

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ciencias

Escuela Académico Profesional de Física Aplicada

***“Optimización y Caracterización de una Sauna Solar Seco con
Acumuladores Térmicos”***

Tesis

Presentada por:

Bach. Gohnny Acero Laura

Para optar el Título Profesional de:

Licenciado en Física Aplicada

Tacna, 11 de octubre de 2012

Dedicatoria:

A mis padres, por encaminar mi vida.

Agradecimientos

Al Lic. Carlos Armando Polo Bravo,
mi asesor, por su apoyo
incondicional en este proyecto.

A mis profesores, por sus
enseñanzas.

CONTENIDO

	Página
Resumen	XII
Datos generales	V
Nomenclatura	XIII
Introducción	XV
CAPÍTULO I: PLANEAMIENTO DEL ESTUDIO	
1.1.- Planteamiento del problema.....	02
1.2.- Formulación del problema.....	02
1.3.- Justificación de la investigación.....	02
1.4.- Objetivos.....	04
1.5.- Hipótesis.....	05
1.6.- Variables de estudio.....	05
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	
2.1.- Conceptos básicos.....	07
2.1.1.- La radiación solar.....	07
2.1.2.- Coeficiente de absorción.....	10
2.1.3.- Coeficiente de reflexión.....	10
2.1.4.- Coeficiente de transmisión.....	10
2.1.5.- Conductividad térmica.....	11
2.2.- Procesos de transferencia de calor	
2.2.1.- Transferencia de calor por conducción.....	13
2.2.2.- Transferencia de calor por convección.....	16
2.2.3.- Transferencia de calor por radiación.....	22

2.3.- Sauna finlandesa o sauna solar.....	27
2.3.1.- Origen y evolución del baño sauna.....	27
2.3.2.- Descripción general de la sauna.....	29
2.3.3.- Materiales y componentes básicos del baño sauna.....	31
2.3.4.- Condiciones del entorno a la sauna.....	33
2.3.5.- Líneas de conexión para la sauna.....	33
2.3.6.- Como debe realizarse la sesión de sauna.....	35
2.3.7.- Contraindicaciones.....	36
2.3.8.- Consideraciones específicas.....	37
2.4.- Sauna y la cabina por radiación infra-roja.....	38
2.4.1.- Aclaración terminología.....	38
2.4.2.- La radiación infra-roja.....	39
2.4.3.- Aplicación terapéutica y beneficios para el organismo.....	40
2.4.4.- Cabinas de radiación de infra-roja.....	42
2.4.5.- Equipo de la cabina de radiación infra-roja.....	44
2.4.6.- Contraindicaciones.....	46
2.5.- Almacenamiento de energía solar.....	47
2.5.1.- Almacenamiento de energía en los procesos solares.....	48
2.5.2.- Almacenamiento por calor sensible para el agua.....	50
2.5.3.- Almacenamiento en el lecho de rocas.....	53
2.5.4.- Capacidad de los medios de almacenamiento.....	56
2.5.5.- Métodos alternativos de almacenamiento.....	58

2.6.- Cartas psicrométricas.....	59
2.6.1.- Temperatura de Bulbo Seco.....	60
2.6.2.- Humedad Relativa.....	60
2.6.3.- Entalpía.....	60
2.7.- Sauna solar seco (SSS).....	61
2.7.1.- Principio de funcionamiento.....	61
2.7.2.- La caja aislada térmicamente.....	64
2.7.2.a.- Principio de funcionamiento.....	65
2.7.2.b.- Las partes y su descripción.....	66
2.7.2.c.- Orientación e inclinación de la SSS.....	74
2.7.2.d.- Balance energético.....	76

CAPÍTULO III: MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS

III.1.- Materiales.....	82
III.2.- Instrumentos.....	83
III.3.- Metodología.....	84
3.3.1.- Optimización de la SSS.....	84
3.3.1.a.- Proceso de construcción y optimización de la SSS.....	84
3.3.2.- Evaluación de la SSS.....	89
3.3.2.a.- Medición de la radiación solar.....	89
3.3.2.b.- Medición de la temperatura interna de la SSS.....	90
3.3.2.c.- Medición de la humedad relativa de la SSS.....	91
3.3.3.- Costo de optimización de la SSS.....	92

CAPÍTULO IV: DATOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.- Datos experimentales obtenidos en la SSS sin acumuladores térmicos.....	95
4.2.- Datos experimentales obtenidos en la SSS con acumuladores térmicos de piedra sin pintar.....	107
4.3.- Datos experimentales obtenidos en la SSS con acumuladores térmicos de piedra pintada de negro mate.....	118
4.4.- Datos experimentales obtenidos en la SSS con acumuladores térmicos de agua contenida en botellas descartables.....	129
4.5.- Análisis psicrométrico del aire en la caja absorbente.....	140
4.6.- Datos experimentales obtenidos de la radiación térmica de la caja metálica al interior de la SSS.....	144
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	148
REFERENCIAS.....	150
ANEXOS.....	153
Anexo 1: Balance energético de la SSS.....	153
Anexo 2: Radiación térmica y sus efectos biológicos.....	170
Anexo 3: Índices económicos fundamentales.....	182

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Espectro de la radiación solar sobre la superficie de la tierra.....	9
Figura 2: Componentes de la radiación solar terrestre total.....	10
Figura 3: Balance energético sobre un cuerpo.....	11
Figura 4: Convenio de signos para la transmisión del calor por conducción.....	14
Figura 5: Distribución de la temperatura y la velocidad sobre una placa plana en convección forzada.....	18
Figura 6: Analogía eléctrica correspondiente a la transmisión de calor a través de una pared plana con convección en sus dos caras....	22
Figura 7: Puntos de referencia.....	27
Figura 8: Sistema de convección y renovación de aire.....	30
Figura 9: Detalle posición de los componentes.....	32
Figura 10: Unidad de almacenamiento del depósito de agua con circulación de agua procedente del colector.....	51
Figura 11: Almacenamiento sin estratificación de masa, con la temperatura del medio ambiente (T_a).....	53
Figura 12: Unidad de almacenamiento del lecho de rocas.....	53
Figura 13: Carta psicrométrica a temperaturas normales.....	63
Figura 14: Esquema general de la SSS.....	63
Figura 15: Esquema y partes de la SSS.....	66
Figura 16: Esquema del efecto invernadero en la caja aislada térmicamente.....	68
Figura 17: Vista de un corte frontal de la SSS y sus partes.....	69
Figura 18: Caja absorbente.....	72
Figura 19: Caja aislada térmicamente.....	75
Figura 20: Trayectoria solar diaria, en el hemisferio sur.....	76

Figura 21: Efecto de la inclinación de la SSS	77
Figura 22: Proceso de construcción y optimización de las partes de la SSS.....	86
Figura 23: Ensamblaje de las paredes.....	85
Figura 24: Vista general de la caja aislada térmicamente.....	85
Figura 25: Colocado de la cubierta transparente.....	86
Figura 26: Acabado final de la SSS.....	86
Figura 27: Incremento del área de recepción de la SSS.....	87
Figura 28: Vista lateral de las aberturas en las paredes de la SSS.....	87
Figura 29: Vista frontal del acabado de la SSS.....	88
Figura 30: Vista posterior del acabado final de la SSS.....	88
Figura 31: Medida de la radiación solar.....	89
Figura 32: Medida de la temperatura interna en la SSS.....	90
Figura 33: Data logger.....	90
Figura 34: Medida de la humedad relativa.....	91
Figura 35: Medida de la humedad relativa en el interior de la caja metálica y temperatura con la estación HOBO.....	92
Figura 36: SSS sin acumulador térmico	95
Figura 37: Proceso de enfriamiento de la SSS sin acumulador térmico.....	95
Figura 38: Radiación solar en función de las horas del día.....	100
Figura 39: Temperatura del ambiente en función de las horas del día.....	101
Figura 40: Radiación solar en el plano inclinado en función de las horas de día.....	101
Figura 41: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja metálica en función de las horas del día.....	102
Figura 42: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja aislada térmicamente en función de las horas del día.....	103

Figura 43: Humedad relativa en función de las horas del día.....	104
Figura 44: Velocidad del viento en función de las horas del día.....	104
Figura 45: Eficiencia media diaria de la SSS sin acumuladores de calor en función de las horas del día.....	105
Figura 46: Potencia útil y Potencia solar de la SSS en función de las horas de la día.....	106
Figura 47: Potencia útil de la SSS en función de las horas del día.....	106
Figura 48: SSS como acumulador térmico la piedra sin pintar	107
Figura 49: Proceso de enfriamiento de la SSS como acumulador térmico la piedra sin pintar.....	107
Figura 50: Radiación solar en función de las horas del día.....	112
Figura 51: Temperatura del ambiente en función de las horas del día.....	113
Figura 52: Radiación solar en el plano inclinado en función de las horas del día.....	113
Figura 53: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja metálica en función de las horas del día.....	114
Figura 54: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja aislada térmicamente en función de las horas del día.....	115
Figura 55: Humedad relativa en función de las horas del día.....	116
Figura 56: Velocidad del viento en función de las horas del día.....	116
Figura 57: Eficiencia media diaria de la SSS con piedras sin pintar en función de las horas del día.....	117
Figura 58: Potencia útil y Potencia solar de la SSS en función de las horas del día.....	117
Figura 59: SSS como acumulador térmico la piedra pintada de negro mate	118

Figura 60: Proceso de enfriamiento de la SSS como acumulador térmico la piedra pintada de negro mate.....	118
Figura 61: Radiación solar en función de las horas del día.....	123
Figura 62: Temperatura del ambiente en función de las horas del día.....	124
Figura 63: Radiación solar en el plano inclinado en función de las horas del día.....	124
Figura 64: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja metálica en función de las horas del día.....	125
Figura 65: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja aislada térmicamente en función de las horas del día.....	126
Figura 66: Humedad relativa en función de las horas del día.....	127
Figura 67: Velocidad del viento en función de las horas del día.....	127
Figura 68: Eficiencia media diaria de la SSS con piedras sin pintar en función de las horas del día.....	128
Figura 69: Potencia útil y Potencia solar de la SSS en función de las horas del día.....	128
Figura 70: SSS como acumulador térmico el agua contenida en botellas descartables	129
Figura 71: Proceso de enfriamiento de la SSS como acumulador térmico el agua contenida en botellas descartables.....	129
Figura 72: Radiación solar en función de las hora del día.....	134
Figura 73: Temperatura del ambiente en función de las hora del día.....	135
Figura 74: Radiación solar en el plano inclinado en función de las horas del día.....	135
Figura 75: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja metálica en función de las horas del día.....	136

Figura 76: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja aislada térmicamente en función de las horas del día.....	137
Figura 77: Humedad relativa en función de las horas del día.....	138
Figura 78: Velocidad del viento en función de las horas del día.....	138
Figura 79: Eficiencia media diaria de la SSS con piedras sin pintar en función de las horas del día.....	139
Figura 80: Potencia útil y Potencia solar de la SSS en función de las horas del día.....	139
Figura 81: Entalpía útil de la SSS sin acumuladores térmicos.....	140
Figura 82: Entalpía útil de la SSS con acumuladores térmicos las piedras sin pintar.....	141
Figura 83: Entalpía útil de la SSS con acumuladores térmicos las piedras pintadas de negro mate.....	142
Figura 84: Entalpía útil de la SSS con acumuladores térmicos el agua contenida en botellas descartables.....	143
Figura 85: Temperatura promedio de la caja metálica en función de las horas del día.....	146
Figura 86: Potencia emisiva de la caja metálica en función de las horas del día.....	146
Figura 87: Longitud de onda de la radiación térmica de la caja metálica en las función de las horas del día.....	147
Figura 88: Distribución óptica de la energía dentro de la SSS.....	155
Figura 89: Esquema de las pérdidas de calor que se produce a través de la superficie superior.....	156
Figura 90: Circuito térmico de la superficie superior e inferior.....	157
Figura 91: Circuito térmico de la pared anterior y posterior.....	159

Figura 92: Circuito térmico de las paredes laterales.....	162
Figura 93: Poder emisor espectral del cuerpo negro y la ley de desplazamiento de Wien.....	172
Figura 94: Espectro electromagnético.....	175
Figura 95: Absorción espectral de los medios oculares.....	179
Figura 96: Profundidad de penetración en la piel a diferentes longitudes de onda.....	181

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Conductividad térmica de algunos materiales.....	16
Tabla 2: Valores aproximados de coeficientes de transmisión de calor por conducción.....	19
Tabla 3: Clases de madera en su fabricación.....	32
Tabla 4: Cuadro de las potencias y acometidas eléctricas.....	34
Tabla 5: Calor específico y densidad para medios de almacenamiento de energía.....	57
Tabla 6: Materiales y costos empleados en la SSS.....	93
Tabla 7: Datos experimentales del proceso de calentamiento.....	96
Tabla 8: Datos experimentales del proceso de enfriamiento.....	99
Tabla Nº 9: Datos experimentales del proceso de calentamiento.....	108
Tabla Nº 10: Datos experimentales del proceso de enfriamiento.....	111
Tabla Nº 11: Datos Experimentales del proceso de calentamiento.....	119
Tabla Nº 12: Datos Experimentales del proceso de enfriamiento.....	122
Tabla Nº 13: Datos Experimentales del proceso de calentamiento.....	130
Tabla Nº 14: Datos Experimentales del proceso de enfriamiento.....	133
Tabla Nº 15: Datos experimentales de la radiación térmica.....	144
Tabla Nº 16: Resultados experimentales de la SSS.....	147

RESUMEN

El presente trabajo experimental tiene como objetivo principal caracterizar y optimizar térmica y energéticamente una Sauna Solar Seco (SSS) usando tres tipos de acumuladores térmicos; agua, piedras sin pintar, y piedras pintadas de negro mate, considerando el alto potencial solar de la región Tacna y de nuestro país, y ante la necesidad social de contar con sistemas que usen como fuente energética la energía solar; alternativos a los convencionales, y sobre todo para aplicaciones terapéuticas, que utilice energía limpia, renovable, y de menor impacto ambiental.

La caracterización térmica y energética experimental, nos indican que la temperatura máxima alcanzada en el interior de caja metálica es de 77,46°C y humedad relativa mínima de 1,25 % bajo una radiación solar de 838,1 W/m²; con una longitud de onda de la radiación térmica de la caja metálica que oscila entre 9,8 μm a 7,97 μm, concordante con lo establecido por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), y una potencia emisiva que oscila entre 423,91 W/m² a 991,24 W/m² durante las 8:00 a las 20:00 horas, este resultado muestra la viabilidad de integración entre la sauna solar seco y la cabina de radiación infra-roja. La eficiencia media diaria de la SSS con acumuladores térmicos de piedra pintada de negro mate, piedra sin pintar, agua contenida en botellas descartables y sin acumulador térmico, corresponde a 40,7 %, 38,1 %, 41,4 % y 38,7 %, respectivamente.

NOMENCLATURA

Las notaciones y abreviaciones utilizadas durante este trabajo son las siguientes:

- A** : Área bruta del colector ($9,98 \text{ m}^2$).
- c** : Calor específico del acero a bajo carbón 0,5C ($0,465 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$).
- F** : Factor de eficiencia del absorbedor (%).
- G** : Radiación solar total (W/m^2).
- G_i** : Radiación solar total en el plano inclinado (W/m^2).
- m** : Masa de la caja metálica ($96,24 \text{ Kg}$).
- Q_p** : Potencia perdida, desde el absorbedor al ambiente (W).
- Q_u** : Potencia útil, extraída por el absorbedor del colector (W).
- Q_{abs}** : Potencia absorbida por la SSS (W).
- T_a** : Temperatura del ambiente ($^\circ\text{C}$).
- \bar{T}** : Temperatura media de la caja metálica en la SSS ($^\circ\text{C}$).
- T_{amb}** : Temperatura del medio ambiente ($^\circ\text{C}$).
- T_{acum}** : Temperatura media del acumulador térmico en la SSS ($^\circ\text{C}$).
- T_A** : Temperatura del aire en la caja aislada térmicamente ($^\circ\text{C}$).
- T_a** : Temperatura en la zona alta en contacto con caja absorbente ($^\circ\text{C}$).
- T_b** : Temperatura en la zona media de la caja absorbente ($^\circ\text{C}$).
- T_c** : Temperatura en la zona baja en contacto con caja absorbente ($^\circ\text{C}$).
- T_d** : Temperatura en la zona alta de la caja aislada térmicamente ($^\circ\text{C}$).
- T_e** : Temperatura en la zona media de la caja aislada térmicamente ($^\circ\text{C}$).
- T_f** : Temperatura en la zona baja de la caja aislada térmicamente ($^\circ\text{C}$).
- E** : Potencia emisiva (W/m^2).
- v** : Velocidad de viento (m/s)
- λ** : Longitud de onda de la radiación térmica (μm).
- H_{amb}** : Humedad relativa del medio ambiente (%).

- H_a : Humedad relativa en la caja absorbente (%).
- H_b : Humedad relativa en la caja aislada térmicamente (%).
- t : Tiempo (s)
- U_p : Coeficiente global de pérdidas de calor de la SSS ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).
- U_u : Coeficiente global de ganancia de calor de la SSS ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).
- η : Eficiencia instantánea del colector (%).
- η_d : Eficiencia media diaria térmica del SSS (%).
- η_o : Eficiencia óptica del SSS (%).
- K : Conductividad térmica ($W/m \cdot ^\circ C$).
- α : Coeficiente de absorción (%).
- ρ : Coeficiente de reflexión (%).
- τ : Coeficiente de transmisión (%).
- β : Coeficiente de dilatación superficial ($J/Kg \cdot ^\circ C$).
- SSS** : Sauna solar seco.

INTRODUCCIÓN

La energía, es considerada como el eje principal de todas las actividades que realizan los seres vivos, y por tanto, su incorrecta utilización es un aspecto muy preocupante en la actualidad, especialmente aquellas energías convencionales provenientes de combustibles fósiles, que han estado en el planeta desde hace millones de años, pero que hoy en día las reservas van disminuyendo con el pasar del tiempo, y que además, su consumo está generando grandes cantidades de gases tóxicos a la atmósfera causando varios problemas en el planeta como la lluvia acida, “Efecto invernadero”, cambios bruscos en el clima, entre otros, produciendo en sí el llamado calentamiento global.

De acuerdo con estos efectos tan alarmantes, se ha tomado en consideración, el aprovechamiento de las energías renovables, ya que estas se encuentran en gran cantidad, y poseen un gran potencial. Además, en nuestro país existe un alto déficit de recursos energéticos convencionales, por tanto, se pretende emplear al máximo las fuentes energéticas renovables, no contaminantes; el objetivo principal de este proyecto consiste principalmente en construir y optimizar un sistema alternativo al sauna convencional para aplicaciones terapéuticas, que utilice energía limpia, sustentable, y de menor impacto ambiental. Así como también, fomentar el consumo de las energías renovables, en nuestro país.

El sistema fue diseñado de forma que la radiación solar sea atrapada en un recinto aislado térmicamente, fenómeno conocido como **efecto invernadero**, en el interior se encuentra instalado la caja absorbidora, en esta cámara es donde las personas pueden tomar su “baño”, con esto se busca tener un mejor conocimiento sobre la energía

solar, en especial sobre la cantidad de energía que se puede obtener de la radiación global.

Las características y los resultados experimentales del sistema investigado, nos indican que la temperatura máxima y humedad mínima alcanzada en el interior de caja absorbadora es de 77,46 °C y 1,25 % respectivamente, con una radiación solar de 838,1 W/m² y con una longitud de onda de la radiación térmica de la caja absorbadora al interior, que oscila entre (9,8 μm a 7,97μm), se conoce que las longitudes de onda de la radiación infrarroja (IR) están comprendidas entre 780 nm y 1 mm Según la clasificación de la **Comisión Internacional de Iluminación (CIE)**, esta banda se subdivide en IRA (de 780 nm a 1,4 μm), IRB (de 1,4 μm a 3 μm) e IRC (de 3 μm a 1 mm) lo que muestra la viabilidad de este sistema para ser utilizado con fines terapéuticos.

De acuerdo a los lineamientos establecidos, esta tesis está formada por cuatro capítulos, como sigue:

- *Planeamiento del estudio*, en esta parte se presenta el problema que se pretende resolver y que justifica su estudio.
- *Fundamento teórico*, aquí se hace un análisis riguroso de los conceptos necesarios y suficientes para comprender y valorar los resultados que se obtendrán.
- *Materiales, instrumentos y métodos*, en esta parte se presenta los materiales e instrumentos que se utilizaron para realizar la evaluación experimental de la sauna solar seco; además, se hace una descripción de la forma como se hizo dicha evaluación.

- *Datos experimentales y discusión de resultados*, en este capítulo se presenta los datos registrados durante la evaluación de la sauna solar y se demuestra la validez e importancia de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I
PLANEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1.- Planteamiento del problema

En el mundo actual, el consumo de energía para el uso de saunas además de ser una necesidad es un problema, debido al alto costo de los energéticos (electricidad, gas, leña, etc.); lo cual nos hace pensar en la necesidad de desarrollar y/o mejorar sistemas de conversión energética que utilicen energías limpias y baratas que puedan cumplir con la misma labor básica de incrementar la temperatura en la sauna para el uso doméstico y empresarial a bajo costo económico y ambiental.

1.2.- Formulación del problema

Considerando que habitamos en un país con serios problemas de energía y contaminación, con una calidad de vida y autoestima baja, con buena radiación solar en la mayor parte de nuestro territorio y en busca de mejores tecnologías de conversión energética; surge la pregunta:

¿ Cómo optimizar la sauna solar seco con acumuladores térmicos para alcanzar una alta eficiencia de conversión energética?

1.3.- Justificación de la investigación

Ante la necesidad de nuevas alternativas terapéuticas, debido a los grandes costos que esto demanda (El precio aproximado de compra en dólares de una sauna convencional en el mercado oscila entre 500,00 y 7000,00 USD [21] y consume entre 4 y 17 Kwh, todo en dependencia de su capacidad).

En el trabajo de prácticas Pre – Profesionales titulado: Diseño, Construcción y Caracterización de una Sauna Solar Seco, tienen resultados que indican que este sistema puede ser optimizado ampliando el área de recepción e instalando acumuladores térmicos.

a) Justificación económica – ambiental

Por tratarse de un equipo que funciona solamente con energía solar, no contamina el medio ambiente y además produce un considerable ahorro de electricidad, ya que sustituye las saunas convencionales que usan estufas con resistencias eléctricas (desde 4 hasta 17 kw), que son altas consumidoras de energía convencional y a su vez contaminan el medio ambiente. La sauna solar por emplear fuentes renovables de energía, contribuye a la conservación del medio ambiente y al mantenimiento de la biodiversidad.

b) Justificación social

La utilización de la SSS será para beneficio social en el tratamiento de diversas patologías (Stress, ansiedad, etc.).

En el campo de la medicina deportiva este sistema tiene igualmente perspectivas de mejorar las condiciones físicas de la población afín al deporte o simplemente por consideraciones estéticas, podría tener alta demanda en el sector femenino de la población. Debido a su bajo costo y consumo nulo de energía, es una excelente opción para difundir el uso de los baños de sauna en nuestra población.

c) Justificación técnica

La construcción y optimización de una SSS técnicamente es sencilla, ya que su principio general de funcionamiento está basado en el efecto invernadero y en el calor específico del acumulador térmico, su uso masivo reduciría notablemente el uso de leña, electricidad y/o gas para el funcionamiento de la sauna, reduciendo así la contaminación ambiental y en efecto el peligroso del calentamiento de la tierra por efecto invernadero. Es así como técnicamente se puede utilizar el efecto invernadero y el calor específico del acumulador térmico en una SSS para reducir el efecto del calentamiento global.

1.4.- Objetivos

a) Objetivo general

- Optimizar y caracterizar una sauna solar seco con acumuladores térmicos de piedra y agua.

b) Objetivos específicos

- Realizar un balance energético de la sauna solar con acumuladores de calor.
- Determinar las curvas térmicas de calentamiento y enfriamiento de la sauna solar seco sin y con acumuladores térmicos de piedra y agua.
- Determinar las curvas de humedad relativa de la sauna solar seco sin y con acumuladores térmicos de piedra y agua.
- Integrar dos tipos de tratamiento, sauna seco y cabina por radiación infra-roja.

1.5.- Hipótesis

Es posible optimizar y caracterizar una sauna solar seco con acumuladores térmicos, tales como la piedra y agua.

1.6.- Variables de estudio

Para el análisis del estudio preliminar, se consideran las siguientes variables:

a) Variables independientes

- Radiación solar terrestre.
- Eficiencia óptica del sistema: Transmitancia, emitancia, absortancia y reflectancia.
- Variables meteorológicos: Velocidad del viento, humedad del ambiente y temperatura del ambiente.
- Calor específico, masa térmica de la piedra y el agua.

b) Variables dependientes

- Eficiencia energética del sistema.
- Temperatura interna del sistema.
- Temperatura interna de la caja metálica.
- Humedad relativa interna del sistema.
- Humedad relativa interna de la caja metálica.
- Tiempo de uso diario.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.- Conceptos básicos

Para comprender el presente trabajo de investigación es necesario tener algunos conocimientos básicos de física; pero para aquellos lectores que no los tienen y para garantizar su buen entendimiento, se presenta un breve resumen de los conceptos básicos.

2.1.1.- La radiación solar

Desde el punto de vista energético, la masa solar que por segundo se irradia al espacio en forma de partículas de alta energía y de radiación electromagnética es aproximadamente de $5,6 \cdot 10^{35}$ GeV y de ella, la Tierra recibe en el exterior de su atmósfera un total de $1,73 \cdot 10^{14}$ kW, o sea $1,353 \text{ kW/m}^2$, que se conoce como constante solar y cuyo valor fluctúa en un ± 3 % debido a la variación periódica de la distancia entre la Tierra y el Sol. [9]

Los $1,73 \cdot 10^{14}$ kW de energía solar que inciden sobre la Tierra, se reparten en la siguiente forma:

- Energía solar reflejada por la atmósfera hacia el espacio exterior: 30 %, $0,52 \cdot 10^{14}$ kW.
- Energía solar que se utiliza en calentar la atmósfera: 47%, $0,80 \cdot 10^{14}$ kW.
- Energía solar que se utiliza en la evaporación de los océanos: 23 %, $0,40 \cdot 10^{14}$ kW.
- Energía solar que se utiliza en generar perturbaciones atmosféricas, como el viento: $0,0037 \cdot 10^{14}$ kW
- Energía solar utilizada en la fotosíntesis: $0,0004 \cdot 10^{14}$ kW.

De lo anterior se deduce, que:

El 47 % de la energía solar incidente alcanza la superficie terrestre, de forma que el 31 % lo hace directamente y el otro 16 % después de ser difundida por el polvo, vapor de agua y moléculas de aire. [9]

El resto de la energía solar, el 53 %, no alcanza la superficie de la Tierra, ya que:

- Un 15 % es absorbida por la troposfera, (agua, ozono y nubes).
- Un 23 % es reflejada por las nubes.
- Un 7 % es reflejada por el suelo.
- Un 2 % es absorbida por la estratosfera, principalmente por el ozono.
- El 6 % restante es la energía difundida por la atmósfera que se dirige hacia el cielo. [9]

Esta radiación esta formada aproximadamente en:

- 47 % por el espectro visible.
- 46 % por el espectro infrarrojo.
- 7 % por el espectro ultravioleta. [9]

El espectro ultravioleta está determinado por longitudes de onda dentro del intervalo **[0.009 – 0.39) μm** , el espectro visible por el intervalo **[0.39 – 0.79) μm** y el infrarrojo por **[0.79 – 1000) μm** . La **(Figura 1)**, muestra el espectro electromagnético proporcionado por el sol.

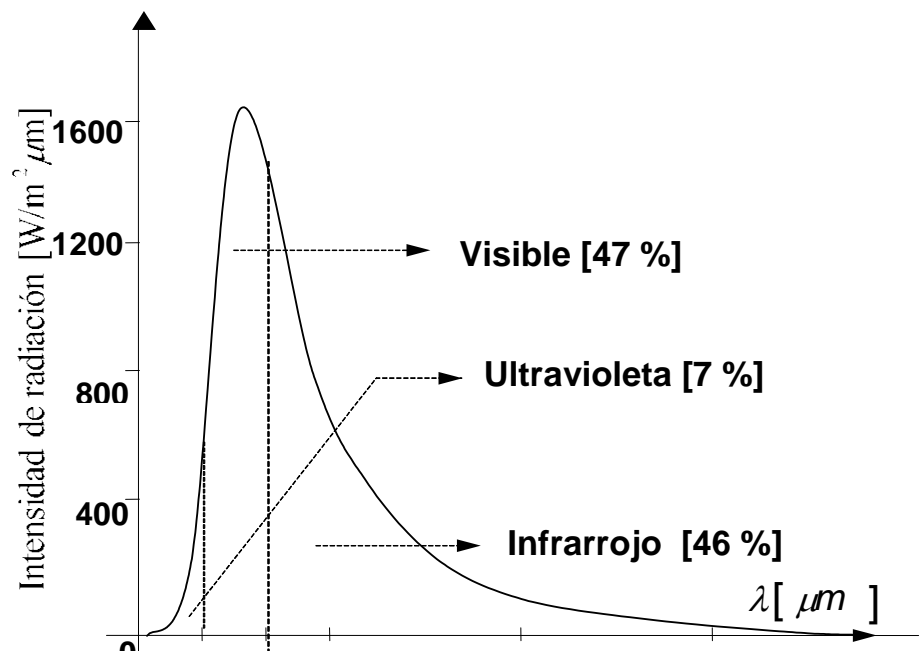


Figura 1: Espectro de la radiación solar sobre la superficie de la tierra. [15]

Para especificar mejor la radiación terrestre, es necesario definir los siguientes conceptos:

- **Radiación solar directa**

Es la radiación que incide directamente del sol.

- **Radiación solar difusa**

Es la radiación dispersada por los agentes atmosféricos (nubes, polvo, etc.).

- **Radiación solar reflejada (albedo)**

Es la radiación reflejada por el suelo o por los objetos cercanos.

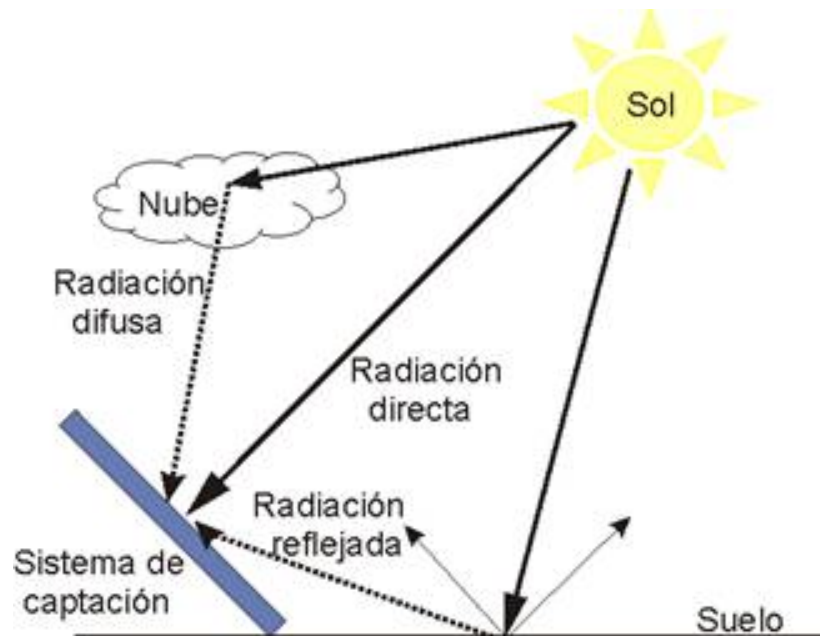


Figura 2: Componentes de la radiación solar terrestre total.

Fuente: Archivos propios. (2012)

La radiación solar total sobre la superficie terrestre, es la suma de estos tres componentes y se medirá directamente con un medidor de la radiación solar llamado solarímetro.

2.1.2.- Coeficiente de absorción

Es el porcentaje de la energía incidente, que absorbe el cuerpo.

2.1.3.- Coeficiente de reflexión

Es el porcentaje de energía incidente, que refleja el cuerpo.

