética.

Tabla 1. Potencial de la energía solar en Colombia

Región del país	Radiación Solar (kWh/m ² /año)
Guajira	2 000 - 2 100
Costa Atlántica	1 730 - 2 000
Orinoquía-Amazonía	1 550 - 1 900
Región Andina	1 550 - 1 750
Costa Pacífico	1 450 - 1 550

Fuente: Atlas de Radiación Solar de Colombia. Bogotá: UPME – IDEAM, 2005

Si se tiene en cuenta que el máximo mundial es de aproximadamente **2500 kWh/m²/año**, el potencial en Colombia en relación con este máximo varía entre 58% en la Costa Pacífica y 84% en la Guajira. Pero más importante aún que los valores es que la variación mensual de la radiación global frente a la media anual es pequeña comparada con las variaciones de otras regiones del mundo, lo que permite que sea muy benéfico explotar este potencial energético en Colombia.

Figura 1. Situación Actual de energías renovables en Latinoamérica y el Caribe



Fuente: BID: América Latina y el Caribe podrían cubrir sus necesidades eléctricas con recursos renovables. Disponible en Internet: <http://www.iadb.org/es/noticias/articulos/2013-06-18/energia-renovable-de-america-latina-y-el-caribe,10486.html>

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir a la solución de la crisis energética haciendo un aporte mediante la formulación de un proyecto de inversión parametrizado, relacionado con el aprovechamiento térmico de la energía solar, respaldado por la Universidad Industrial de Santander, dentro del marco investigativo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseño de un sistema para el estudio experimental del aprovechamiento térmico de la energía solar con capacidad que permita disponer de hasta 500 litros de agua caliente a 60 °C y 1 tonelada de refrigeración, constituido por los siguientes subsistemas:
 - ✓ Subsistema de captación de energía solar térmica y almacenamiento de hasta 500 litros de agua caliente a 60 °C.
 - ✓ Subsistema de transporte del fluido (por tubería, válvulas y bombas).
 - ✓ Subsistema auxiliar (para casos de baja disponibilidad de energía solar) basado en aporte de energía eléctrica o gas.
 - ✓ Subsistema de aprovechamiento de energía térmica para refrigeración basado en el principio de absorción, con capacidad de hasta 1 tonelada de refrigeración y disipación de calor mediante torre de enfriamiento.
 - ✓ Subsistema de monitoreo de temperatura y control de la instalación basado en control diferencial de temperaturas, mediante un módulo de control diferencial.
- Realizar el análisis de costo de inversión del montaje experimental dentro de la metodología de proyectos de inversión de la UIS.

- Modelamiento térmico del sistema para simular el desempeño a distintas condiciones de radiación solar y dimensiones geométricas de los componentes del sistema.

4. ENERGÍAS RENOVABLES

Para la física, la energía es la capacidad potencial que tienen los cuerpos para producir trabajo o calor, y se manifiesta mediante un cambio. Desde siempre, el hombre ha utilizado las fuentes de energía a su alcance para hacer un trabajo o para obtener calor. Desde inicios se contó con su propia fuerza física o la de los animales domésticos. Luego se vio la posibilidad de utilizar recursos como la energía del viento y del agua. Por último la cual ha perdurado llegaría la explotación de los combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) y de la energía nuclear. En el futuro es probable que se encuentren nuevas fuentes, la disponibilidad de energía ha sido siempre esencial para la humanidad.

Dentro de las distintas fuentes de energía, las renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana, aunque habría que decir que, para fuentes como la biomasa, esto es así siempre que se respeten los ciclos naturales. El sol es la principal fuente en el origen de todas las energías renovables, porque su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica. El sol ordena el ciclo del agua, causa la evaporación que predispone la formación de nubes y, por tanto, las precipitaciones de agua. También del sol procede la energía hidráulica. Las plantas se sirven del sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer. Toda esa materia vegetal es la biomasa. Por último, el sol se aprovecha directamente en las energías solares, tanto la térmica como la fotovoltaica.

4.1 FUENTES INAGOTABLES

Las energías limpias son fuente inagotable debido a que su uso no se modificara si se aprovecha de ella, es decir por más paneles solares térmicos o celdas fotovoltaicas que se pongan la radiación solar no disminuirá ni se afectara en igual

caso por gran cantidad de aerogeneradores que extraen la fuerza del viento el viento no influirá en el equilibrio térmico del planeta. Estas fuente se puede utilizar de manera indiscriminada y aprovecharse al máximo, por otro lado la biomasa natural el primer tipo de energía que encontró el hombre, un aprovechamiento excesivo de esta (por ejemplo el carbón de la leña) causaría gran degradación en los ecosistemas naturales, el hecho de que este tipo de energía sea aun la base del consumo energético en países en vía de desarrollo se encuentran problemas naturales debido a que explotan las masas vegetales de tal forma que no se les permite su recuperación natural causando erosión y desertización.

4.2 GENERALIDADES DE LA TECNOLOGÍA DE ENERGÍA RENOVABLE

La mayor ventaja de la energía solar en comparación con otras formas de energía es que es limpia y se puede suministrar sin la contaminación del medio ambiente. Durante el siglo pasado, los combustibles fósiles aportaron la mayor parte de nuestra energía, porque éste era mucho más barato y más conveniente que la energía a partir de fuentes de energía alternativa, y hasta hace poco, la contaminación del medio ambiente ha sido de poco interés.

Fue durante la crisis de 1973 en Egipto donde se empezó a cambiar la relación económica del combustible y después de la organización de la famosa “armada petrolera” que obligo a que se cambiara todo en los países árabes y la estrategia de los 6 miembros de la OPEP (Organization of Petroleum Exporting Countries) los cuales en Kuwait decidieron elevar los precios del petróleo crudo en un 70%.

El rápido aumento de la demanda de petróleo se produjo principalmente porque aumento las producciones de cantidades de aceite, a muy bajo costo, esto se puso a disposición durante los años 1950 y 1960 donde la materia prima procedentes de Oriente Medio y el Norte de África. Para los países consumidores,

las importaciones de petróleo eran baratas en comparación con la energía de origen autóctono de los combustibles sólidos.

Las reservas probadas de petróleo del mundo son equivalentes a 1200 millones de barriles (2005) y las reservas mundiales de gas natural son de 180 trillones de metros cúbicos (2004). La tasa de producción actual es igual a 80 millones de barriles por día de petróleo y 7360 millones de metros cúbicos por día de gas natural. Por lo tanto, el principal problema es que las reservas probadas de petróleo y gas, al ritmo actual de consumo, serían suficientes para satisfacer la demanda de sólo otro 41 y 67 años, respectivamente¹. Las reservas de carbón están en una mejor situación; que serían adecuados para al menos los próximos 230 años.

Si tratamos de ver las implicaciones de estas reservas limitadas, nos enfrentamos a una situación en la que el precio de los combustibles se acelerará a medida las reservas disminuyen. Teniendo en cuenta que el precio del petróleo se ha consolidado como el líder de precios para todos los precios de los combustibles, la conclusión es que los precios de la energía aumentarán de forma continua durante las próximas décadas. Además, existe una creciente preocupación acerca de la contaminación ambiental causada por la quema de combustibles fósiles.

Todos los aspectos anteriores propusieron nuevos estudios y enfoques hacia las energías renovables, su prometedora perspectiva refleja impresionantes avances técnicos realizados durante las últimas dos décadas como sistemas de energía renovable beneficiados de los desarrollos de la electrónica, la biotecnología, ciencias de materiales, y en otras áreas. Por ejemplo, las pilas de combustible desarrolladas originalmente para el programa espacial abrieron la puerta a la utilización del hidrógeno como combustible no contaminante para el transporte.

¹ Tomado del artículo Goswami, 2007. En: DUFFIE, Jhon A y BECKMAN, William A. 2013

Tecnologías de energía renovable producen energía comercializable mediante la conversión de los fenómenos naturales en formas útiles de energía. Estas tecnologías utilizan la energía del sol y sus efectos directos e indirectos sobre la tierra (la radiación solar, el viento, el agua que cae, y varias plantas, es decir, biomasa), las fuerzas gravitatorias (mareas), y el calor del núcleo de la Tierra (geotérmica) son los recursos que producen energía. Estos recursos tienen el potencial de energía masiva; Sin embargo, generalmente se difunden y no son totalmente accesibles, la mayoría de ellos son intermitentes y tienen variabilidades en distintas regiones. Estas características dan lugar a retos difíciles, pero que tienen soluciones, técnicas y económicas. Hoy en día, el progreso significativo se hace mediante la mejora de las eficiencias de recolección y conversión, la reducción de los costes iniciales y de mantenimiento, el aumento de la fiabilidad y aplicabilidad de los sistemas de energía renovable.

Los beneficios de los sistemas de energía renovables pueden resumirse como los siguientes²:

- **El desarrollo social y económico.** La producción de energía renovable, especialmente la biomasa, puede proporcionar el desarrollo económico y las oportunidades de empleo, especialmente en las zonas rurales, que de otro modo tienen limitadas oportunidades para el crecimiento económico. La energía renovable por lo tanto puede ayudar a reducir la pobreza en las zonas rurales y reducir la presión de la migración urbana.
- **La restauración del terreno.** La creciente utilización de biomasa degrada las tierras el cambio de esta energía puede proporcionar el incentivo y el financiamiento necesario para restaurar tierras que se encuentran casi inútiles por las prácticas agrícolas o forestales anteriores. Aunque las tierras de cultivo para la energía de biomasa no se pueden restaurar a su estado

² Tomado de Johanson et al, 1993. En: KALOGIROU, Soteris A. 2009

original, con la recuperación de estas tierras para plantaciones de biomasa podría apoyar el desarrollo rural, a frenar la erosión y proporcionar un mejor hábitat para la vida silvestre que en la actualidad.

- **Menor contaminación del aire.** Tecnologías de energía renovable, tales como metanol o hidrógeno para vehículos con baterías de combustible, producen prácticamente ninguna de las emisiones asociadas a la contaminación atmosférica urbana y la deposición ácida, sin necesidad de recurrir a costosos controles adicionales.
- **Reducción del calentamiento global.** El uso de energía renovable no produce dióxido de carbono u otras emisiones de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global. Incluso el uso de combustibles de biomasa no contribuye al calentamiento global, ya que el dióxido de carbono liberado cuando se quema biomasa es igual a la cantidad absorbida de la atmósfera por las plantas a medida que se cultivan para el combustible de biomasa.

4.3 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES

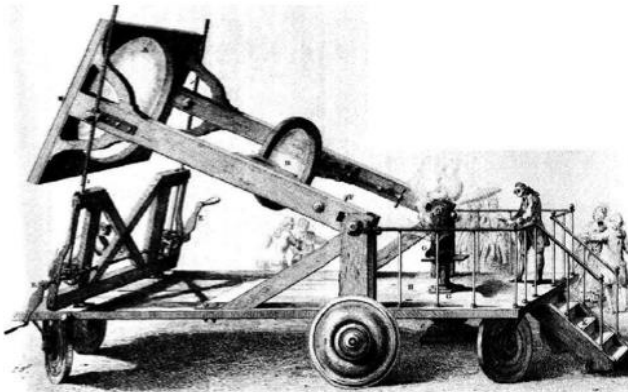
4.3.1 Energía solar térmica

Sorprendentemente, las primeras aplicaciones de la energía solar se refieren al uso de colectores de concentración, que son, por su naturaleza (construcción de forma precisa) compleja y requieren la precisión más exigente para seguir el sol. Durante el siglo XVIII, los hornos solares capaces de fundir el hierro, el cobre y otros metales se construían de hierro pulido, lentes de cristal y espejos.

Los hornos estaban en uso en toda Europa y el Medio Oriente. Una de las primeras aplicaciones a gran escala fue el horno solar construido por el químico francés conocido Lavoisier, quien hacia 1774, construyó potentes lentes para

concentrar la radiación solar (Figura 2). Esto alcanza la temperatura notable de 1750 ° C. El horno utiliza un lente principal de 1.32 m además de un lente secundario de 0,2 m para obtener dicha temperatura, que resultó ser la máxima alcanzada durante 100 años. Otra aplicación de la utilización de la energía solar en este siglo se llevó a cabo por el naturalista francés Boufon (1747-1748), quien experimentó con varios dispositivos que él describió como "espejos calientes que queman a larga distancia".³

Figura 2. Horno solar, utilizado en 1774 por Lavoisier



Fuente: KALOGIROU A, Soteris. Solar Energy engineering: Processes and Systems. Academic. 2009

Durante los últimos 50 años, muchas variaciones de colectores fueron diseñados y construidos utilizando como enfoque y como medio de calentamiento la transferencia de calor a un fluido de trabajo que alimenta los equipos mecánicos. Las dos tecnologías solares primarios utilizados son receptores centrales y receptores distribuidos que emplean diversos puntos de foco lineal y la óptica para concentrar la luz solar.

³ Tomado de Delyannis, 2003 En: DUFFIE, Jhon A y BECKMAN, William A. 2013

Sistemas de receptor central utilizan campos de heliostatos para enfocar la energía radiante del sol en un solo receptor montado en una torre.⁴ La tecnología desarrollada de receptor distribuido incluye platos parabólicos, lentes de Fresnel, colectores cilindro-parabólicos, y objetos con forma de tazones especiales. Platos parabólicos siguen al sol en dos ejes y utilizan espejos para concentrar la energía radiante en un receptor punto de enfoque.

Hoy en día, muchas de las grandes plantas solares tienen salida en el rango de megavatios para producir electricidad o calor para seguir un proceso. La primera planta solar comercial se instaló en Albuquerque, Nuevo México, en 1979 y constaba de 220 heliostatos y tenía una potencia de 5 MW. La segunda se erigió en Barstow, California, con una potencia térmica total de 35 MW. La mayoría de las plantas solares producen electricidad o calor para procesos de uso industrial y proporcionan vapor sobrecalentado de 673 K. Por lo tanto, pueden proporcionar electricidad o vapor para mover las plantas desalinizadoras convencionales de pequeña capacidad impulsados por energía térmica o eléctrica.

La fabricación de calentadores solares de agua se inició en la década de 1960. La industria de la fabricación de calentadores solares de agua se expandió muy rápidamente en muchos países del mundo. Calentadores de agua solares típicos en muchos casos son del tipo termosifón y constan de dos colectores solares de placa plana que tiene un área de absorción de entre 3 y 4 m^2 y un tanque de almacenamiento con capacidad de entre 150 y 180 litros, todo instalado en un marco adecuado. Un calentador de inmersión eléctrico auxiliar o un intercambiador de calor, para la producción de agua caliente central denominado como el sistema de calefacción asistida, se usan en invierno, durante los períodos de baja irradiación solar. Otro tipo importante de calentador de agua solar es el tipo de circulación forzada. En este sistema, sólo los colectores solares son visibles en el

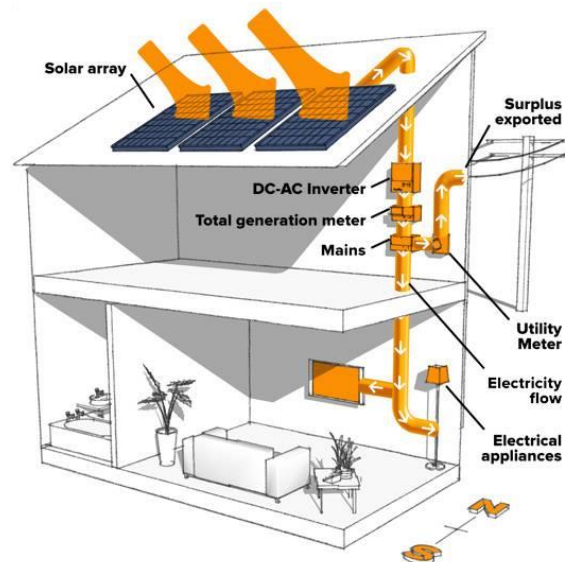
⁴ Espejos de seguimiento de dos ejes

techo, el tanque de almacenamiento de agua caliente se encuentra en el interior de una habitación de la planta, y el sistema se completa con la tubería, una bomba y un termostato diferencial. Obviamente, este tipo es más atractivo, principalmente por razones arquitectónicas y estéticas, pero también es más caro, especialmente para pequeñas instalaciones.⁵

4.3.2 Energía solar fotovoltaica

Colectores solares, llamados módulos Fotovoltaicos (PV), convierten la luz directamente en electricidad fotovoltaica se utilizan para alimentar equipos de comunicaciones situado a distancia, control remoto, iluminación, bombeo de agua, la carga de la batería, la protección catódica y para la generación de energía de interactiva utilidad.

Figura 3. Esquema de la instalación de un sistema fotovoltaico residencial



Fuente: ECO WARRIORS. SOLAR PHOTOVOLTAICS FOR YOUR HOME. Disponible en: <http://www.e-w-solar.com/solarPvHowItWorks.shtml>

⁵ Tomado de Kalogirou, 1997. En: KALOGIROU, Soteris A.

Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico en selenio en 1839. La eficiencia de conversión de las "nuevas" células de silicio, desarrollado en 1958, fue del 11%, aunque el costo era demasiado alto (\$ 1000 / W). La primera aplicación práctica de las células solares estaba en el espacio, donde el costo no era una barrera, ya que en el espacio no se contaba con alguna otra fuente de alimentación disponible. La investigación en los años 1960 resultó en el descubrimiento de otros materiales fotovoltaicos tales como arseniuro de galio (GaAs). Estos pueden funcionar a temperaturas más altas que el silicio, pero eran mucho más caros. La capacidad mundial instalada de energía fotovoltaica a finales de 2002 fue de cerca de 2GW. Las células fotovoltaicas están hechas de diversos semiconductores, que son materiales que son sólo moderadamente buenos conductores de la electricidad. Los materiales más utilizados son el silicio (Si) y compuestos de sulfuro de cadmio (CdS), sulfuro de cobre (Cu₂S), y el arseniuro de galio (GaAs).⁶

Células de silicio amorfo se componen de átomos de silicio en una capa homogénea delgada en lugar de una estructura de cristal. El silicio amorfo absorbe la luz de manera más eficaz que el silicio cristalino, por lo que las células pueden ser más delgadas. Por esta razón, silicio amorfo también se conoce como la tecnología fotovoltaica de película delgada. Con silicio amorfo puede ser depositado en una amplia gama de sustratos, tanto rígidos como flexibles, lo que lo hace ideal para superficies curvas y los módulos "plegables". Células amorfas son, sin embargo, menos eficiente que las células base cristalina, con eficiencias típicas de alrededor de 6%, pero que son más fáciles y por lo tanto más baratos de producir. Su bajo costo los hace ideales para muchas aplicaciones donde no se requiere alta eficiencia y bajo costo es importante.

⁶ Tomado de Lysen, 2003 En: DUFFIE, Jhon A y BECKMAN, William A.

El silicio amorfo (a-Si) es una aleación de silicio y vidriosa de hidrógeno (aproximadamente 10%). Varias propiedades lo convierten en un material atractivo para las células solares de película delgada:

- El silicio es abundante y ambientalmente seguro.
- El silicio amorfo absorbe la luz del sol muy bien, por lo que sólo se requiere una capa de célula solar activo muy delgada (aproximadamente $1\ \mu m$ en comparación con los $100\ \mu m$ más o menos para las células solares cristalinas), lo que reduce considerablemente las necesidades de material de células solares.
- Películas delgadas de a-Si pueden ser depositados directamente sobre materiales de soporte de bajo costo, tales como vidrio, chapa de acero, o lámina de plástico.

Un número de otros materiales prometedores, como telurio de cadmio (CdTe) y de cobre e indio diseleniuro (CIS), ahora se está utilizando para los módulos fotovoltaicos. La atracción de estas tecnologías es que pueden ser fabricados por los procesos industriales relativamente barato, en comparación con las tecnologías de silicio cristalino, sin embargo, suelen ofrecer eficiencias de módulo mayores que el silicio amorfo.

El primer paso para cualquier aplicación fotovoltaica es analizar cargas eléctricas y luego minimizar siempre que sea posible. El tamaño del arreglo puede reducirse sustancialmente mediante el uso de energía solar térmica (calefacción, ventilación y aire acondicionado) de alta eficiencia, con la ayuda de este sistema se reduce la carga del sistema fotovoltaico en electrodomésticos, motores, y otros dispositivos de alto consumo de energía. Utilizando esta estrategia es casi siempre más rentable que la adición de más módulos fotovoltaicos.

Las aplicaciones de más uso y donde el desempeño de esta energía es más aprovechable son:

- **Comunicaciones.** La energía fotovoltaica puede proporcionar energía confiable con poco mantenimiento para los sistemas de comunicación, especialmente aquellos en áreas remotas (lejos de la red eléctrica) con condiciones climáticas extremas, como fuertes vientos, nevadas y hielo. Los ejemplos incluyen torres de retransmisión de comunicaciones, información transmisores de viaje, teléfonos celulares, sistemas de radio móviles, cabinas telefónicas de emergencia, y las instalaciones de pruebas militares. Estos sistemas varían en tamaño desde unos pocos vatios para cabinas telefónicas a varios kilovatios para las estaciones repetidoras de onda micro. Para sistemas más grandes en sitios remotos, un generador de motor a menudo se combina con el sistema fotovoltaico. Estos sistemas híbridos de dos o más generadores pueden alcanzar casi el 100% de disponibilidad.
- **Electrificación a sitios remotos.** La energía fotovoltaica se utiliza para proporcionar energía a las residencias rurales, centros de visitantes en los parques, cabañas vacacionales, isla y pueblos, instalaciones de investigación remotas y áreas de pruebas militares. Las cargas variadas incluyen la iluminación, pequeños electrodomésticos, bombas de agua (incluyendo bombas de circulación en sistemas de calentamiento solar de agua), y equipo de comunicaciones. La demanda de carga varía de unos pocos vatios hasta decenas de kilovatios. La batería de ciclo profundo de respaldo es la más utilizada en esta aplicación por el poder de la noche, y por lo general tiene un tamaño para satisfacer la carga de dos a tres días sin entrada de carga del sistema fotovoltaico. Los sistemas híbridos también son comunes, utilizando el viento o el pequeño equipo de generación hidroeléctrica.

- **Monitoreo Remoto.** Proporcionan energía en sitios remotos, a los sensores, registradores de datos, y los transmisores asociados para la vigilancia meteorológica, para elementos de medición de las condiciones estructurales, de registro sísmico, control de riego, monitoreo de carretera y tráfico, control de seguridad y la investigación científica. La mayoría de estas aplicaciones requieren menos de 200 W y muchos pueden ser alimentados por un solo módulo fotovoltaico. El vandalismo puede ser un problema en algunas zonas, por lo que los módulos de cubierta que no sean de vidrio-se utiliza a veces. Los montajes de los módulos se realizan en un poste alto o en una manera discreta también puede ayudar a evitar daños o robo. Las baterías suelen estar ubicados en el mismo recinto resistente a la intemperie con los equipos de vigilancia y de adquisición de datos. Este recinto es a veces camuflado o enterrado para su protección. Algunos registradores de datos vienen con su propia batería y regulador de carga.
- **Cargas de baterías RV y de Auto.** Las Baterías se descargan con el tiempo si no se utilizan. Cargadores de baterías fotovoltaicas pueden solucionar este problema proporcionando un hilo corriente de carga que mantiene la batería en un alto estado de carga. A menudo, el módulo fotovoltaico se puede colocar en el interior del parabrisas y conectado a toma de corriente del vehículo, por lo tanto con los circuitos eléctricos y de protección existentes y proporcionar una desconexión rápida para el módulo. Los módulos se instalan en el techo o capó de los vehículos más grandes. Otra aplicación exitosa está utilizando módulos fotovoltaicos para cargar las baterías de los vehículos eléctricos.
- **Conectados a la red de alimentación eléctrica.** Sistemas fotovoltaicos de conexión a red o de servicios públicos interactivos utilizan un inversor que convierte la salida de CC del generador fotovoltaico en corriente alterna corriente. Está diseñado para operar en conjunción con la red de servicios eléctricos, la sincronización de la salida de CA (fase, frecuencia y voltaje)

con la utilidad. La salida de las celdas fotovoltaicas está conectado directamente al inversor, y la salida de corriente alterna del inversor está conectado al circuito de carga de corriente alterna. El exceso de energía generada durante el día se realimenta a la red eléctrica y la red eléctrica se utiliza de noche. La medición neta utiliza un solo contador de servicios; cuando la energía se alimenta de nuevo a la red de suministro eléctrico, el medidor funciona al revés.

4.3.3 Energía eólica

La energía eólica es una forma indirecta de energía solar; la calefacción solar de la atmósfera junto con la rotación de la Tierra crea patrones de vientos planetarios y locales. Del total de 175.000 TW de la energía solar que alcanza la tierra, alrededor de 1200 TW (0,7%) se utiliza para accionar el sistema de presión atmosférica. Esta potencia genera un depósito de energía cinética de 750 EJ con un tiempo de rotación de 7,4 días.⁷ Este proceso de conversión se lleva a cabo principalmente en las capas superiores de la atmósfera, a unos 12 km de altura (donde se producen las "corrientes en chorro"). Si se supone que alrededor del 4,6% de la energía cinética está disponible en los estratos más bajos de la atmósfera, el potencial eólico mundial es del orden de 55 TW. Por lo tanto se puede concluir que, puramente sobre una base teórica y sin tener en cuenta la falta de correspondencia entre la oferta y la demanda, el viento podría suministrar una cantidad de energía eléctrica igual a la actual demanda mundial de electricidad.

⁷ Tomado de Soerensen, 1979 En: KALOGIROU Soteris A

Figura 4. Energía eólica



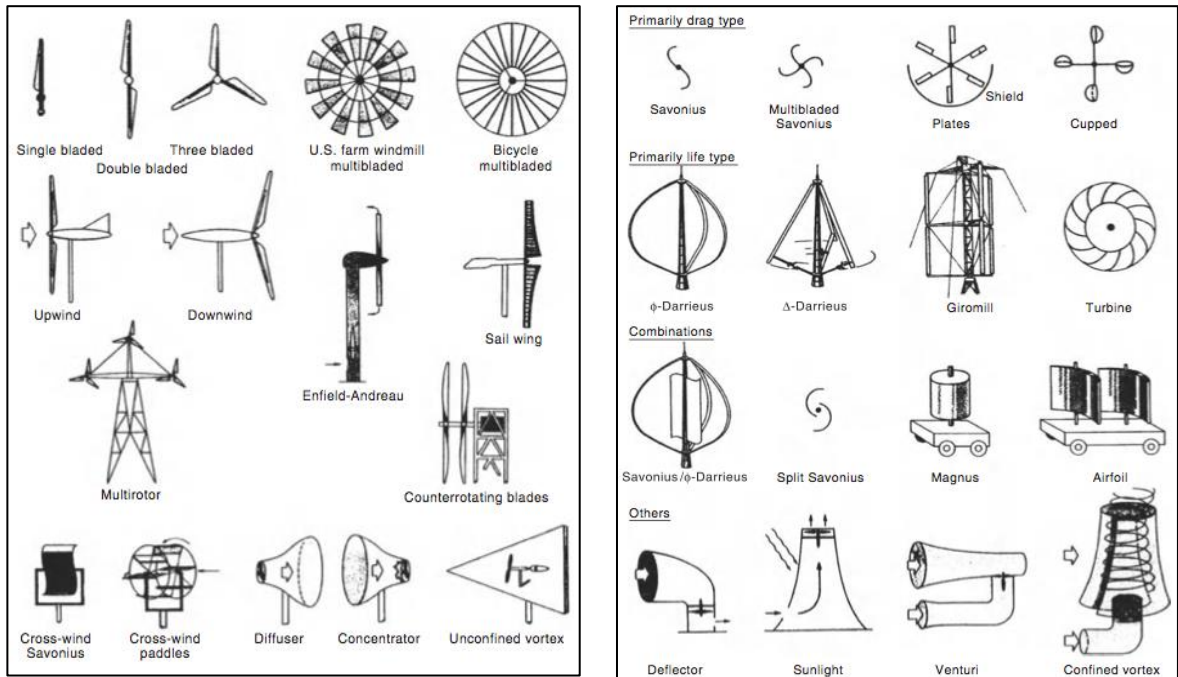
Fuente: DREAMSTIME. eolic Green energy disponible en <http://www.dreamstime.com/royalty-free-stock-photo-eolic-green-energy-lightbulb-image20325105>

Molinos de viento (máquinas de viento para moler el grano) se han utilizado durante más de dos mil años. Una de las primeras descripciones de molinos de viento son los persas que se encuentran en los escritos árabes del siglo IX que describe los molinos de viento en uso en el siglo VII. Sin embargo, se cree que los persas tenían muelas de eje vertical ya en el 200 A.C.⁸

Una gran variedad de aerogeneradores se han propuesto y utilizado en varias ocasiones y con diversos propósitos. Figura 5. (a) y (b) muestran máquinas de eje horizontal y de eje vertical. Hoy en día las nuevas instalaciones más comunes son turbinas de eje horizontal de tres palas, aunque turbinas bipala también son comunes. La mayoría de estas turbinas son de la variedad contra el viento, donde las cuchillas están en frente de la góndola. La variedad a favor del viento tiene la ventaja de que se enfrenta automáticamente al viento. El tamaño de las turbinas se ha incrementado dramáticamente en los últimos años. La figura 5.a muestra los tamaños relativos de las turbinas modernas de diversas potencias.

⁸ Tomado de Eldridge, 1980. En: KALOGIROU Soteris A.

Figura 5. Variedad de aerogeneradores. a) máquinas de eje horizontal. b) máquinas de eje vertical



Fuente: DUFFIE, John A y BECKMAN, William A. Solar Engineering of Termal Prosses.. 4 edic. 2013

Los avances tecnológicos prometen continuar con las reducciones de costos. Por ejemplo, el costo bajo de controles electrónicos ha hecho posible la sustitución de controles de frecuencia mecánica con los sistemas electrónicos. Además, la moderna tecnología informática ha permitido mejorar sustancialmente el diseño de las palas y otros componentes.

El valor de la electricidad eólica depende de las características del sistema de servicios públicos en el que está integrado, así como en condiciones de viento regionales. Algunas zonas, especialmente en las zonas costeras cálidas, tienen vientos con patrones estacionales y diarios que se correlacionan con la demanda, mientras que otros tienen vientos que no lo hacen. Los análisis realizados en el Reino Unido, Dinamarca y los Países Bajos dejan claro que los sistemas eólicos tienen mayor valor si numerosos sitios que generan electricidad están conectados,

ya que es probable que las fluctuaciones de energía eólica a partir de un sistema de turbinas instaladas en muchos sitios muy distantes entre sí serán menos que en cualquier otro sitio individual.

4.3.4 Biomasa

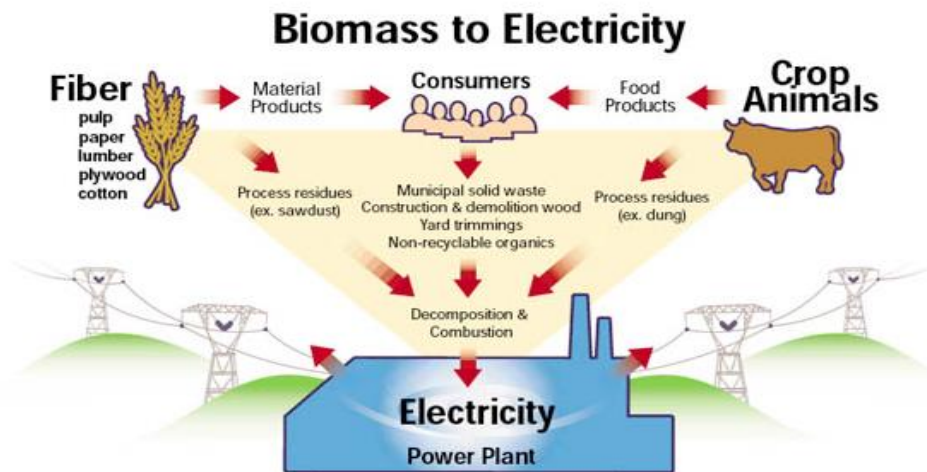
La energía de biomasa es un término genérico que se aplica a la producción de energía lograda a partir de material orgánico descompuesto en dos grandes categorías:

- La biomasa de Madera: madera, residuos y coproductos de esta son utilizados para producir energía en forma de calor debido a su combustión, se conocen cultivos de combustible maderable como los cultivos de sauce, pasto de elefante, etc. la explotación masiva sin dejar espacio a recuperación de terrenos conocidos como surgimiento forestales lleva a situaciones críticas y a reformular si este tipo de energía es inagotable.
- Biomasa no dependiente de madera: Desechos de animales y productos industriales biodegradables (como subproductos o basura de procesos industriales) a partir de cultivos de procesamiento de alimentos y de alta concentración de energía de estos en sus aceites como las mezclas de los alcoholes de caña de azúcar y maíz con combustibles fósiles.

La biomasa, principalmente en forma de residuos industriales y agrícolas, se ha condicionado como fuente para los generadores de energía de turbinas de vapor que produce electricidad durante muchos años. Actualmente, Estados Unidos cuenta con más de 8.000 MW de capacidad de generación alimentada a partir de biomasa. Tecnologías de conversión de turbinas de vapor existentes tienen costos competitivos en las regiones donde los combustibles de biomasa de bajo costo

están disponibles, a pesar de que estas tecnologías son relativamente ineficientes para los pequeños tamaños requeridos, para la producción de electricidad con biomasa.

Figura 6. Materia prima para la producción de biomasa



Fuente: california energy comisión. Waste to Energy & Biomass in California disponible en: <http://www.energy.ca.gov/biomass/>

El mayor inconveniente ambiental por la biomasa es que la falta de políticas de conservación de zonas boscosas o bosques madres, debido a que estas plantaciones aumentan considerablemente por año muchas hectáreas de bosque son afectadas para crear terrenos para su siembra. En consecuencia, se propone aquí que las plantaciones se establezcan en áreas ya no ocupadas por bosques naturales, sino más bien en las tierras degradadas y deforestadas en los países en desarrollo y en tierras agrícolas excedentes en los países industrializados. Por otra parte, un cierto porcentaje de la tierra se debe mantener en un estado natural como santuario para las aves y otra fauna, para ayudar a controlar la población es de plagas. En resumen, las plantaciones de hecho mejoraría el statu quo con respecto a la diversidad biológica.

Los recientes avances en las tecnologías de destilación y mezcla de compuestos están siendo ampliamente reconocidos como influyentes en la proliferación mundial de los biocombustibles. La idea de los biocombustibles no es nuevo; de hecho, Rudolf Diesel contempla la importancia de los biocombustibles en el siglo 19, declarando, "El uso de aceites vegetales como combustibles de motores puede parecer insignificante hoy. Pero tales aceites pueden convertirse en el transcurso del tiempo, tan importante como el petróleo y los productos de alquitrán de carbón de la actualidad".⁹

El biodiesel puede ser utilizado en cualquier concentración con combustible diésel a base de petróleo, y se requiere poco o ninguna modificación para los motores diésel existentes. El biodiesel es un combustible renovable doméstico para motores diésel y se deriva a partir de aceites vegetales y grasas animales, incluidos los aceites y grasas usados. El aceite de soja es el aceite vegetal más utilizado en los Estados Unidos y la materia prima principal para la producción de biodiesel. El biodiesel no es lo mismo que un aceite vegetal en bruto; más bien, se produce por un proceso químico que elimina la glicerina se concentra y se convierte el aceite en ésteres metílicos.

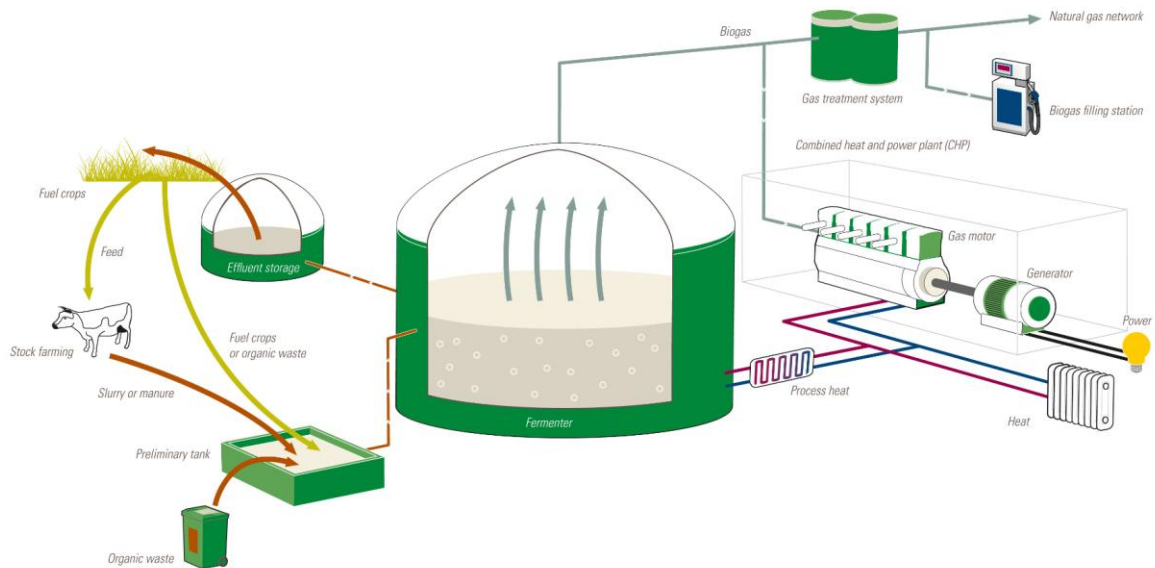
4.3.5 Biogás

Otra forma de energía relacionada con la agricultura es el biogás. Los residuos orgánicos de animales se utilizan por lo general para la generación de electricidad a partir de biogás. En estos sistemas, el estiércol de los animales se recoge en tanques especiales, y por la adición de oxígeno, se produce metano que se puede utilizar directamente en un motor diésel el cual conduce un generador para producir electricidad. Para que estos sistemas sean factibles, se requieren grandes granjas o consorcios de granjas. Este método también resuelve el

⁹ Tomado de Colman, 2007. En: DIFFIE, Jhon A y BECKMAN, William A.

problema de la eliminación del estiércol, y, como un subproducto, tenemos la creación de un muy buen fertilizante.

Figura 7. Producción de energía en una planta de biogás



Fuente: juwi energy is here. Bio Energy Plants. Disponible en: http://www.juwi.in/bio_energy/technology.html

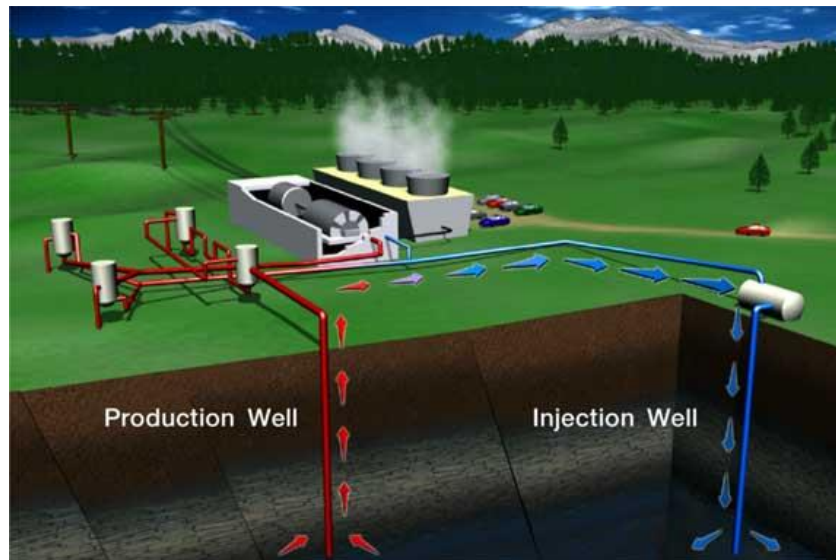
4.3.6 Energía geotérmica

Las mediciones muestran que la temperatura del suelo por debajo de una cierta profundidad permanece relativamente constante durante todo el año. Esto es porque las fluctuaciones de temperatura en la superficie de la tierra se ven disminuidas como la profundidad de la tierra aumenta debido a la alta inercia térmica del suelo.

Existen diferentes fuentes de energía geotérmica. También pueden clasificarse en función de la temperatura medida tan bajo (100 ° C), medio (100-150 ° C) y alta temperatura (150 ° C). El gradiente térmico en la tierra varía entre 15 y 75 ° C por

km de profundidad; sin embargo, el flujo de calor es anómalo en diferentes áreas continentales. El costo de la energía eléctrica es generalmente competitivo, 0,6-2,8 centavos de dólar/MJ (2.10 centavos de dólar/kWh), y un 0,3%, o 177,5 billones MJ /año (49,3 mil millones de kWh/año), del mundo de la energía eléctrica total se generó en el año 2000 a partir de recursos geotérmicos.¹⁰

Figura 8. Descripción del ciclo de aprovechamiento de la energía geotérmica



Fuente: Dimitri's Blog. Geothermal Energy geotérmica. Disponible en: <http://sites.psu.edu/dimitriblog/>

La energía geotérmica basada en la tecnología hidrotermal actual puede ser significativa a nivel local en aquellas partes del mundo donde hay recursos favorables. Alrededor de 6 GW de energía geotérmica se produjeron a principios de 1990 y se espera que cerca de 15 GW pueda añadirse durante la próxima década. Si la tecnología geotérmica de roca seca caliente se desarrollara con éxito, el potencial geotérmico mundial sería mucho más grande. Plantas de calor geotérmicas profundas operan con sistemas de uno o dos hoyos. El elevado costo incurrido en la perforación de agujeros desalienta a primera impresión el uso de este método en la obtención de energía térmica. El sistema de inyección de un

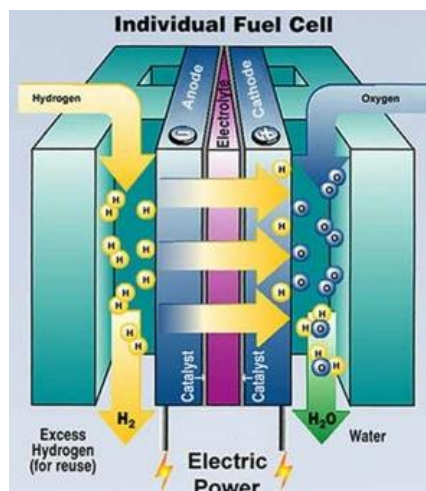
¹⁰ Tomado de Baldacci et al., 1998 En: DIFFIE, Jhon A y BECKMAN, William A.

solo agujero o el uso de agujeros individuales existentes, realizados durante el petróleo crudo o la exploración de gas natural, reduce el costo de capital. En los sistemas de un solo agujero, el agujero está adaptado para localizar dentro de este un intercambiador vertical de calor de doble tubo, en la que se extrae el agua geotérmica a través del tubo interior.

4.3.7 Hidrogeno

Aunque es el elemento más común en el universo, no se encuentra en su forma pura en la tierra y debe ser electrolizada. El hidrógeno es un portador de energía y no un combustible, como es normalmente dicho. El hidrógeno producido por electrólisis a partir del viento o de las fuentes directas de energía solar se utiliza en los vehículos conocidos como de batería de combustible y puede proporcionar el transporte y movimientos de los vehículos llegando a cero emisiones. En cuanto a combustible, los procedimientos de seguridad apropiados deben ser seguidos. Aunque los peligros del hidrógeno son diferentes de los diversos combustibles de hidrocarburos actualmente en uso.

Figura 9. Celda de hidrogeno



Fuente: Greenjobs. Hydrogen and fuel cells. Disponible en: https://greenjobs.com/resources/industry/hydrogen_and_fuel

La cuestión básica es cómo producir hidrógeno de forma limpia y eficiente. El uso de gas natural, el carbón o incluso la energía nuclear para producir hidrógeno de muchas maneras van en contra del propósito de avanzar de forma limpia hacia un futuro propulsado por hidrógeno. En los dos primeros casos, se emiten gases de efecto invernadero en el proceso de obtención de hidrógeno, mientras que en el último caso, se genera residuos nucleares.

4.3.8 Energía oceánica

Las diversas formas de energía oceánica son abundantes pero a menudo disponibles lejos de los sitios de consumo. Los océanos del mundo tienen la capacidad de proveer energía barata. En este momento, hay muy pocas plantas de energía del océano, y la mayoría son bastante pequeñas.

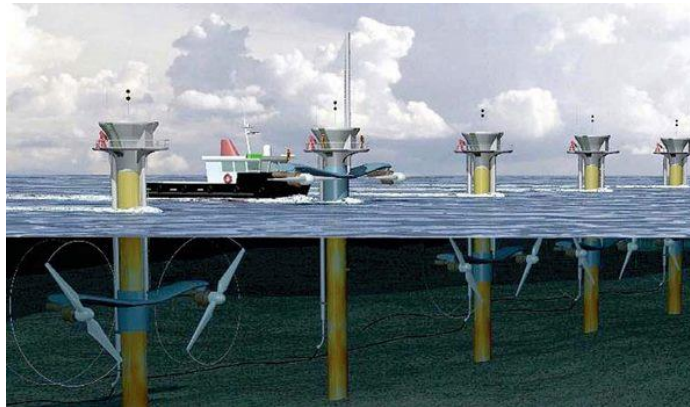
La energía oceánica se puede utilizar de tres maneras básicas:

- Utilizando las olas del mar.
- Utilizando las mareas altas y bajas de los océanos.
- Utilizando las diferencias de temperatura en el agua.

A diferencia de otras fuentes de energía renovables que se basan en tecnologías sofisticadas y materiales avanzados, como la energía fotovoltaica, los sistemas de energía renovable oceánicas son más inherentemente simples, ya que están hechas de hormigón y acero. Además, la mayoría de los sistemas oceánicos dependen de tecnologías probadas, como arietes hidráulicos y turbinas hidroeléctricas del bajo-cabeza e impulsores. Los recursos energéticos del océano son grandes y bien conocidos. Estos recursos energéticos del océano son superiores a la energía eólica y solar, ya que las olas del mar que viajan en aguas profundas mantienen sus características a través de largas distancias y el

estado del mar pueden ser fácilmente precedidas con precisión con antelación de más de 48 horas.

Figura 10. Principio de funcionamiento del aprovechamiento de la energía oceánica



Fuente: Geotermia. La energía mareomotriz. Disponible en: <http://www.geo-termia.com/blog/informacion-general/la-energia-mareomotriz.html>

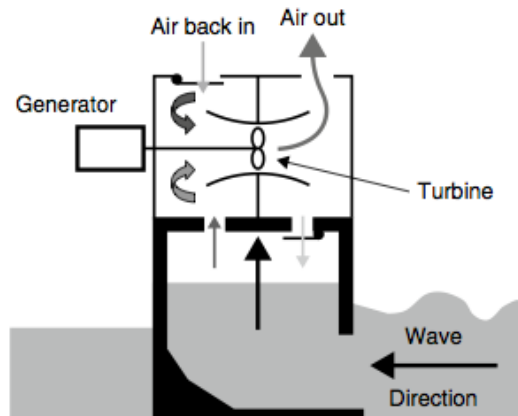
4.3.9 Energía de las olas

Existe la energía cinética (movimiento) en las olas en movimiento del océano y se puede utilizar para alimentar una turbina. Estos sistemas convierten fundamentalmente la energía cinética de las olas en energía eléctrica, ya sea mediante la captura de la oscilación vertical o el movimiento lineal de las olas. Dispositivos individuales varían en tamaños de aproximadamente 100 kW a 2 MW.¹¹ En la figura 11, se puede observar que la onda se eleva en una cámara, el agua que se levanta fuerza el aire fuera de la cámara. El aire en movimiento hace girar una turbina que puede girar un generador. Cuando la ola va hacia abajo, el aire fluye a través de la turbina y de nuevo en la cámara a través de puertas que normalmente están cerradas.

¹¹ Tomado de Katofsky, 2008 En: KALOGIROU, Soteris A.

Esto es sólo un tipo de sistema de energía de las olas. Otros realmente utilizan el movimiento ascendente y descendente de la onda para accionar un pistón que se mueve hacia arriba y hacia abajo en el interior

Figura 11. Principio de funcionamiento de un conversor de energía de las olas

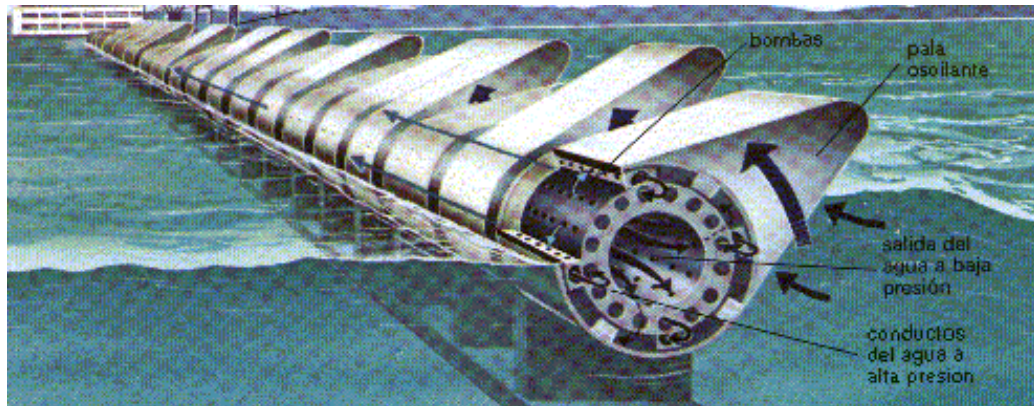


Fuente: KALOGIROU, Soteris A. Solar Energy engineering. Prosses and Systems. Academic Pr Inc. 760p. 2009.

4.3.10 Energía mareomotriz

Otra forma de energía oceánica se llama energía de las mareas. Cuando las mareas llegan a la orilla, pueden quedar atrapados en los embalses detrás de las presas. Luego, cuando la marea baja, el agua detrás de la presa se puede permitir que fluya, como en una planta de energía hidroeléctrica regular. Las tecnologías de marea también pueden emplear turbinas o hélices impulsadas por el agua que fluye bajo el agua. Estas tecnologías se pueden implementar en los arroyos y ríos también.

Figura 12. Conversores de la energía mareomotriz a la mecánica.



Fuente: TECNOWORKS. Energía mareomotriz en Chile. Disponible en:
<http://tecnowoks.blogspot.com/2013/10/energia-mareo-motriz-en-chile.html>

La energía mareomotriz se ha utilizado desde el siglo XI, cuando las pequeñas represas fueron construidas a lo largo de los estuarios del mar y pequeños arroyos. El agua de las mareas detrás de estas presas se utiliza para activar las ruedas de agua a los granos del molino. Sistemas de barrera de mareas están en operación comercial en unos pocos lugares, pero su desarrollo es cuestionable debido a su impacto ambiental en el bloqueo de grandes estuarios.¹²

La energía mareomotriz funciona bien cuando hay un gran aumento en las mareas. Es necesario un aumento de al menos 5 metros entre la marea baja y la marea alta. Hay sólo unos pocos lugares en la tierra donde se produce este cambio de marea. Algunas plantas de energía ya tienen en funcionamiento el uso de esta idea. Una de las plantas, la estación de La Rance, en Francia, hace suficiente energía de las mareas (240 MW) para suministrar energía a 240.000 hogares. Comenzó generando electricidad en 1966 Produce alrededor de una quinta parte de una planta de energía nuclear o de carbón regular. Genera más de 10 veces el poder de la próxima estación de las mareas más grandes del mundo, la estación de 17 MW canadiense Annapolis.

¹² Tomado de Katofsky, 2008 En: KALOGIROU, Soteris A.

4.3.11 Conversión de energía térmica del océano

La conversión de energía térmica del océano (OTEC) se basa en un sistema con respecto a la diferencia de temperatura del agua superficial y profunda para producir energía. Esta idea no es nueva, pero en realidad se remonta a 1881, cuando un ingeniero francés con el nombre de Jacques D'Arsonval fue el primero en pensar en OTEC. El agua del océano se enfría a medida que está cerca de la superficie, y en una gran profundidad del océano la temperatura es muy baja. Es más caliente en la superficie debido a la luz solar calienta el agua.

Figura 13. Planta de energía térmica del océano para acondicionamiento residencial.



Fuente: OCEAN EXPLORER. Ocean Thermal Energy Conversion. Disponible en: http://oceanexplorer.noaa.gov/edu/learning/11_energy/activities/thermal_energy.html

Las plantas de energía se pueden construir para que trabajen a esta diferencia de temperatura para producir energía. Se necesita una diferencia de al menos 21 ° C entre el agua caliente de la superficie y el agua más fría en profundidades del océano. El uso de este tipo de fuente de energía de OTEC se está demostrando en Hawai.

5. ENERGÍA SOLAR

5.1 RADIACIÓN SOLAR

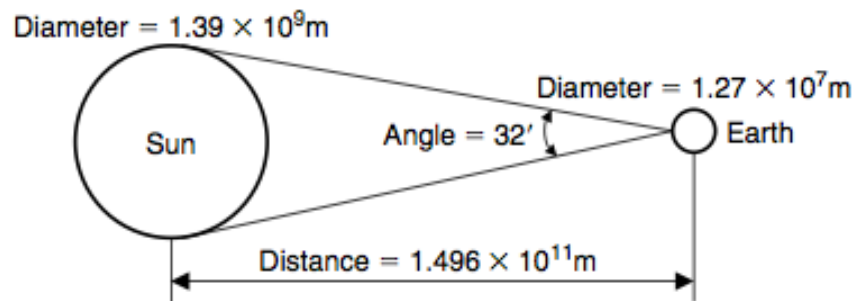
La estructura y características del sol determinan la naturaleza de la energía que irradia en el espacio. Nos ocuparemos principalmente de la radiación en una longitud de onda de 0,25 a 3,0 μm , la parte de la radiación electromagnética que incluye la mayor parte de la energía irradiada por el sol y de la cual se abastece nuestro sistema.

5.1.1 El sol

El sol es una esfera de materia gaseosa intensamente caliente con un diámetro de $1,39 * 10^9\text{m}$, y esta en promedio a $1,5 * 10^{11}\text{m}$ de la tierra. El sol gira sobre su eje una vez cada 4 semanas. Sin embargo, no gira como un cuerpo sólido; el ecuador toma unos 27 días, y las regiones polares tomar alrededor de 30 días para cada rotación.

El sol tiene una temperatura de cuerpo negro efectiva de 5777 K. La temperatura en las regiones interiores centrales se estima en un $8 * 10^6$ a $4 * 10^6$ K y la densidad se estima en alrededor de 100 veces la del agua. El sol es, en efecto, un reactor de fusión continua con sus gases constituyentes se puede decir que es un " recipiente que contiene " los gases y es retenido por las fuerzas gravitatorias. Varias reacciones de fusión se han sugerido para suministrar la energía radiada por el sol. El más importante es un proceso en el cual el hidrógeno (es decir, cuatro protones) se combinan para formar helio (es decir, el núcleo de helio); la masa del núcleo de helio es menor que la de los cuatro protones, se pierde masa en la reacción y se convierte en energía.

Figura 14. Relación Tierra – Sol

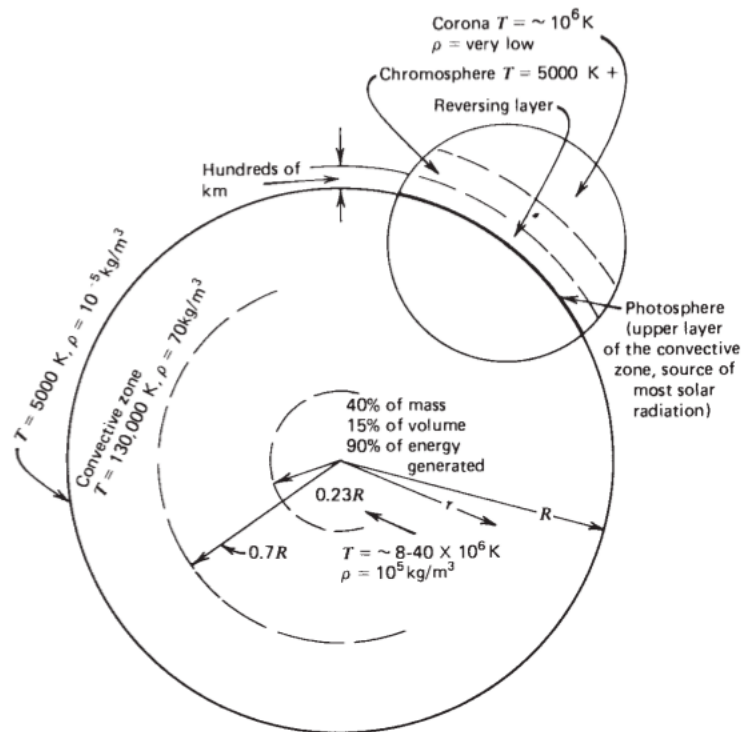


Fuente: KALOGIROU, Soteris A. Solar Energy engineering. Processes and Systems. Academic Pr Inc. 760p. 2009.

La energía producida en el interior de la esfera solar está a temperaturas de muchos millones de grados, esta debe ser transferida a la superficie y luego ser radiada al espacio. Una sucesión de procesos de radiación y de convección se produce con emisión sucesiva, la radiación en el núcleo del Sol se encuentra en las partes de rayos X y de rayos gamma del espectro, las longitudes de onda de la radiación aumentan a medida que la temperatura cae a distancias radiales más grandes.

Igual que la tierra el sol está dividido en capas donde ocurren diferentes reacciones, la capa exterior del sol se le conoce como la zona de convección se llama la fotosfera. El borde de la fotosfera está claramente definido, aunque es de baja densidad (aproximadamente 10^{-4} que la del aire a nivel del mar). Es esencialmente opaco, ya que los gases de los que se compone están fuertemente ionizados y capaces de absorber y emitir un espectro continuo de radiación. La fotosfera es la fuente de la mayor parte de la radiación solar.

Figura 15. Estructura del sol



Fuente: DUFFIE, John A y BECKMAN William A. Solar Engineering of Thermal Processes. 4 edic. 2013.

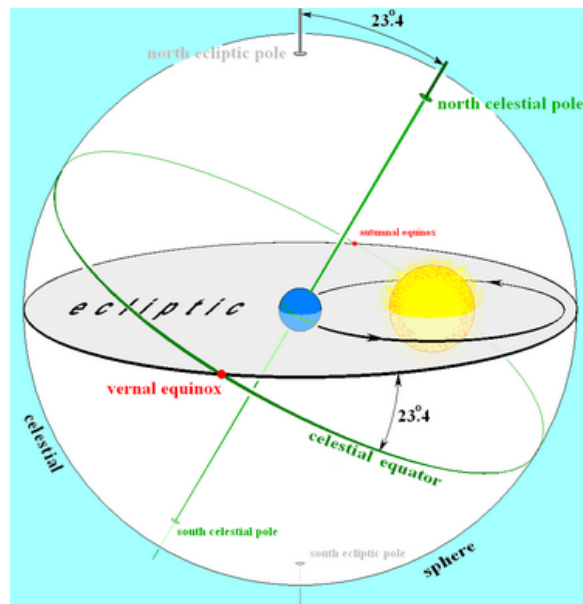
Por encima de la fotosfera se encuentra una capa de gases más fríos, varios cientos de kilómetros de espesor, a la cual se le conoce como capa inversora. Fuera de esta hay una capa conocida como la cromosfera, con un espesor de aproximadamente 10.000 km. Esta es una capa gaseosa con temperaturas algo más altas que la de la fotosfera pero con menor densidad. Adicionalmente la última capa se le conoce como la corona, una región de muy baja densidad y de alta temperatura (10^6 K).

5.1.2 Movimientos de la tierra

La Tierra tiene dos movimientos: uno de rotación, alrededor de su eje vertical que pasa por los polos, llamado eje polar, cuya duración es de 24 horas; y otro de traslación, por el cual describe una órbita elíptica llamada eclíptica, (Figura 16) en uno de los focos de la elipse está el Sol. La duración de una vuelta completa es de

365 días 5 horas 48 minutos y 46 segundos y la velocidad de traslación es de 29,8 km/s. Dada su pequeña excentricidad ($e = 0.0167$) la órbita puede considerarse circular y suponer que el Sol se encuentra en el centro de la misma.

Figura 16. Ejes de rotación de la tierra.



Fuente: Física 1011 (tutor virtual). Inclinación de la eclíptica respecto al horizonte disponible en: <http://fisica1011tutor.blogspot.com/2012/04/inclinacion-de-la-ecliptica-respecto-al.html>

El eje polar de la Tierra mantiene durante el movimiento una dirección aproximadamente constante y forma un ángulo de 23.4° con el eje de la eclíptica, llamado oblicuidad de la eclíptica. Esto da lugar a los distintos períodos que se suceden a lo largo del año, conocidos como Estaciones.

5.2 RADIACIÓN SOLAR EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA

Al pasar por la atmósfera de la tierra, parte de la radiación directa del sol I_D se dispersa por el nitrógeno, oxígeno y otras moléculas, que son pequeñas en comparación con las longitudes de onda de la radiación, también por aerosoles,

gotas de agua, el polvo y otras partículas con diámetros comparables a las longitudes de onda.¹³ Esta radiación dispersa hace que el cielo aparezca azul en los días claros, y parte de ella llega a la tierra en forma de radiación difusa.

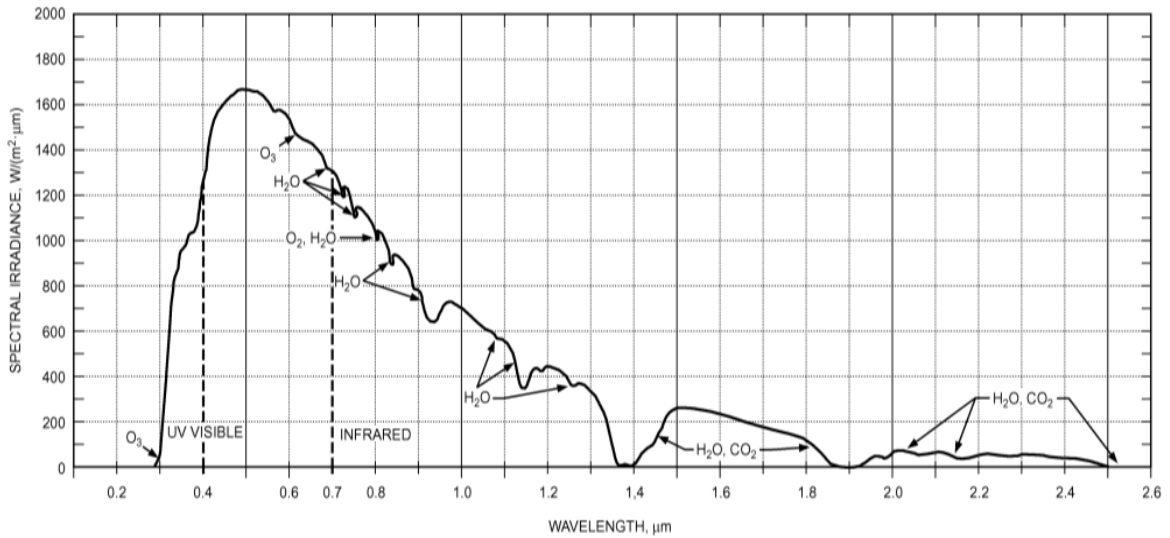
La atenuación de los rayos solares también es causada por la absorción, primero por el ozono en la atmósfera exterior, lo que provoca un fuerte corte de estas longitudes en 0,29 m de la radiación ultravioleta que llega a la superficie de la tierra figura 17. En las longitudes de onda más largas, hay una serie de capas de absorción causadas por vapor de agua, dióxido de carbono y ozono. La cantidad total de la atenuación de la radiación en cualquier localización dada se determina por:

- a) La longitud de la trayectoria atmosférica a través del cual los rayos hacen el recorrido.
- b) La composición de la atmósfera.

La longitud de la trayectoria se expresa en términos de la masa m de aire, que es la relación de la masa de la atmósfera en la ruta de tierra-sol real a la masa que existiría si el sol estuviera directamente sobre la cabeza a nivel del mar ($m = 1,0$). Para todos los propósitos prácticos, a nivel del mar, $m = 1,0/\text{sen}\beta$. Más allá de la atmósfera terrestre, $m = 0$.

¹³ Tomado de Gates 1966 En: DUFFIE, John A y BECKMAN William A.

Figura 17. Espectro de la radiación solar al nivel del mar, para una masa de aire de 1,0



Fuente: chapter 33, ASHRAE HANDBOOK-HVAC Applications. Pag 33.4, 2007.

Antes de 1967, los datos de radiación solar se basan en una constante solar supuesta de $419,7 \text{ Btu}/h * ft^2$ y en una atmósfera del nivel del mar estándar que contiene la profundidad equivalente de 2,8 mm de la capa de ozono, 20 mm de humedad precipitable, y 300 partículas de polvo por cm^3 . Threlkeld y Jordan (1958) consideraron la amplia variación de vapor de agua en la atmósfera por encima de los Estados Unidos en un momento dado, y en particular la variación estacional, que encuentra tres veces más humedad en la atmósfera en pleno verano como en diciembre, enero y febrero.

5.2.1 Atenuación de la atmósfera

El calor solar que llega a la superficie terrestre se reduce por debajo del valor del calor extraterrestre o del calor que podemos encontrar en las fronteras de nuestro planeta hacia el universo, porque una gran parte de ella se dispersa otra es reflejada de vuelta al espacio y otra parte es absorbida por la atmósfera. Como

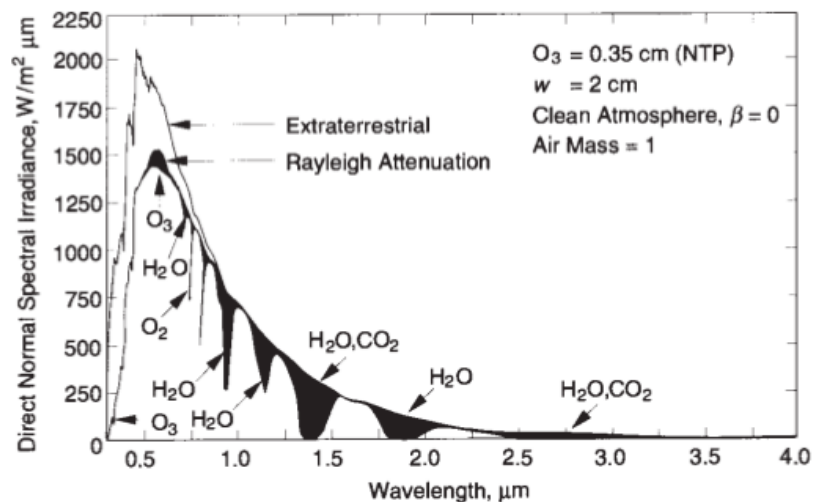
resultado de la interacción de la radiación solar y la atmósfera, una parte de los rayos unidireccionales originalmente se dispersa. Parte de esta radiación dispersada alcanza la superficie de la tierra de todo el espacio celeste. Esto se llama la radiación difusa.

El calor solar que llega directamente a través de la atmósfera se denomina radiación directa.

La insolación recibida por una superficie en la tierra es la suma de la radiación difusa y la radiación directa. El calor solar en cualquier punto en la tierra depende de:

- El espesor de la capa de ozono
- La distancia recorrida a través de la atmósfera para llegar a ese punto
- La cantidad de neblina en el aire (partículas de polvo, vapor de agua, etc.)
- La extensión de la cobertura de nubes

Figura 18. Atenuación de la radiación por la atmósfera.



Fuente: DUFFIE, John A y BECKMAN William A. Solar Engineering of Termal Prosses. 4 edic. 2013.

5.3 LA CONSTANTE SOLAR

La constante G_{sc} solar es la energía del sol por unidad de tiempo recibida en una unidad de área de superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación en la distancia media Tierra-Sol fuera del ambiente.

Antes de cohetes y naves espaciales, las estimaciones de la constante solar se tuvieron que hacer a partir de mediciones en tierra de la radiación solar después de haber sido transmitida a través de la atmósfera y por lo tanto en parte absorbida y dispersada por los componentes de la atmósfera. Las extrapolaciones a partir de las mediciones terrestres hechas de alta montaña se basan en estimaciones de la transmisión atmosférica en diversas partes del espectro solar.

Los estudios y mediciones posteriores de cohetes fueron resumidos por Johnson (1954); Valor del abad de la constante solar de $1322 W/m^2$ fue revisado al alza por Johnson a W/m^2 .