2.1.4.- Coeficiente de transmisión

Es el porcentaje de energía incidente, que es transmitida a través del cuerpo.

En la (**Figura 3**), se muestra un esquema de la forma como se distribuye la energía incidente sobre un cuerpo, de acuerdo a sus propiedades de absorción, reflexión y transmisión.

Luego, por el principio de conservación de la energía:

$$G = G \cdot \alpha + G \cdot \rho + G \cdot \tau$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

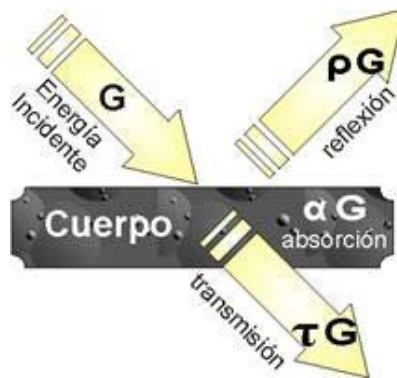


Figura 3: Balance Energético sobre un cuerpo.

Fuente: Archivos propios. (2012)

Para un cuerpo negro:

$$\alpha = 1; \rho = \tau = 0$$

Para un cuerpo opaco:

$$\tau = 0; \alpha + \rho = 1$$

En general α, ρ y τ dependen de la temperatura del cuerpo, pero para fines prácticos como éste, se pueden considerar como constantes características de cada material. [15]

2.1.5.- Conductividad térmica

Es la capacidad que tienen los materiales para conducir el calor, generalmente los buenos conductores de electricidad también son buenos conductores de calor.

2.2.- Procesos de transferencia de calor

En física, **la transferencia de calor** es el paso de energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura. Cuando un cuerpo, por ejemplo, un objeto sólido o un fluido, está a una temperatura diferente de la de su entorno u otro cuerpo, *la transferencia de energía térmica*, también conocida como transferencia de calor o intercambio de calor, ocurre de tal manera que el cuerpo y su entorno alcancen equilibrio térmico. La transferencia de calor siempre ocurre desde un cuerpo más caliente a uno más frío, como resultado de la segunda ley de la termodinámica. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos en proximidad uno del otro, la transferencia de calor no puede ser detenida; sólo puede hacerse más lenta. [15]

Como es conocido, el calor se puede transferir de un lugar a otro por conducción, convección y radiación. Cualquiera de estos procesos puede ser descrito por una ecuación de la forma:

$$Q_{ij} = \frac{T_i - T_j}{R_{ij}}; T_i > T_j \quad (1)$$

Donde: Q_{ij} [W] : Flujo de calor.

R_{ij} [K/W] : Resistencia térmica.

En general R_{ij} depende de T_i y T_j , sin embargo, para propósitos prácticos puede ser considerada como constante, ya que su

variación con la temperatura es siempre más pequeña que la variación de Q_{ij} con $T_i - T_j$. Así el concepto de resistencia térmica es muy útil, ya que por analogía a la ley de Ohm en electricidad, pueden sumarse en serie y en paralelo en la misma forma. [15]

A menudo es útil calcular el flujo de calor por unidad de área, como sigue:

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{\Delta T}{RA}$$

$$q = \frac{\Delta T}{r} \quad (2)$$

Donde $r = RA$, es la resistividad térmica.

$$q = h \cdot \Delta T \quad (3)$$

También es conveniente escribir q , así:

Donde $h = 1/r$, es el coeficiente de transferencia de calor.

Para distinguir los mecanismos de transferencia de calor se usará los subíndices: “**c**” para la conducción, “**v**” para la convección y “**r**” para la radiación. [15]

2.2.1.- Transferencia de calor por conducción

La conducción es el único mecanismo de transmisión del calor posible en los medios sólidos opacos; cuando en estos cuerpos existe un gradiente de temperatura, el calor se transmite de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura, siendo el calor transmitido por conducción Q_k , proporcional al gradiente de temperatura dT/dx , y a la

superficie **A**, a través de la cual se transfiere, (**Figura 4**), es decir: [9]

$$Q_k \approx A \frac{dT}{dx}$$

en donde **T** es la temperatura y **x** la dirección del flujo de calor.

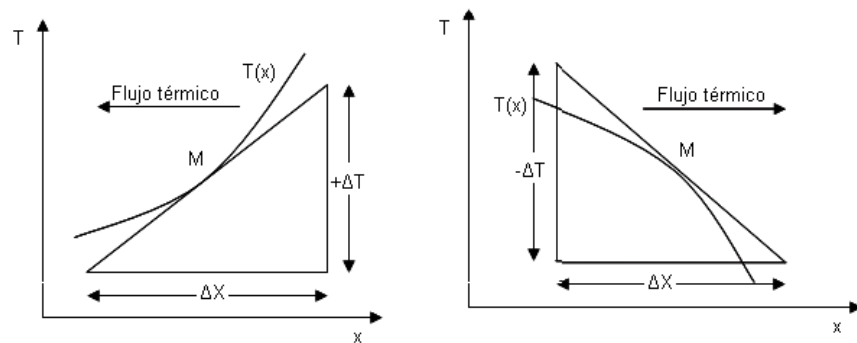


Figura 4: Convenio de signos para la transmisión del calor por conducción. [9]

El flujo real de calor depende de la conductividad térmica **k**, que es una propiedad física del cuerpo, por lo que la ecuación anterior se puede expresar en la forma:

$$Q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

En la que si la superficie **A** de intercambio térmico se expresa en m^2 , la temperatura en grados Kelvin, la distancia **x** en metros y la transmisión del calor en **W**, las unidades de **k** serán W/m K.

El signo (-) es consecuencia del segundo principio de la termodinámica, según el cual, el calor debe fluir hacia la zona de temperatura más baja. El gradiente de temperaturas es negativo si la temperatura disminuye para valores crecientes de **x**, por lo que si el calor transferido en la dirección positiva debe ser una magnitud positiva, en el segundo miembro de la ecuación anterior hay que introducir un signo negativo. [9]

2.2.1.a.- Conductividad térmica

La conductividad térmica **k** es una propiedad de los materiales que, excepto en el caso de los gases a bajas temperaturas, no es posible predecir analíticamente; la información disponible está basada en medidas experimentales. En general, la conductividad térmica de un material varía con la temperatura, pero en muchas situaciones prácticas se puede considerar con un valor medio constante, si el sistema tiene una temperatura media, lo que proporciona resultados bastante satisfactorios. [9]

En la (**Tabla 1**), se relacionan los valores típicos de la conductividad térmica de algunos metales, sólidos no metálicos, líquidos y gases.

Tabla 1: Conductividad térmica de algunos materiales. [10]

Material	K(W/m k) a 300 K
Cobre	386
Aluminio	204
Vidrio	0,75
Plástico	0,2-0,3
Agua	0,6
Aire	0,026
Tecnopor	0,025-0,045
Madera seca	0,13

En los **materiales conductores** el mecanismo de la transmisión de calor por conducción está asociado a las vibraciones de la **estructura reticular** y al movimiento de los electrones libres, (metales y aleaciones), al igual que en los conductores eléctricos, por lo que materiales buenos conductores de la electricidad son también, en general, buenos conductores del calor, (cobre, plata, aluminio, etc.). [10]

2.2.2.- Transferencia de calor por convección

Cuando un fluido a T_F se pone en contacto con un sólido cuya superficie de contacto está a una temperatura distinta T_{PF} el proceso de intercambio de energía térmica se denomina **convección**.

Existen dos tipos de convección:

En la **convección natural**, la fuerza motriz procede de la variación de densidad en el fluido como consecuencia del contacto con una superficie a diferente temperatura, lo que da lugar a unas fuerzas ascensionales; el fluido próximo a la superficie adquiere una velocidad debida únicamente a esta diferencia de densidades, sin ninguna influencia de fuerza motriz exterior. [10]

La **convección forzada** tiene lugar cuando una fuerza motriz exterior mueve un fluido con una velocidad U_F sobre una superficie que se encuentra a una temperatura T_{PF} , mayor o menor que la del fluido T_F . Como la velocidad del fluido en la convección forzada U_F es mayor que en la convección natural, se transfiere, por lo tanto, una mayor cantidad de calor para una determinada temperatura. [10]

Independientemente de que la convección sea natural o forzada, la cantidad de calor transmitida q_c , se puede escribir (Ley de Newton):

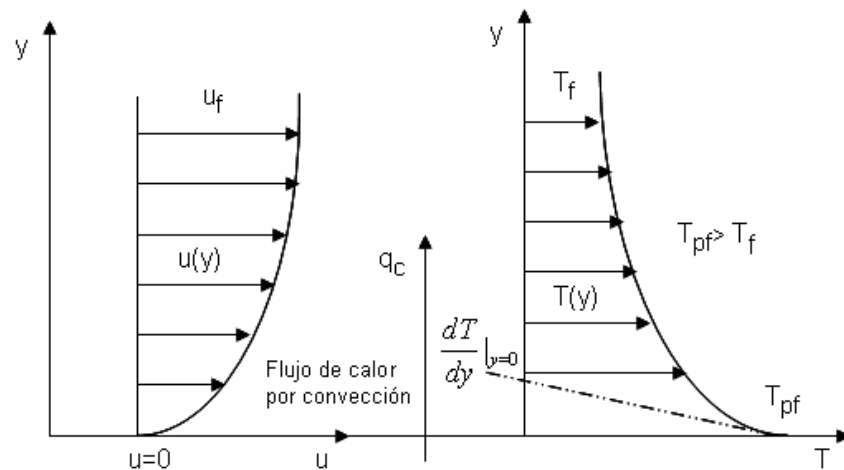


Figura 5: Distribución de la temperatura y la velocidad sobre una placa plana en convección forzada. [9]

$$q_c = h_{CF} A (T_{PF} - T_F) \quad (5)$$

en la que:

- h_{CF} es la conductancia convectiva térmica unitaria o coeficiente de transmisión del calor en la interfase líquido-sólido, en $W/m^2 K$.
- A es el área superficial en contacto con el fluido, en m^2
- T_{PF} es la temperatura de la superficie.
- T_F es la temperatura del fluido no perturbado.

La ecuación anterior sirve como definición del coeficiente de convección h_{CF} ; su valor numérico se tiene que determinar analítica o experimentalmente. [10]

En la (**Tabla 2**), se relacionan algunos valores aproximados de los coeficientes de transmisión de calor por convección, incluyendo la vaporización (ebullición) y la condensación.

Tipo de convección y fluido	h_c (W/m ² k)
Convección natural, aire	5-25
Convección natural, agua	20-100
Convección forzada, aire	10-200
Convección forzada, agua	50 -10 000
Agua en ebullición	3 000-100 000
Vapor de agua en condensación	5 000-100 000

Tabla 2: Valores aproximados de coeficientes de transmisión de calor por convección. [9]

El coeficiente de transmisión de calor por convección forzada depende, en general, de la densidad, de la viscosidad y de la velocidad del fluido, así como de sus propiedades térmicas (conductividad térmica y calor específico), es decir: [10]

$$h_{cF} = f(\rho, \eta, U_F, k, c_p) \quad (6)$$

En la convección forzada la velocidad viene relacionada con una bomba, ventilador, etc., y se puede medir directamente. [10]

$$U_F = \frac{Q}{\Omega} \quad (7)$$

En la convección natural, la velocidad es de la forma: $\mathbf{U}_F = f(\Delta T, \beta, \mathbf{g})$, es decir, depende de:

- La diferencia de temperaturas ΔT entre la superficie y el fluido.
- El coeficiente de dilatación térmica del fluido β que determina el cambio de densidad por unidad de diferencia de temperatura.
- El campo de fuerzas exteriores que, en general, es la gravedad. [10]

El número adimensional que caracteriza la convección natural es el número de Grashoff, que es el cociente entre las fuerzas de flotación y las fuerzas de viscosidad, de la forma:

$$Gr = \frac{g\beta}{\nu^2} \Delta T L^3 \quad (8)$$

Para la convección natural en régimen laminar el nº de Rayleigh vale:

$$\mathbf{Ra = Gr Pr < 10^7}$$

Para la convección natural en régimen turbulento el nº de Rayleigh vale:

$$Ra = Gr Pr > 10^9$$

El número adimensional que caracteriza la convección forzada es el número de Reynolds, que es el cociente entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de viscosidad,

de la forma: $Re = \frac{U_F L}{\nu}$

Régimen laminar por el interior de tuberías: $Re < 2\,000$

Régimen turbulento por el interior de tuberías: $Re > 8\,000$

El número adimensional que define al fluido es el nº de Prandtl, clasificándoles, en primera aproximación, en cuatro grandes grupos: [10]

Gases: $Pr \approx 1$

Líquidos (agua, aceites calientes, etc.): $Pr > 1$

Aceites a bajas temperaturas: $Pr > 1\,000$

Metales líquidos: $Pr \ll 1$

La transmisión de calor por convección se puede tratar también dentro de la estructura de una red de resistencias térmicas, en la forma:

$$R_c = \frac{1}{h_c A} \tag{9}$$

Y esta resistencia, en una interfase superficie-fluido, se puede incorporar fácilmente a una red térmica en la que participen otras formas de transmisión de calor. [10]

El calor transmitido en el ejemplo de la (**Figura 6**), entre dos fluidos separados por una pared plana, viene dado por:

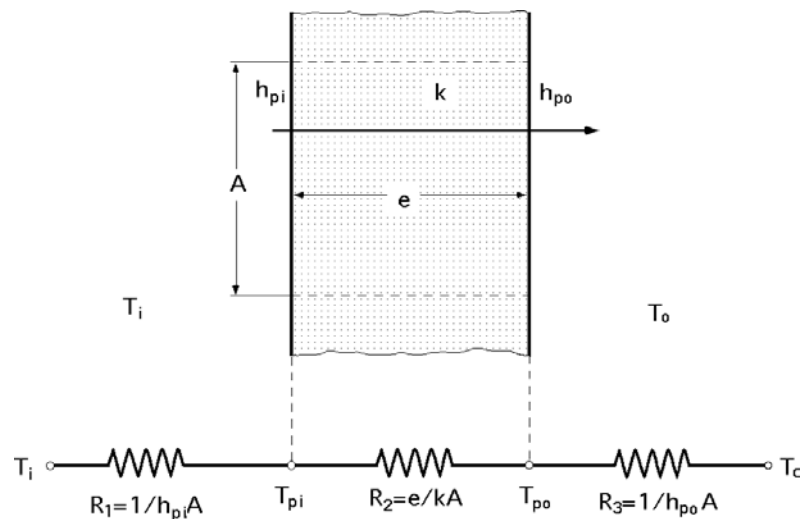


Figura 6: Analogía eléctrica correspondiente a la transmisión de calor a través de una pared plana con convección en sus dos caras. [9]

$$Q = \frac{T_i - T_o}{\sum_{i=1}^{i=3} R_i} = \frac{T_i - T_o}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{T_i - T_o}{\frac{1}{h_{ci}A} + \frac{e}{kA} + \frac{1}{h_{co}A}}$$

2.2.3.- Transferencia de calor por radiación

Mientras que la conducción y la convección térmicas tienen lugar sólo a través de un medio material, la radiación térmica

puede transportar el calor a través de un fluido o del vacío, en forma de ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz. La energía que abandona una superficie en forma de calor radiante depende de la temperatura absoluta a que se encuentre y de la naturaleza de la superficie. [10]

Un radiador perfecto o cuerpo negro emite una cantidad de energía radiante de su superficie Q_r , dada por la ecuación:

$$Q_r = \sigma AT^4 = AE_b \quad (10)$$

En la que E_b es el poder emisivo del radiador, viniendo expresado el calor radiante Q_r en W, la temperatura T de la superficie en K, y la constante dimensional σ de Stefan-Boltzman en unidades SI, en la forma:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

La ecuación anterior dice que toda superficie negra irradia calor proporcionalmente a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Aunque la emisión es independiente de las condiciones de los alrededores, la evaluación de una transferencia neta de energía radiante requiere una diferencia en la temperatura superficial de dos o más cuerpos entre los cuales tiene lugar el intercambio. Si un cuerpo negro a T_1 (K) irradia calor a un recinto que le rodea

completamente y cuya superficie es también negra a T_2 (K), es decir, absorbe toda la energía radiante que incide sobre él, la transferencia de energía radiante viene dada por:

$$Q_r = \sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (11)$$

Si los dos cuerpos negros tienen entre sí una determinada relación geométrica, que se determina mediante un factor de forma F , el calor radiante transferido entre ellos es:

$$Q_r = Q_{1 \longleftrightarrow 2} = \sigma A_1 F_{12} (T_1^4 - T_2^4) \quad (12)$$

Los cuerpos reales no cumplen las especificaciones de un radiador ideal, sino que emiten radiación con un ritmo inferior al de los cuerpos negros. Si a una temperatura igual a la de un cuerpo negro emiten una fracción constante de la energía que emitirían considerados como cuerpo negro para cada longitud de onda, se llaman cuerpos grises. [6]

Un **cuerpo gris** emite radiación según la expresión:

$$Q_r = \varepsilon A E_b = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (13)$$

El calor radiante neto transferido por un cuerpo gris a la temperatura T_1 a un cuerpo negro que le rodea a la temperatura T_2 es:

$$Q_r = \varepsilon_1 A_1 (E_{b_1} - E_{b_2}) = \varepsilon_1 \sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)$$

Siendo ε_1 la emitancia de la superficie gris, igual a la relación entre la emisión de la superficie gris y la emisión de un radiador perfecto a la misma temperatura. El hecho de que la transferencia de calor dependa de T_4 complica los cálculos. [10]

Si T_1 y T_2 no difieren demasiado, se puede poner:

$$\begin{aligned} Q_x &= \sigma A_1 \varepsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) = \sigma A_1 \varepsilon_1 (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)(T_1 - T_2) = \\ &= \sigma A_1 \varepsilon_1 4T_m^3 (T_1 - T_2) = A_1 h_r (T_1 - T_2) \end{aligned} \quad (14)$$

siendo $h_r = 4\varepsilon_1 \rho T_m^3$, el coeficiente de transferencia de calor por radiación.

A la temperatura de $25\text{ }^\circ\text{C} = 298\text{ K}$, se obtiene:

$h_r = 6\varepsilon_1\text{ W/m}^2\text{K}$, por lo que el coeficiente de transferencia de calor por radiación a la temperatura ambiente es del orden de 6 veces la emitancia de la superficie.

Para: $T_1 = 320\text{ K}$ y $T_2 = 300\text{ K}$, el error debido al empleo de la aproximación es del 0,1 %.

Para: $T_1 = 400\text{ K}$ y $T_2 = 300\text{ K}$, el error debido al empleo de la aproximación es del 2 %.

Si ninguno de los dos cuerpos es un radiador perfecto, pero poseen entre sí una determinada relación geométrica, el calor radiante neto transferido entre ellos viene dado por:

$$Q_{12} = \sigma A_1 F_{12} (T_1^4 - T_2^4) = \frac{E_{b1} - E_{b2}}{\frac{\rho_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{A_1 \rho_1}{A_2 \varepsilon_1}} A_1 \quad (15)$$

En la que F_{12}^* es un factor de forma que modifica la ecuación de los radiadores perfectos para tener en cuenta las emitancias y las geometrías relativas de los cuerpos reales.

En muchos problemas industriales, la radiación se combina con otros modos de transmisión del calor.

La solución de tales problemas se puede simplificar utilizando una resistencia térmica R_r para la radiación; su definición es semejante a la de la resistencia térmica de convección y conducción.

Si el calor transferido por radiación se escribe en la forma convectiva:

$$Q_r = \frac{T_1 - T_{2'}}{R_r} = h_r A (T_L - T_{2'}) \quad (16)$$

En la que $T_{2'}$ es una temperatura de referencia cuya elección viene impuesta por las condiciones de convección, (temperatura media del entorno en contacto con la superficie), mientras que T_2 es una temperatura de referencia que viene impuesta por las condiciones de radiación, (medio ambiente), (**Figura 7**). [10]

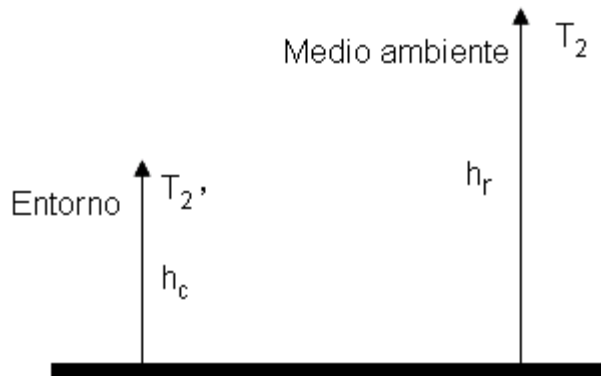


Figura 7. Puntos de referencia. [9]

La resistencia térmica radiativa viene dada por:

$$R_r = \frac{T_1 - T_2}{\sigma A_1 F_{1 \rightarrow 2} (T_1^4 - T_2^4)} = \frac{1}{\sigma A_1 F_{1 \rightarrow 2} (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)}$$

La conductividad térmica unitaria de la radiación h_r se define mediante la expresión:

$$h_r = \frac{1}{R_r A_1} = \frac{\sigma F_{1 \rightarrow 2} (T_1^4 - T_2^4)}{T_1 - T_2} = \sigma F_{1 \rightarrow 2} (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)$$

En la mayoría de los casos T_2 y T_2' coinciden.

2.3.- Sauna finlandesa o sauna seco.

2.3.1.- Origen y evolución del baño de sauna.

El baño de sauna tiene su origen secular en las zonas del Báltico. Su objeto era inicialmente combatir las consecuencias de las bajas temperaturas que los habitantes

de la zona sufrían, sobre todo en la época invernal. Con el transcurrir del tiempo, la sauna se había convertido en un ritual o especie de ceremonia familiar muy efectiva para alcanzar el bienestar y relajación física y psíquica necesaria en toda sociedad moderna. [20]

Hoy día, la sauna es considerada en los países que conforman esta zona, principalmente FINLANDIA y SUECIA, como elemento esencial de toda actividad cuyo fin sea encontrar ese bienestar físico. Es asimismo, considerada una terapia fundamental de relajación mental. [20]

Como se ha visto, el objeto de la sauna es la relajación y el bienestar físico y mental y, aunque tiene toda una serie de efectos positivos para el organismo, su efecto principal no es la pérdida de peso, aunque siempre lo impulsa si se acompaña de un régimen hipocalórico adecuado. [20]

Efectos del baño de sauna sobre el organismo:

- Distensión nerviosa.
- Relajación.
- Dilatación ramificaciones respiratorias.
- Oxigenación.
- Vasodilatación periférica.
- Estimulación de la circulación sanguínea en extremidades.
- Elevación de la frecuencia cardíaca, estimula sistema circulatorio.

- Limpieza de toxinas de los poros glándulas sudoríparas.
- Mejora de la elasticidad del tejido muscular y articulaciones óseas. [20]

2.3.2.- Descripción general de la sauna.

En su origen, la sauna era una simple cavidad realizada en la superficie, en la que se introducían piedras previamente calentadas al fuego para producir el calor. [20]

Posteriormente, y con el desarrollo de la técnica, se iniciaron las construcciones de saunas en pequeñas casas de madera, siempre en el exterior. El calor se producía a través de una chimenea tradicional interior a la sauna que, al fuego calentaba las piedras, expulsando el humo por una salida directa. [20]

Hoy día, la sauna finlandesa se ha ido enriqueciendo con los avances técnicos de nuestro tiempo, de forma que ha sufrido importantes variaciones en su construcción.

La sauna finlandesa es, actualmente, un habitáculo vertebrado por una estructura de madera tipo modular con material aislante en su interior y recubierto por un revestimiento machihembrado. Está equipada con literas o bancos y los accesorios interiores pueden ser de lo más variado y sofisticado. [20]

El elemento esencial de la sauna es el equipo eléctrico que genera el calor, calentando el aire para provocar una

temperatura muy elevada en su interior a la vez que se obtiene un nivel de humedad muy bajo debido al efecto de absorción de la madera.

Tal como se ha podido predecir, la sauna genera calor estrictamente seco, reduciendo la humedad del aire al calentarse por defecto absorción. Con lo cual es un error asociar la sauna al vapor, fenómeno que se produce expresamente en los “BAÑOS DE VAPOR”, cuyo efecto y concepción son esencialmente distintos. [20]

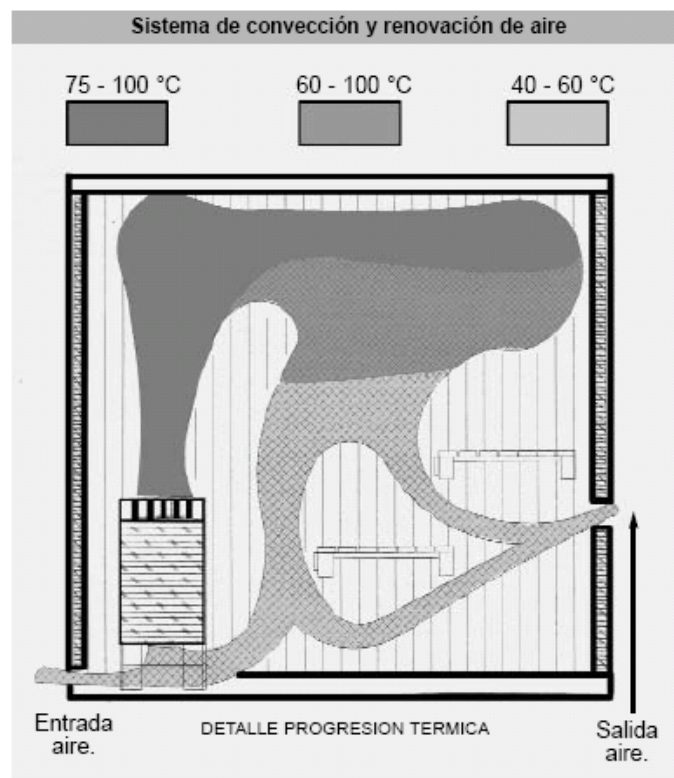


Figura 8: Sistema de convección y renovación de aire. [20]

Tal como podemos apreciar en esta figura, cuando la sauna está en régimen de uso, se produce en su interior una progresividad térmica escalada. Esta escala se debe a la mayor ligereza del aire cuando aumenta la temperatura. A su vez este sistema nos permite una renovación continua del aire, manteniendo una elevada temperatura en el interior de la sauna. [20]

2.3.3.- Materiales y componentes básicos del baño sauna.

Los materiales utilizados en el proceso de fabricación de la sauna determinan en gran medida su buen funcionamiento.

LA MADERA: Esta es la principal materia prima utilizada en la fabricación de la sauna, y las características de este material, junto con el sistema de fabricación y anclaje, configuran esencialmente LA CALIDAD de la misma.

La sauna incorpora distintas clases de madera en su fabricación, y cada una de ellas debe cumplir según sea la función que va a desempeñar. [20]

TIPO DE MADERA	PIEZAS	CARACTERISTICAS
ABETO BALTICO	MACHIEBRADO ESTRUC. BANCOS AROS-PERIMETRO ESTRUC. MODULOS	RESISTENCIA, CONTRASTE TERMICO, ABSORCION HUMEDAD, CAPACIDAD AISLAMIENTO TERMICO, RESITENCIA CONTRA ROTURAS
HEMLOCK CANADA	MACHIEBRADO EXTERIOR	IGUALES CARACTERISTICAS (MADERA SIN NUDOS)
ABBACHI-SAMBA	BANCOS-LITERAS CABEZALES, VALLA PROTECTORA	POROSIDAD, ESPONJOSIDAD, RESISTENCIA, A. TRASMISION TERMICA. (MADERA SIN NUDOS)
TABLEROS FIBRAS	REVESTIMIENTO TRASERA-TECHO	RESISTENCIA Y DURACION CAPACIDAD AISLAMIENTO TERMICO

Tabla 3: Clases de madera en su fabricación. [20]

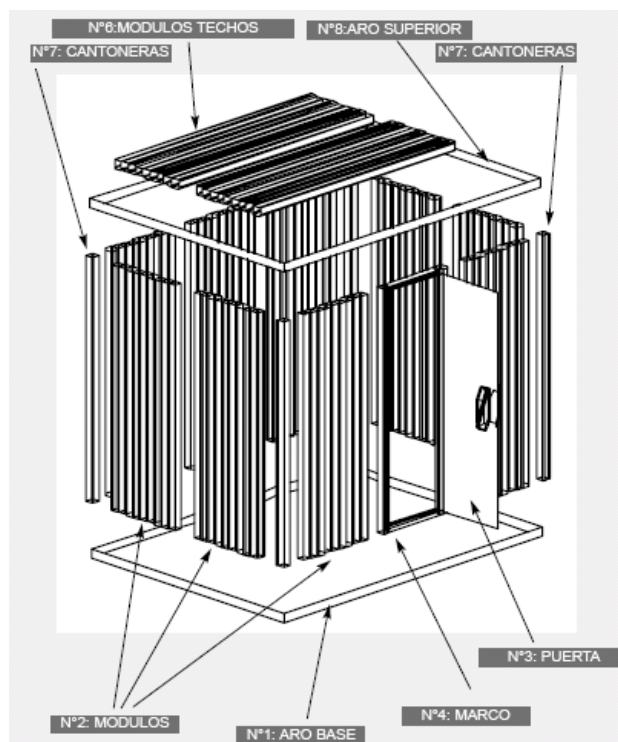


Figura 9: Detalle posición de los componentes. [20]

2.3.4.- Condiciones del entorno a la sauna.

Las condiciones para realizar el montaje de la cabina de forma correcta son principalmente dos:

- Cuando se utiliza la sauna el cuerpo suda, y parte de este sudor acaba deslizándose hasta el suelo. Por ello, el pavimento donde se asienta la sauna debe ser lo menos poroso y absorbente posible. Si el suelo es absorbente, el sudor penetrará en el mismo y se irá acumulando en él, junto a las toxinas y suciedad que arrastra, de forma que facilitará la proliferación de gérmenes, bacterias y hongos.

TIPO DE SUELO INDICADO: Pavimento de gres, terrazo o mármol preferiblemente piezas grandes.

SUELO CONTRAINDICADO: Moqueta, corcho, parquet, cemento o cualquier material que tenga capacidad de absorción. [20]

- Es aconsejable que la sauna esté situada cerca de una ducha para facilitar el beneficio de la sesión. Aunque esta condición mejora al usuario la toma de sauna, el agua de la ducha jamás debe alcanzar las paredes de la sauna.

2.3.5.- Líneas de conexión para la sauna

El elemento de mayor importancia de la sauna es el equipo eléctrico, destacando, en éste, el “calefactor”, ya que en él se

produce el consumo de electricidad a través de las resistencias.

Para evitar cualquier tipo de incidente debido al sobrecalentamiento de la instalación eléctrica del local o vivienda, es imprescindible que la línea a la que se conecta la sauna esté adecuada a la intensidad y consumo del calefactor. [20]

En el siguiente cuadro se detalla la relación adecuada entre el consumo del equipo eléctrico, la intensidad correcta del magnetotérmico de protección y la sección del cable de la línea. Se diferencia para cada modelo y según la tensión del local.

CONSUMO EQUIPO	INTENSIDAD MAGNETOTERMICO		SECCION CABLEADO	
	220V	380V	220V	380V
3 KW	15 AMP.	.....	2,5 mm	.....
4 KW	20 AMP.	10 AMP.	4 mm	1,5 mm
5 KW	25 AMP.	10 AMP.	6 mm	2,5 mm
6 KW	30 AMP.	10 AMP.	10 mm	2,5 mm
7 KW	40 AMP.	15 AMP.	10 mm	2,5 mm
8 KW	40 AMP.	15 AMP.	16 mm	2,5 mm
9 KW	.....	15 AMP.	.....	2,5 mm
10 KW	.....	20 AMP.	.....	4 mm
12 KW	.....	20 AMP.	.....	4 mm
15 KW	.....	25 AMP.	.....	6 mm

Tabla 4: Cuadro de potencias y acometidas eléctricas. [20]

2.3.6.- Cómo debe realizarse la sesión de sauna.

El esquema básico de la sesión de sauna implica una repetición cíclica de etapa calentamiento y etapa enfriamiento de forma alternada durante al menos 2 o 3 ciclos.