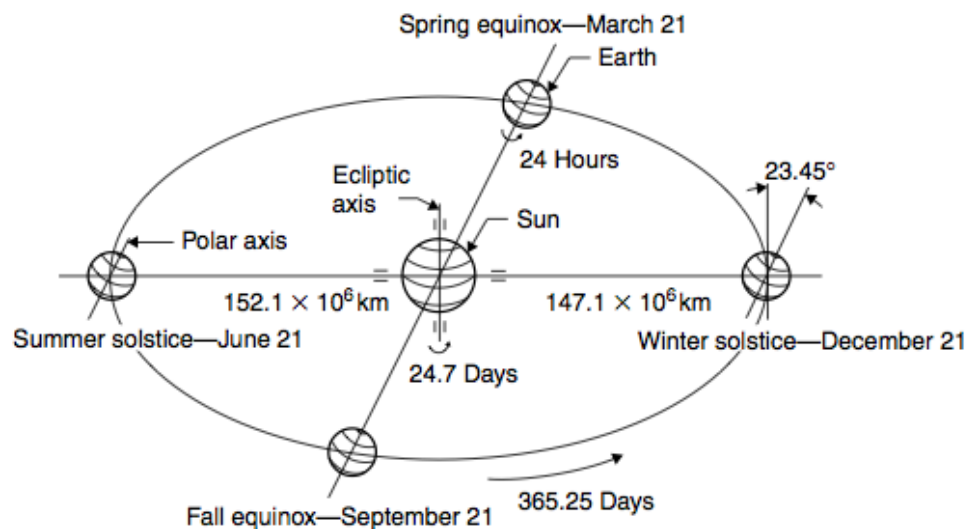
La disponibilidad de las aeronaves de gran altura, globos, y naves espaciales ha permitido mediciones directas de la radiación solar fuera de la mayoría o todos de la atmósfera de la tierra. Estas mediciones se realizaron con una variedad de instrumentos en nueve programas experimentales separadas. Ellos dieron como resultado un valor de la constante G_{sc} solar de $1353 W/m^2$ con un error estimado de $\pm 1.5\%$. Thekaekara (1976) o Thekaekara y Drummond (1971). Este valor norma fue aceptada por la NASA (1971) y por la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (2006).

5.4 ANGULO SOLAR

La tierra hace una rotación alrededor de su eje cada 24 horas y completa una revolución alrededor del Sol en un período de aproximadamente 365,25 días. Esta

revolución no es circular, sino que sigue una elipse con el Sol en uno de los focos, como se muestra en la figura 19. La excentricidad, e , de la órbita de la Tierra es muy pequeña, igual a 0,01673. Por lo tanto, la órbita de la Tierra alrededor del Sol es casi circular. La distancia Tierra-Sol, R , en el perihelio (distancia más corta entre los dos cuerpos celestes, que es el 3 de enero) y afelio (distancia más larga, 4 de julio).

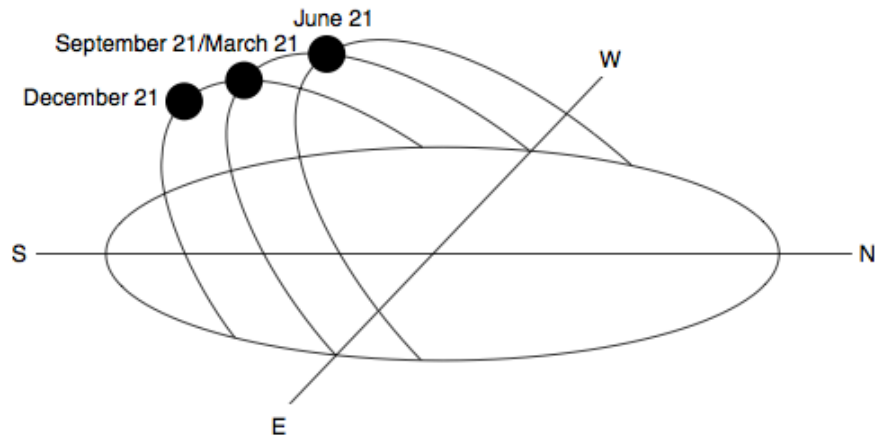
Figura 19. Movimiento anual de la tierra alrededor del sol



Fuente: KALOGIROU, Soteris A. Solar Energy engineering: Processes and Systems. Academic Pr Inc. 760p. 2009.

La posición del sol en el cielo cambia de día a día y hora en hora. Se sabe por observaciones del común que el sol está más alto en el cielo en el verano que en invierno. Los movimientos relativos del sol y de la tierra no son simples, pero son sistemáticos y por lo tanto esta característica los hace predecibles. Una vez al año, la tierra se mueve alrededor del Sol en una órbita que es de forma elíptica. A medida que la Tierra hace una revolución anual alrededor del Sol, gira cada 24 horas alrededor de su eje, el cual se encuentra inclinado en un ángulo de $23^\circ 27,14 \text{ min}$ (23.45°) con base en referencia a el plano de la elíptica, que contiene el plano orbital de la Tierra y ecuador solar.

Figura 20. Cambio anual de la posición del sol en el cielo para el hemisferio norte



Fuente: KALOGIROU, Soteris A. Solar Energy engineering: Prosses and Systems. Academic Pr Inc. 760p. 2009.

Algunos ángulos que se deben tener en cuenta también en los estudios de los rayos incidentes del sol son los siguientes:

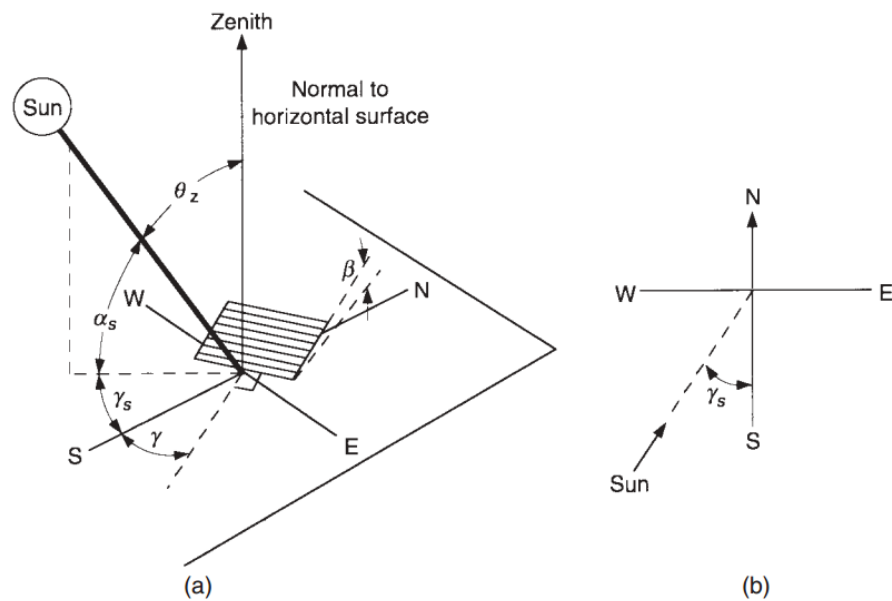
- **ϕ Latitud**, ubicación angular al norte o al sur del ecuador, al norte positiva; $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$.
- **δ Declinación**, la posición angular del sol al mediodía solar (es decir, cuando el sol está en el meridiano local) con respecto al plano del ecuador, al norte positiva; $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$.
- **β Pendiente**, el ángulo entre el plano de la superficie y la horizontal; $0 \leq \beta \leq 180^\circ$. ($\beta > 90^\circ$ significa que la superficie tiene una componente orientada hacia abajo.)
- **γ Ángulo de acimut de superficie**, es la desviación de la proyección sobre un plano horizontal de la normal a la superficie desde el meridiano local, con cero en el sur, este negativo y positivo oeste; $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.
- **ω Ángulo horario**, el desplazamiento angular del sol del este al oeste del meridiano local debido a la rotación de la Tierra sobre su eje es a 15° por hora; mañana negativa, positiva tarde.

- **θ Ángulo de incidencia**, el ángulo entre el haz de radiación sobre una superficie y la normal a dicha superficie.

Además de estos ángulos, se tiene los ángulos de la posición del sol respecto a su ubicación en el cielo la cual cambia a cada instante.

- **θ_z Ángulo cenit**, el ángulo entre la vertical y el ángulo de incidencia de la radiación sobre una superficie horizontal.
- **α_s ángulo solar de altitud**, el ángulo entre la horizontal y la línea para el sol, es decir, el complemento del ángulo cenital.
- **γ_s ángulo solar de azimut**, es el ángulo formado por la línea norte-sur y la proyección horizontal de la dirección de la radiación solar.

Figura 21. (a) Angulo cenit, pendiente, acimut de la superficie y acimut solar. (b) vista plano superior ángulo acimut solar



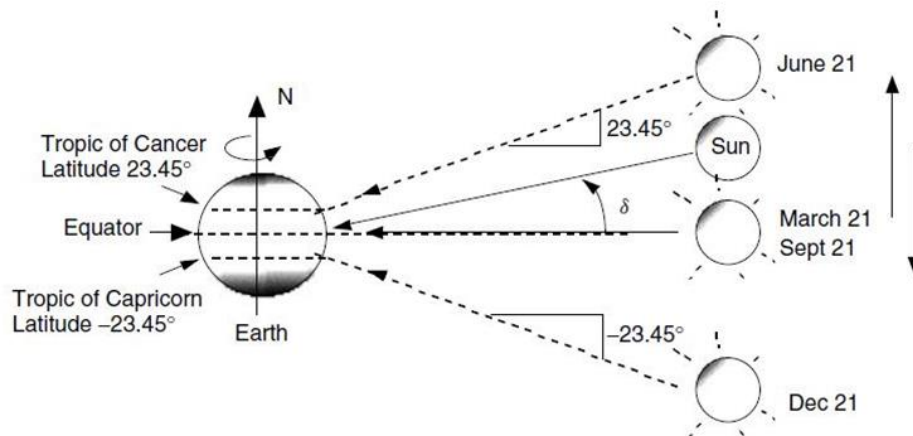
Fuente: DUFFIE, John A y BECKMAN William A. Solar Engineering of Termal Prosses. 4 edic. 2013.

En los siguientes apartados se describe más afondo sobre algunos ángulos mencionados de los cuales se necesita sus cálculos para determinar la ubicación de los paneles solares ya sean térmicos o fotovoltaicos.

5.4.1 Declinación

El eje de rotación de tierra (el eje polar) siempre está inclinado en un ángulo de $23,45^\circ$ desde el eje de la eclíptica, que es normal al plano de la eclíptica. El plano de la eclíptica es el plano de la órbita de la tierra alrededor del sol. A medida que la tierra gira alrededor del sol, es como si el eje polar se está moviendo con respecto al sol. La declinación solar es la distancia angular de los rayos del sol al norte (o sur) del ecuador, “declinación norte” designado como positiva. Como se muestra en la figura 22 es el ángulo entre la línea central sol-tierra y la proyección de esta línea en el plano ecuatorial.

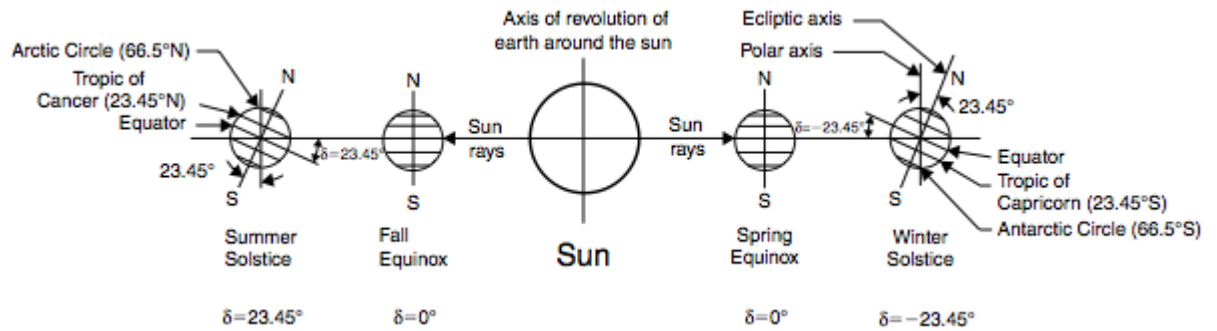
Figura 22. Declinación solar



Fuente: Figura del ángulo de altitud del sol. Disponible en <http://jmirez.wordpress.com/2011/08/06/j316-figura-del-angulo-de-altitud-del-sol/>

Declinaciones al norte del ecuador (verano en el hemisferio norte) son positivos, y las del sur son negativo. La figura 23 muestra la declinación durante los equinoccios y los solsticios. Como puede verse, la declinación varía de 0° en el equinoccio de primavera hasta +23.45° en el solsticio de verano, 0° en el equinoccio de otoño, y -23,45 ° en el solsticio de invierno.

Figura 23. Variación de la declinación en las estaciones del año.



Fuente: KALOGIROU, Soteris A. Solar Energy engineering: Processes and Systems. Academic Pr Inc. 760p. 2009.

Este ángulo varía con la fecha para el cálculo de cualquier día la declinación se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$$\delta = 23,45 \sin \left[360^\circ * \frac{284 N}{365} \right] \quad [1]$$

Donde el valor de N son los días del año contados a partir del 1 de enero.

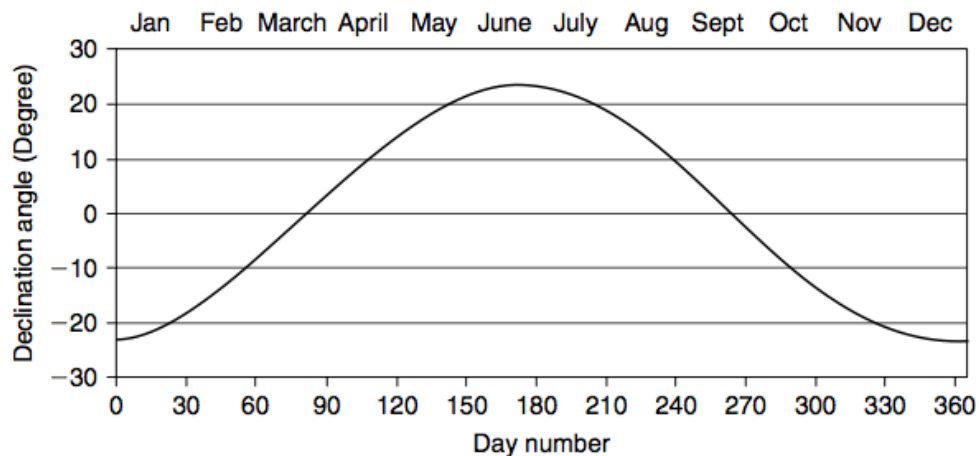
Tabla 2. Valor de N para el *i*ésimo día del mes y algunos valores de declinación

Month	<i>n</i> for <i>i</i> th Day of Month	For Average Day of Month		
		Date	<i>n</i>	δ
January	<i>i</i>	17	17	-20.9
February	31 + <i>i</i>	16	47	-13.0
March	59 + <i>i</i>	16	75	-2.4
April	90 + <i>i</i>	15	105	9.4
May	120 + <i>i</i>	15	135	18.8
June	151 + <i>i</i>	11	162	23.1
July	181 + <i>i</i>	17	198	21.2
August	212 + <i>i</i>	16	228	13.5
September	243 + <i>i</i>	15	258	2.2
October	273 + <i>i</i>	15	288	-9.6
November	304 + <i>i</i>	14	318	-18.9
December	334 + <i>i</i>	10	344	-23.0

Fuente: DUFFIE, John A y BECKMAN William A. Solar Engineering of Termal Prosses. 4 edic. 2013.

La relación entre δ y la fecha a partir de un año a otro varía de una forma insignificante. El cambio diario en la declinación es la principal razón para el cambio de estaciones, con su variación en la distribución de la radiación solar sobre la superficie de la tierra y el número variable de horas de luz y oscuridad.

Figura 24. Variación anual de la declinación solar



Fuente: KALOGIROU, Soteris A. Solar Energy engineering: Prosses and Systems. Academic Pr Inc. 760p. 2009.

5.4.2 Ángulo de horario

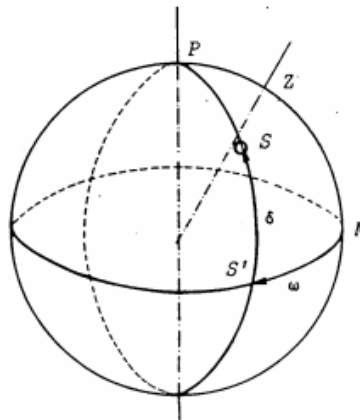
El ángulo de inclinación de horas ω , es el arco del ecuador contado desde el punto de intersección del ecuador con el meridiano del observador hasta el círculo horario del astro, en sentido horario. Mide el desplazamiento angular del sol respecto al medio día solar, la figura 25 muestra el ángulo de hora del punto P como el ángulo medido en el plano ecuatorial de la tierra entre la proyección de OP y la proyección del centro de sol-tierra a la línea central. El ángulo horario al mediodía solar local es cero, entre $\frac{360}{24}$ o 15° de longitud equivalente a $1h$, las horas de la tarde siendo designados como positivas.

Expresado simbólicamente, el ángulo horario en grados es:

$$\omega = \pm 0,25 \text{ (Número de minutos del mediodía solar local)} \quad [2]$$

Donde el signo más se aplica a horas de la tarde y el signo menos para horas de la mañana.

Figura 25. Angulo horario ω .



Fuente: The sun's positions. Disponible en: <http://www.emaxgreenenergy.com/book/chapter03/chapter03.html>

5.4.3 Ángulo cenit θ_z

El ángulo cenit, es el ángulo entre la vertical y la línea para ubicar el sol, es decir, el ángulo de incidencia de la radiación de haz de luz sobre una superficie horizontal.

$$\theta_z = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \quad [3]$$

5.4.4 Ángulo de altitud solar α_s

El ángulo de altitud solar es el ángulo entre los rayos del sol y un plano horizontal, como se muestra en la figura 26. Se relaciona con el ángulo cenital solar θ_z , que es el ángulo entre los rayos del sol y la vertical. Por lo tanto:

$$\theta_z + \alpha_s = \frac{\pi}{2} = 90^\circ \quad [4]$$

La expresión matemática para el ángulo de altitud solar es;

$$\sin(\alpha_s) = \cos(\theta_z) = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \quad [5]$$

Donde φ es la latitud local, se define como el ángulo entre una línea desde el centro de la tierra hasta el sitio de interés y el plano ecuatorial. Los valores al norte del ecuador son positivas y las del sur son negativos.

5.4.5 Ángulo de azimut solar γ_s

El ángulo del azimut solar, γ_s es el ángulo de los rayos del sol medido en el plano horizontal desde el sur (sur verdadero) para el hemisferio norte o hacia el norte

para el Hemisferio Sur; hacia el oeste, se señala como positivo. La expresión matemática para el ángulo del azimut solar es:

$$\sin(\gamma_s) = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(\alpha_s)} \quad [6]$$

Por definición, al mediodía solar, el sol está exactamente en el meridiano, que contiene la línea norte-sur, y en consecuencia, el azimut solar es 0 °. Por lo tanto la altitud del mediodía es:

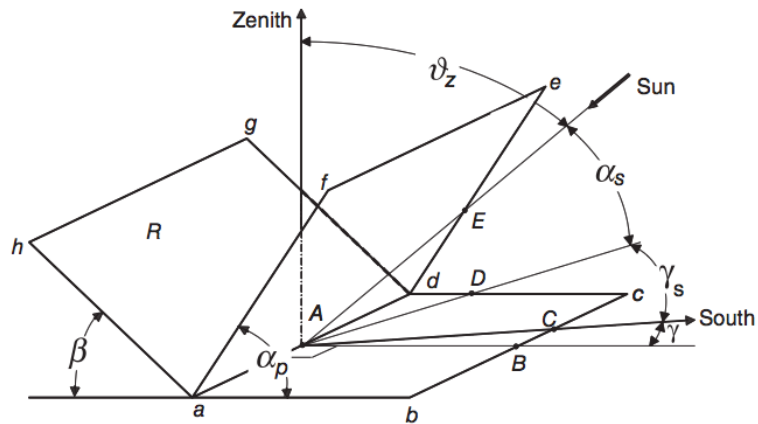
$$\gamma_s = 90 - \varphi - \delta \quad [7]$$

5.4.6 Ángulo de incidencia

El ángulo de incidencia solar, es el ángulo entre los rayos del sol y la normal en una superficie. Para un plano horizontal, el ángulo de incidencia y el ángulo cenital, son los mismos. El cálculo de este ángulo puede variar dependiendo de la posición de la superficie que se tenga la ecuación más exacta y completa para cualquier ángulo o ubicación es la siguiente:

$$\begin{aligned} \cos\theta = & \sin(\varphi) \sin(\delta) \cos(\beta) - \cos(\varphi) \sin(\delta) \sin(\beta) \cos(\gamma) \\ & + (\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \cos(\beta) + \sin(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \sin(\beta) \cos(\gamma) \\ & + \cos(\delta) \sin(\omega) \sin(\beta) \sin(\gamma) \end{aligned} \quad [8]$$

Figura 26. Ángulo de altitud solar y el ángulo de perfil para una superficie.



Fuente: DUFFIE, John A y BECKMAN William A. Solar Engineering of Termal Prosses. 4 edic. 2013.

Dónde:

β , Ángulo de inclinación de la superficie horizontal

γ_s , Ángulo de acimut de la superficie, el ángulo entre la normal a la superficie de la verdadera sur, hacia el oeste, se designa como positiva.

Para ciertos casos la ecuación anterior se reduce mucho y simplifica el cálculo como:

- **Para superficies horizontales:** $\beta = 0$ y $\alpha_s = \theta$ entonces la ecuación se reduce a la ecuación [4]
- **Para superficies verticales:** $\beta = 90^\circ$ la nueva ecuación se reduce:

$$\cos(\theta) = -\cos(\varphi) \sin(\delta) \cos(\gamma) + \sin(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \cos(\gamma) \quad [9]$$

$$+\cos(\delta)\sin(\omega)\sin(\gamma)$$

- Para una orientación hacia el sur y la superficie inclinada en el hemisferio norte, $\gamma_s = 0^\circ$

$$\cos(\theta) = \sin(\varphi - \beta)\sin(\delta) + \cos(\varphi - \beta) \cos(\delta)\cos(\omega) \quad [10]$$

- Para una orientación norte y la superficie inclinada en el hemisferio sur $\gamma_s = 180^\circ$;

$$\cos(\theta) = \sin(\varphi + \beta)\sin(\delta) + \cos(\varphi + \beta) \cos(\delta)\cos(\omega) \quad [11]$$

5.5 IRRADIACIÓN TERRESTRE

Un sistema que utiliza la energía solar no se puede juzgar a corto plazo pues su rendimiento está dado por la irradiación y para tener datos fiables se necesita ver su rendimiento a largo plazo. Por lo tanto, se requiere el conocimiento de los datos diarios medios mensuales de insolación para el lugar donde se va hacer el estudio. La radiación solar diaria media total (radiación directa más difusa) que incide sobre una superficie horizontal para cada mes del año está disponible de varias fuentes, tales como mapas de radiación o el servicio meteorológico nacional. En estas fuentes, los datos, como la temperatura promedio de 24 horas, la radiación diaria promedio mensual en una superficie horizontal H (W/m^2).

De donde se obtiene los valores de:

\bar{H} = Insolación promedio mensual total sobre una superficie horizontal terrestre (W/m^2).

\bar{H}_0 = insolación promedio mensual diario en una superficie horizontal extraterrestre superficie (W/m^2).

Para predecir el rendimiento de un sistema solar, se requieren valores por hora de la radiación. Debido a que en la mayoría de los casos este tipo de datos no están disponibles, los datos de radiación diaria promedio a largo plazo pueden ser utilizados para estimar la distribución de la radiación media a largo plazo. Para este propósito, se utilizan generalmente correlaciones empíricas.

5.5.1 Radiación solar directa

Esta radiación es la que llega directamente a un cuerpo en la tierra sin que se difuminen o sufra algún cambio en su dirección a su paso por la atmosfera terrestre, se caracteriza por proyectar una sombra bien definida en los objetos que están en su trayectoria.

5.5.2 Radiación solar difusa

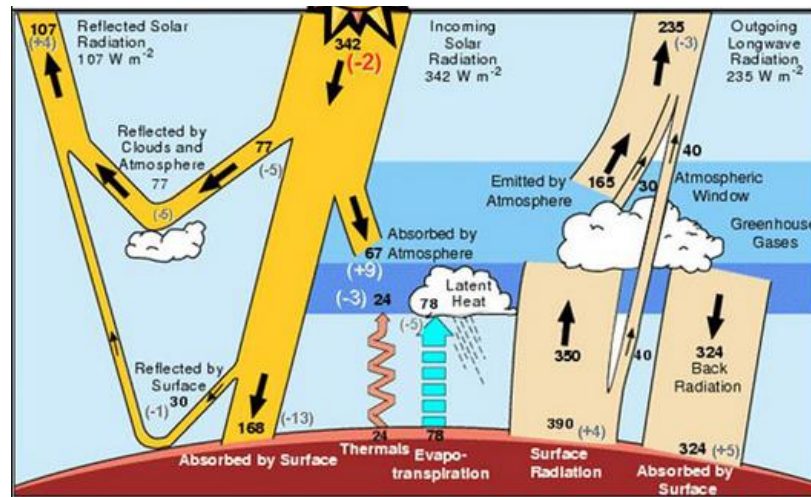
Una parte de la radiación total que entra a la tierra atraviesa la atmósfera, esta es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. La radiación atenuada se le llamada difusa, va en todas direcciones, debido al efecto producido por las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos.

5.5.3 Radiación solar reflejada

La radiación solar que llega a la tierra es intensamente reflejada por los cuerpos claros o 'blancos', tales como las nubes, el agua, la nieve, el hielo, los desiertos y las planicies; mientras que los cuerpos opacos o 'negros', tales como los bosques, las selvas y las ciudades, son relativamente malos reflectores de la luz. La nieve es quizás el mejor cuerpo natural que refleja la luz, también los topes superiores

de las nubes, particularmente las muy profundas, tienen un gran albedo. Las nubes juegan un papel muy importante al reflejar la radiación solar (visible) y absorber fuertemente la radiación infrarroja (terrestre y solar). El porcentaje de la cobertura media de nubes en la tierra es del orden del 50 %, de tal manera que las nubes y las nieves juegan un papel muy importante en el albedo terrestre.

Figura 27. Componentes de la radiación global



Fuente: Solar insolation. Disponible en: <http://solarinsolation.org/>

5.6 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN

Hay básicamente dos tipos de instrumentos de medida de la radiación solar global; el piranómetro y el pirheliómetro.

5.6.1 Piranómetro

Instrumento de medida de la radiación total (directa más difusa) a partir de este instrumento es que la mayoría de los datos disponibles sobre la radiación solar se obtienen. Los detectores para estos instrumentos deben tener una respuesta independiente de la longitud de onda de la radiación sobre el espectro de energía

solar. Además, deben tener una respuesta independiente del ángulo de incidencia de la radiación solar. Los detectores de la mayoría de los piranómetros están cubiertos con una o dos cubiertas de vidrio hemisféricas para protegerlos del viento y otros efectos extraños; las cubiertas deben ser muy uniforme en espesor a fin de no causar distribución desigual de la radiación sobre los detectores.

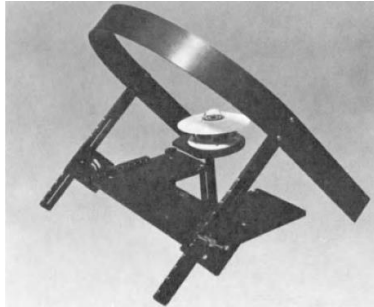
Figura 28. Piranómetro



Fuente: EKO INSTRUMENTS. Piranómetro ms-802. Disponible en: <http://eko-eu.com/es/productos/radiacion-solar-y-fotometros/piranometros/piranometro-ms-802>

Por último, se requiere duración de la insolación para estimar la irradiación solar total. La duración de la insolación se define como el tiempo durante el cual la luz del sol es lo suficientemente intenso como para hacer sombra. Además, la duración de la luz del sol ha sido definida por la Organización Meteorológica Mundial como el tiempo durante el cual la irradiación solar directa excede el nivel de 120 W/m^2 . Se utilizan dos tipos de grabadores de sol: el tipo de enfoque y un tipo basado en el efecto fotoeléctrico. El tipo de enfoque consiste en una esfera de cristal sólido, de aproximadamente 10 cm de diámetro, montada concéntricamente en una sección de un recipiente esférico cuyo diámetro es tal que los rayos del sol pueden ser enfocados en una tarjeta especial con la marca de tiempo.

Figura 29. Piranómetro con aro de sombra



Fuente: TechAmb. Aro de sombra. Disponible en:

<http://www.techambgro.com/kipp%20&%20zonen/aro%20de%20sombra.htm>

5.6.2 Pirheliómetro

Produce un voltaje de los detectores de termopila que es una función de la radiación incidente. Es necesario utilizar un potenciómetro para detectar y registrar esta salida. Datos de radiación por lo general deben integrarse sobre un cierto período de tiempo, tal como una hora o un día. La integración puede hacerse por medio de planimetría o por integradores electrónicos. Se ha estimado que con el uso cuidadoso y calibración piranómetro razonablemente frecuente, mediciones de la radiación debe ser bueno dentro de $\pm 5\%$.

Figura 30. Pirheliómetro medidor de la radiación solar



Fuente: sensovant. Medidor de la radiación solar. Disponible en:

<http://sensovant.com/productos/meteorologia/radiacion-solar/articulo/medidor-de-radiacion-solar-pirheliometro-DR01.html>

5.6.3 Piranógrafo o actinógrafo

Se utiliza para medir la radiación solar global diaria. El sensor está formado por tres láminas bimetálicas de iguales dimensiones compuestas por dos metales de distintos coeficientes de dilatación. La lámina central está ennegrecida con una pintura de alto poder absorbente, en consecuencia lámina negra se calienta más que las blancas, esta diferencia de temperatura que es aproximadamente proporcional. Posee una pluma inscriptora que registra sobre una faja de papel el desplazamiento producido, esta se coloca sobre un tambor que gira con velocidad constante mediante un sistema de relojería.

Figura 31. Actinógrafo



Fuente: <http://meteorologia.pucp.edu.pe/estacion/bgradiacione.html>

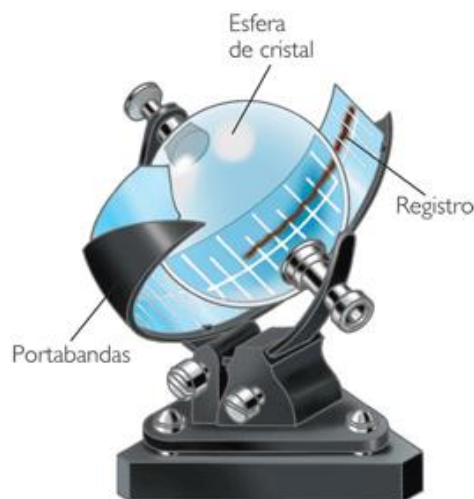
5.6.4 Heliógrafo

Es un aparato meteorológico que mide la duración de la insolación diaria. La banda se fija por medio de ranuras a un soporte curvo y concéntrico con la esfera y tiene impresa una escala de 30 minutos. Si el sol luce durante todo el día sobre la banda se forma una traza carbonizada continua y la duración de la insolación se determina midiendo la longitud de la traza carbonizada. Si el sol brilla de forma

discontinua, dicha traza es intermitente. En este caso, la insolación se determina sumando la longitud de las trazas resultantes.

La duración de la insolación se halla concentrando los rayos solares sobre una banda de cartulina teñida de azul que se quema en el punto en que se forma la imagen del sol. Se utiliza como focalizador una esfera de cristal, de forma que no es necesario mover este foco constantemente debido al movimiento aparente del sol a lo largo del día y del estacionario.

Figura 32. Ilustración del funcionamiento del heliógrafo



Fuente: <http://www.lariocc.es/es/programa-trabajo/observacion/>

5.7 ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR PROMEDIO

Tener los datos de radiación solar es la mejor fuente de información para la estimación de la radiación promedio incidente. Al carecer de estos datos y si se cuenta con una región de clima similar, es posible utilizar relaciones empíricas para estimar la radiación de horas de sol o nubosidad. Se encuentran datos ampliamente disponibles en muchos cientos de estaciones de diferentes países,

los datos sobre el promedio de horas de sol o el porcentaje promedio de posibles horas de sol. Una de estas correlaciones es:

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_c} = a' + b' \frac{\bar{n}}{N} \quad [12]$$

Dónde:

\bar{H} = radiación diaria promedio mensual sobre superficie horizontal.

\bar{H}_c = radiación media diaria en cielo despejado para la ubicación y el mes.

a', b' = constantes empíricas.

n = horas diarias promedio mensual de un sol brillante.

N = media mensual de máximos posibles horas diarias de sol brillante (es decir, la duración del día de día medio del mes).

El problema que se vio con esta ecuación fue la ambigüedad de los datos $\frac{\bar{n}}{N}$ o la forma para adquirirlos H_c . Page (1964) y otros han modificado el método que se base en la radiación extraterrestre sobre una superficie horizontal y no en radiación de un día despejado.

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} = a + b \frac{\bar{n}}{N} \quad [13]$$

Donde \bar{H}_o es la radiación extraterrestre para la ubicación promedio durante el período de tiempo, a y b son constantes que dependen de la ubicación.

5.7.1 Irradiación para superficies inclinadas

La irradiación es una magnitud para describir la potencia incidente por unidad de superficie en un área de captación, para nuestro caso los colectores solares térmicos, para el cálculo de esta magnitud necesitamos los valores de radiación directa, difusa y reflejada. Entonces la irradiación se calcula:

$$q_{s\beta} = H_b * \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} + H_d * \cos^2\left(\frac{\beta}{2}\right) + H * \rho * \sin^2\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad [14]$$

Con estos datos se puede estimar con una gran certeza el calor útil aportado por la superficie de captación, esta variable se puede obtener por instrumentos de medición y por correlaciones como las siguientes:

- Medir la radiación total con un piranómetro y la radiación directa con un pirheliómetro
- Medir la radiación directa con un piranómetro y medir la radiación difusa con un piranómetro obstruyendo la radiación directa.

5.8 ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR

El funcionamiento de los colectores y sistemas solares depende de la entrada de la radiación solar, la temperatura del aire y otros factores. Una de las formas en las que se dispone de datos de radiación solar es en los mapas. Estos dan la impresión general de la disponibilidad de la radiación solar sin detalles sobre las condiciones meteorológicas locales, por esta razón, se debe utilizar con cuidado. Una valiosa fuente de esta información es la Meteonorm. Es el sistema de información más grande con respecto a datos meteorológicos en Europa y

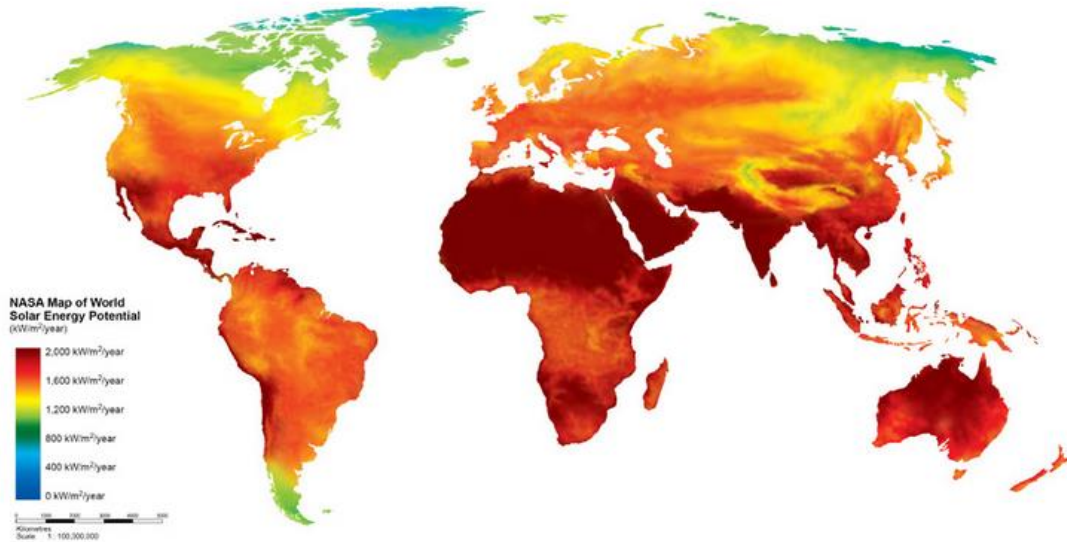
américa del norte, se basan en numerosas bases de datos climáticos de la cual arman un mapa específico donde se encuentra una gran fiabilidad de los datos.

Para el clima local, suelen ser necesarios los datos en la forma de un año meteorológico típico. Este es un año típico, que se define como un año en el que se resume toda la información climática caracterizada por un período tan largo como la vida media de un sistema solar.

5.8.1 Radiación solar mundial

Los rayos del sol llegan a toda la esfera terrestre debido su rotación y el Angulo de inclinación, en algunos lugares se puede contar con presencia de gran cantidad de energía solar aprovechable debido a que los días de sol son constantes y las estaciones con las que cuentan en estas zonas geográficas son solo dos (invierno y verano) como lo son las zonas que están cerca al ecuador y a los trópicos. Al igual la irradiación varia, entonces podemos ver que existen lugares donde el aprovechamiento de esta energía puede ser optimo, esto se puede observar en el mapa mundial solar, de donde se tienen lugares en los que la energía aprovechable se encuentra en $2000 W/m^2$ al año, y de paso se puede ver que en mas del 85% del globo terrestre esta energía se puede aprovechar de forma que la inversión se recupere y se pueda ser amigable con el medio ambiente.

Figura 33. Mapa de la potencial energía solar mundial



Fuente: Solar energy usages. Solar energy potencial. Disponible en: <http://solarenergyusages.com/tag/solar-energy-potential/>

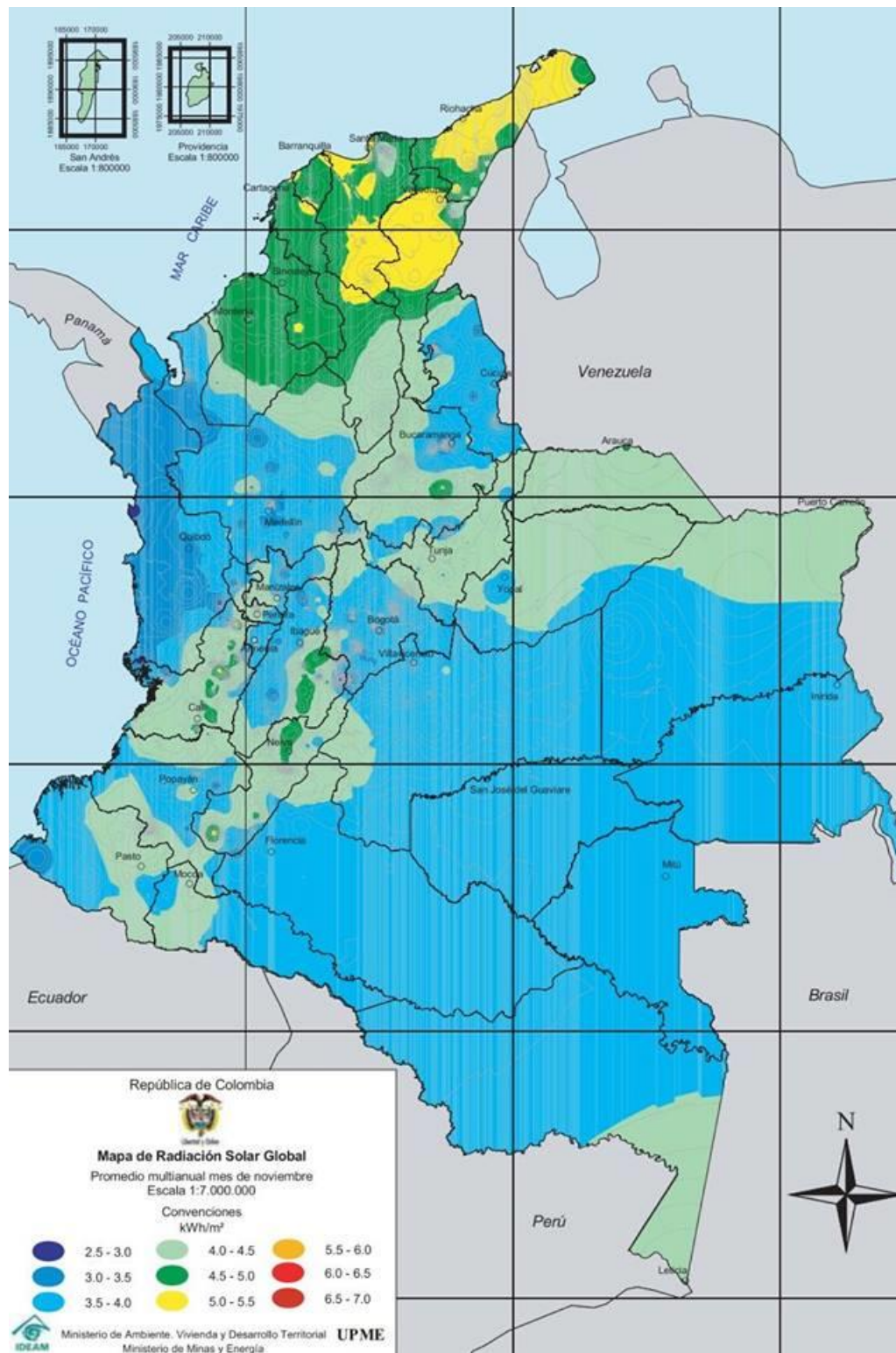
5.8.2 Radiación solar en Colombia

Colombia cuenta con un potencial prometedor en el estudio de energía solar tanto térmico como fotovoltaico debido a nuestra ubicación geográfica (cerca al ecuador) también a factores climáticos. Los registros demuestran que el lugar con mejor promedio de radiación es la península de la guajira con $6.0 \text{ kWh/m}^2 * \text{dia}$ el promedio como tal en Colombia oscila entre $4.5 \text{ kWh/m}^2 * \text{dia}$, teniendo los meses de enero, febrero y marzo como los más influyentes en capacidades máximas.

El resultado de estos datos fue una sinergia entre el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM, y la unidad de planeación minero-energética UPME. Estas entidades con la toma de datos hicieron el atlas de radiación solar en Colombia, con más de 71 estaciones radiométricas en todo el territorio nacional, 383 estaciones meteorológicas donde se hacen estudios de

brillo solar y 96 más donde se realizan estudios de humedad relativa y variación de la temperatura. Por lo tal con estos datos se armó el mapa que se puede observar en la siguiente figura 34.

Figura 34. Mapa radiación solar global de Colombia para el mes de noviembre.



Fuente: UPME. Atlas Radiación Solar de Colombia. Bogotá D.C. Escala 1:7.000.000.

5.9 USO DE LA ENERGÍA SOLAR EN COLOMBIA

5.9.1 Calentadores solares

Las aplicaciones térmicas en Colombia datan de mediados del siglo pasado, cuando en Santa Marta fueron instalados calentadores solares en las casas de los empleados de las bananeras, calentadores que aún existen aunque no operan. Más tarde, hacia los años sesenta, en la Universidad Industrial de Santander se instalaron calentadores solares domésticos de origen Israelí para estudiar su comportamiento. Posteriormente, hacia finales de los setenta y estimulados por la crisis del petróleo de 1973, instituciones universitarias (la Universidad de los Andes, la Universidad Nacional en Bogotá, la Universidad del Valle, entre otras) y fundaciones (como el Centro Las Gaviotas) sentaron las bases para instalar calentadores solares domésticos y grandes sistemas de ACS¹⁴ para uso en centros de servicios comunitarios (como hospitales y cafeterías).

Algunos desarrollos resultaron bastante innovadores. Sin embargo, se adoptó finalmente el sistema convencional que consta de uno o varios colectores solares y de su respectivo tanque de almacenamiento. El colector empleaba una parrilla de tubería de cobre y, como absorbedor, láminas de cobre o de aluminio. Como película absorbidora se empleaba pintura corriente o con aditivos, y otros absorbedores selectivos¹⁵. La cubierta exterior era vidrio corriente o templado y el aislamiento fibra de vidrio, icopor o poliuretano. El tanque generalmente era metálico en sistemas presurizados o de asbesto cemento en sistemas abiertos.

Estos desarrollos tuvieron su máxima expresión a mediados de los ochenta en la aplicación masiva de calentadores en urbanizaciones en Medellín (Villa Valle de

¹⁴ Agua caliente sanitaria

¹⁵ Recubrimiento que hace al absorbedor idóneo para instalar en lugares con irradiación difusa y bajas temperaturas

Aburrá) y Bogotá (Ciudad Tunal, Ciudad Salitre) en donde fueron instalados miles de calentadores, desarrollados y fabricados por el Centro Las Gaviotas; el Palacio de Nariño, en Bogotá, también tuvo uno de estos grandes calentadores. A mediados de los ochenta surgieron varias compañías nacionales en Bogotá, Manizales y Medellín que fabricaron e instalaron miles de calentadores solares de diversas capacidades en esas ciudades. Muchas instituciones religiosas montaron calentadores solares en sus conventos y también alguna cadena hotelera como los hoteles Dann.

Si bien los calentadores solares para una pequeña familia costaban ya a mediados de los ochenta y noventa el equivalente a dos millones de pesos por sistema (tanque de 120 litros, 2 m^2 de colectores solares) y representaban una inversión inicial medianamente alta, instituciones como el antiguo Banco Central Hipotecario, al hacer un análisis valor presente neto, comprendieron que era más económico emplear calentadores solares que emplear electricidad para calentar agua y obvió la inversión que harían los usuarios dotando a varias de sus urbanizaciones con estos equipos. Pero fue posteriormente la introducción de un energético más barato, el gas natural, la que desplazó del mercado esta naciente industria desde mediados de los noventa hasta la actualidad.

5.9.2 Sistemas fotovoltaicos

La generación de electricidad con energía solar empleando sistemas fotovoltaicos ha estado siempre dirigida al sector rural, en donde los altos costos de generación originados principalmente en el precio de los combustibles, y los costos de operación y mantenimiento en las distantes zonas remotas, hacen que la generación solar resulte más económica en el largo plazo y confiable. Estas actividades surgieron con el programa de telecomunicaciones rurales de Telecom a comienzos de los años 80, con la asistencia técnica de la Universidad Nacional.

En este programa se instalaron pequeños generadores fotovoltaicos de 60 Wp¹⁶ para radioteléfonos rurales y ya en 1983 había instalados 2 950 de tales sistemas.

El programa continuó instalando estos sistemas y pronto se escaló a sistemas de 3 a 4 kWp para las antenas satelitales terrenas. Muchas empresas comenzaron a instalar sistemas para sus servicios de telecomunicaciones y actualmente se emplean sistemas solares en repetidoras de microondas, boyas, estaciones remotas, bases militares, entre otras aplicaciones. Estos sistemas son hoy esenciales para las telecomunicaciones rurales del país. Según un estudio realizado, entre 1985 y 1994 se importaron 48.499 módulos solares para una potencia de 2.05 MWp.

En los programas de electrificación rural, el sistema convencional para hogares aislados ha constado de un panel solar de 50 a 70 Wp, una batería entre 60 y 120 Ah y un regulador de carga. Estos pequeños sistemas suministran energía para iluminación, radio y TV, cubriendo las necesidades realmente básicas de los campesinos. El costo actual de este sistema es del orden de \$ 2'400.000 a \$ 3'000.000, afectado principalmente por los elevados costos de instalación en las zonas remotas.

El mercado de sistemas solares fotovoltaicos tuvo su boom hacia finales de los años ochenta con el programa de telecomunicaciones rurales de Telecom; las conocidas dificultades de orden público de la década de los 90 frenaron el desarrollo del mercado, que aún se puede estimar en el orden de 300 kW por año. Si se consideran 30 años de desarrollo de este mercado, entonces la potencia instalada sería del orden de 9 MWp.

¹⁶ Wp representa las unidades del vatio pico.

6. APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar térmica aplicable en los usos de la edificación es la denominada de baja temperatura, con alguna aplicación parcial de media temperatura para usos industriales o sistemas de refrigeración por absorción. Se considera baja temperatura cuando la temperatura es inferior a 100 °C, y media entre 100 °C y 400 °C, siendo de alta temperatura la superior a este punto. Cada rango de temperatura implica un tipo diferente de sistema de captación.

La tendencia actual es la de integrar diversas aplicaciones, lo que conduce en ocasiones a sistemas bastante complejos. Un principio importante en el diseño de estas instalaciones es el de seguir la lógica propia de las aportaciones energéticas solares y sus ciclos naturales, ya que en caso contrario será necesario utilizar un mayor porcentaje de energía convencional, que implica un coste económico y menor rentabilidad del sistema. Es decir, si se precisa una temperatura elevada en una aplicación, será más económico en el ciclo total de vida elegir sistemas de captación que obtengan esa temperatura, que elevarla con equipos convencionales.

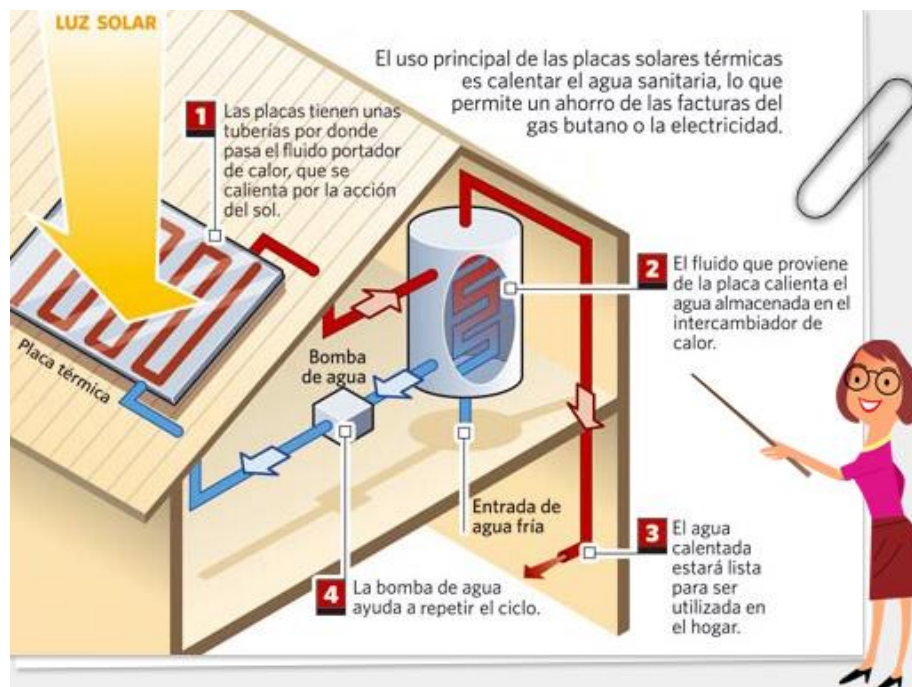
6.1 PRODUCCIÓN DE ACS

La aplicación de la energía solar térmica para la producción de ACS es la más habitual actualmente y constituye una tecnología completamente desarrollada y rentable, con una experiencia práctica superior a 50 años.

La temperatura de la aplicación (40 °C - 60 °C) es coincidente con la del sistema solar térmico de colectores planos, por lo que el rendimiento es favorable. La demanda de ACS es prácticamente constante a lo largo del año, asegurando el funcionamiento continuo de la instalación y, en consecuencia, una amortización bastante rápida.

El esquema básico de una instalación solar térmica para producción de ACS se representa en la figura 35, y se compone del conjunto de captación, el conjunto de intercambio y acumulación, y el equipo convencional de apoyo que proporciona la energía complementaria cuando sea necesario, todo ello coordinado por los elementos de regulación y control.

Figura 35. Ciclo de producción de agua caliente sanitaria



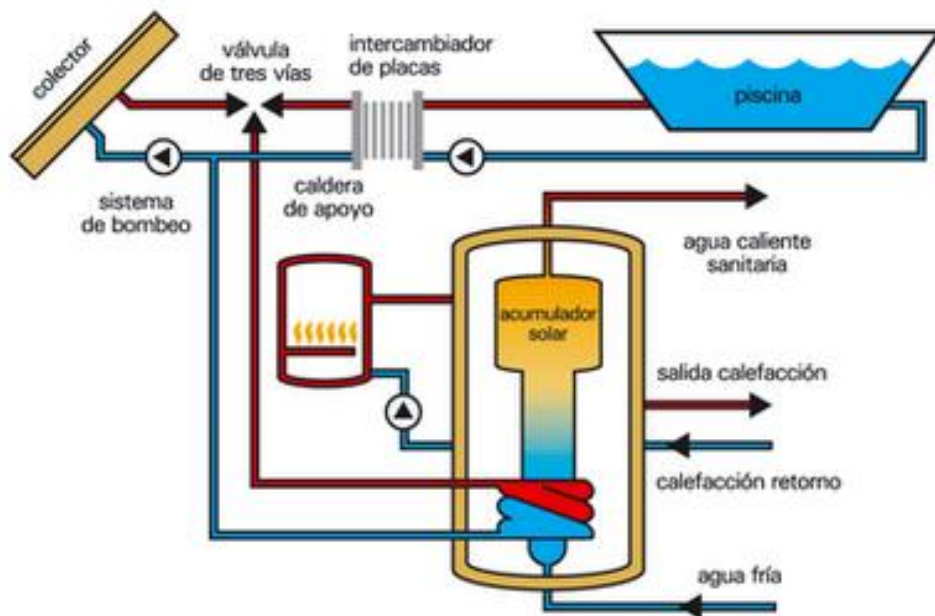
Fuente: Catalogo cromansol.

6.2 CLIMATIZACIÓN DE PISCINAS

La utilización de energía solar térmica es también obligatoria para la climatización del agua de las piscinas. En el caso de piscinas cubiertas pueden contar con una fuente energética de apoyo, pero en las piscinas descubiertas sólo se puede calentar agua con energías renovables, a la vez que será recomendable planificar su operación, debido a los largos periodos que se requieren para calentar la totalidad del agua con el sistema solar.

El esquema básico de una instalación solar térmica para la climatización del agua de las piscinas cubiertas se representa en la figura 36, y se compone del conjunto de captación, el conjunto de intercambio y el que proporciona la energía complementaria cuando sea necesario. En este caso el sistema de acumulación lo constituye el agua de la propia piscina. Al igual que en el caso anterior los elementos de regulación y control coordinan todo el proceso.

Figura 36. Uso de la energía térmica para la climatización de piscinas



Fuente: <https://tecnosan.wikispaces.com/La+energ%C3%ADa+solar>

En la práctica resulta bastante económico lograr una temperatura estable y placentera en piscinas al aire libre. En primer lugar porque, al circular el agua de la piscina directamente por los captadores solares, no es necesario utilizar ningún tipo de intercambiador de calor ni de sistema de acumulación. Y en segundo lugar, porque la temperatura de trabajo suele ser tan baja¹⁷ que permite prescindir de cubiertas, carcassas o cualquier otro tipo de material aislante. De esta manera, se consigue reducir el precio del captador sin excesivo perjuicio en su rendimiento.

¹⁷ En torno a los 30 °C

6.3 CALEFACCIÓN

El esquema básico de una instalación solar térmica para producción de calefacción por agua se representa en la figura 35, y se compone del conjunto de captación, el conjunto de intercambio y acumulación, y el equipo convencional de apoyo que proporciona la energía complementaria cuando sea necesario, todo ello coordinado por los elementos de regulación y control. Es un esquema básicamente igual al de producción de ACS.

En estas instalaciones es muy habitual el uso compartido con la producción de ACS, con los adecuados sistemas de control que priorice el uso más conveniente en cada caso. El principal problema que puede presentarse son los excedentes en verano, que hay que evacuar o derivar a otras aplicaciones, como puede ser la refrigeración por absorción. Sin la posibilidad de derivar los excedentes solo es rentable esta aplicación en puntos extremadamente fríos, como pueden ser zonas septentrionales y de montaña donde es necesario la calefacción casi todo el año.

En esta aplicación es muy importante la correcta elección de los elementos terminales de suministro de calor. La razón es que los sistemas convencionales de calefacción abastecen los radiadores de agua con temperaturas entre 70 y 80 °C, mientras que resulta difícil conseguir temperaturas de acumulación de agua a temperaturas superior a 60 °C mediante captadores solares planos, por lo que sólo se utilizan para precalentar el agua. Por esta razón la mejor posibilidad para obtener una buena calefacción utilizando captadores solares es combinándolos con un sistema de suelo radiante, que funciona a temperatura entre 30 y 40 °C, que coincide con el rango adecuado para que los captadores trabajen con alto rendimiento, y sea mínimamente necesario el uso del sistema auxiliar, si se dimensiona de forma adecuada la acumulación.

6.4 REFRIGERACIÓN

Los hábitos actuales de bienestar han llevado al crecimiento de las necesidades de refrigeración en los edificios. Esta demanda de refrigeración se cubre generalmente mediante equipos que utilizan energía eléctrica, que producen una alta emisión de CO₂, considerando su coeficiente de paso de energía primaria, originado además importantes picos de consumo en las redes de distribución.

Por ello, es necesario pensar en utilizar para la refrigeración tecnologías activadas por fuentes térmicas gratuitas, como la energía solar. Los sistemas de refrigeración solar tienen la ventaja de utilizar una energía renovable, suman la de utilizar esta energía en la estación climatológica en que la radiación solar es máxima. Esto complementa además a la perfección la utilización de la energía solar térmica para los sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria, ya que la demanda se ajusta en todos los meses del año a las necesidades de cada momento, calor en invierno y frío en verano.

Otra de las ventajas del frío solar es reducir los picos de consumo eléctrico de los equipos convencionales, como se ha comentado anteriormente. Otro incentivo para esta aplicación es la sustitución de refrigerantes contaminante como CFC o HCFC por otros sin efectos nocivos para el medio ambiente.

Las tecnologías de refrigeración que se pueden acoplar a un sistema solar son las máquinas enfriadoras térmicas, tanto las de absorción como las de adsorción, y los procesos de desecación y enfriamiento evaporativo.

6.5 APLICACIONES INDUSTRIALES

La aplicación de la energía solar térmica de baja temperatura en procesos industriales se refiere, básicamente, al calentamiento de agua, siendo

especialmente interesante en aquellos sectores que necesitan un gran volumen de ACS. Hay numerosos ejemplos en los que la industria utiliza agua caliente para desarrollar sus actividades, en especial la industria textil, procesos químicos, limpieza y desengrasado de automóviles, limpieza y desinfección de botellas y otros envases, industrias alimenticias, mataderos, suelo radiante para granjas o invernaderos.

En estos casos ya sea para agua precalentada o agua a temperatura de consumo la aportación solar permite un gran ahorro de energía. También se utiliza la energía solar para calentar aire en aplicaciones de secado de productos agrícolas, o en invernaderos.

7. SERVICIO DE AGUA CALIENTE

7.1 TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

El fenómeno físico habitual en la superficie terrestre es la conversión de la energía radiante del sol en energía térmica mediante el choque continuo de los rayos luminosos con la superficie de los objetos. Al ser un fenómeno físico directo se puede encontrar en diferentes lugares naturales como por ejemplo un pequeño charco de agua al sol de mediodía, esta agua se calentará y por supuesto evaporará, como todas las cosas que estén sometidas a los rayos del sol, pero disponer de esta energía eficientemente conlleva a un reto, aunque el reto es tecnológico y consta del transporte y almacenamiento de esta energía hasta el momento en que sea necesario su uso. En todas las aplicaciones que se verán a continuación el almacenamiento térmico se realiza en masas de agua, de mayor o menor volumen, medio idóneo por motivos económicos y de impacto ambiental, para liberar dicha energía cuando sea necesaria.

En consecuencia, se denomina energía solar térmica la que resulta de la conversión de la radiación solar para aplicaciones térmicas, es decir con procesos de cambios de temperatura. Una instalación solar térmica se define como aquella que está constituida por un conjunto de componentes encargados de realizar las funciones de captar la radiación solar, transformarla directamente en energía térmica entregándola a un fluido de trabajo y, por último almacenar esta energía térmica de forma eficiente, bien en el mismo fluido de trabajo de los captadores, o bien transferirla a otro, para poder utilizarla después en los puntos de consumo.

Dicho sistema se complementa con una producción de energía térmica por un sistema convencional auxiliar, que puede o no estar integrado dentro de la misma instalación.

La definición anterior establece los tres componentes esenciales de una instalación solar térmica, es decir, el conjunto captador que recoge la energía de la radiación solar, el conjunto de intercambio y acumulación, que permite almacenar la energía captada, y el equipo convencional de apoyo que proporciona la energía complementaria cuando sea necesario. Los restantes sistemas sirven para regular los anteriores constituyendo de esta manera un sistema energético eficaz.

7.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN

Para llegar a un buen aprovechamiento de los colectores solares térmicos se necesita que estos funcionen en sincronía con más elementos, en esta sección se describen los principales elementos que intervienen en la captación, el almacenamiento, el transporte, el control y la distribución del calor solar para un sistema de agua caliente sanitaria.

7.2.1 Colectores

El tipo de colector más utilizado son los planos para el calentamiento de agua debido a la carga en el año que requiere temperaturas de 30 a 60 °C. Los colectores planos de tubos al vacío y parabólicos alcanzan temperaturas más elevadas y para esta aplicación no se necesita de gran cantidad de energía y calor, estos colectores son más usados en procesos industriales ya que oscilan en temperaturas máximas de 120 a 250 °C.

7.2.2 Fluidos de transferencia térmica.

Los fluidos transportan el calor de los colectores solares hasta el tanque de almacenamiento para el agua de uso doméstico. Los problemas de seguridad potenciales que existen en esta transferencia son tanto químicos como mecánicos

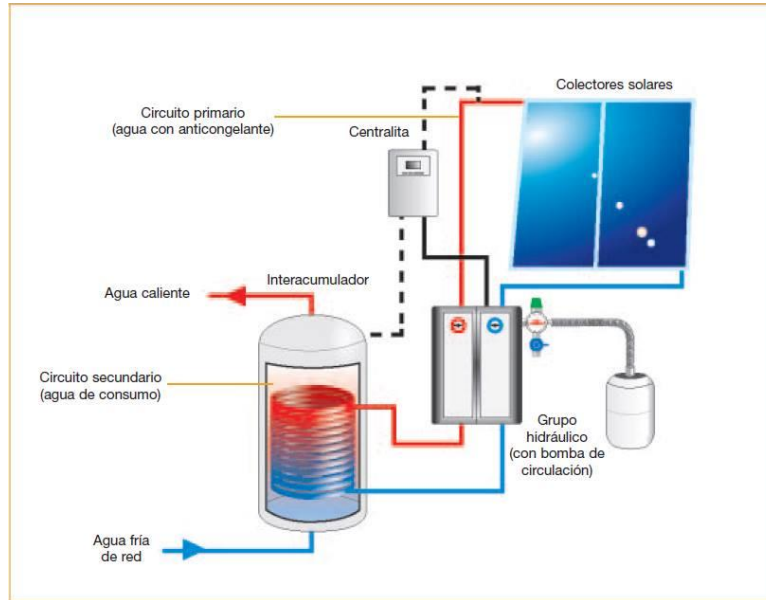
y se aplican principalmente a los sistemas en los que existe un intercambiador de calor del lado de suministro de agua potable. Tanto las composiciones químicas de los fluidos de transferencia de calor (pH, toxicidad y la estabilidad química) y sus propiedades mecánicas (calor y viscosidad específica) deben ser considerados. Salvo en casos excepcionales, cuando se distribuye el agua potable, el fluido de transporte de energía es no potable y tiene la capacidad de contaminar el agua potable. Incluso los fluidos potables o no tóxicos en circuitos cerrados son propensos a convertirse en no potable debido a la contaminación de la tubería de metal, juntas de soldadura, y en el ensamblaje, o por la instalación inadvertida de un fluido tóxico en una fecha posterior.

Debido a esos problemas latentes se tienen leyes que regulan la calidad del agua y la temperatura máxima hasta la cual se permite calentar en cada país, pues al ser potabilizada el agua contiene químicos, uno de los que más se tienen registro son los problemas de calcificación, posterior a esto también se generan bacterias que afectan el organismo humano.

7.2.3 Almacenamiento de energía térmica.

El calor recogido por los colectores solares y transferidos al agua, está prácticamente siempre almacenada como líquido en tanques. Los tanques de almacenamiento y contenedores deben estar bien aislados. En los sistemas domésticos de agua caliente, el calor normalmente se almacena en uno o dos tanques. La salida de agua caliente es en la parte superior del tanque, y el agua fría entra en el tanque por la parte inferior, esto se debe a que dentro del tanque se debe mantener una transferencia de calor de líquido a líquido y se le conoce como estratificación, en los siguientes apartados se hablará más a fondo.

Figura 37. Esquema de un sistema de captación más almacenamiento.



Fuente: DAITSU. Catálogo de Energía Solar Térmica. Madrid. Febrero, 2013.

Las estimaciones para el tamaño de los tanques de almacenamiento por lo general van de 12 a 40 galones por metro cuadrado de superficie de captación solar. La estimación más utilizada es de 30 galones por metro cuadrado de superficie de colector, que por lo general proporciona suficiente calor por un período sin sol de un día aproximadamente. El volumen de almacenamiento debe ser analizado y dimensionado de acuerdo a las necesidades de agua del proyecto; Sin embargo, las aplicaciones solares suelen requerir tanques más grandes de lo normal, por lo general el equivalente a la carga diaria promedio.

7.2.4 Intercambiadores de Calor

Calentadores de agua solares indirectos requieren uno o más intercambiadores de calor. Existe la posibilidad de contaminación en la transferencia de energía térmica de los colectores solares hacia el agua potable. Los intercambiadores de calor influyen en la eficacia de la energía recogida para calentar agua de uso doméstico.

Ellos también separan y protegen el suministro de agua potable de la contaminación cuando se utilizan fluidos de transferencia de calor no aptos para el consumo humano y tóxico. Por esta razón, diversos códigos regulan la necesidad del diseño de los intercambiadores de calor.

Para seleccionar un intercambiador de calor se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Eficacia de intercambio de calor.
- Pérdida de carga, potencia de funcionamiento y el caudal.
- Presión de diseño, configuración, tamaño, materiales, la ubicación, Costo y disponibilidad.
- Protección fiable del suministro de agua potable de la contaminación por el fluido de transferencia de calor.
- Detección de fugas, inspección y mantenimiento.
- Compatibilidad térmica con los parámetros de diseño como de funcionamiento la temperatura y las propiedades térmicas de fluidos.

La selección del Intercambiador de calor depende de las características de los fluidos que pasan a través del intercambiador de calor y las propiedades del propio intercambiador. Las características del fluido a considerar son; el tipo de fluido, el calor específico, la tasa de flujo de masa, y las temperaturas de entrada y salida en caliente y en frío del fluido. Para el intercambiador se debe tener en cuenta sus propiedades físicas unas de estas a considerar y la más importante es; el coeficiente global de transferencia de calor del intercambiador de calor y el área de superficie de transferencia de calor.

7.2.5 Bombas

El propósito de las Bombas es circular el líquido de transferencia de calor a través de los colectores y los intercambiadores de calor. En calentadores de agua solares domésticos, la bomba es generalmente centrífuga accionada por un motor de menos de 300 W. La velocidad de flujo para los colectores varía generalmente 0,15 a 0,4 gpm / m^2 . Las bombas utilizadas en los sistemas de drainback deben proporcionar presión para superar la fricción y para levantar el fluido a los colectores.

7.2.6 Tuberías

La tubería puede ser de plástico, cobre, acero galvanizado o inoxidable. Los tipos más utilizados son sin rastros de plomo, tubería de cobre tipo L soldadas. También es aceptable cobre de tipo M, si lo permiten los códigos locales de construcción. Si el fluido de transferencia de calor es el agua/glicol, los tubos galvanizados o tanques, no deben utilizarse porque se producen reacciones químicas desfavorables, tuberías de cobre se recomienda su lugar. Además, si se utilizan soluciones de glicol o fluidos de silicona, pueden filtrarse a través de las juntas, donde el agua no lo haría. La tubería debe ser compatible con el material del colector; por ejemplo, cobre o tuberías de plástico se deben utilizar con los colectores que tienen conductos de fluido de cobre.

7.2.7 Válvulas y Medidores

Las válvulas en los sistemas de agua caliente sanitaria solar deben estar ubicadas para asegurar la eficiencia del sistema, rendimiento satisfactorio, y la seguridad de los equipos y el personal. Válvulas de desagüe deben ser de tipo bola; válvulas de compuerta se pueden utilizar si el vástago está instalado horizontalmente.

Válvulas de retención u otras válvulas utilizadas para protección contra la congelación o por termosifón inversa deben ser fiables para evitar daños significativos.

7.2.8 Fuentes de calor auxiliares

En los días soleados, un sistema de energía solar típica debe suministrar agua a una temperatura predeterminada, y el acumulador solar debe ser lo suficientemente grande como para contener agua suficiente para un día o dos. Debido a la naturaleza intermitente de la radiación solar, un calentador auxiliar debe estar instalado para manejar los requerimientos de agua caliente. Si una utilidad es la fuente de energía auxiliar, el funcionamiento de la calefacción adicional se puede programar para aprovechar las tarifas de los servicios de menor actividad. El calefactor auxiliar se debe integrar cuidadosamente con el calentador de energía solar para obtener el máximo aprovechamiento de la energía solar. Por ejemplo, el calentador auxiliar no debe destruir cualquier estratificación que puede existir en el acumulador solar-climatizada, lo que reduciría la eficiencia del colector.