Desarrollo paso a paso:

1.- Ducha de agua caliente.

Ducha higiénica con jabón para limpiar impurezas del poro.

2.- Secarse correctamente todo el cuerpo.

Si no secamos la piel correctamente retrasaremos el proceso de transpiración al entrar en la sauna.

3.- Entrada en la sauna (Temperatura 80-90 °C).

Los periodos de estancia suelen oscilar entre los 6 y 14 minutos según edad, sexo y estado nervioso.

4 - Salida de la sauna. “Fase de respiración”.

Una vez fuera de la sauna y a temperatura ambiente expiraremos vigorosamente e inspiraremos suavemente.

5 - Proceso de repetición (Iniciar fase 3) Hasta 2 o 3 veces.

6 - Posible baño de Inmersión.

7 - Fase de reposo.

Esta fase es seguida por algunos bañistas y complementa el efecto de relajación al tomar un descanso en reposo absoluto durante unos 15 minutos.

8 - Ducha de nuevo para eliminar del todo el sudor.

9 -Si lo desea, puede ingerir agua o algún zumo para recuperar el agua perdida. [20]

En ningún caso tomará bebidas alcohólicas, durante o inmediatamente después de tomar la sauna y la forma correcta de tomar la sauna es completamente desnudo.

2.3.7.- Contraindicaciones.

Aunque son pocos aquellos casos en los que no es indicado tomar la sauna, en las siguientes líneas se desarrollan los más importantes.

En primer lugar, como en toda actividad corporal, es aconsejable consultar con su médico antes de iniciarse en el uso de la sauna, aunque se puede asegurar que más del 95 % de las personas no tienen impedimento alguno para usarla.

- No realizar la sesión de sauna durante la digestión.
- No tomar la sauna durante el periodo de gestación.
- No tomar la sauna durante la menstruación.
- Está contraindicada para aquellas personas con deficiencias cardíacas graves.
- Problemas del corazón.

- No aconsejable para aquellas personas que sufren problemas de hipotensión.
- Casos avanzados de arteriosclerosis y tuberculosis. [20]

2.3.8.- Consideraciones específicas.

- Si se ha realizado algún ejercicio fatigoso no debe entrar en la sauna sin haber realizado un previo descanso.
- No ingerir bebidas alcohólicas durante el proceso de la toma de sauna.
- La sauna no deshidrata. Únicamente reduce el nivel de humedad corporal de forma temporal.
- No debe salir de la sauna si no siente la necesidad ya que ello impedirá recibir los efectos de manera correcta. Tampoco debe seguir en la sauna si se siente la sensación de agobio, ya que puede perjudicar más que favorecer.
- Cada persona sentirá la necesidad de salir de la sauna en intervalos distintos de tiempo.
- El baño de sauna es una terapia de relajación y debe producir bienestar físico y equilibrio mental. Así, la sauna no debe tomarse con prisas ni omitiendo la mayor parte de los pasos a seguir ya que los beneficios serán nulos o mínimos.
- Para estimular y mejorar los efectos de la sauna, debe tomarse con cierta frecuencia, aunque ésta no debe superar las dos o tres veces por semana. [20]

2.4.- Sauna y la cabina por radiación infra-roja.

2.4.1.- Aclaración de terminología:

En primer lugar, creemos necesarios esclarecer algunos aspectos relacionados con la sauna y la radiación por infrarrojos. [18]

SAUNA FINLANDESA O SAUNA SECO es el un elemento terapéutico de relajación y bienestar físico-psíquico. Estos beneficios se consiguen como consecuencia del clima creado en el interior (Temperatura elevada 80 °C – 120 °C y niveles de humedad bajos 5 % -15 %) y del contraste térmico al combinar la estancia en este ambiente con ducha o inmersión en agua fría. [18]

Cualquier otro tratamiento que no proporcione estas condiciones climáticas no debe ni puede denominarse sauna, sin perjuicio de otros beneficios terapéuticos que puede proporcionar. [18]

Sirva lo anterior para esclarecer la confusión que pueda existir entre “SAUNA FINLANDESA” y “Cabinas de radiación por infrarrojos” dado que sin serlo, a este último tratamiento se le suele denominar erróneamente como “sauna de infrarrojos”.

El tratamiento con la radiación infrarroja tiene su propio ámbito medicinal y terapéutico distinto en su finalidad al de la sauna.

El objetivo principal, entre otros secundarios, del tratamiento con infrarrojos es la mejoría que produce en las enfermedades, y de las articulaciones óseas, provocando a su vez una disminución general del dolor localizados en las mismas. [18]

Como conclusión, es destacable el hecho de que los dos tipos de tratamiento no son, en sí mismos, ni excluyentes ni alternativos ya que sus efectos terapéuticos son esencialmente distintos. [18]

2.4.2.- La radiación infra-roja

Los rayos infra-rojos son aquellas radiaciones que se encuentra entre la luz visible y las microondas dentro del espectro electromagnético.

Esta radiación se encuentra más allá del rojo en el espectro solar, de ahí el nombre que significa, que produce un calentamiento directo y notable, pero no es apreciable por el ojo humano. Su particularidad principal se encuentra en la capacidad de penetración en cuerpos sólidos dada su estructura, así las radiaciones infra-rojas atraviesan fácilmente la atmósfera y pueden proporcionar información sobre la estructura molecular. Una de las utilidades de mayor desarrollo es la "TERMOGRAFIA" o imagen cartográfica de las temperaturas de un cuerpo a través de detectores de infra-rojo. [18]

Las características de la radiación infra-roja supone una seguridad y fiabilidad en los tratamientos de mantenimiento térmico en bebés nacidos prematuramente.

El uso de rayos infra-rojos se ha extendido de forma intensa para favorecer la recuperación de fracturas internas y para evitar los dolores reumáticos. [18]

2.4.3.- Aplicación terapéutica y beneficios para el organismo:

La terapia corporal de infra-roja ha sido utilizada a lo largo del último siglo por fisioterapeutas de todo el mundo, fundamentalmente en Oriente, Europa y Australia. [18]

Debido a la capacidad de penetración de los rayos infra-rojos en nuestro cuerpo (de 2 a 3 cm. bajo piel) se produce un efecto calorífico en los tejidos musculares y en los órganos internos. El sistema termorregulador interno reacciona a esta nueva situación incrementando el ritmo cardíaco, lo que favorece el fortalecimiento de todo el sistema circulatorio y en especial de corazón. [18]

El mecanismo de acción de los rayos infra-rojos sobre el cuerpo humano se denomina "Absorción resonante". Los rayos son absorbidos por los tejidos de forma selectiva, es decir, aquellos tejidos que precisan del calor producido por la emisión son los que en realidad realizan esa absorción, provocando su sensible mejoría y efecto beneficioso. Una vez se ha producido la recomposición total, la radiación siguiente

no es absorbida y tampoco produce perjuicio alguno sobre el sistema. [18]

Así, como conclusión, podemos resumir que el proceso por el cual esta radiación afecta a nuestro cuerpo es el calentamiento interno que se produce en los órganos del mismo debido a la capacidad de penetración y sus características de transmisión calorífica. [18]

Los efectos específicos que se derivan de este proceso son lo que llamamos “La utilidad terapéutica” que entre otros se destacan los siguientes:

- Aumentar la flexibilidad de los tejidos.
- Aumentar la elasticidad de articulaciones.
- Produce una sensible disminución del dolor.
- Incrementa el ritmo cardíaco y el riego sanguíneo. [18]

La terapia por infra-rojos se utiliza cada vez más intensamente entre centros médicos de todo el mundo debido a los buenos resultados obtenidos en distintas patologías como las que indican:

- Reumatismo.
- Ciática.
- Artritis.
- Dolor menstrual, estomacal, espalda.
- Dolor muscular y en articulaciones (en general).
- Tratamiento de fracturas. [18]

2.4.4.- Cabinas de radiación infra-roja

Durante la década de los 90 se ha producido un importante desarrollo del uso de la radiación infra-roja a nivel doméstico, para ello se ha experimentado un sensible crecimiento de la actividad comercial de este sector. Así existen en la actualidad diferentes compañías que ofrecen las “Cabinas de infra-rojos”. Estas cabinas se construyen en madera de cedro rojo principalmente e incorporan un equipo de resistencias eléctricas especiales que proporcionan la radiación infra-roja y la emiten directamente en el interior de la cabina. Incorporan los accesorios interiores para el uso. Bancos interiores para sentarse y una puerta de acceso. [18]

Las ventajas que proporciona este tipo de cabinas son evidentes y se ha expuesto en este proyecto de investigación, básicamente terapia antidolor y mejora de tejidos y articulaciones. Aun así, la gama existente en el mercado peca de dos inconvenientes fundamentales; su elevado precio y su finalidad o beneficio terapéutico limitado. [18]

La terapia antidolor y los problemas reumáticos causan importantes perjuicios a buen número de personas, y por ello, creemos que la solución infra-roja es un buen tratamiento a considerar, pero también creemos que dados los precios de este tipo de elemento terapéutico, sería muy conveniente aumentar la utilidad o los beneficios a obtener. [18]

Por ello, este proyecto ha desarrollado un sistema que posibilita el poder disponer de la radiación infra-roja y a su vez de una sauna finlandesa. [18]

Así, este sistema permite combinar los resultados terapéuticos de la radiación infra-roja con los efectos tan beneficiosos de la sauna finlandesa “Relajación y Distensión nerviosa”. [18]

La sauna finlandesa, complementada con equipo de radiación por infra-rojos permite simultanear los dos baños. Estos se combinan de forma complementaria ya que los efectos que producen cada uno de ellos son complementarios, sustitutivos. Los dos tipos de baños se pueden tomar de forma simultánea o alternativamente, con lo cual, podemos aumentar o disminuir la frecuencia o intensidad de uno de los tratamientos terapéuticos sin alterar el otro. [18]

Aun así, la gran ventaja de este tipo de cabina se experimenta cuando se simultanean los dos tipos de baño ya que se obtienen a la vez cada uno de los objetivos básicos de cada tratamiento. [18]

Ya que los tiempos de exposición de los dos elementos son distintos, normalmente en la sauna el tiempo es inferior a la radiación infra-roja, el sistema permite iniciar la sesión con los dos sistemas activos y pasado cierto tiempo desactivar la sauna para continuar obteniendo la radiación de calor por rayos infra-rojos. [18]

2.4.5.- Equipo de la cabina de la radiación infra-roja

Este equipo está compuesto de dos elementos fundamentalmente. Las pantallas de la radiación del calor por rayos infra-rojos y el panel de control de radiación y temperatura. [18]

2.4.5.a.- Pantallas de emisión:

Las pantallas de radiación son las que contienen en su interior los elementos (resistencias especiales) que emiten el calor específicamente infra-rojo. Estas pantallas están constituidas de forma que queden perfectamente integradas en la cabina de forma que no perjudiquen el uso de la misma cuando se selecciona el baño de sauna tradicional. [18]

La emisión de calor por radiación infra-roja se obtiene a través de la conducción eléctrica a través de un conjunto de resistencias tubulares especiales cuyas características técnico-constructivas son:

- Construcción longitudinal – recta. Racores de 220 V, 600 W nominales.
- Carga de la resistencia en potencia por centímetro cuadrado: 3 W/cm²
- Funda de protección blindada.
- Recubrimiento de la funda de protección del filamento interior.
- Máxima temperatura de protección 550 °C.

- Longitud de onda de infra-roja: de 2 a 9 μm . [18]

ATENCIÓN: La emisión infra-roja debe ser directa sobre la piel, de forma que no debe existir ningún elemento entre las pantallas y la piel, ya que la penetración no se produciría de forma directa y ello reduciría sensiblemente la intensidad de la misma.

2.4.5.b.- Panel de control:

La emisión de calor por radiación infra-roja se controla desde el dispositivo de control situado en el exterior de la cabina. Este elemento tiene como finalidad básica la activación y desactivación del sistema de radiación especial infra-roja.

A su vez el panel de mandos de control incorpora un sistema de control manual de la temperatura a la que se desea tomar el baño de radiación infra-roja. La temperatura correcta es de entre 40 y 48 grados centígrados, y una vez alcanzada la misma, el panel de control mantiene a través de una sonda detectora interior la temperatura preseleccionada.

El panel de control de la radiación infra-roja es similar en sus funciones al de la sauna, pero los intervalos de temperatura se mantiene a distintas escalas dadas las diferentes características de la radiación de los dos tipos de baño. [18]

- Contracción compacta, contactores electrónicos.
- Termostato manual para regulación de calor infra-rojo (20-50 °C).
- Termostato de seguridad (Fijo a 50 °C).
- Interruptor de conexión general del equipo.
- Interruptor de conexión luz interior. [18]

ATENCIÓN: La emisión infra-roja debe ser directa sobre la piel, de forma que no debe existir ningún elemento entre las pantallas y la piel.

2.4.6.- Contraindicaciones:

Antes de realizar ninguna actividad específica como este tratamiento debe consultar a su médico. [18]

- Si está en proceso farmacológico, consulte las posibles incompatibilidades.
- El calor infra-rojo es contraindicado en algunas infecciones dentales.
- Durante la gestación no debe usar la cabina de infra-rojos.
- Durante la menstruación debe tomarse en intervalos cortos.
- En caso de sufrir alguna herida, ésta no debería someterse a este baño hasta que no esté cerrada.
- No aconsejable para aquellas personas que sufren de hipotensión.
- No tomar en caso de hemofilia o propensión a hemorragias.

2.5.- Almacenamiento de energía solar

La energía solar es una fuente de energía que depende del tiempo; para una amplia gama de aplicaciones las necesidades de energía dependen también del tiempo, pero en forma distinta del suministro de energía solar, por lo que el desfase entre los períodos de disponibilidad de la energía solar y los períodos de consumo, requieren de alguna forma de almacenamiento. [9]

El almacenamiento de energía solar se tiene que realizar teniendo en cuenta:

- El tipo de colector solar.
- Las unidades de almacenamiento.
- Los aparatos de conversión (tales como acondicionadores de aire o motores), cargas, suministros de energía auxiliares o suplementarios, etc.
- Los sistemas de control. [9]

La capacidad de almacenamiento óptimo de la energía solar es función de su disponibilidad, que depende de:

- El tiempo.
- La naturaleza de las cargas que se pueden esperar en el proceso.
- La forma en que se suministra la energía auxiliar.
- Un análisis económico que determina qué parte de las cargas totales de energía deben ser de tipo solar y qué otras partes procedentes de otras formas de energía. [9]

2.5.2.- Almacenamiento de energía en los procesos solares

El almacenamiento de la energía solar se puede hacer:

- En forma de calor sensible, en el que el calor almacenado aumenta la temperatura de un medio líquido, sólido o gaseoso.
- En forma de calor latente, como el calor de fusión en sistemas químicos.
- En forma de calor sensible y latente, en el que el calor almacenado entraña una variación de temperatura y un cambio de estado del sistema receptor (sólido o líquido); la restitución del calor corresponde al cambio de estado inverso.
- En forma de energía química originada en algunas reacciones químicas.
- En forma de energía mecánica que se puede transformar en energía potencial mediante el almacenamiento de fluidos a ciertas alturas.
- En forma de sustancias obtenidas en procesos solares no energéticos, como el agua destilada en un alambique solar que se puede almacenar en depósitos para su utilización posterior. [9]

La elección de los medios de almacenamiento de energía depende de la naturaleza del proceso.

- Para el **calentamiento de agua**, resulta lógico el almacenamiento de energía bajo forma de calor sensible.

- Si se usan colectores de **calentamiento para acondicionamiento de aire**, el almacenamiento puede ser tanto en forma de calor sensible como latente.
- Si se usan procesos **fotovoltaicos o fotoquímicos**, el almacenamiento es en forma de energía química. [9]

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

- Su capacidad por unidad de peso o de volumen.
- El campo de temperaturas dentro del cual funciona, es decir, la temperatura a la que se aplica y se extrae calor del sistema.
- Los medios para aplicar y extraer calor y las diferencias de temperatura asociadas con ellos.
- La estratificación de la temperatura en la unidad de almacenamiento.
- Las necesidades energéticas para añadir o extraer calor.
- Los contenedores, depósitos y otros elementos estructurales asociados con el sistema de almacenamiento.
- Los medios para controlar las pérdidas térmicas del sistema de almacenamiento.
- Su coste. [9]

En cualquier sistema de almacenamiento de energía solar tienen un significado especial los factores que afectan al funcionamiento del colector. La ganancia útil de un colector

disminuye a medida que aumenta la temperatura media de la placa; una relación entre la temperatura media del colector y la temperatura a la cual transmite el calor, se puede poner en la forma:

$$\begin{aligned}
 T(\text{colector}) - T(\text{transmisión}) = & \\
 \Delta T(\text{transporte desde el colector al almacenamiento}) + & \\
 \Delta T(\text{almacenamiento de entrada}) + \Delta T(\text{pérdida de almacenamiento}) + & \quad (18) \\
 \Delta T(\text{salida de almacenamiento}) + \Delta T(\text{salida de almacenamiento}) + & \\
 \Delta T(\text{transporte desde el almacenamiento a la aplicación}) + & \\
 \Delta T(\text{entrada en aplicación}) &
 \end{aligned}$$

La temperatura del colector, que es la que determina su ganancia útil, es más alta que la temperatura a la cual se utiliza el calor, debido a la suma de una serie de incrementos como consecuencia de las pérdidas, por lo que uno de los objetivos del diseño general del sistema es el reducir al mínimo estas caídas de temperatura. [9]

2.5.3.- Almacenamiento por calor sensible para el agua

El agua es un elemento útil, barato y fácilmente disponible para el almacenamiento de calor sensible, en forma de agua caliente sanitaria o agua para calefacción. La energía térmica solar se aplica al gasto G que circula por el colector y se extrae mediante un consumo mL de agua sanitaria o calefactora en la unidad de almacenamiento, en donde se produce el intercambio térmico entre dichos fluidos. Si los sistemas están bien diseñados, los costes de bombeo son pequeños y de fácil cálculo; tanto las unidades de

almacenamiento de agua, como el colector, pueden funcionar en circulación natural o forzada. [9]

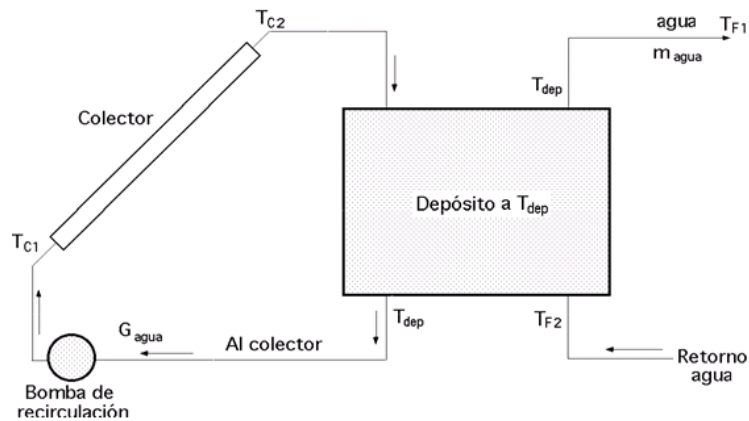


Figura 10: Unidad de almacenamiento de depósito de agua con circulación de agua procedente del colector para aplicar energía calorífica y salida de la carga (agua sanitaria) para aprovechar dicha energía. [9]

La capacidad de almacenamiento de energía por una unidad de líquido almacenado, que funciona en un intervalo finito de temperaturas, $\Delta T = T_{dep} - T_{F2}$, viene determinada por:

$$Q_{dep} = (mC_p)_{dep} (T_{dep} - T_{F2}) = C_{dep} (T_{dep} - T_{F2}) \quad (19)$$

Siendo Q_{dep} el calor comunicado al agua sanitaria entre las temperaturas T_{dep} y T_{F2} , m es el gasto másico de agua correspondiente en kg/seg y C_{dep} su capacidad calorífica. [9]

2.5.3.a.- Balance energético

En régimen transitorio, el balance energético sobre el depósito de almacenamiento sirve para predecir su temperatura como una función del tiempo. Haciendo un balance energético sobre el depósito **sin estratificar**, la variación de energía interna del sistema tiene que ser igual a la suma de los calores y cargas puestos en juego: [9]

$$C_{dep} \frac{dT_{dep}}{dt} = Q_{col} - P - (UA)_{dep} (T_{dep} - T_a) \quad (20)$$

Ecuación en la que:

P es la carga a la salida del depósito, función del tiempo Q_{col} es la energía captada en el colector, que depende del tipo de colector, de la forma:

$$Q_{col} = C_{col} (T_{C2} - T_{dep}) \quad (21)$$

Donde C_{col} es la capacidad calorífica del fluido que circula por el colector y T_{C2} es la temperatura del fluido caliente a la salida del mismo.

El gasto másico G que circula por el colector puede ser accionado o no por una bomba.

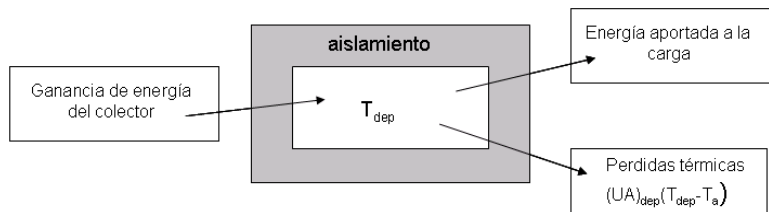


Figura 11: Almacenamiento sin estratificación de masa, con el ambiente a T_a . [9]

2.5.4.- Almacenamiento en lecho de rocas.

Una unidad de almacenamiento en lecho de rocas (guijarros o cantos) (**Figura 12**), se basa en la capacidad calorífica de ciertos materiales ligeramente compactos, a través de los cuales se hace circular un fluido, generalmente aire.

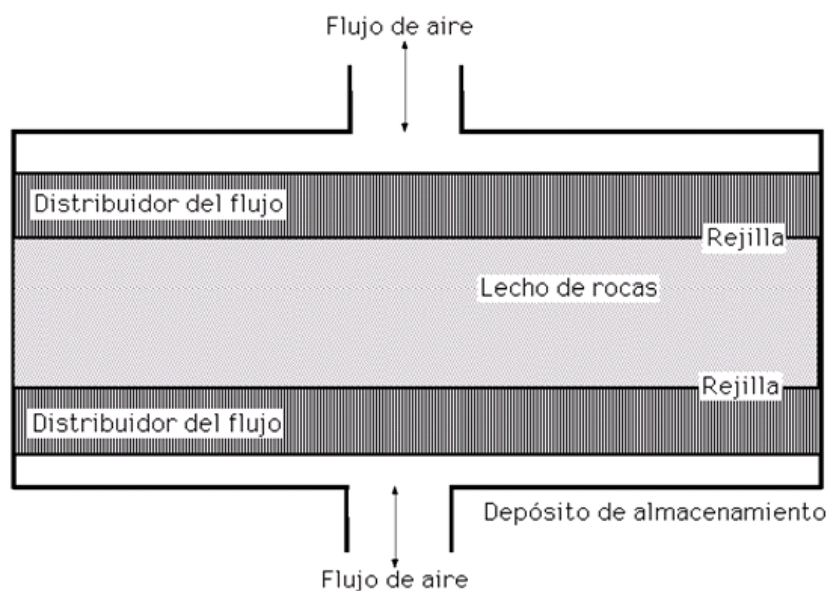


Figura 12: Unidad de almacenamiento de lecho compacto [3]

Para las aplicaciones de energía solar, los lechos de rocas bien diseñados, que utilizan la propia roca, tienen varias características interesantes, como:

- El coeficiente de transferencia de calor entre el aire y el material sólido es alto.
- El coste del material de almacenamiento es bajo.
- La conductividad térmica del lecho es baja cuando no circula aire a su través. [9]

Las partes que componen una unidad de este tipo de lecho compacto son:

- Un contenedor.
- Una estructura porosa para contener y apoyar el lecho.
- Distribuidores de aire para el flujo en ambas direcciones que reduzcan al mínimo el paso del aire. [9]

Los intercambiadores de lecho de guijarros tienen una transferencia de calor muy buena entre el aire y los sólidos del lecho, lo que tiende a reducir al mínimo las diferencias de temperatura entre el aire y los sólidos cuando se calienta el lecho y entre los sólidos y el aire cuando se enfría el lecho.

Para la determinación del coeficiente de transferencia de calor en lechos de guijarros se puede utilizar la expresión, (Lof y Hawley, 1948). [9]

$$h_v = 650 \frac{G^{0.7}}{D} \quad (23)$$

En la que:

- h_v es el coeficiente de transferencia de calor en, $W/m^2\text{°C}$.
- G es el gasto másico superficial en, $kg/m^2\text{seg}$.
- D es el diámetro equivalente del guijarro en m. dado por:

$$D = \sqrt[3]{\frac{6 * \text{volumen_neto_de_los_guijarros}}{\pi \text{Número_de_guijarros}}}$$

Un lecho bien diseñado debe tener un tamaño de guijarros lo suficientemente pequeño como para que se reduzcan al mínimo los gradientes de temperatura en ellos.

Aplicando el criterio de Biot para esferas de radio R y conductividad térmica k , si: $B_i = \frac{h_c R}{k} < 0,1$ la resistencia térmica de las partículas y sus gradientes de temperatura se pueden considerar despreciables, (sólidos con resistencia térmica interna despreciable). [9]

El coeficiente de transmisión de calor por convección h_c está relacionado con h_v mediante la ecuación:

$$h_c = \frac{V}{A} h_v \quad (24)$$

Siendo V/A la longitud característica del lecho, que es el cociente entre el volumen y la superficie de contacto del lecho ocupada por el material. [9]

Tanto en los lechos de rocas experimentales como en los prácticos, se han utilizado tamaños de roca de

aproximadamente 1 a 5 cm. Los tamaños de partículas deben ser bastantes uniformes con el fin de obtener una buena parte de espacios vacíos y así reducir la caída de presión. [9]

2.5.5.- Capacidad de los medios de almacenamiento

No se pueden hacer comparaciones entre los medios de almacenamiento sin considerar un proceso solar total, incluyendo las características de los colectores solares asociados, cargas sobre el proceso, ciclos meteorológicos más probables, costes y muchos otros factores. En la **(Tabla 6)**, se muestran algunos datos referentes a las propiedades de los posibles medios de almacenamiento útiles. [9]

Los principales factores que determinan la capacidad óptima de los sistemas de almacenamiento para edificios son:

a) El coste de la unidad de almacenamiento, que incluye:

El coste de los recipientes, el medio de almacenamiento, el lugar donde se sitúa, y el coste de funcionamiento de la unidad de almacenamiento (costes de desplazamiento del medio que transfiere calor). [9]

b) El efecto que la capacidad de almacenamiento tenga sobre el funcionamiento del resto del sistema y sobre todo sobre el colector.

Una unidad de almacenamiento más pequeña, funcionando a una temperatura media más alta, puede llegar a producir pérdidas grandes a la salida del colector, en comparación con sistemas parecidos con unidades de almacenamiento grandes, matizando el hecho

de que el almacenamiento **a corto plazo** para cubrir cargas para períodos de unos cuantos días, puede resultar el más económico para aplicaciones en la construcción. [a9]

- c) Hay que considerar que las pérdidas térmicas de la unidad de almacenamiento dependen de la diferencia de temperaturas entre el medio de almacenamiento y el ambiente; la transferencia total de energía es también función de su tiempo de almacenamiento. [9]

Tabla 5: Calor específico y densidad para medios de almacenamiento de energía. [9]

Material	Cp (kJ/kg°C)	Densidad (Kg/m ³)
Agua (liquida)	4,19	1 000
(hielo)	2,2	
Piedras	0,84	2 500 a 3 500
Ferralla (Viruta de hierro)	0,5	7 860
SO ₄ Na ₂ x 10H ₂ O (solución)		1 460
SO ₄ Na ₂	0,92	2 700
CO ₃ Ca	0,96	2 900
Al ₂ O ₃	1	4 000
Hormigón	1,13	2 240
Ladrillos	0,84	2 240

Si se considera el almacenamiento de energía durante períodos largos, las pérdidas térmicas pueden ser importantes, llegándose a la conclusión de que para calefacción de casas, el almacenamiento durante largos

períodos parece no ser muy viable económicamente. Hay que recalcar que en algunas operaciones, sobre todo en calefacción de viviendas, la unidad de almacenamiento se puede situar dentro del espacio al cual va a aplicarse calor; en estas condiciones, las pérdidas de la unidad al ambiente no se pueden considerar como tales, ya que se trata de una transferencia de energía incontrolada desde el almacenamiento al espacio a calentar. [19]

2.5.6.- Métodos alternativos de almacenamiento.

Se pueden considerar otras formas de almacenamiento de energía para aplicaciones específicas, como:

a) La conversión de energía mecánica en potencial y recobrar la energía potencial cuando se desee; de esta forma se tiene un almacenamiento energético para sistemas mecánicos. [19]

b) Se pueden concebir procesos en los que la radiación solar produzca una descomposición fotoquímica; un ejemplo de esto es la composición fotoquímica del, NOCl, de la forma:



Pudiéndose llevar a cabo la reacción inversa para recobrar la energía de los fotones que entran en la reacción. [9]

c) Los productos que generan energía eléctrica a partir de energía química, la pueden almacenar en baterías eléctricas; incluyen baterías de plomo, níquel-hierro y níquel-cadmio. [9]

2.6.- Cartas psicrométricas

Una carta psicrométrica, es una gráfica de las propiedades del aire, tales como temperatura, hr, volumen, presión, etc. Las cartas psicrométricas se utilizan para determinar, cómo varían estas propiedades al cambiar la humedad en el aire. [25]

Las propiedades psicrométricas del aire que se describen, han sido recopiladas a través de incontables experimentos de laboratorio y de cálculos matemáticos, y son la base para lo que conocemos como la Carta Psicrométrica. [25]

Conociendo dos de cualquiera de estas propiedades del aire, las otras pueden determinarse a partir de la carta.

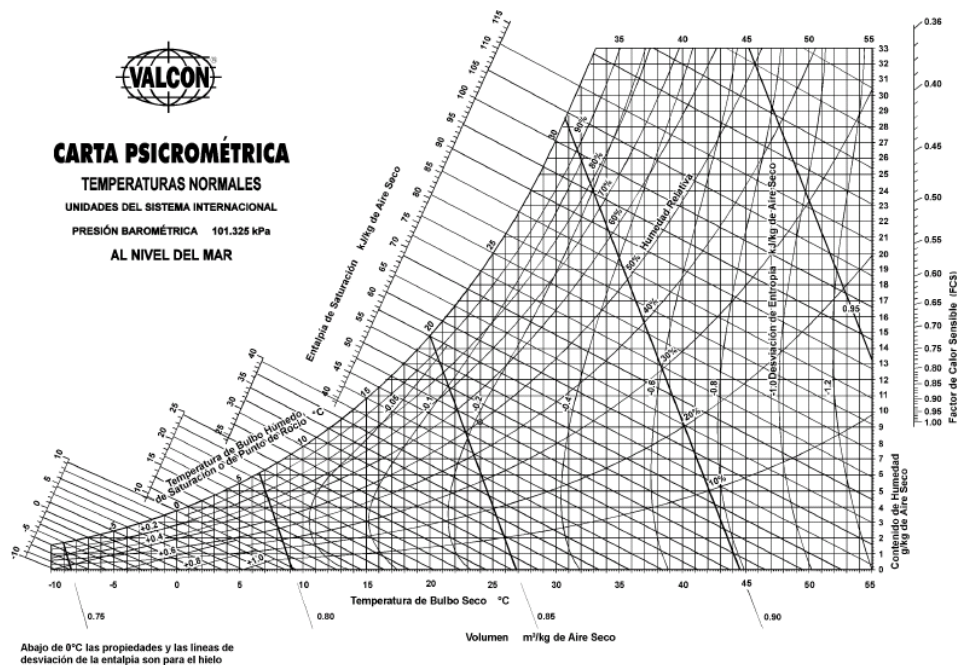


Figura 13: Carta psicrométrica a temperaturas normales y presión barométrica de 101.325 kPa (al nivel del mar). [25]

2.6.1.- Temperatura de Bulbo Seco.- En primer término, tenemos la temperatura de bulbo seco, es la temperatura medida con un termómetro ordinario. [25]

Esta escala es la horizontal (abscisa), en la parte baja de la carta, según se muestra en la **(Figura 13)**.

2.6.2.- Humedad Relativa.- En una carta psicrométrica completa, las líneas de humedad relativa constante, son las líneas curvas que se extienden hacia arriba y hacia la derecha. Se expresan siempre en por ciento, y este valor se indica sobre cada línea.

Puesto que la única condición donde la temperatura de bulbo húmedo y el punto de rocío, son la misma, es en condiciones de saturación; esta línea curva exterior, representa una condición de saturación o del 100% de humedad relativa.

Las líneas de *hr* constante, disminuyen en valor al alejarse de la línea de saturación hacia abajo y hacia la derecha, como se ilustra en la **(Figura 13)**. [25]

2.6.3.- Entalpía.- Las líneas de entalpía constantes en una carta psicrométrica, son las que se muestran en la **(Figura 13)**. Debe notarse que estas líneas, son meramente extensiones de las líneas de bulbo húmedo; puesto que el calor total del aire, depende de la temperatura de bulbo húmedo. La escala del lado izquierdo lejana a la línea curva, da el calor total del aire en kJ/kg (kilojoules por kilogramo) de aire seco, en el sistema internacional. [25]

2.7.- Sauna solar seco

Sauna solar seco (SSS), es un sistema que calienta el aire en el interior y la caja metálica, de un sistema aislado térmicamente.

El esquema general de la SSS, lo presenta la **(Figura 14)**.

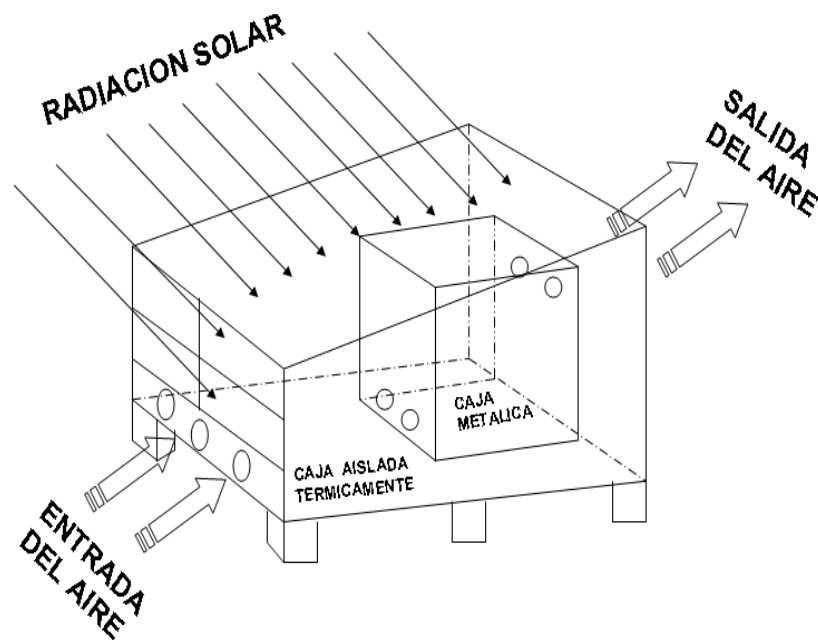


Figura 14: Esquema general de la SSS.

Fuente: Archivo propio. (2012)

2.7.1.-Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento general de la SSS está basado en el **Efecto Invernadero**, este efecto permite aumentar el calor dentro de la SSS. Es el resultado del calor en espacios cerrados en los que el sol incide a través de un material

transparente como el cristal o el plástico. La luz visible pasa fácilmente a través del vidrio y es absorbida y reflejada por la caja metálica que estén en el espacio cerrado. La energía de la luz que es absorbida por la caja metálica se convierte en energía calorífica, la cual tiene una mayor longitud de onda. La mayoría de esta energía radiante, a causa de esta mayor longitud de onda, no puede atravesar el cristal y por consiguiente es atrapada en el interior del espacio cerrado. La luz reflejada, o se absorbe por los otros materiales en el espacio o atraviesa el cristal si no cambia su longitud de onda

La idea fundamental del sistema puede ser resumida como sigue:

El calor acumulado en la caja metálica el cual establece que el aire al calentarse sufre un desplazamiento vertical hacia arriba como resultado de la disminución de su densidad con el aumento de la temperatura. Esto provoca, que el aire contenido en un depósito se encuentre estratificado, ocupando las posiciones más altas, las de mayor energía o temperatura.

- Cuando la densidad y el peso de los materiales dentro del armazón aislado de la SSS aumenta, la capacidad de la caja de mantener el calor se incrementa.
- Siendo todo igual, cuanto más grande sea el área de absorción solar de la caja en relación al área de pérdida de calor de la misma, tanta más alta será la temperatura interna de la caja metálica.

- Los cuerpos, al incidir sobre ellos una radiación y dependiendo de sus características superficiales, absorben una parte de la radiación y reflejan el resto. El color que absorbe más luz y energía radiante que incide sobre él, es el color negro. De forma idealista, un cuerpo que no absorbe nada de radiación es un espejo perfecto (o vacío perfecto), y un cuerpo que absorbe toda la radiación es un cuerpo negro perfecto. Y de forma realista los cuerpos que absorben menos radiación son superficies especulares y los que absorben mayor radiación son superficies de color negro mate.

Este proceso se repite una y otra vez aumentando la temperatura del aire y el metal progresivamente, por **efecto invernadero** en el sistema.

En resumen, el funcionamiento de la SSS, queda sintetizado, así:

- Absorción de la radiación solar y su transformación en energía térmica
- Incremento progresivo de la temperatura.

Las componentes de la sauna solar, tal como lo muestra la (**Figura 15**), son la caja aislada térmicamente y la caja metálica.

2.7.2.- La caja aislada térmicamente

La caja, aislada térmicamente, es un subsistema de la SSS, el cual recibe la energía solar, minimizando las pérdidas de calor al exterior y la transfiere el calor a un fluido (aire), calentándolo progresivamente.

Se caracteriza, a diferencia de los demás colectores, por absorber la radiación directa, difusa y reflejada, además de almacenar el calor con respecto el tiempo y no tener la necesidad de seguir el movimiento del sol, permanece en posición fija, la superficie cubierta orientada hacia el norte.

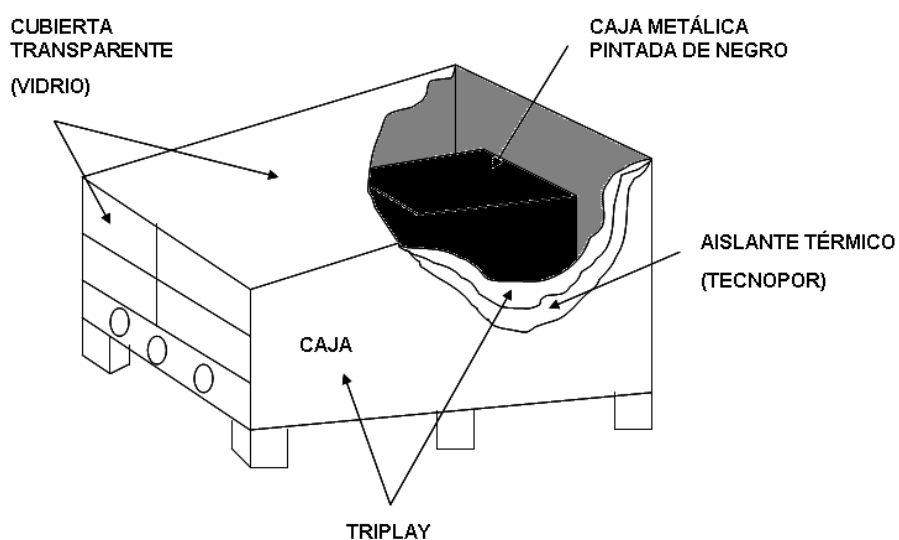


Figura 15: Esquema y partes de una SSS.

Fuente: Archivo propio. (2012)

En la (**Figura 15**). Se muestra el esquema de la caja aislada térmicamente que se construyó.

2.7.2.a.- Principio de funcionamiento

El funcionamiento de la caja aislada térmicamente, está determinado por el **efecto invernadero**, el cual establece que cuando un recinto cerrado es expuesto a la radiación solar, la temperatura en su interior se elevará significativamente, si las propiedades de transmisión, reflexión y absorción de sus paredes, son adecuadas.

Para el caso de la SSS, el recinto cerrado y expuesto al sol, es precisamente la caja aislada térmicamente (**Figura 16**), cuya cubierta de vidrio deja pasar fácilmente casi toda la radiación solar incidente de longitud de onda corta, pero es totalmente reflector para la radiación larga emitida por el absorbedor, que al elevar su temperatura, emite radiación en la zona del infrarrojo. De este modo el calor radiante del sol queda “**atrapado**” en la caja aislada térmicamente y las paredes del vidrio.

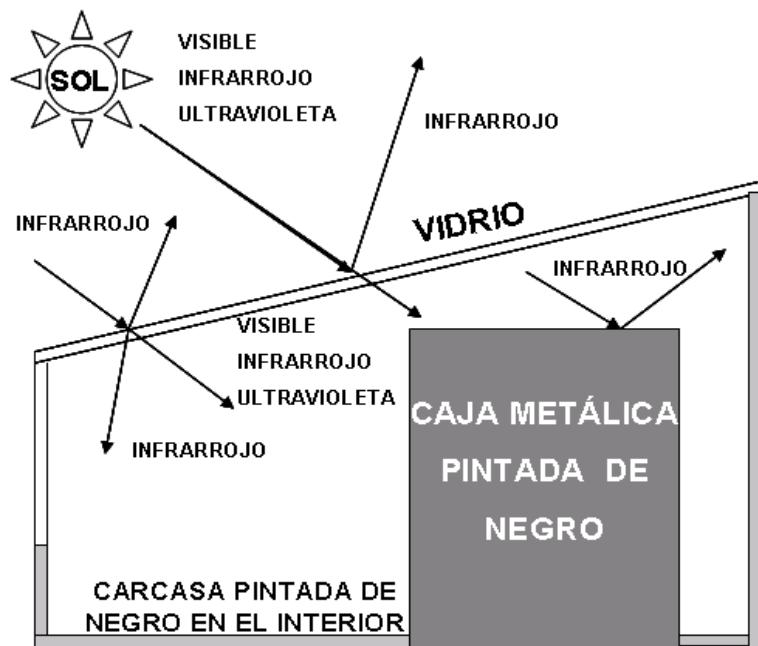


Figura 16: Esquema del efecto invernadero en la caja aislada térmicamente.

Fuente: Archivo propio. (2012)

2.7.2.b.-Las partes y su descripción

Las partes más importantes de la caja aislada térmicamente, tal como lo muestra la (**Figura 17**), son las siguientes:

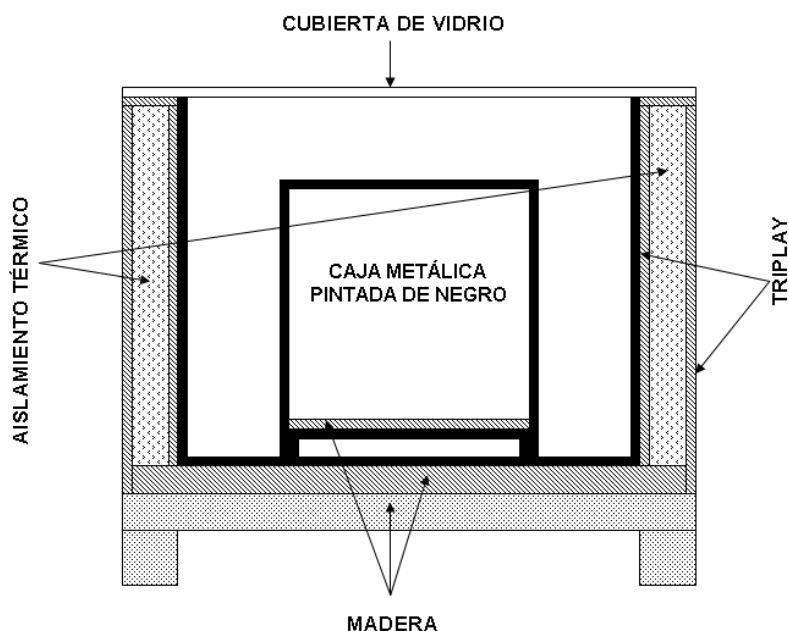


Figura 17: Vista de un corte frontal de la SSS y sus partes.

Fuente: Archivo propio. (2012)

- La cubierta transparente.
- Los absorbedores (caja metálica, paredes laterales y piso).
- El aislante.
- La caja.

Para construir una caja aislada térmicamente eficiente y de calidad, es necesario conocer las dimensiones y características técnicas más adecuadas de cada una de sus partes, razón por la cual es necesario estudiar cada una de las partes mencionadas.

a) La cubierta transparente

La cubierta transparente es la lámina que se coloca como techo de la caja aislada térmicamente.

Las funciones de la cubierta, son:

- Producir el efecto invernadero.
- Permitir el paso de la radiación solar.
- Reducir las pérdidas de calor por convección y radiación.

Para que la cubierta sea capaz de cumplir con sus funciones antes mencionadas, debe de tener las siguientes características:

- Alto coeficiente de transmisión de la radiación solar (de 0,3 a 3 μm de longitud de onda).
- Bajo coeficiente de transmisión para las ondas largas, superiores a 3 μm , emitidas por el absorbedor.
- Alto coeficiente de reflexión para la longitud de onda larga de la radiación emitida por la absorbedor, a fin de que ésta retorne al absorbedor.
- Bajo conductividad térmica, que dificulte el paso de calor desde la superficie interior hacia la exterior, minimizando así las pérdidas.

- Bajo coeficiente de dilatación, para evitar su deformación y/o ruptura, ya que la cara interior de la cubierta estará ligeramente más caliente que la exterior.

La sauna solar seco tiene una cubierta transparente de **vidrio común**.

b) Superficies absorbentes

Las superficies absorbentes son la caja metálica colocado en el interior de la caja aislada térmicamente, las paredes laterales y el piso en el interior de la caja aislada térmicamente, pintados de negro mate.

Las funciones del absorbedor, son:

- Transformar la energía solar en calor.
- Transferir el calor absorbido al aire, por donde circula el aire por convección.

Para que el absorbedor pueda cumplir con sus funciones, debe de reunir las siguientes-características:

- Alto coeficiente de absorción.
- Bajo coeficiente de emisión.
- Buena conductividad térmica.

b.1. Caja metálica

Para conseguir estas características, es necesario que la caja absorbente sea metálica y esté pintada de color negro mate.

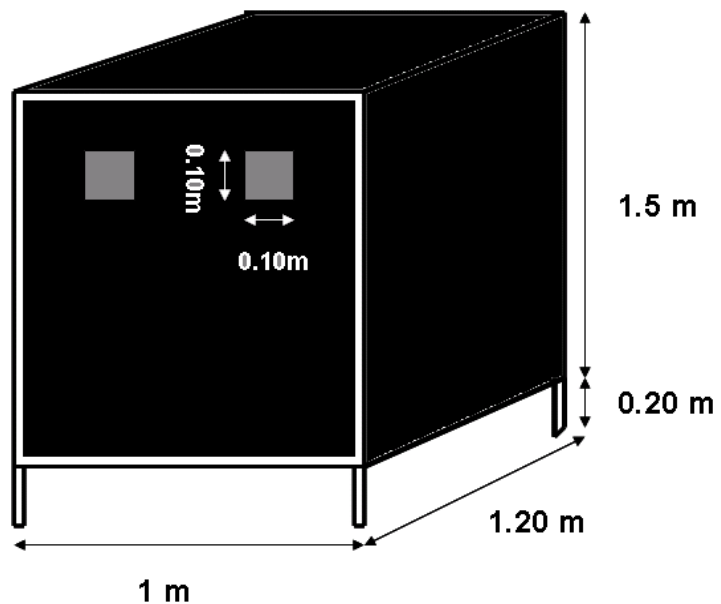


Figura 18: Caja absorbente.

Fuente: Archivo propio. (2012)

b.2.- Paredes laterales y piso en el interior de la caja aislada térmicamente

Para alcanzar estas características de alto coeficiente de absorción para la radiación visible y un bajo coeficiente de emitancia para las radiaciones de onda larga (infrarrojo) se consigue pintando de color negro mate en las

paredes laterales de triplay de 4 mm que empalma el tecnopor, y el piso de triplay de 18 mm, de la caja aislada térmicamente.

c) **El aislante**

Es el material encargado de reducir al máximo las pérdidas de calor por conducción de toda la caja aislada.

Las características de estos aislantes han de ser:

- Muy baja conductividad térmica.
- Resistir altas temperaturas sin deteriorarse.
- Desprender pocos vapores al descomponerse por el calor y en caso de ocurrir que no se adhieran a la cubierta.
- No degradarse por el envejecimiento u otro fenómeno a la temperatura habitual de trabajo.
- Soportar la humedad que se pueda producir en el interior de la SSS, sin perder sus cualidades.

En este trabajo se ha utilizado la **poliestireno expandido (tecnopor)**, por ser más económica.

El poliestireno expandido es un excelente material aislante que se distingue por su ligereza, resistencia a la humedad y capacidad de absorción de los impactos, sus buenas

propiedades térmicas y su costo relativamente bajo con respecto a los demás aislantes.

El poliestireno expandido de (0.025 – 0.045) W/mK de conductividad térmica, mantiene sus dimensiones y su estabilidad incluso bajo temperaturas extremas, habitualmente entre -30 y +80 °C y en una atmósfera húmeda alternante; las cuales son las condiciones suficientes para poder trabajar como aislante en la SSS. [5]

Las propiedades del poliestireno expandido, son:

- Aplicación posible en un elevado margen de temperaturas.
- Peso reducido.
- Transformación simple y económica.
- Propiedades mecánicas elevadas.
- Óptima resistencia al envejecimiento.
- Estabilidad química y biológica.
- Posibilidad de ajustar la resistencia a la compresión y a la flexión.
- No se pudre, no se enmohece ni se descompone. [5]

d) La caja (Carcasa)

La carcasa es la encargada de proteger y soportar los demás elementos del baño sauna solar.

Las características principales que la caja debe reunir, son:

- Rigidez y resistencia estructural que asegure la estabilidad de la sauna solar.
- Resistencia a la intemperie. A los efectos corrosivos de la atmósfera y a la inestabilidad química debido a las inclemencias del tiempo.
- Evitar toda geometría que permita la acumulación de agua, hielo o nieve en el exterior del colector.
- Baja conductividad térmica, para ayudar al aislante a reducir la pérdida de calor.

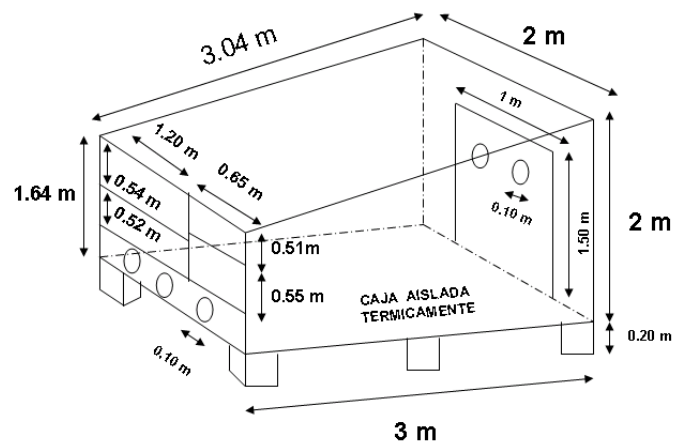


Figura 19: Caja aislada térmicamente.

Fuente: Archivo propio. (2012)

Los materiales que reúnen estas características, son el triplay y la madera, son utilizados por ser más accesibles y económicos en el mercado.

2.7.2.c.-Orientación e inclinación de la SSS

a) Orientación

El trayecto del sol es de este a oeste, como se puede ver en la (**Figura 20**); dado que nuestro país está ubicado en el hemisferio sur, que es necesario orientar la superficie del baño sauna solar hacia el norte, para su máximo aprovechamiento de la energía solar incidente.

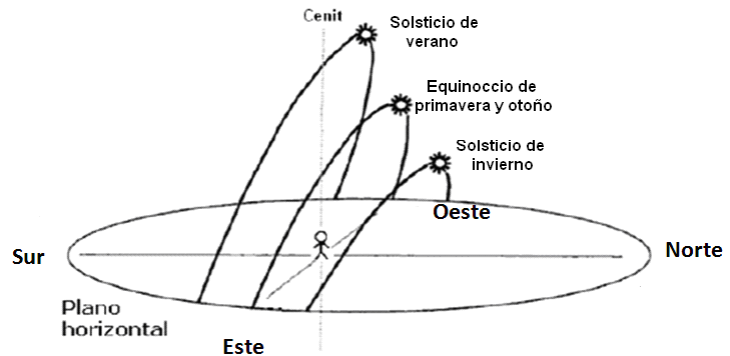


Figura 20: Trayectoria solar diaria, en el hemisferio sur. [9]

Si por consideraciones propias del lugar donde se va a hacer la instalación o por cualquier otra, no es posible instalar el sauna solar directamente mirando hacia el norte, se puede variar la orientación en $\pm 15^\circ$.

b) *Inclinación*

Al ver los esquemas **A)**, **B)** y **C)** de la (Figura 21); se observa que $G_2 > G_3 > G_1$, lo que demuestra que la captación de la radiación solar, es máxima, cuando los rayos del sol inciden perpendicularmente sobre el plano del baño de sauna solar.

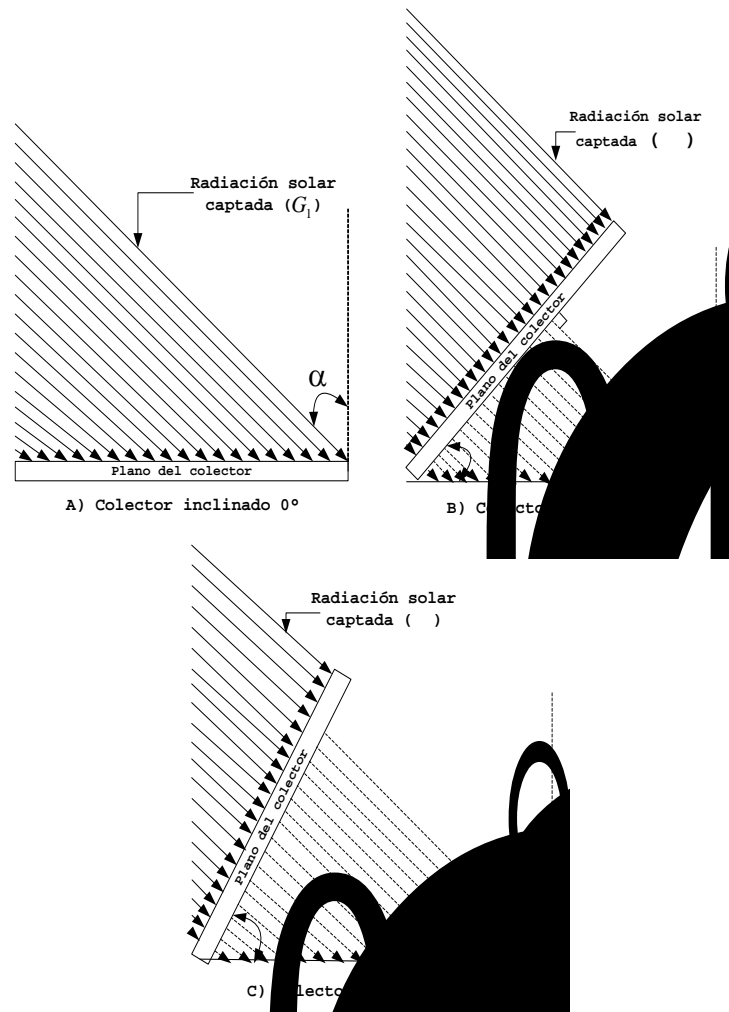


Figura 21: Efecto de la inclinación del plano de la SSS. [6]

Para optimizar en funcionamiento de la SSS, es necesario orientarlo hacia el norte, inclinar el área de colección un ángulo adecuado sobre la horizontal local, que haga aprovechar al máximo la radiación solar, durante el día.

Se ha encontrado experimentalmente y teóricamente que el ángulo de inclinación óptimo, para maximizar la energía recibida por el plano inclinado durante todo el año, es igual a la latitud del lugar donde se desea colocar el baño de sauna solar. Además, si por efectos de estética u otros, no es posible colocar el plano a esta inclinación, es posible aún cambiar el ángulo de inclinación sin cambiar mucho la ganancia de energía, en $\pm 10^\circ$.

Considerando que el área de experimentación en el Centro de Energías Renovables de Tacna (CERT) de la UNJBG está a una latitud de 18° aproximadamente, se ha colocado el plano a un ángulo de inclinación de 8° , por razones constructivas.

2.7.2.d.- Balance energético

El balance energético nos permite encontrar la distribución de energía solar incidente sobre la SSS, su transformación en energía útil y las pérdidas térmicas. Para un intervalo de tiempo dt , el **principio**

de conservación de la energía aplicado a una sauna, establece que:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Energía} \\ \text{Incidente} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Energía} \\ \text{útil} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Energía} \\ \text{almacenada} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Energía} \\ \text{perdida} \end{array} \right\} \quad (28)$$

$$Q_{abs} dt = Q_u dt + Q_p dt + dE$$

$$Q_{abs} = Q_u + Q_p + \frac{dE}{dt}$$

- **Energía incidente:** Es la energía solar incidente.
- **Energía útil:** Es la energía calorífica de aire en el interior de la caja metálica.
- **Energía almacenada:** Energía absorbida por el acumulador térmico, la caja metálica más la energía absorbida por las paredes laterales y piso del interior de la caja aislada térmicamente.
- **Energía perdida:** Energía perdida por conducción, convección y radiación.

Dado que la mayor parte del tiempo, la SSS tiende a trabajar en régimen cuasiestacionario, la energía almacenada en la SSS, se expresa en la Ec.(2):

$$Q_{abs} = Q_u + Q_p + \frac{dE}{dt} \quad (29)$$

La Ec.(29), nos permitirá determinar la eficiencia instantánea de la SSS, definida en la Ec.(30):

$$\eta = \frac{\text{Energía útil}}{\text{Energía incidente}}$$

$$\eta = \frac{Q_u}{G \cdot A} \quad (30)$$

Luego, la Ec.(30) nos la media diaria de la SSS durante un periodo $\tau = \sum \Delta t_i$ permitirá encontrar,

$$\text{como sigue: } \eta_d = \frac{\sum_i Q_{u,i} \cdot \Delta t_i}{A \sum_i G_i \cdot \Delta t_i} \quad (31)$$

Sin embargo, para la evaluación SSS, se tomará lecturas de las variables de interés durante intervalos fijos de tiempo $\Delta t=10$ minutos, para todas las tomas de lectura, por lo que la Ec.(31), se reduce a la Ec.(32).

$$\eta_d = \frac{\sum_i Q_{u,i}}{A \sum_i G_i} = \frac{\sum_i G_i \eta_i}{\sum_i G_i} \quad (32)$$

Donde, para obtener la segunda igualdad, se a utilizado la Ec.(30).

Para desarrollar más explícitamente la Ec.(29), es conveniente introducir el concepto de eficiencia óptica de la SSS, η_0 , la cual representa una medida concreta de todas las propiedades ópticas de los materiales de la SSS, por lo cual puede y debe estar definida como sigue:

$$\eta_0 = \frac{Q_{abs}}{G \cdot A} \quad (33)$$

Además, dado que la energía útil y la energía perdida, dependen de los procesos térmicos de conducción, convección y radiación; que se producen en la SSS y, como cualquiera de estos procesos está determinado por la Ec.(34): [6]

$$Q_{ij} = AU_{ij} [T_i - T_j] \quad ; \quad T_i > T_j \quad (34)$$

Entonces, la potencia perdida por la placa absorbente al ambiente, es:

$$Q_p = AU_p [T_p - T_a] \quad (35)$$

Donde el coeficiente global de pérdidas de calor, U_p , para propósitos prácticos como éste, puede ser considerado como una constante. Del mismo modo la potencia útil extraída por la caja absorbente, es:

$$Q_u = AU_u [T_p - \bar{T}] \quad (36)$$

Donde el coeficiente global de ganancia de calor, U_u , también para fines prácticos puede ser considerado como una constante.

Despejando T_p de la Ec.(36) y reemplazando su valor en la Ec.(35), nos queda:

$$Q_p = AU_p [\bar{T} - T_a] + \frac{U_p}{U_u} Q_u \quad (37)$$

Reemplazando las Ecs.(37) y (33), en la Ec.(29) y despejando Q_u , nos queda:

$$\begin{aligned}
Q_u &= Q_{abs} - Q_p - \frac{dE}{dt} \\
Q_u &= \eta_0 \cdot A \cdot G - [A \cdot U_p \cdot (\bar{T} - T_a) + \frac{U_p}{U_u} \cdot Q_u] - m \cdot c \cdot \frac{dT}{dt} \\
Q_u &= \eta_0 \cdot A \cdot G - A \cdot U_p \cdot (\bar{T} - T_a) - \frac{U_p}{U_u} \cdot Q_u - m \cdot c \cdot \frac{dT}{dt} \\
Q_u + Q_u \cdot \frac{U_p}{U_u} &= \eta_0 \cdot A \cdot G - A \cdot U_p \cdot (\bar{T} - T_a) - m \cdot c \cdot \frac{dT}{dt} \quad (38) \\
Q_u \left(1 + \frac{U_p}{U_u}\right) &= \eta_0 \cdot A \cdot G - A \cdot U_p \cdot (\bar{T} - T_a) - m \cdot c \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}
\end{aligned}$$

Donde F , es el factor de eficiencia del absorbedor, definido por:

$$F = \left[1 + U_p / U_u\right]^{-1} \quad (39)$$

$$Q_u = F \cdot A \cdot G \left[\eta_0 - \frac{U_p}{G} (\bar{T} - T_a) - \frac{m \cdot c \cdot T'}{A \cdot G \cdot \Delta t} \right] \quad (40)$$

Finalmente, sustituyendo la Ec.(40) en la Ec.(30) y en donde Δt = intervalo de tiempo constante, nos queda:

$$\eta = F \left[\eta_0 - \frac{U_p}{G} (\bar{T} - T_a) - \frac{m \cdot c \cdot (T_{acum} - T_A)}{A \cdot G \cdot \Delta t} \right] \quad (41)$$

$$\eta = F \cdot \eta_0 - F \cdot U_p \frac{(\bar{T} - T_a)}{G} - \frac{F \cdot m \cdot c}{A \cdot \Delta t} \left(\frac{T_{acum} - T_A}{G} \right) \quad (42)$$

Esto es:

$$\eta = a - bx - cy$$

La cual podemos llamarle la **ecuación fundamental de la SSS**.

Donde:

$$\left. \begin{aligned}
 a &= F \cdot \eta_0 \\
 b &= F \cdot U_p \\
 c &= \frac{F \cdot m \cdot c}{A \cdot \Delta t} \\
 x &= \frac{\bar{T} - T_a}{G} \\
 y &= \frac{T_{acum} - T_A}{G}
 \end{aligned} \right\} \quad (43)$$

Otra manera de medir la potencia útil extraída por la caja metálica de la SSS, es mediante la calorimetría, la cual se estudia en cursos de física elemental y nos dice que:

$$Q_u = m \cdot c \cdot (\bar{T} - T_{amb}) / \Delta t \quad (44)$$

Ahora, de la Ec.(3), tenemos que para una medida instantánea, se cumple:

$$\eta_i = \frac{m \cdot c \cdot (\bar{T} - T_{amb})}{\Delta t \cdot A \cdot G_i} \quad (45)$$

Lo cual soluciona el problema de hallar las eficiencias instantáneas η_i ¹.

¹ Para una demostración más rigurosa, vea el anexo N° 1.

CAPÍTULO III
MATERIALES, INSTRUMENTACIÓN Y MÉTODOS

3.1.- Materiales

Para la optimización de la SSS con sus acumuladores térmicos, se ha utilizado básicamente los siguientes materiales (las especificaciones técnicas de cada uno de los materiales a mencionar están presentados en las tablas del capítulo anterior).