7.2.9 Control

Los controles regulan la captación de la energía solar mediante el control de la circulación de fluidos, activar la protección del sistema contra la congelación y el sobrecalentamiento, y poner en marcha la fuente de calor auxiliar cuando sea necesario. Los tres principales componentes de control son sensores, controladores y actuadores. Los sensores detectan condiciones o cantidades de medida, tales como la temperatura. Los controladores reciben la señal y dan la orden a los actuadores. Los actuadores, tales como bombas, válvulas, compuertas

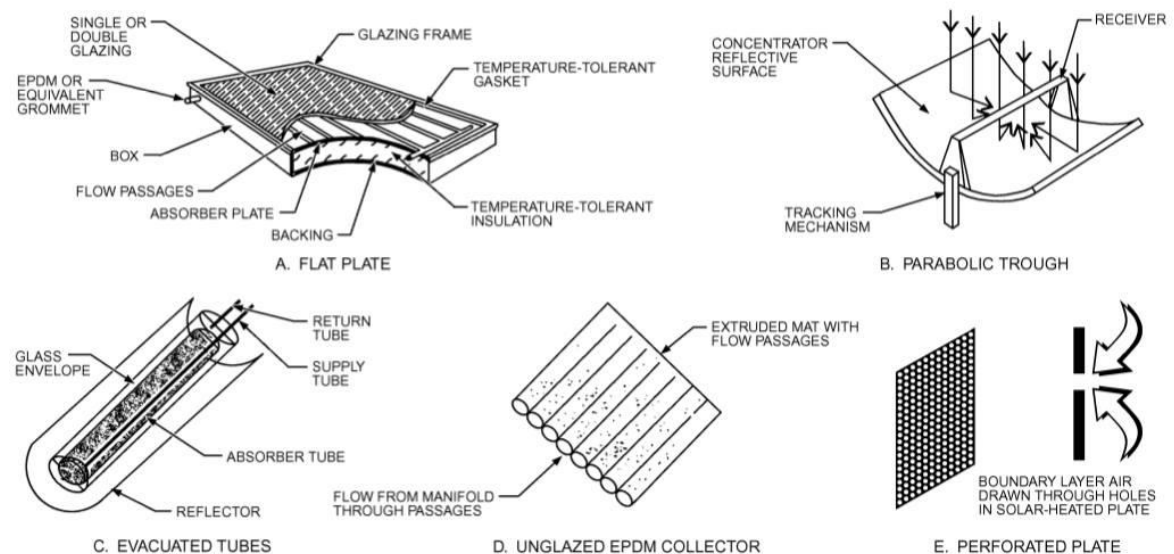
y ventiladores, se encargan de ejecutar los comandos del controlador y regulan el sistema.

7.3 COLECTOR SOLAR DE ENERGÍA

La energía solar se puede convertir en química, eléctrica, y procesos térmicos. La fotosíntesis es un proceso químico que produce alimentos y convierte el CO_2 en O_2 . Las células fotovoltaicas convierten la energía solar en electricidad. El proceso de conversión térmica, el tema principal de este capítulo, proporciona energía térmica para la calefacción y la refrigeración, calentamiento de agua sanitaria, la generación de energía, la destilación, y calefacción proceso.

La siguiente figura muestra los diferentes tipos de colectores que se han usado y han funcionado con éxito.

Figura 38. Tipos de colectores



Fuente: chapter 33 of the ASHRAE HANDBOOK-HVAC Applications 2007.

7.3.1 Calor solar captado

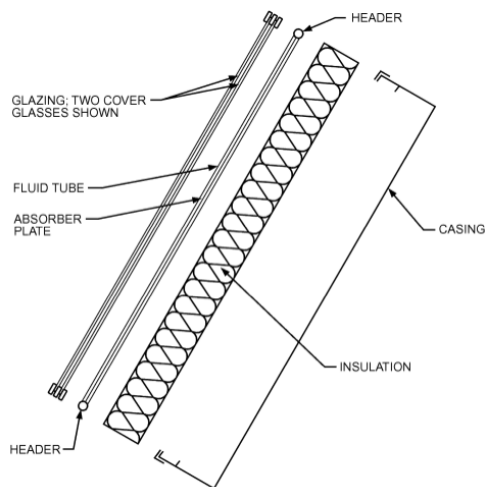
Los métodos de cálculo de irradiación solar presentados en la sección anterior se pueden usar para estimar la cantidad de energía probable que está disponible en cualquier lugar, fecha específica y hora del día, para lograr captar ya sea por un dispositivo de concentración, que utiliza sólo los rayos directos del sol, o por un colector de placa plana, que puede utilizar tanto la irradiación directa y difusa. Las temperaturas necesarias para la calefacción y la refrigeración de locales no superan los 100°C, incluso para refrigeración por absorción ese valor es alto, con los colectores se pueden conseguir estas temperaturas, debido a que los colectores planos son cuidadosamente diseñados.

7.3.2 Colectores de placa plana

Un colector de placa plana en general, consta de los siguientes componentes (Figura 38):

- Vidrio. Una o más hojas de vidrio o de otro material que transmita la radiación
- Tubos, aletas, o pasajes. Para llevar a cabo o dirigir el fluido de transferencia de calor desde la entrada a la salida.
- Placas de absorción. placas ranuradas o planas corrugadas, a la que se unen los tubos, aletas, o pasajes. La placa puede tener integrada los tubos.
- Cabeceras. permite admitir y descargar el fluido de transferencia de calor.
- Aislamiento. Para reducir al mínimo la pérdida de calor de la parte posterior y los lados del colector.
- Bastidor o carcasa. Para rodear a los otros componentes y protegerlos del polvo, la humedad, etc.

Figura 39. Despiece placa colectora



Fuente: chapter 33 of the ASHRAE HANDBOOK-HVAC Applications 2007.

Colectores de placa plana se han construido en una amplia variedad de diseños y de diferentes materiales. Se han utilizado para calentar fluidos tales como el agua, el agua más un aditivo anticongelante y aire. Su principal objetivo es captar la mayor cantidad de energía solar posible en el costo total más bajo posible. El colector también debe tener una vida útil larga, a pesar de los efectos adversos de la radiación ultravioleta del sol (corrosión o la dilatación térmica) también del fluido de transferencia de calor (congelación o aire vinculante en el caso del agua, o la deposición de polvo o humedad en el caso del aire) y roturas del cristal debido a la expansión térmica, granizo, vandalismo, o por otras causas. Estos problemas se pueden minimizar mediante el uso de vidrio templado.

7.3.2.1 *Cubierta del colector*

El vidrio ha sido ampliamente utilizado como cubierta de los colectores solares de placa plana, ya que puede llegar a transmitir el 90% de la radiación solar de onda corta entrante mientras transmite muy poca de la radiación de onda larga emitida hacia fuera desde la placa de absorción. El vidrio con bajo contenido de hierro

tiene una relativamente alta transmitancia de la radiación solar (aproximadamente 0,85 a 0,90 con incidencia normal), pero su transmitancia es esencialmente cero para la radiación térmica de onda larga (5,0 a 50 micras) emitida por las superficies calentadas por el sol.

Los plásticos también son generalmente limitados en las temperaturas que pueden soportar sin deteriorarse o sufrir cambios dimensionales. Sólo unos pocos tipos de plásticos pueden resistir la radiación ultravioleta del sol durante largos periodos de tiempo. Sin embargo, no se rompen por el granizo o piedras y son completamente flexibles y tienen baja masa en forma de películas delgadas.

El vidrio debe reducir las pérdidas de calor hacia el ambiente tanto como sea posible. Aunque el vidrio es prácticamente opaco a la radiación de onda larga emitido por placas colectoras, la absorción de la radiación provoca un aumento en la temperatura del vidrio y una pérdida de calor a la atmósfera circundante por radiación y convección. Este tipo de pérdida de calor se puede reducir mediante el uso de un revestimiento reflectante de infrarrojos en la parte inferior del vidrio; sin embargo, tales revestimientos son costosos y reducen la transmitancia solar eficaz del vidrio a un 10%.

7.3.3 Colectores de tubos al vacío

Los tubos de vacío están conformados por un tubo de vidrio transparente en cuyo interior se sitúa un cilindro de cobre captador, se elimina el aire para hacer el vacío y con esto se consigue que las pérdidas caloríficas sean despreciables por convección.

El sistema captador está compuesto por una agrupación de tubos montados paralelamente sobre una base que contiene los conductos de ida y retorno, formando un grupo compacto de gran eficiencia por su mayor aislamiento y su

facilidad en el montaje, ya que permiten un desvío del ángulo de conexión a la base de unos 20° sin pérdida de rendimiento y un giro del absorbedor de forma independiente en cada tubo para poder conseguir una mejor alineación con respecto al sol en caso necesario. Sin embargo, estos captadores tienen un costo significativamente mayor y una resistencia mecánica menor, especialmente frente a los golpes.

Existen dos tecnologías distintas de tubos de vacío:

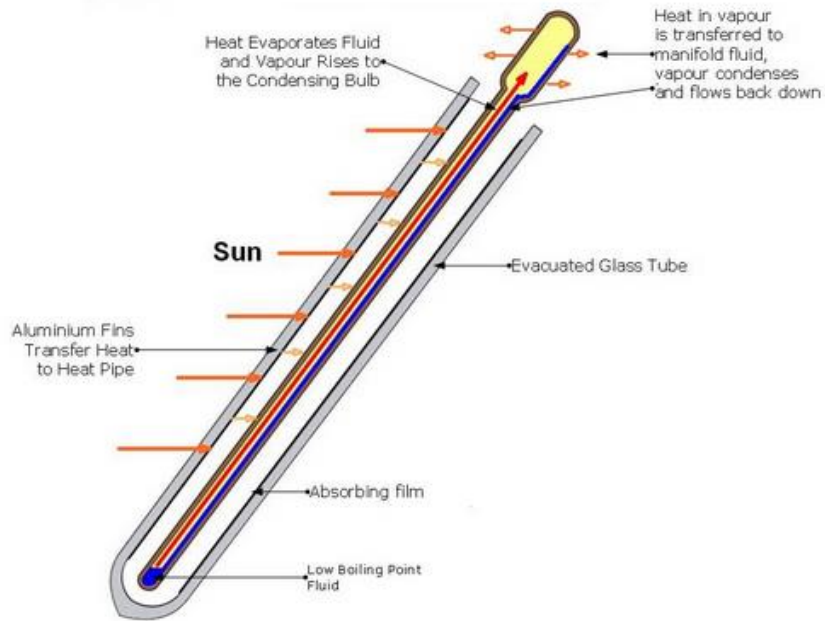
- Tubos de vacío de circulación directa, en los que el fluido de trabajo fluye directamente a través del absorbedor dentro de los tubos de vacío.
- Tubos de vacío tipo “Heat Pipe”, en los cuales la captación se realiza mediante un fluido normalmente agua o algún refrigerante que se vaporiza al calentarse y se condensa en el cabezal del tubo, cediendo la energía al fluido mediante un intercambiador, con mayor rendimiento que los anteriores.

7.3.3.1 *Tubos de vacío de circulación directa*

El captador de tubos de vacío de circulación directa se compone de los siguientes elementos:

- Tubo exterior que contiene al conjunto y constituye la cubierta transparente.
- Absorbedor metálico encargado de transformar la radiación solar en energía térmica y transmitirla al fluido de trabajo.
- Elementos reflectores, en su caso.
- Conexiones hidráulicas de ida y retorno

Figura 40. Partes principales del tubo de vacío



Fuente: <http://www.solartubs.com/solar-vacuum-tube-technology.html>

7.3.3.2 Tubo exterior

El tubo exterior es de vidrio de borosilicato, tiene forma cilíndrica bien definida, construido de una pieza por soplado, con un extremo abierto por el que entran los tubos que conducen el fluido y el otro cerrado terminado generalmente en forma semiesférica para facilitar el vacío. El extremo abierto suele estar moldeado con rebordes, para ajustar las conexiones hidráulicas. Los tubos de vacío pueden ser de pared simple y de doble pared. Los de pared simple son de construcción más sencilla y dependen del cierre por donde pasa la conexión hidráulica para asegurar el vacío.

“Los tubos de doble pared tienen dos tubos de vidrio concéntricos sellados entre sí en la boca, estando hecho el vacío entre ellos por lo que ofrece mayor seguridad ante la pérdida de vacío. El espacio entre la pared interior y el absorbedor no

suele estar en vacío, pero en lugar de aire se suele introducir gas xenón en los de mejor calidad.”¹⁸

7.3.3.3 *Sistema tubería-absorbedor*

Las tuberías por las que circula el fluido son de cobre, y pueden estar dispuestas de forma concéntrica, o en paralelo. El absorbedor suele ser también de cobre con recubrimiento de óxido de titanio, adosado a las tuberías cuando son paralelas, o rodeándolas cuando son concéntricas. En algunos casos, se dispone también una lámina plana en los tubos concéntricos para mejorar su rendimiento.

Hay tubos de vacío en que el absorbedor es un tubo de vidrio concéntrico con el anterior y que, a su vez, tiene concéntrico otro tubo interior capilar de vidrio para el retorno del fluido de trabajo.

Cuando el absorbedor es una lámina plana puede orientarse respecto al eje del tubo, para ajustar la orientación o inclinación buscando una posición más óptima con el sol, de acuerdo con los límites recogidos en la documentación técnica de cada fabricante. Para mejorar su rendimiento, los tubos de vacío pueden tener un elemento reflector que permite captar radiación, de otra forma, la radiación atravesaría el tubo y no se podría aprovechar la mayor cantidad de esta. Pueden ser de dos tipos:

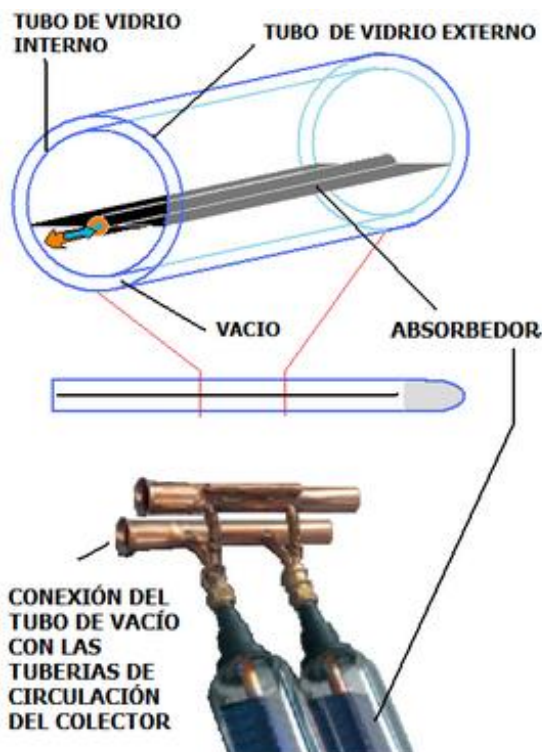
- **Exteriores.** Están constituidos por canales de sección parabólica o doblemente parabólica, estando situado en su foco el absorbedor. Su material habitual es aluminio con tratamiento de espejo.
- **Interiores.** Consisten en el recubrimiento interior reflectante del semicilindro del tubo de vidrio. El material suele ser de plata en los de mayor calidad.

¹⁸ Tomado de guía solar Sedigas pág. 23. 2008

7.3.3.4 Sistema hidráulico

Las conexiones hidráulicas son semejantes funcionalmente a las de los colectores planos, una de ida con el fluido frío y otra de retorno con el fluido calentado por la transferencia de energía solar térmica. Sin embargo, la ejecución práctica es mucho más complicada porque estas conexiones están multiplicadas y puede apreciarse una doble jerarquía. Cada tubo de vacío se conecta a un colector doble, de ida y retorno, formando una agrupación de captadores, constituido habitualmente por un número entre doce y dieciocho, conectados en serie o paralelo. Este colector diseñado y suministrado por el fabricante, constituye una estructura común que fija los tubos, y está debidamente aislado y protegido mecánicamente.

Figura 41. Conexión hidráulica de tubos al vacío



Fuente: sitiosolar. Los colectores de tubos al vacío. Disponible en: <http://www.sitiosolar.com/los-colectores-solares-de-tubo-de-vacio/>

7.3.3.5 *Funcionamiento de tubos al vacío*

El principio de funcionamiento de un tubo de vacío es igual al de un captador plano, con las siguientes variaciones:

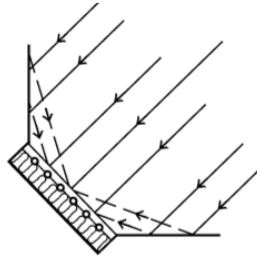
- La radiación solar incide sobre la cubierta transparente, en este caso cilíndrica, permitiendo captar rayos solares con mayor arco de incidencia que en los captadores planos debido a la curvatura de la superficie. En algunos casos se utilizan espejos concentradores reflectivos parabólicos de plata, aluminio u otro material, para conseguir alto rendimiento en periodos de baja radiación o cuando no se tiene la óptima orientación.
- Entre la cubierta transparente y la superficie de absorción no existe ningún gas, se ha hecho el vacío lo que disminuye las pérdidas térmicas debido a la ausencia de medio material.

Las tuberías por las que circula el fluido de trabajo se encuentran unidas a la superficie absorbidora, que se calienta debido a la incidencia de la radiación solar y la energía se transfiere al fluido por transmisión, de la misma forma que en los captadores planos.

7.3.4 *Colectores de concentración*

Estos colectores pueden alcanzar fácilmente mayores temperaturas a las alcanzables por los colectores de placa plana, se pueden alcanzar si una gran cantidad de radiación solar se concentra en un área de captación relativamente pequeña. Reflectores simples pueden incrementar notablemente la cantidad de radiación directa que se le trasmite a un colector, como se muestra en la Figura 42.

Figura 42. Colector plano con alas reflectantes



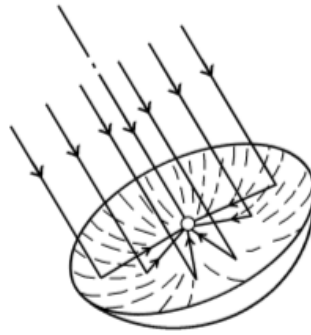
Fuente: chapter 33 of the ASHRAE HANDBOOK-HVAC Applications 2007

Debido al movimiento aparente del sol a través del cielo, los colectores de concentración convencionales deben seguir el movimiento diario del sol. Hay dos métodos por los cuales el movimiento del sol se puede seguir fácilmente.

En el método altazimuth el dispositivo requiere de rastreo en altitud y acimutal; cuando se realiza correctamente, este método permite que el concentrador logre seguir el sol exactamente.

Horno solar parabólico (Figura 43) suelen utilizar el sistema de montaje polar. El montaje del eje de bastidor se ubica en rotación de la estrella del norte en los puntos polares o ecuatoriales, inclinando hacia arriba en el ángulo de la latitud local. Mediante la rotación del colector 15° por hora, se sigue el sol perfectamente (el 21 de marzo y 21 de septiembre). La superficie del colector o la abertura deben mantenerse normal a los rayos solares, es necesario un segundo movimiento para corregir el cambio en la declinación solar. Este movimiento no es esencial para la mayoría de los colectores solares.

Figura 43. Concentrador parabólico



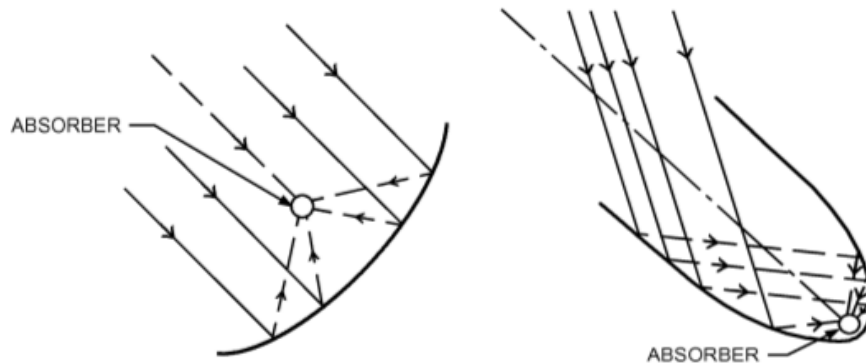
Fuente: chapter 33 of the ASHRAE HANDBOOK-HVAC Applications 2007.

La máxima variación en el ángulo de incidencia de un colector en un montaje polar será $\pm 23,5^\circ$ el 21 de junio y 21 de diciembre; la corrección del ángulo incidente sería entonces

$$\cos 23.5^\circ = 0,917 \quad [15]$$

Colectores cilindro-parabólicos reflectantes horizontales, orientados al este y al oeste (Figura 44 a), requieren un ajuste continuo para compensar los cambios en la declinación del sol. Hay inevitablemente alguna mañana y tarde donde la superficie reflectante produzca sombreado, si el concentrador tiene paneles extremos opacos. La necesidad de mover el concentrador para acomodar el cambio de declinación solar puede reducirse moviendo el absorbedor o mediante el uso de un canal con dos secciones de una parábola uno frente a la otra, como se muestra en la (Figura 44 b).

Figura 44. (a) colector cilindro parabólico. (b) concentrador parabólico compuesto.

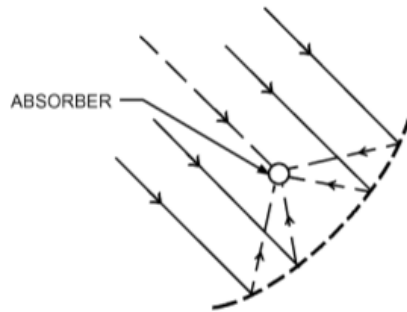


Fuente: chapter 33 of the ASHRAE HANDBOOK-HVAC Applications 2007

Conocido como un concentrador parabólico compuesto (CPC), este diseño puede aceptar la radiación entrante a través de un amplio rango de ángulos. Mediante el uso de múltiples reflexiones internas, cualquier radiación que se acepta encuentra su camino a la superficie absorbente situada en la parte inferior del aparato. Al llenar la forma colector con un material altamente transparente que tiene un índice de refracción mayor que 1,4, el ángulo de aceptación puede ser aumentado. Por la configuración del arreglo de la superficie adecuadamente, se hace la reflexión interna de tal forma que se produzca en las interfaces medio/aire, lo que resulta en una alta eficiencia de concentración. Conocido como un concentrador parabólico compuesto dieléctrico (DCPC), este dispositivo ha sido aplicado a la generación fotovoltaica de la electricidad.

El cilindro-parabólica de la (Figura 44 a) se puede simular como muchas tiras planas, cada uno ajustado en el ángulo adecuado para que todos reflejen en un objetivo común. Al apoyar las tiras en las superficies de contornos parabólicos, un concentrador relativamente eficiente se puede producir con menos herramientas que el canal de reflexión completa, también es conocido como reflector de Fresnel.

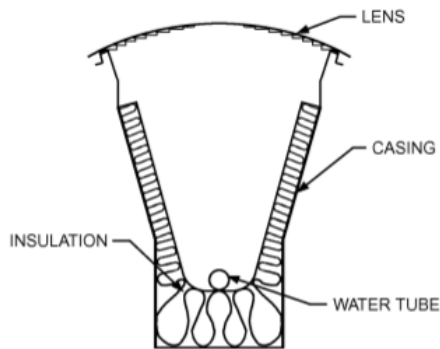
Figura 45. Colector cilindro parabólico de Fresnel.



Fuente: chapter 33 of the ASHRAE HANDBOOK-HVAC Applications 2007

Otro concepto aplica esta idea segmentaria a lentes planas y cilíndricas. Una modificación se muestra en la Figura 46, en la que una lente Fresnel lineal, curvada para acortar su distancia focal, se puede concentrar un área relativamente grande de radiación sobre un receptor alargado. Usando el montaje sol-siguiente ecuatorial, este tipo de concentrador se ha utilizado para alcanzar temperaturas muy superiores a las que se puede llegar con los colectores de placa plana.

Figura 46. Concentrador lineal de Fresnel



Fuente: chapter 33 of the ASHRAE HANDBOOK-HVAC Applications 2007.

7.4 PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA

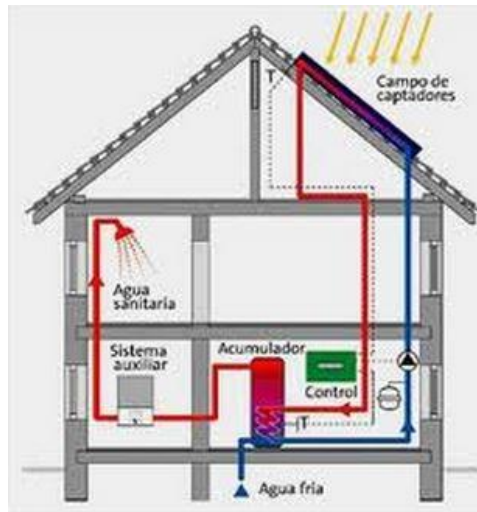
La aplicación de la energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria es la más habitual actualmente, y constituye una tecnología completamente desarrollada y rentable, con una experiencia práctica superior a 50 años.

Un calentador de agua solar incluye un colector solar que absorbe la radiación solar y la convierte en calor, que es absorbido entonces por un fluido de transferencia de calor (agua, un líquido no congelación, o aire) que pasa a través del colector. El calor del fluido de transferencia de calor se almacena o se utiliza directamente.

Algunas partes del sistema de energía solar están expuestas a la intemperie, por lo que deben ser protegidos contra la congelación. El sistema también debe ser protegido de sobrecalentamiento causado por los altos niveles de insolación durante los períodos de baja demanda de energía.

La temperatura de la aplicación ($40^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$) es coincidente con la del sistema solar térmico de captadores planos, por lo que el rendimiento es favorable. La demanda de ACS es prácticamente constante a lo largo del año, asegurando el funcionamiento continuo de la instalación y, en consecuencia, una amortización bastante rápida.

Figura 47. Instalación solar



Fuente: http://www.segur-val.com/page_energia_termica.htm

7.4.1 Tipos de sistemas

Los sistemas para agua de servicio sanitaria se pueden categorizar en dos tipos, según como se maneje el fluido al que se le aporta la energía, por circulación natural y por circulación forzada, cada cual tiene sus ventajas y desventajas.

El fluido de transferencia de calor es transportado por la circulación ya sea natural o forzada. La circulación natural se produce por convección natural (termosifón), mientras que la circulación forzada utiliza bombas o ventiladores. Los sistemas por termosifón no necesitan de control, los calentadores de agua doméstica y servicio solares son controlados por termostatos diferenciales.

Cinco tipos de sistemas de energía solar se utilizan para calentar el agua caliente sanitaria y de servicios:

7.4.1.1 Termosifón

Utiliza un modelo diferente de placa captadora y la disposición de los tubos es diferente garantizando el proceso de termosifón, la circulación en el circuito primario se efectúa por convección natural, debido a las diferencias de densidades entre el fluido de trabajo, en su parte inferior frío y parte superior caliente. El fluido dentro de los tubos asciende a medida que se calientan por medio de la radiación solar. Al llegar el fluido de trabajo a la parte superior de estos se encuentra con un tanque de almacenamiento al cual se le transfiere el calor y vuelve enfriado a la placa captadora tras pasar por el sistema de retorno. Este sistema descrito se le conoce en aplicaciones térmicas como circulación por termosifón.

Los sistemas basados por termosifón funcionan sin la ayuda de bombas o de sistemas de control, bien dicho sin necesidad de energía eléctrica auxiliar y, por lo tanto pueden utilizarse incluso donde no se dispone de corriente eléctrica.

Este sistema es el más óptimo para regiones con zona climáticas cálidas. Debido a que la temperatura ambiente no bajará más de los 0°C por lo tanto nuestro fluido de trabajo no se congelará. En general, se trata de sistemas prefabricados que suelen ser compactos en una unidad completa que consta de uno o dos captadores, un acumulador y el resto de accesorios del sistema, (tuberías, válvulas, etc.) los sistemas por termosifón han logrado una excelente aceptación, debido a su sencillo montaje, bajo costo y pocos problemas.

Las fuerzas de ascenso generada por el líquido en los sistemas por termosifón son pequeñas, por lo tanto, es importante que los diámetros de las tuberías sean relativamente grandes, con tramos cortos y rectos al fin de mantener perdidas en la carga pequeñas, para evitar las pérdidas de carga se define una diferencia de altura entre la placa colectora y el captador. Por lo general la base del acumulador

se ubica en la parte superior de la placa de tubos, también en algunos casos se encuentra que ubican el acumulador en la parte posterior del sistema. Normalmente, los sistemas por termosifón trabajan de forma más lenta que los de circulación forzada.

Los sistemas de termosifón se utilizan en instalaciones solares pequeñas, debido a que su costo y rentabilidad se hace óptima. Se puede hacer conexiones de más captadores en paralelo, pero se debe asegurar la circulación uniforme para cada captador, esto quiere decir que la pérdida de carga en cada tramo en paralelo sea la misma. La forma más simple para lograrlo es con una conexión con retorno invertido. A medida que sea mayor el campo de colectores que se use más longitud tubería se necesitará y las pérdidas aumentarán, esto es grave debido a que nuestro sistema es sensible a las pérdidas.

En ubicaciones donde las temperaturas bajan demasiado se puede utilizar este sistema pero se debe contar con un líquido de trabajo diferente o mezclado con anticongelante para evitar la obstrucción de las tuberías lo que causa una ineficiencia drástica en el sistema, debido a esto es necesario separar el líquido de trabajo del líquido que se va a utilizar para consumo, entonces, se hace necesario el uso de un intercambiador de calor.

7.4.1.2 Sistema de circulación directa

Sistemas de circulación directa sólo son factibles en las zonas donde la congelación es poco frecuente. La protección contra la congelación se proporciona ya sea mediante la recirculación de agua caliente desde el tanque de almacenamiento o mediante el lavado de los colectores con agua fría. Los sistemas de calentamiento de agua directos no deben utilizarse en zonas donde el agua es muy dura o ácida, porque los depósitos de cal pueden obstruir o corroer los conductos de fluido de absorción, lo que hace el sistema que no funciona.

Estos sistemas están expuestos a presiones de línea de la ciudad de agua y deben soportar presiones como es requerido por los códigos locales. Se requieren válvulas reductoras de presión y válvulas de alivio de presión cuando la presión del agua de la ciudad es mayor que la presión de trabajo de los colectores. A menudo utilizan un solo tanque de almacenamiento tanto para el almacenamiento de la energía solar y el calentador de agua auxiliar.

7.4.1.3 *Sistema draindown*

Son sistemas de circulación de agua directos en los que el agua potable se bombea desde el almacenamiento hasta el campo de colectores donde se calienta. La circulación continúa hasta que el calor solar utilizable ya no está disponible. Cuando se anticipa una condición de congelación o se produce un corte de energía, el sistema drena automáticamente por el aislamiento del campo de colectores.

7.4.1.4 *Sistemas de calentamiento de agua indirectos*

Este sistema hace circular un fluido de transferencia de calor protegido por anti congelantes a través del lazo cerrado, el cual está formado por el colector y el intercambiador de calor, donde el calor se transfiere al agua potable. Los fluidos de transferencia de calor más comúnmente usados son el agua/etilenglicol y soluciones de agua/glicol de propileno, aunque otros fluidos de transferencia de calor, tales como aceites de silicona, hidrocarburos, y refrigerantes también pueden ser utilizados (ASHRAE 1983). Estos fluidos no son potables, a veces tóxicos y normalmente requieren intercambiadores de calor de doble pared para evitar fugas.

El intercambiador de calor de doble pared puede estar situado en el interior del tanque de almacenamiento, o un intercambiador de calor externo puede ser

utilizado. El circuito del colector es cerrado y por lo tanto requiere un depósito de expansión y una válvula de alivio de presión. Un almacenamiento de uno o dos tanques puede ser utilizado.

7.4.1.5 *Sistemas drainback*

Son sistemas de calentamiento de agua generalmente indirectos que circulan agua tratada o no tratada a través del lazo cerrado del colector a un intercambiador de calor, donde el calor se transfiere al agua potable. La circulación continúa hasta que la energía utilizable ya no está disponible. Cuando la bomba se detiene, el fluido drena el colector por gravedad a un depósito o tanque. En un sistema presurizado, el depósito también sirve como un depósito de expansión, por lo que debe tener una válvula de temperatura y de alivio de presión para proteger contra la presión excesiva. En un sistema sin presión, el tanque está abierto y ventilado a la atmósfera.

7.5 ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

La energía solar es una fuente de energía que depende del tiempo. Las necesidades de energía para una amplia variedad de aplicaciones son también dependientes del tiempo pero de una manera diferente que el suministro de energía solar. En efecto, el almacenamiento de energía o de otro producto de un proceso solar es necesario si la energía solar satisface porciones sustanciales de estas necesidades de energía.

La energía almacenada debe ser considerada dentro de un sistema de proceso solar, los componentes principales de los cuales son el colector solar, unidades de almacenamiento, dispositivos de conversión (tales como aparatos de aire acondicionado o motores), cargas (suplementarios), el suministro de energía auxiliar y sistemas de control. El rendimiento de cada uno de estos componentes

está relacionado con la de los otros. La dependencia del rendimiento de los colectores de la temperatura hace que todo el rendimiento del sistema sea sensible al comportamiento de la temperatura. Por ejemplo, en un sistema de energía térmica solar, un sistema de almacenamiento de energía térmica que se caracteriza por una alta caída de la temperatura entre la entrada y la salida dará lugar innecesariamente a una alta temperatura del colector que en consecuencia conducen a un mal rendimiento del sistema.

La capacidad óptima de un sistema de almacenamiento de energía deriva de la dependencia del tiempo esperado de la disponibilidad de la radiación solar, la naturaleza de las cargas que se espera en el proceso, el grado de fiabilidad necesaria para el proceso, la forma en que se suministra la energía auxiliar, y determinar la cantidad de la carga anual que debe ser entregada por el sol y la parte por la fuente de energía auxiliar.

Por lo general, el diseño y selección de los equipos de almacenamiento térmico es uno de los elementos más olvidados de sistemas de energía solar. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que el sistema de almacenamiento de energía tiene una influencia enorme en general en el costo del sistema, rendimiento y fiabilidad. Además, el diseño del sistema de almacenamiento afecta a los otros elementos básicos, tales como el sistema de distribución térmica circuito y del colector.

Un tanque de almacenamiento en un sistema solar tiene varias funciones, la más importante de las cuales son:

- Mejora la utilización de la energía solar captada proporcionando capacidad térmica para aliviar la disponibilidad, la falta de carga solar en alguna eventualidad y mejorar la respuesta del sistema durante los pequeños lapsos de los picos de carga o pérdida repentina de la entrada solar.

- Mejora la eficiencia del sistema previniendo que el fluido de transferencia de calor alcance rápidamente altas temperaturas, las cuales reducen la eficiencia del colector.

7.5.1 Métodos de almacenamiento de energía

El agua en la mayoría de sistemas solares es el material ideal para almacenar el calor utilizable. La energía fácilmente se puede añadir y retirar de este tipo de unidad de almacenamiento por el transporte del medio de almacenamiento en sí, eliminando así la caída de temperatura entre el fluido de transporte y medio de almacenamiento. Hay tres métodos básicos para el almacenamiento de energía térmica:

- i. Calentar un líquido o un sólido, sin cambiar de fase: Este método se le conoce como de almacenamiento de calor sensible. La cantidad de energía almacenada depende del cambio de temperatura del material y se puede expresar en la forma:

$$E = m \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad [16]$$

Donde m es la masa y C_p el calor específico del agua a presión constante. T_1 y T_2 representan los niveles de temperatura inferior y superior entre los que opera el almacenamiento. La diferencia ($T_2 - T_1$) se conoce como la variación de la temperatura.

- ii. Los sistemas de almacenamiento de energía térmica por medio del calor sensible del agua (podría ser otro fluido) corresponden a un tanque de agua adecuadamente aislado en el cual se acumula la energía térmica

proveniente del conjunto colector. Estos sistemas pueden recibir directamente el agua caliente del colector o bien por medio de un intercambiador de calor se calienta el agua del tanque acumulador, para luego entregar este calor a la demanda. Para muchos sistemas solares, el agua es el material ideal para almacenar calor, ya que posee las siguientes características:

- Es de bajo costo.
- No es tóxica.
- Es fácilmente disponible.
- Posee alto calor específico, por lo que tiene alta capacidad de almacenamiento para su masa y volumen.
- La energía se adhiere y sustrae de este tipo de unidad de almacenamiento transportando el mismo medio de almacenamiento, lo que elimina la diferencia de temperatura entre el medio transporte del calor y el medio de almacenamiento.

Como líquido es fácil de transportar utilizando bombas y cañerías convencionales

- iii.** Calentar un material, que experimenta un cambio de fase (normalmente de fusión): Esto se llama almacenamiento de calor latente. La cantidad de energía almacenada (E) en este caso depende de la masa (m) y el calor latente de fusión (λ) del material. Por lo tanto,

$$E = m\lambda \quad [17]$$

El almacenamiento opera isotérmicamente en el punto de fusión del material. Si la operación isotérmica a la temperatura de cambio de fase es

difícil, el sistema opera en un rango de temperaturas T_1 a T_2 que incluye el punto de fusión. Las contribuciones de calor sensible tienen que ser considerados y la cantidad de energía almacenada está dada por:

$$E = m \left[\left\{ \int_{T_1}^{T^+} C_{ps} dT \right\} + \lambda + \left\{ \int_{T^*}^{T_2} C_{pl} dT \right\} \right] \quad [18]$$

Donde C_{ps} y C_{pl} representa los calores específicos de las fases sólida y líquida y T^* es el punto de fusión.

- iv.** El uso de calor para producir una determinada reacción físico-química y el almacenamiento de los productos. Absorber y adsorber son dos ejemplos para la reacción de unión. El calor se libera cuando se realiza la reacción inversa que ocurra. En este caso también, el almacenamiento opera esencialmente isotérmicamente durante las reacciones. Sin embargo, la temperatura a la que el calor fluye desde el suministro de calor es por lo general diferente, debido al material de almacenamiento requerido.

De los métodos anteriores, los sistemas de almacenamiento de calor sensible y latente están en uso, mientras que se están proponiendo sistemas de almacenamiento de energía de enlace para su uso en el futuro para aplicaciones de media y alta temperatura. La aplicación específica para la que un sistema de almacenamiento térmico se va a utilizar determina el método que se adopte. Algunas de las consideraciones que determinan la selección del método de almacenamiento y su diseño, son las siguientes:

- El rango de temperatura, sobre la que el almacenamiento tiene que operar.
- Las pérdidas de calor desde el almacenamiento tienen que mantenerse al mínimo. Las pérdidas de calor son particularmente importantes para el almacenamiento a largo plazo.

- La tasa de carga y descarga.
- El costo de la unidad de almacenamiento: Esto incluye el costo inicial del medio de almacenamiento, los recipientes y el aislamiento, y el costo de operación.

7.5.2 Tipos de acumuladores

7.5.2.1 *Acumulador de acero vitrificado*

El acero vitrificado le da una protección de buena calidad ante la corrosión pues debido a que el contenido a almacenar contiene oxígeno este agente oxidante es el principal problema de los acumuladores. El proceso de este material es un porcelanizado en la superficie del acero, se vierte sobre el acero un esmalte que en su gran proporción es vidrio, y contiene partículas de magnesio y materiales anódicos para obtener una barrera resistente a la corrosión, estos acumuladores son fáciles de fabricar pero se debe tener cuidado en su transporte pues el esmalte es susceptible a los golpes.

7.5.2.2 *Acumuladores de acero revestidos de plástico*

Los materiales más utilizados para el revestimiento son duro-plásticos y termoplásticos aunque también se encuentra una gama media de caucho, son más económicos pero se cuenta con una dudosa estimación de tiempo de vida, el problema principal es que estos materiales no soportan más de 85 °C y no se deben exponer a gradientes térmicos mayores de 10 K, esto hace que los acumuladores revestidos de plásticos estén disponibles para un tipo específico de aplicaciones debido a su características.

7.5.2.3 Acumuladores de acero inoxidable

El acero inoxidable es un material sólido y no un revestimiento especial aplicado al acero común para darle características "inoxidables". Son relativamente inertes a la corrosión debido a su alto contenido de níquel y cromo. Algunas de las marcas comunes de acero inoxidable son V2A y V4A (nitrosa) en diferente grado, algunos de estos acumuladores se pueden corroer en la junta de la soldadura, debido a los altos contenidos de cloro en el agua que se utilice, si se tiene en cuenta los niveles aceptables de cloro en el agua (250 mg/L artículo 8 capítulo III, decreto 475 de 1998 república de Colombia) que para el acero V2A soporta 50 mg/L y V4A 125 mg/L. Entonces el acero es un material muy duradero para estas aplicaciones pero el más costoso, al igual el agua que se utiliza en este acumulador debe ser aislada debido a normas de higiene.

7.5.2.4 Acumuladores de inercia térmica

Son dispositivos muy bien aislados para cumplir su objetivo de mantener el calor y acumularlo, generalmente son de grandes capacidades de volumen, el agua almacenada prevalece y consta de un intercambiador por motivos de salubridad con respecto al agua almacenada, se pueden utilizar en circuitos combinados para grandes aplicaciones teniéndolos en serie o paralelo, sus propiedades anticorrosivas son tan exigentes como los acumuladores de agua sanitaria. Se pueden encontrar con ligeras cargas de sobrepresión para evitar la entrada de oxígeno o libres a la atmósfera o combinados.

7.5.3 Carga y descarga del acumulador

7.5.3.1 Carga

En el proceso de llenado del acumulador se debe tener en cuenta la estratificación de la temperatura dentro de este, una forma demasiado utilizada en las conexiones para la estratificación es que en la parte superior del tanque se mantenga el agua a la temperatura más alta que en la parte inferior, por lo cual se busca que el agua de reposición siempre entre por la parte inferior para hacer esto se debería contar con un acumulador largo y estrecho de forma que se consiga nuestro objetivo.

La estratificación es necesaria e importante para este proceso porque de esta forma la temperatura máxima se encontrara en la parte superior del tanque y esto favorece a el proceso de intercambio de calor sea lo más eficiente. Si nuestro acumulador no se le asegura una buena estratificación los procesos se entorpecerán debido a que no se podría disponer de una tempera máxima lo más eficiente posible y se dispondría de utilizar con más frecuencia la fuente auxiliar de calor.

Existe variaciones de temperatura en las tuberías ocasionadas por la radiación solar debido a que esta fluctúa durante el día, este caso en particular no permite que la estratificación sea buena en el tanque por lo cual se tienen dispositivos especiales para garantizar la carga antes y después de la salida del acumulador, en igual forma un problema se puede manifestar por no regular un caudal constante para el acumulador.

No tener en cuenta una buena estratificación puede tener los siguientes inconvenientes;

- El agua con mayor temperatura no se encontraría en la parte superior del acumulador y en consecuencia no se tendría disponible para la extracción.
- La zona donde se deberían encontrar las temperaturas medias aumenta
- El rendimiento del sistema se reduce considerablemente y aun cuando el captador este entregando la mayor energía admitida se tendrá que contar con la fuente auxiliar para lograr obtener el agua a la temperatura deseada

7.5.3.2 Descarga

Extraer el agua en acumuladores térmicos es una compleja en algunos y en otros es más sencilla, en los acumuladores convencionales se cuenta con un control de descarga el cual durante su funcionamiento obligue a la estratificación para que el funcionamiento sea óptimo, esta descarga generalmente se hace con una bomba en la parte superior del panel.

Los acumuladores de inercia este proceso es más complejo y se necesita de más elementos para que la descarga no altere la eficiencia del sistema, utilizando un intercambiador dentro del acumulador el cual separa el agua sanitaria. El acumulador logra llegar hasta temperaturas altas de 95 °C, se debe garantizar que la temperatura del agua en el intercambiador no sobrepase los 65 °C para evitar la calcificación. Para conseguir esto se necesita un conjunto de válvula de mezclado con control de temperatura y una bomba de caudal constante o variable. Estos otros componentes del sistema no serían necesarios en el caso de que el agua sanitaria (fría) estuviera las suficientemente descalcificadas.

7.6 SISTEMAS DE CALEFACCIÓN SOLAR Y DE REFRIGERACIÓN

Los componentes y subsistemas discutidos anteriormente se pueden combinar para crear una amplia variedad de sistemas de calefacción y de refrigeración solar. Estos sistemas se dividen en dos categorías principales: pasivos y activos.

7.6.1 Sistemas solares pasivos

Los sistemas pasivos incorporan la energía solar recogida, almacenamiento y distribución en el diseño arquitectónico del edificio y hacen un uso mínimo o nulo de los ventiladores para entregar la energía recogida a la estructura. La calefacción, refrigeración, iluminación y diseño solar pasivo deben tener en cuenta la envolvente del edificio y su orientación, la masa de almacenamiento térmico, y configuración de la ventana y el diseño ya sea de la torre o casa según el lugar donde se vaya a utilizar.

7.6.2 Sistemas solares activos

Los sistemas activos deben tener una disponibilidad continua de energía no renovable, por lo general en forma de electricidad, para operar las bombas y ventiladores. Un sistema completo incluye colectores solares, dispositivos de almacenamiento de energía y las bombas o ventiladores para la transferencia de energía para el almacenamiento o a la carga. La carga puede ser de refrigeración del espacio, calefacción o agua caliente. Aunque técnicamente es posible construir un sistema de calefacción y refrigeración solar para satisfacer el 100% de la carga, un sistema de este tipo sería poco viable económicamente y de gran tamaño. El tamaño del sistema solar, y por tanto su capacidad de cumplir con la carga, se determina mediante el análisis del costo del ciclo de vida que pese el costo de la energía que se ahorra con el sistema solar.

8. REFRIGERACIÓN SOLAR

La búsqueda de un ambiente seguro y cómodo ha sido siempre una de las principales preocupaciones de la raza humana. En tiempos antiguos, las personas usaban la experiencia adquirida a lo largo de muchos años para utilizar de la mejor manera posible los recursos disponibles para lograr condiciones de vida adecuadas. La calefacción central fue iniciada por los romanos, utilizando suelos dobles y pasar los humos de un incendio a través de la cavidad del piso. También en la época romana, las ventanas estaban cubiertas por primera vez con materiales tales como la mica o el vidrio. Así, la luz fue admitida en la casa sin dejar que el viento y la lluvia entraran. Los iraquíes, por otro lado, utilizaron el viento predominante para aprovechar el aire fresco de la noche y proporcionar un ambiente más fresco durante el día. Además, se empleó agua corriente para proporcionar algún enfriamiento por evaporación.

La refrigeración solar es más atractiva para los países del sur del hemisferio norte y los países del norte del hemisferio sur. Sistemas de refrigeración solar son particularmente aplicables a grandes aplicaciones (por ejemplo, edificios comerciales) que tienen altas cargas de refrigeración para grandes períodos del año. Estos sistemas en combinación con la calefacción solar pueden hacer un uso más eficiente de los colectores solares, lo que sería ocioso durante la temporada de calor. Generalmente, sin embargo, hay mucho menos experiencia con refrigeración solar que los sistemas de calefacción solar.

8.1 ESTADO ACTUAL DE LA REFRIGERACIÓN SOLAR

Aproximadamente el 80% del consumo energético proviene de combustibles fósiles. Esta es la razón por la que han surgido acciones legislativas e investigadoras, encaminadas a la utilización de sistemas que permitan un ahorro

de energía a través del uso de las energías renovables. Si se concientiza a la sociedad del uso de este tipo de tecnología se evitará la disminución de la calidad de vida, se minimizará los costes de producción energética y el impacto ambiental.

La demanda de aire acondicionado ha aumentado en los últimos años, debido a que las personas se encuentran más tiempo trabajando en condiciones de confort dentro de los edificios, llegando a tal punto de que la potencia utilizada para acondicionar llega a los 6 MW en Europa. Por lo tanto, se ha incrementado el uso de sistemas de aire acondicionado basado en la tecnología de compresión, lo que resulta en un crecimiento significativo de la demanda de electricidad en el verano llegando, en muchos casos, a los límites de capacidad de red eléctrica y a producir apagones.

En los últimos 30 años, y en particular en la última década, los esfuerzos en investigación se han centrado en el desarrollo de sistemas de aire acondicionado que respetan el medio ambiente, basados en la innovación tecnológicas que utilizan energía solar.

8.2 TIPOS DE REFRIGERACIÓN SOLAR

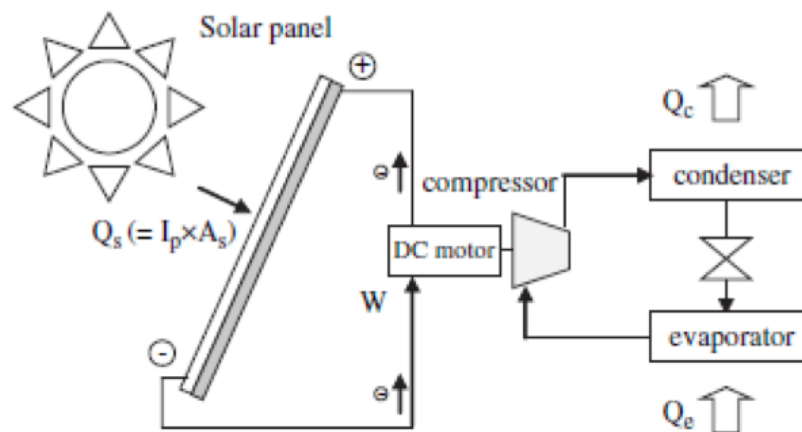
Actualmente existen cuatro tipos de sistemas de refrigeración solar:

- a) Refrigeración solar por compresión eléctrica.
- b) Refrigeración solar por compresión termo-mecánica.
- c) Refrigeración solar por adsorción.
- d) Refrigeración solar por absorción.

8.2.1 Refrigeración solar por compresión eléctrica

Un sistema de refrigeración por compresión eléctrica se compone de paneles fotovoltaicos y de un dispositivo de refrigeración eléctrica. En la figura 48 se muestra un esquema de refrigeración solar por compresión eléctrica.

Figura 48. Refrigeración por compresión eléctrica



Fuente: Kima, d.s, infante Ferreira, C.A. Solar refrigeration options. 2008.

El funcionamiento del sistema es sencillo, la radiación solar es transformada en energía eléctrica, la cual alimenta un motor de corriente continua que mueve el compresor del dispositivo de refrigeración.

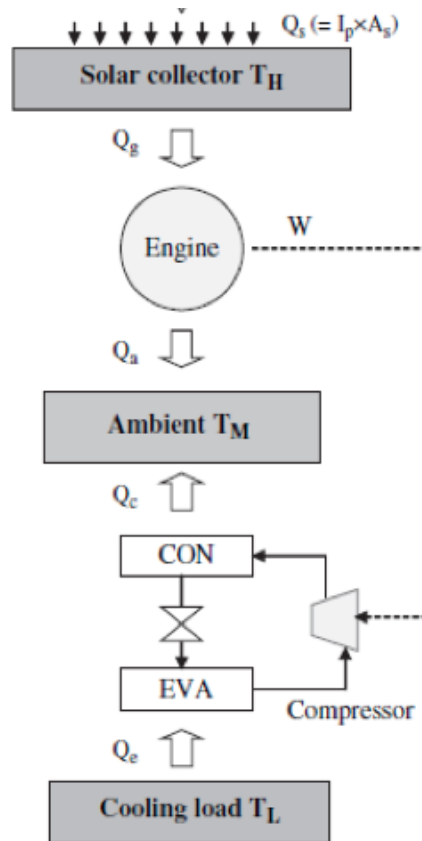
Este tipo de instalaciones se diseñan para trabajar de forma autónoma sin necesidad de otro tipo de fuente de energía. El COP de los dispositivos de refrigeración se encuentra entre 1,1 y 3,3 para temperaturas de evaporación comprendidas entre -5 y 15 °C y temperaturas de condensación entre 45 y 61 °C. Se emplean módulos fotovoltaicos monocristalinos y compresores de velocidad variable.

La refrigeración solar por compresión eléctrica es atípica debido a que existen ciertos problemas para una comercialización masiva. En primer lugar, los sistemas deben estar equipados con algún medio para hacer frente a la variación de la producción de la electricidad de los paneles fotovoltaicos, por ejemplo, el uso de baterías, de compresores de velocidad variable. El precio de los paneles debe reducirse aún más para competir con otras tecnologías de refrigeración solar.

8.2.2 Refrigeración solar por compresión termo-mecánica.

En un sistema de refrigeración solar por compresión termo-mecánica, la energía solar térmica permite el funcionamiento de una maquina térmica, de la cual se obtiene un trabajo mecánico que mueve el compresor del dispositivo de refrigeración. En la siguiente figura, se representa un esquema de un sistema de refrigeración termo-mecánica.

Figura 49. Sistema de refrigeración solar por compresión termo-mecánica



Fuente: Kima, d.s, infante Ferreira. solar refrigeration options. 2008.

Las máquinas térmicas empleadas son la que utilizan un ciclo Rankine o Stirling. En cuanto a los colectores solares los más empleados son los tubos evacuados.

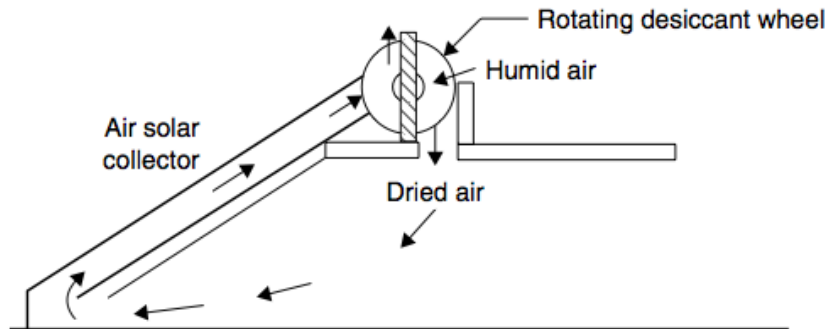
Para que los sistemas de refrigeración solar termo-mecánica sean competitivos, la combinación entre captador solar y la maquina térmica debe ser comparable en precio con los paneles fotovoltaicos.

8.2.3 Refrigeración solar por adsorción

Sólidos porosos, llamados adsorbentes, pueden adsorber físicamente y reversible grandes volúmenes de vapor, llamado el adsorbato. Aunque este fenómeno, llamado adsorción solar, se reconoció en el siglo 19, su aplicación práctica en el campo de la refrigeración es relativamente reciente. La concentración de los vapores de adsorbato en un adsorbente sólido es una función de la temperatura del par, es decir, la mezcla de adsorbente y adsorbato y la presión de vapor de este último. La dependencia de la concentración de adsorbato de la temperatura, bajo condiciones de presión constante, hace posible para adsorber o desorber el adsorbato variando la temperatura de la mezcla. Esto forma la base de la aplicación de este fenómeno en el ciclo de refrigeración de sorción (adsorción o absorción) de vapor intermitente alimentado por energía solar.

La selección del agente de adsorción depende del tamaño de la carga de humedad y aplicación. Sistemas desecantes sólidos rotativos son las más comunes para la eliminación continua de la humedad del aire. La rueda desecante gira a través de dos corrientes de aire separadas. En la primera corriente, el aire de proceso se deshumidifica por adsorción, que no cambia las características físicas del desecante; en la segunda corriente de la reactivación o regeneración de aire, que se calienta primero, se seca el desecante. La siguiente figura es un esquema de un posible sistema de adsorción con energía solar.

Figura 50. Sistema de refrigeración solar por adsorción.



Fuente: KALOGIROU Soteris A. Solar Energy Engineering; Processes and Systems. Academic Pr Inc. 760p. 2009.

Cuando el agente de secado es un líquido, tal como trietilenglicol, el agente se pulveriza en un absorbedor, donde recoge la humedad del aire del edificio. A continuación, se bombea a través de un intercambiador de calor sensible a una columna de separación, donde se pulveriza en una corriente de aire calentada por el sol. El aire a alta temperatura elimina el agua del glicol, que después vuelve al intercambiador de calor y el absorbedor. Los intercambiadores de calor se proporcionan para recuperar el calor sensible, maximizar la temperatura en el separador, y minimizar la temperatura en el absorbedor. Este tipo de ciclo es comercializado y usado en hospitales y grandes instalaciones.

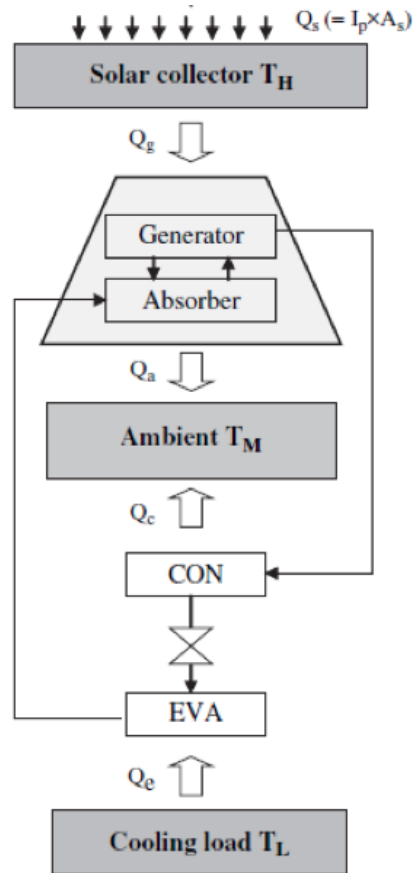
El rendimiento energético de estos sistemas depende de la ración del sistema de configuración, geometrías de deshumidificadores, propiedades de agente adsorbente, y similares, pero en general el COP de esta tecnología es de alrededor de 1,0. Cabe señalar, sin embargo, que en climas cálidos y secos puede no ser necesaria la parte desecante del sistema.

8.2.4 Refrigeración solar por absorción

La absorción es un proceso donde las moléculas de un refrigerante en estado vapor se difunden en el interior de un líquido o un sólido produciéndose cambios físicos y/o químicos mientras ocurre este fenómeno.

En la figura 51 se muestra un esquema de una máquina de absorción. El componente donde se da la absorción se denomina absorbedor y donde se da la desorción es en el generador. El colector recibe la radiación solar el cual la transforma en calor para que el generador separe el refrigerante del líquido sorbente, el vapor del refrigerante se condensa, atraviesa una válvula de expansión y se evapora enfriando el ambiente en el cual se encuentra introducido el evaporador, obteniéndose el efecto útil del sistema.

Figura 51. Refrigeración por absorción



Fuente: Kima, d.s, infante Ferreira, C.A. Solar refrigeration options. 2008

Estos equipos utilizan como base el principio de higroscópico de algunas sales como el bromuro de litio para generar un vacío en una cavidad que ocasiona una disminución brusca de la temperatura del agua. La fuente energética de estos ciclos es térmica utilizada para separar o evaporar una solución fuerte que posteriormente absorberá una solución débil o refrigerante.

El calor utilizado en estos chillers usualmente proviene de vapor, agua caliente o gases de combustión. Comparados con los chillers eléctricos los chillers de absorción tienen muy bajos consumos eléctricos (alrededor de 15 kW que involucran la bomba de solución y la bomba de refrigerante). Sin embargo, los

requerimientos de consumo de calor son altos, y los COPs típicos de operación son 0,5 (simple etapa) y 1,0 (doble etapa).

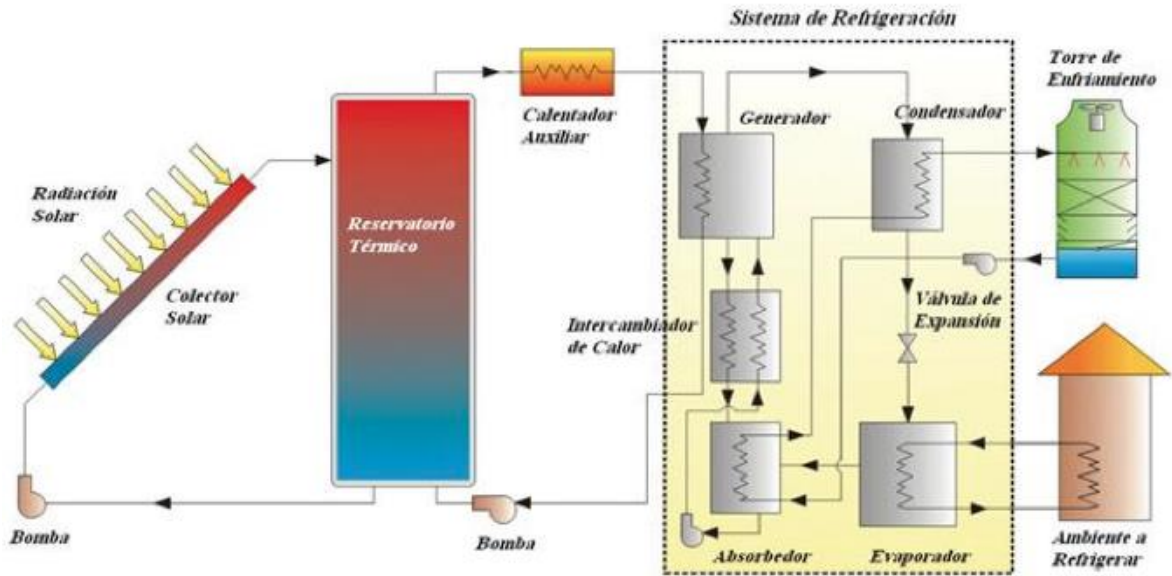
Para las mismas capacidades de refrigeración (TR), se requiere muchas más torres de enfriamiento en los chillers de absorción que en los chillers eléctricos. Sin embargo, los chillers de absorción, desde el punto de vista de la eficiencia energética son más económicos, si se utiliza calor de desecho de un proceso térmico. Los chillers solo pueden ser enfriados por agua. Los chillers enfriados por agua incorporan el uso de torres de enfriamiento los cuales pueden resultar termodinámicamente más eficientes que los chillers enfriados por aire. Esto se debe a que el calor eliminado es mayor cuando el límite inferior de temperatura es la temperatura de bulbo húmedo que cuando este límite es la temperatura de bulbo seco del aire.

En términos generales se usan dos ciclos prácticos de absorción basados en mezclas distintas: el ciclo agua-amoniaco y el ciclo bromuro de litio-agua.

8.3 MÁQUINA DE ABSORCIÓN

Los principios de la máquina de absorción podrían remontarse a 1774 con el inglés Joseph Priestly que aisló los gases de amoníaco, oxígeno y dióxido de carbono, este hecho puede considerarse el comienzo del desarrollo científico en el campo de la refrigeración por absorción, posteriormente Faraday utilizó un tubo en forma de U, donde en un extremo se aplicaba calor para aumentar la presión, mientras que en el otro se enfriaba. Demostró que se producía frío al evaporar amoníaco en un extremo del tubo y absorberse en cloruro de plata en el otro extremo. Pero fue Edmond Carré el que inventó la primera máquina de absorción en 1850, utilizando agua/ácido sulfúrico como par absorbente/refrigerante.

Figura 52. Sistema de refrigeración por absorción asistido por energía solar y gas natural



Fuente: <http://www.forofrio.com/index.php/noticias2/60-optimizacion-de-un-sistema-de-refrigeracion-por-absorcion>

La máquina de absorción se define como una máquina frigorífica que emplea como ciclo de trabajo el ciclo de absorción, estas se integran dentro del mismo grupo de producción de frío que las convencionales de compresión ya que el efecto de refrigeración lo consiguen por evaporación de un líquido a baja presión, la diferencia de estas tecnologías de producción de frío es utilización de lo que llamaremos compresor térmico por un compresor mecánico, necesario para la recuperación de los vapores formados durante el paso de líquido a vapor.

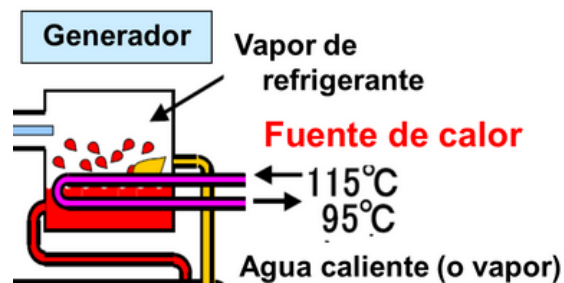
8.3.1 Componentes

Los elementos de un sistema de absorción son: generador, absorbedor, condensador y evaporador.

8.3.1.1 *Generador*

A la salida del acumulador térmico se debe aprovechar el calor, la solución se transporta hacia la parte superior del generador. La solución rodea un conjunto de tubos los cuales transportan vapor. La solución hierve, enviando el vapor de agua (refrigerante) hacia el condensador y separando bromuro de litio concentrado. Este último, baja hacia el intercambiador de calor, donde es enfriado por la solución diluida que está siendo bombeada hacia el generador.

Figura 53. Generador maquina absorción

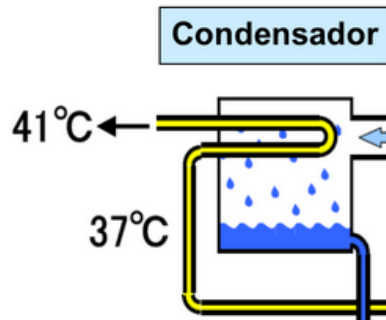


Fuente: http://www.academia.edu/7138679/Identificaci%C3%B3n_de_barreras_tecnol%C3%B3gicas_para_operaci%C3%B3n_de_sistemas_de_aire_acondicionado_por_absorci%C3%B3n_que_utilicen_LiBr-H2O_para_instalaciones_menores_de_10_kW

8.3.1.2 *Condensador*

El evaporador refrigerante (agua), fluye a través del condensador, condensándose. El calor es removido por la circulación de agua de enfriamiento (agua de torre), que fluye dentro de los tubos del condensador. Como el refrigerante se condensa, se colecta en el inferior del condensador.

Figura 54. Condensador maquina absorción



Fuente:http://www.academia.edu/7138679/Identificaci%C3%B3n_de_barreras_tecnol%C3%B3gicas_para_operaci%C3%B3n_de_sistemas_de_aire_acondicionado_por_absorci%C3%B3n_que_utilicen_LiBr-H2O_para_instalaciones_menores_de_10_kW.

8.3.1.3 Evaporador

El refrigerante líquido baja del condensador hacia la parte superior del evaporador y es rociado sobre de los tubos del evaporador. Debido al extremo vacío existente, el refrigerador líquido se hierve a 7 °C, creando el efecto refrigerante.

Figura 55. Evaporador maquina absorción.

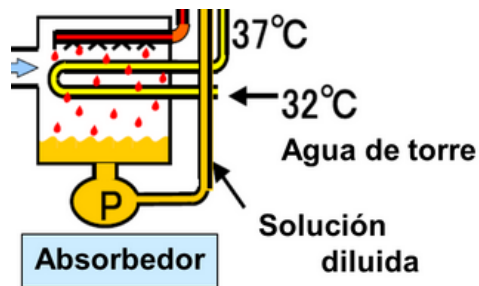


Fuente:http://www.academia.edu/7138679/Identificaci%C3%B3n_de_barreras_tecnol%C3%B3gicas_para_operaci%C3%B3n_de_sistemas_de_aire_acondicionado_por_absorci%C3%B3n_que_utilicen_LiBr-H2O_para_instalaciones_menores_de_10_kW.

8.3.1.4 Absorbedor

Como el vapor refrigerante fluye del evaporador hacia el absorbedor, la solución concentrada de bromuro de litio del generador es rociada sobre los tubos ubicados en el absorbedor. La solución concentrada de bromuro de litio impulsa el vapor refrigerante hacia la solución creando un vacío extremo en el evaporador. La absorción de vapor refrigerante en la solución del bromuro de litio también genera calor, el cual es removido por el agua de enfriamiento. La nueva solución diluida de bromuro de litio se contiene en el inferior del absorbedor, donde fluye hacia la bomba de solución. El ciclo de refrigeración se completa y el proceso comienza nuevamente.

Figura 56. Absorbedor máquina de absorción



Fuente: http://www.academia.edu/7138679/Identificaci%C3%B3n_de_barreras_tecnol%C3%B3gicas_para_operaci%C3%B3n_de_sistemas_de_aire_acondicionado_por_absorci%C3%B3n_que_utilicen_LiBr-H2O_para_instalaciones_menores_de_10_kW.

8.3.2 Clasificación de las máquinas de absorción

Se desarrolla en este apartado una clasificación de los sistemas de absorción siguiendo diferentes criterios: número de efectos y etapas, fuente de energía, sistema de condensación, fluido de trabajo y aplicación.

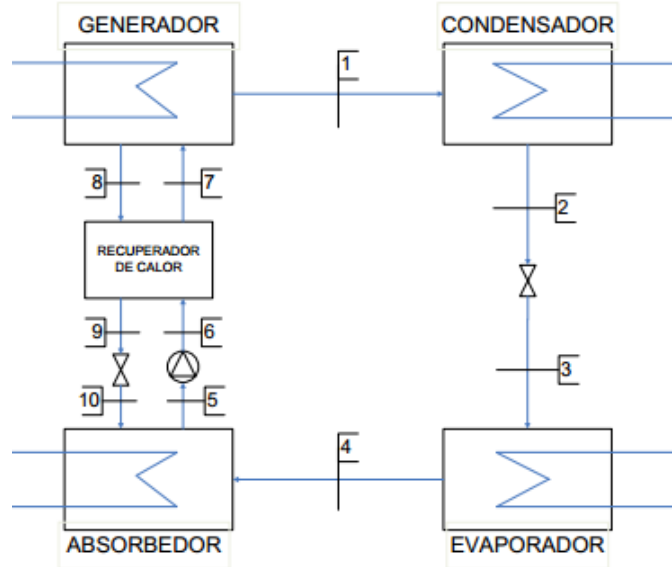
8.3.2.1 *Por efecto*

Hace referencia al generador de la máquina; dispositivo donde se produce el vapor refrigerante mediante ebullición. Ejemplo: simple efecto = 1 generador; doble efecto = 2 generadores; etc.

- **Simple efecto:** El ciclo de absorción de simple efecto tiene una gran importancia en el campo de la refrigeración solar ya que es el más adecuado para unirse a un campo de captadores planos o de vacío como se vio en el capítulo anterior. La concepción habitual de una máquina de absorción es la de aquella que desarrolla un ciclo frigorífico aprovechando la capacidad que tienen algunas sustancias, tales como el agua y algunas sales como el Bromuro de Litio, para absorber en fase líquida vapores de otras sustancias tales como el amoníaco y el agua, respectivamente.

En general para el sector residencial el ciclo de simple efecto domina sobre los demás, debido a que el proceso de fabricación son más fáciles y baratos en comparación con los de doble efecto. Los únicos inconvenientes al emplear este tipo de máquina son: la utilización de una torre de refrigeración, la relación de inversión inicial (torre de refrigeración, bomba, tuberías etc.) y el coste de operación (consumo de agua y electricidad, mantenimiento etc.).

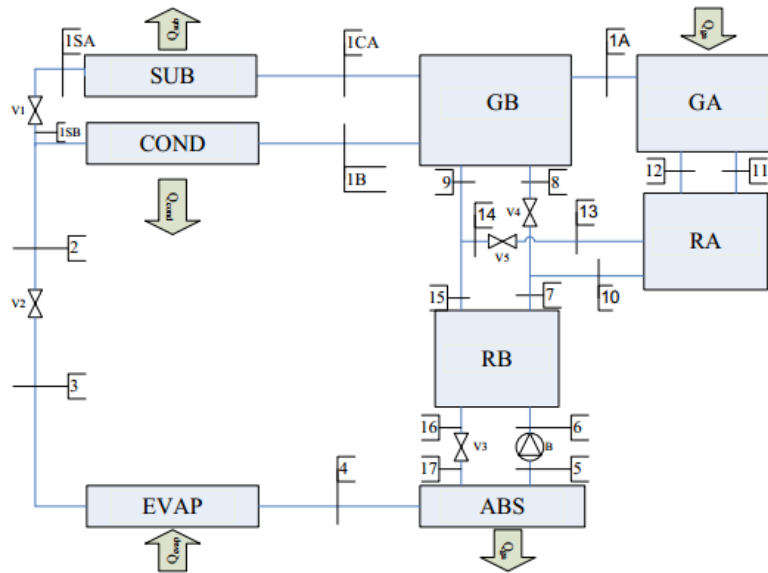
Figura 57. Esquema máquina de absorción de simple efecto.



Fuente: <http://www.forofrio.com/index.php/foro>

- Doble efecto:** Una máquina de absorción de doble efecto surge de la adición de equipos al ciclo de simple efecto, para poder mejorar su rendimiento, se compone de dos generadores de vapor (el de alta y el de baja temperatura), dos recuperadores de calor de la disolución, dos condensadores, dos válvulas de expansión, el evaporador y el absorbedor. Esto es posible en las máquinas con el par BrLi-H₂O, ya que trabajan con niveles de presión muy bajos, mientras que no es posible en el caso de trabajar con la mezcla NH₃-H₂O, ya que introducir una nueva etapa incrementaría la temperatura de trabajo, y el incremento de presión que esto originaría una estructura muy robusta lo que lo haría inviable.

Figura 58. Esquema máquina de absorción de doble efecto



Fuente: <http://www.forofrio.com/index.php/foro>

Los ciclos de doble efecto, como poseen dos generadores, realizan dos separaciones de vapor a partir de un aporte inicial de calor externo, de manera que se consigue un aumento notable en el COP de la máquina respecto a las de simple efecto. Pero ello implica un nivel térmico superior a las de simple efecto en el generador de alta temperatura, con el fin de que el vapor producido en este generador sea a su vez capaz de producir vapor refrigerante en el generador de baja temperatura.

El rango de temperaturas con el que trabaja el generador de alta temperatura en el ciclo de doble efecto se encuentra entre 130 y 180° C. Su valor dependerá de la temperatura ambiente, de la carga térmica a cubrir y del tipo de condensación con el que opere.

8.3.2.2 *Etapas*

Toda clasificación sobre un grupo determinado de elementos se efectúa en función de un criterio definido. Sobre las máquinas de absorción, no existe una clasificación unificada, ni siquiera unos criterios que coincidan de forma general. Entre los fabricantes de máquinas de absorción es corriente utilizar indistintamente conceptos como “efecto” y “etapa”, lo que Carrier y Yazaki denominan efecto, Trane y York lo denominan etapa.

Etapas: hace referencia al absorbedor de la máquina; elemento donde se produce la absorción del vapor refrigerante. Ejemplo: simple etapa = 1 absorbedor; doble etapa = 2 absorbedores; etc.

8.3.2.3 *Fuente de calor empleada*

Para el funcionamiento de la máquina tenemos dos tipos:

- Tipo directo o “llama directa”: la potencia calorífica proviene de la combustión de fuentes de energía fósiles (líquidas o gaseosas).
- Tipo indirecto: la potencia calorífica proviene de la transferencia de calor entre dos fluidos a través de un intercambiador.

8.3.2.4 *Sistema de condensación*

El modo de condensación depende del fluido utilizado para la transferencia del calor de absorción y de condensación al exterior. Las máquinas se dividen en condensadas por aire y condensadas por agua.

- Condensación por agua: En los sistemas condensados por agua, se utiliza un circuito abierto de agua de enfriamiento y el calor absorbido por este fluido a su paso por el condensador y absorbedor es transferido al ambiente exterior en una torre de enfriamiento. En la torre, el agua de enfriamiento es pulverizada y transfiere calor sensible y fundamentalmente latente al aire atmosférico. La temperatura del agua disminuye hasta una temperatura próxima a la temperatura de bulbo húmedo (tbh). La diferencia entre la temperatura de salida del agua de la torre y la tbh es lo que se define como acercamiento de la torre. Este acercamiento es característico de cada torre y depende de la humedad del lugar en el que esté instalada.

La condensación por agua es la mayoritariamente empleada por las máquinas de absorción hasta la fecha, por sus buenas prestaciones. Si bien en los últimos años, debido a la estricta reglamentación sobre las torres de refrigeración, cada vez están apareciendo más trabajos de investigación sobre máquinas condensadas por aire.

- Condensación por aire: Con los sistemas condensados por aire, se eliminan los problemas derivados de la torre de refrigeración. Sin embargo, se presentan otras preocupaciones que han de ser tenidas en consideración, en este tipo de sistemas el aire es el fluido que extrae el calor en el condensador y en el absorbedor. El uso del aire como fluido refrigerador conlleva un aumento en las temperaturas de condensación, lo cual repercute a su vez en una mayor temperatura de ebullición en los generadores. Esto se debe a que los sistemas condensados por aire operan a la temperatura de bulbo seco mientras que los condensados por agua utilizan torres de refrigeración para el intercambio de calor, gobernadas por la temperatura de bulbo húmedo.

8.3.2.5 *Fluido de trabajo*

Los dos pares refrigerante/absorbente más empleados en las máquinas de absorción son NH₃ /H₂O y H₂O/BrLi: el primero de ellos, en aplicaciones preferentemente de refrigeración, y el segundo, en climatización y bombas de calor por lo general.

La eficiencia de la maquina ideal de absorción solo es función de las temperaturas absolutas de las fuentes térmicas de intercambio, independientemente de las propiedades de las sustancias absorbente y refrigerante que circulan por los órganos de la planta. En la práctica esto no sucede así, existiendo una clara dependencia entre las prestaciones logradas y la mezcla frigorífera escogida.

El refrigerante:

Propiedades que se requiere para el refrigerante:

- Su presión de vapor deberá ser lo suficientemente baja, en alta temperatura, para impedir un grosor elevado en los equipos de trabajo en esta zona. Por el contrario a bajas temperaturas, deberá poseer una presión relativamente alta para favorecer la detección de fugas, en otras palabras, bajo punto normal de ebullición, lo que está asociado con bajos pesos moleculares según la regla de Trouton.
- Su temperatura de congelación será significativamente menor que la mínima del ciclo.
- La conductividad térmica lo mayor posible para favorecer los procesos de transferencia.
- Térmicamente estables.

El absorbente:

Propiedades que se requieren del absorbente:

- La presión de vapor deberá ser lo más baja posible a la temperatura de generador, con el fin de evitar la rectificación, lo que va a requerir en estas sustancias un alto punto normal de ebullición.
- Estables químicamente y no corrosivos.
- En funcionamiento continuo, debe encontrarse en fase líquida para las condiciones de operación.
- Mínima viscosidad, para reducir la energía de circulación y asegurar altas tasas de absorción y transferencia de calor.
- Bajo punto de congelación.

Para la solución Refrigerante/Absorbente:

- Alta desviación negativa respecto a la ley de Raoult, cuanto mayor sea esta menor será la tasa de caudal en el circuito de la solución por unidad de caudal de refrigerante.
- Gran solubilidad del refrigerante en la solución para las condiciones de trabajo del absorbente para la separación en el generador.
- Proceso rápido de absorción de vapores y de aproximación de la solución al estado de equilibrio.
- No inflamable, no tóxica y no corrosiva.

De acuerdo de estas condiciones, ninguna de las mezclas cumple con la totalidad de los requisitos enumerados, a pesar de la gran cantidad de pruebas que se han llevado a cabo con distintos componentes. Existen numerosas investigaciones para el desarrollo de esta tecnología con nuevos fluidos,

como los trabajos presentados por Lucas et al. (2005), Koo et al. (1998), Wang et al. (2009), Jian et al. (2010) y Ben Ezzine et al. (2010); entre algunos de los trabajos.

Existen fundamentalmente dos tecnologías de absorción:

- La mezcla amoniaco (refrigerante) – agua (absorbente).
- La mezcla agua (refrigerante) – bromuro de litio (absorbente).

a) La mezcla agua/bromuro de litio (H₂O / BrLi).

Es un par de absorción que ha sido ampliamente utilizado desde 1950. El agua es el líquido con el mayor calor latente de evaporación y condensación que existe en la naturaleza. Esta característica es especialmente relevante en instalaciones de climatización de gran tamaño, ya que el caudal de refrigerante que circula por el sistema es menor que cuando se utiliza cualquier otro refrigerante. Tiene el inconveniente de que la temperatura de evaporación debe ser superior a 0° C, lo cual le impide trabajar en refrigeración. Por esta razón las máquinas de absorción de H₂O/BrLi trabajan con temperaturas de evaporación superiores a 0° C, entre 4 y 10° C. Estas máquinas se suelen utilizar para enfriar agua destinada a sistemas de aire acondicionado en grandes edificios dando valores del COP entre 0,7 y 1,33. Las potencias comerciales varían entre 4,5 kW y 5000 kW.

La presión de vapor absoluta a estas temperaturas está comprendida entre 400 y 900 Pa, el volumen específico en el evaporador es muy grande, del orden del 200 m³/kg. Por el contrario el condensador trabaja con presiones absolutas entre 4.000 y 10.000 Pa, lo cual implica que el volumen específico del refrigerante es unas cinco veces inferior al del evaporador.

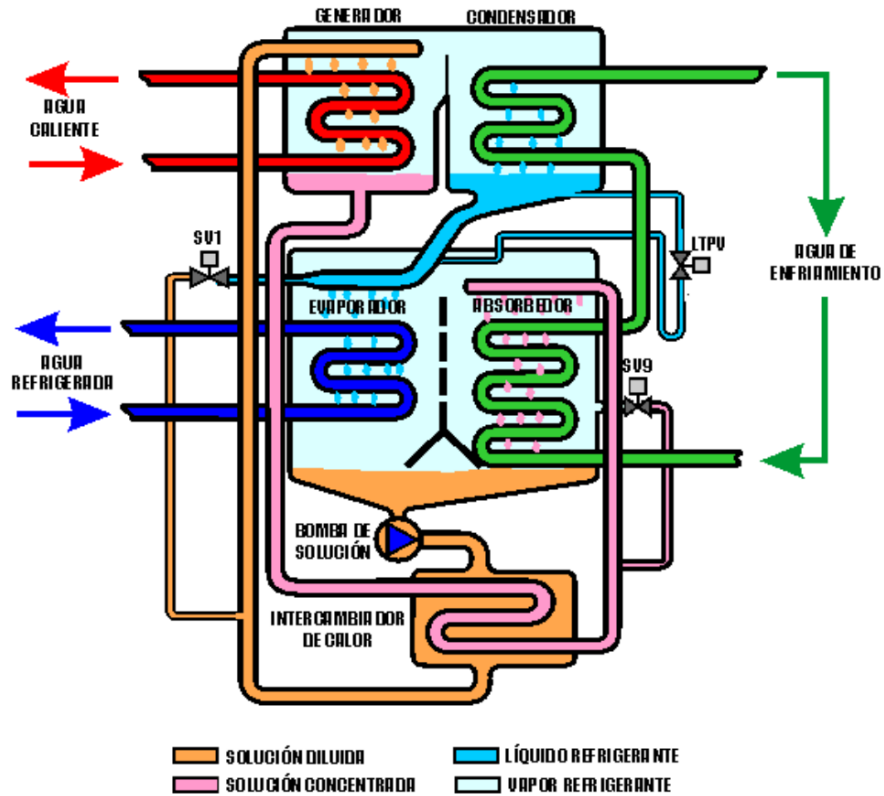
El absorbente en la disolución es el bromuro de litio, una sal de color blanco con gran afinidad por el agua. El punto de fusión del BrLi se encuentra en 535°C y el punto de ebullición del orden de 2200°C , siendo su presión de vapor extremadamente baja. Es miscible con el agua hasta concentraciones elevadas (75%) y se diluye con gran facilidad.

En los ciclos $\text{H}_2\text{O}/\text{BrLi}$ el refrigerante que se utiliza R-718 (agua destilada), y el absorbente es una solución de Bromuro de Litio.

Ventajas:

- La utilización de agua como refrigerante es favorable debido a su elevado calor latente de vaporización, superior al de cualquier otro fluido frigorígeno.
- Las sustancias no son tóxicas ni inflamables.
- No se hace necesaria una rectificación de los vapores a la salida del generador, ya que durante la separación se genera una corriente prácticamente pura de vapor de agua.
- Fuerte desviación negativa de la solución respecto al comportamiento según la ley de Raoult.
- Tiene un coeficiente de operación mayor que la mezcla amoníaco-agua.

Figura 59. Máquina de absorción H₂O-BrLi



Fuente: FERNANDEZ, Pino Fernando. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SOLAR POR ABSORCIÓN. Proyecto de fin de carrera, Universidad de Sevilla.

Inconvenientes:

- Su utilización se restringe al campo de las temperaturas positivas.
- Altos volúmenes específicos del vapor de agua a bajas temperaturas, lo que no constituye un gran inconveniente en sistemas tritéricos y si en los sistemas ditéricos de compresión.
- Con agua como refrigerante, excepto en alta temperatura se corresponden presiones inferiores a la atmosférica, lo que conduce a la necesidad de estanqueidad en los elementos de la instalación para asegurar un correcto funcionamiento.

- Existe el peligro de cristalización de la solución para ciertas condiciones de concentración y temperatura, formándose una especie de lodo, que hace imposible el bombeo y por consecuencia el mal funcionamiento del equipo.
- Estas disoluciones son muy corrosivas en presencia de oxígeno. Esta corrosión se atenúa durante las condiciones normales de funcionamiento del ciclo: 600-900 Pa en el evaporador, y 4-10 kPa en el condensador. Por ello es necesario añadir a la disolución algún inhibidor de corrosión.

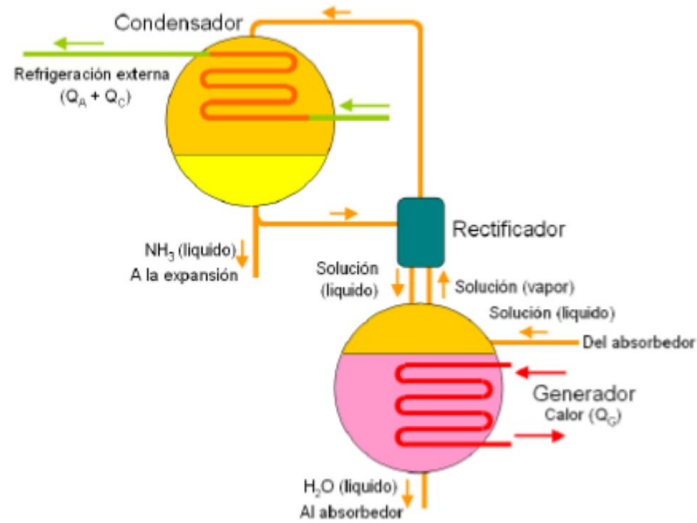
b) La mezcla amoníaco/agua (NH₃/H₂O).

El par ha sido utilizado en máquinas de absorción desde finales del siglo XIX. El amoníaco actúa como refrigerante lo que permite bajar a temperaturas muchos mayores de refrigeración el punto de congelamiento del amoníaco es -77,7° C. Requiere mayores presiones de trabajo en la parte de alta y en la relación de volatilidades es baja lo que hace necesario el proceso de rectificación.

El amoníaco está clasificado en el grupo II en cuanto a seguridad, por razón de su toxicidad, la entalpía específica de evaporación del amoníaco es mucho menor que la del vapor de agua para la temperatura de evaporación, por lo que se necesita mayor caudal para una misma potencia. La posibilidad de utilizar directamente quemadores de gas para proveer aire refrigerado para sistemas de aire acondicionado es uno de los factores que más mercado abre a estos productos.

Se encuentran máquinas en el mercado con potencias entre 10 y 90 kW pero con COP de 0,7 y dependiendo de la modificación que pueda tener el ciclo de NH₃/H₂O puede incrementar su eficiencia como por ejemplo el ciclo GAX.

Figura 60. Máquina de absorción H₂O-NH₃



Fuente: FERNANDEZ, Pino Fernando. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SOLAR POR ABSORCIÓN. Proyecto de fin de carrera, Universidad de Sevilla

La principal diferencia en el caso del bromuro de litio y agua, la constituye el hecho de que la corriente de vapores formada en generador, para la mezcla amoníaco/agua, no está constituido por refrigerante puro (amoníaco), sino que el agua forma parte de su composición en pequeño porcentaje. Esto es debido a que la presión de vapor de agua no es despreciable frente a la del amoníaco. Para reducir el porcentaje de agua se utiliza un dispositivo denominado “rectificador”, cuyo esquema se presenta en la figura 60.

La idea básica de un rectificador consiste en provocar un enfriamiento de la corriente de vapores a la salida del generador, en el rectificador el contenido de agua es separado por condensación al contacto del serpentín por cuyo interior circula solución a una temperatura inferior al punto de rocío del vapor de agua en estas condiciones.

La inclusión de la columna rectificadora, como se dijo, no asegura que la corriente circulante por el evaporador sea amoníaco puro, por lo que el agua

presente se va acumulando en evaporador, en el que se vaporiza amoníaco, con la necesidad de un periodo de retorno de esta agua hacia la mezcla.

Tiene mucha importancia para evitar que lleguen gotas de agua al condensador y al llegar a la válvula de expansión se congelen e inutilicen dicha válvula.

Ventajas:

- La posibilidad de utilizar directamente quemadores de gas.
- Aplicaciones de temperaturas muy bajas, hasta -60°C .
- Es posible la disipación por aire.
- No hay problemas de disipación.

Inconvenientes:

- La toxicidad del amoníaco ha sido un factor que ha limitado bastante su uso a lugares bien ventilados.
- En algunos casos requiere de un rectificador para obtener una mejor separación de fluidos, ya que en el generador no se alcanzan a separar y esto aumenta el costo de la instalación y partes del equipo.
- No existen máquinas de $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ de doble efecto ya que las presiones que originarían en el generador serían excesivamente elevadas.

c) Comparación de la mezcla Amoníaco–Agua y Agua–Bromuro de Litio.

Ventajas del par $\text{H}_2\text{O}/\text{BrLi}$ frente al $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$:

- EL NH_3 por su carácter tóxico necesita utilizar sistemas indirectos.

- El ciclo de H₂O/BrLi tiene un coeficiente de operación mayor que el de NH₃/H₂O.
- No necesita torre de destilación (el BrLi no se evapora en las condiciones de trabajo por su elevado punto de fusión y ebullición).
- Además no existen máquinas de NH₃/H₂O de doble efecto ya que las presiones que se originarían en el generador serían excesivamente elevadas.
- Se pueden disponer de datos de presión, temperatura y concentración.
- En la solución agua-bromuro de litio, el absorbente no es volátil, de tal manera que no se tiene mezcla del absorbente en el refrigerante al salir del generador, y no es necesario un rectificador.

Ventajas del par NH₃/H₂O frente al H₂O/BrLi:

- El agua no es necesaria (con la torre de enfriamiento es la tecnología más común con el inconveniente del riesgo de legionella).
- Pueden utilizarse para aplicaciones por debajo de los 0 °C.
- El tamaño físico superior, debido a los grandes volúmenes de vapor de agua del refrigerante.
- El otro problema de la mezcla bromuro de litio agua, es que la mezcla no es totalmente soluble en todas proporciones como sucede con la mezcla amoníaco-agua, sino que arriba de valores cercanos a los 70% en peso la mezcla se cristaliza a la temperatura ambiente, lo cual hace que en los sistemas comerciales se tengan que tomar precauciones para evitar este problema.
- Deben agregarse inhibidores contra la corrosión ya que el bromuro de litio corroe el acero inoxidable.

d) Otras combinaciones refrigerante/absorbedor.

Se han probado diversas combinaciones, en principio adecuadas para la refrigeración por absorción con ciclos simples y con menos problemas de cristalización que el par agua bromuro de litio, pero no son utilizados normalmente por diversas razones entre las que están la limitada experiencia en cuanto a estabilidad, corrosión y la toxicidad de algunos refrigerantes, además del pequeño número de máquinas de absorción, comparado con las existentes de compresión mecánica; se estudian la adición de inhibidores de corrosión y retardadores de cristalización.

Algunos pares son:

- Amoniaco / Sales.
- Metilamina / Sales,
- Alcoholes / Sales.
- Amoniaco / disolventes orgánicos.
- Anhídrido sulfuroso / disolventes orgánicos.
- Hidrocarburos halogenados / disolventes orgánicos.

De las combinaciones anteriores cabe destacar la firma sueca Climatewell que lanzó al mercado una máquina de absorción modular condensada por agua de LiCl-H₂O de 10 kW de potencia, donde el agua es el refrigerante y LiCl es la sustancia absorbente.

8.3.3 Problemas de funcionamiento.

8.3.3.1 *Cristalización y refrigeración del absorbente.*

En las soluciones salinas como la de H₂O/BrLi el componente salino precipita cuando la fracción de masa de sal excede el límite de solubilidad. Este límite

depende fuertemente de la temperatura y débilmente de la presión. Es peligroso en el arranque de la maquina donde la temperatura es muy baja.

La nucleación de cristales requiere núcleos para iniciarse. En el caso de no existir los núcleos adecuados se puede llegar a dar una sobresaturación del agua y el contenido de sal en el líquido superará el límite de solubilidad. En el caso del bromuro de litio el precipitado observado es una fase solida hidratada. Las zonas bifásicas adyacentes a la región del líquido consisten en solido hidratado mezclado con solución liquida. Esta sustancia es el sólido húmedo que se forma habitualmente en las tuberías de la máquina de absorción llegando, si no se toman las debidas precauciones, a obstruir las conducciones y detener el funcionamiento de la máquina. Si la obturación ocurre tendera a producirse en la salida del intercambiador de la solución, espacio donde las temperaturas son relativamente bajas y de esta manera se tiende a evitar la frontera de fases. Si esto ocurre, la temperatura de la solución concentrada se necesita aumentar de manera significativa por encima de su punto de saturación con el fin de disolver los cristales dentro de un plazo razonable. La recuperación de la operación de absorción después de la cristalización es un proceso que consume mucha mano de obra y tiempo.

Las causas principales que dan como resultado la cristalización en la solución pobre:

- Bajas temperaturas del medio externo que se enfría el absorbedor, en cuyo caso la solución rica en refrigerante abandona este equipo con baja temperatura y es capaz de enfriar fuertemente a la solución pobre a su paso por el intercambiador de calor, pudiendo desencadenar con ello la cristalización.

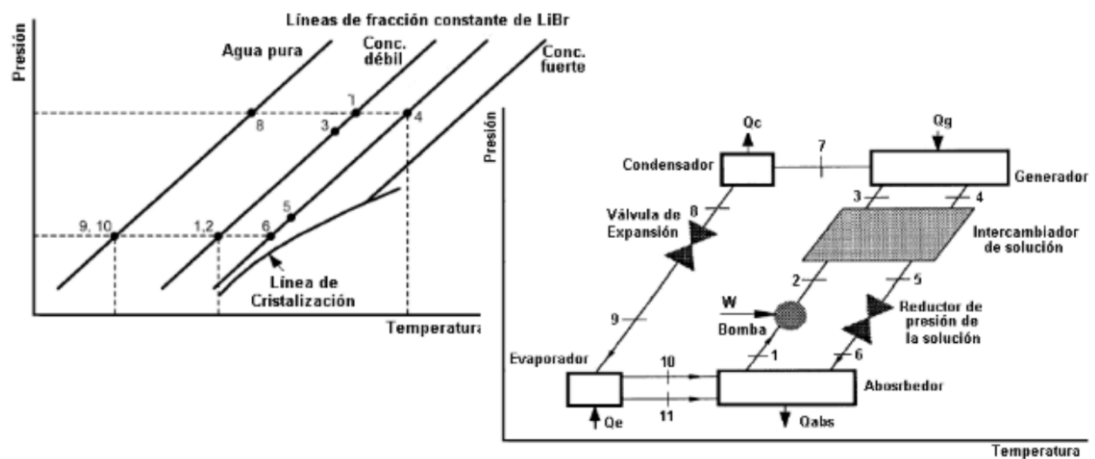
- Altas temperaturas o fuertes suministros caloríficos en generador, en ambos casos se produce una solución muy concentrada en bromuro que a su paso por el intercambiador corre peligro de cristalizar. Este proceso puede deberse a la entrada de aire, recordemos que se trabaja en vacío, por lo que las presiones aumentan ante la presencia de este incondensable, dando como resultado un descenso de la potencia frigorífica y un incremento de la potencia suministrada por generador para aumentar aquella.
- Presencia de gases no condensables, tales como el aire y el hidrógeno; dado que el sistema de absorción opera al vacío, el aire del exterior puede filtrarse en el sistema. La corrosión de los metales en el sistema de absorción va a generar gas no condensable (como el hidrógeno), en particular en la operación de alta temperatura, como los ciclos de doble efecto. La presencia de gases no condensables reduce la capacidad del sistema y de la COP, lo que provoca la concentración de la solución absorbente concentrada. Como la solución se vuelve más concentrada que tiende hacia la saturación e incluso puede llegar a ser sobresaturada puede activar la cristalización. El inicio de los gases no condensables se puede controlar mediante el diseño de la máquina con una rutina en los sistemas de depuración.

Los problemas de cristalización son uno de los mayores obstáculos para producir maquinas refrigeradas por aire. Los absorbedores refrigerados por aire funcionan con temperaturas mayores que los refrigerados por agua debido a las características de transferencia energética del primero. Los fabricantes incluyen controles de forma que cuando se dan condiciones de riesgo de cristalización estas se corrigen, reduciendo la energía entrada en el desorbedor o diluyendo la solución en el absorbedor.

Hoy la cristalización es un fenómeno perfectamente controlable, y puede prevenirse sin demasiada dificultad mediante controladores de nivel y de concentración y válvulas automáticas.

Esto puede ocurrir si la temperatura del agua de refrigeración procedente de la torre de refrigeración es demasiado baja. El límite de esta temperatura depende del fabricante, pero el valor típico es de 24 °C.

Figura 61. Línea de Cristalización en una máquina de absorción.



Fuente: FERNANDEZ, Pino Fernando. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SOLAR POR ABSORCIÓN. Proyecto de fin de carrera, Universidad de Sevilla

8.3.3.2 Pérdidas de carga.

Las canalizaciones que interconectan por un lado evaporador y absorbedor y por otro generador con condensador, introducen pérdida de carga, cuyo resultado es la desigualdad de presiones entre estas parejas de equipos.

$$P_o(evap.) > PA(absorb.) \quad [19]$$

$$PG(\text{gener.}) > PC(\text{condens.}) \quad [20]$$

Si la presión de absorbedor es inferior a la de evaporador, el título en refrigerante de la solución rica en equilibrio con la temperatura en absorbedor desciende, haciéndolo también la capacidad de absorción de vapores para un mismo caudal másico.

Por su parte, la mayor presión en generador, respecto a la de condensador, trae como consecuencia, para una temperatura fija en generador un mayor título en refrigerante para la solución pobre y con esto una menor posibilidad de absorción de vapores cuando esta alcance el absorbedor.

Las pérdidas que ocurran en la línea de unión de la solución rica desde generador al absorbedor no tienen un efecto nocivo ya que precisamente en esa línea se provoca una caída de presión de la alta a la baja, Las que se originan en la línea de solución pobre son superadas por la bomba, por tanto el trabajo de la bomba será algo superior aunque permanecerá en valores despreciables frente a otro aportes.

8.3.3.3 *Corrosión y compatibilidad de materiales.*

El bromuro de litio acuoso en presencia de oxígeno es agresivo a muchos metales incluyendo el acero y el carbón. Por ello a pesar de la baja presencia de oxígeno ralentiza los procesos, a lo largo de la vida de máquina se pueden observar procesos de corrosión significativos y se deben tomar medidas preventivas para minimizar los defectos. Las medidas básicas consisten en el control del pH y de los inhibidores de corrosión.

La corrosión del acero o del cobre en presencia de un electrolito como el BrLi acuoso es una reacción multipaso oxidación-reducción que consiste en que iones de hierro o cobre dejan la superficie del sólido y se combinan con el oxígeno a cierta distancia de ella. El potencial de oxidación de la solución es fuertemente dependiente del pH. Controlando que la solución sea ligeramente básica, los radicales hidroxilos en exceso provocan la oxidación directamente sobre la superficie sólida pasivándola. El control del pH se realiza añadiendo pequeñas cantidades de HBr sin alterar las propiedades de la solución.

Los inhibidores de corrosión consiguen una reducción complementaria en las tasas de corrosión. Varios aditivos han sido propuestos y probados como el Li_2CrO_4 o el LiOH . Aparentemente estos inhibidores reaccionan con la superficie y forman un recubrimiento de óxido estable, pero tienen el inconveniente de ser tóxicos, por ejemplo la empresa japonesa HITACHI ha realizado un nuevo desarrollo basado en su experiencia e investigación en el funcionamiento de unidades de doble efecto utilizan un nuevo inhibidor anti-corrosión, el “Molibdato de Litio + α ” ($\text{Li}_2\text{MoO}_4 + \alpha$) con gran capacidad de inhibición y menor generación interna de gases, es inofensivo y no tóxico.

8.3.3.4 Vacío

Las presiones típicas en una máquina de absorción de BrLi son subatmosféricas. Las presiones vienen determinadas por las presiones de vapor de los líquidos de trabajo. Por ejemplo en un evaporador a una temperatura de 5° C, considerando que prácticamente contiene agua pura, se trabaja con presiones de 0,872 kPa. Estas condiciones introducen importantes retos en el diseño de las máquinas como son su tamaño, se requieren de grandes espacios debido al volumen específico del vapor, la sensibilidad a gases generados internamente y efectos de presión hidrostáticos en el diseño del

evaporador. Las presiones relacionadas con BrLi no son relativamente bajas pero la sensibilidad de esta tecnología a cualquier fuga es altísima.

8.3.3.5 *Presión hidrostática*

En el generador, durante el proceso de separación de refrigerante, se decanta la solución pobre en la parte inferior del equipo, y como consecuencia de la altura de líquido, la presión de salida de la solución líquida es mayor que la considerada teóricamente, siendo su efecto similar al de una mayor concentración en refrigerante y por tanto una menor capacidad de absorción de vapores de refrigerante. En la máquina realmente no ocurre este incremento de concentración sino que se mantiene la misma concentración pero alejada de las condiciones de saturación; por lo que a efectos de cálculo la variación en la concentración produce el mismo efecto.

8.3.4 Mejoras del sistema de absorción

La tecnología de absorción tiene un gran potencial de desarrollo, y se muestran algunas de las líneas de trabajo para la mejora de los equipos de absorción. Las mejoras comentadas van encaminadas a la mejora global del equipo tanto como el rendimiento, peso y volumen de los equipos.

8.3.4.1 *Ciclo de absorción de triple efecto*

Como su nombre indica, se trataría de añadir un tercer efecto al ciclo. Para ello habría que añadir un tercer generador y condensador que trabajaran a una temperatura superior a las altas temperaturas del doble efecto. Como se dijo antes, la temperatura del generador de alta en un ciclo de doble efecto suele estar en torno a 130-180° C, por lo que sería necesaria una fuente de energía térmica de muy alta temperatura. La máxima mejora

del rendimiento se conseguiría solo cuando los tres efectos en serie que colocan el tercero en paralelo la mejora del rendimiento del equipo sería menor, aunque mejoraría la operación del equipo.

Si está apoyado en llama directa se pueden alcanzar valores del COP de 1,4 y 1,7, y la temperatura en el generador debe alcanzar los 200° C; aunque aún no son muy extendidas hay pocos fabricantes que lo desarrollan y comercializan como KAWASAKI, HITACHI Y THERMAX.

8.3.4.2 *Ciclo GAX*

Este ciclo es una mejora del ciclo de simple efecto NH₃ – H₂O funcionando a dos niveles de presión, su singularidad consiste en la comunicación térmica de absorbedor y generador ya que trata de aprovechar el solapamiento de temperaturas entre generador y absorbedor cuando la temperatura del primero es lo suficientemente alta, para transferir energía desde la parte caliente del absorbedor hacia la parte fría del generador mediante un intercambiador de calor, reduciendo así la necesidad de aporte energético exterior y mejorando el rendimiento del ciclo, ya que ese calor extraído ya no tiene que eliminarse del absorbedor por medio del agente externo de disipación.

8.3.4.3 *Equipos rotativos*

En este caso, la fase de investigación y desarrollo ya ha sido superada y ya existen maquinas con absorción rotativa, su funcionamiento se basa en el aumento de los coeficientes de transferencia de masa y calor debido a las fuerzas gravitatorias generadas por rotación.

Este concepto fue constatado en los años 70 por ICI, una compañía inglesa fabricante de productos químicos. En el año 1993 se creó Interotex Ltd, empresa participada por British Gas, Gas Natural, Fagor y Lennox, para desarrollar equipos a partir del fenómeno demostrado por ICI. Fue en el año 2000 cuando la compañía Rotartica compró las licencias y el know-how a sus anteriores propietarios y comenzó a fabricar sus equipos.

La máquina aplica los principios de la absorción pero en una unidad generadora rotativa, con distintas cámaras de vacío. En el caso de simple efecto la unidad está rotando a 260 rpm. Con este efecto se consigue la mejora de los procesos de transferencia de masa y calor. Gracias a esto se puede disminuir su tamaño y peso de la unidad generadora y la efectividad del sistema crece de manera importante. Otra ventaja es el incremento del salto térmico (T agua caliente salida – T agua fría de salida) con lo que se elimina la necesidad imperativa de instalar torre de refrigeración y con ello el peligro de proliferación de la legionella por tanto usan un sistema de condensación por aire denominado recooling. Este sistema consiste en un intercambiador de calor interno (un serpentín aleteado) por el que circula agua. El calor de absorción y de condensación se transfiere al agua, y desde el agua al aire impulsado por un ventilador.

La fuente de energía es agua caliente a una temperatura nominal de entrada de 90° C exigiendo una potencia en el generador de 6,7 kW. El agua de enfriamiento sale del evaporador a una temperatura entre 12° C y 22° C (para temperaturas exteriores entre 30 y 40° C) y se hace circular a través de un fancoil para enfriar el aire del edificio. La máquina deja de producir frío cuando la temperatura de entrada de agua caliente no está dentro del rango 80° C- 105° C o bien cuando los caudales de agua de alguno de los tres circuitos no son los adecuados. Actualmente es comercializada por la empresa ROTARTICA en unidades de potencia nominal 4,5 kW y un COP de refrigeración de 0,7.

Figura 62. Maquinas con absorción rotativa Rotartica.



Fuente: Proyecto de fin de carrera, ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SOLAR POR ABSORCIÓN.

9. SIMULACIÓN

La simulación es una metodología de análisis basada en la construcción de un modelo que describe el comportamiento de un sistema real u aproximado a la realidad, típicamente implementado en un ordenador, el cual permite generar observaciones dependientes de las entradas. Tales observaciones permiten diseñar y realizar experimentos con el modelo con el fin de extraer conclusiones de sus resultados para apoyar la toma de decisiones.

En este trabajo se utilizaron modelos matemáticos, los cuales representan los diferentes procesos físicos que se llevan a cabo en el sistema de interés. Para resolver las ecuaciones matemáticas que se utilizan en los modelos se desarrolla un programa de computador en la plataforma Simulink.

Se debe asumir que una simulación será tan exacta como lo sean las ecuaciones de partida utilizadas en el modelo que representa el sistema real y la capacidad de los ordenadores para resolverlas, lo cual fija límites a su utilización.

Las razones por las cuales se desarrolla y usa una simulación del sistema son:

- Hace posible el análisis, diseño, entendimiento, operación y control de los sistemas sin necesidad de su construcción efectiva y operación real.
- Permite identificar las variables más importantes.
- Permite estudiar los efectos de ciertos cambios en la operación de un sistema.
- Permite optimizar el proceso, ya que se pueden hallar las condiciones necesarias para alcanzar el mejor resultado en una situación dada.
- Permite ensayar nuevas políticas en la operación de un sistema.
- Permite verificar o controlar soluciones analíticas.

- Puede ser usada para el entrenamiento de personal.
- Puede ser usada como recurso pedagógico.

9.1 PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN

Para esta simulación es preciso tener en cuenta las variables de entrada más importantes para que los resultados sean los más aproximados al comportamiento real del sistema. Los parámetros tenidos en cuenta para el modelo del sistema de aprovechamiento térmico de la energía solar se mencionan a continuación

9.1.1 Condiciones ambientales

Comprendidos por los datos de radiación solar directa y difusa y por las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo. Estos son datos de entrada para efectos de la simulación usados para el cálculo de la radiación incidente por unidad de área, se hace uso de un registro de datos para la ciudad de Bucaramanga por un año completo con mediciones cada hora, es preciso aclarar que si se quiere una mayor aproximación es necesario que se haga una toma de datos en el lugar donde se desea instalar el sistema, preferiblemente para el mes de menor radiación.

9.1.2 Ubicación solar

Se tienen en cuenta estos parámetros para el cálculo del calor incidente en la ciudad de Bucaramanga, donde la latitud es de 7.4° y los ángulos de incidencia del sol se calculan a partir de la variación de los días y las horas, con respecto a la inclinación β del colector.

9.1.3 Datos técnicos de los equipos

Para efectos del modelamiento del colector, acumulador, máquina de absorción, caldera auxiliar y otros equipos, es necesario conocer sus datos geométricos,

propiedades térmicas de los materiales y las condiciones de operaciones recomendadas para el uso óptimo.

9.1.4 Consumos

Consumos aproximados a los reales, conlleva a una selección adecuada de equipos, teniendo en cuenta los casos críticos en que se tiene carga máxima.

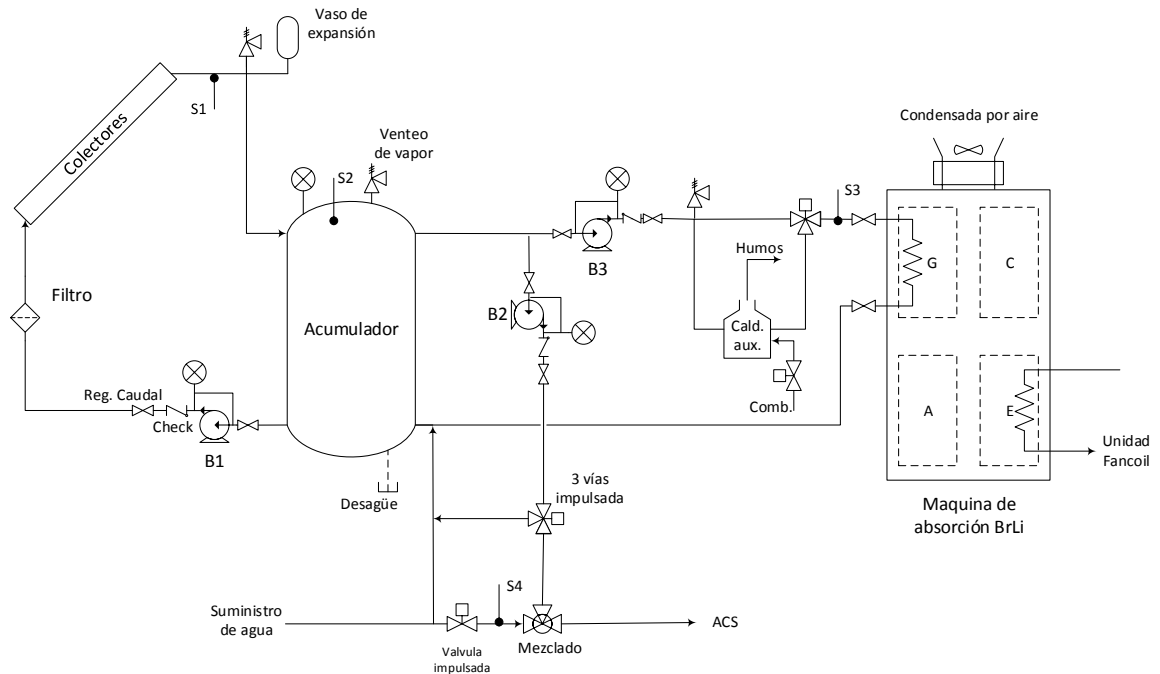
9.2 PROCEDIMIENTO DE LA SIMULACIÓN

El sistema a simular está compuesto por una instalación solar para el servicio de agua caliente sanitaria (ACS) y una instalación de acondicionamiento de aire por el método de absorción, conectados en paralelo. El análisis de los modelos matemáticos de la simulación se hace dividiendo todo el sistema en seis partes. Para las cuales se ira describiendo el modelo paso a paso:

- a)** Modelo matemático del sistema de captación de energía solar para diferentes tipos y cantidades de colectores conectados en paralelo.
- b)** Modelo matemático del sistema de almacenamiento térmico para diferentes tipos y tamaños, con estratificación de temperatura.
- c)** Modelo matemático de caldera auxiliar para casos de baja disponibilidad de radiación solar.
- d)** Modelo matemático de la carga necesaria por la máquina de absorción para producir 1 tonelada de refrigeración.
- e)** Cargas para los servicios de agua caliente sanitaria y refrigeración de agua para el acondicionamiento de locales.
- f)** Modelos matemáticos de los diferentes controles de temperatura y estados de encendido y apagado del sistema.

A continuación en el siguiente esquema (Figura 63) se observa el circuito hidráulico del sistema del aprovechamiento térmico de la energía solar.

Figura 63. Esquema básico del sistema de aprovechamiento térmico de la energía solar para servicio de ACS y refrigeración absorción



Fuente: Autores

9.3 MODELOS MATEMÁTICOS

Los modelos matemáticos desarrollados son sencillos y se construyeron a partir de los principios de la termodinámica y transferencia de calor, que son suficientes para alcanzar los objetivos planteados en la simulación.

Se deben tener las siguientes consideraciones en los modelos matemáticos:

- En la simulación se analizan los datos del mes con menor radiación solar, de esta manera se espera que en los otros meses haya un mayor aporte de la energía solar.
- El análisis se hace para una cantidad de días de trabajo continuo, sin embargo se puede cambiar tanto el mes como la cantidad de días analizados.
- Se reserva una cantidad de días al principio en la que no se debe realizar consumo, para que el acumulador almacene la mayor cantidad de energía posible y luego se pueda disponer de ella.
- Se tiene un registro de datos de radiación directa, radiación difusa, temperatura ambiente y temperatura de bulbo húmedo, útiles para efectos de la simulación con datos tomados cada hora. Es preciso aclarar que si se quiere una mayor aproximación es necesario que se haga una toma de datos en el lugar donde se desea instalar el sistema, preferiblemente para el mes de menor radiación.
- En el caso de los colectores selectivos se considera una temperatura promedio de la placa 10 grados por encima de la temperatura del agua en la parte superior del acumulador, la cual luego es recalculada.
- Las pérdidas de energía en la tubería son muy pequeñas, por lo cual a la entrada de los colectores se considera que el agua entra a la misma temperatura que a la salida del acumulador por la parte inferior.
- La estratificación en el acumulador se realizó por el método de depósitos.
- Para que la temperatura en el consumo de ACS sea la requerida es necesario realizar un control de temperatura que controle los flujos de agua caliente y de reposición que serán mezclados para obtener la temperatura deseada
- Debido a que Simulink necesita continuidad al momento de monitorear los resultados de la simulación, es necesario que para los resultados donde no

estén en funcionamiento los equipos, se coloca un valor de salida de cero, lo cual solo indica que ese dato no se puede monitorear mientras el equipo no esté en funcionamiento y no se debe confundir con que el valor de los resultados se hagan cero.

9.3.1 Modelo matemático del sistema de captación

Cierta cantidad de calor incide sobre la superficie externa del colector, cuya superficie protectora reflejada, absorbe y transmite la energía incidente hacia el absorbente. Seguidamente, la superficie absorbente también presenta la misma condición del vidrio, en donde se refleja y se absorbe el calor transmitido por el vidrio.

De esta forma se determina el calor incidente sobre el colector como:

$$Q_i = A * q_{s,\beta} \quad [21]$$

Donde $q_{s,\beta}$ representa la irradiación $\left(\frac{W}{m^2}\right)$ y A representa el área de la superficie captadora (m^2).

Sin embargo, parte de este calor que incidente sobre el colector se refleja a la atmósfera, el vidrio absorbe parte de este calor y el remanente es transmitido a la superficie absorbente. De esta manera el porcentaje de irradiación que es transmitida por la superficie transparente y el porcentaje de irradiación que es absorbida, se indica mediante el factor de conversión $(\tau\alpha)$, el cual representa el producto de la tasa de transmisión del vidrio y la superficie de absorción:

$$Q_{ia} = A * q_{s,\beta} * (\tau\alpha) \quad [22]$$

A medida que el colector absorbe calor, la temperatura de la superficie absorbidora aumenta más que en los alrededores, por lo tanto cierta cantidad de calor es transmitido a la atmósfera por efectos de radiación y convección, para lo cual se define una tasa de calor perdido como:

$$Q_o = A * U_L * (T_{sa} - T_{amb}) \quad [23]$$

Con U_L representando el coeficiente global de perdida, T_{amb} la temperatura del ambiente y T_{sa} la temperatura media de la superficie de absorción, en el caso de colectores de placa plana T_{pm} y en caso de colectores de tubos al vacío T_r .

De esta forma el calor útil extraído por el colector $Q_{\acute{u}til}$, es proporcional a la cantidad de calor absorbido por la placa menos la cantidad de calor perdido con los alrededores.

$$Q_{\acute{u}til} = A[q_{s,\beta}(\tau\alpha) - U_L(T_{sa} - T_{amb})] \quad [24]$$

Por otro lado se puede expresar este calor útil en función del fluido que retiene el calor o lo almacena.

$$Q_{\acute{u}til} = \dot{m}C_p(T_o - T_i) \quad [25]$$

Teniendo como T_o como la temperatura de salida del fluido, T_i la temperatura de entrada, \dot{m} como el flujo másico y C_p el calor específico del fluido de la temperatura media entre la entrada y la salida.

Sin embargo para determinar el calor se presenta cierta dificultad de establecer la temperatura media de la superficie de absorción, para lo cual se recurre a definir

un factor que relaciona la energía útil en la superficie absortiva en función de la temperatura de entrada del fluido al colector, este factor se conoce como factor de remoción de calor.

$$F_R = \frac{\dot{m}c_p(T_o - T_i)}{A[(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_{amb})]} \quad [26]$$

Así, cuando todo el colector se encuentra a la temperatura de entrada del fluido se alcanza la máxima ganancia de calor, por lo tanto la energía útil del sistema puede ser determinada como:

$$Q_{\acute{u}til} = AF_R [q_{s,\beta}(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_{amb})] \quad [27]$$

Es posible definir la eficiencia del colector

$$\eta = \frac{Q_{\acute{u}til}}{Aq_{s,\beta}} = AF_R * \frac{q_{s,\beta}(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_{amb})}{Aq_{s,\beta}} \quad [28]$$

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \frac{T_i - T_{amb}}{q_{s,\beta}} \quad [29]$$

$$\eta = \eta_o - a_1 \frac{T_i - T_{amb}}{q_{s,\beta}} - a_2 \frac{(T_i - T_{amb})^2}{q_{s,\beta}} \quad [30]$$

Basados en esta ecuación, los fabricantes facilitan la curva de eficiencia del colector, junto con los valores de las constantes a_1 , a_2 y η_o , para una radiación solar de 1000 w/m², donde η_o representa la eficiencia óptica. Esta gráfica resulta útil al momento de hacer una selección.

El calor útil que un colector aporta al fluido también puede ser calculado haciendo uso de la eficiencia que da en fabricante, en función de la temperatura de entrada y el calor irradiado

$$Q_{\text{útil}} = A * q_{s,\beta} * (\tau\alpha) * \eta \quad [31]$$

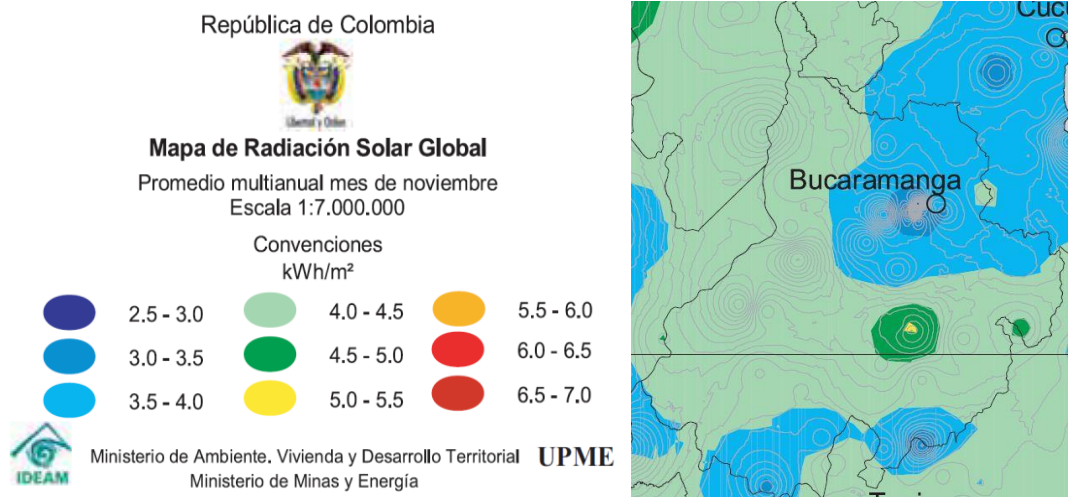
Conocidos los parámetros de radiación solar y ángulos de incidencia de la radiación solar para superficies horizontales e inclinadas se procede con el cálculo del calor irradiado, $q_{s,\beta}$ que se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$q_{s,\beta} = (H - H_d)R_b + H_d \cos^2 \frac{\beta}{2} + \rho_{\text{piso}} H \sin^2 \frac{\beta}{2} \quad [32]$$

Donde H y H_d son la radiación directa y radiación difusa respectivamente y se encuentran tabulados en datos de la ciudad de Bucaramanga para cada día del año con intervalos de 1 hora.

Según el atlas de radiación solar el mes en que la ciudad de Bucaramanga y todo el departamento de Santander reciben menos radiación solar es en el mes de noviembre, donde según los promedios de radiación global anual del atlas de radiación solar de Colombia se encuentra entre 3 – 4 kWh/m². Figura 64.

Figura 64. Radiación promedio por colores en la ciudad de Bucaramanga



Fuente: UPME atlas radiación solar de Colombia

$\beta \rightarrow$ Es el ángulo de inclinación del colector. El cual es escogido por el diseñador, en este caso se escoge una inclinación de 7.4° para la ciudad de Bucaramanga.

$$\overline{R_b} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad [33]$$

Donde además se usará una inclinación de colector de $\beta = 7,4^\circ$ y el azimut γ junto con la hora solar ω , dependerán de la hora del día. Por lo cual el valor de R_b será variable en el tiempo durante el día o los días que se desee modelar el sistema.

$\rho_{piso} \rightarrow$ Reflectividad del piso, depende del material de la superficie en que se instala el colector. Se optó por la superficie del edificio institucional.

Tabla 3. Valores de reflectividad para distintas superficies

Tipo de piso	ρ_{piso}
Nieve	0.7
Agua	0.14
Gramma	0.2
Pavimento	0.26
Edificio institucional	0.14

Fuente: Autores

La transmisión, reflexión y absorción de la radiación solar por las diversas partes de un colector solar son importantes para determinar el rendimiento del colector. La transmitancia, reflectancia, y absortancia son funciones de la radiación entrante, espesor, índice de refracción, y coeficiente de extinción del material. En general, el índice de refracción n y el coeficiente de extinción K del material de la cubierta son funciones de la longitud de onda de la radiación. Sin embargo todas las propiedades inicialmente se supone que son independientes de la longitud de onda. Esta es una excelente premisa para el vidrio, el material de cubierta del colector solar más común.

Para el cálculo de $(\tau\alpha)$ la ecuación es:

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau\alpha}{1-\rho_d(1-\alpha)} \quad [34]$$

Donde ρ_d es la reflectancia de la cubierta de modo que la calculamos de la siguiente forma

$$\rho_d = 1 - \tau_r \quad [35]$$

La transmitancia de una cubierta, se calcula como:

$$\tau \cong \tau_r \tau_a \quad [36]$$

La transmisividad del vidrio τ_a , viene especificada por la calidad del vidrio que cubre la placa colectora

$$\tau_a = \exp\left(-\frac{KL}{\cos\theta_2}\right) \quad [37]$$

El valor de la constante de proporcionalidad K, varía de aproximadamente 4 m^{-1} para vidrio (que aparece en color blanco cuando se ve en el borde) a aproximadamente 32 m^{-1} para alto contenido de óxido de hierro (tono verdoso de borde) de vidrio y L es el espesor.

La transmitancia de la radiación inicialmente no polarizada es la transmitancia media de los dos componentes, perpendicular y paralelo:

$$\tau_r = \frac{1}{2} \left(\frac{1-r_{\parallel}}{1+r_{\parallel}} + \frac{1-r_{\perp}}{1+r_{\perp}} \right) \quad [38]$$

Para superficies lisas Fresnel derivó expresiones, para la reflexión de la radiación no polarizada al pasar de un medio 1 con un índice de refracción n_1 a un medio 2 con refracción índice n_2 la transmitancia media perpendicular y paralela es:

$$r_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} \quad [39]$$

$$r_{\parallel} = \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \quad [40]$$

Donde θ_1 y θ_2 son los ángulos de incidencia y refracción, r_{\perp} representa la componente perpendicular de la radiación no polarizada, r_{\parallel} representa el componente paralelo de radiación no polarizada (Paralelas y perpendiculares se refieren al plano definido por el haz incidente y la normal de la superficie.) Los ángulos θ_1 y θ_2 están relacionados con los índices de refracción de la ley de Snell.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad [41]$$

Despejando θ_2 y siendo el medio 1 el aire, $n_1 = 1$ la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \theta_1}{n_2} \right) \quad [42]$$

Al momento de modelar la ecuación de $Q_{\text{útil}}$ algunas expresiones difieren según el tipo de colector, tanto el coeficiente global de pérdidas como el factor de remoción de calor se calculan de forma diferente.

El coeficiente global de pérdidas del colector U_L es la suma de la parte superior, inferior y los coeficientes de pérdida de borde, se asume que todas las pérdidas se producen a una temperatura del colector común T_a :

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad [43]$$

Donde U_b La pérdida de energía a través de la parte inferior del colector es aproximadamente:

$$U_b = \frac{k}{L} \quad [44]$$

Las expresiones k y L son la conductividad térmica del aislamiento y grosor, respectivamente. Para la mayoría de los colectores se complica la evaluación de las pérdidas de borde. Sin embargo, en un sistema bien diseñado, la pérdida de borde debe ser pequeña, por lo que no es necesario para predecir con gran exactitud. Tabor (1958) recomienda el aislamiento de borde de aproximadamente el mismo espesor del aislamiento inferior. Las pérdidas de borde están entonces estimadas, asumiendo flujo de calor hacia los lados de una dimensión alrededor del perímetro del sistema colector. Entonces el coeficiente de pérdida de borde, basado en el área del colector A_c , es:

$$U_e = \frac{(UA)_{borde}}{A_c} \quad [45]$$

La pérdida de la parte superior se obtiene de una ecuación empírica, para U_t , que es útil para los cálculos tanto a mano como a computador, fue desarrollado por Klein (1979) siguiendo el procedimiento básico de Hottel y Woertz (1942) y Klein (1975). Esta relación se ajusta a los gráficos de U_t para la temperatura de placa media entre la temperatura ambiente y 200 °C en un $\pm 0,3$ W/m² °C:

$$U_t = \left(\frac{N}{\frac{c}{T_{pm}} \left[\frac{T_{pm} - T_a}{(N+f)} \right]^e} + \frac{1}{h_w} \right)^{-1} + \frac{\sigma(T_{pm} + T_a)(T_{pm}^2 + T_a^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0.00591Nh_w} + \frac{2N+f-1+0.133\varepsilon_p}{\varepsilon_p} - N} \quad [46]$$

Dónde:

N = número de cubiertas de vidrio

$$f = (1 + 0.089h_w - 0.1166h_w\varepsilon_p)(1 + 0.07866N) \quad [47]$$

$$C = 520 (1 - 0.000051\beta^2) \text{ for } 0^\circ < \beta < 70^\circ; \text{ for } 70^\circ < \beta < 90^\circ, \text{ use } \beta = 70^\circ \quad [48]$$

$$e = 0.430 (1 - 100/T_{pm}) \quad [49]$$

β = Ángulo de inclinación del colector (grados)

ε_g = Emitancia de cristal (0,88)

ε_p = Emitancia de la placa

T_a = Temperatura ambiente (K)

T_{pm} = Temperatura media de placa (K)

h_w = Coeficiente de transferencia de calor del viento ($W/m^2 \cdot C$)

Para evaluar el rendimiento del colector, es necesario conocer el coeficiente de pérdida total y los coeficientes de transferencia de calor de fluidos internos. Sin embargo, tanto U_L y h_{fi} son para algunas funciones grados de temperatura. La temperatura media del fluido se puede encontrar mediante:

$$T_{pm} = T_{fi} + \frac{Q_u/A_c}{F_R U_L} (1 - F_R) \quad [50]$$

Esta es la temperatura adecuada para la evaluación de las propiedades del fluido. Cuando un colector está produciendo energía útil, la temperatura media de la placa será siempre mayor que la temperatura media del fluido debido a la

resistencia a la transferencia de calor entre la superficie absorbente y el fluido. Esta diferencia de temperatura es generalmente pequeña para los colectores para calentar líquidos (aproximadamente 10 °C), pero puede ser importante para los colectores de aire.

La cantidad F_R es equivalente a la eficacia de un intercambiador de calor convencional, que se define como la relación de la transferencia de calor real a la transferencia de calor máxima posible. La ganancia máxima posible de energía útil (transferencia de calor) en un colector solar se produce cuando todo el colector está a la temperatura de fluido de entrada; las pérdidas de calor a los alrededores son desde luego mínimas. El factor de remoción de calor del colector es la máxima ganancia de energía útil posible y es igual a la ganancia de energía útil real Q_u . En forma de ecuación la podemos encontrar así:

$$F_R = \frac{\dot{m}C_P}{A_cU_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_cU_L F'}{\dot{m}C_P}\right) \right] \quad [51]$$

Dónde:

El Factor de eficiencia del colector F' , representa la relación de la ganancia de energía útil real de la ganancia útil que resultaría si el colector de superficie de absorción estuviese a la temperatura del fluido, también se puede expresar como la resistencia a la transferencia de calor desde el fluido al aire ambiente. Donde el factor de eficiencia del colector F' se da como;

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[\frac{1}{U_L[D+(W-D)F]} + \frac{1}{c_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{f_i}} \right]} \quad [52]$$

Las demás expresiones son:

W = Distancia entre tubos

D = Diametro externo del tubo

D_i = Diametro interno del tubo

h_{f_i} = coeficiente de transferencia de calor entre el fluido y la pared del tubo

C_b = es la conductancia entre la unión metal/metal

F = Eficiencia de la aleta estándar para perfil rectangular

$$F = \frac{\tan^{-1}\left[\frac{m(W-D)}{2}\right]}{\frac{m(W-D)}{2}} \quad [53]$$

Para mayor comodidad se define la variable, m :

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k*\delta}} \quad [54]$$

La conductancia en la conexión puede ser muy importante para describir con precisión el rendimiento del colector. Whillier y Saluja (1965) han demostrado por experimentos que el cableado simple o de sujeción de los tubos a los resultados de la hoja en la conductancia de unión baja y pérdida significativa de rendimiento. Ellos llegan a la conclusión de que es necesario tener un buen contacto de metal a metal de manera que la conductancia de la conexión es mayor que $30 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, el valor de la conductancia entre la unión metal/metal es para este caso muy grande por lo cual se le estima un valor de cero a la expresión $\frac{1}{C_b}$. La distancia entre tubos

W , los diámetros externos e internos D y D_i respectivamente, el espesor de la placa δ y la conductividad térmica del aislamiento k , vienen especificados por el fabricante.

El factor de eficiencia del colector es esencialmente una constante para cualquier diseño de colector y la tasa de flujo de fluido. La proporción de U_L a C_b , la proporción de U_L a h_{fi} , y la eficiencia de la aleta, parámetro F son las únicas variables que aparecen en la ecuación que pueden ser funciones de la temperatura. Para la mayoría de diseños de colector F es la más importante de estas variables en la determinación de F' . El factor F' es una función de U_L y h_{fi} , cada uno de los cuales tiene alguna dependencia de la temperatura, pero no es una fuerte función de la temperatura. La evaluación de F' no es una tarea difícil.

9.3.2 Modelo matemático del sistema de almacenamiento

La elección de los medios de almacenamiento depende de la naturaleza del proceso. Para el calentamiento del agua, almacenamiento de energía como calor sensible del agua almacenada es lógico.

Las principales características de un sistema de almacenamiento de energía térmica son:

- Su capacidad por unidad de volumen.
- El intervalo de temperaturas en el que opera, es decir, la temperatura a la cual el calor se añade y se retira del sistema.
- Los medios de adición o eliminación de calor y la diferencia de temperatura asociados con el mismo.
- Estratificación de la temperatura en la unidad de almacenamiento.
- Los requisitos de energía para la adición o eliminación del calor.

- Los contenedores, tanques, u otros elementos estructurales asociados con el sistema de almacenamiento.
- Los medios para controlar las pérdidas térmicas del sistema de almacenamiento.
- Su costo.

El análisis del acumulador térmico consta de un volumen de control donde se tienen en cuenta las entradas de energía y las salidas para así conocer la cantidad de energía que se acumula en una cantidad específica de agua.

Un balance de energía en el tanque no estratificado sería:

$$(mC_p)_{dep} \frac{dT_{dep}}{dt} = Q_u - \dot{L}_{dep} - (UA)_{dep}(T_{dep} - T_{amb}) \quad [55]$$

Donde Q_u y \dot{L}_{dep} son las tasas de adición o eliminación de la carga de energía del colector y T_{amb} es la temperatura ambiente para el tanque (que no puede ser la misma para un colector que para la de suministro de energía para el tanque).

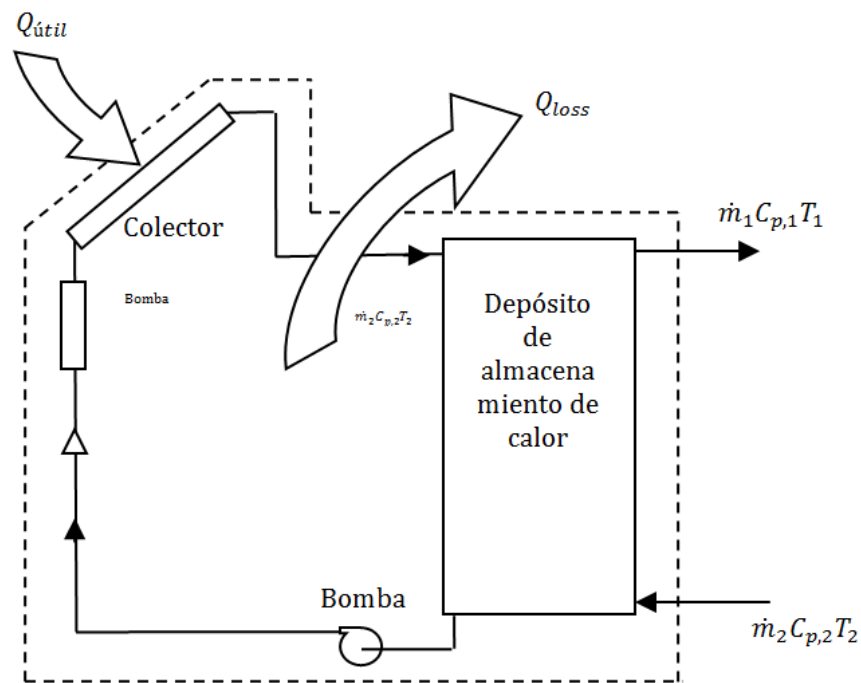
La ecuación anterior del balance de energía en el tanque se va a integrar en el tiempo para determinar la temperatura del tanque en el transcurso del tiempo y el rendimiento a largo plazo de la unidad de almacenamiento y el proceso solar. Soluciones analíticas útiles a largo plazo no son posibles debido a la compleja dependencia del tiempo de algunos de los términos. Hay muchos métodos de integración numérica posibles. Usando sencilla integración de Euler es generalmente satisfactoria [es decir, el derivado de la reescritura de la temperatura como $(T_{dep}^+ - T_{dep}) / \Delta t$ y resolviendo para la temperatura del tanque en el extremo de un incremento de tiempo]:

$$T_{dep}^+ = T_{dep} + \frac{\Delta t}{(mC_p)_{dep}} [Q_u - \dot{L}_{dep} - (UA)_{dep}(T_{dep} - T_{amb})] \quad [56]$$

Así, la temperatura en el extremo de una hora se calcula suponiendo que Q_u , \dot{L}_s , y las pérdidas de tanques no cambian durante la hora.

Este es el volumen de control entre la captación y el almacenamiento del sistema solar para el servicio de agua caliente sanitaria:

Figura 65. Volumen de control del sistema de captación y almacenamiento de energía térmica



Fuente: Autores

Ecuación de balance de energía:

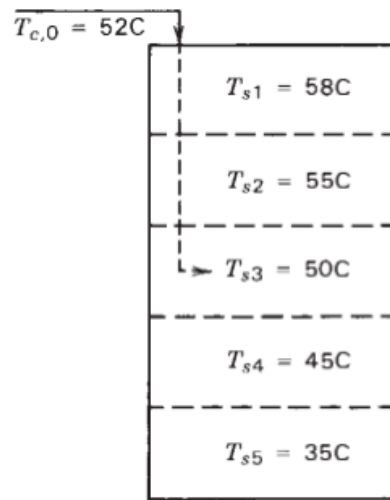
$$Q_{\text{útil}} - Q_{\text{loss}} - \dot{m}_1 C_{p,1} T_1 + \dot{m}_2 C_{p,2} T_2 = m_{dep} C_{p,dep} \frac{dT_{dep}}{dt} = m_{dep} C_{p,dep} \frac{T_{dep}^{i+1} - T_{dep}^i}{\Delta t} \quad [57]$$

Para lograr un análisis más aproximado al comportamiento real se debe hacer una estratificación en el depósito acumulador, ya que en la realidad la temperatura en la parte superior del agua almacenada es mayor que la temperatura en la parte inferior, debido a esto se hacen algunos cambios al volumen de control.

Los tanques de agua pueden operar con grados significativos de la estratificación, es decir, con la parte superior del depósito más caliente que la parte inferior. Se han desarrollado muchos modelos de la estratificación del acumulador, pero básicamente se podrían encontrar en dos categorías. En la primera, se le conoce como el enfoque multinodo, un tanque se modela como dividido en N nodos (secciones), con los balances de energía escritas para cada sección del tanque, el resultado es un conjunto de N ecuaciones diferenciales que se pueden resolver para las temperaturas de los N nodos como funciones del tiempo.

Para formular las ecuaciones para un tanque de varios nodos, es necesario hacer suposiciones acerca de cómo el agua que entra en el tanque se distribuye a los diversos nodos. Por ejemplo, para un depósito de cinco nodos como se muestra en la siguiente figura, el agua entra desde el colector a una temperatura T_{co} , que se encuentra entre $T_{s,2}$, y $T_{s,3}$. Se puede suponer que todo encuentra su camino hacia abajo dentro del tanque al nodo 3, donde su densidad casi coincide con el del agua en el tanque.