- 06 metros de madera de 1 pulg X ½ pulg.
- 01 planchas de triplay de 4 mm de espesor.
- 02 planchas de vidrio de 1,5 mm de espesor.
- 03 kg de clavos de 2 1/2 pulg y 1 pulg .
- Pintura color negro mate.
- Pintura de color blanco.
- 02 brochas.
- Pegamento de madera.
- 619 kg de piedras de río.
- 214 litros de agua.
- 84 botellas descartables
- Herramientas de carpintería.
- Herramientas de mecánica.
- Material auxiliar.

3.2.- Instrumentos

Para la evaluación de la SSS construida se ha utilizado los siguientes instrumentos:

- 01 Piranómetro Moll – Gorchynsky de la Kipp and Zonen, de sensibilidad espectral comprendido 0,3 y 3 mm, con un tiempo de respuesta de 5 segundos y una constante de calibración de $10,35 \times 10^{-3} \text{ mV /Wm}^2$.

- 08 termócuplas de Cromel – Aluminel, como sensores de temperatura, ubicadas en diferentes partes de la sauna solar.
- 01 higrómetro digital Vaisala HM 34.
- 01 sistema de adquisición de datos marca squirrel SQ 1200 series.
- 01 HOBO Weather Station H21-001.
- 01 cronómetro digital.

3.3.- Metodología

3.3.1.- Optimización de la sauna solar seco

3.3.1.a.- Proceso de construcción y optimización de la SSS.

El proceso de construcción y optimización de la SSS, está completamente especificado en la (Figura 22).

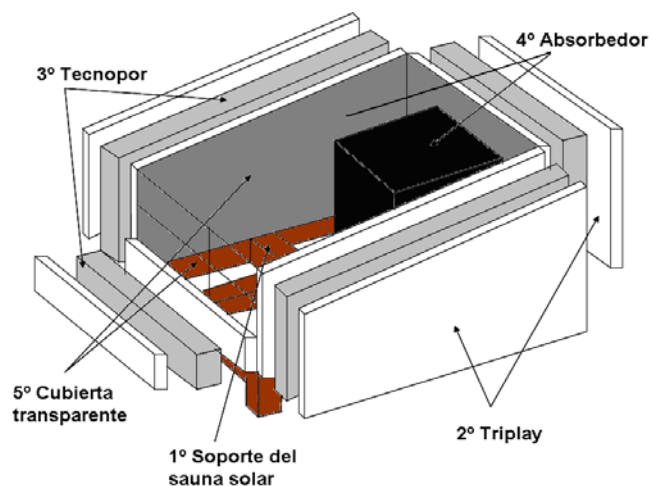


Figura 22: Proceso de construcción y optimización de las partes de la SSS.

Fuente: Archivo propio. (2012)

En las **Figuras 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29 y 30** muestran algunos de los trabajos realizados por el investigador, para optimizar la SSS.



Figura 23: Ensamblaje de las paredes.

Fuente: Archivo propio. (2012)

El ensamblaje se realizó martillando clavos en las esquinas y en la parte inferior de las paredes como se ve las **Figuras 23 y 24**.



Figura 24: Vista general de caja aislada térmicamente.

Fuente: Archivo propio. 2012



Figura 25: Colocado de la cubierta transparente.
Fuente: Archivo propio. (2012)



Figura 26: Acabado final de la SSS.
Fuente: Archivo propio. (2012)



Figura 27: Incremento del área de recepción de la SSS.

Fuente: Archivo propio. (2012)



Figura 28: Vista lateral de las aberturas en las paredes de la SSS.

Fuente: Archivo propio. (2012)



Figura 29: Vista frontal del acabado de la SSS.

Fuente: Archivo propio. (2012)



Figura 30: Vista posterior del acabado final de la SSS.

Fuente: Archivo propio. (2012)

3.3.2.- Evaluación de la sauna solar seco

3.3.2.a.- Medición de la radiación solar

La medida de la radiación solar, se realizó colocando el solarímetro en una esquina y sobre el plano inclinado de la SSS, tal como se muestra en la **(Figura 31)**.



Figura 31: Medida de la radiación solar.

Fuente: Archivo propio. (2011)

Las lecturas registradas con el Data logger, están dadas en milivoltios (mV), pero; dado que la constante de calibración del solarímetro utilizado es de $10,35 \times 10^{-3} \text{ mV} / \text{Wm}^2$, entonces para obtener las medidas que deseamos en W/m^2 , basta con dividir cada una de las lecturas registradas por el Data logger por esta constante. Las medidas experimentales de la

radiación solar, serán publicadas en el próximo capítulo.

3.3.2.b.- Medición de la temperatura interna de la SSS.

La temperatura interna se registro con el data logger en 6 puntos, tal como se muestra en la (Figura 32).



Figura 32: Medida de la temperatura interna de la SSS.

Fuente: Archivos propios. (2012)



Figura 33: Data logger.

Fuente: Archivo propio. (2012)

Para las lecturas registradas por el Data logger cada 10 minutos se utilizaron termocuplas tipo K, datos que son medidos en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

3.3.2.c.- Medición de la humedad relativa de la SSS.

La medida de la humedad relativa se realiza colocando el higrómetro en el interior de la caja metálica y en la caja aislada térmicamente, tal como se muestra en la **(Figura 34)**, las lecturas medidas con higrómetro están dadas en (%). Las medidas experimentales de la humedad relativa, serán publicadas en el próximo capítulo.



Figura 34: Medida de la humedad relativa.

Fuente: Archivo propio. (2012)



Figura 35: Medida de la humedad relativa en el interior de la caja metálica utilizando el sensor de humedad de la estación HOBO por ser inaccesible para el higrómetro HM-34 y la medida de la velocidad del viento con anemómetro de la estación HOBO a 10 cm. sobre la superficie inclinada.

Fuente: Archivo propio. (2012)

3.3.3.- Costo de optimización de la SSS.

Antes de presentar y analizar los datos obtenidos durante las evaluaciones al SSS construida con tres tipos de acumuladores térmicos, es conveniente tener en mente los costos de la optimización del prototipo, tal como lo demuestra la **(Tabla 7)**.

Tabla 7: Materiales y costos empleados en la SSS.

BIENES Y SERVICIOS	COSTOS (S/.)
Material bibliográfico	200
Materiales para la optimización de la caja aislada térmicamente	
06 metros de madera de 1 pulg X ½ pulg.	48,00
01 planchas de triplay de 4 mm de espesor.	28,00
02 plancha de vidrio de 1,5 mm de espesor.	56,00
Pintura color negro mate.	35,00
Pintura de color blanco.	35,00
03 kg de clavos de 2 1/2 pulg y 1 pulg.	32,00
02 brochas.	5,00
Pegamento de madera.	10,00
Total	249
Acumuladores térmicos	
619 kg de piedras de río.	10,00
214 litros de agua.	10,00
84 botellas descartables.	13,00
Total	33
Otros Servicios	
Carpintería.	100,00
Vidriería.	100,00
Pegamentos especiales.	40,00
Otros gastos.	100,00
Total General	822

Fuente: Archivo propio. (2012)

CAPÍTULO IV
DATOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.- Datos experimentales obtenidos en la SSS sin acumulador térmico.



Figura 36: SSS sin acumulador térmico.

Fuente: Archivo propio. (2012)



Figura 37: Proceso de enfriamiento en la SSS sin acumulador térmico.

Fuente: Archivo propio. (2012)

Tabla 7: Datos experimentales del proceso de calentamiento.

Hora	Ta(°C)	Tb(°C)	Tc(°C)	Td(°C)	Te(°C)	Tf(°C)	Tamb(°C)	V(m/s)
8:00	27,900	24,605	22,700	26,300	24,900	24,300	21,900	0,74
8:10	29,100	25,283	23,300	30,500	25,800	24,800	21,900	0,74
8:20	32,500	26,280	23,800	34,200	27,400	25,100	22,100	0,74
8:30	43,500	28,518	24,500	37,900	31,200	26,300	22,400	0,74
8:40	54,000	32,381	25,800	41,500	38,800	28,500	22,400	1,11
8:50	59,600	36,933	27,800	44,800	43,900	31,300	22,400	0,74
9:00	65,200	41,414	30,300	48,600	48,500	35,000	22,900	0,74
9:10	68,600	45,972	33,300	51,400	51,300	38,300	23,000	0,74
9:20	66,500	48,537	36,000	51,600	51,300	40,300	22,800	0,74
9:30	73,000	50,752	38,300	54,700	55,400	45,800	23,100	0,74
9:40	77,300	54,489	40,900	58,000	58,700	52,000	23,400	0,93
9:50	78,400	57,908	43,500	59,400	60,100	54,100	23,700	0,74
10:00	79,700	59,577	45,600	61,100	62,400	56,100	23,900	0,93
10:10	83,600	62,532	47,800	63,500	65,100	58,300	24,200	1,3
10:20	85,600	65,326	50,100	64,500	67,100	60,900	24,400	1,67
10:30	86,700	67,443	52,300	65,200	68,000	62,400	24,300	1,11
10:40	87,700	69,028	54,400	66,100	69,100	64,500	24,400	0,93
10:50	88,500	70,570	56,400	66,800	70,200	66,600	24,700	1,67
11:00	88,900	71,769	58,100	67,700	70,800	68,400	24,800	1,3
11:10	89,400	72,590	59,600	68,600	71,400	69,300	25,000	1,3
11:20	90,000	73,248	61,100	70,000	71,400	69,300	25,300	1,11
11:30	90,500	73,795	62,400	70,700	71,500	69,900	25,600	1,11
11:40	90,800	74,288	63,300	70,800	71,800	69,700	25,900	1,3
11:50	90,800	74,537	64,000	71,100	71,700	69,900	25,900	1,48
12:00	90,900	74,599	64,400	70,900	71,500	70,000	26,000	1,11
12:10	91,200	74,788	64,700	70,800	71,800	70,400	25,900	1,67
12:20	91,400	75,167	64,800	70,600	72,100	70,400	26,000	1,3
12:30	91,600	75,678	64,900	71,400	72,400	70,600	26,200	2,04
12:40	91,600	76,132	65,100	71,600	72,800	71,000	26,100	1,86
12:50	91,600	76,460	65,200	71,400	72,900	71,100	25,900	2,04
13:00	91,800	76,724	65,200	71,000	72,900	71,400	25,800	2,6
13:10	91,600	76,856	65,200	70,200	73,100	70,900	25,600	2,04
13:20	91,600	76,856	64,800	69,800	73,100	70,800	25,700	1,86
13:30	91,800	77,123	64,500	69,600	73,100	69,700	25,900	1,67
13:40	92,300	77,325	64,200	70,500	73,100	68,500	25,900	1,67
13:50	93,300	77,460	64,000	73,400	73,900	68,300	25,700	1,67
14:00	89,700	76,990	63,700	70,500	71,700	67,200	25,400	1,86
14:10	82,000	74,350	62,800	64,600	67,000	63,700	25,300	1,67
14:20	74,600	70,235	61,100	59,600	61,900	59,700	24,800	1,48
14:30	72,900	66,928	59,000	57,900	59,700	57,400	24,900	1,48
14:40	69,200	64,405	57,200	55,300	57,000	55,100	24,700	1,3
14:50	63,300	61,094	55,200	51,300	53,200	51,800	24,600	1,67
15:00	58,200	57,501	53,000	47,800	49,600	48,500	24,300	1,67
15:10	54,400	54,112	50,500	45,200	46,800	45,500	24,100	1,3

15:20	56,500	51,952	48,300	46,000	46,600	44,500	24,300	1,3
15:30	59,800	51,383	46,900	48,100	47,900	45,100	24,200	1,48
15:40	62,300	51,631	45,900	49,800	49,500	45,700	24,300	1,48
15:50	59,800	51,560	45,400	48,400	48,300	45,600	24,100	1,3
16:00	55,600	50,370	44,700	45,700	46,100	44,400	23,900	1,3
16:10	52,900	48,804	43,900	43,800	44,300	43,100	24,100	1,3
16:20	50,900	47,320	43,100	42,300	43,000	41,800	23,700	1,11
16:30	49,300	45,908	42,100	41,200	41,800	40,700	23,700	1,48
16:40	48,100	44,688	41,100	40,300	40,900	39,800	23,700	1,48
16:50	47,000	43,647	40,300	39,400	40,200	39,100	23,600	1,3
17:00	44,900	42,475	39,500	37,900	38,800	37,900	23,300	1,48
17:10	42,800	41,152	38,600	36,200	37,400	36,600	23,000	1,48
17:20	39,800	39,658	37,600	34,300	35,500	35,100	22,900	1,3
17:30	36,100	37,535	36,400	32,700	33,500	33,300	22,700	1,3
17:40	34,300	35,555	35,200	31,700	32,200	32,000	22,600	1,11
17:50	33,000	34,019	34,100	30,700	31,000	31,000	22,400	0,93
18:00	31,700	32,665	33,000	29,600	30,000	30,000	22,200	0,93
18:10	30,700	31,484	32,000	28,700	29,100	29,100	22,100	1,11
18:20	29,700	30,419	31,000	27,800	28,200	28,200	21,800	0,74
18:30	28,800	29,439	30,300	26,900	27,400	27,500	21,600	0,93
18:40	27,900	28,518	29,400	26,100	26,600	26,700	21,500	0,93
18:50	27,000	27,653	28,500	25,500	25,800	25,900	21,400	0,74
19:00	26,300	26,867	27,700	25,000	25,200	25,200	21,300	0,74
19:10	25,600	26,158	27,000	24,600	24,600	24,600	21,200	0,74
19:20	24,900	25,550	26,300	24,100	24,100	24,100	21,100	0,74
19:30	24,400	24,992	25,700	23,600	23,600	23,700	20,900	0,56
19:40	23,900	24,508	25,200	23,400	23,300	23,300	20,900	0,56
19:50	23,600	24,050	24,800	23,000	23,000	23,000	20,700	0,74
20:00	23,300	23,641	24,400	22,800	22,800	22,800	20,700	0,56

Fuente: Archivo propio. (2012)

Nota:

- **Ta:** Temperatura de la superficie superior de la caja metálica.
- **Tb:** Temp. de la zona media de la caja metálica.
- **Tc:** Temp. de la superficie inferior de la caja metálica.
- **Td:** Temp. en la zona superior de la caja aislada térmicamente a 5 cm de la superficie captadora de la SSS.
- **Te:** Temp. en la zona media de la caja aislada térmicamente.
- **Tf:** Temp. en la zona inferior de la caja aislada térmicamente a 5 cm de la base de la SSS.
- **Tamb:** Temp. del medio ambiente.

Continuación

Hora	Gi(W/m ²)	Hamb(%)	G(W/m ²)	Hb(%)	Ha(%)	Q(W)	η(%)
8:00	500,6	65	451	9,9	18,75	29,834	0,6
8:10	549,4	65	504	8,5	14,25	22,376	0,41
8:20	579,4	64	543	9,5	11,25	152,9	2,64
8:30	625,6	64	573	7,5	9,25	566,85	9,08
8:40	641,9	64	607	8	6,25	1 006,9	15,7
8:50	694,4	63	596	7,5	3,75	1 290,3	18,6
9:00	716,9	61	670	9	6,25	1 555,1	21,7
9:10	739,4	61	701	7,8	3,25	1 786,3	24,2
9:20	793,1	61	574	8	3,75	1 823,6	23
9:30	806,9	59	765	7,5	3,25	2 129,4	26,4
9:40	838,1	57	805	7	1,25	2364,4	28,3
9:50	900,6	57	716	9	4,25	2 480	27,6
10:00	865,6	56	823	7	3,75	2 591,9	30
10:10	883,1	54	832	7,5	3,75	2 797	31,7
10:20	901,9	55	849	8	4,04	2 942,4	32,7
10:30	916,9	54	859	7	3,25	3 072,9	33,6
10:40	920,6	53	876	5,5	2,25	3 181,1	34,6
10:50	933,1	53	884	4	2,75	3 263,1	35
11:00	931,9	52	895	5	3,25	3 334	35,8
11:10	943,1	52	900	6	3,75	3 393,7	36,1
11:20	950,6	51	906	5	3,75	3 449,6	36,4
11:30	953,1	49	911	6	1,75	3 494,4	36,7
11:40	960,6	50	916	6	1,75	3 516,7	36,7
11:50	960,6	49	918	6	0,75	3 542,8	37
12:00	944,4	50	929	7	0,75	3 554	37,7
12:10	944,4	50	911	5	0,75	3 583,9	38
12:20	929,4	49	910	2,5	1,75	3 587,6	38,7
12:30	936,9	50	913	4	1,75	3 583,9	38,3
12:40	919,4	50	897	3,5	2,75	3 598,8	39,2
12:50	904,4	50	889	6	2,75	3 617,4	40,1
13:00	894,4	50	881	4	2,75	3 632,3	40,7
13:10	889,4	51	872	5	2,75	3 639,8	41
13:20	875,6	50	859	6,5	2,7	3 617,4	41,4
13:30	860,6	49	858	7,5	3,75	3 598,8	41,9
13:40	860,6	50	852	10,5	4,75	3 606,2	42
13:50	838,1	52	855	10	4,75	3 651	43,6
14:00	674,4	50	689	11	4,75	3 527,9	52,4
14:10	419,4	51	526	9,5	4,75	3 214,7	76,8
14:20	535,6	52	416	9	5,75	2 912,6	54,5
14:30	450,6	52	470	11	5,75	2 763,4	61,5
14:40	306,9	53	381	11,5	4,75	2 573,2	84
14:50	240,6	53	296	11,5	5,75	2 286,1	81,6

15:00	198,1	54	245	10	5,75	2 036,2	68
15:10	360,6	54	239	9,1	4,75	1 816,2	50,5
15:20	408,1	54	362	8,6	4,75	1 797,5	44,1
15:30	451,9	54	419	9,6	3,75	1 875,8	41,6
15:40	379,4	54	448	7,6	3,75	1 924,3	50,8
15:50	269,4	55	337	9	3,75	1 827,4	68
16:00	254,4	55	280	7,6	3,25	1 659,5	65,4

Fuente: Archivo propio. (2012)

Nota:

- Los datos fueron obtenidos el día 02 de febrero del año 2012, de las 8 h a 16 h, con cielo parcialmente despejado.
- los datos de las dos últimas columnas fueron obtenidos usando las Ecs.(44) y (45); para Q_u y η , respectivamente.
- Para cualquier duda referente a las variables de la **(Tabla 7)** puede consultar la nomenclatura de este trabajo de investigación.

Tabla 8: Datos experimentales del proceso de enfriamiento.

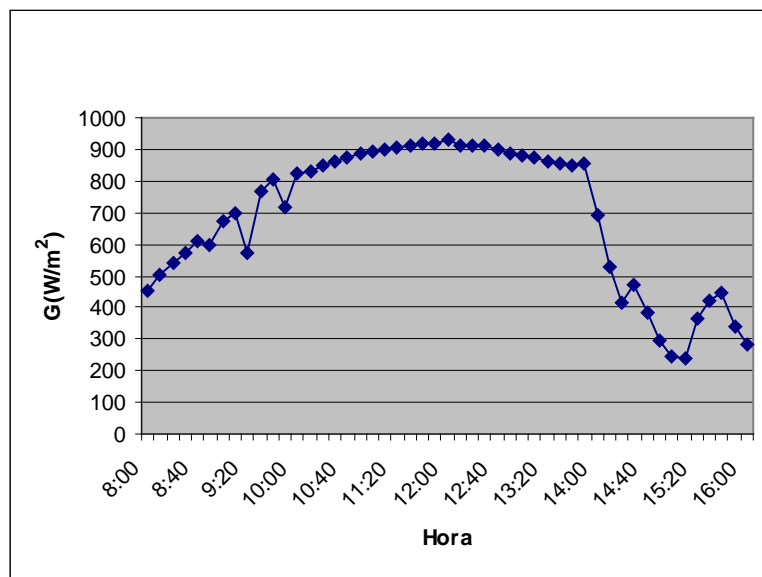
Hora	Ta(°C)	Tb(°C)	Tc(°C)	Td(°C)	Te(°C)	Tf(°C)	Tamb(°C)	V(m/s)
16:00	55,600	50,370	44,700	45,700	46,100	44,400	23,900	1,3
17:00	44,900	42,475	39,500	37,900	38,800	37,900	23,300	1,48
18:00	31,700	32,665	33,000	29,600	30,000	30,000	22,200	0,93
19:00	26,300	26,867	27,700	25,000	25,200	25,200	21,300	0,74
20:00	23,300	23,641	24,400	22,800	22,800	22,800	20,700	0,56
21:00	21,700	21,963	22,800	21,400	21,300	21,400	20,200	0,56
22:00	20,700	20,817	21,700	20,400	20,400	20,500	20,000	0,19
23:00	20,000	20,126	21,000	19,800	19,800	19,900	19,600	0,37
0:00	19,600	19,722	20,600	19,500	19,500	19,600	19,400	0,19
1:00	19,600	19,627	20,500	19,600	19,600	19,700	19,200	0,56
2:00	19,400	19,436	20,200	19,200	19,200	19,300	18,700	0,19
3:00	18,900	18,985	19,900	18,700	18,700	18,800	18,400	0,37
4:00	18,400	18,485	19,400	18,300	18,300	18,400	18,400	0,19
5:00	18,100	18,176	19,100	18,000	18,000	18,100	18,300	0
6:00	17,700	17,891	18,800	17,800	17,700	17,900	18,600	0

Fuente: Archivo propio. (2012)

Nota: Los datos en la **(Tabla 8)**, fueron tomados entre el 02 y 03 de febrero de 2012, de las 16 h a 6 h, para el proceso de enfriamiento del aire dentro de la sauna solar, se han registrado t horas después de haber concluido el proceso de calentamiento del aire, cubriendo el colector de sauna con una manta doble, evitando casi totalmente que la radiación solar incida sobre éste como se ve en la **(Figura 37)**; en otras palabras, el proceso de enfriamiento se ha realizado simulando días totalmente nublados.

La expresión gráfica de los datos tabulados en la **(Tabla 7)**, está presentada en los siguientes diez gráficos.

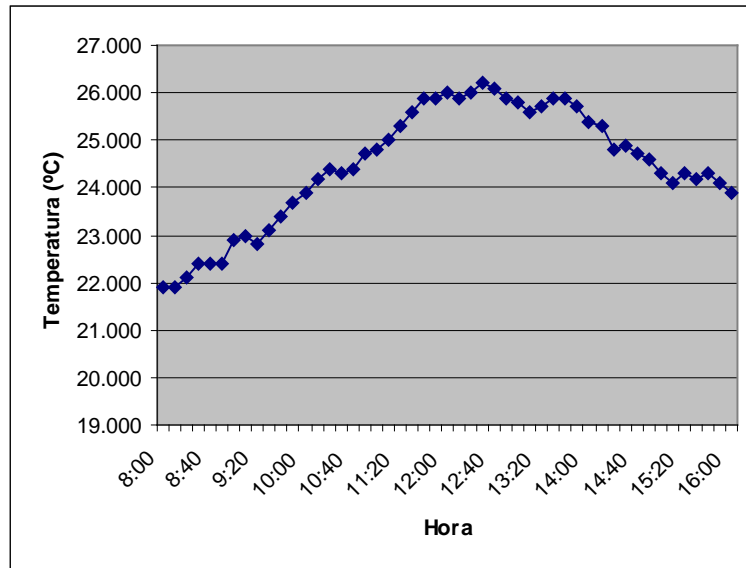
Figura 38: Radiación solar en función de las horas del día.



Fuente: Archivo propio. (2012)

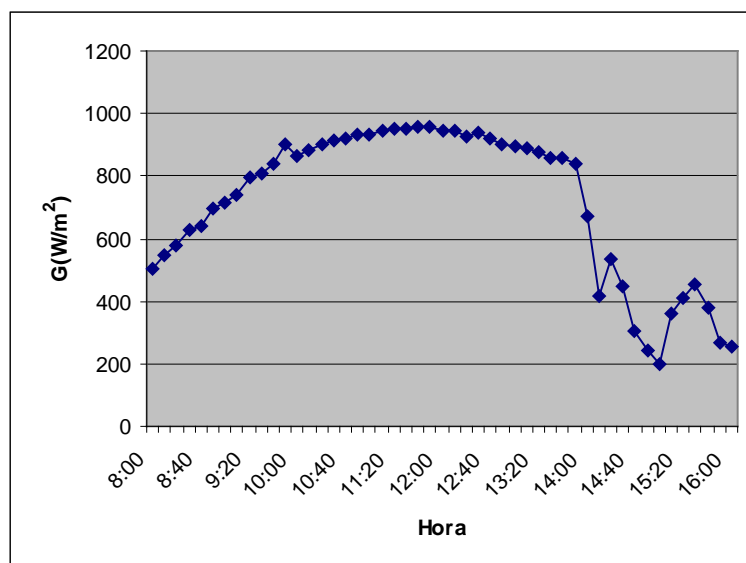
En esta **(Figura 39)**, los datos fueron tomados el día 02 de febrero del año 2012, de las 8 h a 16 h, fue un día con cielo parcialmente despejado, en el atardecer se nubló de forma progresiva como se observa en el gráfico.

Figura 39: Temperatura del ambiente en función de las horas del día.



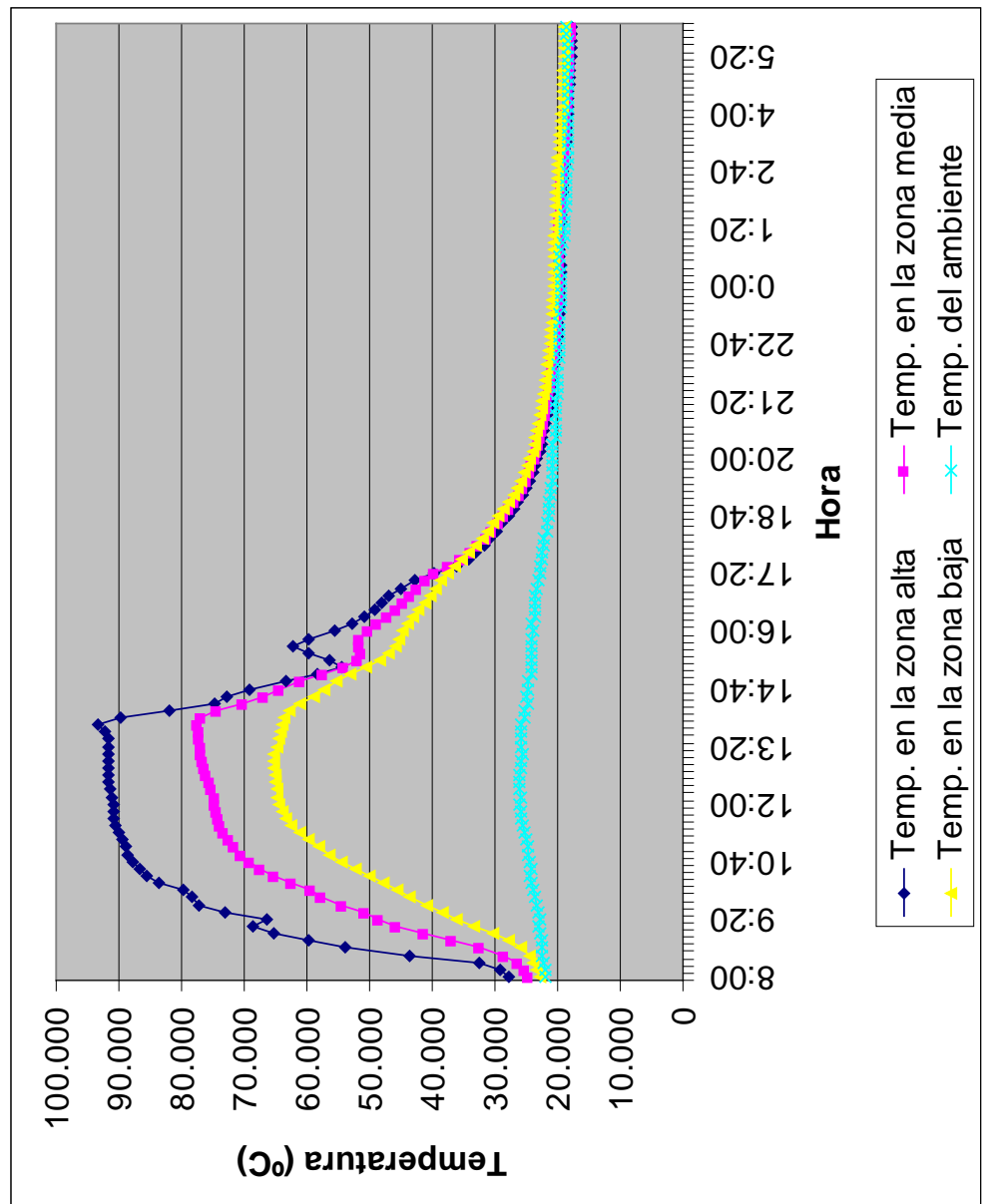
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 40: Radiación solar en el plano inclinado en función de las horas del día.



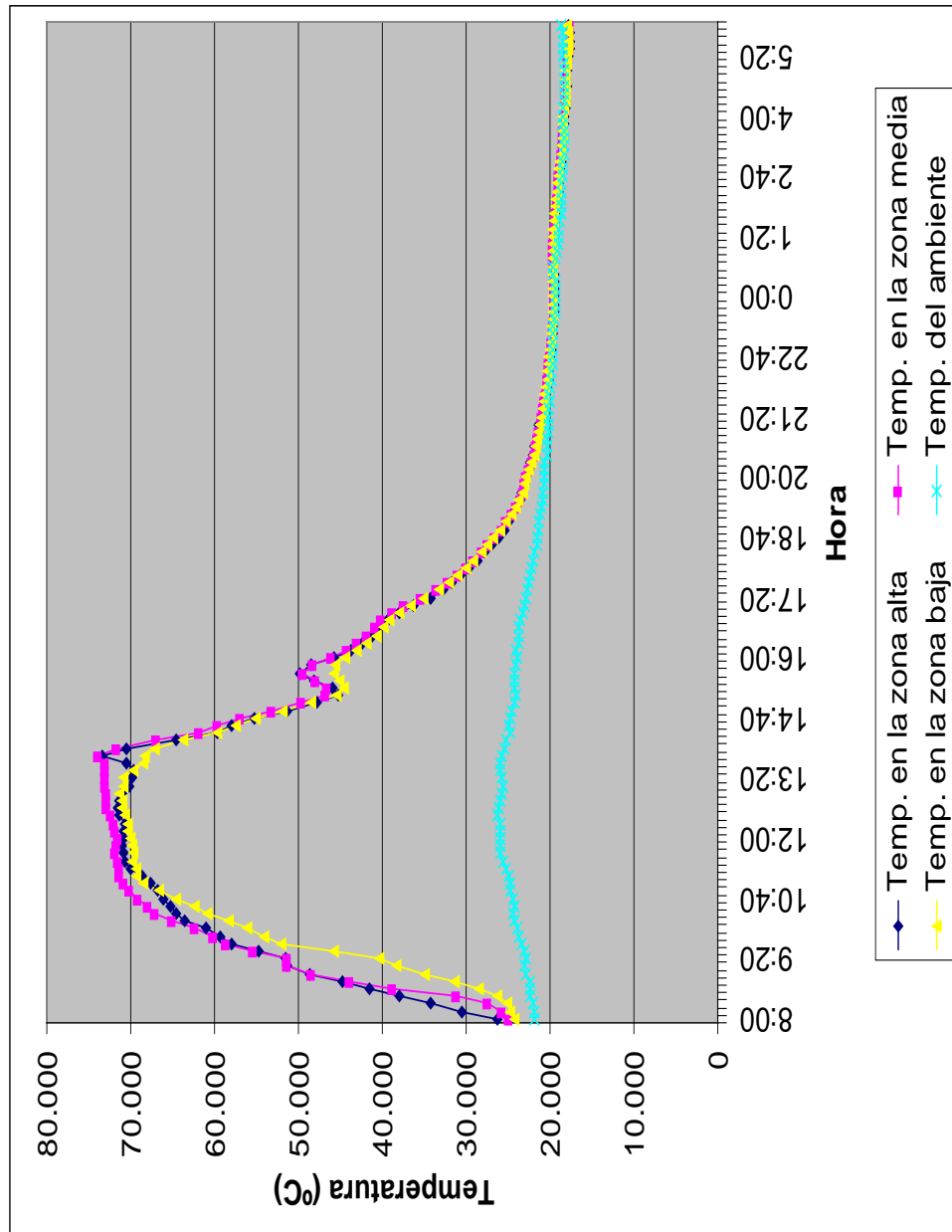
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 41: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja metálica en función de las horas del día.