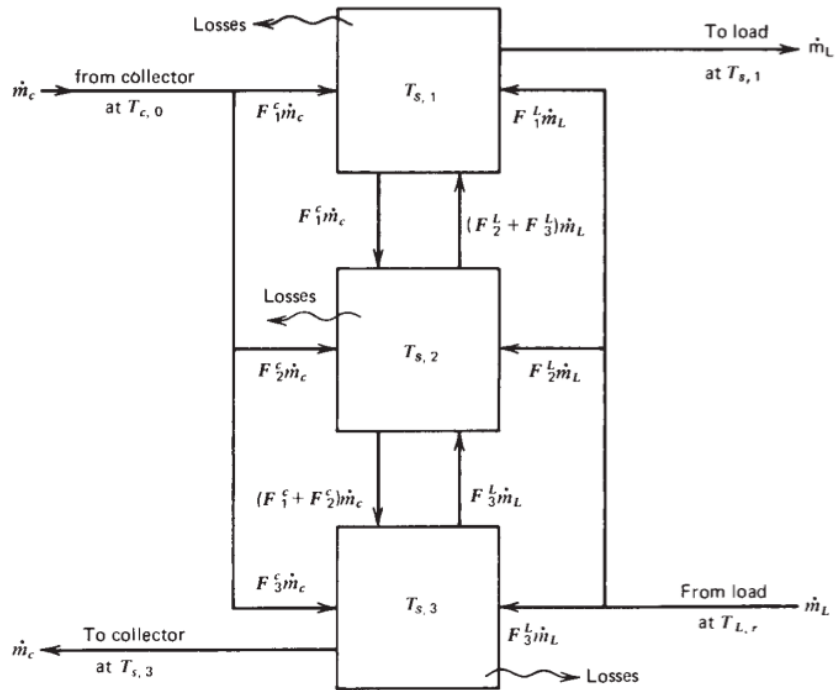
Figura 66. Estratificación del tanque de almacenamiento por el método de nodos



Fuente: John A. Duffie. Solar Engineering of Thermal Processes. 4 edic. 2013

El segundo método y el que se decidió aplicar debido a su simplicidad y buenos resultados obtenidos, consiste en tomar un tanque de almacenamiento grande y dividirlo como el componente de varios tanques, como se muestra en la siguiente figura, este método plantea un volumen de control general y según la división del tanque principal plantea los diferentes volúmenes, en la simulación se observaron muy buenos resultados en la estratificación.

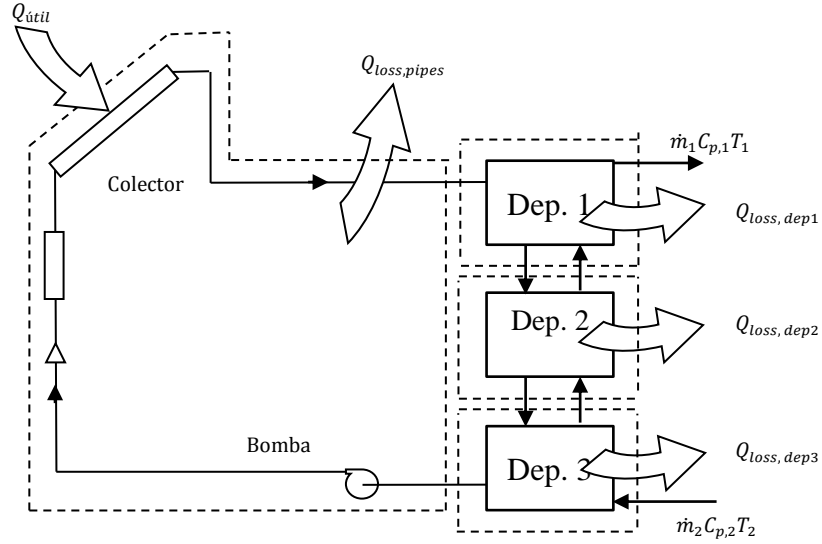
Figura 67. Estratificación del tanque de almacenamiento por el método de tanques



Fuente: John A. Duffie. Solar Engineering of Thermal Processes. 4 edic. 2013

En el análisis de estratificación de temperatura en el depósito acumulador, el primer depósito debe ser el que tiene la temperatura más alta y el depósito inferior el que tiene la menor temperatura. El circuito queda de la siguiente manera:

Figura 68. Sistema de captación y almacenamiento con estratificación de temperatura



Fuente: Autores

Ecuación de balance de energía en la parte de la captación

$$Q_{\text{útil}} + \dot{m}_w C_{p,dep3} T_{dep3} = Q_{\text{loss,pipes}} + E_{in,dep1} \quad [58]$$

$$E_{in,dep1} = Q_{\text{útil}} + \dot{m}_w C_{p,dep3} T_{dep3} - Q_{\text{loss,pipes}} \quad [59]$$

Ecuación de balance de energía en los depósitos:

$$m_{dep1} C_{p,dep1} \frac{dT_{dep1}}{dt} = E_{in,dep1} + \dot{m}_2 C_{p,dep2} T_{dep2} - \dot{m}_w C_{p,dep1} T_{dep1} - Q_{\text{loss,dep1}} - \dot{m}_1 C_{p,1} T_1 \quad [60]$$

$$m_{dep2} C_{p,dep2} \frac{dT_{dep2}}{dt} = \dot{m}_w C_{p,dep1} T_{dep1} - \dot{m}_2 C_{p,dep2} T_{dep2} - Q_{\text{loss,dep2}} - \dot{m}_w C_{p,dep2} T_{dep2} + \dot{m}_2 C_{p,dep3} T_{dep3} \quad [61]$$

$$m_{dep3}C_{p,dep3}\frac{dT_{dep3}}{dt} = \dot{m}_w C_{p,dep2}T_{dep2} - \dot{m}_2 C_{p,dep3}T_{dep3} - Q_{loss,dep2} - \dot{m}_w C_{p,dep3}T_{dep3} + \dot{m}_2 C_{p,2}T_2 \quad [62]$$

Las pérdidas en algunos sectores se suman debido a que son acumulativas y cada pérdida le resta a la eficiencia, en el caso de las tuberías se debe tener en cuenta y está por lo cual se le debe sumar a U_L , en cualquier sistema bien diseñado las pérdidas derivadas de los conductos deben ser pequeñas, donde U_d es el coeficiente de pérdidas en el ducto, entonces:

$$losses_{pipe} = U_d(A_i + A_o)(T_i - T_{amb}) + \frac{U_d A_o Q_u}{(\dot{m}C_p)_c} \quad [63]$$

Dónde:

$U_d \rightarrow$ Tiene valores aproximados a $10 \text{ W/m}^2\text{°C}$

$A_i \rightarrow$ Área ducto entrada

$A_o \rightarrow$ Área de salida del ducto

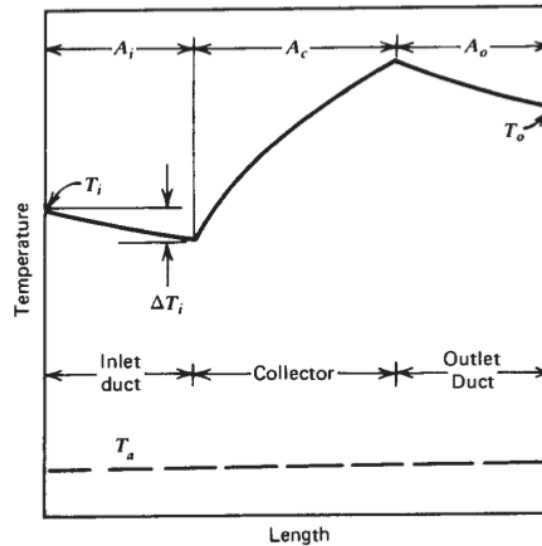
$$U_d = \frac{k_{aislante}}{L_{aislante}} \quad [64]$$

Teniendo en cuenta solo la resistencia más crítica que es la del aislante, donde k representa la conductividad térmica.

La energía perdida de conductos y tuberías que conducen hacia y regresan desde el colector en un sistema de energía solar pueden ser significativas. Beckman (1978) ha demostrado que la combinación de tubos o conductos más el colector solar es equivalente en rendimiento térmico para un colector solar con diferentes

valores de U_L y $(\tau\alpha)$. Por simplicidad en la terminología, se utilizará el conducto, pero el mismo análisis es válido para tuberías. Las pérdidas por conductos son más propensas a ser un problema que los de tuberías.

Figura 69. Variación de la temperatura a través de la placa colectora



Fuente: Solar Engineering of Thermal Processes. John A. Duffie. 4 edic. 2013

Los cálculos de los calores específicos C_p , para el agua y las diferentes temperaturas se hace por medio del software EES, a través de correlaciones, generando la ecuación de una curva del calor específico en función de la temperatura para un rango en que esta varia, de igual manera para los cálculos de otras propiedades como densidad, viscosidad, número de Prandtl y conductividad térmica.

9.3.3 Caldera auxiliar

A través de este modelo se busca conocer el calor que se transfiere al agua a partir de la combustión de gas natural, el modelo detallado de este equipo no es muy sencillo, debido a que no se cuenta con la información requerida para dichos cálculos, ya que el fabricante no facilita información muy detallada para estos equipos.

La información con que se puede contar en el catálogo de una caldera y que llega a ser de utilidad para realizar unos cálculos sencillos son; la cantidad de flujo máximo de combustible que esta puede aportar para calentar el flujo de agua a su paso; la cantidad de flujo máximo de agua, para que esta tenga un cambio de temperatura considerable; el valor de la temperatura de operación máxima permisible; el tipo de combustible con que la caldera opera y la potencia máxima de operación.

La selección de este equipo no es de mucha complejidad, y solo es necesario conocer la información antes mencionada para poder escoger una caldera que trabaje a las condiciones requeridas.

Por esta razón más que modelar una caldera, el modelo permite conocer la información para hacer la selección de esta. Para efectos de la simulación se hace una relación lineal entre el combustible y la potencia a la que opera, de esta manera se puede conocer aproximadamente la cantidad de combustible que esta necesita, para aportar una cantidad de energía que caliente el agua en los casos de baja disponibilidad de energía solar, solo será necesario modelar detalladamente una caldera si se necesitara hacer un análisis de costos basado en la cantidad de combustible consumido en un determinado tiempo.

9.3.4 Modelo matemático de la carga necesaria por la máquina de absorción

El modelo de la máquina de absorción consta de modelar la carga de energía térmica necesaria en el generador, para aportar 1 tonelada de refrigeración mediante el evaporador, para tal fin se hace la selección de una máquina de absorción tipo residencial debido a la baja potencia de trabajo.

Según las especificaciones de operación de la máquina de absorción, habrá unos requisitos para que esta opere de forma adecuada y logre producir alrededor de una tonelada de refrigeración. Estos requisitos son los siguientes:

- Los caudales de los circuitos hidráulicos que entran a la maquina se encuentren dentro del rango especificado por el fabricante.
- Que la temperatura de entrada al generador sea igual o superior a la especificada por el fabricante.
- Haya demanda de frío en el local.
- No superar la temperatura máxima de entrada al generador permitida por el fabricante para que no ocurra cristalización de la sal dentro de la máquina.

En el Anexo B se da a conocer los resultados de un estudio para la máquina seleccionada, hecho en la Universidad Carlos III de Madrid que corresponde a una tesis doctoral¹⁹, la cual fue de mucha utilidad para conocer los requisitos de operación de la máquina y el punto óptimo de funcionamiento de esta. Se observa que con una temperatura de entrada de bulbo seco máxima de 35 °C, un consumo en el generador de 6,7 kW y una temperatura de entrada al generador de 90 °C, se obtiene en el evaporador una potencia de 4,5 kW, que corresponde a una temperatura de salida en el evaporador de 18°C. Este valor de temperatura es óptimo para la climatización por suelo refrescante. El valor del COP térmico es de 0,67. Según los estudios, en las curvas de comportamiento de las temperaturas para días templados, donde se obtienen temperaturas ambientes correspondientes a las de la ciudad de Bucaramanga, se tienen temperaturas de salidas en el evaporador de 12.7 °C y para otras condiciones de operación fuera de su punto nominal es posible llegar a temperaturas a la salida del evaporador de hasta 7 °C.

¹⁹ Raquel Lizarte Mayo. Evaluación experimental de máquinas de absorción de simple efecto de LiBr-H₂O de pequeña potencia condensadas por aire: sistema re-cooling frente a sistema directo. Tesis doctoral.

La potencia del generador, del evaporador y del aerotermo se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$Q_g = \dot{m}_g C_p (T_{in,g} - T_{out,g}) \quad [65]$$

$$Q_e = \dot{m}_e C_p (T_{in,e} - T_{out,e}) \quad [66]$$

$$Q_{aer} = \dot{m}_{aer} C_p (T_{in,aer} - T_{out,aer}) \quad [67]$$

Según líneas de tendencia de las temperaturas de entrada y salida del aerotermo y la temperatura de bulbo seco, se obtuvieron correlaciones

$$T_{in,aer} = 0.9548T_{bs} + 11.604 \quad [68]$$

$$T_{out,aer} = 0.9635T_{bs} + 6.3705 \quad [69]$$

De la correlación [69] se obtiene que $T_{out,aer}$ es, aproximadamente $T_{bs} + 5$ °C, y de la correlación [68] se obtiene que $T_{in,aer}$ es, aproximadamente $T_{bs} + 10$ °C.

Basta con modelar el consumo de energía térmica de la máquina de absorción para poder hacer una selección de qué tipo de colectores y cantidad de ellos se necesitan para dicha aplicación de refrigeración. Haciendo que la temperatura a la entrada del generador sea la indicada por el fabricante para que la máquina trabaje en su punto nominal, se obtiene un aporte de 6.7 kW.

$$T_{out,g} = T_{in,g} - \frac{Q_g}{\dot{m}_g C_p} \quad [70]$$

Donde la temperatura de entrada al generador en el punto nominal de operación es 90 °C y el flujo másico 1000 L/h, con lo que tenemos un aporte de 4.5 kW de potencia, alrededor de 1 tonelada y media de refrigeración en el evaporador.

9.3.5 Cargas para los servicios de ACS y refrigeración

El suministro de energía solar a partir de un colector depende del tiempo. En general, las cargas que debe cumplir un sistema de energía también son dependientes del tiempo. El almacenamiento de energía, proporciona un amortiguador entre estas dos funciones dependientes del tiempo. Se deben hacer uso algunas cargas comunes.

Para efectos de la simulación se deben modelar cargas que harán trabajar al sistema en sus puntos críticos, es por esto que se realizan consumos para la cantidad de días modelados y se observa el comportamiento del sistema para dichos consumos.

Para determinar las dinámicas del proceso solar, las dinámicas de la carga deben ser conocidas. No existen métodos generales para predecir la dependencia temporal de cargas; información detallada sobre los requisitos de calor (energía y temperatura), los requisitos de agua caliente, las necesidades de refrigeración, y así sucesivamente, debe estar disponible. A falta de datos, puede ser posible asumir distribuciones de carga estándar típica.

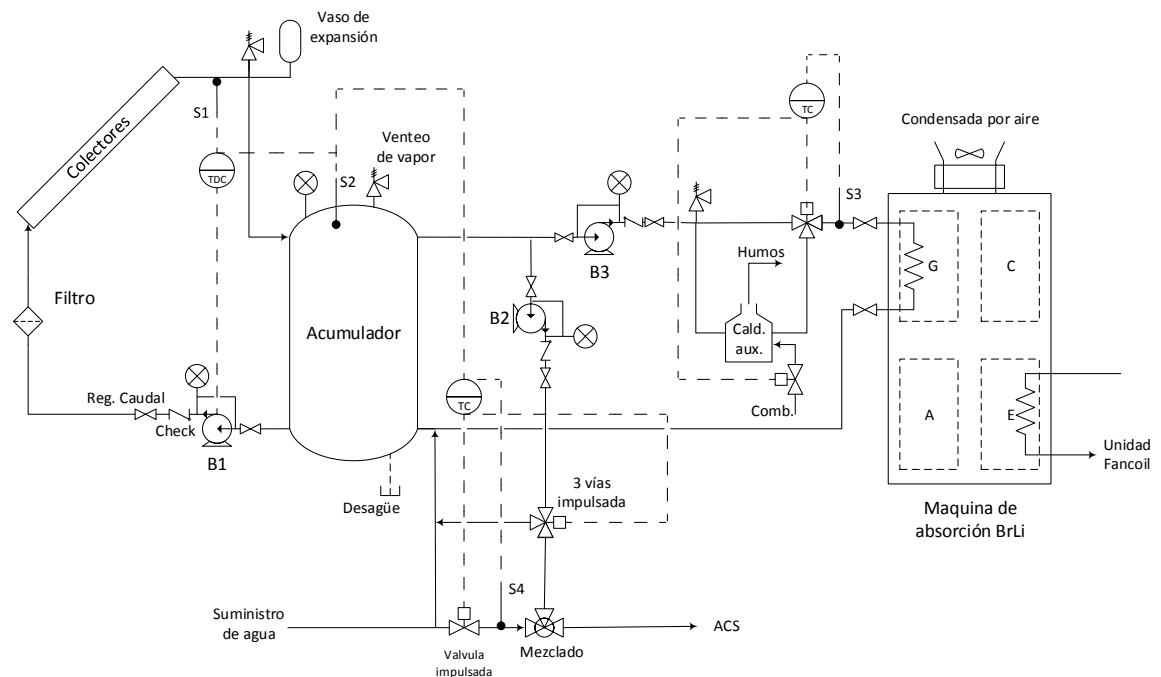
9.3.6 Modelos matemáticos de los diferentes controles de temperatura y estados de encendido y apagado del sistema.

El sistema consta de diferentes tipos de controles para hacer que este cumpla las especificaciones de consumo y que el funcionamiento sea el más óptimo posible,

es por esta razón que se recurre al uso de controles en diferentes puntos del sistema.

La figura 70 muestra el diagrama PI&D de la planta. Donde se aprecian los tres tipos de controles que se aplicarán.

Figura 70. Diagrama PI&D de la planta.



Fuente: Autores

9.3.6.1 Control on-off de encendido y apagado de las bombas

Este control hace uso de sensores instalados en el circuito primario y cumple con dos funciones en el sistema de aprovechamiento de la energía solar térmica:

- **Proteger al sistema de sobrecalentamientos:** en este caso el control debe evitar que la temperatura en el depósito sobrepase un valor de temperatura que perjudicaría el funcionamiento de los equipos, en este

caso se fija un límite a la temperatura de 95 °C, por distintas razones; el tanque de almacenamiento no puede trabajar a temperaturas superiores a esta, no se debe permitir que el agua se evapore y el punto nominal de operación de la máquina de enfriamiento es a la temperatura de 90 °C. Se debe instalar un sensor de temperatura dentro del tanque y medir la temperatura todo el tiempo, en caso de que la temperatura supere los 95 °C la bomba en el circuito primario deberá apagarse, en el momento en que la temperatura descienda la cantidad de grados suficientes, esta volverá a encenderse.

- **Disminuir pérdidas de calor en el colector:** No siempre el colector está en la capacidad de calentar el agua que pasa a través de él, una vez que los colectores calientan el agua a su paso de tal forma que esta regrese a la entrada del colector nuevamente a temperaturas elevadas y la radiación no sea la suficiente para seguir elevando la temperatura del fluido, comenzarán a producirse pérdidas de calor por la diferencia de temperatura entre la placa y el fluido, por esta razón el control debe evitar que esto suceda y apagar las bombas de circulación del flujo para que en los momentos en que la temperatura de la placa sea inferior a la del tanque se evite el intercambio de calor. Se necesitan dos sensores de temperatura en el circuito primario, uno a la salida del colector y otro en el tanque, en este caso el sensor en el tanque será usado por varios controles. Cuando la diferencia de temperatura ($T_{oc} - T_{dep}$) sea negativa la bomba deberá apagarse y una cantidad de agua quedará estancada en el colector debido a que no corre el flujo, en el momento en que debido a la radiación el agua estancada en el colector se encuentre por encima de la temperatura en el depósito y la diferencia ($T_{oc} - T_{dep}$) de positiva, la bomba volverá a encenderse.

9.3.6.2 Control en lazo abierto de mezclado para el servicio de ACS

Este control hace uso del sensor de temperatura instalado en el depósito y de un sensor de temperatura instalado en la línea de red hidráulica y su función consiste en medir las temperaturas antes de producirse la mezcla, para determinar la cantidad de flujo necesario a las entradas mediante válvulas impulsadas y así satisfacer el consumo de un flujo específico de agua a una temperatura específica.

Las ecuaciones usadas por el control son un balance de energía en la cámara de mezclado y un balance de masas.

$$\dot{m}_{red}C_pT_{bh} + \dot{m}_{mezcla}C_pT_{dep} = \dot{m}_{ACS}C_pT_{req} \quad [71]$$

$$\dot{m}_{ACS} = \dot{m}_{red} + \dot{m}_{mezcla} \quad [72]$$

Donde \dot{m}_{ACS} , \dot{m}_{red} y \dot{m}_{mezcla} son respectivamente el flujo de consumo de agua caliente sanitaria, el flujo de la red hidráulica que entra a la cámara de mezclado y el flujo que viene del depósito y entra a la cámara de mezclado. T_{req} es la temperatura requerida para el consumo, y es constante dependiendo del tipo de consumo que se desee tener.

9.3.6.3 Control PI de temperatura

El modelo de control es el encargado de mantener la temperatura a la entrada del generador en el valor de referencia o valor deseado, cada vez que se quiera realizar un consumo en la máquina refrigeradora, en la simulación se utiliza la estrategia de control continuo PI.

El control se efectúa a través de la comparación de la temperatura actual de la entrada en el generador con la requerida y determina un error que representa la

diferencia entre el valor obtenido y el valor deseado, en relación a este error el control determina el flujo de combustible requerido para disminuir el error. Las ecuaciones que se describen en el control PI son las siguientes:

$$\dot{m}_{comb} = Control_p + Control_i = K_p error + K_i \int error dt \quad [73]$$

Donde K_p y K_i son la ganancia proporcional e integral respectivamente, el ajuste del valor de las ganancias se hace por prueba y error, buscando la mejor respuesta por parte del sistema.

Para el control es necesario fijar el límite máximo posible de combustible que puede aportar la caldera, de esta manera si el agua necesita más calor el control no podrá aportar más combustible del posible para el sistema físico.

9.4 FUNCIONAMIENTO DE LA SIMULACIÓN

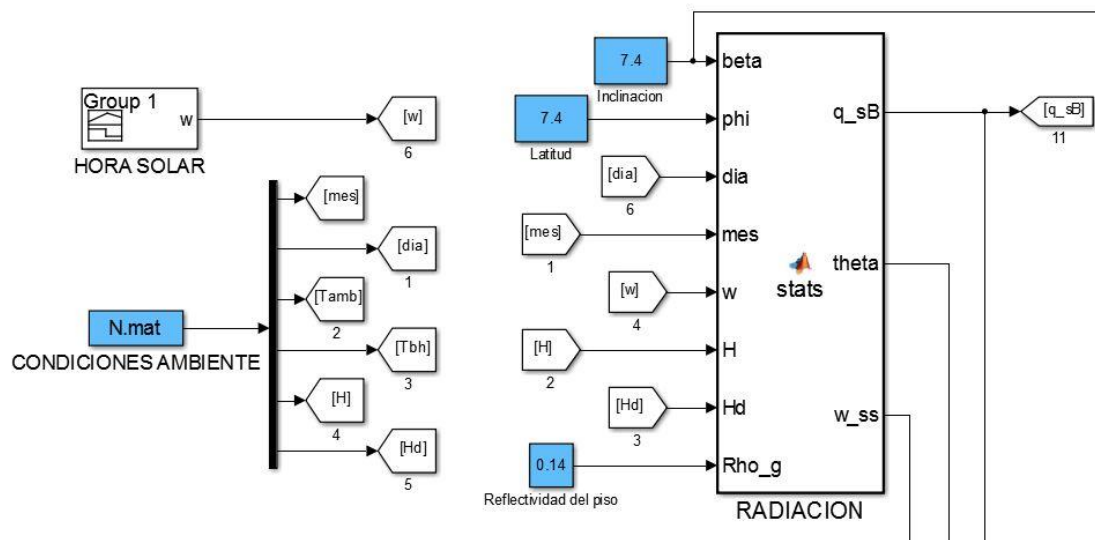
Antes de analizar los resultados de la simulación, es preciso dar a conocer el funcionamiento de dicho programa y la forma en que se encuentran organizados los modelos de los diferentes subsistemas.

Los parámetros de diseño del sistema (sección 7.1) podrán ser cambiados en caso de que las condiciones de operación cambien, es por esto que se especifica que datos cambiar si se quisiera un diseño en un lugar diferente, o bajo consumos diferentes. No fue posible realizar una interfaz donde se pueda variar los parámetros de entrada, ya que la plataforma de Simulink no facilita esa función, por lo cual los parámetros deberán ser cambiados directamente desde el código o del modelo. En el Anexo H se puede observar el esquema del modelo térmico en la plataforma de Simulink.

A continuación se detallarán las áreas donde se deben cambiar los parámetros para distintas condiciones de operación y el área donde se realiza la fase de monitoreo de resultados

- **Condiciones climáticas y geográficas:** La figura 71 muestra el área donde se introducen los datos de temperaturas ambiente, bulbo húmedo, radiación y datos geográficos como latitud e inclinación. Los datos en color azul se pueden modificar dependiendo del lugar donde se quiere hacer el estudio. La matriz N.mat es la que permite el ingreso de los datos desde un archivo adicional de Matlab llamado “Datos_analisis” donde se selecciona la cantidad de días a modelar y los datos climáticos del sitio donde corresponde el diseño.

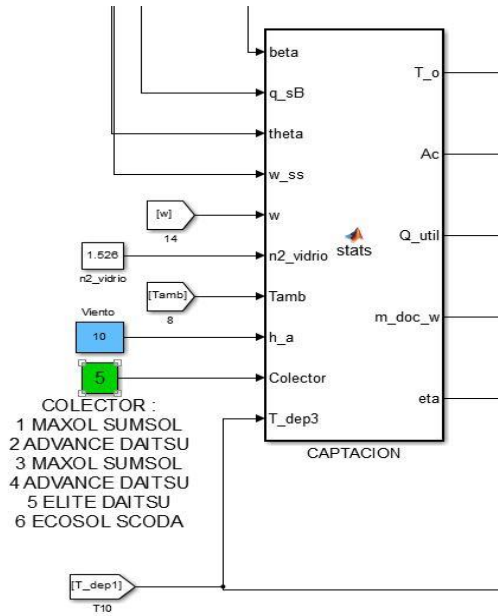
Figura 71. Datos condiciones climáticas y geográficas.



Fuente: Autores

- **Selección del tipo de colector:** Los datos de los colectores están dentro de la caja mostrada en la figura 72, los datos utilizados son datos de fabricantes de los colectores, se puede escoger el tipo de colector cambiando el número en la casilla verde con el número que indica cada opción.

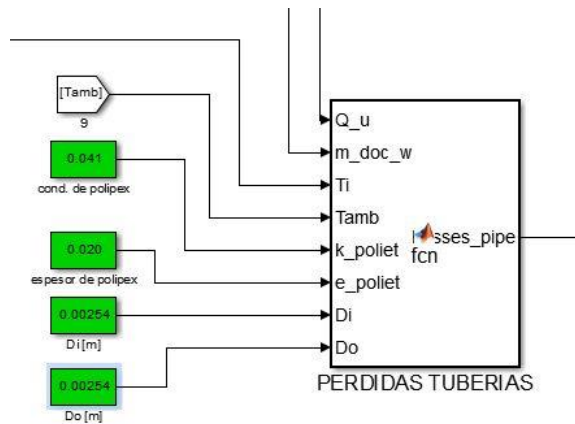
Figura 72. Datos de los colectores



Fuente: Autores

- Datos de tuberías:** Las pérdidas en las tuberías dependen de varios factores, el tipo de aislante que tenemos fue el recomendado de catálogos, pero este valor puede cambiarse si se tienen mejores referencias de otro aislante para disminuir pérdidas. El mismo caso se puede expresar si queremos utilizar una tubería de diámetro mayor.

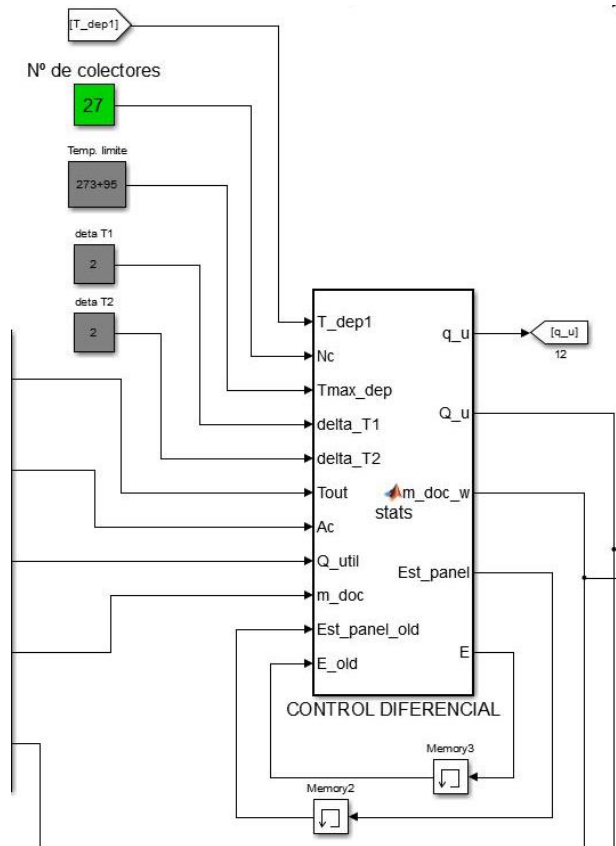
Figura 73. Datos de tuberías



Fuente: Autores

- **Control diferencial:** Los datos que se tienen en gris son especificaciones del control, la figura 74 muestra los datos a modificar (color verde), se puede variar el número de colectores que se va a utilizar.

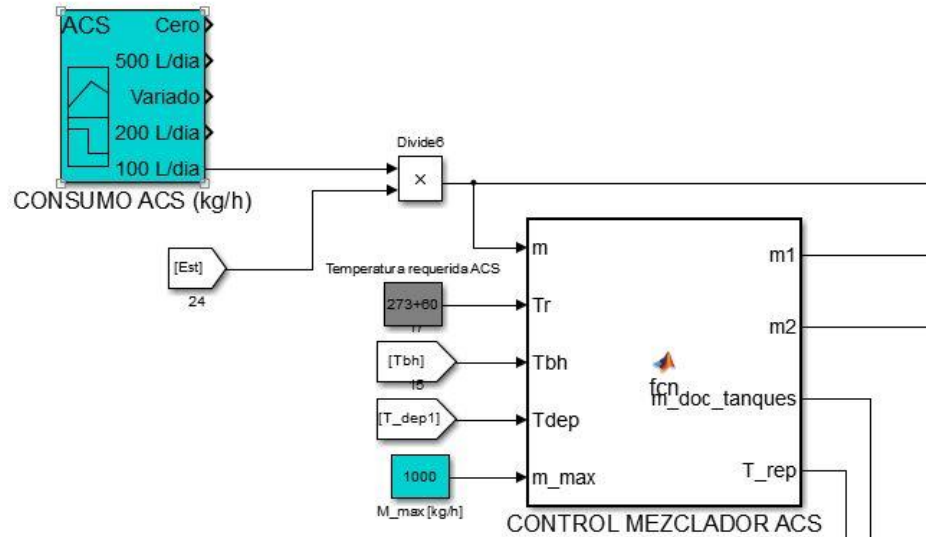
Figura 74. Control diferencial



Fuente: Autores

- **Consumos y control de la mezcla de salida de ACS:** La figura 75 muestra el área donde se puede variar el tipo de consumo, según su necesidad o los datos de estudio que se tengan, también el flujo en el circuito secundario.

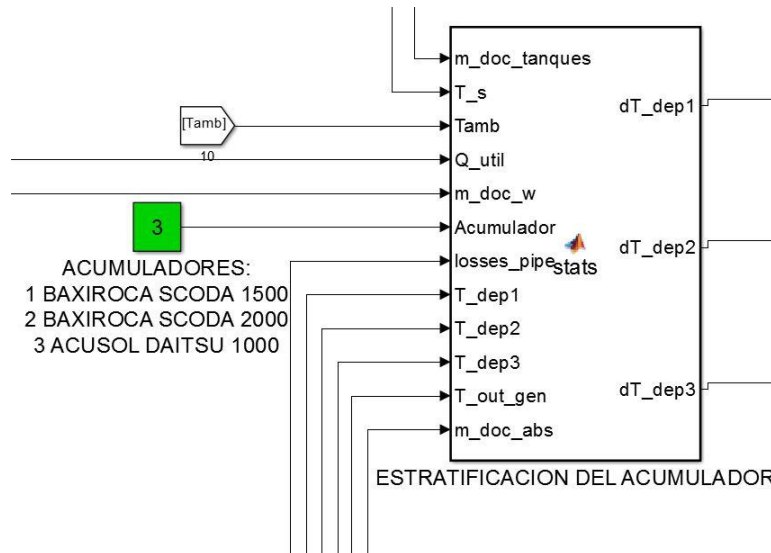
Figura 75. Consumos y control de la mezcla de salida ACS



Fuente: Autores

- **Selección del tipo de depósito acumulador:** El sistema cuenta con 3 tipos de acumuladores, que se pueden escoger mediante su número designado, como se ve en la figura 76.

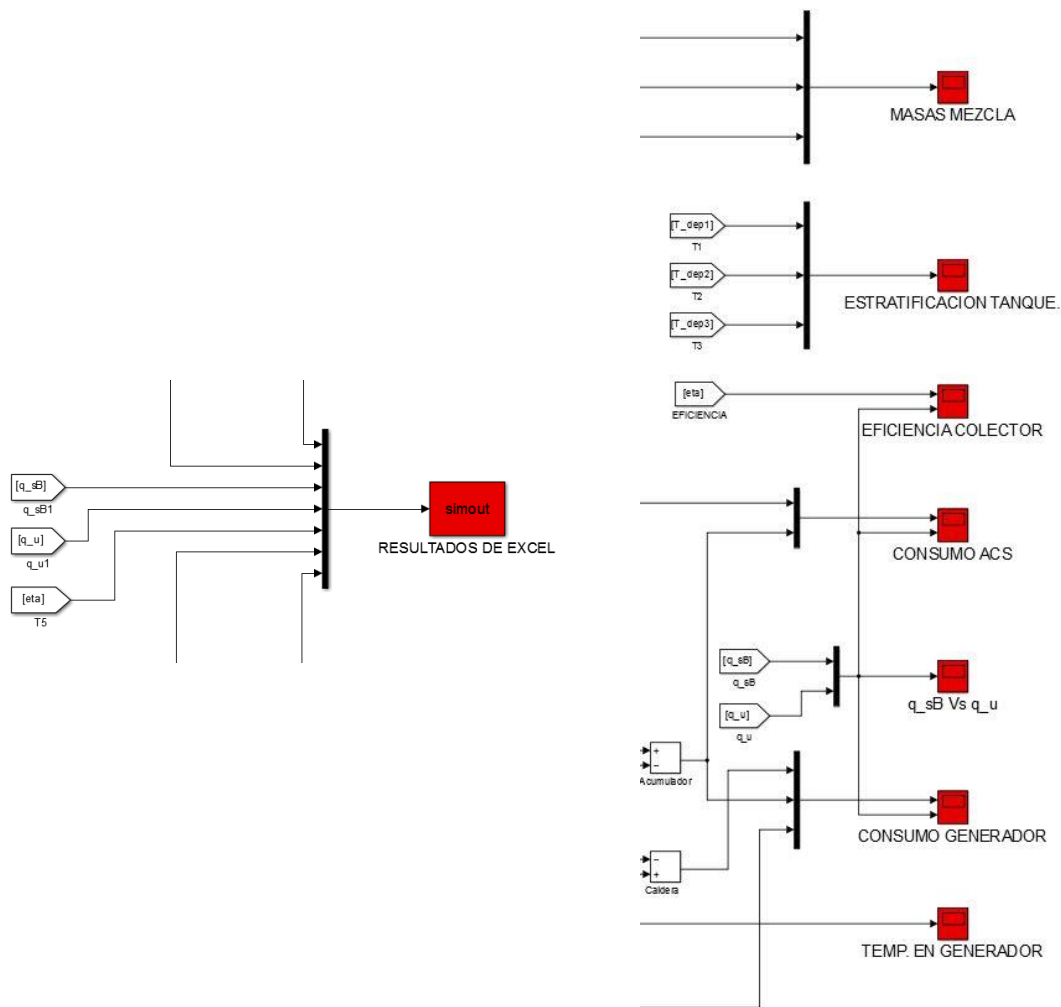
Figura 76. Estratificación del acumulador



Fuente: Autores

- Monitoreo de resultados:** Los resultados que se obtienen de la simulación son gráficos y datos que se pueden almacenar en una hoja de Excel, la figura 77 (a) muestra las matriz simout en que se almacenan estos datos por medio de un programa de matlab llamado “Res_simu” y en la figura 77 (b) los datos que se monitorean directamente desde el archivo Simulink.

Figura 77. (a) Exportación de resultados a una matriz en Matlab, (b) Monitoreo de resultados.



Fuente: Autores

9.5 ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Se deben tener en cuenta las siguientes aclaraciones:

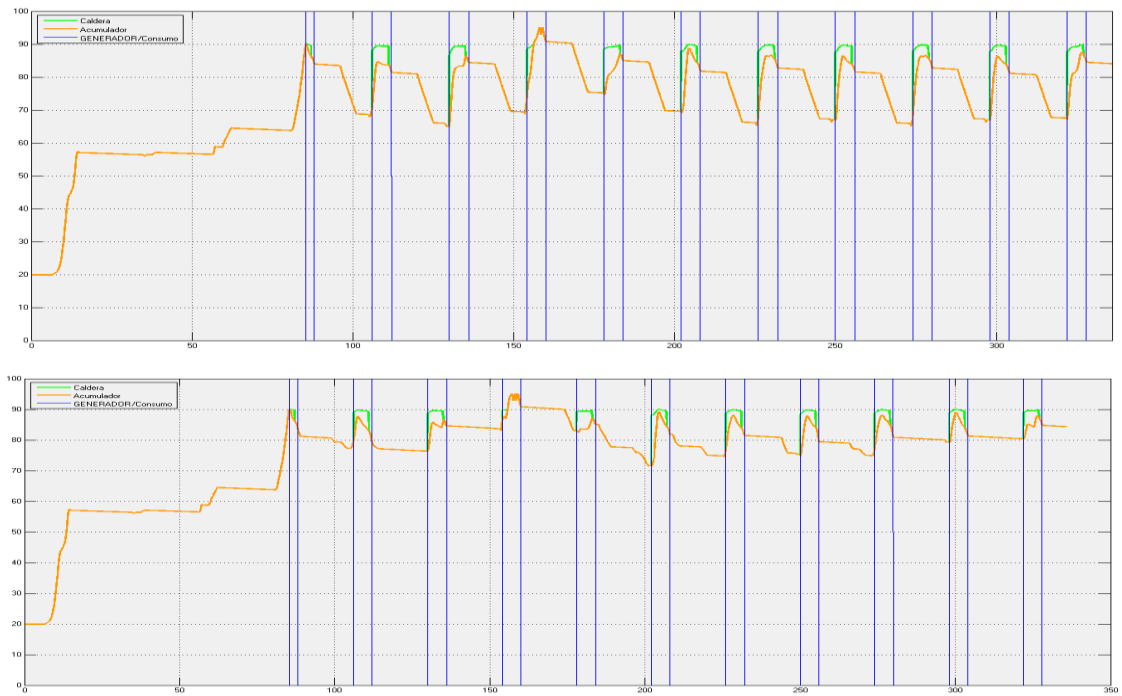
- La simulación se realizó con la variación de los parámetros meteorológicos en intervalos de 1 hora.
- Las unidades de longitud se manejaron en metros, los flujos están en kg/h, para la mayoría de los cálculos las temperaturas se manejaron en Kelvin, solo en los casos de monitoreo se hacen las conversiones a grados Celsius, las unidades de potencia se manejan en Vatios y el tiempo en horas, por esta razón la energía se manejó en Vatios por hora y no en Joule.

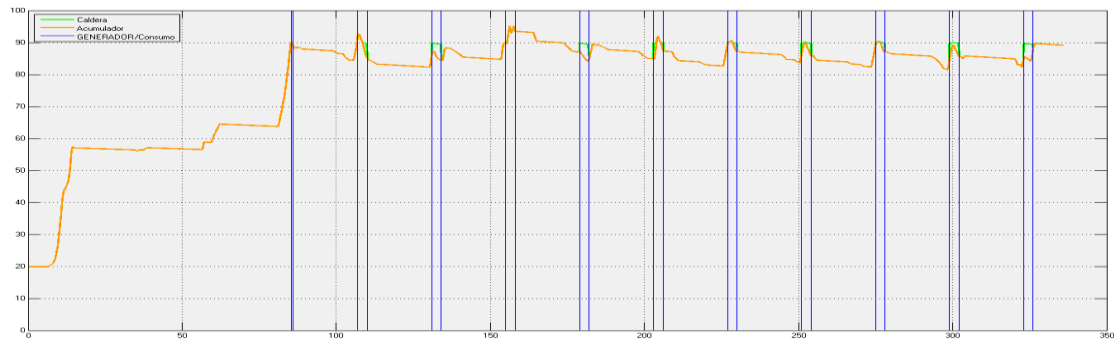
El modelo del sistema permite la variación de los parámetros, incluyendo el número de días a simular, para que los resultados se puedan visualizar mejor se modela los comportamientos térmicos durante 14 días en el mes de menor radiación del año (entre el 8 de noviembre y el 22 de este mismo mes). Es posible que algunas configuraciones de colectores y tanques de almacenamiento, no den buenos resultados para los tipos de consumos realizados, por esta razón se escogerán consumos críticos y se analizarán los resultados mediante las gráficas del comportamiento de las variables del proceso. Se escogieron $26 m^2$ de área de colectores de tubos de calor al vacío debido a que fueron los que más eficientemente se comportaron a las temperaturas altas en el sistema, es decir que su eficiencia a largo plazo es mejor que los demás colectores debido a que el sistema está por debajo de temperaturas de $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ solo en los primeros días de funcionamiento, el resto del tiempo está a temperaturas superiores. El tanque para la simulación fue escogido de 500 L inicialmente, sin embargo para obtener mejores resultados de la simulación fue más apropiada la simulación de un tanque más grande (1500 L).

9.5.1 Consumo del servicio de refrigeración.

En el caso del consumo para servicio de refrigeración se tiene en cuenta el uso continuo de la máquina de refrigeración por 6 horas durante el día para consumos máximo y variado, mientras que para consumos mínimos un funcionamiento continuo de 3 horas. La gráfica 78 muestra el consumo, la temperatura a la salida de la caldera en los casos de baja disponibilidad y la temperatura a la salida del depósito.

Figura 78. Comportamiento de las temperaturas de depósito y a la entrada de la máquina refrigeradora. (a) Consumo 500 L/día de ACS y 6 horas de refrigeración, (b) consumo variado ACS y 6 horas de refrigeración, (c) consumo 100 L/día ACS y 3 horas de refrigeración.





Fuente: Autores

La franja azul representa las horas en las que hay consumo por la máquina de absorción, mas no el valor de dicho consumo, ya que como se mencionó antes el consumo de calor en el generador es constante para las condiciones nominales de operación.

Se puede observar que se necesita tres días de carga del sistema y que si se presentan días nublados, casi no se hace aporte de calor útil al fluido. En los momentos en que se realiza el consumo, si la temperatura del sistema no se encuentra en el valor nominal de 90 °C, se debe hacer uso de la caldera elevando la temperatura mediante un control PI hasta este punto. Para el cuarto día de consumo en que la radiación es bastante buena no se necesita de mucho aporte de la caldera, sino en un corto lapso de tiempo. Se puede notar que el sistema repone la energía consumida por los diferentes consumos en solo un día, lo que es muy bueno, al evitar los gastos de energía fósil.

9.5.2 Consumo del servicio de ACS

En el caso del servicio de ACS consideramos un consumo máximo diario de 500 L en un transcurso de 5 horas, que puede llegar a ser el máximo volumen de agua caliente que se llegará a consumir en un día, este será un consumo de energía máximo al que se tendrá que enfrentar el sistema, un consumo mínimo de 100 L por día y un consumo variado, los consumos pueden ser de diferente

temperaturas para la aplicación que se desee (Tabla 4), por el momento para la simulación y el análisis de los resultados se escoge un consumo con una temperatura promedio de 60 °C.

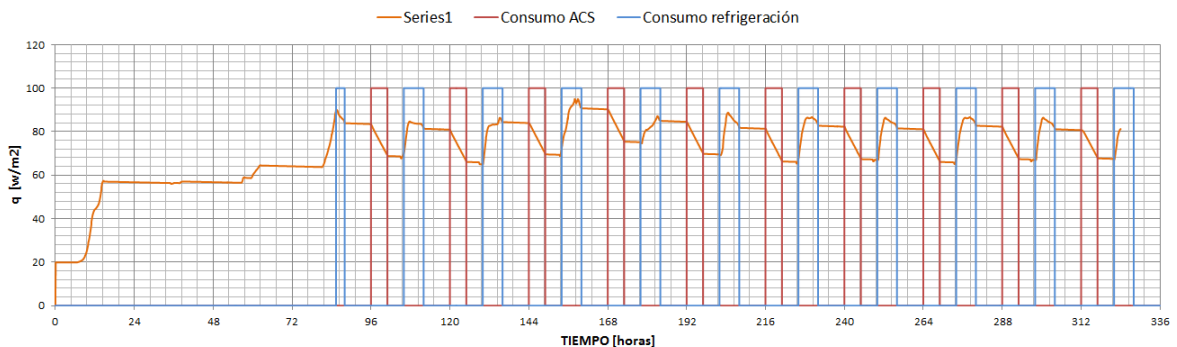
Tabla 4. Temperaturas para diferentes aplicaciones de agua caliente

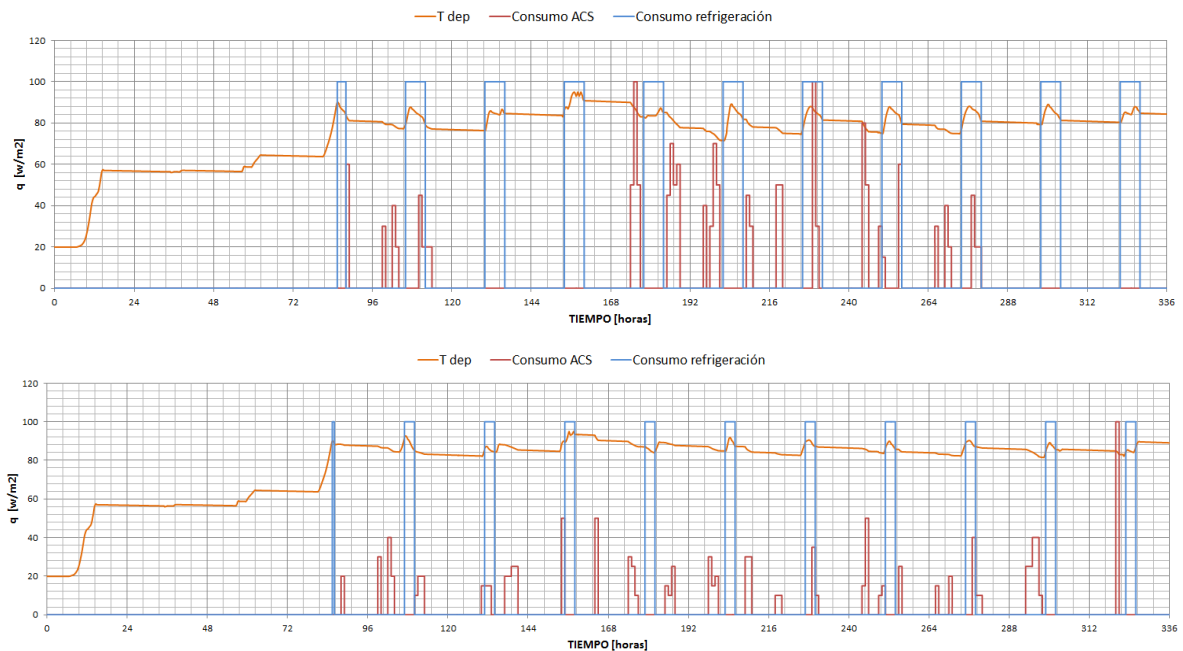
Aplicaciones	Temperaturas [°C]
Lavado	40 - 80
Secado	70 - 90
Refrigeración (Absorción)	90
Duchas	40
Calefacción	70
ACS	60

Fuente: Autores

Los consumos son a diferentes horas del día, aun en horas de la noche donde el sistema no tiene la posibilidad de reponer el calor consumido hasta el día siguiente en que se presente la radiación solar (Figura 79).

Figura 79. Consumos de ACS y temperatura de salida del depósito. (a) consumo 500 L/día de ACS y 6 horas de refrigeración, (b) consumo variado ACS y 6 horas de refrigeración, (c) consumo 100 L/día ACS y 3 horas de refrigeración.





Fuente: Autores

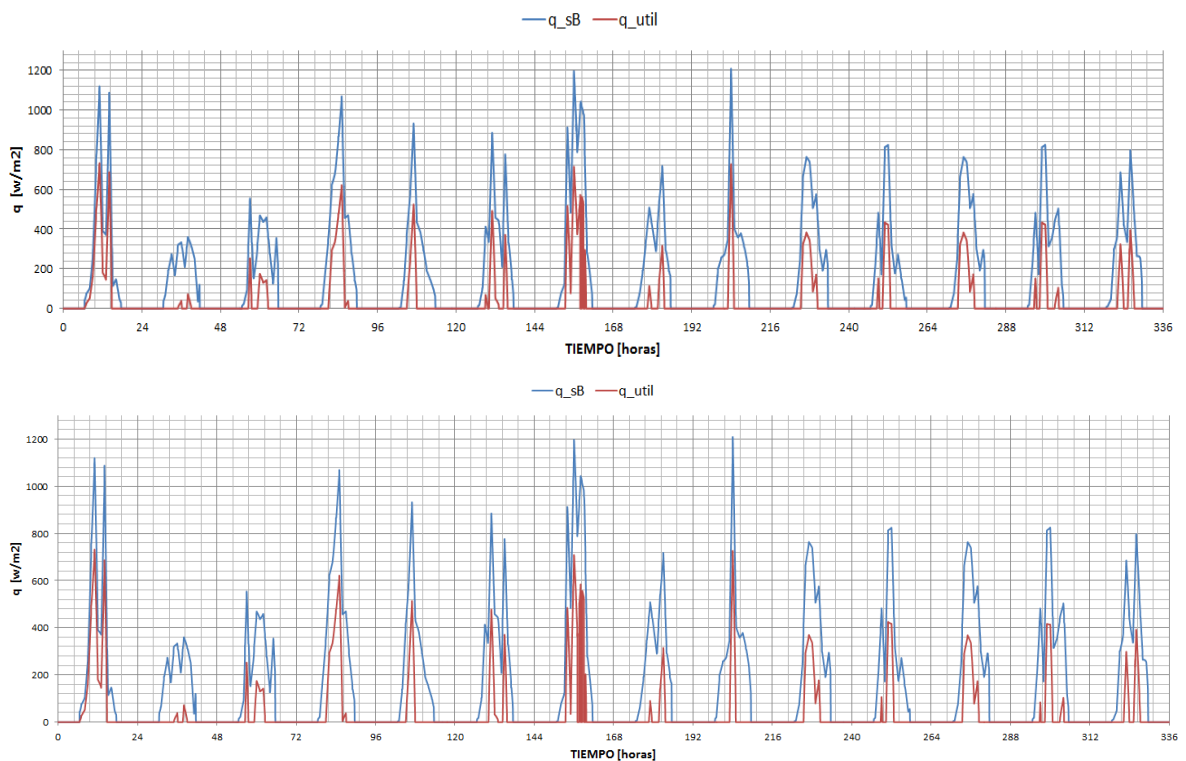
Podemos observar que los consumos para el servicio de ACS no se producen hasta que el sistema no está cargado completamente, y esto ocurre en el transcurso de tres días de radiación, lo que le permite llegar a una temperatura de 90 °C, que es la temperatura requerida en el generador de la máquina de absorción. Sin embargo una vez cargado el sistema, seguirá trabajando de ahí en adelante continuamente, soportando consumos máximos y reponiendo la temperatura del agua almacenada en solo un día de radiación.

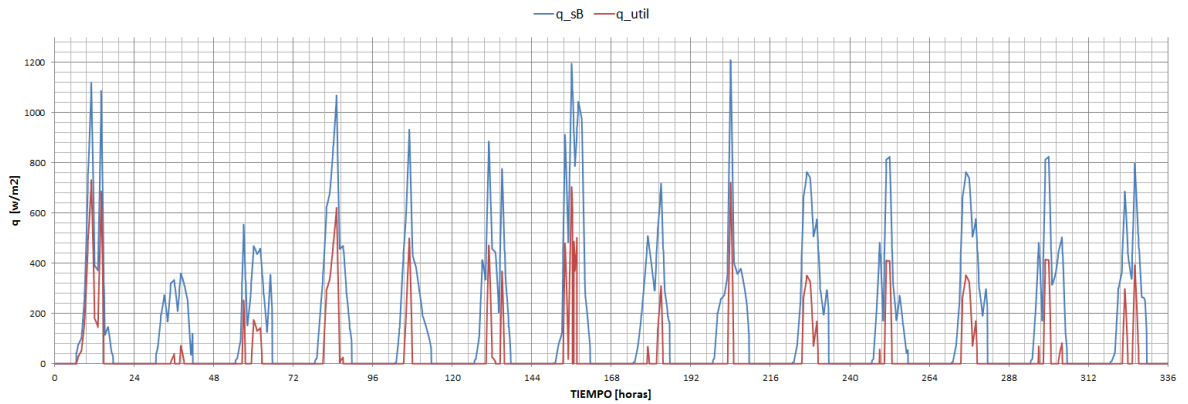
En la figura 78 además se notó que para los días nublados, debido al control on-off de encendido y apagado de las bombas, el sistema apaga las bombas para que la energía acumulada en el primer día, no se pierda por medio de las placas y debido a esto no se gana mucha energía solar. Esta es una situación que posiblemente se puede presentar al momento de hacer funcionar el sistema físico por primera vez. (Ver figura 81)

9.5.3 Calor irradiado Vs calor útil

Una comparación entre el calor de llegada por m^2 de colector y el calor aprovechado, es usada como indicador de la cantidad de calor aprovechado por el sistema de captación (Figura 80).

Figura 80. Comparación entre el calor irradiado y el calor útil. (a) consumo 500 L/día de ACS y 6 horas de refrigeración, (b) consumo variado ACS y 6 horas de refrigeración, (c) consumo 100 L/día ACS y 3 horas de refrigeración.

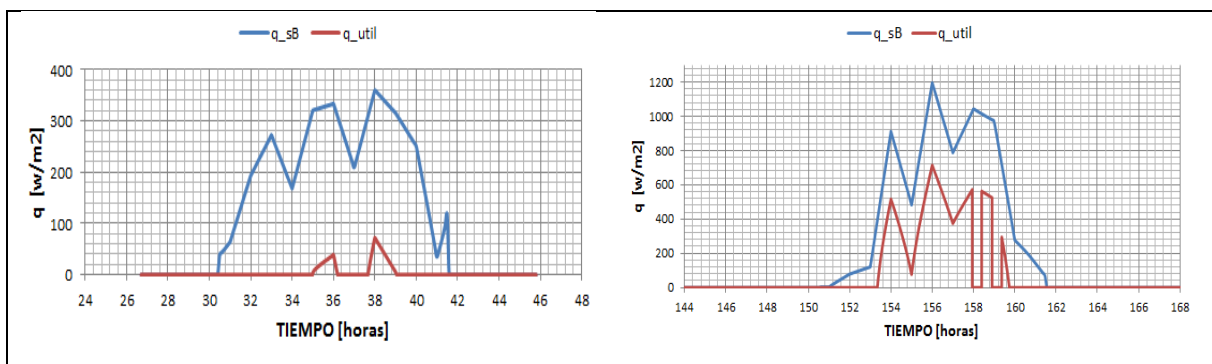


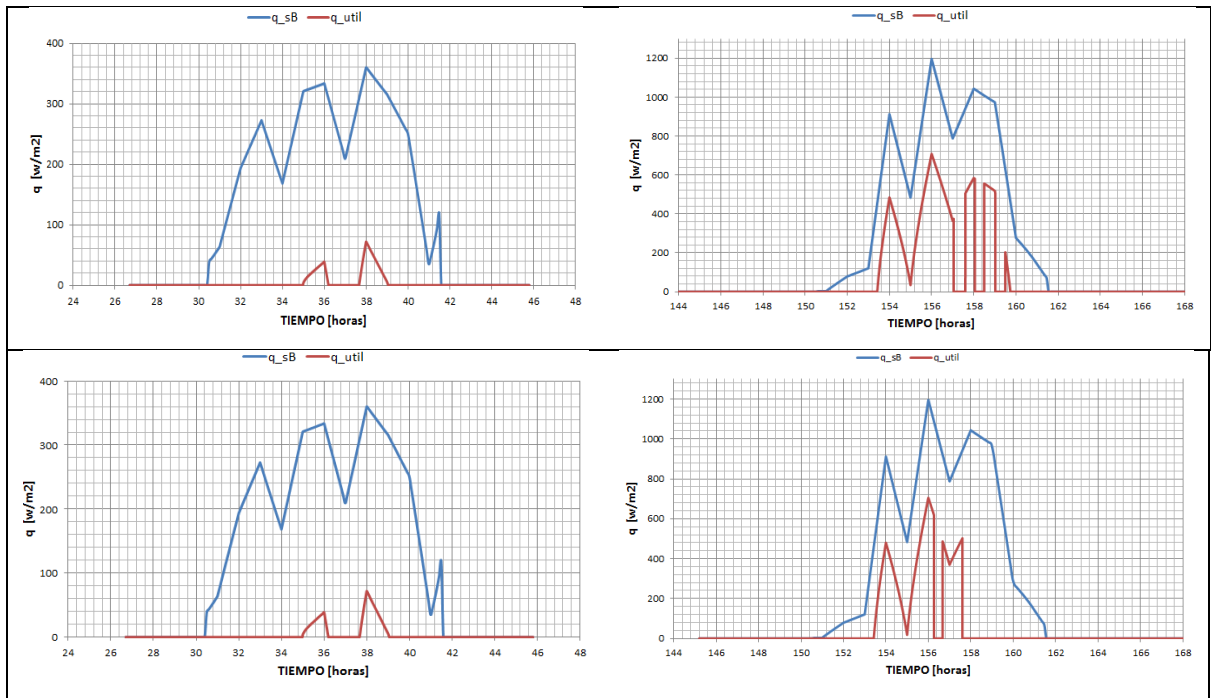


Fuente: Autores

Es posible notar la función del sistema de control al apagar las bombas, el calor útil es cero, esto se nota en el día 7, donde ocurre por el sobrecalentamiento del sistema debido a una buena radiación, en la figura 81 podemos observar un zoom del séptimo y segundo día para apreciar mejor la acción del control necesaria para hacer que la temperatura no supere los 95 °C. Los días 2 y 3 son prácticamente nublados y por esto las bombas se apagan para minimizar las pérdidas de calor, es por esto que en esos días no hay mucho calor útil aportado al agua.

Figura 81. Zoom del calor irradiado Vs calor útil para días de interés (2^o y 7^o). (a) consumo 500 L/día de ACS y 6 horas de refrigeración, (b) consumo variado ACS y 6 horas de refrigeración, (c) consumo 100 L/día ACS y 3 horas de refrigeración.





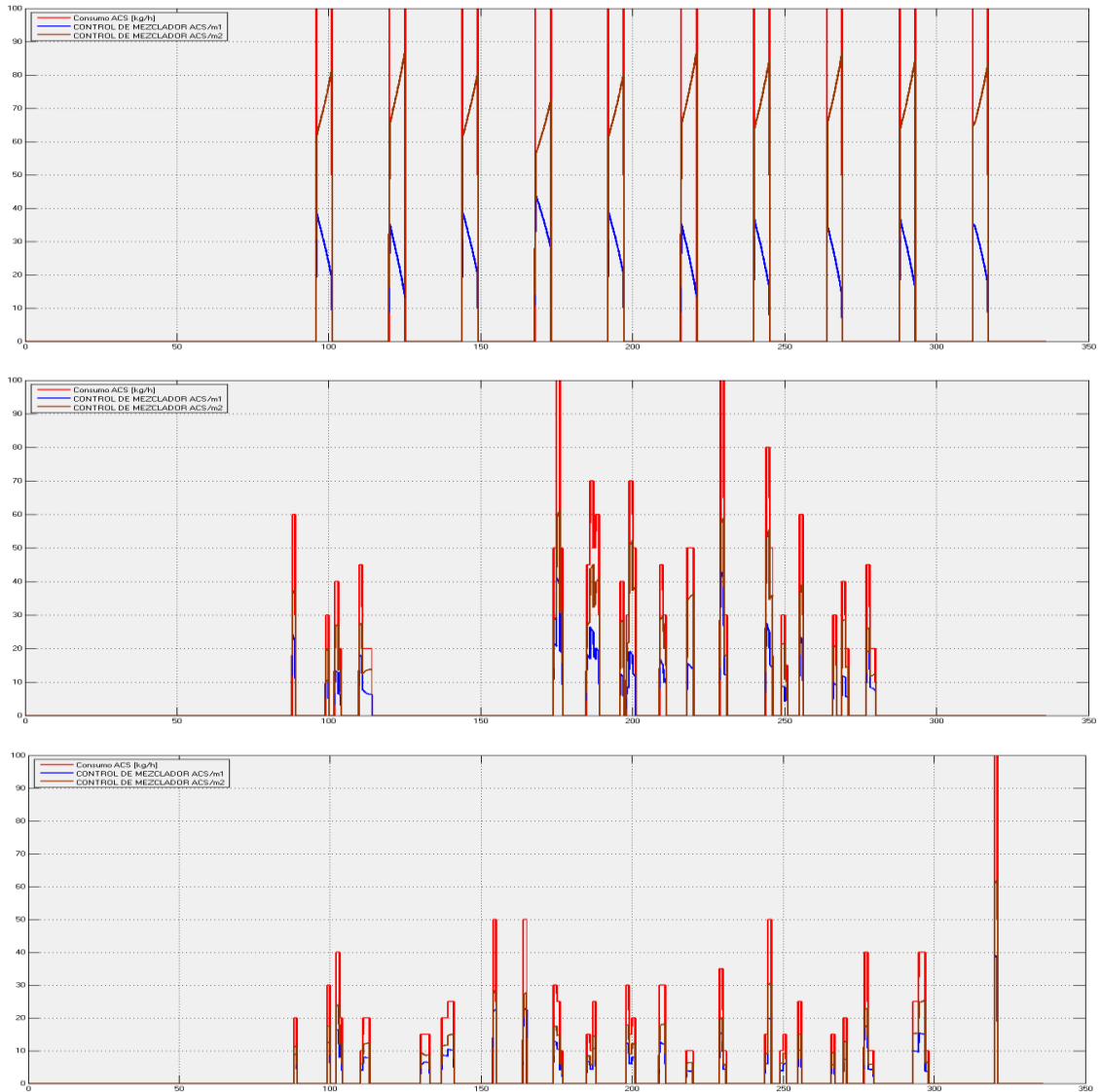
Fuente: Autores

Se estudia la posibilidad de disminuir el área de colectores para que no se desperdicie energía de esta forma, sin embargo en la simulación por el momento los tiempos en que se apaga las bombas por sobrecalentamiento, son muy cortos.

9.5.4 Flujos de entrada a la cámara de mezclado para el servicio de ACS

El agua del depósito casi siempre se encuentra a temperaturas más altas de los consumos de ACS, por esta razón se hace una mezcla con cierta cantidad de agua de la red hidráulica para obtener un flujo de consumo deseado a la temperatura especificada.

Figura 82. Flujos de entrada y salida de la cámara de mezclado para el servicio de ACS. (a) consumo 500 L/día de ACS y 6 horas de refrigeración, (b) consumo variado ACS y 6 horas de refrigeración, (c) consumo 100 L/día ACS y 3 horas de refrigeración.



Fuente: Autores

Se puede observar que mientras el flujo de agua proveniente del depósito \dot{m}_2 (marrón), aumenta debido al enfriamiento del tanque por el consumo, el flujo de la red hidráulica \dot{m}_1 (azul), disminuye para conseguir la temperatura deseada del

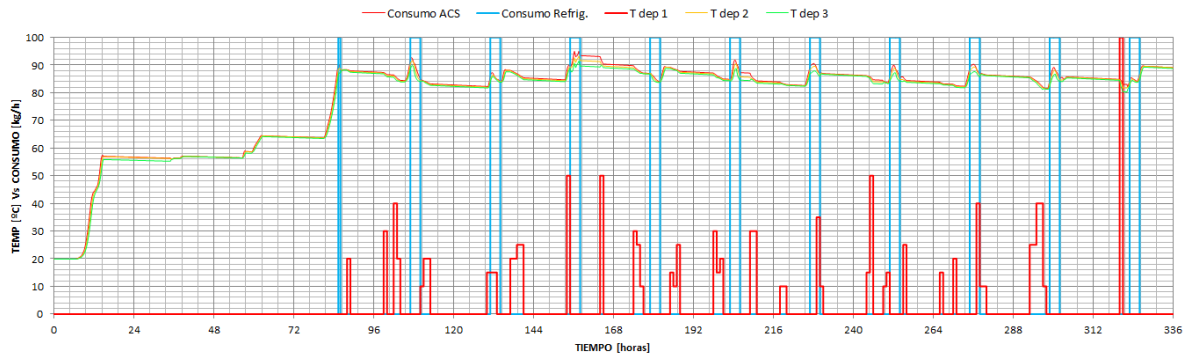
consumo \dot{m}_{ACS} (rojo). En este caso la temperatura promedio de consumo o referencia es de 60 °C.

9.5.5 Estratificación en el depósito acumulador

La estratificación en el depósito de 1500 L es posible notarla gracias al monitoreo de temperaturas en la parte superior, media e inferior del tanque donde las temperaturas están en grados Celsius.

Figura 83. Estratificación de temperaturas en el depósito. (a) consumo 500 L/día de ACS y 6 horas de refrigeración, (b) consumo variado ACS y 6 horas de refrigeración, (c) consumo 100 L/día ACS y 3 horas de refrigeración.





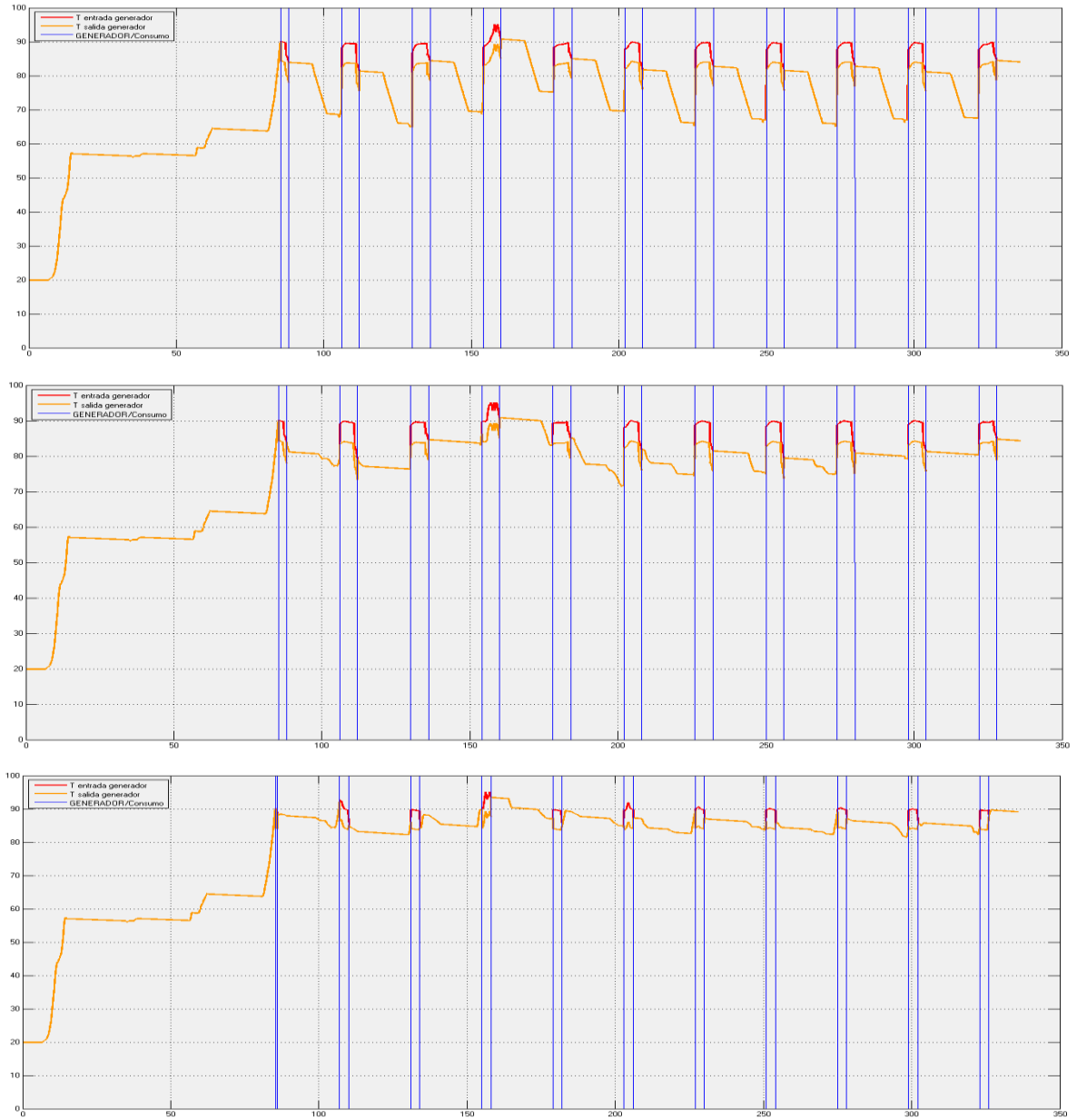
Fuente: Autores

Los flujos de los circuitos de consumos (secundario y terciario) hacen que esta estratificación se pierda (temperatura homogénea en todo el tanque), sin embargo estos consumos no son durante todo el tiempo y alcanza a notarse los efectos de la estratificación de temperatura gracias a la configuración geométrica del tanque.

9.5.6 Temperatura de entrada y salida del generador

Debido al consumo de energía en el generador, la temperatura del agua es 5.5° por encima de la temperatura a la salida donde regresa al acumulador y se vuelve a elevar la temperatura a 90°C con ayuda de la energía solar y la caldera en caso de que lo necesite.

Figura 84. Temperaturas en el depósito, a la entrada y salida del generador. (a) consumo 500 L/día de ACS y 6 horas de refrigeración, (b) consumo variado ACS y 6 horas de refrigeración, (c) consumo 100 L/día ACS y 3 horas de refrigeración.

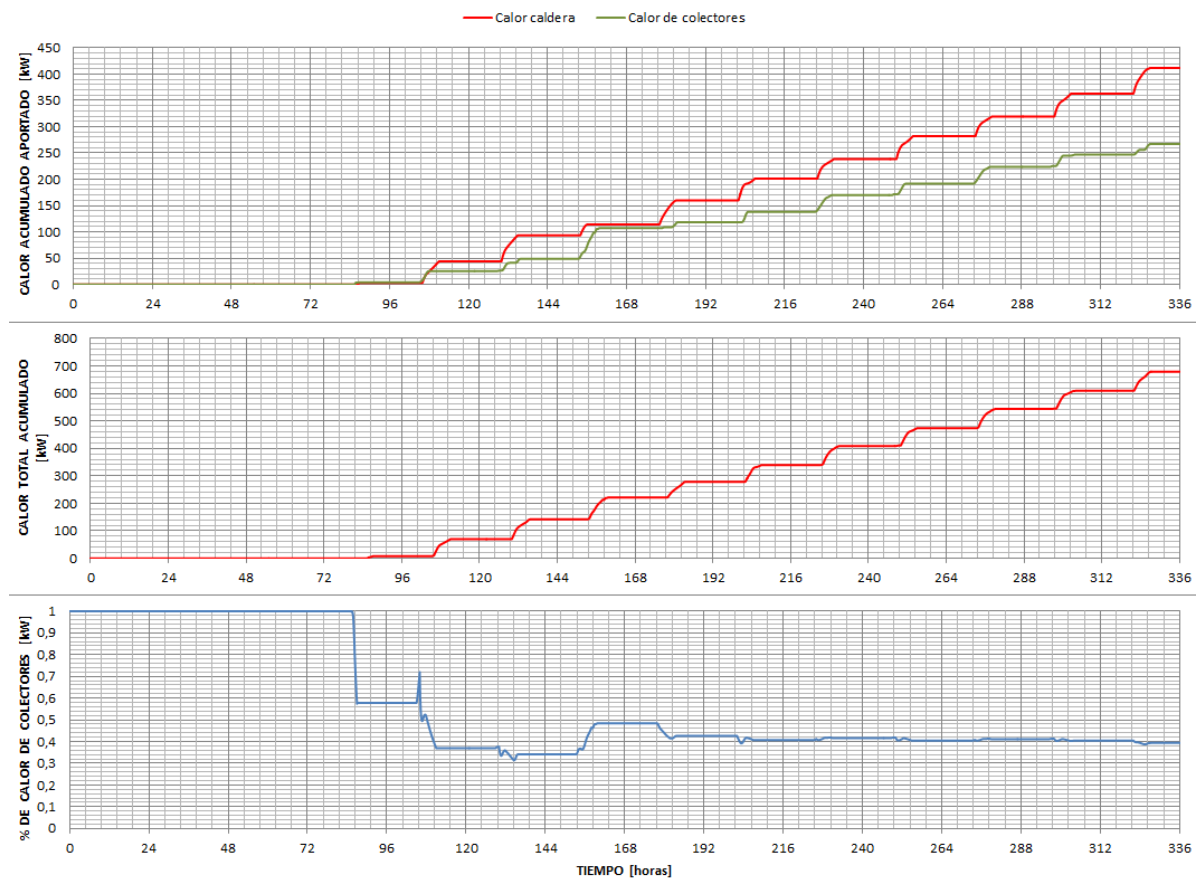


Fuente: Autores

9.5.7 Aportes de energía solar Vs aportes de caldera

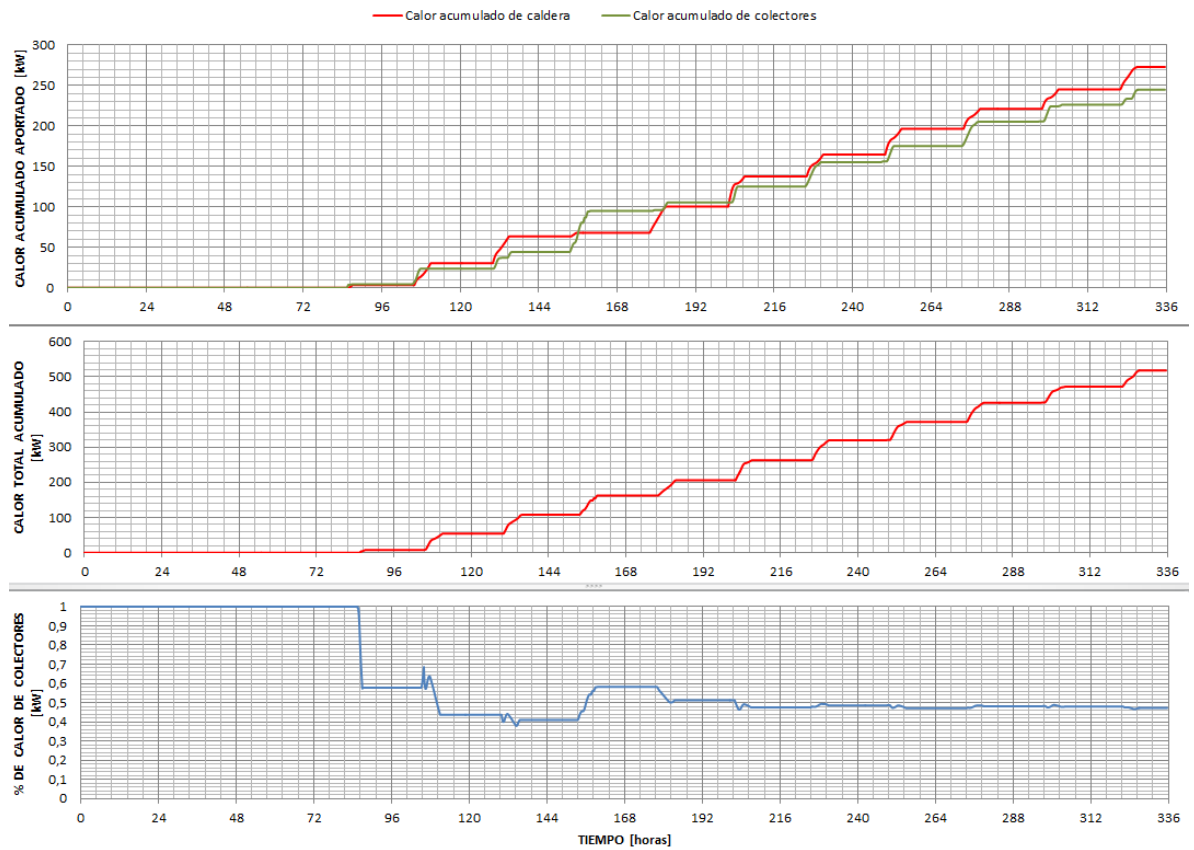
Podemos graficar el aporte acumulativo de la energía gratuita del sol Vs la energía adicional de la caldera, con respecto a esto se hace una relación para conocer el porcentaje de aporte de energía solar al final de los días simulados, figura 85,86 y 87. En este caso para ver el acumulado se modelan dos semanas (14 días) y se observa que el aporte solar es bastante considerable para los grandes consumos de ACS y refrigeración. No se tiene en cuenta el aporte solar en el periodo de carga del sistema para la comparación, solo se comparan en el momento en que comienzan los consumos.

Figura 85. Aportes de energía solar Vs aportes de calor en la caldera con consumo de 500 L/día.



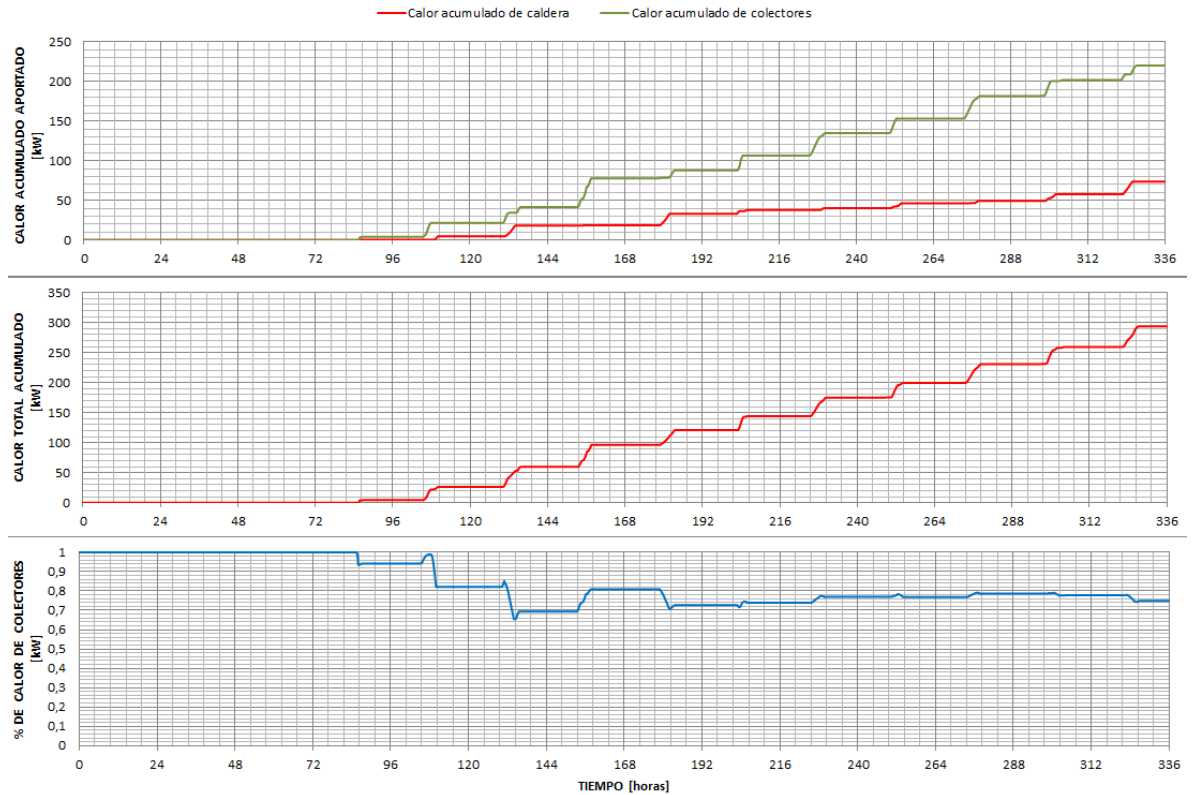
Fuente: Autores

Figura 86. Aportes de energía solar Vs aportes de calor en la caldera con consumo variado.



Fuente: Autores

Figura 87. Aportes de energía solar Vs aportes de calor en la caldera con consumo mínimo.



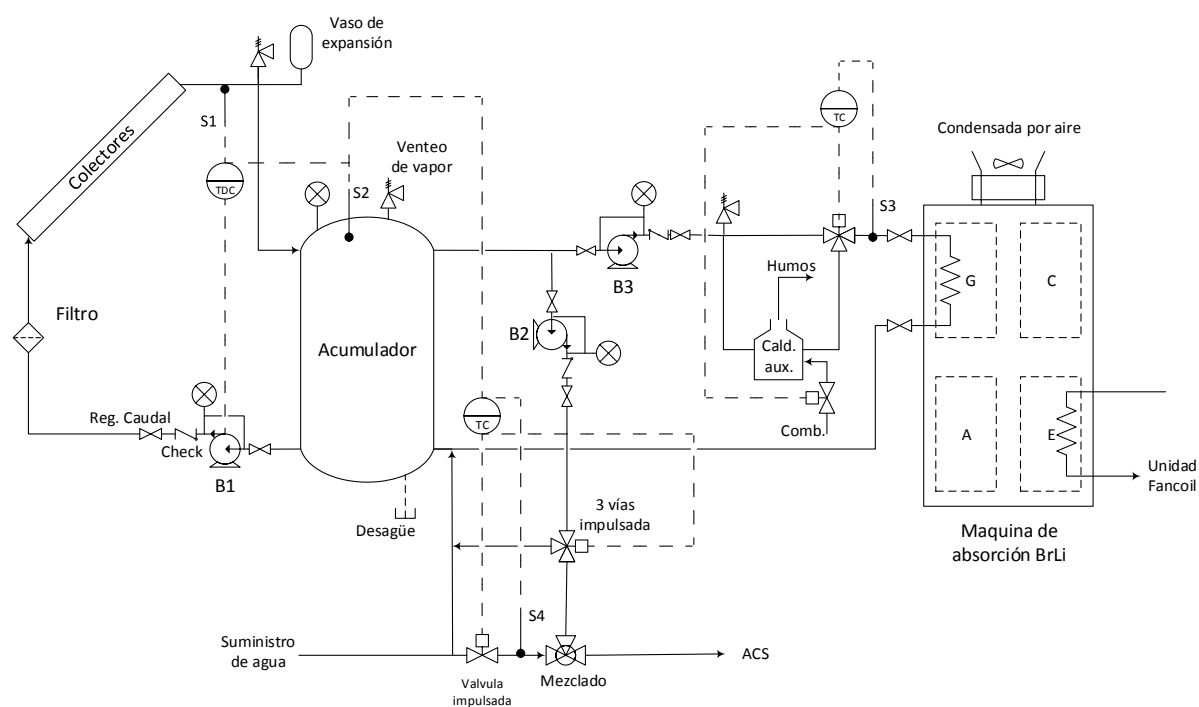
Fuente: Autores

El porcentaje de aporte de energía solar varía con la cantidad de la energía consumida, es por esto que los aportes están variando entre 40% y 80% para consumos máximos y mínimos respectivamente, lo que puede ser considerado para este diseño como un rango de trabajo muy bueno. Estos rangos del porcentaje de energía solar aportado al sistema pueden variar según el tipo de diseño.

10. INSTALACIÓN SOLAR

La finalidad de una instalación solar es la de cubrir la demanda de calor y temperatura de una determinada aplicación. El siguiente es el esquema de la instalación solar.

Figura 88. Instalación completa



Fuente: Autores

Está compuesta por tres circuitos:

El circuito primario: formado por un campo de colectores solares, una red de tuberías, un fluido térmico, una bomba (B1) y un tanque de almacenamiento.

La radiación solar incidente sobre los colectores se transforma en calor. Parte de este calor es aprovechado por el fluido que circula por su interior. La B1 impulsa el fluido del circuito primario a través de los colectores y del acumulador, donde se mezcla con el fluido del tanque de almacenamiento.

El circuito secundario: formado por los consumos de ACS y el agua de reposición al tanque de almacenamiento, una red de tuberías, un fluido térmico, una bomba (B2) y una cámara de mezclado.

La B2 impulsa el fluido desde el tanque de almacenamiento hasta la cámara de mezclado. En la cámara de mezclado, el fluido disminuye su temperatura al mezclarse con agua de la red hidráulica y el retorno de agua al tanque se hace directamente desde la red a condiciones ambientales.

El circuito terciario: formado por el tanque de almacenamiento, una red de tuberías, una bomba (B3) y el generador de la máquina de absorción.

La B3 impulsa el fluido caliente desde el tanque de almacenamiento hasta el generador de la máquina de absorción haciendo antes un desvío a la caldera en caso de que lo necesite.

Además de estos componentes principales, la instalación debe contar con otros elementos necesarios para el buen funcionamiento del conjunto.

- **Sistema de llenado:** Formado por una válvula (V. llenado), su función es la de llenar de fluido el tanque de almacenamiento con agua de la red a condiciones ambientales, en los momentos en que haya consumo o inicialmente cuando el tanque está vacío.
- **Vaso de expansión:** Su función es la de absorber la variación de volumen del fluido circulante causado por el aumento de su temperatura, con el fin

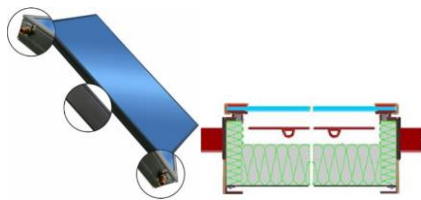
de evitar roturas en los componentes de la instalación, como consecuencia del aumento de la presión. Se instala uno en cada circuito.

- **Caldera auxiliar:** su función es el aporte de energía para baja disponibilidad de energía solar, se instala en el circuito terciario correspondiente al de la máquina de absorción y el acumulador.
- **Disipador de calor:** Es un aerotermo cuya función es la de disipar al exterior el calor en exceso que no va a ser utilizado por la aplicación.
- **Sistema de control:** Una centralita de control gestiona el arranque y la parada de las bombas de los circuitos para el mejor aprovechamiento de la energía.
- **Otros:** equipos de medición de temperatura y presión en los tres circuitos; filtros, para mantener limpios los circuitos; purgadores, para eliminar el aire de las tuberías; válvulas de corte para impedir el paso del fluido; válvulas de tres vías para distribuir los flujos que serán usados para consumos; válvulas anti-retorno para proteger los rodetes de las bombas de los golpes de ariete, y válvulas de sobrepresión.

10.1 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

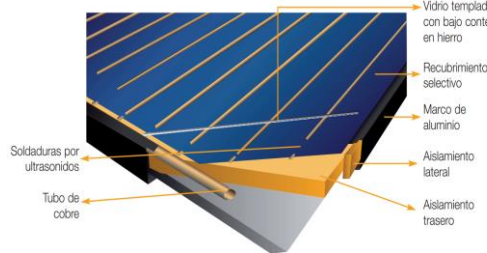
La siguiente tabla muestra las características principales de los equipos que fueron seleccionados y de los equipos alternativos que hicieron parte de la selección, para la instalación de la planta:

Tabla 5. Característica de los equipos seleccionados y equipos alternativos.

Sistemas	Equipos	Características
Captación	<p>Placa plana selectiva Sunsol Maxol - 2.85 S</p> 	<p>Captador solar térmico con tratamiento selectivo TiNOX, de montaje vertical, cubierta de vidrio solar endurecido, con placa y tubería de cobre, aislado por lana de roca y carcasa de aluminio.</p>

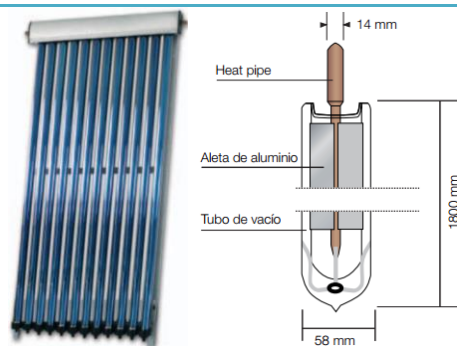
Placa plana selectiva Daitsu Advance

2.5



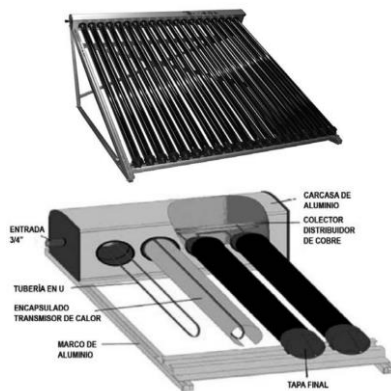
Placa de recubrimiento selectivo TiNOX y alto nivel de aislamiento térmico garantizan el mayor rendimiento. Cubierta de vidrio templado con bajo contenido de hierro, soldaduras por ultrasonido, con placa y tubería de cobre, aislado por lana de roca y carcasa de aluminio.

Colector de tubos de calor al vacío Daitsu Elite



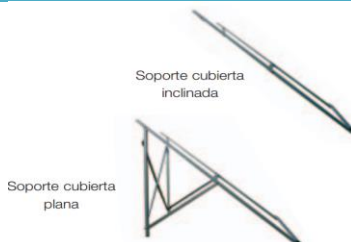
Rendimiento máximo, eliminación de pérdidas por convección gracias al vacío que se aplica a los tubos. Solución a instalaciones más exigentes. Funcionamiento independiente de tubos en cristal de borosilicato, con aleta interna de aluminio, tubería de cobre, aislado por lana de roca y carcasa de aluminio.

Colector de tubos en U al vacío Ecosol AKU 20



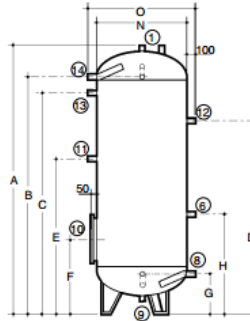
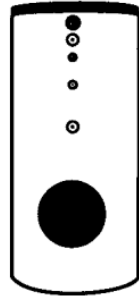
En cada tubo de vacío hay una tubería en U de flujo directo conectado como el resto de colectores tubulares al circuito primario. Esta tubería en U está en contacto con una aleta de aluminio transmisora de calor en el interior del tubo de vacío que transmite el calor desde el interior del tubo hacia la tubería en U. Capa difusora altamente selectiva, tubería de cobre, recubrimiento de porexpan y carcasa de aluminio.

Soporte de colector



Soportes diseñados para captadores térmicos. Fabricados en aluminio, con tratamiento superficial anodizado (según norma Qualanod) y tornillería en acero inoxidable.

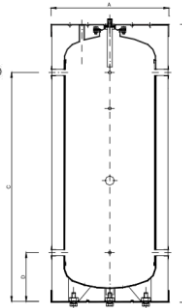
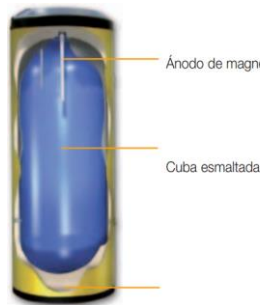
**Acumulador solar de inercia AS 1500 -
IN E**



Modelo de instalación vertical sin serpentín de alta estratificación, de acero esmaltado con incorporación de protección por ánodo de sacrificio de magnesio e indicador de su estado, dispone de un registro para inspección y limpieza (Boca de hombre), que es de diámetro DN400 e incorpora aislamiento térmico exterior de poliuretano.

Almacenamiento

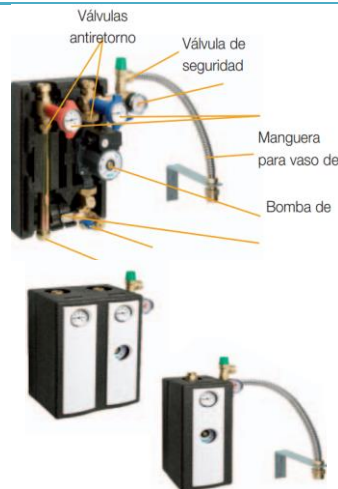
**Acumulador solar inercia Daitsu
Acusol 1000**



Modelo de instalación vertical sin serpentín de alta estratificación, con cuba esmaltada de doble capa, revestimiento vitrificado y ánodo de magnesio que protegen contra la corrosión, dispone de un registro para inspección y limpieza (Boca de hombre), que es de diámetro 400 mm e incorpora aislamiento térmico exterior de poliuretano expandido.

**Grupo hidráulico de circuito primario
(B1) Daitsu GH 40 y (B2-B3) Daitsu GH
20**

**Circuito
hidráulico**



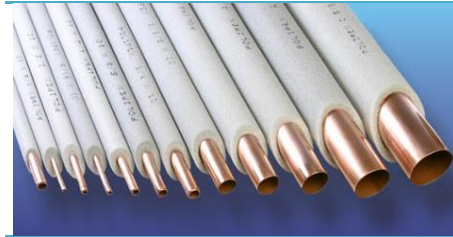
El grupo hidráulico incorpora los equipos de control del circuito hidráulico, entre los cuales se encuentran; la bomba solar de circulación de flujo, válvulas antirretorno, válvula de seguridad para el alivio de la presión, manguera para el vaso de expansión, grifos de llenado y vaciado, carcasa aislante, válvulas de corte con manómetros, termómetros, reguladora de caudal y caudalímetro.

Tubería de cobre de 1"



Tubería de cobre, debido a su compatibilidad con el fluido de trabajo, a su gran resistencia a la corrosión atmosférica y acuosa, su alta resistencia al cambio de temperaturas, y a su sencillez y fiabilidad de montaje mediante uniones.

Aislamiento térmico de polietileno expandido de 20 mm



Termoplástico usado como aislante térmico para agua caliente y refrigeración, de baja densidad, duradero, no tóxico, resistente a bacterias, químicos, grasa y moho; absorbe impactos, sonido, golpes y vibraciones.

Vaso de expansión Daitsu VE 80



Recipiente hermético de acero de 80 L de capacidad, con dos compartimentos separados por una membrana elástica. En uno de ellos existe gas a presión y al otro llega el agua del circuito.

Otros



Válvulas de zona motorizadas de 2 y 3 vías de 1" para instalaciones en general, con tapón obturador para la tercera vía en caso de que se quieran solo 2 vías. Presión máxima de trabajo 10 bares y temperatura máxima de trabajo 110 °C.

Máquina de refrigeración por absorción Rotartica 045 v

Refrigeración



Máquina de absorción rotativa de BrLi accionada por agua caliente, de pequeño tamaño, sin uso de torre de enfriamiento e instalación exterior. La absorción tiene lugar en un sistema de simple efecto donde se logra una potencia de enfriamiento nominal de 4.5 kW (de 2 kW a 8 kW según condiciones) con un COP de 0.7. Incluye el aerotermo para la disipación de calor y dos bombas para el circuito de frío y de disipación de calor.

<p>Energía auxiliar</p>	<p>Caldera de paso continuo para flujo máximo 20 kg/s y 25 kW</p> 	<p>Su diseño compacto permite que Baxi EcoBlue se puede montar en los hogares donde el espacio puede ser un bien escaso y con flujo máximo permitido de 20kg/s es la caldera más ligero disponible. Garantía de 5 años, eleva temperaturas hasta 93 °C con eficiencia nominal de 90 %.</p>
<p>Control</p>	<p>Control diferencial de temperaturas</p> 	<p>La centralita tiene 3 sondas de temperatura (colector solar, depósito acumulador y caldera auxiliar) y 3 relés. La bomba se activa o desactiva dependiendo de la diferencia entre la sonda del colector (S1) y la sonda del depósito (S2) además de cuando estas exceden de un determinado valor. Un relé controla la caldera con la sonda 3, aportando el calor necesario cuando el colector solar es insuficiente.</p>

Fuente: Autores

10.1.1 Campo de colectores

El colector es el componente principal de la instalación solar. Es el que transforma la energía procedente del Sol en energía térmica que posteriormente será utilizada para el proceso. En función de la temperatura demandada por la aplicación, se utilizará un determinado tipo de colector. Los colectores planos alcanzan temperaturas de 90°C, los de vacío (baja concentración) pueden llegar a 150°C y los de media concentración 300°C.

El área total del campo de colectores determina la fracción solar que es capaz de ofrecer la instalación. Pretender cubrir el 100% de la demanda para todo el período estacional puede suponer un sobredimensionamiento de la instalación, con la penalización económica que eso supone, y un derroche de energía en aquellos días que poseen mucha radiación y poca demanda térmica. Por otro lado,

el proyectar un campo solar con insuficiente área de colectores puede suponer no cubrir la demanda básica y requerir sistemas convencionales de apoyo. Por tanto, se ha de llegar a una solución de compromiso.

El modelo de la instalación permite escoger entre colectores del tipo placa plana selectiva marca Daitsu Advance 2.5, Sumsol Maxol - 2.85 S, colectores al vacío marca Daitsu tubos de calor Elite 1.9 y tubos en U Ecosol AKU 20.

10.1.2 Fluido térmico

El agua es el fluido que mejores propiedades tiene para la transferencia de calor, y ya que no debe soportar temperaturas por debajo de cero, no necesita anticongelantes, por esta razón se ahorra el uso de intercambiadores de calor que aíslan el flujo del colector con el flujo del depósito.

El caudal nominal del circuito primario va desde 25 L/h *m² hasta 52 L/h*m² dependiendo del tipo de colector seleccionado. El caudal nominal de los circuitos secundario y terciario ha sido especificado como 1000 L/h debido a especificaciones de los equipos.

10.1.3 Tanque de almacenamiento

Su función es la de almacenar el calor procedente de los colectores solares para su utilización en los períodos en los que exista carga térmica. En función de si el fluido en el interior del tanque presenta diferencias de temperatura o no, se dice que el tanque está estratificado o que se encuentra mezclado. La estratificación térmica se produce por la diferencia de densidades del fluido como consecuencia de la diferencia de temperatura. Además de la diferencia de densidades, hay otros factores que también influyen en la estratificación, como pueden ser la localización y geometría de las entradas y salidas de líquido, el caudal volumétrico, la relación entre el diámetro y la altura del tanque o las diferencias de

temperatura entre el caudal de entrada y el de salida (Shah et al., 2003). La investigación sobre la estratificación térmica en los tanques ha sido intensamente estudiada desde los años 70 (Lavan y Thomson, (1977), Cabelli, (1977), Viskanta et al., (1977), Wood et al., (1981)). Algunos investigadores (Van Koppen et al., (1979); Furbo y Mikkelsen, (1987), Kenjo et al., (2007)) demostraron que mediante la estratificación del tanque, la temperatura de entrada al colector podía ser más baja y aumentar su eficiencia, así como la eficiencia de toda la instalación.

En esta instalación se ha optado por utilizar un tanque con estratificación. El tanque utilizado es un acumulador cilíndrico de $1.5 m^3$ sin serpentín de inercia marca SOLAR AS 1500-INE. Tiene un diseño que le aporta una óptima estratificación mientras su esmaltado y ánodo de magnesio le protegen contra la corrosión.

10.1.4 Tuberías

El material utilizado para las tuberías de los tres circuitos hidráulicos ha sido cobre, debido a su compatibilidad con el fluido de trabajo, a su gran resistencia a la corrosión atmosférica y acuosa, su alta resistencia al cambio de temperaturas, y a su sencillez y fiabilidad de montaje mediante uniones. Como parámetro de diseño se estableció que la velocidad del fluido por el interior de los circuitos no superara $1.2m/s$ debido a que a temperaturas superiores a $60\text{ }^{\circ}C$ el agua se vuelve altamente corrosiva. Por tanto, teniendo en consideración esta condición, se utilizaron tuberías con diámetro de 1".

Otro aspecto importante es el aislamiento térmico de las tuberías. El RITE establece un espesor mínimo en función de la temperatura máxima del fluido que circula por el interior de la tubería, de su diámetro exterior, así como de su localización, interior o exterior. Este espesor de 20 mm mínimo es válido para

materiales con una conductividad térmica de 0,04 W/m*K, se espera tener temperaturas de superficie en el aislante de tubería menores a los 30 °C.

Por otro lado, para evitar pérdidas de carga y de calor en los conductos, la longitud de las tuberías se ha hecho lo más corta posible dada la ubicación del campo de colectores y el edificio a climatizar. El circuito primario tiene una extensión aproximadamente inferior de 54 m, el secundario de 30 m aproximadamente y el terciario de 50 m.

10.1.5 Bombas

Para la elección de las bombas, hay que tener en cuenta tanto la curva de carga de la instalación como la curva de carga de la bomba. Además, han de ser resistentes a la corrosión y aguantar las altas temperaturas de los fluidos en los circuitos. Las bombas B1, B2 y B3 se utilizan para impulsar el fluido por los circuitos primario, secundario y terciario respectivamente. Son bombas centrífugas en línea de rotor húmedo de la marca Daitsu. La B1 hace parte de un grupo hidráulico GH 40 para la cantidad de área de captación inferior a 40 m², en caso de que se seleccione área de captación menor a 20 m² se recomienda el grupo hidráulico GH 20 con control de temperatura de ida y vuelta, la B2 y la B3 son modelo GH 20 con reguladora de caudal de hasta 16 L/min. Se han colocado válvulas de corte en cada impulsión y en cada descarga para facilitar su mantenimiento y posible cambio. También se ha instalado un filtro en cada aspiración para evitar posibles oclusiones y válvulas anti-retorno para evitar flujos en sentido contrario que puedan dañar los rodetes.

10.1.6 Vasos de expansión

En la instalación solar se cuenta con 1 vasos de expansión. Para el circuito primario el tipo VE 80. Con capacidad de 80 L y temperatura máxima de 110 °C. La selección se hizo basada en unos pequeños cálculos.

Para determinar el volumen del vaso de expansión se comienza calculando la temperatura media del agua en la instalación, que será:

$$T_m = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad [74]$$

Con este dato acudimos a la tabla 6 para determinar el coeficiente de dilatación.

Tabla 6. Coeficientes de dilatación en función de la temperatura máxima de servicio

Tmax	Fd	Tmax	Fd	Tmax	Fd
10	0,0004	60	0,0171	90	0,0359
20	0,0018	70	0,0228	95	0,0396
30	0,0044	75	0,0258	100	0,0435
40	0,0079	80	0,0290	110	0,0515
50	0,0121	85	0,0324	120	0,0603

Fuente: Scribd. Calculo vaso de expansión. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/75858749/Calculo-Vaso-Expansion>

Cuando el gas ejerce la presión P_{min} , ocupa el volumen total del vaso V_v , mientras que cuando ejerce la presión P_{max} , ocupa el volumen $V_v - \Delta V$, siendo:

$$\Delta V = f_d V_i \quad [75]$$

Dónde:

ΔV : Volumen de expansión máxima experimentado por el agua a la temperatura de servicio.

V_i : Volumen de agua de la instalación cuando la temperatura del agua es la más baja.

El contenido en litros en las tuberías se muestra en la tabla 7 según el diámetro de la tubería.

Tabla 7. Contenido de las tuberías por cada metro lineal en función del diámetro.

Diámetro (pulgadas)	Diámetro (mm)	Contenido (l/metro lineal)
3/8"	10/12	0,128
1/2"	14/16	0,213
3/4"	20/22	0,380
1"	26/28	0,602
1"1/4	33/35	1,040

Fuente: Scribd. Calculo vaso de expansión. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/75858749/Calculo-Vaso-Expansion>

Se calcula los valores absolutos de la máxima presión que se puede dar en la instalación y de la presión mínima (debida a la presión de la columna de agua determinada por la distancia entre el punto más alto y más bajo de la instalación):

P_{max} : Presión de la válvula de seguridad + Presión atmosférica

P_{min} : Presión debida a la columna de líquido + Presión atmosférica

Se debe recordar que 12 metros de distancia entre el punto más alto y más bajo suponen 12 m.c.a o lo que es lo mismo 1.2 bar)

$$V_f = \frac{P_{max}}{P_{max} - P_{min}} \Delta V \quad [76]$$

A la hora de escoger el vaso de expansión comercial se debe escoger uno que tenga una capacidad inmediatamente superior al obtenido en los cálculos.

10.1.7 Sistema de control

Se ha utilizado un control con diferencial de temperaturas para el control de las bombas del circuito primario.

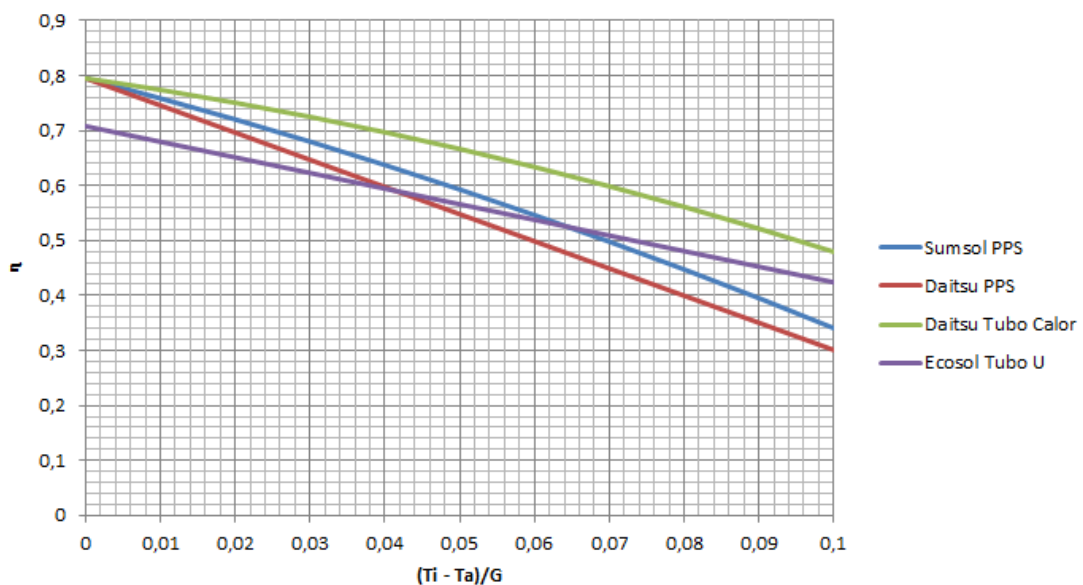
10.1.8 Otros componentes

Se han instalado válvulas de seguridad. Estas válvulas se suelen tarar a presiones inferiores a la presión máxima que pueda soportar el componente más delicado de la instalación.

11. CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema a unas condiciones específicas en las cuales funciona de una manera eficiente.
- Los colectores de placa plana selectiva propuestos tienen buen comportamiento a temperaturas menores de 70 °C, siendo útiles principalmente para aplicaciones de ACS. Debido a que la máquina principal de la refrigeración (Rotartica) exige una temperatura en el generador de 90 °C y pierde un delta de temperatura pequeño a la salida del generador, el acumulador estará siempre operando a temperaturas entre los 70 - 90 °C, para lo cual con esta temperatura los colectores de tubos de calor al vacío serían más eficientes.
- Para la refrigeración el cambio de colectores a tubos al vacío fue la mejor opción, debido a que estos colectores mantienen una mejor eficiencia a temperaturas elevadas, se puede observar en una gráfica comparativa de las eficiencias de los colectores a una radiación constante de 1000 W/m^2 (Figura 79).

Figura 89. Comparación de la eficiencia de los distintos colectores.



Fuente: Autores

- Otra forma de seleccionar los colectores aparte del criterio de la eficiencia es por la relación del costo de los colectores por metro cuadrado de captación (Tabla 5).

Tabla 8. Relación de costo Vs área de colector.

Tipo de colector	Costo de 1 colector [€]	Área de absorción [m ²]	Relación (Costo/Área)
Daitsu Selectivo	595	2,3	258,70
Daitsu Tubo Calor	725	0,96	755,21
Ecosol Tubo U	797	2,03	392,61

Fuente: Autores

- El tanque de almacenamiento que se propuso desde el principio se debe cambiar, debido a que el consumo de agua caliente para el sistema de refrigeración es elevado, también para obtener una buena inercia térmica (que no se sufra sobrecalentamiento ni bajones de temperaturas muy bruscos en los momentos de consumos), en la cual se almacene la energía a la temperatura específica para el sistema de refrigeración.
- El sistema es eficiente y puede llegar a cubrir alrededor del 60% de la energía necesaria total para que cumpla con sus objetivos, los sistemas generalmente se deben diseñar para estas proporciones si se quiere un ahorro ya que buscar cubrir toda la demanda sería muy costoso y resultaría un desperdicio de energía cuando no haya consumos o sean muy pequeños.
- La máquina Rotartica consume mucha energía (tanto térmica como eléctrica) para producir alrededor de una tonelada de refrigeración, sin embargo el sistema funciona bien y se espera que para máquinas de absorción de mayor potencia, trabajen más eficientemente. El modelo de una máquina de mayor potencia se deja para aquellos interesados en continuar el estudio del aprovechamiento térmico de la energía solar mediante el presente proyecto de grado.

12.RECOMENDACIONES

- Se recomienda para el sistema físico aumentar el tamaño del acumulador térmico a 1500 L para obtener una mejor inercia térmica, con esto se logra obtener una buena estratificación dentro del acumulador debido a su diseño.
- Se recomienda para el sistema físico cambiar el tipo de colectores térmicos de placa plana selectiva al de tubos al vacío, debido a su mejor eficiencia para rangos de temperaturas entre 70 y 90 °C.
- Se recomienda que la selección de la máquina de absorción BrLi-H₂O de baja potencia sea condensada por aire, debido a que las maquinas condensadas por agua solo se tienen para aplicaciones de uso industrial y en este sistema se necesitaba de una máquina de absorción para aplicaciones residenciales.
- Se recomienda buscar una utilidad en donde se aproveche el recurso de agua caliente, donde su inversión puede estar ajustado a sus necesidades, también para el sistema de refrigeración en donde se pueda utilizar refrigeración por absorción de mayor potencia o con máquinas de doble efecto.
- Se recomienda que la instalación tenga una longitud de tubería lo más corta posible, para evitar pérdidas de carga y de calor en los conductos.
- Se recomienda instalar el sistema de captación en un lugar donde no haya interferencia de los rayos del sol, con un ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar donde se instala el sistema de aprovechamiento térmico.
- Se recomienda al momento de hacer funcionar la instalación por primera vez, se haga espera de los días de carga necesaria para que el tanque acumulador consiga la temperatura de operación establecida a 90 °C, una vez conseguida esta temperatura el sistema se puede poner a funcionar de forma continua.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, E. E., *Fundamentals of Solar Energy Conversion*, Addison-Wesley, Reading, MA (1982).
- Anderson, B. *Solar Energy: Fundamentals in Building Design*. McGraw-Hill, New York. 1977.
- Bannister, J. W., *Solar Radiation Records*, Division of Mechanical Engineering, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia (1966–1969).
- BONILLA, Andres David y CACERES, Sergio Augusto. *Diseño y Construcción de un Sistema de Calentamiento de Agua para uso Residencial por Energía Solar*. Trabajo de grado, Ingeniería Mecánica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad físico mecánica, escuela Ingeniería Mecánica, 2014, 258 p.
- Buhrman, R. A., in *Advances in Solar Energy*, Vol. 3 (K. Boër, ed.), American Solar Energy Society, Boulder, CO, p. 207 (1986). “Physics of Solar Selective Surfaces.”
- *Catalogo Productos Sumsol. Energía Solar Térmica*. Madrid. Septiembre, 2009, vol 08.
- Cooper, P. I., *Solar Energy*, 12, 3 (1969). “The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills.”
- DUFFIE, Jhon A y BECKMAN, William A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4 ed. New Jersey. Jhon wiley y Sons Inc. 2013. 928 p. ISBN 978-0-470-87366-3.
- Dunkle, R.V. *Thermal radiation tables and application*. ASME Trans. 76, 549. 1954.
- *Energía Solar Térmica. Manual técnico*. Madrid. Marzo, 2005, segunda edición.
- Goswami, Y.D. *Energy: the burning issue*. Refocus (January–February), 22–25. 2007.

- Hollands, K. G. T., *Solar Energy*, 13, 149 (1971). "A Concentrator for Thin-Film Solar Cells."
- Hottel, H.C., Woertz, B.B. Evaluation of flat plate solar heat collector. *ASME Trans.* 64, 91 p. 1942.
- KALOGIROU, A Soteris. *Solar Energy Engineering*. Limassol Chipre. Academic Pr Inc, 2009. 760 p. ISBN-10: 0123745012.
- MacDonald, T. H., *Monthly Weather Rev.*, 79 (8), 153 (1951). "Some Characteristics of the Eppley Pyrheliometer."
- MITTAL, V y KASANA, K S. Modelling and Simulation of a Solar Absorption Cooling System for India. Bahal. College of Engineering and Technology. Vol 17, No 3. 2006.
- Reindl, D. T., W. A. Beckman, and J. A. Duffie, *Solar Energy*, 45, 1 (1990a). "Diffuse Fraction Correlations."
- RODRIGUEZ, M Humberto. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. Bogota. Revista de ingeniería. Noviembre 2008. ISSN 0121-4993.
- Sun Angle Calculator, Libby-Owens-Ford Glass Company (1951).
- Thekaekara, M. P., *Solar Energy*, "Solar Radiation Measurement: Techniques and Instrumentation." 18, 309 (1976).
- United Nations, 1992. Rio Declaration on Environment and Development. Available from: www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm.
- WWEA, 2007, World Wind Energy Association. Available from: www.wwindea.org.
- ASHRAE, 2007. Handbook of HVAC Applications. ASHRAE, Atlanta.

ANEXOS

ANEXO A: Datos de referencia del mes de noviembre usados para la simulación, del mes, día, hora, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco, radiación directa y radiación difusa.

Mes	Días	Horas	Temp. Bulbo Seco	Temp. Bulbo Húmedo	Radiación Directa	Radiación difusa
10	31	0	295,40	293,37	0,00	0,00
11	1	1	295,50	293,60	0,00	0,00
11	1	2	294,80	292,93	0,00	0,00
11	1	3	294,70	293,22	0,00	0,00
11	1	4	294,40	293,18	0,00	0,00
11	1	5	294,20	292,73	0,00	0,00
11	1	6	294,50	292,90	0,00	0,00
11	1	7	294,10	293,01	14,00	0,00
11	1	8	295,50	293,99	152,00	9,10
11	1	9	297,40	294,44	384,00	148,50
11	1	10	297,40	295,01	218,00	5,30
11	1	11	298,00	295,14	260,00	3,70
11	1	12	298,40	295,67	402,00	26,40
11	1	13	298,80	295,89	555,00	124,90
11	1	14	298,40	295,81	446,00	60,60
11	1	15	298,40	295,67	335,00	52,90
11	1	16	297,80	295,38	285,00	151,30
11	1	17	297,80	295,38	135,00	162,90
11	1	18	296,70	294,88	30,00	27,50
11	1	19	295,90	294,64	0,00	0,00
11	1	20	295,60	294,73	0,00	0,00
11	1	21	295,20	294,34	0,00	0,00
11	1	22	294,90	293,92	0,00	0,00
11	1	23	294,80	294,07	0,00	0,00
11	1	24	295,10	294,11	0,00	0,00
11	2	25	294,90	293,79	0,00	0,00
11	2	26	294,30	293,46	0,00	0,00
11	2	27	294,20	293,48	0,00	0,00
11	2	28	293,90	293,31	0,00	0,00
11	2	29	293,70	293,23	0,00	0,00
11	2	30	293,20	292,61	0,00	0,00
11	2	31	293,20	292,26	11,00	0,00
11	2	32	294,80	293,32	108,00	0,00
11	2	33	296,40	294,19	435,00	243,70
11	2	34	298,80	294,70	377,00	67,60
11	2	35	300,40	295,68	895,00	601,40
11	2	36	300,80	296,20	599,00	200,40
11	2	37	298,80	295,89	245,00	15,00

11	2	38	297,20	295,36	110,00	0,00
11	2	39	295,90	294,64	28,00	0,00
11	2	40	294,30	293,70	77,00	0,00
11	2	41	294,90	294,17	170,00	262,70
11	2	42	295,90	294,64	82,00	123,30
11	2	43	294,30	293,46	0,00	0,00
11	2	44	294,40	293,55	0,00	0,00
11	2	45	294,30	293,46	0,00	0,00
11	2	46	294,20	293,23	0,00	0,00
11	2	47	293,50	293,15	0,00	0,00
11	2	48	293,60	293,13	0,00	0,00
11	3	49	293,10	292,63	0,00	0,00
11	3	50	293,40	292,69	0,00	0,00
11	3	51	293,40	292,57	0,00	0,00
11	3	52	293,30	292,83	0,00	0,00
11	3	53	293,30	292,95	0,00	0,00
11	3	54	292,90	292,55	0,00	0,00
11	3	55	293,30	292,95	9,00	0,00
11	3	56	293,30	292,95	61,00	0,00
11	3	57	294,10	293,50	187,00	13,40
11	3	58	296,20	294,93	353,00	34,70
11	3	59	298,60	296,00	543,00	125,30
11	3	60	298,60	295,56	486,00	58,60
11	3	61	298,90	295,69	380,00	15,50
11	3	62	299,70	296,44	314,00	20,30
11	3	63	299,70	296,44	404,00	142,60
11	3	64	299,70	296,44	437,00	592,40
11	3	65	297,90	295,76	148,00	235,30
11	3	66	297,10	295,27	44,00	106,20
11	3	67	296,30	295,16	0,00	0,00
11	3	68	295,30	294,56	0,00	0,00
11	3	69	295,10	294,49	0,00	0,00
11	3	70	295,10	294,49	0,00	0,00
11	3	71	295,10	294,49	0,00	0,00
11	3	72	294,90	294,29	0,00	0,00
11	4	73	294,30	293,70	0,00	0,00
11	4	74	294,40	293,67	0,00	0,00
11	4	75	294,20	293,60	0,00	0,00
11	4	76	294,20	293,60	0,00	0,00
11	4	77	293,90	293,06	0,00	0,00

11	4	78	294,10	293,13	0,00	0,00
11	4	79	293,80	292,96	7,00	0,00
11	4	80	295,00	293,76	143,00	2,70
11	4	81	295,80	294,02	367,00	121,40
11	4	82	297,90	295,05	404,00	60,10
11	4	83	298,10	295,38	580,00	164,90
11	4	84	299,00	295,49	461,00	48,40
11	4	85	300,00	296,26	455,00	50,50
11	4	86	300,20	296,44	593,00	305,20
11	4	87	299,80	296,23	325,00	70,00
11	4	88	299,30	296,07	580,00	581,90
11	4	89	299,10	295,88	409,00	0,00
11	4	90	298,30	295,57	96,00	26,60
11	4	91	296,60	295,19	0,00	0,00
11	4	92	295,80	294,80	0,00	0,00
11	4	93	295,70	294,83	0,00	0,00
11	4	94	295,60	294,73	0,00	0,00
11	4	95	295,60	294,73	0,00	0,00
11	4	96	295,10	294,24	0,00	0,00
11	5	97	295,20	294,34	0,00	0,00
11	5	98	294,80	294,07	0,00	0,00
11	5	99	294,80	294,07	0,00	0,00
11	5	100	294,90	293,79	0,00	0,00
11	5	101	294,90	293,79	0,00	0,00
11	5	102	294,70	293,84	0,00	0,00
11	5	103	294,20	293,23	5,00	0,00
11	5	104	294,70	293,34	87,00	0,00
11	5	105	295,40	293,89	94,00	0,00
11	5	106	295,80	294,41	313,00	22,60
11	5	107	298,10	295,95	300,00	23,00
11	5	108	297,10	294,99	882,00	635,40
11	5	109	298,80	295,46	551,00	126,00
11	5	110	299,60	295,74	448,00	91,40
11	5	111	299,30	295,77	463,00	247,50
11	5	112	300,10	296,36	502,00	680,50
11	5	113	297,80	295,52	273,00	425,80
11	5	114	297,10	295,13	51,00	145,20
11	5	115	296,00	294,73	0,00	0,00
11	5	116	295,60	294,34	0,00	0,00
11	5	117	295,20	294,08	0,00	0,00

11	5	118	294,80	293,69	0,00	0,00
11	5	119	294,60	293,75	0,00	0,00
11	5	120	294,70	293,72	0,00	0,00
11	6	121	294,60	293,50	0,00	0,00
11	6	122	294,30	293,33	0,00	0,00
11	6	123	294,00	293,28	0,00	0,00
11	6	124	293,70	292,99	0,00	0,00
11	6	125	293,40	292,69	0,00	0,00
11	6	126	293,60	292,77	0,00	0,00
11	6	127	293,80	292,59	6,00	0,00
11	6	128	294,10	292,76	94,00	0,00
11	6	129	295,20	293,44	503,00	391,20
11	6	130	297,10	293,87	360,00	58,40
11	6	131	298,20	294,30	295,00	14,70
11	6	132	296,90	294,11	233,00	3,20
11	6	133	299,30	295,16	225,00	12,80
11	6	134	298,70	294,91	792,00	567,10
11	6	135	299,40	295,56	277,00	43,70
11	6	136	298,30	295,43	168,00	11,80
11	6	137	297,40	294,86	155,00	207,50
11	6	138	295,80	294,54	13,00	0,00
11	6	139	292,90	292,43	0,00	0,00
11	6	140	292,80	292,45	0,00	0,00
11	6	141	292,80	292,45	0,00	0,00
11	6	142	292,90	292,55	0,00	0,00
11	6	143	292,60	292,26	0,00	0,00
11	6	144	292,50	292,27	0,00	0,00
11	7	145	292,60	292,37	0,00	0,00
11	7	146	292,70	292,58	0,00	0,00
11	7	147	292,60	292,48	0,00	0,00
11	7	148	292,40	292,17	0,00	0,00
11	7	149	292,60	292,37	0,00	0,00
11	7	150	292,60	292,26	0,00	0,00
11	7	151	292,90	292,43	181,00	273,30
11	7	152	292,90	292,67	150,00	19,10
11	7	153	294,80	293,82	495,00	376,30
11	7	154	296,20	294,41	518,00	193,30
11	7	155	297,80	294,96	579,00	185,90
11	7	156	296,70	294,75	148,00	0,90
11	7	157	296,40	294,59	176,00	3,20

11	7	158	296,60	294,92	320,00	22,10
11	7	159	296,40	294,19	270,00	20,30
11	7	160	293,90	293,31	54,00	0,00
11	7	161	293,50	293,15	23,00	0,00
11	7	162	293,30	292,95	0,00	0,00
11	7	163	293,40	292,93	0,00	0,00
11	7	164	293,50	293,03	0,00	0,00
11	7	165	293,40	292,93	0,00	0,00
11	7	166	293,30	292,36	0,00	0,00
11	7	167	293,40	292,93	0,00	0,00
11	7	168	292,90	292,43	0,00	0,00
11	8	169	292,80	292,22	0,00	0,00
11	8	170	292,90	292,55	0,00	0,00
11	8	171	292,60	292,26	0,00	0,00
11	8	172	292,20	291,97	0,00	0,00
11	8	173	292,00	291,66	0,00	0,00
11	8	174	292,20	291,86	0,00	0,00
11	8	175	292,60	292,48	66,00	15,70
11	8	176	292,90	292,67	94,00	0,00
11	8	177	294,10	293,50	268,00	50,70
11	8	178	296,70	295,42	755,00	670,10
11	8	179	297,40	295,01	1091,00	519,30
11	8	180	297,60	295,05	373,00	26,40
11	8	181	296,90	294,53	355,00	60,00
11	8	182	298,60	294,82	1057,00	510,60
11	8	183	295,80	294,28	105,00	0,00
11	8	184	295,10	293,86	135,00	0,00
11	8	185	294,90	293,67	40,00	0,00
11	8	186	294,80	293,06	0,00	0,00
11	8	187	294,70	293,22	0,00	0,00
11	8	188	294,30	292,96	0,00	0,00
11	8	189	293,90	292,44	0,00	0,00
11	8	190	294,20	293,23	0,00	0,00
11	8	191	293,80	293,08	0,00	0,00
11	8	192	292,30	292,07	0,00	0,00
11	9	193	292,20	291,63	0,00	0,00
11	9	194	292,40	292,06	0,00	0,00
11	9	195	292,30	291,96	0,00	0,00
11	9	196	291,60	291,38	0,00	0,00
11	9	197	291,80	291,34	0,00	0,00

11	9	198	291,90	291,44	0,00	0,00
11	9	199	292,00	291,54	53,00	0,00
11	9	200	292,80	292,45	180,00	42,10
11	9	201	294,40	293,67	256,00	21,30
11	9	202	295,40	294,41	159,00	0,60
11	9	203	295,30	294,06	305,00	9,20
11	9	204	297,40	295,14	318,00	17,00
11	9	205	296,20	294,27	198,00	4,80
11	9	206	297,40	294,86	342,00	28,30
11	9	207	297,20	294,95	297,00	34,00
11	9	208	296,80	294,57	237,00	94,60
11	9	209	295,30	293,41	28,00	0,00
11	9	210	295,40	294,15	134,00	0,00
11	9	211	294,00	293,52	0,00	0,00
11	9	212	293,30	292,95	0,00	0,00
11	9	213	292,90	292,43	0,00	0,00
11	9	214	292,80	292,45	0,00	0,00
11	9	215	292,90	292,67	0,00	0,00
11	9	216	292,80	292,45	0,00	0,00
11	10	217	292,70	292,58	0,00	0,00
11	10	218	292,20	291,86	0,00	0,00
11	10	219	292,30	292,07	0,00	0,00
11	10	220	292,30	292,07	0,00	0,00
11	10	221	292,30	292,07	0,00	0,00
11	10	222	292,30	292,07	0,00	0,00
11	10	223	292,30	292,07	19,00	0,00
11	10	224	293,10	292,52	84,00	0,00
11	10	225	295,20	293,83	561,00	613,30
11	10	226	294,30	293,58	136,00	0,00
11	10	227	295,20	293,96	254,00	7,70
11	10	228	296,80	294,98	448,00	44,00
11	10	229	297,30	295,05	415,00	21,90
11	10	230	297,00	295,17	438,00	87,10
11	10	231	296,10	295,22	259,00	17,20
11	10	232	294,70	294,09	115,00	0,00
11	10	233	295,70	294,83	335,00	234,50
11	10	234	295,10	294,36	64,00	130,90
11	10	235	294,60	293,87	0,00	0,00
11	10	236	293,90	293,06	0,00	0,00
11	10	237	293,80	293,08	0,00	0,00

11	10	238	293,20	292,73	0,00	0,00
11	10	239	293,30	292,83	0,00	0,00
11	10	240	293,10	292,39	0,00	0,00
11	11	241	293,30	292,36	0,00	0,00
11	11	242	293,10	292,39	0,00	0,00
11	11	243	293,10	292,39	0,00	0,00
11	11	244	292,50	292,04	0,00	0,00
11	11	245	292,60	291,91	0,00	0,00
11	11	246	292,10	291,41	0,00	0,00
11	11	247	292,00	291,66	18,00	0,00
11	11	248	293,50	292,55	184,00	53,80
11	11	249	295,70	293,53	348,00	106,30
11	11	250	296,90	294,53	608,00	326,00
11	11	251	298,50	295,17	667,00	305,50
11	11	252	299,20	295,67	852,00	551,70
11	11	253	299,90	296,01	1042,00	522,70
11	11	254	298,60	295,42	436,00	95,10
11	11	255	298,60	295,42	454,00	229,50
11	11	256	298,10	295,38	267,00	141,40
11	11	257	297,40	295,01	145,00	174,10
11	11	258	296,70	294,88	75,00	128,10
11	11	259	295,80	294,54	0,00	0,00
11	11	260	295,30	294,43	0,00	0,00
11	11	261	295,20	294,08	0,00	0,00
11	11	262	295,00	294,14	0,00	0,00
11	11	263	294,80	293,82	0,00	0,00
11	11	264	294,60	293,75	0,00	0,00
11	12	265	294,20	293,48	0,00	0,00
11	12	266	293,90	293,18	0,00	0,00
11	12	267	294,00	293,28	0,00	0,00
11	12	268	293,70	292,99	0,00	0,00
11	12	269	293,70	292,87	0,00	0,00
11	12	270	293,40	292,93	0,00	0,00
11	12	271	293,60	293,01	4,00	0,00
11	12	272	293,60	292,64	127,00	0,00
11	12	273	295,20	293,83	380,00	153,90
11	12	274	296,60	294,24	569,00	255,80
11	12	275	299,20	295,06	919,00	638,50
11	12	276	298,90	295,24	411,00	49,90
11	12	277	298,60	294,97	364,00	14,30

11	12	278	297,90	295,05	275,00	8,20
11	12	279	296,80	294,84	177,00	0,80
11	12	280	295,80	294,15	133,00	0,00
11	12	281	294,70	293,47	81,00	2,00
11	12	282	294,30	293,70	2,00	0,00
11	12	283	293,40	292,69	0,00	0,00
11	12	284	293,60	293,01	0,00	0,00
11	12	285	293,30	292,83	0,00	0,00
11	12	286	293,10	292,63	0,00	0,00
11	12	287	293,20	292,97	0,00	0,00
11	12	288	293,20	292,97	0,00	0,00
11	13	289	293,20	292,97	0,00	0,00
11	13	290	292,80	292,22	0,00	0,00
11	13	291	292,60	292,14	0,00	0,00
11	13	292	292,70	292,12	0,00	0,00
11	13	293	292,60	292,26	0,00	0,00
11	13	294	292,50	292,16	0,00	0,00
11	13	295	292,60	292,37	15,00	0,00
11	13	296	293,00	292,88	93,00	0,00
11	13	297	295,10	293,99	398,00	196,80
11	13	298	296,60	294,79	317,00	31,80
11	13	299	297,80	295,38	871,00	575,80
11	13	300	299,60	295,43	437,00	62,40
11	13	301	298,70	295,81	421,00	40,50
11	13	302	297,30	294,91	193,00	18,20
11	13	303	298,60	295,71	766,00	597,20
11	13	304	298,10	294,95	328,00	294,20
11	13	305	297,00	293,92	195,00	417,70
11	13	306	295,70	293,26	54,00	161,60
11	13	307	294,90	292,89	0,00	0,00
11	13	308	294,30	292,71	0,00	0,00
11	13	309	293,70	292,62	0,00	0,00
11	13	310	293,00	292,53	0,00	0,00
11	13	311	293,10	292,75	0,00	0,00
11	13	312	293,20	292,97	0,00	0,00
11	14	313	292,90	292,78	0,00	0,00
11	14	314	292,40	292,17	0,00	0,00
11	14	315	292,30	292,07	0,00	0,00
11	14	316	292,40	292,17	0,00	0,00
11	14	317	292,40	292,17	0,00	0,00

11	14	318	292,30	292,07	0,00	0,00
11	14	319	291,70	291,36	3,00	0,00
11	14	320	292,20	291,97	71,00	0,00
11	14	321	292,70	292,36	112,00	0,00
11	14	322	294,90	293,79	893,00	557,20
11	14	323	295,30	294,18	467,00	176,30
11	14	324	297,80	295,38	1163,00	527,30
11	14	325	299,20	294,43	767,00	383,50
11	14	326	299,90	295,54	1021,00	628,00
11	14	327	300,10	295,88	938,00	450,30
11	14	328	298,90	295,39	266,00	160,70
11	14	329	295,90	294,89	162,00	251,90
11	14	330	294,60	293,99	8,00	0,00
11	14	331	294,00	293,40	0,00	0,00
11	14	332	293,60	293,01	0,00	0,00
11	14	333	293,20	292,85	0,00	0,00
11	14	334	292,70	292,24	0,00	0,00
11	14	335	292,90	292,32	0,00	0,00
11	14	336	292,60	292,14	0,00	0,00
11	15	337	292,70	292,36	0,00	0,00
11	15	338	292,50	292,04	0,00	0,00
11	15	339	292,40	292,06	0,00	0,00
11	15	340	292,20	291,86	0,00	0,00
11	15	341	291,80	291,69	0,00	0,00
11	15	342	291,60	291,38	0,00	0,00
11	15	343	291,20	290,98	6,00	0,00
11	15	344	291,30	290,97	67,00	0,00
11	15	345	292,40	291,94	179,00	8,00
11	15	346	293,70	292,87	327,00	23,20
11	15	347	295,00	293,51	486,00	90,00
11	15	348	296,90	294,53	378,00	25,60
11	15	349	296,70	293,36	269,00	17,20
11	15	350	298,30	294,09	527,00	332,80
11	15	351	298,90	294,48	710,00	586,20
11	15	352	297,60	293,46	285,00	212,20
11	15	353	297,10	294,30	217,00	341,30
11	15	354	295,90	293,44	118,00	0,00
11	15	355	294,30	292,96	0,00	0,00
11	15	356	293,90	292,94	0,00	0,00
11	15	357	293,70	292,38	0,00	0,00

11	15	358	293,30	292,11	0,00	0,00
11	15	359	293,10	292,04	0,00	0,00
11	15	360	292,80	292,22	0,00	0,00
11	16	361	292,40	292,06	0,00	0,00
11	16	362	292,40	292,06	0,00	0,00
11	16	363	292,50	292,04	0,00	0,00
11	16	364	292,60	292,02	0,00	0,00
11	16	365	292,40	291,94	0,00	0,00
11	16	366	292,40	291,71	0,00	0,00
11	16	367	292,40	291,94	17,00	0,00
11	16	368	293,70	292,50	189,00	69,50
11	16	369	293,80	292,59	240,00	18,30
11	16	370	294,60	293,12	257,00	10,70
11	16	371	297,60	294,04	333,00	54,30
11	16	372	298,20	294,89	1175,00	520,00
11	16	373	297,40	294,44	383,00	79,20
11	16	374	297,00	294,48	337,00	16,40
11	16	375	297,10	294,58	358,00	92,00
11	16	376	297,10	294,58	308,00	285,00
11	16	377	296,80	294,57	237,00	338,00
11	16	378	295,30	293,41	28,00	17,00
11	16	379	294,70	293,34	0,00	0,00
11	16	380	294,10	293,26	0,00	0,00
11	16	381	293,60	292,89	0,00	0,00
11	16	382	294,10	293,13	0,00	0,00
11	16	383	293,70	293,23	0,00	0,00
11	16	384	292,60	292,14	0,00	0,00
11	17	385	292,70	292,12	0,00	0,00
11	17	386	292,60	292,26	0,00	0,00
11	17	387	291,90	291,44	0,00	0,00
11	17	388	291,80	291,46	0,00	0,00
11	17	389	291,70	291,02	0,00	0,00
11	17	390	291,50	291,17	0,00	0,00
11	17	391	291,40	291,07	5,00	0,00
11	17	392	292,20	291,74	67,00	0,00
11	17	393	293,10	292,52	231,00	27,30
11	17	394	294,60	293,12	655,00	454,80
11	17	395	296,90	294,39	751,00	507,60
11	17	396	297,20	294,39	716,00	311,70
11	17	397	297,70	294,72	482,00	70,40

11	17	398	298,00	294,86	557,00	265,00
11	17	399	297,30	294,34	278,00	24,80
11	17	400	296,10	294,57	176,00	42,10
11	17	401	296,60	294,24	302,00	315,60
11	17	402	295,70	293,92	96,00	31,20
11	17	403	295,10	293,73	0,00	0,00
11	17	404	294,60	293,25	0,00	0,00
11	17	405	294,50	293,15	0,00	0,00
11	17	406	294,30	293,08	0,00	0,00
11	17	407	294,20	293,23	0,00	0,00
11	17	408	293,70	292,87	0,00	0,00
11	18	409	293,50	292,67	0,00	0,00
11	18	410	293,60	292,77	0,00	0,00
11	18	411	293,10	292,04	0,00	0,00
11	18	412	293,00	291,69	0,00	0,00
11	18	413	293,40	291,72	0,00	0,00
11	18	414	293,40	291,84	0,00	0,00
11	18	415	293,30	291,49	15,00	0,00
11	18	416	294,90	292,63	209,00	109,60
11	18	417	296,70	293,78	475,00	366,70
11	18	418	297,40	293,57	161,00	0,30
11	18	419	298,60	294,82	801,00	563,60
11	18	420	298,10	294,66	808,00	494,70
11	18	421	298,80	295,31	297,00	22,60
11	18	422	294,90	293,92	162,00	1,00
11	18	423	295,70	294,18	253,00	16,10
11	18	424	295,20	293,96	138,00	0,00
11	18	425	294,90	293,67	34,00	0,00
11	18	426	295,90	294,64	82,00	122,30
11	18	427	294,20	293,60	0,00	0,00
11	18	428	293,60	293,01	0,00	0,00
11	18	429	293,40	292,93	0,00	0,00
11	18	430	293,20	292,73	0,00	0,00
11	18	431	293,20	292,73	0,00	0,00
11	18	432	293,10	292,39	0,00	0,00
11	19	433	292,90	292,08	0,00	0,00
11	19	434	292,60	292,26	0,00	0,00
11	19	435	291,90	291,44	0,00	0,00
11	19	436	291,80	291,46	0,00	0,00
11	19	437	291,70	291,02	0,00	0,00