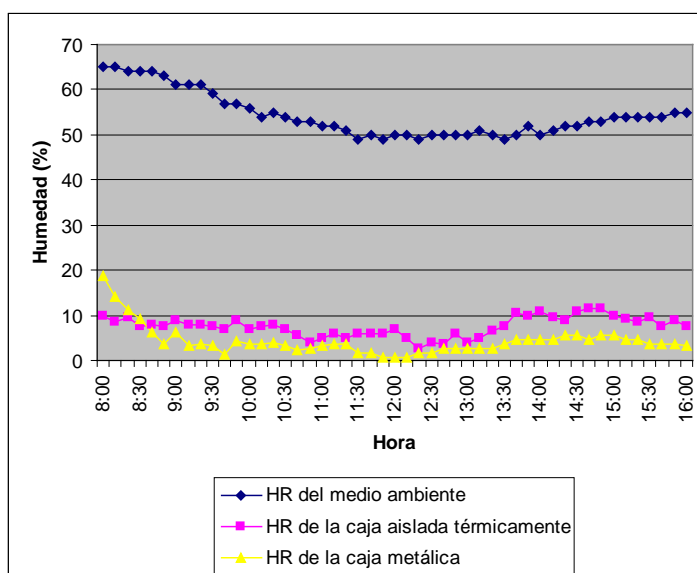
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 42: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja aislada térmicamente en función de las horas del día.



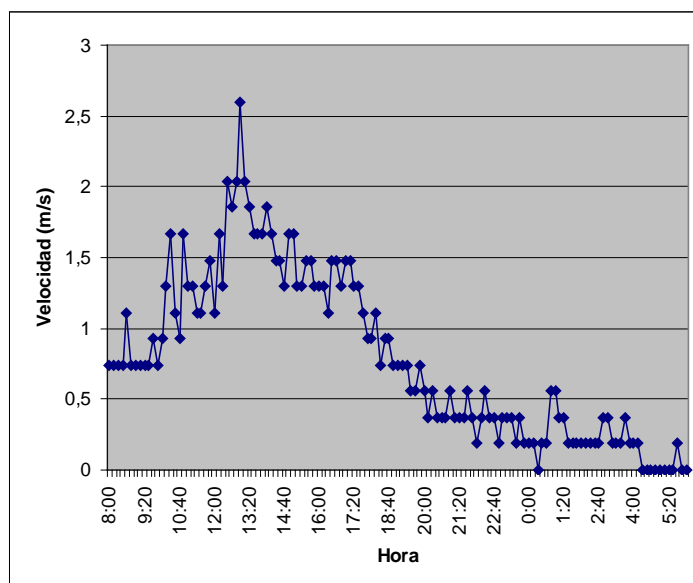
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 43: Humedad relativa en función de las horas del día.



Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 44: Velocidad del viento en función de las horas del día.

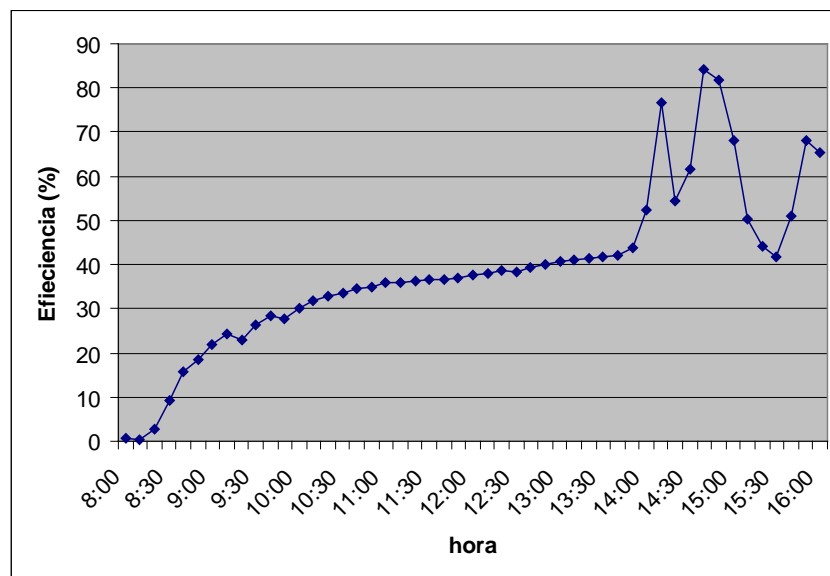


Fuente: Archivo propio. (2012)

Interpretación de los gráficos:

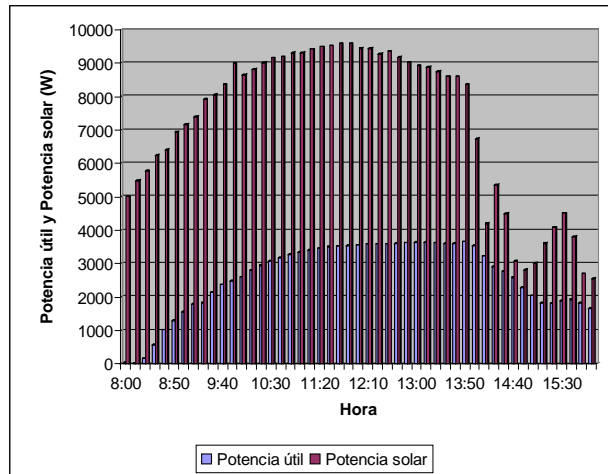
- En la **(Figura 41)**, las termocupas de las zona inferior y superior está en contacto con la caja metálica y la zona media registra la temperatura del aire, es la misma puesta tanto con o sin acumuladores térmicos.
- En la **(Figura 42)**, las termocupas de la zona inferior y superior están a 5 cm de la cobertura y el piso, la zona media está en contacto con el aire en la caja aislada térmicamente, es la misma puesta tanto con o sin acumuladores térmicos.
- Se puede observar en la **(Figura 41 y 42)**, que existe una estratificación de la temperatura debido a la convención natural, este fenómeno se repite tanto con o sin acumuladores térmicos.

Figura 45: Eficiencia media de la SSS sin acumulador en función de las horas del día.



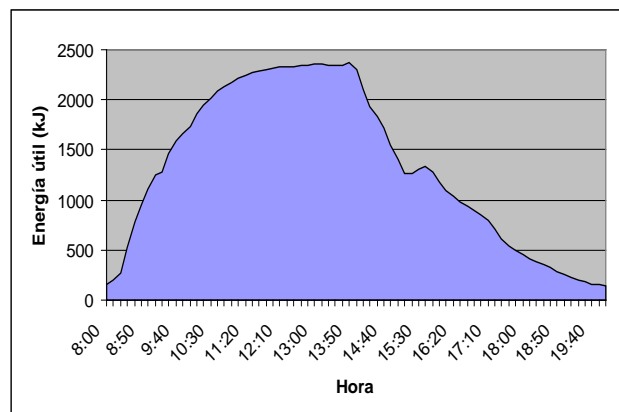
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 46: Potencia útil y Potencia solar en función de las horas del día.



Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 47: Energía útil en la SSS sin acumuladores en función de las horas del día.



Fuente: Archivo propio. (2012)

Utilizando la Ec.(32) y los datos necesarios de la **(Tabla 7)**, nos queda que la eficiencia media diaria de la SSS sin acumulador térmico, es:

$$\eta_d = 38.7\% \quad (46)$$

4.2.- Datos experimentales obtenidos en la SSS con acumuladores térmicos de piedras sin pintar. (Masa total 619 kg, volumen total 214 lt y diámetro promedio de la piedra $\Phi = 15$ cm)



Figura 48: SSS como acumulador térmico la piedra sin pintar.

Fuente: Archivo propio. (2012)



Figura 49: Proceso de enfriamiento de la SSS como acumulador térmico la piedra sin pintar.

Fuente: Archivo propio. (2012)

Tabla 9: Datos experimentales del proceso de calentamiento

Hora	Ta(°C)	Tb(°C)	Tc(°C)	Td(°C)	Te(°C)	Tf(°C)	Tamb(°C)	Tacum(°C)
8:00	25,400	22,920	21,100	23,300	22,700	21,900	20,800	21,200
8:10	26,400	23,472	21,400	24,000	23,200	22,200	20,700	21,300
8:20	27,300	24,074	21,700	27,700	23,800	22,300	20,700	21,400
8:30	28,900	24,847	22,000	32,400	24,700	22,500	20,800	21,600
8:40	38,800	26,573	22,500	36,000	27,000	22,600	20,900	21,800
8:50	51,500	30,268	23,400	40,800	35,700	23,000	21,200	22,000
9:00	60,300	36,146	24,800	44,900	42,500	23,900	21,500	22,800
9:10	66,100	42,238	26,800	49,000	47,200	25,200	21,800	23,700
9:20	70,100	47,092	29,300	51,600	50,000	27,600	22,100	26,500
9:30	72,900	50,891	31,500	53,300	52,200	32,800	22,100	30,700
9:40	75,500	54,075	33,800	54,700	54,200	35,900	22,500	33,300
9:50	77,900	56,818	36,000	56,100	56,000	35,200	22,600	33,700
10:00	79,700	59,111	38,100	58,200	57,200	35,800	22,900	36,700
10:10	81,300	60,962	40,100	59,600	58,100	38,200	22,900	39,400
10:20	82,900	62,304	41,900	60,500	59,300	39,500	23,200	41,900
10:30	84,000	63,692	43,700	61,200	60,000	40,400	23,600	44,300
10:40	84,900	64,935	45,400	61,100	60,800	42,100	23,900	46,600
10:50	85,700	65,869	46,900	61,600	61,500	43,700	24,200	48,800
11:00	86,400	66,471	48,200	62,400	62,000	45,500	24,700	51,000
11:10	86,700	66,826	49,300	62,300	61,800	47,600	24,800	53,200
11:20	86,700	66,724	50,400	62,400	61,500	49,400	24,700	55,300
11:30	86,700	66,623	51,400	62,500	61,700	51,400	25,200	57,200
11:40	86,600	66,521	52,300	62,600	61,500	56,700	25,200	59,100
11:50	86,300	66,320	53,100	62,800	61,200	59,800	25,400	60,700
12:00	86,100	66,119	53,700	62,600	61,200	60,800	25,600	62,400
12:10	86,600	66,420	54,400	62,700	61,800	59,600	25,700	64,000
12:20	87,000	67,184	55,000	63,200	62,900	58,900	25,900	65,400
12:30	87,700	68,175	55,800	63,700	63,600	61,400	26,000	66,800
12:40	88,300	69,299	56,500	63,900	64,600	64,600	26,200	68,100
12:50	89,100	70,458	57,300	64,700	65,700	65,400	26,200	69,400
13:00	89,600	71,711	58,000	65,500	66,600	64,900	26,100	70,500
13:10	89,800	72,649	58,600	65,800	67,300	63,100	26,200	71,500
13:20	90,100	73,308	59,400	65,700	68,000	62,400	25,800	72,600
13:30	90,300	73,979	59,800	66,000	68,700	61,800	25,800	73,300
13:40	90,600	74,599	60,300	66,700	69,400	62,600	25,700	74,100
13:50	90,400	75,040	60,600	66,200	69,900	61,700	25,800	74,600
14:00	90,100	75,040	60,800	66,600	70,200	61,500	25,600	73,900
14:10	89,600	74,914	61,000	66,500	69,900	64,100	25,300	74,000
14:20	89,000	74,350	61,100	66,400	69,900	65,300	25,300	75,400

14:30	88,200	73,612	61,000	66,100	69,700	63,000	24,900	75,000
14:40	87,200	72,947	60,800	65,700	69,300	62,300	24,900	72,400
14:50	86,000	72,177	60,700	65,300	68,700	62,000	24,700	70,800
15:00	83,900	71,079	60,300	64,200	68,000	61,000	24,600	69,500
15:10	81,800	69,957	59,800	63,300	67,100	60,200	24,400	68,400
15:20	80,900	68,921	59,400	62,700	66,700	59,200	24,300	67,800
15:30	79,800	68,122	58,900	61,800	65,800	59,000	24,200	67,000
15:40	78,200	67,184	58,300	60,900	65,100	58,000	24,100	66,000
15:50	75,600	66,119	57,800	59,700	63,900	57,200	24,000	65,200
16:00	73,200	64,887	57,400	58,900	62,400	57,100	24,100	64,600
16:10	71,700	63,411	56,800	57,300	58,800	56,400	24,100	63,700
16:20	69,200	61,672	56,100	55,300	56,100	55,800	23,900	62,900
16:30	65,000	59,365	55,200	53,400	53,900	54,900	23,700	61,900
16:40	57,600	56,460	54,000	51,000	51,500	53,100	23,400	60,600
16:50	52,000	53,184	52,500	47,800	49,700	51,300	23,300	59,300
17:00	49,000	50,231	50,700	46,000	45,400	49,600	23,200	58,000
17:10	46,100	47,287	48,800	44,800	43,500	48,100	23,100	56,600
17:20	44,400	45,279	47,100	43,900	42,600	47,100	22,900	55,400
17:30	43,100	43,860	45,500	42,700	41,500	46,000	22,600	54,200
17:40	42,000	42,624	44,200	41,700	40,600	45,100	22,100	53,200
17:50	40,800	41,502	43,000	40,700	39,700	43,900	21,900	52,000
18:00	39,900	40,458	41,900	39,800	38,800	43,000	21,400	51,000
18:10	38,800	39,431	40,800	38,700	37,800	42,100	21,100	50,000
18:20	37,900	38,421	40,000	37,700	36,800	41,100	20,700	48,900
18:30	36,800	37,453	38,900	36,800	35,800	40,200	20,300	47,800
18:40	35,800	36,552	38,000	35,600	35,100	39,100	20,100	46,900
18:50	35,100	35,689	37,100	35,000	34,200	38,300	19,800	45,900
19:00	34,200	34,889	36,200	34,200	33,500	37,600	19,600	44,900
19:10	33,500	34,150	35,500	33,600	32,900	36,800	19,400	44,000
19:20	32,700	33,469	34,700	32,700	32,200	35,900	19,400	43,100
19:30	32,100	32,820	34,000	32,100	31,500	35,300	19,300	42,200
19:40	31,500	32,201	33,400	31,300	31,000	34,500	19,200	41,400
19:50	31,000	31,637	32,800	30,900	30,600	34,300	19,200	40,600
20:00	30,500	31,103	32,200	30,500	30,100	33,700	19,200	39,900

Fuente: Archivo propio. (2012)

Nota:

- **Tacum:** Temp. del acumulador térmico en su parte media.
- Las variables de las temperaturas en este caso son: **Ta, Tb, Tc, Td, Te, Tf y Tamb;** tienen la misma puesta del caso anterior de la SSS sin acumulador térmico.

Continuación

Hora	G(W/m ²)	Gi(W/m ²)	V(m/s)	Hamb(%)	Ha(%)	Hb(%)	Q(W)	η(%)
8:00	454	76,9	0,74	64	27,25	32	140,45	3,13
8:10	485	331,9	0,93	64	26,25	31,5	155,36	3,2
8:20	519	516,9	0,74	64	26,25	31,5	119,34	2,29
8:30	554	560,6	0,93	64	27,25	32	132,99	2,38
8:40	594	599,4	1,11	63	27,25	31,5	226,22	3,82
8:50	628	638,1	0,93	62	26,25	30	620,33	9,98
9:00	663	669,4	0,93	61	26,25	31,5	1 079	16,6
9:10	692	699,4	0,93	60	19,25	30,5	1 548,9	23
9:20	719	725,6	1,3	60	14,25	28,5	1 879,6	26,8
9:30	744	753,1	0,93	58	11,75	28,5	2 169,2	29,7
9:40	770	781,9	1,11	58	10,25	26,5	2 456,3	32,3
9:50	794	805,6	0,93	58	9,25	24	2 681,4	34
10:00	815	830,6	1,11	56	8,25	30	2 818,1	34,8
10:10	836	859,4	0,93	55	6,75	25	2 855,4	34,4
10:20	855	880,6	0,93	55	4,25	26	2 942,4	34,7
10:30	870	900,6	0,93	53	2,25	26	3 066,8	35,5
10:40	885	910,6	0,93	53	3,25	24	3 128,9	35,7
10:50	898	925,6	0,93	52	3,75	24,5	3 152,5	35,4
11:00	910	941,9	0,93	51	4,75	26	3 182,4	35,4
11:10	918	951,9	1,11	51	4,25	25	3 181,1	35
11:20	926	960,6	1,11	50	3,25	24	3 178,6	34,7
11:30	931	963,1	1,3	50	4,75	25	3 164,9	34,3
11:40	933	971,9	1,3	49	4,75	21	3 162,4	34,1
11:50	937	974,4	1,48	48	3,75	18,5	3 147,5	33,9
12:00	934	974,4	1,48	48	3,75	17	3120,2	33,8
12:10	933	973,1	1,3	48	2,75	15	3 160	34,3
12:20	928	970,6	1,48	47	2,75	15,5	3 198,5	34,9
12:30	921	964,4	1,67	47	2,75	16	3 304,2	36,4
12:40	913	956,9	1,67	46	1,75	13,5	3 383,7	37,7
12:50	903	949,4	1,48	47	1,75	13,5	3 491,9	39,3
13:00	890	938,1	1,67	47	3,75	17	3 577,7	40,8
13:10	876	924,4	1,67	47	3,75	15	3 643,5	42,3
13:20	859	908,1	1,67	48	2,75	16,5	3 701,9	43,7
13:30	841	889,4	1,48	48	3,25	16	3 723,1	44,9
13:40	822	863,1	1,67	48	3,75	16	3 730,6	46
13:50	800	841,9	1,86	48	4,75	17	3 835	48,6
14:00	779	820,6	1,48	48	2,75	14	3 827,5	50,1
14:10	754	790,6	1,67	48	5,75	17,5	3 794	51,3
14:20	730	760,6	1,67	49	4,75	16	3 775,3	53
14:30	700	734,4	1,48	49	2,75	12	3 687	53,6
14:40	671	704,4	1,48	50	4,25	15	3 618,7	54,9

14:50	642	451,9	1,86	50	4,25	18	3 555,3	56,5
15:00	611	644,4	1,67	51	3,25	15	3 475,7	58,1
15:10	580	398,1	1,48	50	3,25	17	3 403,6	60,1
15:20	552	589,4	1,3	50	4,25	17,5	3 317,8	62,3
15:30	522	560,6	1,48	50	3,25	16	3 235,8	64,8
15:40	488	521,9	1,48	50	3,25	19	3 156,3	68,2
15:50	453	501,9	1,48	50	4,75	19	3 056,8	71,1
16:00	419	451,9	1,3	50	5,75	17	2 972,3	75

Fuente: Archivo propio. (2012)

Nota:

- Los datos fueron obtenidos el día 21 de febrero del año 2012, de las 8 h a 16 h, fue un día con cielo despejado.
- Los datos de las dos últimas columnas fueron obtenidos usando las Ecs.(44) y (45); para Q_u y η , respectivamente.
- Para cualquier duda referente a las variables de la **(Tabla 9)** puede consultar la nomenclatura de este trabajo de investigación.

Tabla 10: Datos experimentales para el proceso de enfriamiento.

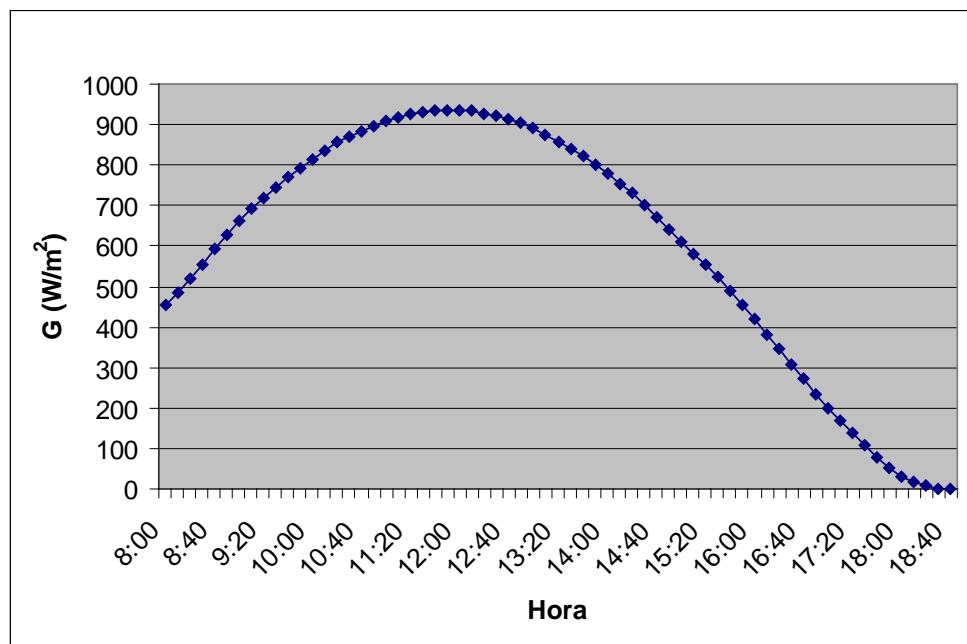
Hora	Ta(°C)	Tb(°C)	Tc(°C)	Td(°C)	Te(°C)	Tf(°C)	Tamb(°C)	Tacum(°C)
16:00	73,200	64,887	57,400	58,900	62,400	57,100	24,100	64,600
17:00	49,000	50,231	50,700	46,000	45,400	49,600	23,200	58,000
18:00	39,900	40,458	41,900	39,800	38,800	43,000	21,400	51,000
19:00	34,200	34,889	36,200	34,200	33,500	37,600	19,600	44,900
20:00	30,500	31,103	32,200	30,500	30,100	33,700	19,200	39,900
21:00	27,800	28,419	29,500	27,600	27,500	30,600	19,200	35,800
22:00	25,700	26,280	27,400	25,700	25,500	28,200	18,900	32,600
23:00	23,900	24,460	25,500	23,800	23,800	26,200	18,600	30,000
0:00	22,800	22,992	24,100	22,400	22,600	24,500	18,400	27,800
1:00	21,400	21,795	22,800	21,300	21,300	23,300	17,900	25,900
2:00	20,300	20,674	21,700	20,300	20,200	22,200	17,400	24,300
3:00	19,500	19,722	20,800	19,400	19,400	21,100	17,700	23,100
4:00	18,700	19,008	20,100	18,700	18,700	20,300	17,700	22,100
5:00	18,100	18,319	19,400	18,100	18,000	19,500	17,300	21,100
6:00	17,600	17,843	18,900	17,600	17,600	19,000	17,300	20,400

Fuente: Archivo propio. (2012)

Nota: Los datos en la **(Tabla 10)**, fueron tomados entre el 21 y 22 de febrero de 2012, de las 16 h a 6 h, para el proceso de enfriamiento del aire dentro de la sauna solar, se han registrado t horas después de haber concluido el proceso de calentamiento del aire, cubriendo el colector de sauna con una manta doble, evitando casi totalmente que la radiación solar incida sobre éste como se ve en la **(Figura 49)**; en otras palabras, el proceso de enfriamiento se ha realizado simulando días totalmente nublados.

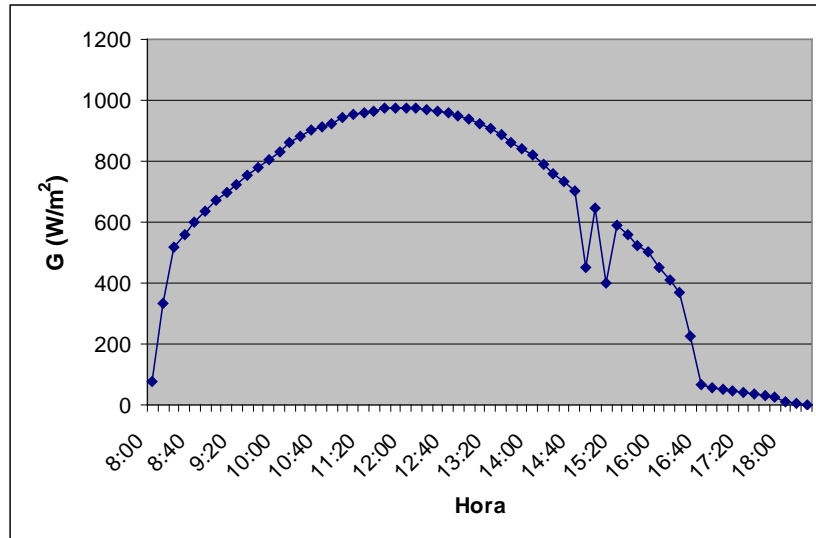
La expresión gráfica de los datos tabulados en la **(Tabla 9)**, está presentada en los siguientes nueve gráficos.

Figura 50: Radiación solar en función de las horas del día.



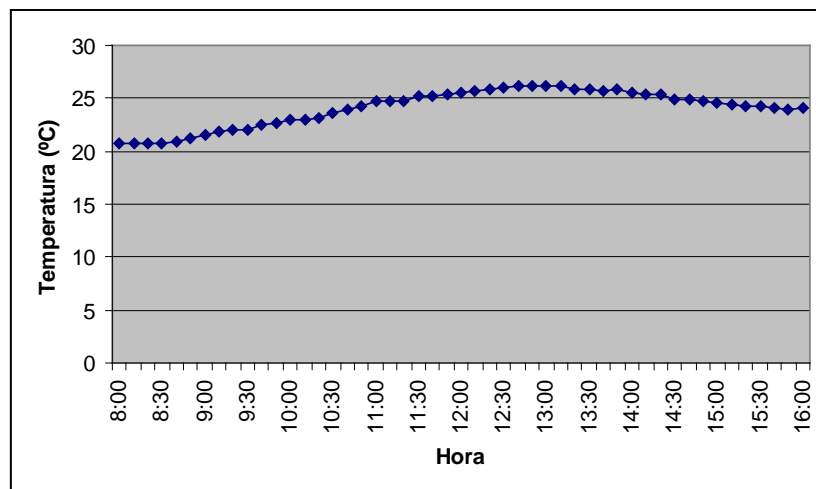
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 51: Radiación en el plano inclinado en función de las horas del día.



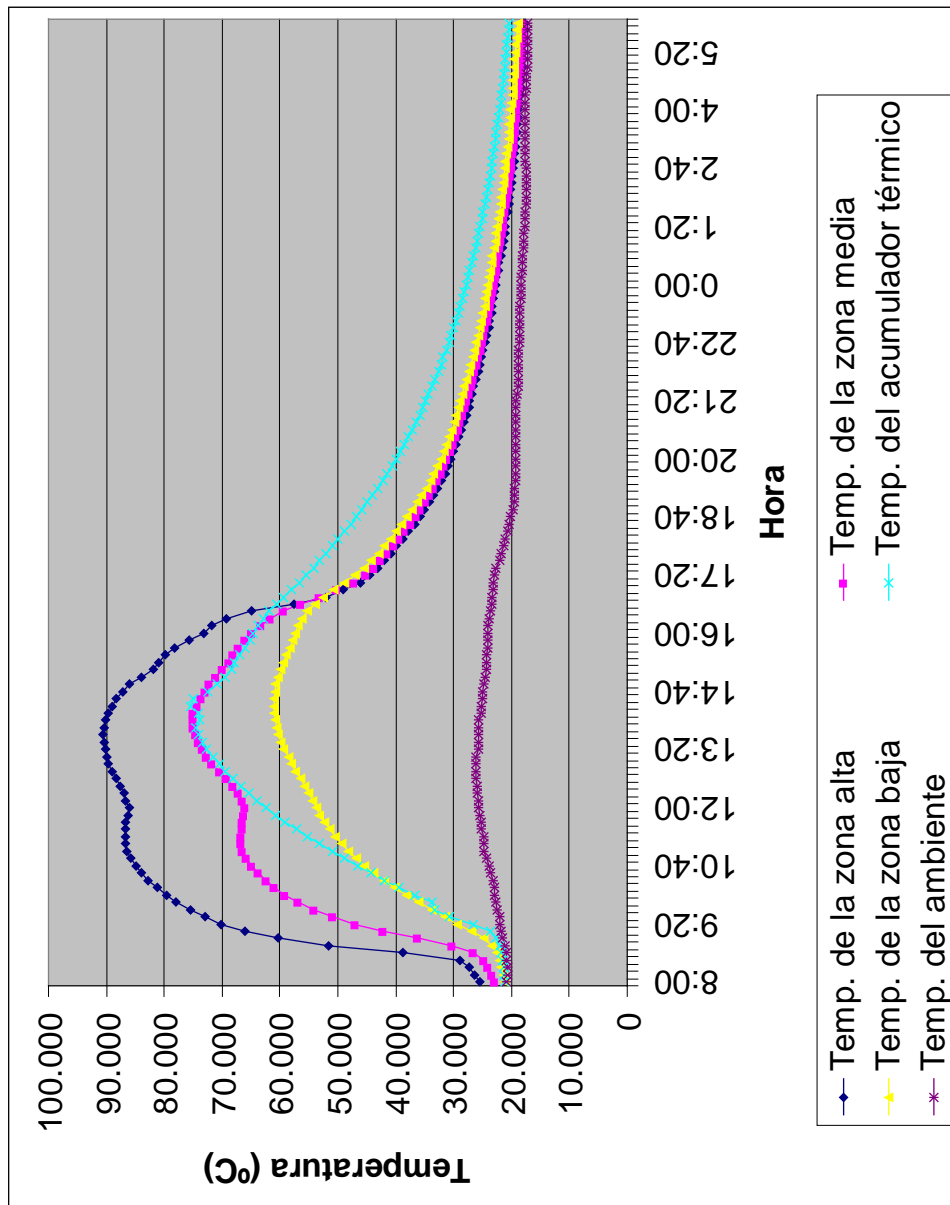
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 52: Temperatura del ambiente en función de las horas del día.



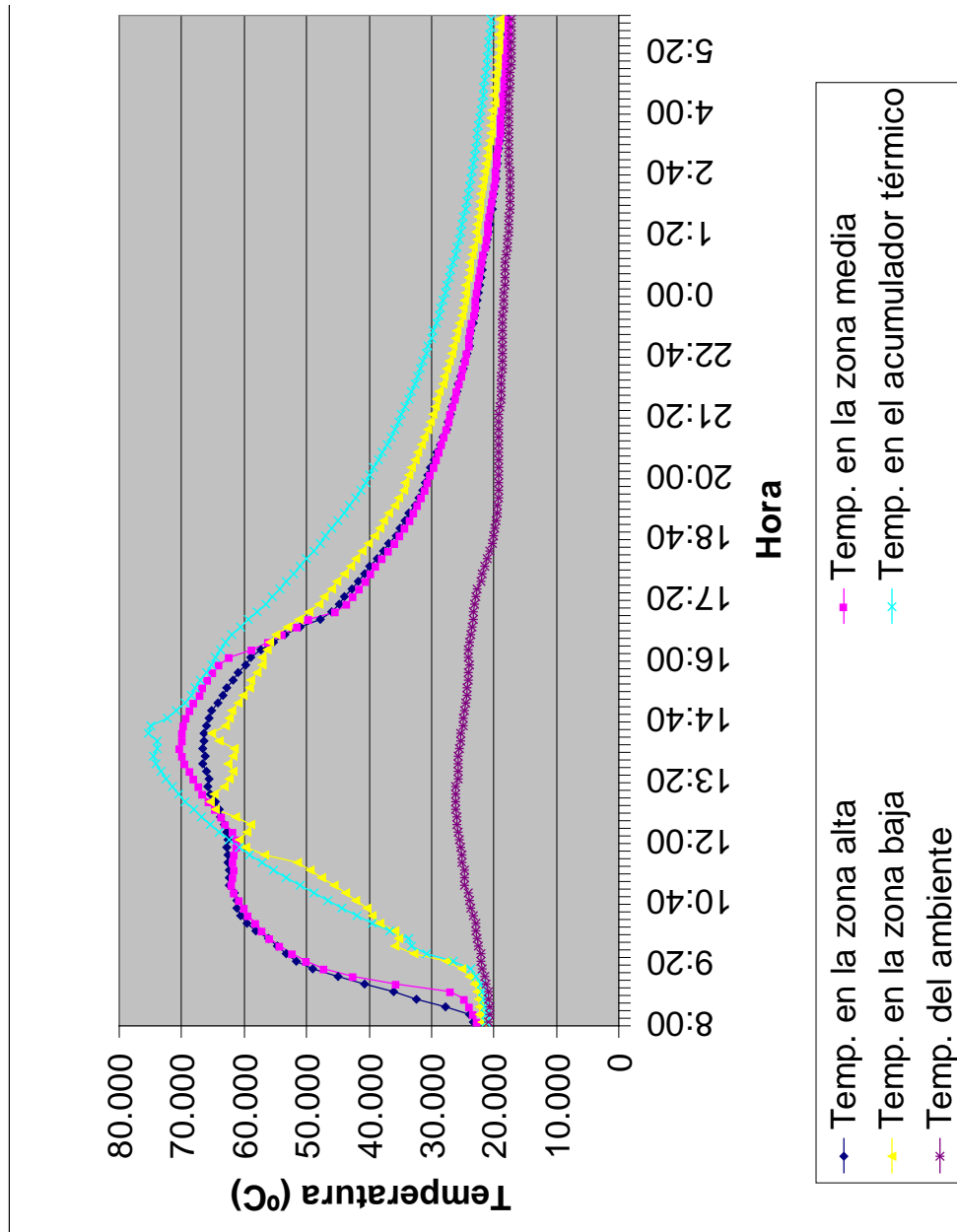
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 53: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja metálica en función de las horas del día.