11	19	438	291,50	291,17	0,00	0,00
11	19	439	291,40	291,07	5,00	0,00
11	19	440	292,20	291,74	67,00	0,00
11	19	441	293,10	292,52	231,00	28,20
11	19	442	294,60	293,12	655,00	465,00
11	19	443	296,90	294,39	751,00	516,10
11	19	444	297,20	294,39	715,00	314,90
11	19	445	297,70	294,72	481,00	70,80
11	19	446	298,00	294,86	558,00	270,00
11	19	447	297,30	294,34	278,00	25,10
11	19	448	296,10	294,57	176,00	42,50
11	19	449	296,60	294,24	302,00	316,20
11	19	450	295,70	293,92	96,00	32,40
11	19	451	295,10	293,73	0,00	0,00
11	19	452	294,60	293,25	0,00	0,00
11	19	453	294,50	293,15	0,00	0,00
11	19	454	294,30	293,08	0,00	0,00
11	19	455	294,20	293,23	0,00	0,00
11	19	456	293,70	292,87	0,00	0,00
11	20	457	293,50	292,67	0,00	0,00
11	20	458	293,60	292,77	0,00	0,00
11	20	459	293,10	292,04	0,00	0,00
11	20	460	293,00	291,69	0,00	0,00
11	20	461	293,40	291,72	0,00	0,00
11	20	462	293,40	291,84	0,00	0,00
11	20	463	293,30	291,49	15,00	0,00
11	20	464	294,90	292,63	209,00	114,50
11	20	465	296,70	293,78	475,00	375,90
11	20	466	297,40	293,57	161,00	0,30
11	20	467	298,60	294,82	801,00	572,20
11	20	468	298,10	294,66	809,00	501,70
11	20	469	298,80	295,31	297,00	22,70
11	20	470	297,90	294,91	336,00	28,20
11	20	471	298,70	295,21	430,00	206,30
11	20	472	298,80	296,62	514,00	584,80
11	20	473	297,80	294,81	152,00	284,40
11	20	474	296,80	294,43	38,00	79,30
11	20	475	295,60	294,34	0,00	0,00
11	20	476	295,30	294,18	0,00	0,00
11	20	477	294,70	293,72	0,00	0,00

11	20	478	294,30	293,33	0,00	0,00
11	20	479	294,80	293,32	0,00	0,00
11	20	480	294,60	293,25	0,00	0,00
11	21	481	294,20	292,98	0,00	0,00
11	21	482	293,70	292,87	0,00	0,00
11	21	483	293,60	292,89	0,00	0,00
11	21	484	293,40	292,69	0,00	0,00
11	21	485	293,70	292,74	0,00	0,00
11	21	486	293,20	292,26	0,00	0,00
11	21	487	292,80	292,22	9,00	0,00
11	21	488	292,80	292,10	41,00	0,00
11	21	489	294,30	292,83	281,00	39,30
11	21	490	296,30	293,69	342,00	29,50
11	21	491	298,10	294,66	664,00	291,50
11	21	492	298,80	295,31	398,00	47,50
11	21	493	298,30	295,13	313,00	25,60
11	21	494	298,20	295,04	789,00	623,50
11	21	495	298,10	295,24	506,00	361,50
11	21	496	298,10	295,24	250,00	127,20
11	21	497	297,60	295,05	270,00	338,40
11	21	498	296,20	294,27	60,00	140,80
11	21	499	295,30	293,80	0,00	0,00
11	21	500	294,80	293,69	0,00	0,00
11	21	501	295,10	293,61	0,00	0,00
11	21	502	295,10	293,61	0,00	0,00
11	21	503	294,80	293,32	0,00	0,00
11	21	504	294,30	293,21	0,00	0,00
11	22	505	294,00	292,54	0,00	0,00
11	22	506	294,30	293,08	0,00	0,00
11	22	507	292,70	291,41	0,00	0,00
11	22	508	293,20	291,40	0,00	0,00
11	22	509	292,40	291,59	0,00	0,00
11	22	510	293,00	291,69	0,00	0,00
11	22	511	292,50	290,85	12,00	0,00
11	22	512	292,80	290,64	137,00	2,40
11	22	513	294,30	291,93	416,00	262,80
11	22	514	296,90	292,82	597,00	341,50
11	22	515	297,80	293,63	839,00	646,90
11	22	516	299,20	294,91	955,00	800,50
11	22	517	298,70	295,06	720,00	363,00

11	22	518	298,20	294,75	430,00	87,50
11	22	519	299,10	295,13	368,00	105,90
11	22	520	298,50	295,17	163,00	20,50
11	22	521	297,70	295,14	351,00	149,10
11	22	522	296,40	294,46	40,00	82,70
11	22	523	295,80	294,15	0,00	0,00
11	22	524	295,40	293,89	0,00	0,00
11	22	525	295,00	293,76	0,00	0,00
11	22	526	294,80	293,57	0,00	0,00
11	22	527	294,70	293,34	0,00	0,00
11	22	528	294,30	292,96	0,00	0,00
11	23	529	294,00	292,54	0,00	0,00
11	23	530	294,10	292,89	0,00	0,00
11	23	531	293,90	292,69	0,00	0,00
11	23	532	293,10	292,16	0,00	0,00
11	23	533	293,20	292,49	0,00	0,00
11	23	534	292,90	291,84	0,00	0,00
11	23	535	293,40	291,47	15,00	0,00
11	23	536	294,30	292,83	127,00	0,00
11	23	537	296,70	293,64	416,00	604,90
11	23	538	297,30	294,34	178,00	1,00
11	23	539	298,10	294,66	796,00	481,10
11	23	540	299,00	295,19	1043,00	646,60
11	23	541	300,00	295,32	649,00	484,10
11	23	542	300,80	295,71	1070,00	499,30
11	23	543	298,90	295,39	605,00	632,60
11	23	544	297,80	295,10	469,00	660,00
11	23	545	297,60	294,91	267,00	378,00
11	23	546	296,00	294,08	45,00	109,30
11	23	547	295,30	293,80	0,00	0,00
11	23	548	294,80	293,69	0,00	0,00
11	23	549	294,60	293,25	0,00	0,00
11	23	550	294,60	292,99	0,00	0,00
11	23	551	294,90	292,37	0,00	0,00
11	23	552	292,90	292,08	0,00	0,00
11	24	553	291,80	291,46	0,00	0,00
11	24	554	291,50	291,17	0,00	0,00
11	24	555	291,40	291,07	0,00	0,00
11	24	556	291,70	291,48	0,00	0,00
11	24	557	291,70	291,36	0,00	0,00

11	24	558	292,00	291,66	0,00	0,00
11	24	559	291,80	291,69	9,00	0,00
11	24	560	292,10	291,99	58,00	0,00
11	24	561	293,80	293,57	505,00	502,60
11	24	562	296,10	293,63	681,00	613,20
11	24	563	296,80	294,43	687,00	348,00
11	24	564	298,40	293,87	944,00	798,90
11	24	565	299,30	295,31	1058,00	629,50
11	24	566	298,30	295,28	450,00	185,30
11	24	567	298,30	295,28	999,00	264,10
11	24	568	298,30	295,13	270,00	174,50
11	24	569	298,00	294,86	363,00	77,30
11	24	570	296,50	294,42	31,00	30,20
11	24	571	295,60	294,09	0,00	0,00
11	24	572	295,30	293,67	0,00	0,00
11	24	573	295,40	294,02	0,00	0,00
11	24	574	294,70	293,09	0,00	0,00
11	24	575	294,30	292,83	0,00	0,00
11	24	576	294,30	292,32	0,00	0,00
11	25	577	294,00	292,29	0,00	0,00
11	25	578	293,10	291,43	0,00	0,00
11	25	579	293,60	290,76	0,00	0,00
11	25	580	292,70	290,67	0,00	0,00
11	25	581	292,70	289,79	0,00	0,00
11	25	582	292,80	291,14	0,00	0,00
11	25	583	292,10	290,47	10,00	0,00
11	25	584	293,80	291,59	196,00	96,40
11	25	585	295,70	292,29	409,00	244,30
11	25	586	296,60	293,12	636,00	456,20
11	25	587	298,40	293,56	793,00	576,60
11	25	588	298,90	294,32	422,00	59,80
11	25	589	299,40	294,77	473,00	184,30
11	25	590	300,40	295,68	1033,00	525,70
11	25	591	299,70	295,21	583,00	595,00
11	25	592	298,80	295,31	279,00	175,30
11	25	593	297,30	294,77	132,00	193,90
11	25	594	296,30	294,50	35,00	66,20
11	25	595	295,40	294,15	0,00	0,00
11	25	596	295,30	294,06	0,00	0,00
11	25	597	294,80	293,82	0,00	0,00

11	25	598	294,70	293,72	0,00	0,00
11	25	599	294,70	293,59	0,00	0,00
11	25	600	294,20	293,23	0,00	0,00
11	26	601	294,50	293,28	0,00	0,00
11	26	602	294,40	293,06	0,00	0,00
11	26	603	293,60	292,28	0,00	0,00
11	26	604	293,90	292,19	0,00	0,00
11	26	605	293,30	291,62	0,00	0,00
11	26	606	293,10	291,55	0,00	0,00
11	26	607	292,60	291,19	15,00	0,00
11	26	608	293,50	291,18	72,00	0,00
11	26	609	296,40	292,37	380,00	197,20
11	26	610	297,70	293,24	623,00	413,80
11	26	611	299,10	294,34	635,00	319,60
11	26	612	299,10	295,13	369,00	38,20
11	26	613	299,60	294,63	482,00	86,10
11	26	614	298,10	295,09	247,00	14,70
11	26	615	298,20	295,19	425,00	200,00
11	26	616	297,50	294,82	138,00	0,00
11	26	617	297,60	294,77	376,00	0,00
11	26	618	297,20	294,67	16,00	0,00
11	26	619	296,10	294,04	0,00	0,00
11	26	620	295,30	293,80	0,00	0,00
11	26	621	295,10	293,61	0,00	0,00
11	26	622	295,10	293,86	0,00	0,00
11	26	623	294,50	293,65	0,00	0,00
11	26	624	294,30	293,08	0,00	0,00
11	27	625	294,30	292,96	0,00	0,00
11	27	626	293,90	291,82	0,00	0,00
11	27	627	293,60	291,53	0,00	0,00
11	27	628	294,10	292,64	0,00	0,00
11	27	629	293,50	292,31	0,00	0,00
11	27	630	292,80	291,14	0,00	0,00
11	27	631	292,60	290,82	13,00	0,00
11	27	632	293,20	291,40	102,00	0,00
11	27	633	294,30	291,93	166,00	0,00
11	27	634	295,30	292,88	634,00	442,80
11	27	635	298,80	294,85	819,00	659,90
11	27	636	299,10	294,97	913,00	763,30
11	27	637	300,90	294,61	463,00	96,70

11	27	638	300,10	296,04	458,00	115,50
11	27	639	297,60	295,05	179,00	1,50
11	27	640	297,50	295,10	272,00	178,60
11	27	641	297,30	294,91	402,00	0,00
11	27	642	295,80	294,41	40,00	84,90
11	27	643	295,10	293,99	0,00	0,00
11	27	644	295,10	293,86	0,00	0,00
11	27	645	294,60	293,75	0,00	0,00
11	27	646	293,30	292,11	0,00	0,00
11	27	647	293,10	292,28	0,00	0,00
11	27	648	293,60	293,01	0,00	0,00
11	28	649	293,40	292,57	0,00	0,00
11	28	650	293,10	292,16	0,00	0,00
11	28	651	292,60	291,79	0,00	0,00
11	28	652	293,00	292,18	0,00	0,00
11	28	653	292,80	292,22	0,00	0,00
11	28	654	292,80	292,22	0,00	0,00
11	28	655	292,80	292,45	10,00	0,00
11	28	656	293,80	292,72	174,00	61,70
11	28	657	295,70	293,66	421,00	283,50
11	28	658	297,80	294,08	627,00	424,30
11	28	659	298,60	295,42	214,00	27,00
11	28	660	299,50	294,71	1024,00	518,30
11	28	661	298,00	295,57	182,00	17,10
11	28	662	299,00	296,08	689,00	431,60
11	28	663	297,60	295,19	434,00	206,30
11	28	664	297,20	294,67	249,00	123,60
11	28	665	298,10	294,95	432,00	0,00
11	28	666	296,90	294,39	87,00	110,50
11	28	667	295,90	293,98	0,00	0,00
11	28	668	295,20	293,96	0,00	0,00
11	28	669	294,70	293,72	0,00	0,00
11	28	670	294,70	293,72	0,00	0,00
11	28	671	294,30	293,33	0,00	0,00
11	28	672	294,40	293,31	0,00	0,00
11	29	673	294,30	293,58	0,00	0,00
11	29	674	293,90	291,82	0,00	0,00
11	29	675	293,60	291,53	0,00	0,00
11	29	676	294,10	292,64	0,00	0,00
11	29	677	293,50	292,31	0,00	0,00

11	29	678	292,80	291,14	0,00	0,00
11	29	679	292,60	290,82	13,00	0,00
11	29	680	293,20	291,40	102,00	0,00
11	29	681	294,30	291,93	166,00	0,00
11	29	682	295,30	292,88	634,00	453,80
11	29	683	298,20	294,89	849,00	720,80
11	29	684	300,30	295,09	836,00	600,30
11	29	685	301,70	295,83	737,00	423,40
11	29	686	298,00	295,43	404,00	91,40
11	29	687	294,80	293,06	77,00	0,00
11	29	688	296,70	294,06	461,00	564,00
11	29	689	296,60	294,11	119,00	124,60
11	29	690	295,70	293,92	27,00	51,30
11	29	691	294,60	293,75	0,00	0,00
11	29	692	294,60	293,75	0,00	0,00
11	29	693	294,30	293,46	0,00	0,00
11	29	694	294,60	293,62	0,00	0,00
11	29	695	294,40	293,67	0,00	0,00
11	29	696	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	697	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	698	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	699	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	700	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	701	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	702	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	703	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	704	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	705	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	706	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	707	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	708	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	709	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	710	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	711	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	712	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	713	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	714	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	715	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	716	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	717	294,30	293,46	0,00	0,00

11	30	718	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	719	294,30	293,46	0,00	0,00
11	30	720	294,30	293,46	0,00	0,00

ANEXO B: Estudio realizado sobre las condiciones de trabajo a la máquina de absorción ROTARTICA 045 v de una tonelada de refrigeración

Capítulo 4: Condiciones de trabajo de la máquina Rotartica 045v: Parámetros de actuación

Contenido

- 4.1 *Introducción*
 - 4.2 *Instalación experimental*
 - 4.3 *Variables ambientales y de proceso*
 - 4.4 *Procedimiento experimental*
 - 4.5 *Resultados experimentales de tres días característicos*
 - 4.6 *Resultados experimentales del periodo de ensayo*
 - 4.7 *Cálculo de incertidumbre*
 - 4.8 *Conclusiones*
 - 4.9 *Nomenclatura*
-

4.1 *Introducción*

Durante los veranos de 2005 y 2006 en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc) y en la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M), y a través del proyecto de investigación ENE 2005-08255-CO2-01 financiado por el Plan Nacional de Investigación 2005-2007, se han realizado experimentaciones con la máquina comercial Rotartica 045v. Los objetivos eran:

- Estudiar el funcionamiento de una máquina de estas características para $30^{\circ}\text{C} \leq t_{\text{ext}} \leq 40^{\circ}\text{C}$.
- A partir de los resultados obtenidos, diseñar un campo de colectores solares capaz de abastecer la demanda de la máquina de absorción instalada en los edificios objeto del subproyecto SP3.

4.2 *Instalación experimental*

La experimentación tuvo lugar durante los veranos de 2005 y 2006 en el Laboratorio de Bombas de Calor del IETcc (CSIC), situado en Arganda del Rey, una localidad al Sureste de Madrid (España), figura 4.1.



Figura 4.1. (a) Localización geográfica de Arganda del Rey y (b) Vista aérea del Laboratorio de Bombas de Calor (Arganda del Rey).

La instalación experimental está constituida por: una fuente de calor, la máquina de absorción y el fancoil del local a refrigerar. En la figura 4.2 se muestra un esquema de la instalación.

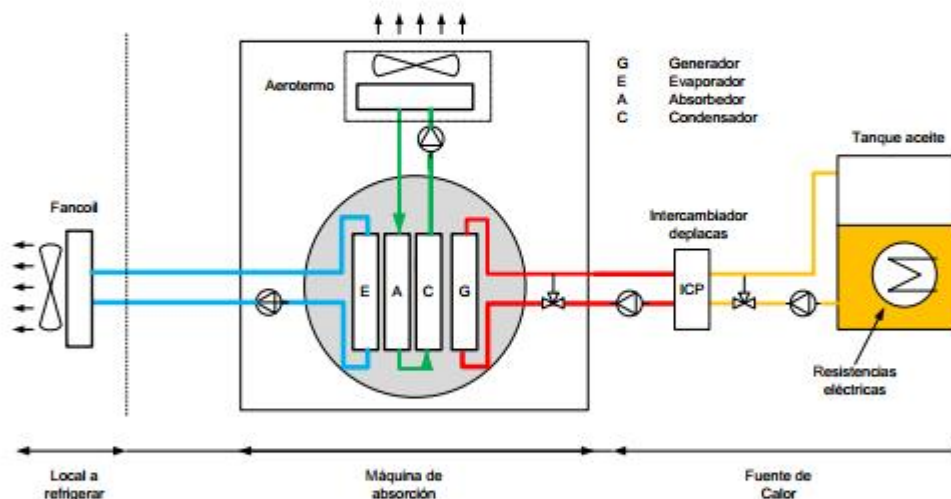


Figura 4.2. Esquema de la instalación de frío con máquina de absorción comercial.

4.2.1 Fuente de calor

Como fuente de calor se utiliza un tanque con aceite térmico calentado con resistencias eléctricas de 10kW. El aceite, una vez calentado, se impulsa mediante una bomba AEG modelo AM880KY4 hacia el lado caliente de un intercambiador de placas (ICP). Por el lado frío del intercambiador, circula agua, que tras recibir el calor aportado por el aceite térmico, es bombeada hacia el generador de la máquina mediante una bomba marca Grundfos modelo UPS40-80R. El ICP es de tipo termosoldado de 34 placas modelo CB26 30H de ALFA LAVAL de 35 kW de potencia nominal. Las tuberías son aisladas con espuma de poliuretano de 15 mm de espesor.

4.3. Variables ambientales y de proceso

4.2.2 Máquina de absorción

Se utilizó la Rotartica 045v especificada en el capítulo 3.

Técnicos de la empresa suministradora realizaron la puesta en marcha de la instalación. Se llenaron con agua de red los tres circuitos hidráulicos. Mediante el arranque y parada de las bombas y a través de los purgadores manuales y automáticos, que incorpora la propia máquina, se fue eliminando el aire almacenado en el interior de las tuberías. Una vez comprobado que el caudal de los circuitos era el adecuado, se calentó el agua de entrada al generador hasta alcanzar 80°C. Alcanzada esta temperatura, el tambor comienza a girar y se inicia la producción de frío.

4.2.3 Fancoil

Para la climatización del local se utilizó un intercambiador de calor de tubos aleteado agua-aire de 7 kW. Las tuberías del circuito de agua fría fueron aisladas con espuma de poliuretano de 15 mm de espesor.

4.3 Variables ambientales y de proceso

Los ensayos experimentales se realizaron durante 20 días del mes de Agosto.

4.3.1 Variables ambientales

Para el registro de las variables ambientales, se contó con una estación Meteorológica 3008CM (ver Anexo). La estación archiva el valor medio correspondiente a cada variable, registradas cada 2 segundos, en períodos de 10 minutos. Las variables registradas fueron: t_{obs} (media, máxima y mínima), I_H (media, máxima y mínima).

Días Característicos

Se han seleccionado tres días del verano de 2005, uno templado (10 agosto), otro caluroso (4 agosto) y otro muy caluroso (7 agosto). En la figura 4.3 se muestra t_{obs} para cada uno de estos tres días. Las máximas alcanzadas fueron 27°C, 35,7°C y 41,3°C, respectivamente.

El local a refrigerar, de 40 m², forma parte del Laboratorio de Bombas de Calor, que tiene 80 m² de superficie y 240 m³ de volumen. La t_{int} de confort se fijó en 24°C, dentro del rango establecido por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE). La carga térmica total del local (Q_t , ecuación 4.1) se calcula a partir de los balances dados por las ecuaciones (4.2)-(4.5): transmisión a través de los cerramientos (Q_{trans} , ecuación 4.2), ventilación (Q_{vent} , ecuación 4.3), radiación a través de las superficies acristaladas (Q_{rad} , ecuación 4.4) y cargas interiores generadas por la iluminación, equipos electrónicos y personal (Q_{int} , ecuación 4.5). La jornada laboral comprende desde las 7:00h hasta las 19:00h (hora solar).

$$Q_t = Q_{\text{trans}} + Q_{\text{vent}} + Q_{\text{rad}} + Q_{\text{int}} \quad (4.1)$$

$$Q_{\text{trans}} = k_G \cdot A_{\text{lab}} (t_{\text{obs}} - t_{\text{int}}) \quad (4.2)$$

$$Q_{vent} = V \cdot renv \cdot \rho_{aire} \cdot cp_{aire} \cdot (t_{obs} - t_{int}) + V \cdot renv \cdot \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (w_{ext} - w_{int}) \quad (4.3)$$

$$Q_{rad} = A_{crist} \cdot I_{crist} \quad (4.4)$$

$$Q_{int} = Q_{pers} \cdot N_{pers} \cdot f + q_{alum} \cdot A_{alum} + Q_{equip} \cdot N_{equip} \quad (4.5)$$

El UA del local es 252 W/K. En el laboratorio trabajaron 3 personas una media de 10 horas al día. Se aplicó un coeficiente de simultaneidad $f=0,75$. La demanda de frío durante la jornada laboral de los días 10,4 y 7 de Agosto, fue 11kWh; 39kWh y 48kWh respectivamente. En la figura 4.4 se muestra Q_i de cada día seleccionado.

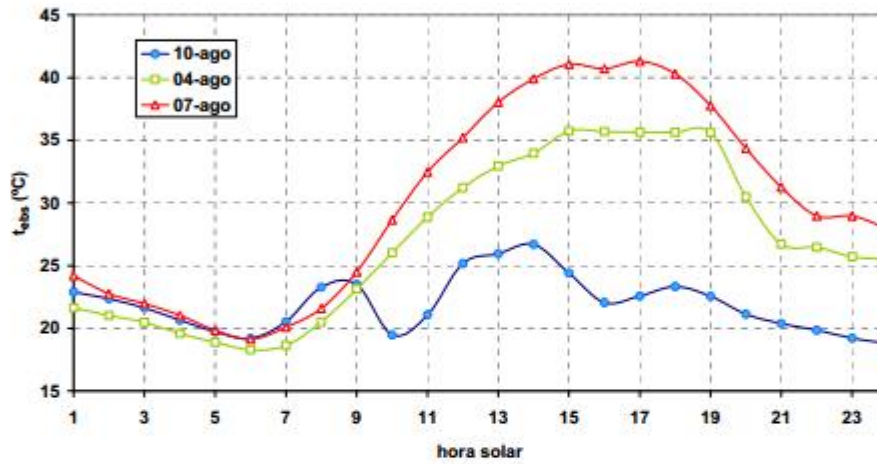


Figura 4.3. Temperatura exterior de bulbo seco de tres días característicos.

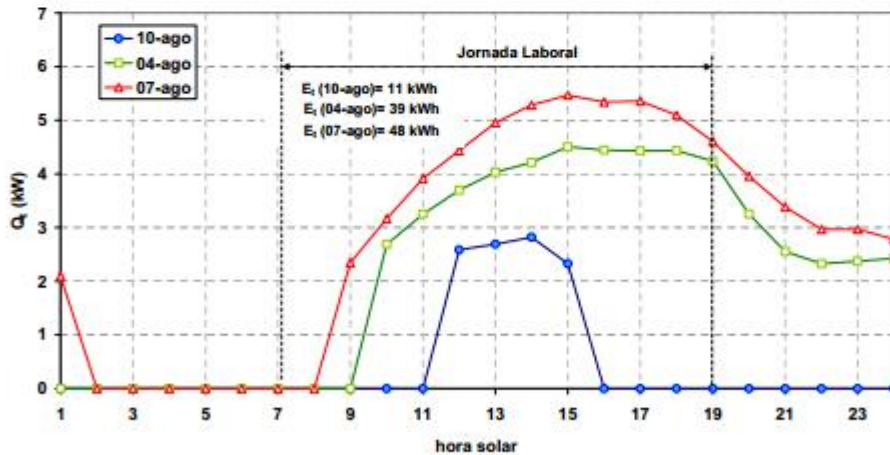


Figura 4.4. Carga térmica de tres días característicos: templado, caluroso y muy caluroso.

4.3. Variables ambientales y de proceso

Periodo estacional

En la figura 4.5 se especifican, para el período de Mayo a Septiembre de 2005, las t_{cbs} máximas y mínimas diarias obtenidas a partir de las temperaturas medias registradas cada 10 minutos por la estación meteorológica. En la gráfica se destacan todos los días de ensayo y se nombran los tres días seleccionados.

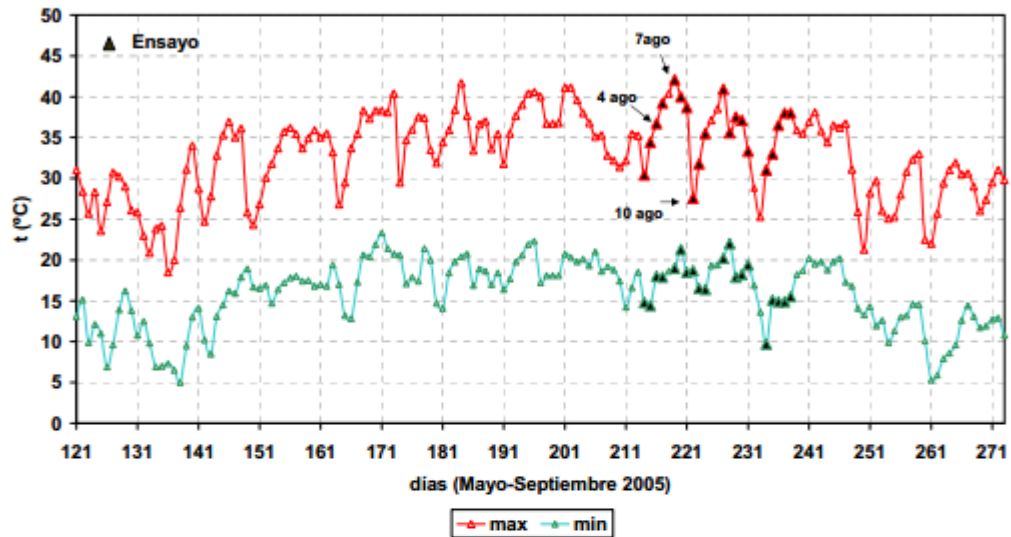


Figura 4.5. Temperaturas mínimas y máximas diarias.

En la figura 4.6 se representa la demanda diaria, E_d , para el período de Mayo a Septiembre de 2005. La E_d total de climatización fue 5,8 MWh, mientras que la E_d durante los días de ensayo fue 0,9 MWh.

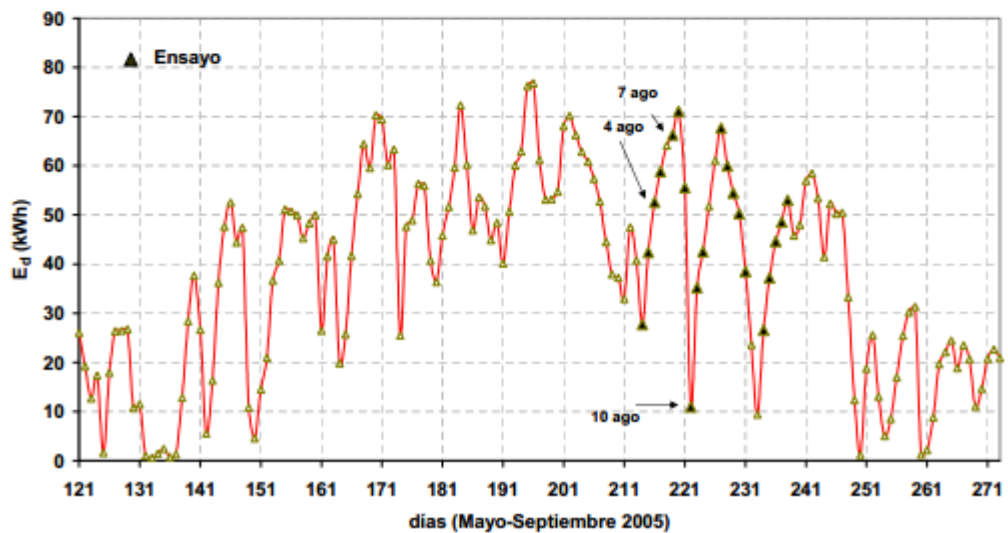


Figura 4.6. Demanda diaria de frío.

4.3.2 Variables de proceso

Las variables de proceso consideradas fueron: temperaturas y caudales.

Se utilizaron termorresistencias PT100 que fueron previamente calibradas mediante el calibrador de la marca Isotech modelo Venus plus 2140. Para controlar la temperatura del aceite, se utilizó un termostato de la marca AKO modelo 1472H200 que una vez alcanzada la temperatura de consigna, cortaba el suministro de las resistencias eléctricas y cesaba el calentamiento del aceite (sistema todo-nada). Las medidas de las temperaturas fueron registradas en tiempo real por un colector de datos de la marca Yokogawa modelo Collector DC 100 y gestionadas por el software DAQWorks.

Los caudales de los tres circuitos hidráulicos se midieron y registraron utilizando caudalímetros ultrasónicos Fluxus ADM 6725. El caudal del aire impulsado por el ventilador de la máquina fue obtenido a partir de un anemómetro TSI velocialc 3855.

Las especificaciones de la instrumentación utilizada se muestran en el Anexo I.

Temperaturas

- *Máquina*
 - Entrada y salida del agua caliente al generador: t_{eg} , t_{sg} .
 - Entrada y salida del agua del evaporador: t_{ee} , t_{se} .
 - Entrada y salida del agua y del aire del aerotermo (re-cooling): t_{13} , t_{11} , t_{15} = t_{chs} , t_{16} (figura 3.10).
- *Local*
 - Entrada y salida del aire del fancoil: t_{int} , t_{safe}

Caudales

- *Máquina*
 - Aire: M_{aire}
 - Circuito caliente: M_g
 - Circuito frío: M_e
 - Circuito enfriamiento: M_{aer}

En la figura 4.7 se muestra una imagen de la instalación en la que se han señalado las partes más importantes.

4.5 Resultados experimentales de tres días característicos

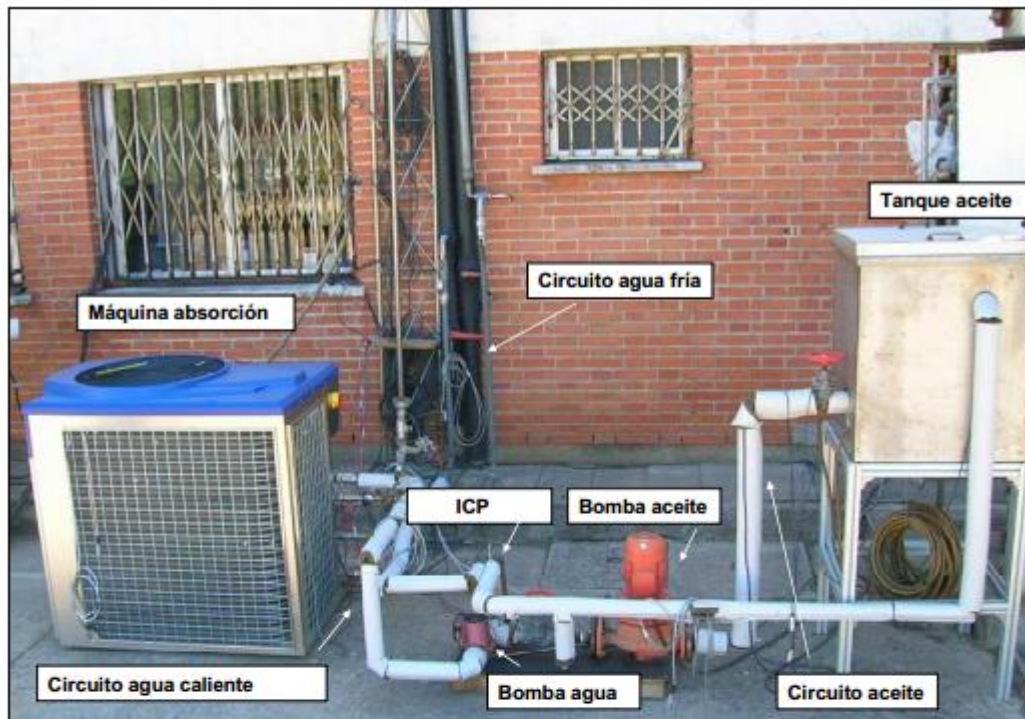


Figura 4.7. Imagen de la instalación de frío experimental.

4.4 Procedimiento experimental

En las máquinas de absorción condensadas por aire, t_{cbs} determina t_a , t_c , y t_{eg} . Se sabe que al aumentar t_{eg} , disminuye t_{sc} (Herold et al., 1996). El modo de operación durante el verano de 2005 consistió en aumentar t_{eg} en función del aumento de t_{cbs} para obtener la t_{sc} más baja posible sin riesgo de cristalización. Los resultados experimentales se pueden encontrar en Izquierdo et al. (2007).

4.5 Resultados experimentales de tres días característicos

A continuación se muestra: caudales, temperaturas, potencias y CEE para los tres días seleccionados.

A lo largo de la experimentación, los caudales de agua de la máquina se mantuvieron prácticamente constantes: M_g en torno a $1\text{m}^3/\text{h}$, M_e en torno a $2\text{m}^3/\text{h}$ y M_{aer} en torno a $2,5\text{m}^3/\text{h}$.

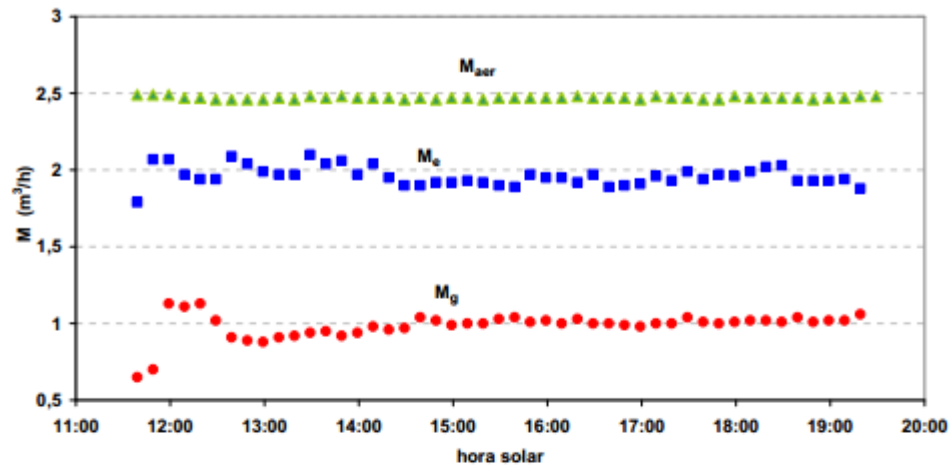


Figura 4.8. Caudal de agua de los circuitos hidráulicos.

En la figura 4.8 se muestran los correspondientes a un día de prueba. En la figura 4.9 se muestra M_{aire} . Se tomaron medidas cada treinta minutos y el valor medio se situó en torno a $4.600 m^3/h$.

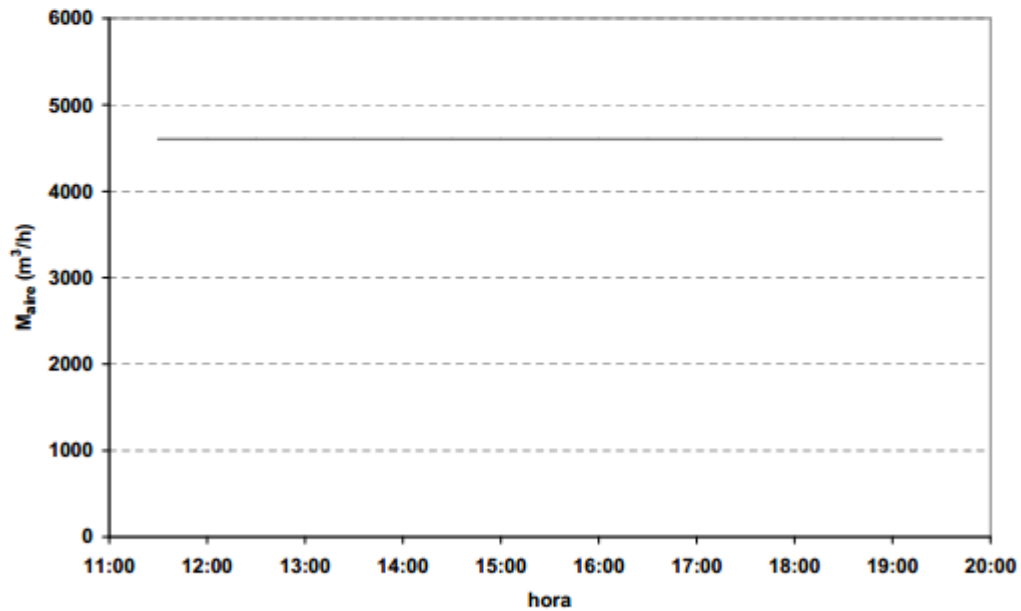


Figura 4.9. Caudal de aire.

4.5 Resultados experimentales de tres días característicos

4.5.1 Día templado: $t_{\text{obs}}(\text{max}) = 27^\circ\text{C}$ (10/08/05)

En la figura 4.10 se muestran las temperaturas de entrada y salida de los fluidos exteriores en el generador, el evaporador, el aerotermo y el fancoil.

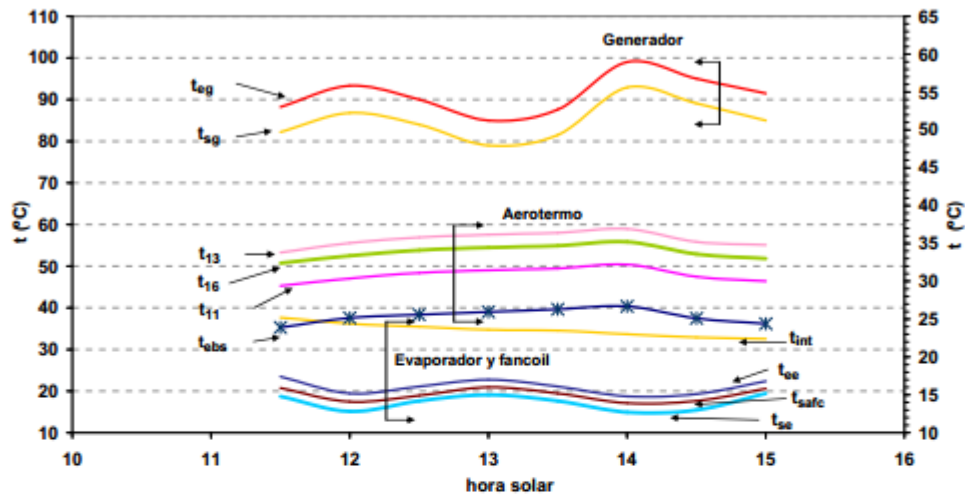


Figura 4.10. Temperaturas de entrada y salida de fluidos: generador, evaporador, aerotermo y fancoil (10/08/05).

La temperatura de entrada al generador varió entre 85°C y 99°C . En la figura 4.10 se puede observar cómo las variaciones de t_{eg} afectan a t_{se} .

A las 14:00h, con $t_{\text{obs}} = 26,7^\circ\text{C}$ y $t_{\text{eg}} = 99^\circ\text{C}$ se obtiene: $t_{\text{ee}} = 14,8^\circ\text{C}$; $t_{\text{se}} = 12,7^\circ\text{C}$; $t_{11} = 32,2^\circ\text{C}$ y $t_{13} = 36,9^\circ\text{C}$. El aire, a su paso por el aerotermo, aumenta su temperatura en aproximadamente 9°C .

Durante este día, la diferencia entre t_{ee} y t_{se} varió entre $1,5^\circ\text{C}$ y $2,5^\circ\text{C}$, aproximadamente. La temperatura interior del laboratorio se mantuvo dentro de los límites establecidos por el RITE.

La potencia del generador, del evaporador y del aerotermo se calcula mediante las ecuaciones (4.6), (4.7) y (4.8), respectivamente:

$$Q_g = m_g \cdot c_{p_{\text{agua}}} \cdot (t_{\text{eg}} - t_{\text{sg}}) \quad (4.6)$$

$$Q_e = m_e \cdot c_{p_{\text{agua}}} \cdot (t_{\text{ee}} - t_{\text{se}}) \quad (4.7)$$

$$Q_{\text{aer}} = m_{\text{aer}} \cdot c_{p_{\text{agua}}} \cdot (t_{13} - t_{11}) \quad (4.8)$$

En la figura 4.11 se muestran los valores de estas potencias. El calor suministrado al generador, E_g , fue $57,5 \text{ kWh}$ y el frío producido en el evaporador, E_e , fue $36,8 \text{ kWh}$. La demanda fue cubierta por la máquina de absorción.

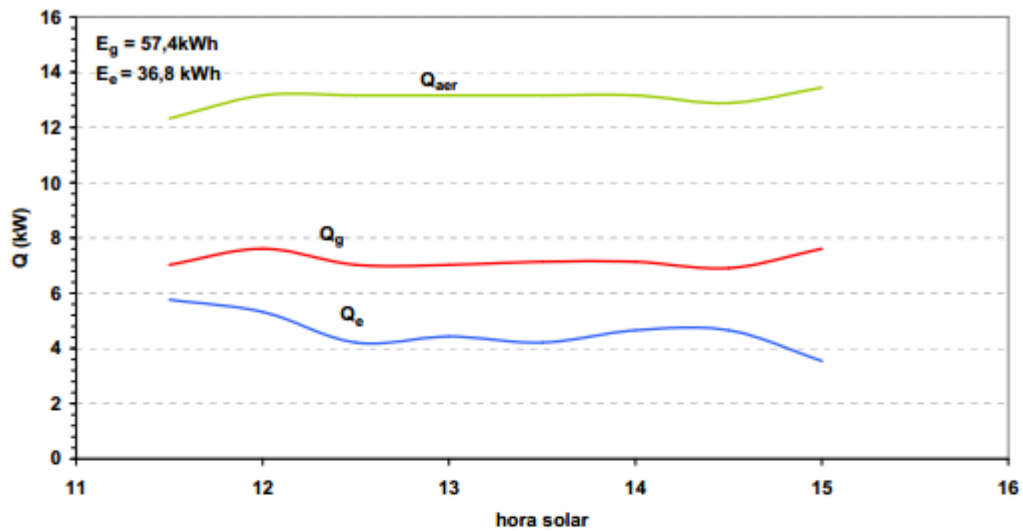


Figura 4.11. Potencia del generador, del evaporador y del aerotermino (10/08/05).

En la figura 4.12 se muestra el valor del CEE térmico instantáneo calculado según la ecuación (2.2). El valor medio diario fue 0,64.

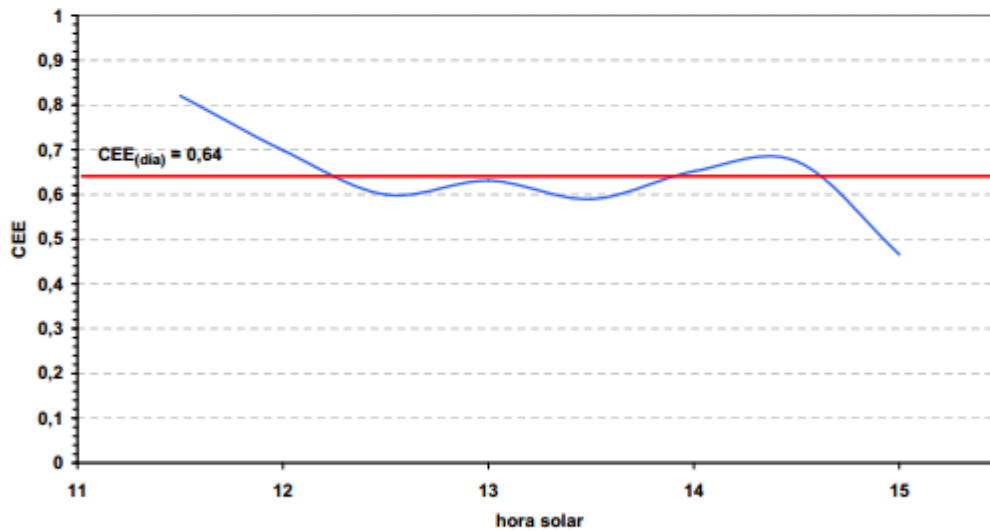


Figura 4.12. CEE térmico (10/08/05).

4.5.2 Día caluroso: $t_{\text{ebs (max)}} = 35,7^{\circ}\text{C}$ (04/08/05)

En la figura 4.13 se muestran las temperaturas de entrada y salida de los fluidos exteriores en el generador, en el evaporador, en el aerotermino y en el fancoil del local.

4.5 Resultados experimentales de tres días característicos

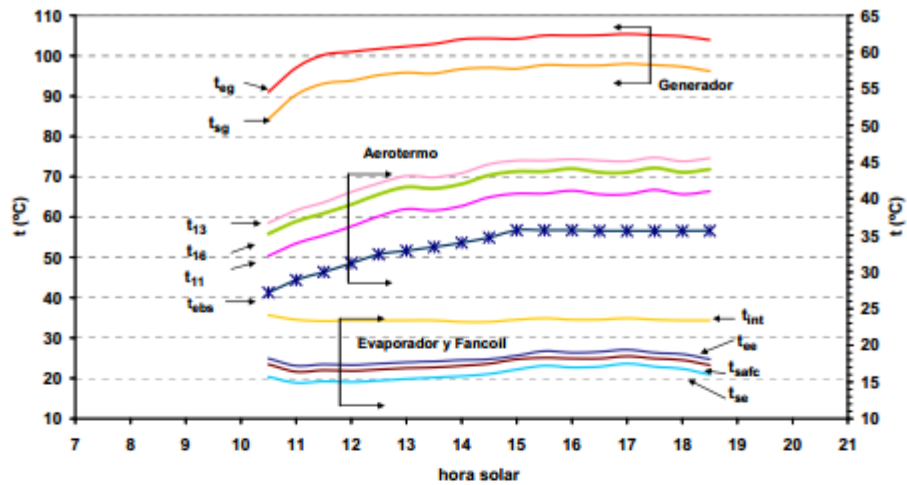


Figura 4.13. Temperaturas de entrada y salida de fluidos: generador, evaporador, aerotermo y fancoil (04/08/05).

La temperatura de entrada al generador varió entre 91°C y 105,4°C como consecuencia del aumento de t_{ebs} . La diferencia entre t_{eg} y t_{sg} fue 5°C, aproximadamente. Se presentan los resultados obtenidos a las 11:30h y a las 14:30h.

11:30h: con $t_{ebs}=30^{\circ}\text{C}$ y $t_{eg}=100^{\circ}\text{C}$, se obtuvo: $t_{ee}=17,4^{\circ}\text{C}$; $t_{se}=15,1^{\circ}\text{C}$; $t_{11}= 35^{\circ}\text{C}$ y $t_{13}= 39,5^{\circ}\text{C}$.

14:30h: con $t_{ebs}=35,7^{\circ}\text{C}$ y $t_{eg}=104,2^{\circ}\text{C}$, se obtuvo: $t_{ee}=18,4^{\circ}\text{C}$, $t_{se}=16,7^{\circ}\text{C}$, $t_{11}= 40,7^{\circ}\text{C}$ y $t_{13}= 45,2^{\circ}\text{C}$.

La temperatura interior se mantuvo en torno a 23,5°C dentro de los límites establecidos por el RITE. En la figura 4.14 se muestra Q_g , Q_e y Q_{aer} .

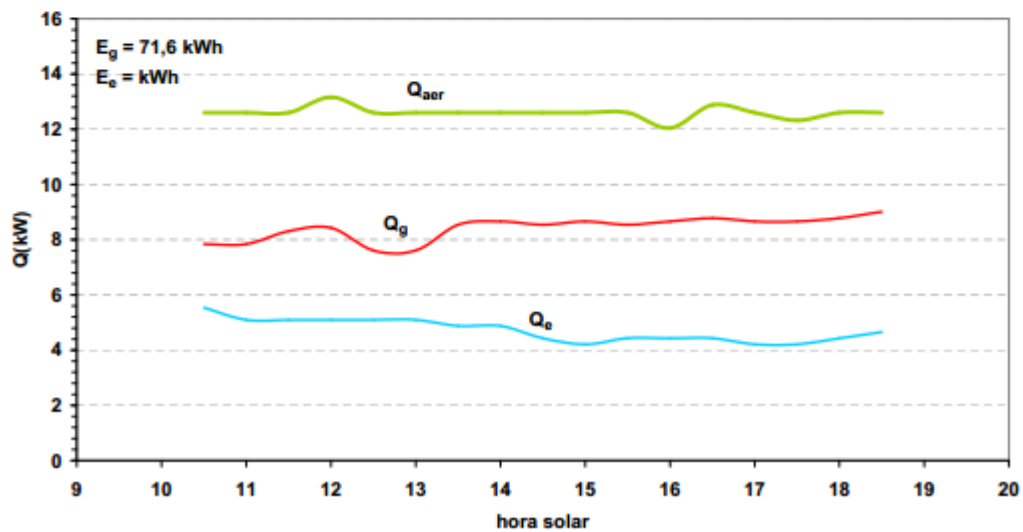


Figura 4.14. Potencia del generador, del evaporador y del aerotermo (04/08/05).

De las figuras 4.3, 4.4 y 4.14 se observa que mientras t_{obs} se mantiene por debajo de 35°C , Q_e es superior a Q_t . Cuando t_{obs} alcanza 35°C , Q_e se iguala a Q_t . Los valores totales del día fueron: $E_g=71,6$ kWh y $E_e=40,1$ kWh. Se cubrió la demanda diaria.

En la figura 4.15 se muestra el CEE térmico instantáneo. El valor medio diario fue 0,56.

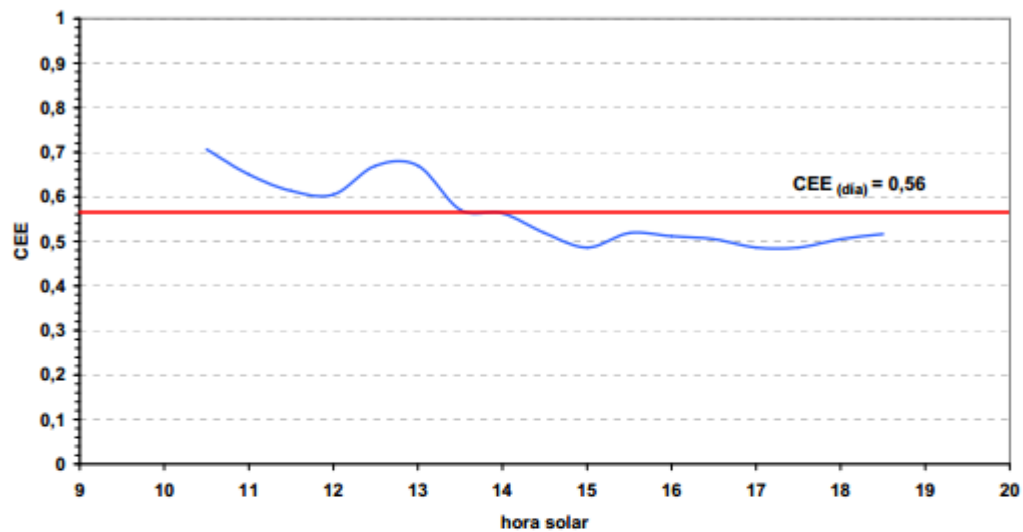


Figura 4.15. CEE térmico (04/08/05).

4.5.3 Día muy caluroso: $t_{\text{obs}}(\text{max})=41,3^{\circ}\text{C}$ (07/08/05)

En la figura 4.16 se muestran las temperaturas de entrada y salida del agua al generador y al evaporador, así como las temperaturas del agua y el aire en el aerotermo. También se muestran la temperatura del aire a la entrada y salida del fancoil del local.

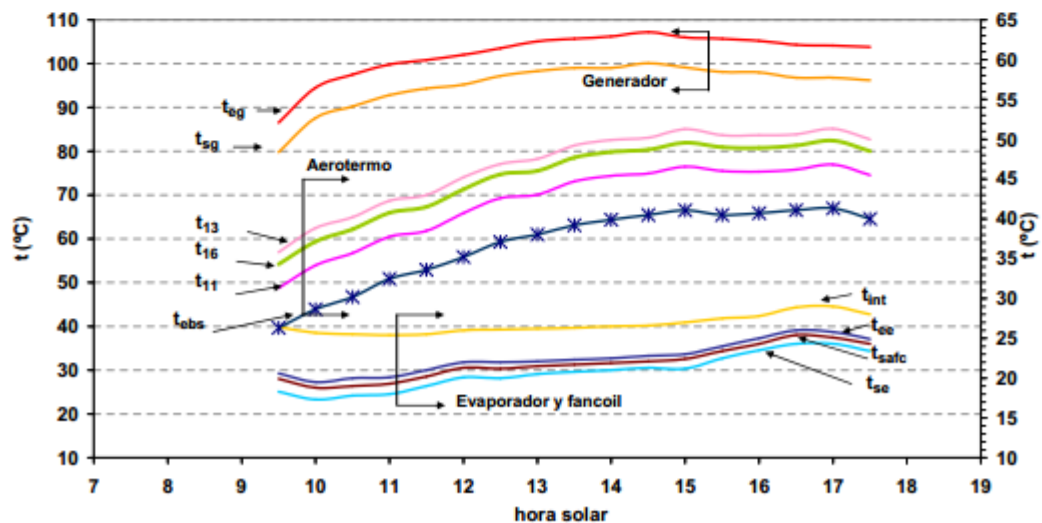


Figura 4.16. Temperaturas de entrada y salida de fluidos: generador, evaporador, aerotermo y fancoil (07/08/05).

4.5 Resultados experimentales de tres días característicos

La temperatura de entrada al generador varió desde 86,5°C hasta 107°C. A continuación se muestran resultados para tres instantes:

10:00h: con $t_{\text{ebs}}=28,6^\circ\text{C}$ y $t_{\text{eg}}=94,5^\circ\text{C}$, se obtuvo $t_{\text{ee}}=19,5^\circ\text{C}$; $t_{\text{se}}=17,3^\circ\text{C}$; $t_{14}=34,1^\circ\text{C}$ y $t_{13}=38,8^\circ\text{C}$.

13:00h: con $t_{\text{ebs}}=38^\circ\text{C}$ y $t_{\text{eg}}=105^\circ\text{C}$, t_{se} aumenta hasta 20,5°C.

17:00h: con $t_{\text{ebs}}=41,3^\circ\text{C}$ y $t_{\text{eg}}=104,1^\circ\text{C}$, se obtuvo $t_{\text{ee}}=25,8^\circ\text{C}$; $t_{\text{se}}=24,3^\circ\text{C}$; $t_{11}=46,8^\circ\text{C}$ y $t_{13}=51,3^\circ\text{C}$. La diferencia entre t_{ebs} y t_{16} fue 5°C aproximadamente. La temperatura interior aumentó hasta 29°C, superando el límite establecido por el RITE para la temperatura de confort en verano.

Este día se observa que mientras t_{ebs} se mantuvo por debajo de 35°C, t_{int} permaneció aproximadamente constante en torno a 25,5°C.

En las figuras 4.3, 4.4 y 4.17 se observa que mientras t_{ebs} aumenta desde 28,6°C hasta 41,3 °C, Q_t aumenta desde 2,6 kW hasta 5,3 kW, y Q_e disminuye desde 5,4 kW hasta 3,62 kW. A partir de $t_{\text{ebs}}=36^\circ\text{C}$, la máquina no cubre Q_t . En la figura 4.17 se muestra Q_g , Q_e y Q_{aer} .

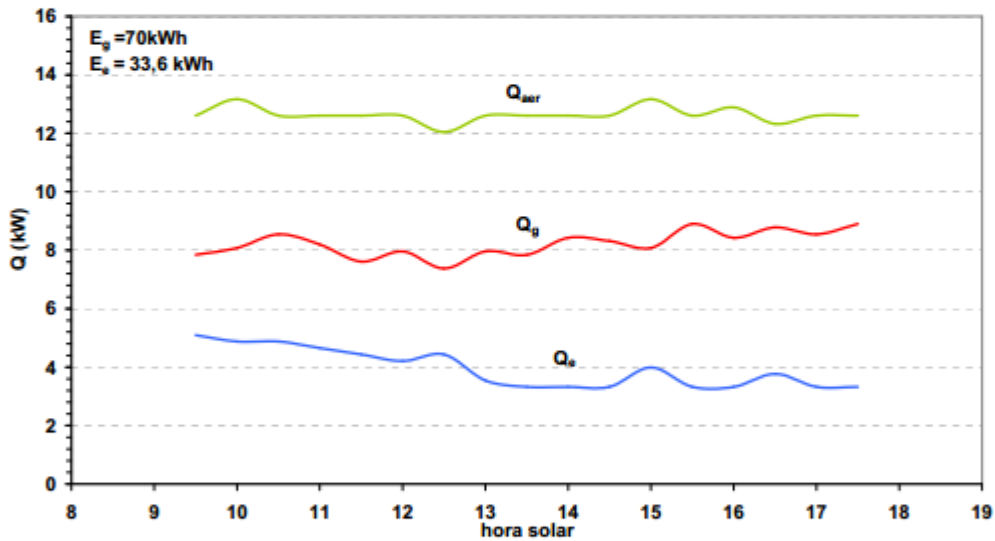


Figura 4.17. Potencia del generador, del evaporador y del aerotermo (07/08/05).

El calor aportado al generador fue 70kWh, mientras que el frío producido en el evaporador resultó ser 33,6kWh. Se cubrió el 70% de la demanda de frío del local de la jornada laboral.

En la figura 4.18 se muestra el CEE térmico instantáneo. El valor medio diario fue 0,48.

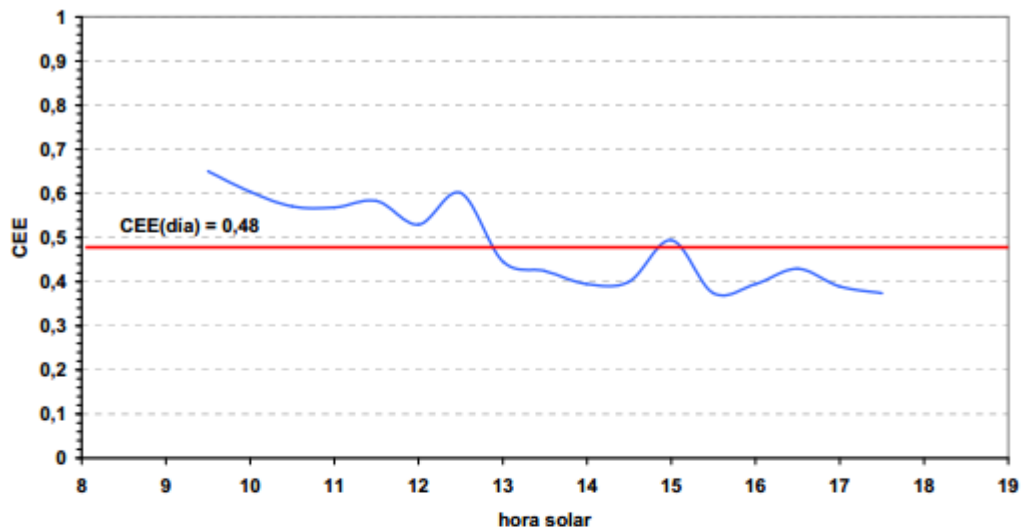


Figura 4.18. CEE térmico (07/08/05).

4.6 Resultados experimentales del período de ensayo

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el período de ensayo de 20 días. En la figura 4.19 vienen representadas E_d , E_g y E_e .

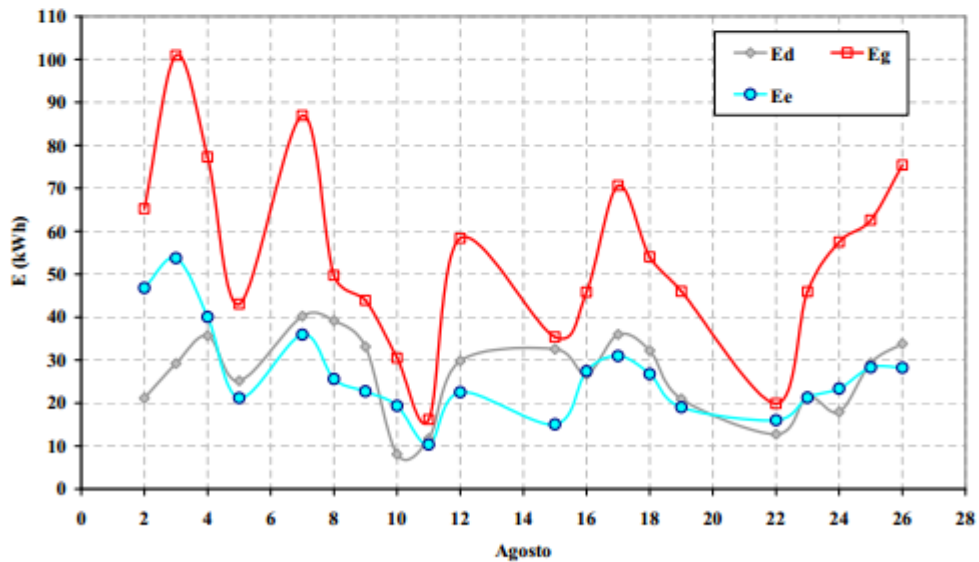


Figura 4.19. Demanda frío, calor al generador y frío en evaporador (Agosto 2005).

El calor total suministrado al generador fue $E_g=1.085,5$ kWh y el frío producido en el evaporador fue $E_e= 534,5$ kWh. Se cubrió el 60% de la demanda de frío. El CEE térmico del

4.6 Resultados experimentales del período de ensayo

período de ensayo, calculado como el cociente entre el frío total producido en el evaporador y el calor total aportado al generador, fue 0,49.

Según las especificaciones del fabricante, la potencia eléctrica nominal de la máquina es 1.200W. Esta potencia incluye: el motor que hace girar el tambor, la bomba de agua fría, la bomba del agua de enfriamiento del sistema re-cooling y el ventilador del aerotermo. La energía eléctrica necesaria durante todo el período de funcionamiento fue $E_{aux}=150$ kWh. Si se tiene en cuenta E_{aux} y se considera que la eficiencia del sistema eléctrico español en su conversión de energía primaria a electricidad es $\eta_{cen} = 0,38$, el $\eta_{cen}=0,38$, el CEE_{elec} medio del período, calculado a partir de la ecuación (2.4), resultó ser 0,36.

4.6.1 Temperatura del agua de enfriamiento frente a t_{ebs}

En la figura 4.20 se muestran t_{11} y t_{13} frente a t_{ebs} . Se han representado las líneas de tendencia de los datos experimentales y se han obtenido las correlaciones (4.9) y (4.10).

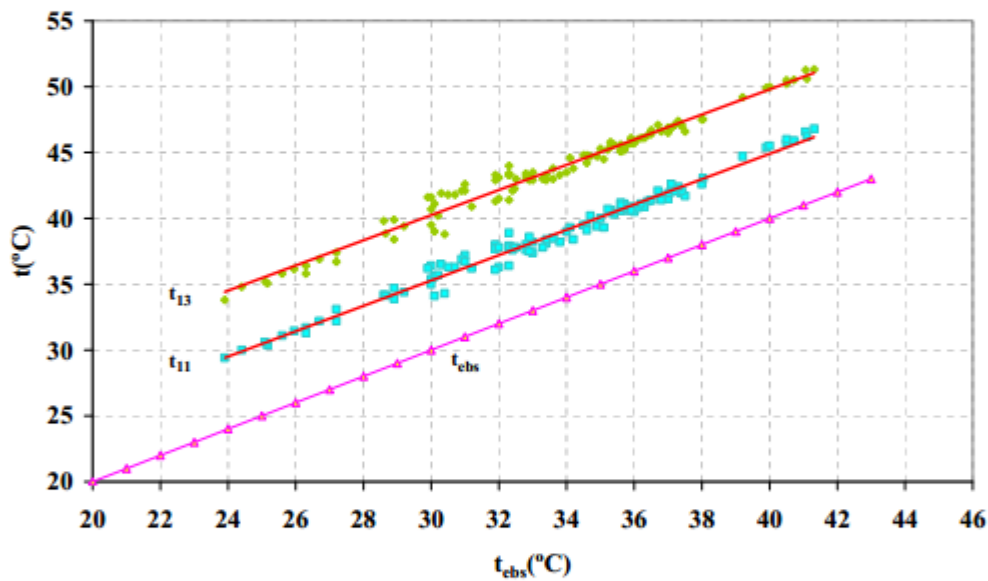


Figura 4.20. Temperatura del agua de entrada y salida del aerotermo frente a temperatura exterior de bulbo seco.

$$t_{11} = 0,9635t_{ebs} + 6,3705 \quad (4.9)$$

$$t_{13} = 0,9548t_{ebs} + 11,604 \quad (4.10)$$

De la correlación (4.9) se obtiene que t_{11} es aproximadamente $t_{ebs} + 5^{\circ}\text{C}$, y de la correlación (4.10) se obtiene que t_{13} es, aproximadamente, $t_{ebs} + 10^{\circ}\text{C}$.

4.6.2 t_{se} frente a t_{ebs}

En la figura 4.21 se muestra t_{se} frente a t_{ebs} . Para $29^{\circ}\text{C} \leq t_{ebs} \leq 35^{\circ}\text{C}$, la t_{eg} media fue 102°C , mientras que para $t_{ebs} > 35^{\circ}\text{C}$, la t_{eg} media fue 105°C .

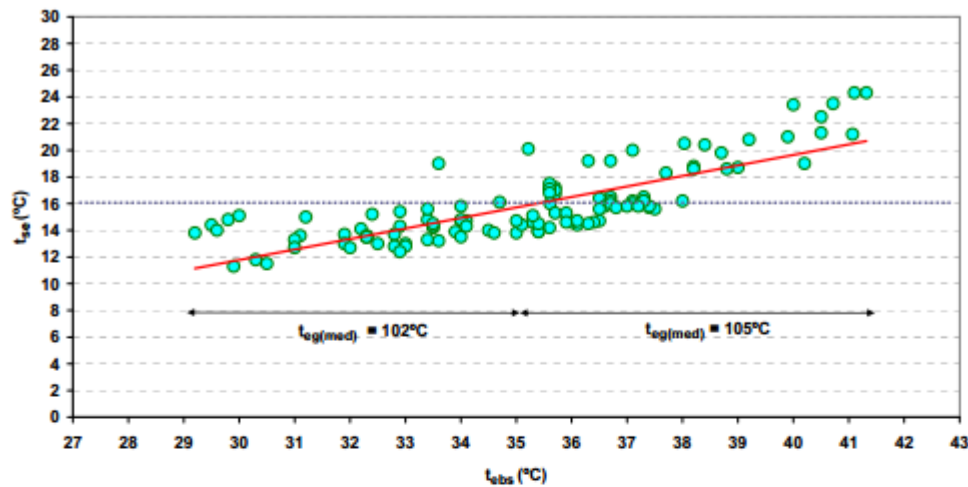


Figura 4.21 Temperatura de salida agua del evaporador frente a temperatura exterior de bulbo seco.

De los 114 puntos representados en la figura 4.21 se obtiene que:

- . Con $29^{\circ}\text{C} \leq t_{\text{ebs}} \leq 35^{\circ}\text{C}$, y t_{eg} en torno a 102°C , en el 15% de los casos $t_{\text{se}} > 16^{\circ}\text{C}$.
- . Con $35^{\circ}\text{C} < t_{\text{ebs}} \leq 38^{\circ}\text{C}$ y t_{eg} en torno a 105°C , en el 67% de los casos $t_{\text{se}} > 16^{\circ}\text{C}$.
- . Con $t_{\text{ebs}} > 38^{\circ}\text{C}$ y t_{eg} en torno a 105°C , en el 100% de los casos $t_{\text{se}} > 16^{\circ}\text{C}$.

Es decir, a medida que aumenta t_{ebs} , aumenta t_{se} . Esto puede deberse a que al aumentar t_{ebs} , aumenta Q_t y, con ella, t_{ee} . Si el evaporador es capaz de enfriar el agua, t_{se} se mantiene constante o disminuye. Si no, la presión en el evaporador, P_e , aumenta, y por tanto, aumenta t_{se} . Otra causa puede ser la acumulación de vapor refrigerante en el evaporador como consecuencia de una mala absorción por parte de la disolución. Al aumentar t_{ebs} , aumenta t_{11} y por tanto, empeora el proceso de absorción de vapor refrigerante. La acumulación de vapor en el evaporador da lugar a un aumento de P_e , y con ella, un aumento de t_{se} .

La t_{se} más baja registrada de todo el período fue $11,3^{\circ}\text{C}$ (22/08/05) y se obtuvo con $t_{\text{ebs}}=29,9^{\circ}\text{C}$ y $t_{\text{eg}}=100,5^{\circ}\text{C}$.

4.6.3 Q_e frente a t_{ebs}

En la figura 4.22 se representa Q_e frente a t_{ebs} , para t_{eg} media de 102°C y 105°C . Se observa la tendencia decreciente de Q_e con t_{ebs} . Con $29^{\circ}\text{C} \leq t_{\text{ebs}} \leq 41,3^{\circ}\text{C}$, se obtiene: $6\text{kW} \leq Q_e \leq 3,1\text{ kW}$ (disminuye hasta un 30% su capacidad nominal). Al aumentar t_{ebs} , aumenta t_{11} , lo que provoca una disminución en la capacidad de absorción de vapor refrigerante en la disolución. Si es menor la cantidad de refrigerante en la disolución que se bombea al generador, disminuye la masa de vapor refrigerante separado y, por tanto, disminuye Q_e .

4.6 Resultados experimentales del período de ensayo

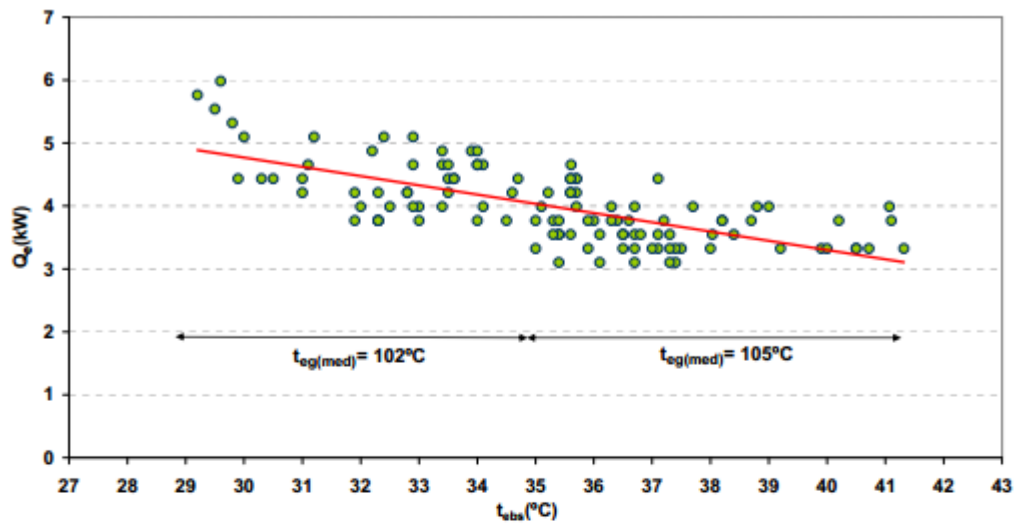


Figura 4.22. Potencia frigorífica del evaporador frente a temperatura exterior de bulbo seco.

4.6.4 CEE térmico frente a t_{externa}

En la figura 4.23 se representa el CEE térmico, calculado según la ecuación (2.2), frente a t_{externa} , para t_{eg} media de 102°C y 105°C . Se puede observar la disminución de CEE con t_{externa} debido a la disminución de Q_e .

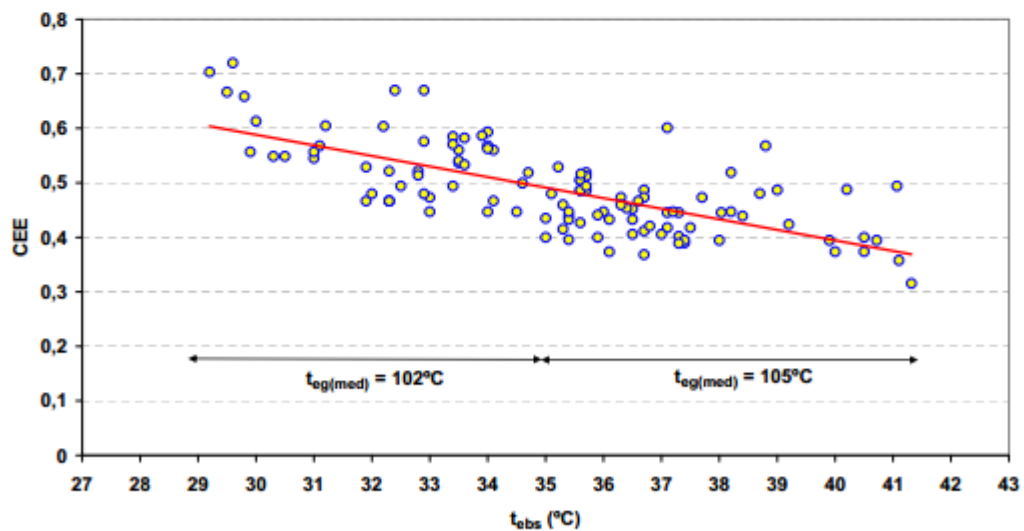


Figura 4. 23. CEE térmico frente a la temperatura exterior de bulbo seco (Agosto 2005).

Con $t_{\text{externa}}=36^\circ\text{C}$, el CEE es, en la mayoría de los casos, inferior a 0,5.

4.7 Cálculo de incertidumbre

A continuación se realiza una estimación de los errores que se han podido cometer en la presentación de resultados. Se ha tenido en cuenta, tanto los errores de las medidas directas (temperaturas, caudales), como las indirectas, determinadas a partir de otras magnitudes medidas directamente (potencias, CEE).

La realización de las medidas directas trae consigo una serie de errores característicos, que son: los de *precisión*, debidos a la resolución del aparato de medida, los *sistemáticos*, que suelen deberse al mal funcionamiento o calibración del equipo de medida y *errores accidentales*, que son provocados por fuentes incontrolables y están presentes en todo experimento.

En la tabla 4.1 se muestran los errores de precisión de cada uno de los sensores que se han utilizado para las medidas directas.

Tabla 4.1 Errores de precisión de los sensores utilizados.

Sensor	Error
Termorresistencia Pt 100	± 0,1 °C
Caudalímetro ultrasónico Fluxus	± 0,5%-3% lectura
Sistema adquisición de datos Yokogawa DC 100	± 0,05% de la lectura

Para dar el valor final del error de la magnitud considerada, hay que tener en cuenta toda la cadena de errores.

El error de las medidas indirectas es función de los errores de las medidas directas. El método para calcular este error es conocido como *propagación de errores*. Para estimar este error se puede usar la ecuación (4.11), (Klien y McClintock, 1953).

$$\Delta g = \sqrt{\sum \left(\frac{\partial g}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2} \quad (4.11)$$

Donde g es función de una serie de magnitudes directas x_1, x_2, \dots, x_n , y Δx_i es el error de la variable x_i .

Se ha aplicado esta ecuación para calcular la incertidumbre asociada a las potencias, rendimientos y CEE. En la tabla 4.2 se muestran estas incertidumbres.

4.9. Nomenclatura

Tabla 4.2 Tabla de Incertidumbres.

Magnitud	Error
Q_e	$\pm 6,5\%$
Q_g	$\pm 2,2\%$
CEE	$\pm 6,9\%$

4.8 Conclusiones

En este capítulo se han presentado resultados experimentales obtenidos con la máquina comercial con sistema re-cooling Rotartica 045v durante 20 días del verano de 2005. Se ha utilizado como fuente de calor un tanque de aceite térmico calentado por resistencias eléctricas y se ha climatizado mediante fancoil un local de 40m². Los resultados fueron publicados en la revista Applied Thermal Engineering en 2007 (Izquierdo et al. 2007).

- La demanda total del período de ensayo fue $E_d=0,9$ MWh, siendo $E_g=1.085,5$ kWh; $E_c=534,5$ kWh y $E_{aux}=150$ kWh.
- Para $29^\circ\text{C} \leq t_{\text{obs}} \leq 41,3^\circ\text{C}$ se obtuvieron temperaturas de entrada del agua de alimentación entre 100°C y 107°C y temperaturas de salida del agua fría entre $11,3^\circ\text{C}$ y $24,3^\circ\text{C}$. La capacidad frigorífica disminuyó desde 6kW hasta 3,1kW y el CEE (aplicando la ecuación 2.2) desde 0,72 hasta 0,31.
- Se presentan correlaciones para obtener la temperatura de entrada y salida del agua del aerotermo en función de t_{obs} . A partir de ellas se obtiene que, aproximadamente, $t_{13} = t_{\text{obs}}+10^\circ\text{C}$ y $t_{11} = t_{\text{obs}}+ 5^\circ\text{C}$.
- Los días en los que $t_{\text{obs}} < 36^\circ\text{C}$, Q_t es cubierta por la máquina, y t_{int} se encuentra dentro del rango establecido por el RITE.
- El CEE térmico medio del periodo de ensayo, sin considerar la energía eléctrica de los equipos auxiliares, fue 0,49. Si se tiene en cuenta esta energía, el CEE_{elec} resultó ser, en términos de energía primaria, 0,36.
- Los resultados obtenidos, respecto a temperatura de trabajo y potencia en el generador, permitieron realizar el diseño de la instalación de energía solar que se describe en el siguiente capítulo. Para $t_{\text{obs}}=30^\circ\text{C}$ la instalación debe ser capaz de suministrar agua caliente en torno a 100°C , y con $t_{\text{obs}}=35^\circ\text{C}$ ser capaz de alcanzar 105°C .

4.9 Nomenclatura

A	área, m ²
CEE	coeficiente de eficiencia energética
c_p	calor específico, J/kgK
E	energía, kWh
h_{fg}	entalpía de cambio de fase, kJ/kg
I	radiación solar, W/m ²
k_G	coeficiente global de transferencia de calor, W/m ² K
M	caudal, m ³ /h

m	flujo másico, kg/s
N	número
q	flujo de calor, kW/m ²
Q	potencia térmica, kW
renv	renovaciones
t	temperatura, °C
U	coeficiente global de transferencia de calor, W/m ² K.
V	volumen, m ³
W	potencia eléctrica, kW
w	relación de humedad, kg _{vapor} /kg _{aire}

subíndices

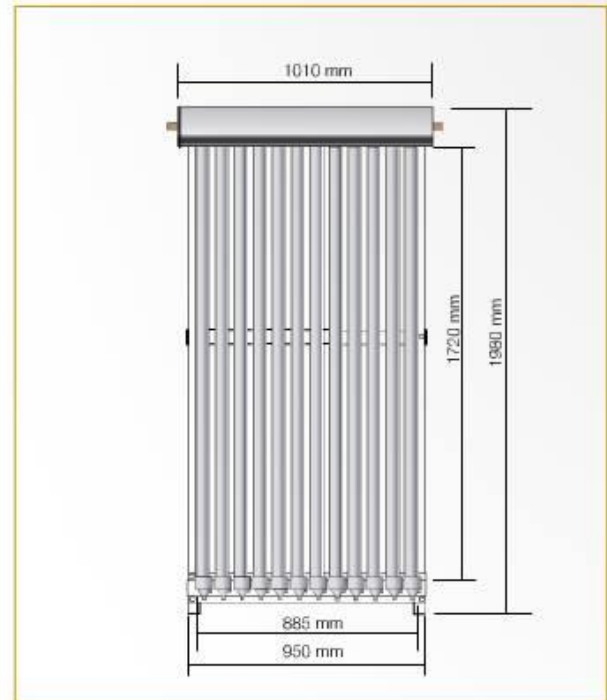
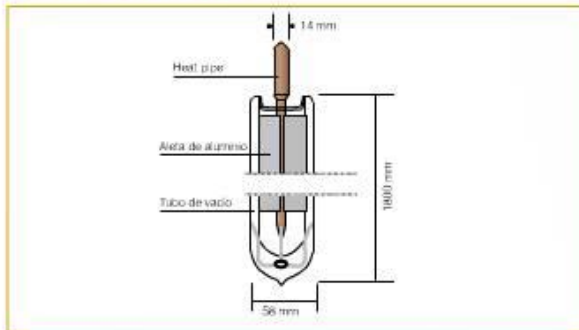
aer	aerotermino
aux	auxiliar
cen	central eléctrica
cris	acristalamiento
d	demanda
e	evaporador
eafc	entrada aire al fancoil
ebs	exterior de bulbo seco
ee	entrada agua al evaporador
eg	entrada fluido exterior al generador
elec	electricidad
equip	equipo
evap	evaporador
ext	exterior
f	factor de simultaneidad
g	generador
H	horizontal
ilum	iluminación
int	interno
lab	laboratorio
max	máximo
min	mínimo
pers	personas
rad	radiación
safc	salida aire del fancoil
se	salida del agua evaporador
sg	salida fluido exterior del generador
t	térmico
trans	transferencia
vent	ventilación

ANEXO C: Catálogos para la selección de colectores térmicos.

Placa de tubos de vacío

La gama Elite: el mayor avance tecnológico para un rendimiento máximo. Las placas de tubos de vacío optimizan la eficacia de la placa eliminando las pérdidas por convección gracias al vacío que se aplica a los tubos: conseguimos alcanzar el máximo rendimiento en las condiciones climáticas y configuraciones más difíciles. Es la solución a las instalaciones más exigentes.

Vistas detalladas



Curva de rendimiento térmico

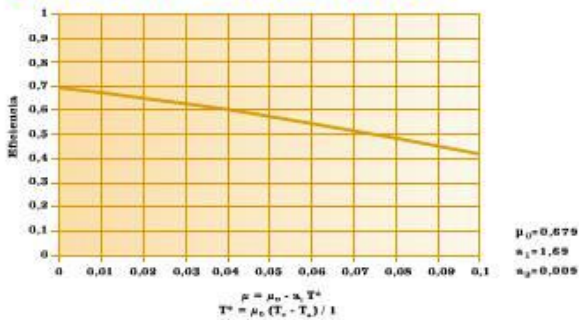


Tabla de características

MODELO			ELITE
Dimensiones	Exteriores	mm	1980/1010
	Superficie bruta	m ²	1,9
	Superficie de absorción	m ²	0,96
Peso	Vacío	kg	40,7
Colector	Material del marco		Aluminio
	Número de tubos		12
Absorbedor	Material absorbedor		Cristal de borosilicato
	Recubrimiento		SS-CU-ALN/AIN
	Índice de absorción		0,92
	Índice de emisión		0,08
	Rendimiento óptico		0,7
	Rendimiento a delta T=0,06		0,54
Tubo	Material del condensador		Cobre
	Largo tubo	mm	1800
	Diámetro tubo exterior	mm	58
	Espesor tubo	mm	1,5
	Volumen fluido	l	1,2
	Peso por tubo	kg	2,15
	Espesor	mm	8
	Índice de transmisión		0,92
Aislamiento térmico	Interior absorbedor		Lana de roca con espuma de poliuretano
Temperatura máxima	En funcionamiento	°C	110
	Estacionario	°C	280
Presión	Máxima de trabajo	bar	6
	Estacionario	bar	12

RESERVADOS LOS DERECHOS A MODIFICAR MODELOS Y DATOS
*En curso de homologación

MODELO	ELITE
Código	3CSD3000
Precio Ref. €	725

ACCESORIOS	SOPORTES CUBIERTA PLANA	SOPORTES TEJADO INCLINADO
Nº de placas	1	1
Código	3CSD3180	3CSD3185
Precio Ref. €	185	115

Placa selectiva

Daitso le ofrece una gama de placas de alto rendimiento que se adapta a las necesidades de cualquier instalación.

Su recubrimiento selectivo y su alto nivel de aislamiento térmico le garantiza el mayor confort y el máximo ahorro en todas las instalaciones.

Vista detallada

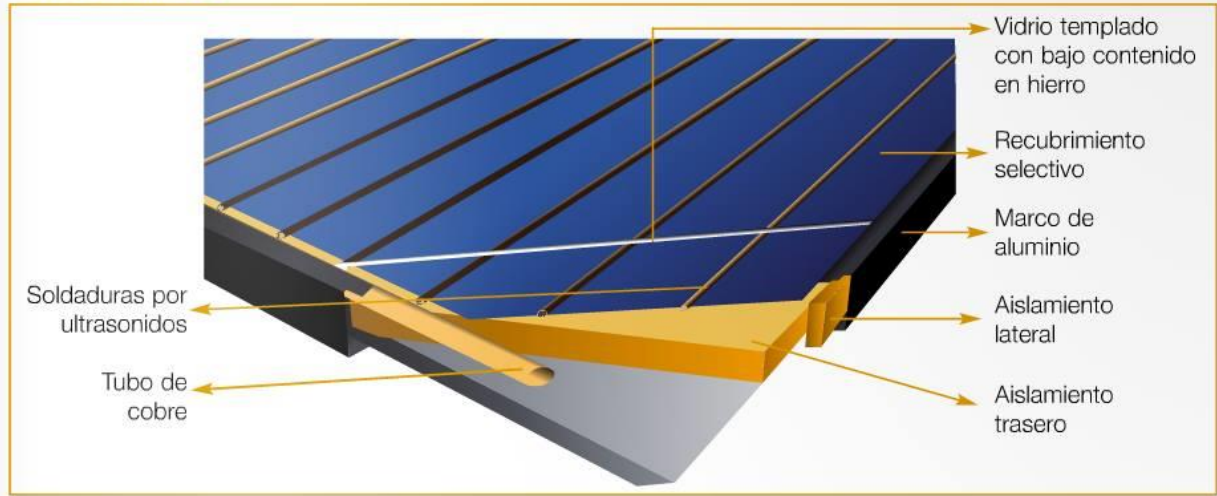


Tabla de características

— Advance 1,8 — Advance 2,5

MODELO			ADVANCE 1,8	ADVANCE 2,5
Dimensiones	Exteriores	mm	1930/930/90	1988/1218/90
	Superficie bruta	m ²	1,79	2,4
	Superficie de absorción	m ²	1,6	2,3
Peso	Vacío	kg	34	41,5
Colector	Material del marco		Aluminio	Aluminio
Absorbedor	Material		Cobre	Cobre
	Recubrimiento		Tinox	Tinox
	Índice de absorción		0,95	0,95
	Índice de emisión		0,03	0,03
	Soldaduras		Ultrasonidos	Ultrasonidos
	Rendimiento óptico		0,75	0,75
	Rendimiento a delta T=0,06		0,44	0,44
Cristal	Tipo		Vidrio templado (bajo contenido en hierro)	Vidrio templado (bajo contenido en hierro)
	Espesor	mm	4	4
	Índice de transmisión		0,91	0,91
Aislamiento térmico	Trasero		Lana de roca 50 mm	Lana de roca 50 mm
	Lateral		Lana de vidrio 20 mm	Lana de vidrio 20 mm
	Junta de estanqueidad		EPDM y silicona	EPDM y silicona
Temperatura máxima	En funcionamiento	°C	203	203
	Estacionario	°C	232	232
Presión	Máxima de trabajo	bar	10	10

RESERVADOS LOS DERECHOS A MODIFICAR MODELOS Y DATOS
*En curso de homologación

MODELO	ADVANCE 1,8		ADVANCE 2,5	
Código	3CSD3010		3CSD3020	
Precio Ref. €	510		595	

ACCESORIOS	SOPORTES CUBIERTA PLANA		SOPORTES TEJADO INCLINADO	
	Nº de placas	1	2	1
Código	3CSD3110	3CSD3120	3CSD3140	3CSD3150
Precio Ref. €	185	275	115	195

04 COLECTORES SOLARES



• Colectores de tubos de vacío "U" PIPE



U PIPE

En cada tubo de vacío hay una tubería en U de flujo directo conectado como el resto de colectores tubulares al circuito primario. Esta tubería en U está en contacto con una aleta de aluminio transmisora de calor en el interior del tubo de vacío que transmite el calor desde el interior del tubo hacia la tubería en U.

La radiación solar penetra el tubo exterior de cristal y es capturada en el exterior del tubo de cristal interior por una capa difusora altamente selectiva. La captación de radiación solar es transmitida hacia una aleta de aluminio de contacto superficial y desde ésta hacia la tubería de cobre que contiene el fluido caloportador. Los 360° de la aleta de aluminio transmisora de calor aseguran la más rápida transferencia de energía.

Los colectores se suministran en embalaje individual debidamente paletizado, con los tubos recubiertos de porexpan, lo que asegura una máxima fiabilidad en el transporte, y sobre un soporte de aluminio para fijarlo al sistema de soportación de la instalación.

Código	Artículo	€
SO 04 301	Colector "U" PIPE AKU 20 1800/58	797,00
SO 04 302	Colector "U" PIPE AKU 16 1800/58	640,00
SO 04 303	Colector "U" PIPE AKU 12 1800/58	525,00
SOPORTE TIPO CUBIERTA PLANA		
SO 04 311	Kit soportación colector AKU 20 1800/58	60,00
SO 04 312	Kit soportación colector AKU 16 1800/58	49,00
SO 04 313	Kit soportación colector AKU 12 1800/58	48,00
SOPORTE TIPO CUBIERTA INCLINADA		
SO 05 031	Soporte Escosol cubierta inclinada, 4 pies + 16 fijaciones	73,00
SO 04 002	Tubo de vacío 1800/58 mm (solo tubo)	8,00



Soporte cubierta inclinada

DATOS TÉCNICOS:

Modelo		AKU 20	AKU 16	AKU 12
Dimensiones A x H x F	mm	1672x1980x156	1352x1930x150	1032x1930x150
Peso	kg	52	45	38
Nº de tubos		20	16	12
Diámetro, tubo de cobre	mm	8	8	8
Diámetro/longitud	mm	58/1800	58/1800	58/1800
Tubo de vacío				
S. Total	m ²	3,21	2,6	1,99
S. Apertura	m ²	2,03	1,6	1,2
Presión máx. func.	bar	6	6	6
Rendimiento				
nº		0,708	0,708	0,708
a1 W/m ² /°C		2,84	2,84	2,84
Contraseña homologación		GPS-8247	GPS-8343	GPS-8343

ANEXO D: Catálogos para la selección del acumulador.

Acumulador

Depósitos Acusol

Energía Solar Térmica

Los acumuladores Daitu le permite aprovechar al máximo de la aportación solar en toda seguridad: su diseño le aporta una óptima estratificación mientras su revestimiento vitrificado y ánodo de magnesio le protegen contra la corrosión.

Vistas detalladas

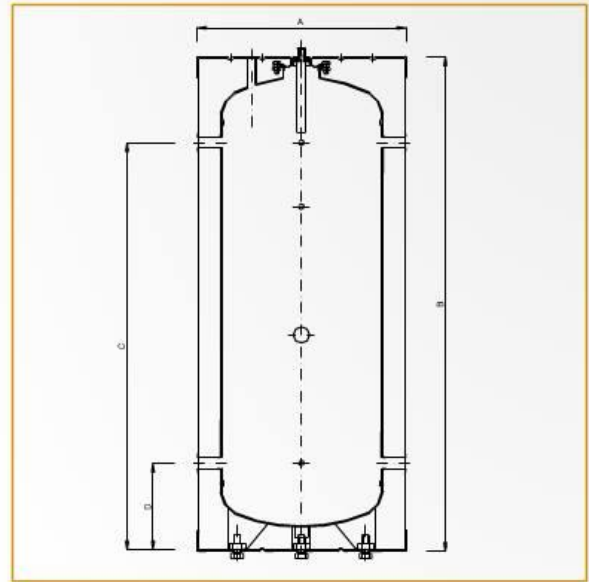


Tabla de características

MODELO		ACUSOL 350	ACUSOL 500	ACUSOL 800	ACUSOL 1000
Capacidad	l	350	500	800	1000
Temperatura máx. permitida	°C	95	95	95	95
Presión máx. permitida	bar	10	10	10	10
Aislamiento	mm	Poliuretano 50 mm		PU expandido 80 mm	
Diámetro (A)	mm	750	750	900	995
Altura (B)	mm	1395	1845	2103	2128
Entrada (D)	mm	290	290	338	398
Salida (C)	mm	1090	1540	1738	1673
Peso neto	kg	105	140	230	295
Valvula de seguridad	pulg.	1 1/4"	1 1/4"	1 1/2"	1 1/2"

RESERVADOS LOS DERECHOS A MODIFICAR MODELOS Y DATOS

MODELO	ACUSOL 350	ACUSOL 500	ACUSOL 800	ACUSOL 1000
Código	3CSD3630	3CSD3650	3CSD3680	3CSD3690
Precio Ref. €	1.335	1.645	1.880	2.160

AS 800-2 E a AS 1500-2 E
 AS 1000-1 E a AS 3000-1 E
 AS 1000-IN E a AS 3000-IN E
 ASC 800/200 E y ASC 1000/250 E

BAXIROCA



GAMA AS

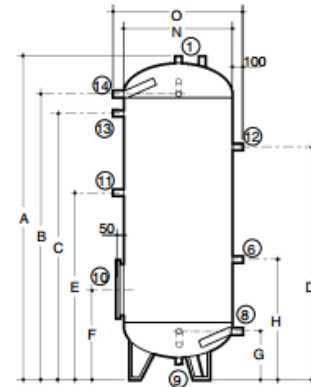
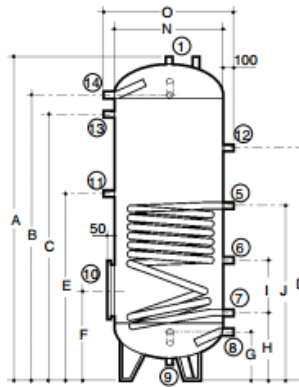
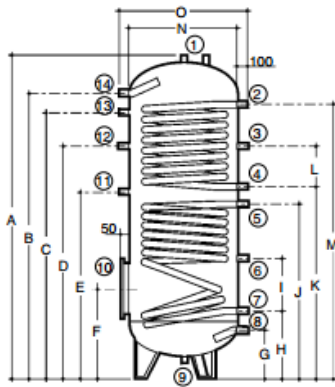
Características principales / Main features / Características principais

AS

AS 800-2 E / 1000-2 E / 1500-2 E(*)
 (Doble serpentín / Dual coil / Dupla serpentina)

AS 1000-1 E / AS 1500-1 E / 2000-1 E /
 AS 2500-1 E / 3000-1 E
 (1 serpentín / 1 coil / 1 serpentina)

AS 1000-IN E / AS 1500-IN E / 2000-IN E /
 25000-IN E / 3000-IN E
 (Sin serpentín / No coil / Sem serpentina)



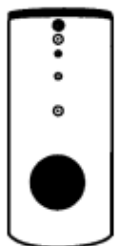
Cotas / Dimensions / Cotas (mm)	AS 800-2 E	AS 1000-2 E	AS 1500-2 E	AS 1000-1 E	AS 1500-1 E	AS 2000-1 E	AS 2500-1 E	AS 3000-1 E	AS 1000-IN E	AS 1500-IN E	AS 2000-IN E	AS 2500-IN E	AS 3000-IN E
A	1.905	2.155	2.205	2.155	2.205	2.550	2.570	2.950	2.155	2.205	2.550	2.570	2.950
B	1.625	1.875	1.935	1.875	1.935	2.210	2.220	2.520	1.875	1.935	2.210	2.220	2.520
C	1.490	1.749	1.825	1.749	1.825	2.090	2.100	2.400	1.749	1.825	2.090	2.100	2.400
D	1.325	1.545	-	1.545	1.600	1.835	1.780	2.080	1.545	1.600	1.835	1.780	2.080
E	1.130	1.235	1.345	1.235	1.345	1.485	1.470	1.550	1.235	1.345	1.485	1.470	1.550
F	606	606	660	606	660	696	756	756	606	660	696	756	756
G	255	255	315	255	315	340	400	400	255	315	340	400	400
H	359	385	460	385	460	500	560	560	790	850	870	1.030	1.030
I	341	405	390	405	390	370	470	470	-	-	-	-	-
J	1.079	1.105	1.290	1.105	1.290	1.400	1.415	1.460	-	-	-	-	-
K	1.190	1.345	1.400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L	140	200	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M	1.526	1.745	1.805	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N	790	790	1.000	790	1.000	1.100	1.200	1.200	790	1.000	1.100	1.200	1.200
O	990	990	1.200	990	1.200	1.300	1.400	1.400	990	1.200	1.300	1.400	1.400

	Conexión / Connection / Ligação	Diámetro / Diameter / Diámetro	Diámetro / Diameter / Diámetro	Diámetro / Diameter / Diámetro
		AS 800-2 E AS 1000-2 E AS 1500-2 E(*)	AS 1000-1 E / AS 1500 -1 E AS 2000-1 E / AS 2500-1 E AS 3000-1 E	AS 1000-IN E / AS 1500-IN E AS 2000-IN E / AS 2500-IN E AS 3000-IN E
1	Ánodo de magnesio / Magnesium anode / Ânodo de magnésio	1 1/4" x 2	1 1/4" x 2	1 1/4" x 2
2	Ida caldera / Boiler flow / Ida da caldeira	1 1/4"	-	-
3	Sonda circuito caldera / Boiler circuit sensor / Sonda circuito caldeira	1/2"	-	-
4	Retorno caldera / Boiler return / Retorno da caldeira	1 1/4"	-	-
5	Salida de circuito solar / Solar circuit flow / Ida do circuito solar	1 1/4"	1 1/4"	-
6	Sonda circuito solar / Solar circuit sensor / Sonda circuito solar	1/2"	1/2"	1/2"
7	Entrada de circuito solar / Solar circuit return / Retorno do circuito solar	1 1/4"	1 1/4"	-
8	Entrada agua de red / Mains water inlet / Entrada de água da rede	1 1/4"	1 1/4" x 2	1 1/4" x 2
9	Vaciado / Drain / Esvaziamento	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"
10	Brida de Inspección / Inspection flange / Flange de inspeção	Ø 480 mm	Ø 480 mm	Ø 480 mm
11	Resistencia (opcional) / Heater (optional) / Resistência (opcional)	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"
12	Recirculación / Re-circulation / Recirculação	1"	1"	1"
13	Termómetro / Thermometer / Termómetro	1/2"	1/2"	1/2"
14	Consumo / DHW Draw-off / Consumo	1 1/4"	1 1/4" x 2	1 1/4" x 2

(*) El depósito AS 1500-2 E dispone de 2 conexiones (8) y 2 conexiones (14). / The tank AS 1500-2 E have 2 connections (8) and 2 connections (14) / O depósito AS 1500-2 E dispõe de 2 ligações (8) e 2 ligações (14).



16.2.4. Sin serpentín (inercia)



Referencia	Modelo	Euros
148110510	Depósito acumulador solar AS 750-IN E	1.982,00
148110511	Depósito acumulador solar AS 1000-IN E	2.564,00
148110512	Depósito acumulador solar AS 1500-IN E	3.442,00
148110305	Depósito acumulador solar AS 2000-IN E	4.617,00
148110306	Depósito acumulador solar AS 2500-IN E	5.580,00
148110307	Depósito acumulador solar AS 3000-IN E	6.138,00
148110308	Depósito acumulador solar AS 3500-IN E	6.638,00
148110309	Depósito acumulador solar AS 4000-IN E	7.781,00
148110310	Depósito acumulador solar AS 5000-IN E	9.141,00

ANEXO E: Catálogos para la selección de grupos hidráulicos y vaso de expansión

Grupo hidráulico

El grupo hidráulico es el motor de la instalación solar: según las instrucciones de la centralita, el grupo hidráulico arranca la bomba y regula el caudal permitiendo el aprovechamiento máximo de la aportación solar en el captador según las necesidades.

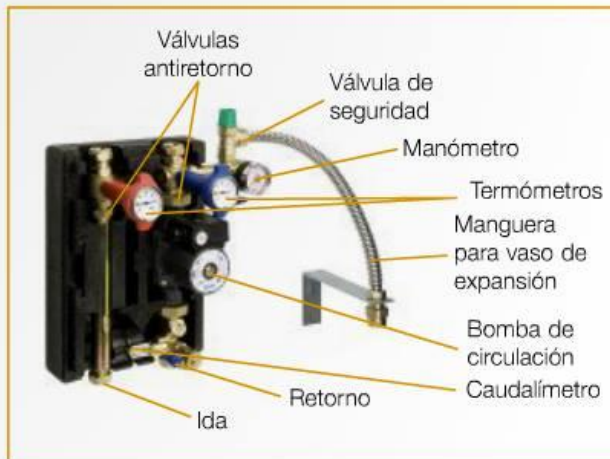


Tabla de características

MODELO		GH SINGLE 20*	GH 20	GH 40	GH 70
Velocidades bomba	n°	3	3	3	3
Regulador caudal	l/min	2 a 16	2 a 16	4 a 36	4 a 36
Control temperatura (ida-vuelta)		sí-no	sí-sí	sí-sí	sí-sí
Válvula de seguridad	bar	6	6	6	8
Conexiones hidráulicas	pulg.	1"	1"	1"	1"
Superficie de colectores recomendada	m²	20	20	40	70

RESERVADOS LOS DERECHOS A MODIFICAR MODELOS Y DATOS

MODELO	GH SINGLE 20*	GH 20	GH 40	GH 70
Código	3CSD0325	3CSD0300	3CSD0305	3CSD0310
Precio Ref. €	365	470	510	590

* Para el resto de las características y el funcionamiento véase el manual.

Vaso de expansión

Los vasos de expansión Daitsu están diseñados para asegurarle la máxima fiabilidad controlando la dilatación y la contracción del líquido solar dentro de la instalación.



Tabla de características

MODELO		VE12	VE18	VE25	VE35	VE50	VE80	VE110	VE140
Capacidad	l	12	18	25	35	50	80	110	140
Presión nominal	bar	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Presión máxima	bar	6	6	6	6	6	6	6	6
Temperatura máxima	°C	110	110	110	110	110	110	110	110

RESERVADOS LOS DERECHOS A MODIFICAR MODELOS Y DATOS

MODELO	VE12	VE18	VE25	VE35	VE50	VE80	VE110	VE 140
Código	3CSD0500	3CSD0505	3CSD0510	3CSD0515	3CSD0520	3CSD0525	3CSD0530	3CSD0535
Precio Ref. €	65	75	94	137	229	296	390	595

ANEXO F: Catálogos para la selección de la centralita y válvulas motorizadas.

SO COMPLEMENTOS PARA INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MundoControl

Regulación ESCOSOL



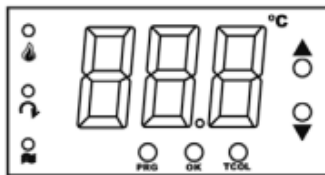
Mundocontrol
RD-MU/5/K/R




Mundocontrol
RD-MU4/1/MINI



Mundocontrol
RD-MU/3















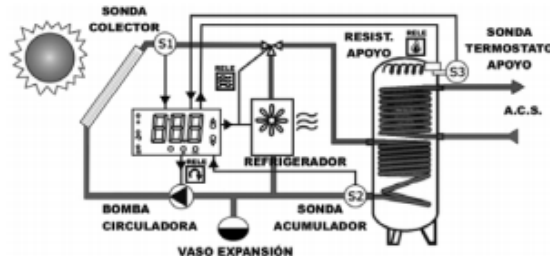
MENSAJES PANTALLA

ErA: Error sonda acumulador (S2).
ErC: Error sonda colector (S1).
ErH: Error sonda termostato (S3).
ErP: Error programación. "don" ha de ser mayor que "doF".
E2P: Error memoria interna.
Indicación  : Encendido indica relé correspondiente activado.

Código	Artículo	€
	TERMOSTATO DIFERENCIAL ENERGÍA SOLAR CON TERMOSTATO AUXILIAR PARA SISTEMAS DE APOYO O DISIPACIÓN DE SEGURIDAD	
	<ul style="list-style-type: none"> Indicación de temperaturas, colector y depósito Posibilidad de paro y marcha forzado Ajuste calibrado de sondas por separado Ajuste del diferencial de activación y desactivación por separado Función anti-hielo 	
SO 15 021	RD-MU/1 2 Sondas 1 relé	90,00
SO 15 022	RD-MU/2 2 Sondas 2 relés	102,00
SO 15 023	RD-MU/3 3 Sondas 3 relés	123,00
SO 15 031	RD-MU/3/KWH Centralita + contador Kcal	141,00
SO 15 032	RD-MU/3/K/R Centralita + contador Kcal + reloj	155,00
SO 15 041	RD-MU4/1/MINI 2 sondas 1 relé	80,00
SO 15 121	Sonda RD-M4 Con cable de silicona de 1500 mm	9,00
	CENTRALITA 5 SONDAS, 5 RELÉS + CONTADOR + RELOJ HORARIO	
	<ul style="list-style-type: none"> Indicación de temperatura, colector y hasta 3 acumulaciones Programación por meses acumulador de calefacción, desactivación del relé los meses de verano Opc. contador Kcal entre sonda 5 y cualquiera de las otras 4 Opción de convertir cualquier relé en termostato absoluto Sonda 1 de alta temperatura 	
SO 15 033	RD-MU/5/K/R con contador KWH y reloj	194,00
	SISTEMA ALARMAS POR GSM INSTAL. SOLARES	
	<ul style="list-style-type: none"> Notificaciones telefónicas de alarmas por mensajes (SMS) Posibilidad de controlar por el móvil la bomba, el disipador de calor... 4 entradas y 2 salidas 	
SO 15 035	RD-MU5/SMS	268,00

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

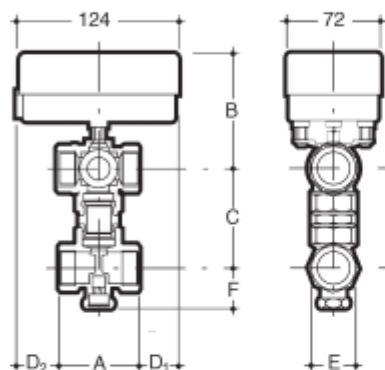
El termostato RD-MU/3 se usa para controlar instalaciones solares. Tiene **3 sondas de temperatura** (Colector Solar, Depósito Acumulador y Termostato de apoyo) y **3 relés**. El relé  se activa/desactiva dependiendo de la diferencia entre la sonda colector (S1) y la sonda acumulador (S2). El relé  se activa cuando la temperatura de la sonda colector y/o acumulador (S1 y/o S2) exceden de un determinado valor. El relé  maneja la **bomba del circuito colector-acumulador**. El relé  maneja la válvula que conecta el circuito refrigerador. El relé  controla el **Termostato de apoyo** dependiendo de la sonda S3, aportando el calor necesario cuando el colector solar es insuficiente o para aprovechamiento del calor sobrante. La pantalla muestra la temperatura del **Depósito Acumulador** (S2). Para ver la temperatura del **Colector Solar** (S1) pulsar TCOL. Para ver la temperatura **Termostato de apoyo** (S3) pulsar  o . Para entrar en **programación de parámetros** pulsar PRG durante el tiempo del parámetro "IEP". Para forzar la activación del relé  (Bomba de circulación) mantener pulsada la tecla TCOL durante 10 segundos. Se encenderá el led correspondiente. Para desactivar pulsar cualquier tecla. Para forzar la activación del relé  (Circuito refrigerador) mantener pulsada la tecla OK durante 10 segundos. Se encenderá el led correspondiente. Para desactivar pulsar cualquier tecla. Para forzar la activación del relé  (Termostato de apoyo) mantener pulsada la tecla  o  durante 10 segundos. Se encenderá el led correspondiente. Para desactivar pulsar cualquier tecla.



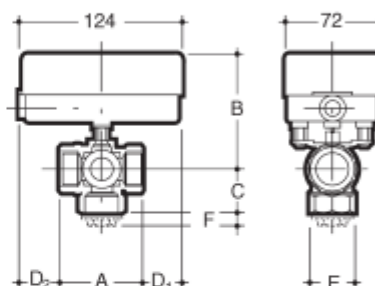
Dimensiones y Características Técnicas

Modelo	Cotas mm								
	A	B	C	C ₁	D ₁	D ₂	E	F	Kv
Válvula 3/4"	63	94	81	33	32	29	37	14	12
Válvula 1"	75	98	90	42	25	24	47	12	17,6

Válvula de zona motorizada con detentor

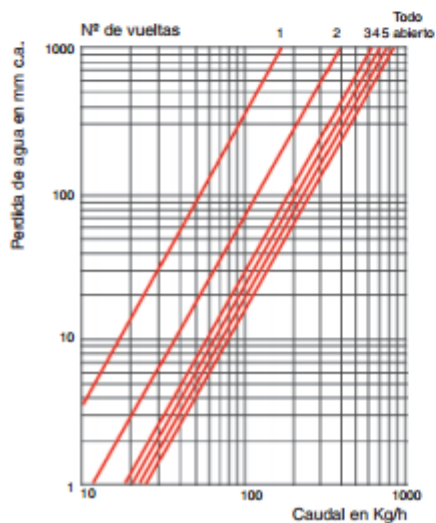


Válvula de zona motorizada de 3 y 2 vías

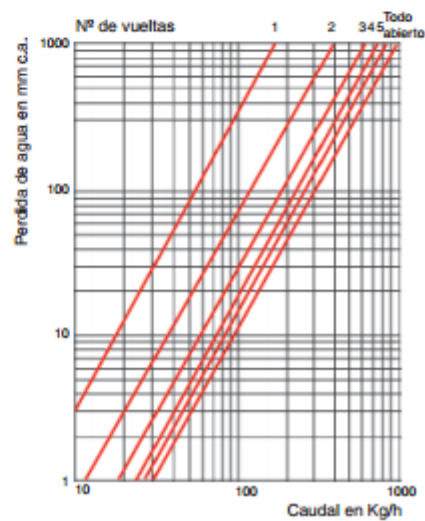


Diagramas de pérdida de carga Válvula con detentor (según las vueltas de apertura)

Detentor 3/4"



Detentor 1"





• Combustibles y aceites

Código	Artículo					€
	Tipo	Paso	Función	Fluido	Presión mínima	
CUERPO SIN BOBINA						
CO 01 301	• Bobina ZH14 PM 120 4.IR	1/8"	NA	F-H-G	0	80,13
CO 01 302	• Bobina ZH14 PM 120 4.AR	1/4"				97,96
CO 01 332	• Bobina ZB09 PM 140 CR	1/4"	NC	G-F	0	64,32
CO 01 333	PM 140 DR	1/4"				74,96
CO 01 341	• Bobina ZB09 PM 153 BV	3/8"	NC	G-O-C	0	65,06
CO 01 342	PM 153 GV	1/2"				67,65
CUERPO + BOBINA 220 V (KT 09)						
CO 01 311	VE 130 BR-1	-	NC	G-O	0	62,12
CO 01 322	VE 131 AN	1/8"	NC	G-O	0	32,76
CO 01 324	VE 131.4 CG	1/8"		C		30,91

VALVULAS SOLENOIDES



Código	Artículo Tipo	Paso	Función	Fluido	Presión mín.	Euros
COMPLETO CON BOBINA 220V (KT 09)						
EG.01.324	VE 131.4 CG	1/8"		C		32,88
EG.01.325	VE 131.4 GG	1/4"				34,32
CUERPO CON BOBINA 220V						
EG.01.525	• Bobina ZB09	1/2"	NC	G-O-C	0	20,97
EG.01.342	PM 153 GB					65,52
CUERPO SIN BOBINA						
EG.01.525	• Bobina ZB09 (220V)	3/8" 1/2" 3/4"	NC	G-O-I W-A	0	20,97
EG.01.011	PM 123 IV					98,50
EG.01.012	PM 123 AV PM 123 CV					99,50 116,66
EG.01.014	PM 123 DV					33,08
EG.01.525	• Bobina ZB09 (220V)	3/4"	NC	G-O-I	0	19,97
EG.01.103	PM 146 WV					37,42

ANEXO G: Catálogos para la selección de la centralita y válvulas motorizadas.

Technical details

Baxi EcoBlue Advance Heat		13	16	19	25	30
Sales code	Boiler only	7212207	7212209	7212210	7212211	7212212
Controls						
Operating mode selector switch with reset	Yes / no	✓	✓	✓	✓	✓
User adjustable CH temperature	Range - e.g. 45°C to 82°C	✓	✓	✓	✓	✓
LED temp/status/fault diagnosis display	Yes / no	✓	✓	✓	✓	✓
Gas						
SEDBUK 2005 seasonal efficiency	Band	A	A	A	A	A
	%	90.2	90.2	90.1	90.1	90
NOx class	1 + 5	5	5	5	5	5
Heat output	kW (max)	13	16	19	25	30
	kW (min)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Gas supply pipe size	(mm)	22	22	22	22	22
Inlet supply pressure (natural gas)	mbar	20	20	20	20	20
Maximum gas rate	mVhr	1.42	1.75	2.07	2.73	3.27
Mechanical and hydraulic						
Compartment ventilation required		X	X	X	X	X
Flow / return pipe size	(mm)	22	22	22	22	22
Condensate discharge pipe size	(mm)	21.50	21.50	21.50	21.50	21.50
Electrical						
Electrical supply	Volts / Hz	230V / 50Hz	230V / 50Hz	230V / 50Hz	230V / 50Hz	230V / 50Hz
Permanent live required	Yes / no	X	X	X	X	X
Switched live	Yes / no	✓	✓	✓	✓	✓
Electrical power cable fitted as standard	1m of 3 core	✓	✓	✓	✓	✓
Power consumption	Watts	17	20	23	33	44
External fuse rating	Amps	3	3	3	3	3
Internal fuse rating		1.6T	1.6T	1.6T	1.6T	1.6T
Boiler IP rating (electrical protection)	Approval category	IPX4D	IPX4D	IPX4D	IPX4D	IPX4D
Pump overrun	Yes / no	X	X	X	X	X
Concentric flue system						
Standard telescopic concentric flue	Length in mm	315-500	315-500	315-500	315-500	315-500
Standard in-case rear telescopic concentric flue	Length in mm	220 - 345	220 - 345	220 - 345	220 - 345	220 - 345
Horizontal concentric (60/100 mm)	Max equivalent length (m)	6	6	6	6	6
	Reduction per 135° bend (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	Reduction per 93° bend (m)	1	1	1	1	1
Horizontal concentric (80/125 mm)	Max equivalent length (m)	12	12	12	12	12
Twin pipe flue system						
Horizontal twin tube (80/80 mm)	Max equivalent length (both tubes in parallel) (m)	9	9	9	9	9
	Reduction per 135° bend (m)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	Reduction per 93° bend (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Weight						
Installer lift weight	Max (kg)	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Gross packaged boiler weight	(kg)	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5

ANEXO H: Catálogo para la selección de la máquina de absorción.

ROTARTICA			
PRESTACIONES DE PRODUCTO		ENFRIADORA SOLAR Aire-Agua	
		Tecnología	ABSORCIÓN DE SIMPLE EFECTO LiBr/H2O
		Marca	ROTARTICA
		Modelo	SOLAR 045 y SOLAR 045v
Datos de producto	Empresa	ROTARTICA	
	Producto	Enfriadora Aire-Agua	
	Potencia nominal de refrigeración	4,5 kW	
	Accionamiento	Agua calentada	
	Absorbente/Refrigerante	LiBr/H2O	
Circuito Agua	Capacidad (kW)	FRIO	CALOR
	Caudal (m3/h)	4,5	10,8
	Pérdida de carga (bar)	1,2	2,0
Circuito Aporte Energía	Pérdida de carga (bar)	0,3	0,8
	Aporte calor al generador (kW) a 90°	6,7	
	Caudal (m3/h)	1,2	
Suministro eléctrico	Pérdida de carga (bar)	0,2	
	Consumo eléctrico Aparato de Absorción (kW)	0,26	
	Consumo eléctrico c/ventilador y bombas (kW)*	1,2	
Temperaturas	Corriente media consumida (A)	1,2 (5,5 con bombas y ventilador)	
	Nominal de salida	18	46
Dimensiones	AMBIENTE	35	
	Largo (mm)	1050/1092	
	Ancho (mm)	670/760	
	Altura (mm)	865/1150	
	Volumen (m3)	0,61/0,95	
	Peso (kg)	240/290	
Instalación			
Suministro de energía a través del panel solar + caldera (independientemente o de forma conjunta), no precisa anclaje al suelo. Conexiones hidráulicas: 4 conexiones de 1", Instalación exterior (SOLAR 045v); 6 conexiones de 1", Instalación interior (SOLAR 045)			

Factor de capacidad para instalaciones				
	Tipo de Instalación			
	Factor de Capacidad Norma ARI 560; 2000	Int: fancoil (7-12° C) Ext: Torre refrigeración (29° C)	Int: suelo/techo radiante (18-20° C) Ext: disipación seca (38-42° C)	Int: fancoil (7-12° C) Ext: disipación seca (38- 42° C)
Tsuministro a Generador (de panel solar + caldera apoyo)				
80° C	0,8	5,6 kW	4,2 kW	2,5 kW
90° C	0,9	6,3 kW	5,5 kW	3,5 kW
100° C	1	7,0 kW	6,8 kW	4,5 kW
110° C	1,15	8,1 kW	7,8 kW	5,5 kW
120° C	1,4	9,8 kW	9,5 kW	6,7 kW

ANEXO I: Modelo térmico del sistema a distintas condiciones de radiación solar y dimensiones geométricas de los componentes del sistema en la plataforma SIMULINK.

**ANEXO J: Análisis de costo de inversión del montaje experimental
dentro de la metodología de proyectos de inversión de la uis.**

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO ID-01 : DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA O NECESIDAD

ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

Actualmente los estudiantes de la educación media superior y educación superior muestran poca motivación con respecto a temas de: aprovechamiento de la energía y uso de energías alternativas, puesto que no se les muestra la necesidad e importancia de esta ciencia para los avances de la sociedad. Esto lleva a un déficit de investigaciones, ya que no solo es la falta de motivación sino también el desconocimiento de la problemática asociado al uso racional de la energía y la posibilidad de utilizar fuentes alternas de energía por parte de la juventud.

Debido a la carencia de escenarios físicos (laboratorio equipado de aprovechamiento térmico de la energía solar), los estudiantes tienen pocas instancias para motivarse y trabajar en actividades prácticas, ya que no cuentan con un espacio para desarrollar, desde la educación media superior y hasta la educación superior, habilidades científicas para: explorar hechos y fenómenos de los sistemas solares térmicos; analizar problemas; observar, recoger y analizar información relevante; utilizar diferentes métodos de análisis; evaluar los métodos y compartir los resultados.

El desinterés a las investigaciones nos deja atrás respecto de otros países que si dan más importancia al estudio de fuentes alternativas de energía y el país adicionalmente se topa con problemas ambientales a causa de la extracción de materia prima o contaminación por la quema de combustibles fósiles, lo cual se presenta por no generar conciencia en la juventud de estos problemas.

FORMATO ID-02 : OBJETIVOS DEL PROYECTO

ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

OBJETIVO GENERAL:

1. Construcción de un laboratorio para el estudio del aprovechamiento térmico de la energía solar.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Contribuir a la proyección de la UIS como ente fomentador de investigación en el área de energías renovables.
2. Adquirir equipos para el estudio del aprovechamiento térmico de la energía solar.
3. Contar con un espacio del cual se aprenda y observe el funcionamiento de equipos de aprovechamiento de energía solar térmica.

**FORMATO ID-03: POBLACIÓN AFECTADA Y/O ZONA AFECTADA Y
POBLACIÓN OBJETIVO DEL PROYECTO**

ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

Actualmente en Bucaramanga debido al cambio climático se han dado temperaturas altas durante el día, lo cual trae consigo que para solucionar este problema se integran a las casas y edificios sistemas de aire acondicionado que parte de una solución pero en realidad aporta a un más a la problemática del cambio climático por los residuos de gases que produce.

La ubicación geográfica de Bucaramanga la hace apta para que se pueda aprovechar el recurso de la energía solar, según la UPME la radiación solar promedio o la energía que se puede aprovechar del sol por metro cuadrado en Bucaramanga oscila entre 3 o 4 kWh/m².

Enfocar a la población de Bucaramanga para que logren aprovechar este recurso sería una tarea muy grande y complicada debido a que no se cuentan con buenas instalaciones aun para mostrar el beneficio, esto nos lleva a centrarnos en la población estudiantil.

El alcance del proyecto es lograr llegar a la población de estudiantes de 10 y 11 del Colegio la Normal Superior de Bucaramanga que cuenta con aproximadamente 400 estudiantes por año. Estos estudiantes son nuestra prioridad debido a que ya cuentan con madures necesaria para lograr entender los procedimientos y debidos usos que traería la instalación de un laboratorio.

FORMATO ID-04 : DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y SU EVOLUCIÓN

ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

Actualmente la contaminación ambiental está siendo una preocupación que tiende a tomar más importancia, debido a los cambios climáticos, estaciones de verano largas e inviernos más fuertes. La capa de ozono está disminuyendo y se está ahuecando por partes, en los lugares donde ocurre esto tiende el sol a ser más fuerte y los niveles de radiación solar sobrepasan de los aceptables causando enfermedades en la piel.

Debido a lo anterior mencionado se puede aprovechar esta energía del sol para ser usada; una parte para los sistemas de calefacción, otra para los consumos de agua caliente y la otra para sistemas de refrigeración, Bucaramanga aún no cuenta con sistemas de estos debido al escepticismo que se tiene en base a esta energía, por lo cual se plantea estudiarla más a fondo para llegar a obtener resultados que sean satisfactorios en el aprovechamiento de la energía solar térmica.

La problemática tiende a empeorar a medida que nos alejamos de nuestra temperatura de confort, mas sistemas para refrigerar lugares se tenderán a usar y más problemas ambientales se mostraran en los días y años próximos. Aun se utiliza en gran cantidad el carbón para generar electricidad y el gas para calor.

FORMATO ID-05: DESCRIPCION Y CUANTIFICACION DE LA NECESIDAD O PROBLEMA

ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

Los estudiantes de los colegios en niveles superiores actualmente no se les están ofreciendo una buena educación ambiental, aunque enseñanzas como el reciclaje que son bastante inculcadas en la actualidad, son un buen inicio, pero no son suficientes para llegar a donde nace la problemática.

La garantía de un buen estudio se basa en experiencias adquiridas, los laboratorios brindan esas experiencias, pero si contamos con pocos laboratorios o estos no se encuentran bien dotados se entorpecerá aún más la labor de reconocer y captar el aprendizaje previsto por este método.

Es necesario ampliar estos espacios y contar con buenas instalaciones para el aprendizaje, además de dotar de un buen docente para empezar a contribuir con soluciones pequeñas pero que a su vez se encuentran en caminadas a grandes cambios en la población afectada, debido a que la problemática que se tiene hoy en día y se tendrá, sigue aumentando. Empezar a relacionar a nuestros jóvenes en pequeñas cantidades con los beneficios y utilidades que traen consigo los sistemas solares es un paso más para obtener profesionales con ética ambiental.

FORMATO ID-07 : PRINCIPALES ALTERNATIVAS DEL PROYECTO

ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

ALTERNATIVA No. 1 :

Nombre: Compra de equipos y adecuación de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar.

ALTERNATIVA No. 2 :

Nombre: Ubicación de un espacio dentro de las instalaciones para la construcción de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar térmica.

FORMATO ID-08 : DESCRIPCION DE LA ALTERNATIVA No:

ADECUACION DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TERMICO DE LA ENERGIA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

Compra de equipos y adecuación de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar.

Descripción de la alternativa: se requiere la compra de todos los equipos necesarios y la adecuación de un salón con ubicación estratégica, debido a que estos sistemas se requieren que estén la mayor cantidad de tiempo ubicados a los rayos solares de los cuales se va a aprovechar su energía.

La compra de los equipos va a ser la de mejor costo/beneficio para tener buena rentabilidad en los procesos.

Ubicación de un espacio dentro de las instalaciones para la construcción de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar térmica.

Ubicar un espacio determinado en el cual se pueda construir un salón-laboratorio el cual se encuentre a la intemperie donde se aproveche la mayor cantidad de tiempo los rayos del sol durante el día. La construcción del salón no tiene especificaciones fuera de lo común debido a que estos sistemas se pueden instalar en edificios y casas.

FORMATO ID-09 : CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES:

ADECUACION DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TERMICO DE LA ENERGIA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

No.	ETAPA	DURACIÓN ESTIMADA	DURACIÓN REAL	DIFERENCIA
1.	PREINVERSION	9		
1.1	Formulación	1		
1.2	Identificación del Problema	1		
1.3	Identificación de Objetivos	1		
1.4	Identificación de Alternativas de Solución	1		
1.5	Preparación de las Alternativas	1		
1.6	Viabilización	2		
1.7	Elegibilidad	2		
2.	INVERSIÓN	22		
2.1	Diseños Definitivos	3		
2.2	Preparación de Documentos para Contratación	4		
2.3	Licitación (Si aplica)			
2.4	Ejecución	15		
3.	OPERACIÓN	7		
3.1	Evaluación Expost	1		
3.2	Administración del Proyecto	2		
3.3	Seguimiento	4		

FORMATO PE-01: DESCRIPCION Y CUANTIFICACION DE LOS PRINCIPALES BENEFICIOS DEL PROYECTO

SECCION A: Descripción de los principales beneficios del proyecto

ADECUACION DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TERMICO DE LA ENERGIA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

El proyecto beneficiara a la comunidad de Bucaramanga debido a que mostrando este sistema y funcionalidad se puede empezar por replicarlos en más colegios, edificios y hogares. Los estudiantes contarán con nuevas ideas y planteamientos necesarios para desarrollar proyectos sustentables con el medio ambiente.

La ganancia adquirida por los aproximadamente cuatrocientos estudiantes con el enfoque ingenieril, aumentando en ellos la motivación para ingresar a sus estudios superiores en la UIS, la universidad que desarrollara el proyecto de inversión en este colegio del área urbana de Bucaramanga.

Se obtendrá el reconocimiento como uno de los primeros entes en desarrollar y adecuar laboratorios para el estudio de una de las energías renovables más aprovechables en nuestra región.

FORMATO PE-02 : PRESUPUESTO DE OBRA DEL PROYECTO						
Sección A: Inversión						
Nombre del Proyecto: ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.						
Alternativa (1): Compra de equipos y adecuación de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar.						
Componente	Adquisición de bienes muebles					
Categoría	Detalle	Unidad	Cantidad	Vlr unidad (miles de pesos)	Vlr parcial (miles de pesos)	Observaciones
Alternativa 1 sistema de captación	Colector Daitsu de tubos de calor al vacío Elite	Und.	30	1939,2	58177,3	Ref. 3CSD3000
	Soporte del colector	Und.	30	494,8	14845,2	Ref. 3CSD3020
Alternativa 2 sistema de captación	Placa plana selectiva Daitsu Advance 2.5	Und.	12	1591,5	19098,2	Ref. 3CSD3150
	Soporte de la placa para techo plano	Und.	12	521,6	6259,1	Ref. 3CSD3140
Almacenamiento	Acumulador solar de inercia AS 1500 – IN E	Und	1	9206,7	9206,7	Ref. 148110512
Circuito hidráulico	Grupo hidráulico GH 40 (circuito primario)	Und	1	1364,1	1364,1	Ref. 3CSD0305
	Grupo hidráulico GH 20 (circuito secundario y terciario)	Und	2	1257,1	2514,3	Ref. 3CSD0300
	Tubería de cobre por 6 m Homecenter	Und	23	86,9	1998,7	Ref. 3CSD3140
	Vaso de expansión Daitsu VE 80	Und	1	791,7	791,7	Ref. 3CSD0525
	Válvulas motorizadas Baxiroca 1" de 2 y 3 vías	Und	3	379,8	1139,4	Ref. 195150016

Refrigeración	Máquina de refrigeración por absorción Rotartica 045 v	Und	1	35784,0	35784,0	
Energía auxiliar	Caldera a gas Baxi Ecoblue Advance 25kW	Und	1	1200,0	1200,0	Ref. 7212211
	Válvula solenoide Parker PM 153 BV 3/8" de 2 vías NC + Bobina ZB09	Und	1	229,8	229,8	Ref. CO01341
Equipo de control	Control diferencial de temperatura Ecosol RD-MU/3	Und	1	329,0	329,0	Ref. SO15023
Otros	Tornillería, accesorios para tubería de cobre, soldadura, pegante y aislante térmico			150,0	150,0	

FORMATO PE-02 : PRESUPUESTO DE OBRA DEL PROYECTO						
Sección A: Inversión						
Nombre del Proyecto: ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.						
Alternativa (2): Ubicación de un espacio dentro de las instalaciones para la construcción de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar térmica.						
Componente	Adquisición de bienes muebles					
Categoría	Detalle	Unidad	Cantidad	Vlr unidad (miles de pesos)	Vlr parcial (miles de pesos)	Observaciones
Alternativa 1 sistema de captación	Colector Daitsu de tubos de calor al vacío Elite	Und.	30	1939,2	58177,3	Ref. 3CSD3000
	Soporte del colector	Und.	30	494,8	14845,2	Ref. 3CSD3020
Alternativa 2 sistema de captación	Placa plana selectiva Daitsu Advance 2.5	Und.	12	1591,5	19098,2	Ref. 3CSD3150
	Soporte de la placa para techo plano	Und.	12	521,6	6259,1	Ref. 3CSD3140
Almacenamiento	Acumulador solar de inercia AS 1500 – IN E	Und	1	9206,7	9206,7	Ref. 148110512
Circuito hidráulico	Grupo hidráulico GH 40 (circuito primario)	Und	1	1364,1	1364,1	Ref. 3CSD0305
	Grupo hidráulico GH 20 (circuito secundario y terciario)	Und	2	1257,1	2514,3	Ref. 3CSD0300
	Tubería de cobre por 6 m Homecenter	Und	23	86,9	1998,7	Ref. 3CSD3140
	Vaso de expansión Daitsu VE 80	Und	1	791,7	791,7	Ref. 3CSD0525
	Válvulas motorizadas	Und	3	379,8	1139,4	Ref. 195150016

	Baxiroca 1" de 2 y 3 vías					
Refrigeración	Máquina de refrigeración por absorción Rotartica 045 v	Und	1	35784,0	35784,0	
Energía auxiliar	Caldera a gas Baxi Ecoblue Advance 25kW	Und	1	1200,0	1200,0	Ref. 7212211
	Válvula solenoide Parker PM 153 BV 3/8" de 2 vías NC + Bobina ZB09	Und	1	229,8	229,8	Ref. CO01341
Equipo de control	Control diferencial de temperatura Ecosol RD-MU/3	Und	1	329,0	329,0	Ref. SO15023
Otros	Tornillería, accesorios para tubería de cobre, soldadura, pegante y aislante térmico			150,0	150,0	

FORMATO PE-02 : PRESUPUESTO DE OBRA DEL PROYECTO

Sección A: Inversión

Nombre del Proyecto: ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

Alternativa (2): Ubicar un espacio dentro de las instalaciones para la construcción de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar térmica.

Componente	Adquisición de bienes inmuebles					
	Categoría	Detalle	Unidad	Cantidad	Vlr unidad (miles de pesos)	Vlr parcial (miles de pesos)
Construcción	Ladrillos	Bloque	800	0,7	560,0	
	Arena	m ³	8	26,6	160,0	
	Gravilla	m ³	5	66,6	200,0	
	Cemento	Bultos	40	23,5	940,0	

FORMATO PE-02 : PRESUPUESTO DE OBRA DEL PROYECTO

Sección B: Operación

Nombre del Proyecto: ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

Alternativa: Compra de equipos y adecuación de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar.

Componente						
Categoría	Detalle	Und.	Cantidad	Vlr unidad (miles de pesos)	Vlr parcial (miles de pesos)	Observaciones
Operación y mantenimiento	Mtto.	Años	8	800,0	6400,0	

FORMATO PE-03 : COSTOS DE INVERSION DE LAS ALTERNATIVAS

Nombre del Proyecto: ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

Alternativa (1): Compra de equipos y adecuación de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar.

Alternativa (2): Ubicar un espacio dentro de las instalaciones para la construcción de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar térmica.

(Este formato es generado por el Sistema)

FORMATO PE-04 : COSTOS DE OPERACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Nombre del Proyecto: ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

Alternativa (1): Compra de equipos y adecuación de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar.

Alternativa (2): Ubicar un espacio dentro de las instalaciones para la construcción de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar térmica.

(Este formato es generado por el Sistema)

FORMATO PE-05 : CAPACIDAD INSTALADA

Nombre del Proyecto: ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

¿CUAL ES LA CAPACIDAD INSTALADA POR EL PROYECTO?

Banco de pruebas y de observaciones

CANTIDAD: 500 estudiantes por año

UNIDAD DE MEDIDA: estudiantes

OBSERVACIONES:

Este tipo de instalaciones se caracterizan por estar en interiores más del 70% de ellas, el resto está a la intemperie, la capacidad de estudiantes debe oscilar entre 25 y 30 estudiantes para garantizar un buen aprendizaje.

FORMATO PE-06 : RESUMEN DE COSTOS DE LA ALTERNATIVA

Nombre del Proyecto: ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

Alternativa (1): Compra de equipos y adecuación de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar.

Alternativa (2): Ubicar un espacio dentro de las instalaciones para la construcción de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar térmica.

(Este formato es generado por el Sistema)

FORMATO PE-07 : EFECTO AMBIENTAL

Nombre del Proyecto: ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

Alternativa (1): Compra de equipos y adecuación de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar.

El impacto ambiental negativo en este proyecto básicamente es nulo, debido a que no se poseen emisiones contaminantes y además se está aprovechando un recurso natural. Por otro lado se tiene una ganancia del impacto ambiental positivo, tras mostrar los equipos que se utilizan de manera óptima para aprovechar la energía solar térmica, dándose a conocer toda esta tecnología para su esparcimiento.

La instalación de estos equipos influirá de manera positiva en el interés de quienes desarrollen las experiencias, de modo que, se incentiva el conocimiento y aprendizaje de nuevas tecnologías, dando así un aporte al desarrollo cultural de los estudiantes de este colegio en Bucaramanga.

FORMATO PE-07 : EFECTO AMBIENTAL

Nombre del Proyecto: ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

Alternativa (2): Ubicar un espacio dentro de las instalaciones para la construcción de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar térmica.

Esta propuesta puede llevar a la tala de árboles en la zona donde se vaya a construir, lo cual, visto por el lado ecológico sería una pérdida. Sin embargo, se contaría con instalaciones apropiadas para tener un mejor aprovechamiento de las horas sol.

FORMATO PE-08 : SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MÍNIMO COSTO

Nombre del Proyecto: ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

Alternativa No.: 1

Costo Precio social: (Información generada por el Sistema)

Nombre de la alternativa: Compra de equipos y adecuación de un salón-laboratorio para el estudio del aprovechamiento de la energía solar.

OBSERVACIONES:

Debido a un análisis costo-beneficio la mejor alternativa a escoger es la uno (1), ya que la vida útil de estos sistemas no sobrepasa los doce años y los costos en que se incurrirían en la construcción y adquisición de los equipos no serían justificables, ya que la inversión hecha no se alcanzaría a recuperar.

Se encuentra más fácil tener un salón laboratorio donde se pueda aprovechar el servicio de refrigeración solar y dictar clases a su vez, la construcción de una planta nueva traería consigo retrasos en la implementación de este laboratorio, y se tiene pensado que el proyecto empiece a dar frutos en dos años, debido a esto la primer alternativa es la más acertada.

FORMATO PE-09 : MARCO INSTITUCIONAL

Nombre del Proyecto: ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

Dentro de los lineamientos que los directivos de la universidad han planteado, se destaca el interés por reforzar la investigación y extensión de la comunidad estudiantil, hacia grupos sociales y académicos de colegios regionales que contribuyan al crecimiento del sentido de pertenencia por la comunidad.

La entidad responsable para la ejecución del proyecto será la Universidad Industrial de Santander, universidad pública creada el 1 de marzo de 1948, acreditada institucionalmente.

Como motor de fortalecimiento a los programas académicos funcionan los centros de investigación que sirven de asesoría, capacitación y apoyo a la industria nacional y actividades académicas y científicas de la institución.

En los últimos años la universidad ha realizado importantes obras estructurales y de modernización, con este proyecto se busca que sea pionera en obras de infraestructura con respecto a energías renovables.

FORMATO FS-01: FUENTE DE FINANCIACIÓN DE LA INVERSIÓN DEL PROYECTO

Nombre del Proyecto: ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

AÑOS CALENDARIO	CENTRO DE COSTOS	EJECUTADO	0	1	SALDO	TOTAL
Recursos de inversión	0				0	0
INTERNAS	0				0	0
Fondo Común	0				0	0
Estampilla ProUIS	0				0	0
Recursos de funcionamiento	0				0	0
Total financiación inversión	0				0	0

FORMATO FS-02: FUENTE DE FINANCIACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL PROYECTO

Nombre del Proyecto: ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

AÑOS CALENDARIO	CENTRO DE COSTOS	EJECUTADO	0	1	2	3	SALDO	TOTAL
Recursos de inversión	0						0	0
Internas	0						0	0
Fondos especiales	0						0	0
Total financiación operación	0						0	0

FORMATO FS-03: SOSTENIBILIDAD DEL PROYECTO

Nombre del Proyecto: ADECUACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR BASADO EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y SERVICIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

El proyecto se retrasaría debido a varios factores externos, estos pueden ser generados por el colegio en donde se va adecuar el sistema solar térmico, debido a la no disponibilidad de un salón, la adquisición de los equipos o a los retrasos internos de los permisos que requiera el colegio. Por parte de la universidad, si se tiene en cuenta la demora en el desembolso se presentaría un retraso para la ejecución del proyecto. Se puede dar el caso en donde el colegio escoja el salón para la adecuación y este se encuentre cerca de espacios que obstruya el buen funcionamiento de los paneles.

Respecto a la inversión la universidad pública recibe importantes aportes del presupuesto nacional por parte del gobierno, aportes que se pueden utilizar para el desarrollo de la obra, teniendo en cuenta que esta es lucrativa para el colegio y la universidad y que en poco tiempo se puede recuperar la inversión. También se puede contar con fondos de la alcaldía municipal para este proyecto de inversión educativa.

El proyecto aparte de ser auto sostenible genera un único ahorro en los costos eléctricos llevándolos a la vida útil de nuestros equipos.