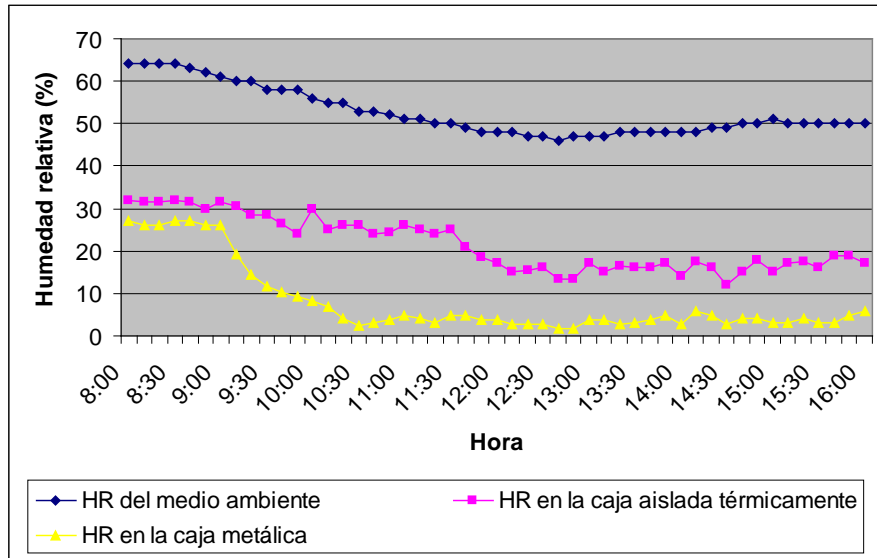
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 54: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja aislada térmicamente en función de las horas del día.



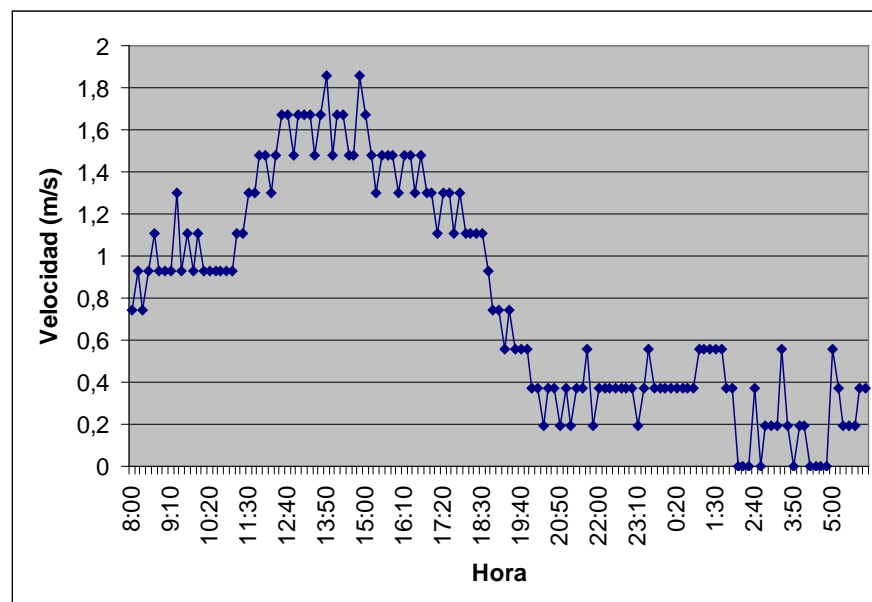
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 55: Humedad relativa en función de la horas del día.



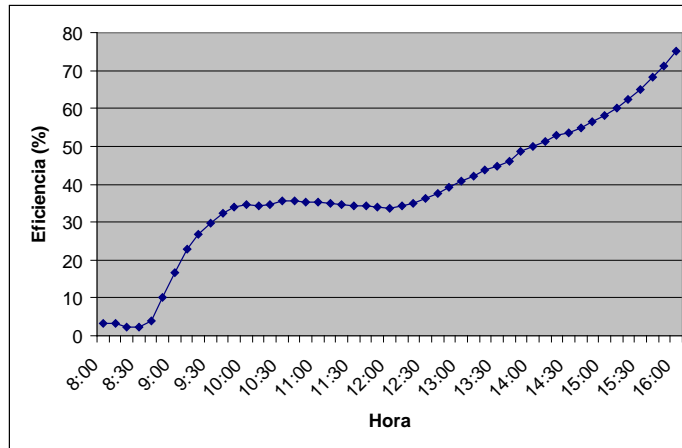
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 56: Velocidad del viento en función de las horas del día.



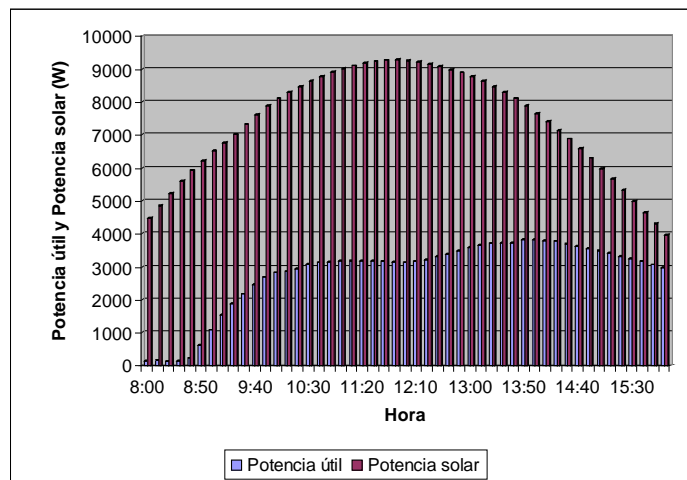
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 57: Eficiencia media de la SSS con piedras sin pintar en función de las horas del día.



Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 58: Potencia útil y Potencia solar en función de las horas del día.



Fuente: Archivo propio. (2012)

Utilizando la Ec.(32) y los datos necesarios de la **(Tabla 9)**, nos queda que la eficiencia media diaria de la SSS con acumuladores de piedras sin pintar , es:

$$\eta_d = 38.09\% \quad (47)$$

4.3.- Datos experimentales obtenidos en la SSS con acumuladores térmicos la piedra pintada de negro mate. (Masa total 619 kg volumen total 214 lt y diámetro promedio de la piedra $\Phi=15$ cm)



Figura 59: SSS como acumulador térmico la piedra pintada de negro mate.

Fuente: Archivo propio. (2012)



Figura 60: Proceso de enfriamiento de la SSS como acumulador térmico la piedra pintada.

Fuente: Archivo propio. (2012)

Tabla 11: Datos experimentales del proceso de calentamiento.

Hora	Ta(°C)	Tb(°C)	Tc(°C)	Td(°C)	Te(°C)	Tf(°C)	Tamb(°C)	Tacum(°C)
8:00	27,200	25,162	20,100	25,000	24,400	23,800	22,400	23,600
8:10	27,800	25,525	20,300	25,500	24,700	23,900	22,900	23,600
8:20	28,600	25,914	20,500	26,200	25,200	24,000	23,300	23,700
8:30	29,400	26,378	20,700	29,100	25,800	24,300	23,700	23,900
8:40	30,600	27,014	20,900	35,300	26,700	24,600	23,300	24,100
8:50	39,900	28,692	24,400	39,900	29,100	25,100	23,200	24,300
9:00	51,000	32,124	24,900	43,400	34,500	26,000	23,600	24,700
9:10	61,500	37,811	25,600	48,500	41,900	26,800	24,000	25,300
9:20	63,800	43,951	26,800	49,500	44,800	27,800	24,100	27,100
9:30	68,300	47,842	28,300	51,000	47,700	31,400	24,300	30,700
9:40	72,100	51,738	29,900	53,000	50,300	35,300	24,400	33,800
9:50	76,700	55,174	31,600	54,200	53,000	35,400	24,700	34,700
10:00	80,300	58,485	33,400	56,000	54,900	36,300	24,900	37,900
10:10	82,900	61,006	35,300	57,500	56,900	38,700	25,400	40,900
10:20	84,800	62,992	37,200	59,200	58,400	39,900	25,500	43,700
10:30	86,500	64,741	39,100	61,800	59,600	41,200	25,600	46,400
10:40	87,600	66,169	41,000	63,200	60,700	42,900	25,800	48,800
10:50	88,700	67,133	42,900	64,200	61,600	44,400	26,200	51,200
11:00	89,200	67,755	44,500	64,600	62,100	46,100	26,400	53,600
11:10	89,700	68,016	46,200	65,000	62,500	47,600	26,500	56,000
11:20	89,900	68,069	47,600	65,300	62,600	49,100	26,600	58,100
11:30	89,900	67,964	48,800	64,700	62,700	50,900	26,900	60,100
11:40	90,000	67,702	49,900	64,100	62,700	55,100	26,900	62,000
11:50	89,700	67,391	50,800	63,700	62,500	58,700	27,100	63,700
12:00	89,500	67,184	51,600	63,400	62,500	58,900	27,300	65,300
12:10	90,000	67,650	52,300	64,000	63,200	59,300	27,300	66,800
12:20	90,400	68,493	53,000	64,700	64,100	60,400	27,500	68,300
12:30	91,000	69,572	53,800	65,700	65,300	64,400	27,600	69,800
12:40	91,500	70,796	54,600	66,600	66,400	65,900	27,200	71,200
12:50	91,900	72,060	55,300	67,500	67,300	65,800	27,200	72,400
13:00	92,500	73,369	56,000	69,300	68,400	65,000	27,300	73,500
13:10	92,900	74,537	56,600	70,100	69,500	63,800	27,400	74,600
13:20	93,300	75,486	57,100	70,500	70,300	62,900	27,400	75,700
13:30	93,400	76,263	57,600	70,800	70,700	63,400	27,100	76,500
13:40	93,000	76,724	58,100	70,700	71,100	63,900	26,800	77,300
13:50	92,500	76,990	58,300	70,700	71,600	61,900	26,600	77,800
14:00	91,600	76,923	58,500	70,300	71,800	64,000	26,600	76,300
14:10	91,100	76,724	58,600	70,300	72,000	66,200	26,400	76,800
14:20	90,100	76,132	58,600	69,700	71,600	64,500	26,100	76,300
14:30	89,300	75,486	58,600	69,100	71,400	63,300	26,100	75,300

14:40	88,400	74,725	58,400	68,500	71,000	63,300	26,100	73,600
14:50	86,600	73,734	58,200	67,600	70,300	62,800	25,900	72,300
15:00	85,100	72,649	57,900	66,500	69,900	62,200	26,100	71,100
15:10	83,600	71,653	57,600	65,800	69,300	61,700	25,800	70,200
15:20	81,900	70,570	57,200	65,000	68,300	61,200	25,800	69,300
15:30	80,300	69,463	56,900	63,700	67,500	60,600	25,700	68,500
15:40	78,300	68,386	56,500	63,000	66,500	60,100	25,700	67,700
15:50	76,400	67,082	56,100	61,700	64,900	59,100	25,600	67,000
16:00	73,200	65,671	55,500	60,100	63,100	58,100	25,700	66,100
16:10	67,300	63,739	54,900	58,500	60,900	57,400	25,400	65,300
16:20	61,900	61,360	54,100	56,700	57,700	56,700	25,000	64,400
16:30	58,900	58,818	53,200	54,300	54,000	54,800	25,000	63,200
16:40	56,600	56,381	52,200	51,200	51,400	52,900	24,800	62,200
16:50	53,800	54,075	50,900	49,100	48,900	51,100	24,600	60,900
17:00	48,700	50,717	49,500	46,100	46,000	49,100	24,500	59,500
17:10	46,500	48,106	48,100	45,600	45,000	48,100	24,500	58,200
17:20	45,200	46,513	46,700	44,500	44,100	47,300	24,200	57,000
17:30	44,200	45,311	45,600	43,900	43,400	46,500	24,100	56,000
17:40	43,300	44,349	44,500	42,900	42,700	45,500	23,800	54,900
17:50	42,400	43,435	43,600	41,900	41,800	44,400	23,400	53,900
18:00	41,400	42,445	42,700	40,700	40,800	43,600	23,300	52,900
18:10	40,400	41,473	41,800	39,700	39,800	42,600	23,300	51,900
18:20	39,300	40,487	40,800	38,700	38,900	41,700	23,200	50,800
18:30	38,400	39,573	40,100	37,800	38,000	40,600	22,900	49,800
18:40	37,500	38,728	39,300	37,200	37,200	40,000	22,800	48,900
18:50	36,800	37,921	38,600	36,400	36,500	39,300	22,700	47,900
19:00	36,100	37,206	37,900	35,800	35,800	38,600	22,500	47,100
19:10	35,400	36,498	37,200	35,200	35,300	37,800	22,500	46,200
19:20	34,800	35,850	36,500	34,600	34,700	37,100	22,400	45,300
19:30	34,300	35,235	36,000	34,000	34,200	36,600	22,300	44,500
19:40	33,700	34,677	35,400	33,400	33,700	36,000	22,200	43,700
19:50	33,300	34,176	34,900	33,000	33,200	35,600	22,200	43,100
20:00	32,800	33,704	34,400	32,500	32,800	35,200	22,000	42,300

Fuente: Archivo propio. (2012)

Nota:

- **Tacum:** Temp. del acumulador térmico en su parte media.
- Las variables de las temperaturas en este caso son: **Ta, Tb, Tc, Td, Te, Tf y Tamb;** tienen la misma puesta del caso anterior de la SSS con acumuladores térmicos de piedra sin pintar.

Continuación

Hora	G(W/m ²)	Gi(W/m ²)	Hamb(%)	Ha(%)	Hb(%)	V(m/s)	Q(W)	η(%)
8:00	425	81,9	69	19,25	31	0,56	517,1	29,5
8:10	450	316,9	67	17,25	30	0,74	579,31	24,8
8:20	495	468,1	66	16,25	30	0,74	672,54	26,4
8:30	523	506,9	65	15,75	29,5	0,74	742,13	28,7
8:40	554	523,1	66	15,25	29	0,74	872,66	27,2
8:50	584	473,1	66	14,25	28,3	0,56	1 004,4	29,9
9:00	580	595,6	64	13,75	28	0,56	1 161,1	30
9:10	670	513,1	63	12,25	27	0,74	1 479,3	48,7
9:20	569	611,9	62	10,75	23	0,74	1 514,1	37,1
9:30	677	646,9	61	9,25	22	0,74	1 582,5	19,1
9:40	679	698,1	61	17,25	22	0,93	1 935,5	24,2
9:50	737	743,1	61	19,75	22	0,93	2 274,9	29,6
10:00	774	774,4	59	12,25	21,3	1,11	2 480	30,4
10:10	796	799,4	58	7,75	21	1,11	2 594,3	31,1
10:20	812	823,1	57	4,25	18	1,11	2 673,9	31,1
10:30	828	848,1	57	2,25	16	1,3	2 844,2	32,5
10:40	843	869,4	56	1,25	18	0,93	2 922,5	32,6
10:50	856	884,4	55	2,75	16	1,11	2 968,5	32,9
11:00	866	900,6	54	6,25	22	1,3	3 007,1	32,7
11:10	876	910,6	53	1,25	15	1,3	3 025,7	32,5
11:20	880	921,9	52	3,75	13,5	1,3	3 041,8	32,5
11:30	887	933,1	51	2,25	13	1,48	3 015,7	32,2
11:40	890	938,1	53	3,25	14	1,48	3 025,7	31,8
11:50	890	938,1	51	4,75	15	1,48	2 995,9	31,7
12:00	888	934,4	51	4,75	15,5	1,48	2 994,6	31,8
12:10	885	941,9	49	3,75	14	1,67	3 049,3	33,3
12:20	878	931,9	49	2,75	9	1,67	3 101,5	32,8
12:30	872	931,9	49	1,75	12	2,04	3 167,4	34,4
12:40	860	923,1	49	2,75	9	1,86	3 274,3	35,6
12:50	851	916,9	50	3,75	11	1,67	3 363,8	37,2
13:00	841	903,1	50	2,75	9	1,67	3 423,5	37,9
13:10	820	895,6	48	4,75	13,5	1,3	3 477	39,9
13:20	807	885,6	50	4,75	14	1,67	3 516,7	40,9
13:30	793	869,4	50	3,75	13	1,67	3 563,9	42,5
13:40	772	846,9	50	3,75	11	1,86	3 653,4	44,4
13:50	752	823,1	52	4,75	14	1,67	3 703,2	45,2
14:00	725	808,1	53	2,75	9	1,67	3 688,3	47,5
14:10	704	776,9	53	4,75	11,5	1,67	3 646	48,3
14:20	676	750,6	55	3,75	9	1,67	3 626,1	49,5
14:30	652	729,4	53	3,75	9	1,67	3 590	50,4
14:40	623	704,4	55	2,75	8	1,86	3 547,8	52,1

14:50	593	676,9	55	4,75	13	1,67	3 516,7	53,3
15:00	568	650,6	55	4,75	13	1,48	3 445,9	53,4
15:10	538	615,6	55	5,75	14	1,48	3 443,4	54,7
15:20	509	580,6	56	4,75	12	1,48	3 396,1	71,7
15:30	485	544,4	55	3,75	11	1,11	3 278,1	90,1
15:40	449	515,6	56	3,75	9	1,3	3 092,9	66,6
15:50	419	475,6	55	4,75	12,7	1,3	3 041,8	70,6
16:00	386	439,4	56	4,75	12	1,3	2 915	89

Fuente: Archivo propio. (2012)

Nota:

- Los datos en la **(Tabla 11)**, fueron obtenidos el día 07 de marzo del año 2012, de las 8 h a 16 h, con un cielo despejado.
- Los datos de las dos últimas columnas fueron obtenidos usando las Ecs.(44) y (45); para Q_u y η respectivamente.
- Para cualquier duda referente a las variables de la **(Tabla 11)**, puede consultar la nomenclatura de este trabajo de investigación.

Tabla 12: Datos experimentales del proceso de enfriamiento.

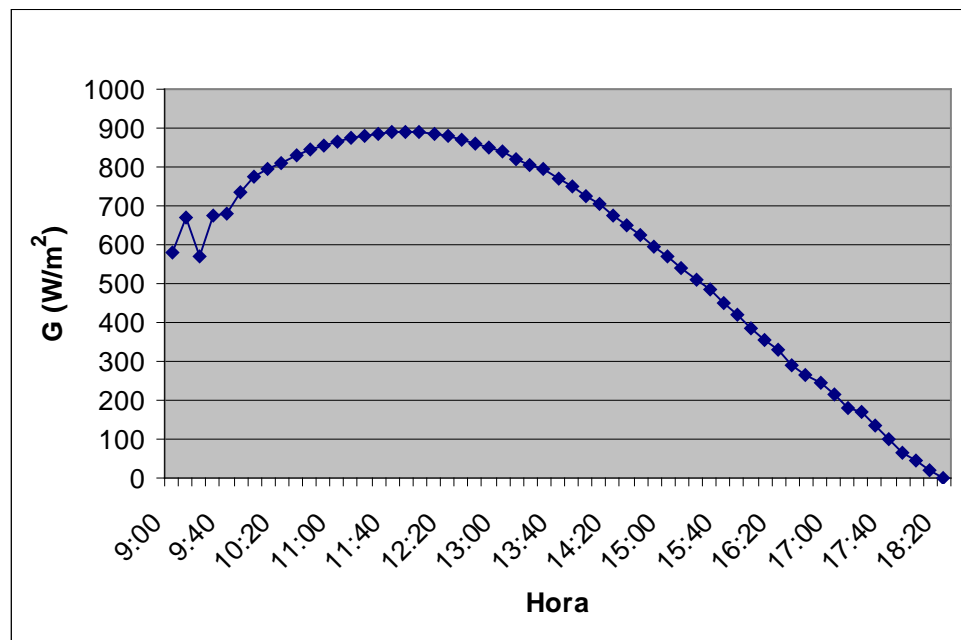
Hora	Ta(°C)	Tb(°C)	Tc(°C)	Td(°C)	Te(°C)	Tf(°C)	Tamb(°C)	Tacum(°C)
16:00	73,200	65,671	55,500	60,100	63,100	58,100	25,700	66,100
17:00	48,700	50,717	49,500	46,100	46,000	49,100	24,500	59,500
18:00	41,400	42,445	42,700	40,700	40,800	43,600	23,300	52,900
19:00	36,100	37,206	37,900	35,800	35,800	38,600	22,500	47,100
20:00	32,800	33,704	34,400	32,500	32,800	35,200	22,000	42,300
21:00	30,500	31,204	31,900	28,500	30,400	32,300	21,300	38,400
22:00	28,200	28,891	29,700	26,100	28,200	29,900	20,900	35,200
23:00	26,900	27,407	28,200	24,700	26,900	28,400	20,600	32,700
0:00	25,500	26,158	26,900	23,500	25,600	26,900	20,500	30,600
1:00	24,300	24,823	25,800	22,500	24,500	25,800	20,700	28,900
2:00	23,500	23,905	24,900	21,400	23,600	24,800	20,700	27,500
3:00	22,800	23,160	24,100	19,000	22,900	23,900	20,200	26,300
4:00	22,200	22,465	23,600	19,500	22,300	23,300	20,200	25,300
5:00	21,500	21,819	23,000	18,900	21,500	22,400	20,200	24,400
6:00	20,700	21,008	22,300	18,300	20,700	21,600	19,600	23,600

Fuente: Archivo propio. (2012)

Nota: Los datos en la **(Tabla 12)**, fueron tomados entre el 07 y 08 de marzo de 2012, de las 16 h a 6 h, para el proceso de enfriamiento del aire dentro de la sauna solar, se han registrado t horas después de haber concluido el proceso de calentamiento del aire, cubriendo el colector de sauna con una manta doble, evitando casi totalmente que la radiación solar incida sobre éste como se ve en la **(Figura 60)**; en otras palabras, el proceso de enfriamiento se ha realizado simulando días totalmente nublados para la sauna solar.

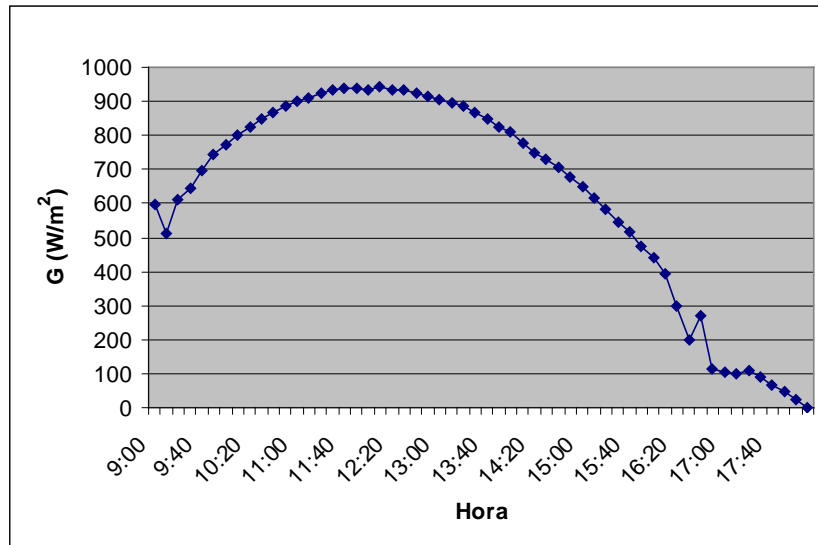
La expresión gráfica de los datos tabulados en la **(Tabla 11)**, está presentada en los siguientes nueve gráficos.

Figura 61: Radiación solar en función de la horas del día.



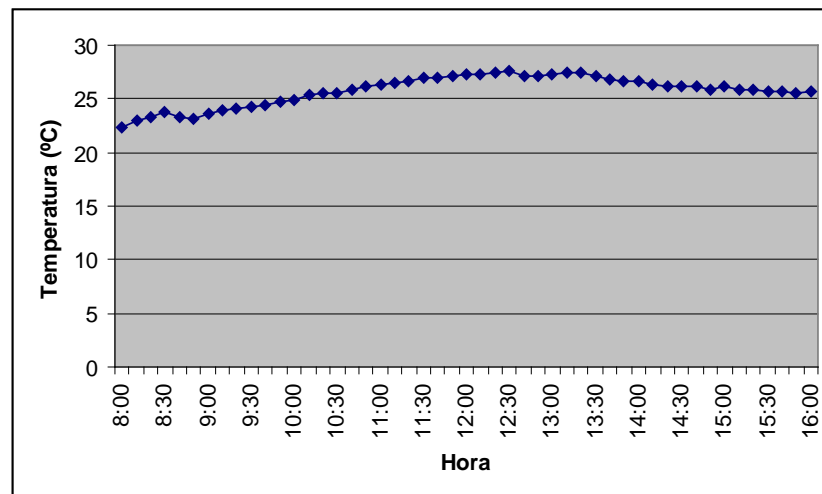
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 62: Radiación solar en el plano inclinado en función de las horas del día.



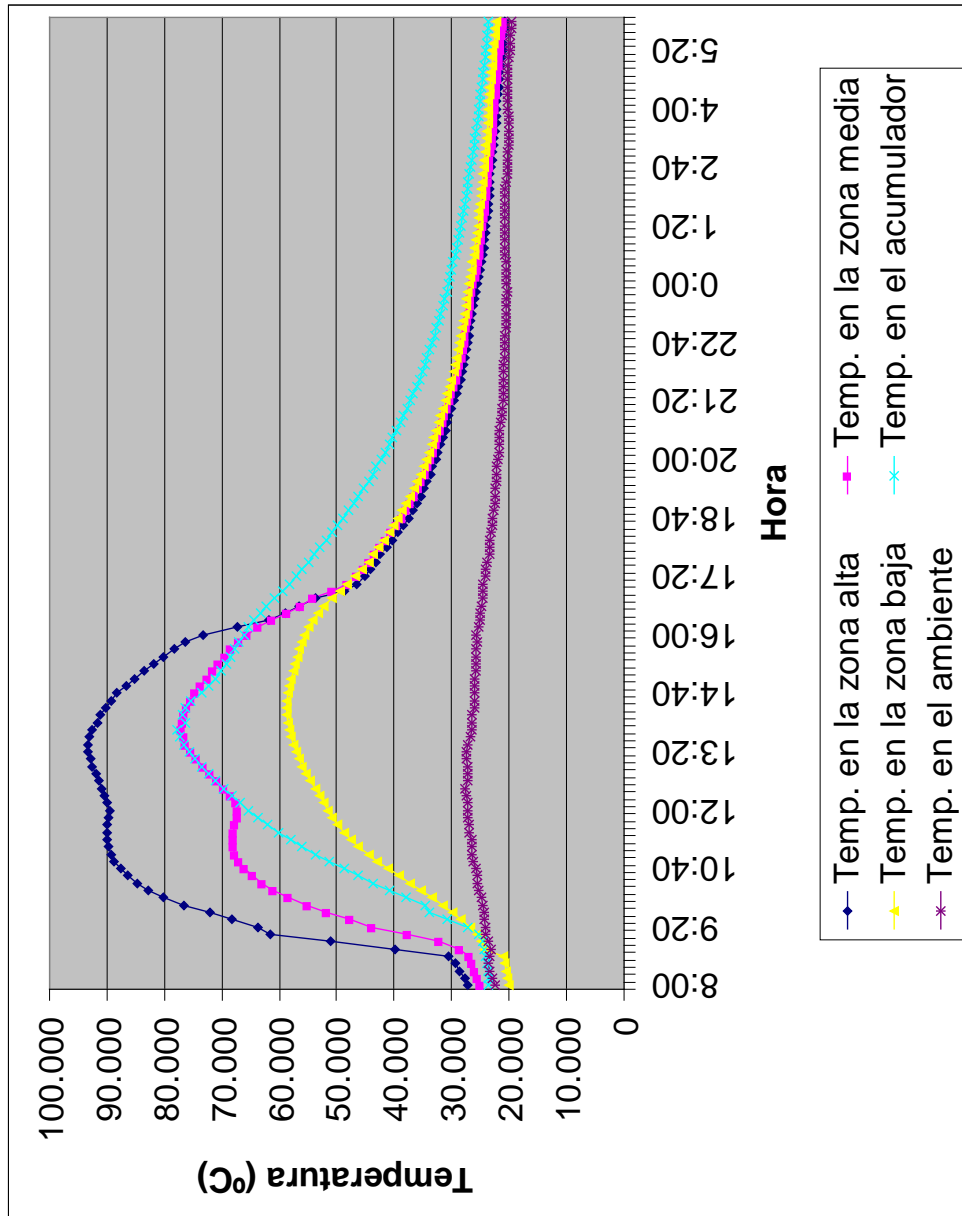
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 63: Temperatura ambiental en función de las horas del día.



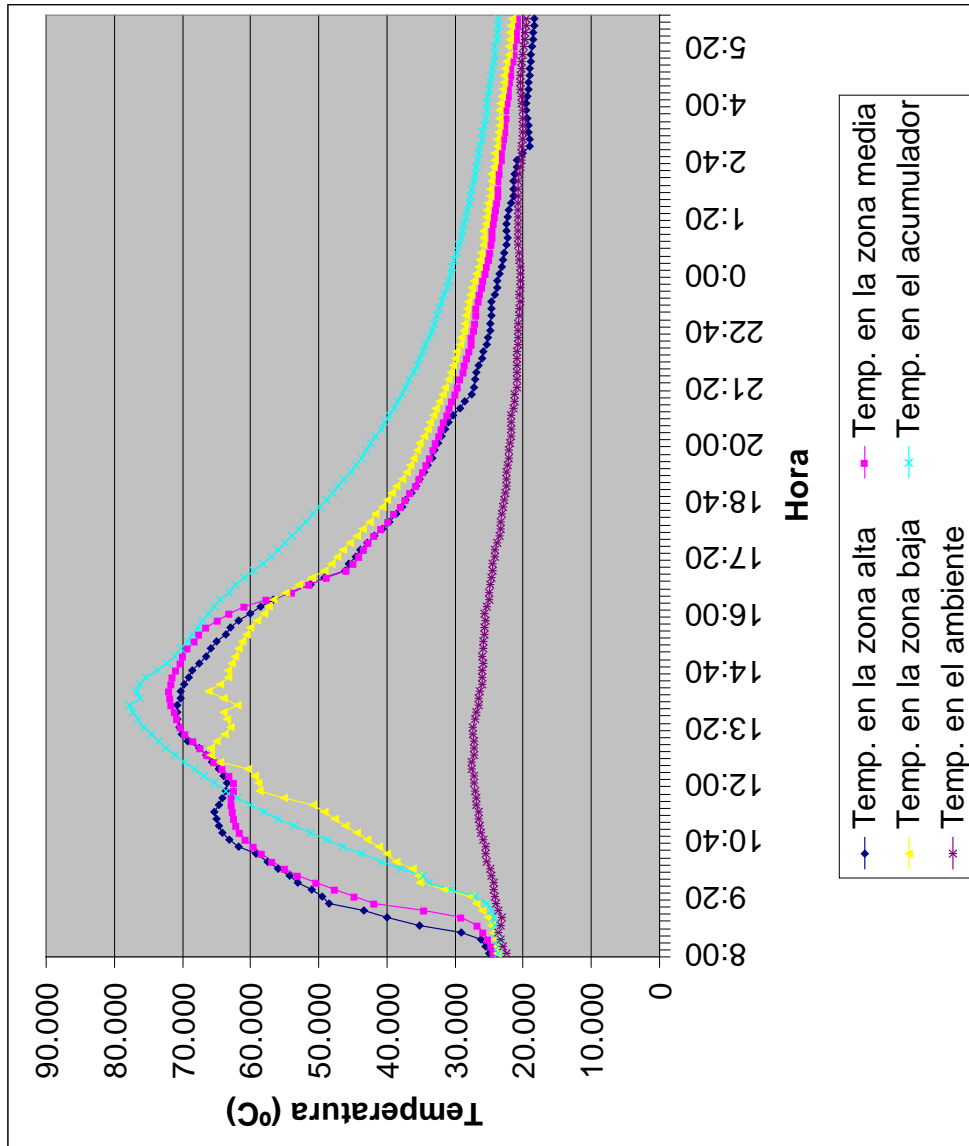
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 64: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja metálica en función de las horas del día.



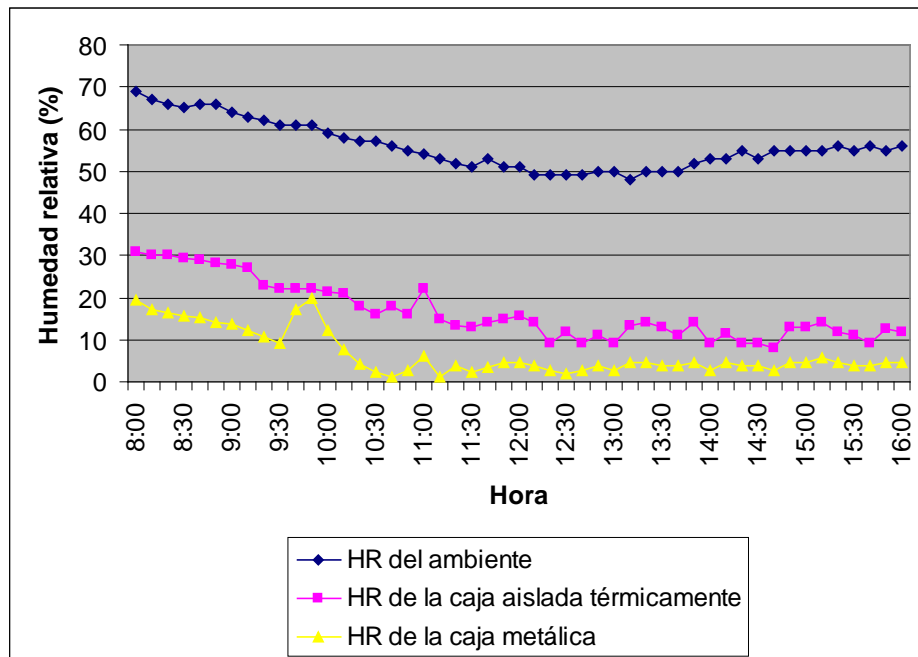
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 65: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja aislada térmicamente en función de las horas del día.



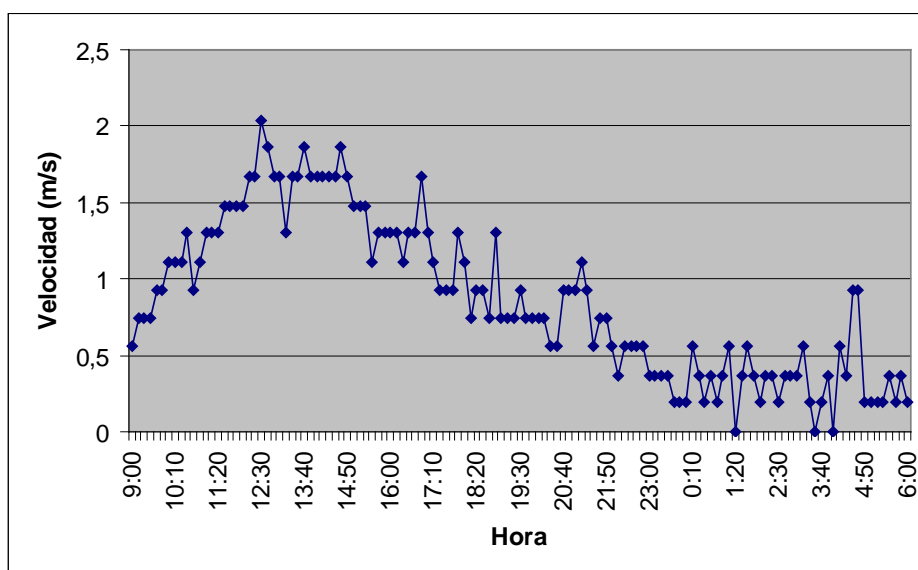
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 66: Humedad relativa en función de las horas del día.



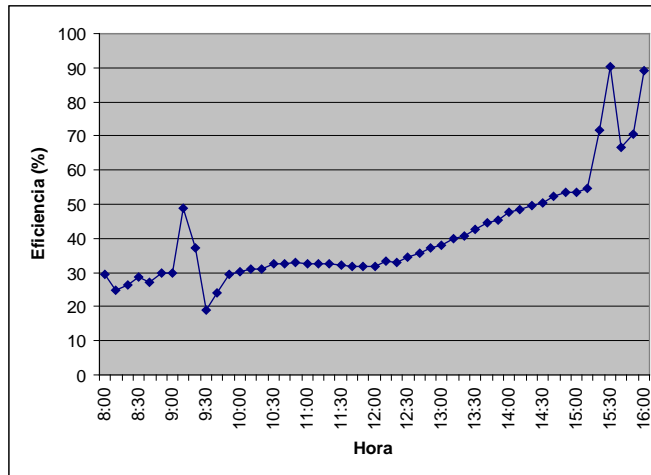
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 67: Velocidad del viento en función de las horas del día.



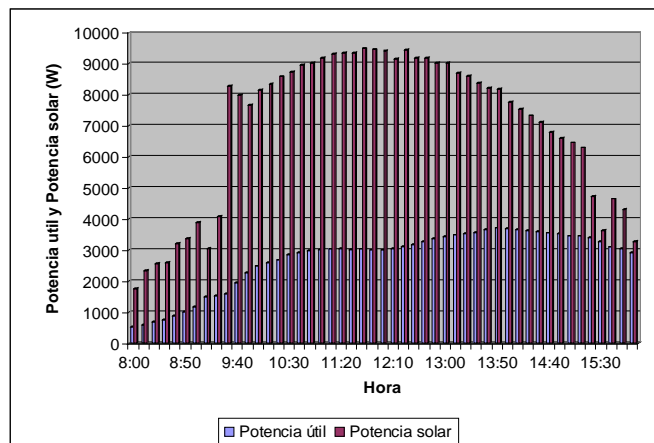
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 68: Eficiencia de la SSS con piedras pintadas de negro mate en función de las horas del día.



Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 69: Potencia útil y Potencia solar en función de las horas del día.



Fuente: Archivo propio. (2012)

Utilizando la Ec.(32) y los datos necesarios de la **(Tabla 11)**, nos queda que la eficiencia media diaria de la SSS con acumuladores de piedra pintada de negro mate, es:

$$\eta_d = 40.7\% \quad (48)$$

4.4.- Datos experimentales obtenidos con la SSS con acumuladores térmicos de agua contenida en botellas descartables. (Botellas de gaseosa de 2,5 y 3 lt, volumen total de 214 lt)



Figura 70: SSS como acumulador térmico el agua contenida en botellas descartables.

Fuente: Archivo propio. (2012)



Figura 71: Proceso de enfriamiento de la SSS como acumulador térmico el agua contenida en botellas descartables.

Fuente: Archivo propio. (2012)

Tabla 13: Datos experimentales del proceso de calentamiento.

Hora	Ta(°C)	Tb(°C)	Tc(°C)	Td(°C)	Te(°C)	Tf(°C)	Tamb(°C)	Tacum(°C)
8:00	28,700	25,100	23,000	25,400	24,600	24,000	20,900	23,400
8:10	29,000	25,700	23,300	25,600	25,000	23,800	21,100	23,400
8:20	29,100	26,000	23,500	26,400	25,400	24,000	21,400	23,500
8:30	30,500	26,500	23,700	28,100	26,100	24,300	21,800	23,500
8:40	34,800	28,100	24,000	36,400	28,200	25,100	22,200	23,600
8:50	40,800	30,800	24,500	40,200	31,100	25,800	22,200	23,700
9:00	48,400	33,900	25,200	42,600	34,800	26,900	22,200	23,900
9:10	56,000	38,000	26,100	46,300	39,800	28,100	22,600	24,100
9:20	59,700	41,600	27,300	47,100	42,700	29,100	22,700	24,500
9:30	70,400	47,300	28,800	51,800	48,900	34,600	23,200	25,200
9:40	74,800	52,400	30,600	54,900	52,400	36,900	23,400	26,200
9:50	79,100	56,600	32,500	57,300	55,000	34,300	23,300	27,200
10:00	81,300	59,400	34,600	59,500	56,800	38,600	23,600	28,300
10:10	83,300	61,400	36,400	61,900	58,600	41,000	23,800	29,500
10:20	85,000	62,900	38,400	63,800	60,000	42,500	24,000	30,800
10:30	86,100	64,300	40,200	65,900	60,800	44,200	24,200	32,000
10:40	87,100	65,400	42,000	66,900	61,900	45,200	24,400	33,400
10:50	88,100	66,200	43,600	67,600	62,900	45,700	24,700	34,700
11:00	88,800	66,700	45,100	68,000	63,500	46,900	25,100	36,000
11:10	88,900	66,600	46,400	67,900	63,300	48,200	25,200	37,300
11:20	89,100	66,500	47,600	68,100	63,500	49,200	25,300	38,700
11:30	89,100	66,300	48,500	67,900	63,300	50,300	25,700	40,000
11:40	89,000	65,900	49,300	67,200	63,100	51,300	25,900	41,300
11:50	88,700	65,400	49,800	66,700	62,900	52,300	26,200	42,500
12:00	88,800	65,400	50,300	67,000	63,400	52,700	26,500	43,700
12:10	89,200	66,000	50,600	67,800	63,900	52,900	26,800	44,900
12:20	89,700	67,000	51,000	69,000	64,400	53,800	26,900	46,200
12:30	90,000	68,000	51,500	69,000	65,100	54,500	26,900	47,400
12:40	90,400	68,900	51,900	69,100	65,900	54,800	26,900	48,500
12:50	90,800	70,100	52,300	69,100	66,700	55,400	26,800	49,700
13:00	90,700	70,700	52,900	68,600	67,000	54,800	26,600	50,800
13:10	90,900	71,300	53,300	68,500	68,100	54,300	26,700	51,800
13:20	91,200	71,800	53,700	68,200	68,700	54,400	26,600	52,800
13:30	90,900	72,200	53,900	67,400	68,600	54,600	26,700	53,700
13:40	90,300	72,300	54,000	67,000	68,500	54,500	26,100	54,400
13:50	89,900	72,100	54,000	66,600	69,000	52,800	26,100	55,000
14:00	89,400	71,600	54,000	66,500	68,800	55,000	25,900	55,500
14:10	88,200	70,700	54,000	66,200	68,800	55,200	25,900	56,000
14:20	87,200	70,100	53,800	66,500	68,800	51,600	25,900	56,200
14:30	86,300	69,400	53,500	66,300	68,500	50,500	25,800	56,300

14:40	84,900	68,600	53,200	65,400	67,700	50,000	25,700	56,300
14:50	83,200	67,800	53,000	63,800	66,800	49,700	25,300	56,300
15:00	81,500	66,800	52,800	62,700	65,600	49,400	25,100	56,200
15:10	79,800	65,700	52,400	63,000	64,400	49,000	24,800	56,000
15:20	77,800	64,400	51,900	61,900	63,100	48,600	24,700	55,700
15:30	75,800	63,100	51,300	60,600	62,500	48,200	24,800	55,400
15:40	73,900	61,900	50,800	59,500	61,200	48,600	24,600	55,200
15:50	71,900	60,700	50,500	58,500	59,800	48,200	24,600	55,000
16:00	69,200	59,300	50,000	54,700	58,000	48,900	24,500	54,700
16:10	65,500	57,300	49,400	53,300	54,500	49,700	24,100	54,500
16:20	59,500	54,800	48,700	51,400	51,700	48,100	24,000	54,200
16:30	52,900	52,100	47,800	48,400	47,800	47,400	23,800	53,800
16:40	49,300	49,500	46,700	43,700	45,200	45,600	23,400	53,400
16:50	46,800	47,200	45,400	41,900	43,000	43,700	23,000	52,800
17:00	43,700	44,400	44,000	39,700	40,700	41,900	22,900	52,100
17:10	41,300	41,900	42,600	38,600	39,000	40,300	22,400	51,300
17:20	39,800	40,300	41,200	38,000	38,100	39,500	22,200	50,600
17:30	38,700	39,200	40,100	37,300	37,400	38,800	22,100	50,000
17:40	37,700	38,200	39,000	36,100	36,500	37,900	21,700	49,400
17:50	36,700	37,300	38,100	35,400	35,700	37,200	21,500	48,700
18:00	35,900	36,400	37,200	34,800	35,100	36,400	21,200	48,100
18:10	35,100	35,600	36,300	34,200	34,300	35,800	20,900	47,400
18:20	34,400	34,900	35,600	33,400	33,700	35,200	20,700	46,800
18:30	33,800	34,400	35,000	33,200	33,400	34,900	20,600	46,200
18:40	33,300	33,900	34,500	32,900	33,000	34,500	20,400	45,600
18:50	32,900	33,500	33,900	32,600	32,600	34,100	20,300	45,000
19:00	32,600	33,100	33,500	32,300	32,400	33,900	20,200	44,500
19:10	32,300	32,800	33,200	32,000	32,100	33,600	20,200	43,900
19:20	32,000	32,500	32,800	31,600	31,800	33,400	20,200	43,500
19:30	31,700	32,200	32,500	31,600	31,700	33,100	20,200	43,000
19:40	31,500	32,000	32,200	31,200	31,400	32,800	20,100	42,500
19:50	31,200	31,800	32,000	31,000	31,200	32,500	20,100	42,100
20:00	31,100	31,500	31,700	30,900	31,100	32,400	20,200	41,600

Fuente: Archivo propio. (2012)

Nota:

- **Tacum:** Temp. del acumulador térmico en su parte media.
- Las variables de las temperaturas en este caso son: **Ta, Tb, Tc, Td, Te, Tf y Tamb;** tienen la misma puesta del caso anterior de la SSS con acumuladores térmicos de piedra pintada.

Continuación

Hora	G(W/m ²)	Gi(W/m ²)	Hamb(%)	Ha(%)	Hb(%)	V(m/s)	Q(W)	η(%)
8:00	279	93,1	74	25,25	30	0,93	484,81	48,9
8:10	412	81,9	73	25,25	29,75	0,56	529,56	44,4
8:20	517	103,1	71	23,25	29,25	0,74	587,96	40,1
8:30	560	576,9	69	21,75	29	0,37	666,28	40
8:40	654	503,1	69	19,75	28,5	0,74	719,75	42,9
8:50	517	340,6	68	18,25	28,3	0,93	774,43	41,8
9:00	504	629,4	69	16,75	27,5	0,74	817,98	47,3
9:10	569	406,9	67	15,25	24,5	0,74	849,01	48,8
9:20	441	839,4	66	12,25	22	0,74	881,38	44,9
9:30	866	349,4	64	9,75	20,5	0,56	931,06	37,8
9:40	808	765,6	64	6,75	19,5	0,93	1 023,1	35,3
9:50	773	769,4	65	4,75	21	1,11	1 169,7	24,9
10:00	779	790,6	63	2,25	16	1,11	1 543,9	17,6
10:10	787	814,4	62	3,25	18	0,93	2 047,4	39,7
10:20	803	833,1	62	4,75	13,5	0,93	2 240	25,6
10:30	818	850,6	61	4,25	13,5	0,93	2 533,5	29,8
10:40	830	869,4	60	2,75	11	0,93	2 736	30,7
10:50	844	886,9	58	3,75	12,5	0,74	2 903,9	31,7
11:00	853	899,4	58	1,25	7	1,3	3 010,8	32,5
11:10	862	910,6	58	2,25	8	1,3	3 069,2	33
11:20	868	918,1	56	4,75	4,5	1,11	3 096,6	33,2
11:30	871	933,1	56	5,75	7,5	1,11	3 182,4	33,6
11:40	876	938,1	56	4,75	6	1,11	3 099	32,8
11:50	878	943,1	54	1,75	3	1,11	3 095,3	32,5
12:00	876	944,4	53	1,75	1	0,93	3 104	32,5
12:10	869	940,6	52	4,75	8	0,93	3 145,1	32,8
12:20	866	938,1	53	2,75	1,5	1,3	3 173,6	33,4
12:30	858	939,4	53	2,75	1,5	1,3	3 204,7	34,3
12:40	849	930,6	53	3,75	5	1,3	3 278,1	35,3
12:50	837	913,1	54	2,75	2	1,67	3 337,7	36,5
13:00	823	904,4	54	2,75	2,3	1,48	3 393,7	37,9
13:10	806	891,9	53	1,75	4,8	1,48	3 452,1	39,3
13:20	792	878,1	54	5,75	9	1,67	3 453,3	40,1
13:30	771	853,1	54	4,75	11	1,86	3 491,9	41,4
13:40	750	831,9	56	2,75	4	1,86	3 519,2	43,2
13:50	733	809,4	56	5,75	9	1,3	3 535,4	44,3
14:00	709	784,4	57	6,75	10	1,67	3 511,7	45,9
14:10	684	760,6	56	4,75	9,5	1,48	3 440,9	47,4
14:20	659	733,1	56	5,75	10	1,11	3 403,6	47,8
14:30	632	709,4	55	6,75	13	1,48	3 357,6	48,9
14:40	606	679,4	57	6,75	14	1,48	3 301,7	49,9

14:50	577	654,4	58	3,75	9,5	1,48	3 239,5	51,4
15:00	546	613,1	58	7,75	12,4	1,3	3 178,6	53,1
15:10	513	589,4	59	4,75	9	1,48	3 171,2	56,7
15:20	482	558,1	58	4,75	8	1,48	3 041,8	55,9
15:30	450	525,6	59	6,75	10	1,3	2 979,7	58,9
15:40	416	486,9	59	5,75	8,5	1,3	2 897,7	61,4
15:50	382	451,9	60	4,75	7	1,3	2 820,6	64,7
16:00	346	81,9	61	5,75	9	1,3	2 693,8	67,5

Fuente: Archivo propio. (2012)

Nota:

- Los datos de la **(Tabla 13)**, fueron obtenidos el día 13 de marzo del año 2012, de las 8 h a 16 h, con cielo despejado.
- Los datos de las dos últimas columnas fueron obtenidos usando las Ecs.(44) y (45); para Q_u y η respectivamente.
- Para cualquier duda referente a las variables de la **(Tabla 13)**, puede consultar la nomenclatura de este trabajo de investigación.

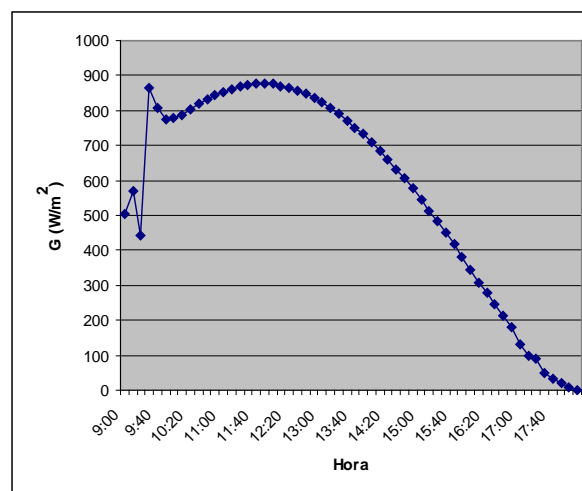
Tabla 14: Datos experimentales del proceso de enfriamiento.

Hora	Ta(°C)	Tb(°C)	Tc(°C)	Td(°C)	Te(°C)	Tf(°C)	Tamb(°C)	Tacum(°C)
16:00	69,200	59,300	50,000	54,700	58,000	48,900	24,500	54,700
17:00	43,700	44,400	44,000	39,700	40,700	41,900	22,900	52,100
18:00	35,900	36,400	37,200	34,800	35,100	36,400	21,200	48,100
19:00	32,600	33,100	33,500	32,300	32,400	33,900	20,200	44,500
20:00	31,100	31,500	31,700	30,900	31,100	32,400	20,200	41,600
21:00	29,900	30,400	30,600	29,700	30,000	31,000	20,700	39,200
22:00	28,300	28,800	29,300	27,700	28,100	29,200	20,200	37,200
23:00	27,300	27,700	28,000	27,200	27,300	28,400	20,200	35,200
0:00	26,900	27,200	27,500	26,700	26,900	27,800	20,400	33,700
1:00	26,300	26,600	26,900	26,000	26,300	27,000	19,800	32,400
2:00	25,600	25,900	26,200	25,300	25,600	26,300	19,900	31,100
3:00	24,900	25,200	25,500	24,700	24,800	25,600	19,700	30,100
4:00	24,400	24,600	25,000	24,100	24,300	25,000	19,700	29,100
5:00	23,900	24,200	24,700	23,600	24,600	24,500	20,000	28,200
6:00	23,600	23,900	24,300	23,500	24,300	24,300	20,200	27,500

Fuente: Archivo propio. (2012)

Nota: Los datos en la **(Tabla 14)**, fueron tomados entre el 13 y 14 de marzo de 2012, de las 16 h a 6 h, para el proceso de enfriamiento del aire dentro de la sauna solar, se han registrado t horas después de haber concluido el proceso de calentamiento del aire, cubriendo el colector de la sauna con una manta doble, evitando casi totalmente que la radiación solar incida sobre éste como se ve en la **(Figura 71)**; en otras palabras, el proceso de enfriamiento se ha realizado simulando días totalmente nublados. La expresión gráfica de los datos tabulados en la **(Tabla 13)**, está presentada en los siguientes nueve gráficos.

Figura 72: Radiación solar en función de las horas del día.

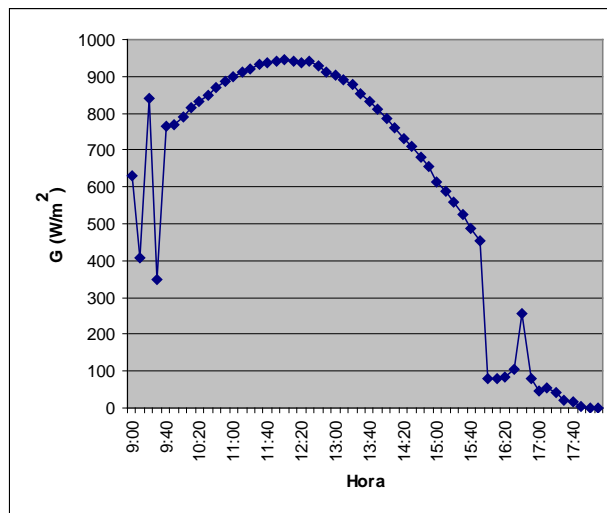


Fuente: Archivo propio. (2012)

El comportamiento en forma de campana de la radiación solar a durante el, establece que las condiciones para la evaluación de la sauna solar durante ese día son buenas, alcanzando aproximadamente una radiación máxima de $944,4 \text{ W/m}^2$, entre las doce horas.

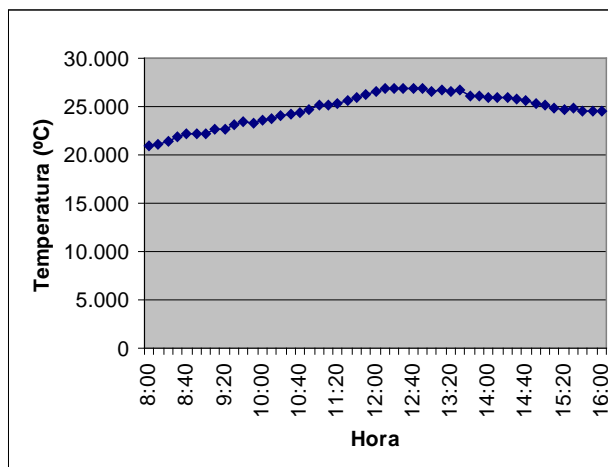
El comportamiento de las siguientes curvas es similar a sus respectivos del caso anterior, por lo que su interpretación también es similar.

Figura 73: Radiación solar en el plano inclinado en función de las horas del día.



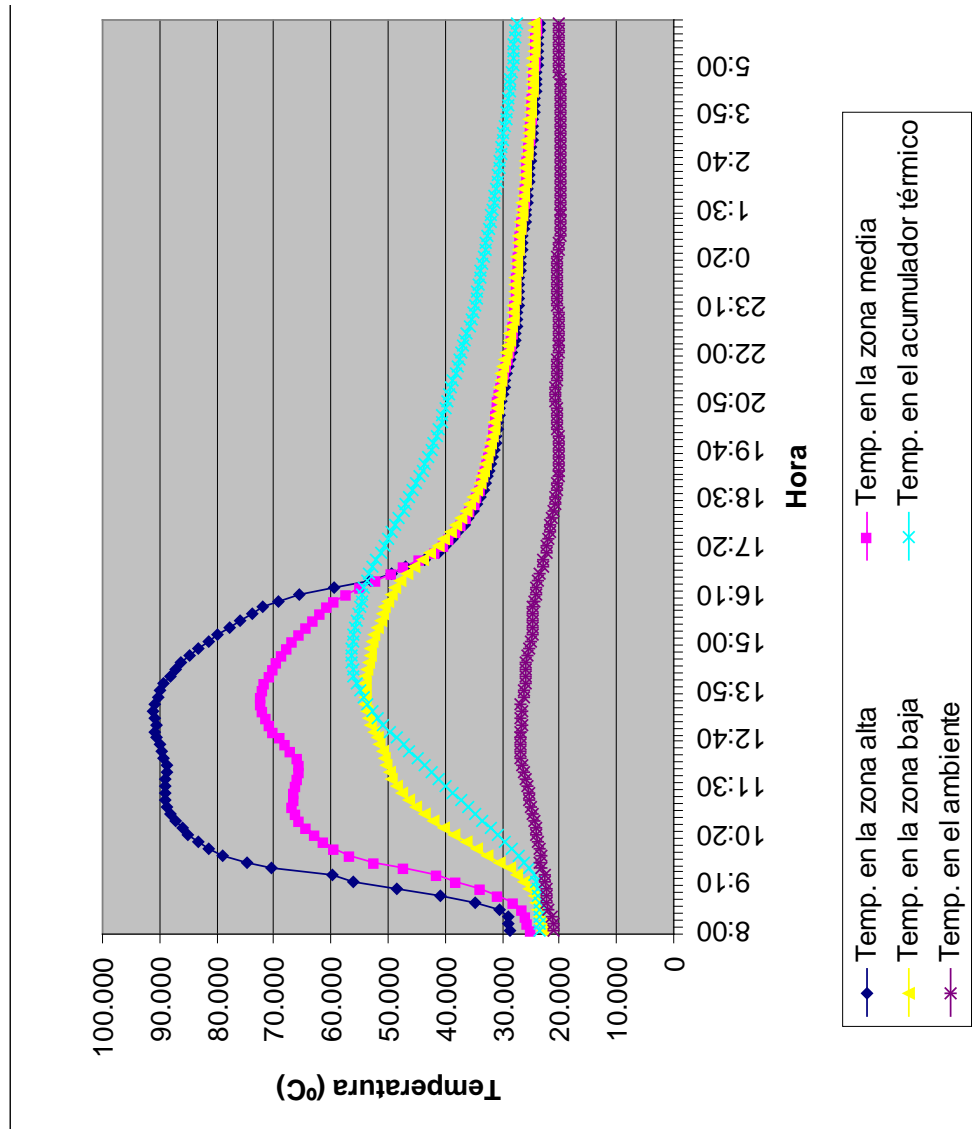
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 74: Temperatura del ambiente en función de las horas del día.



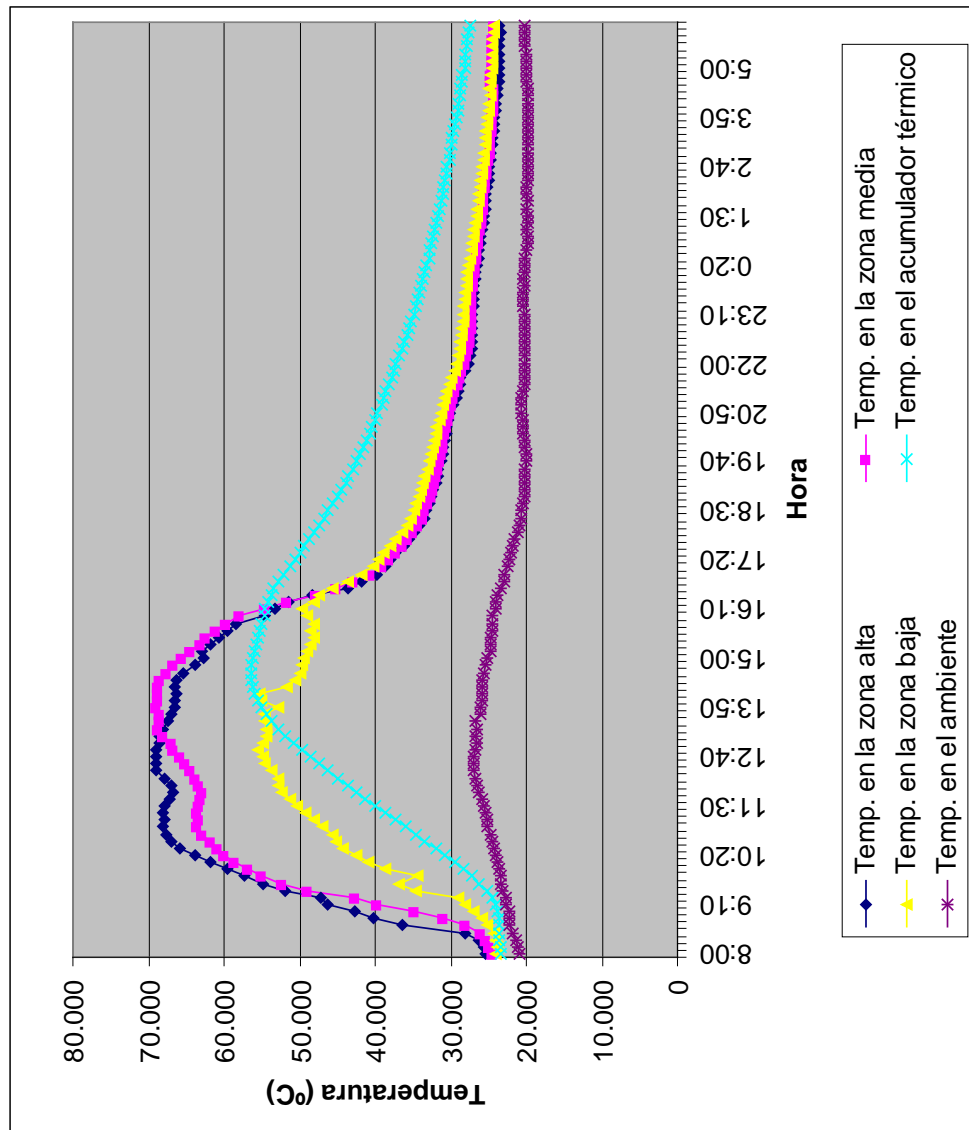
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 75: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja metálica en función de las horas del día.



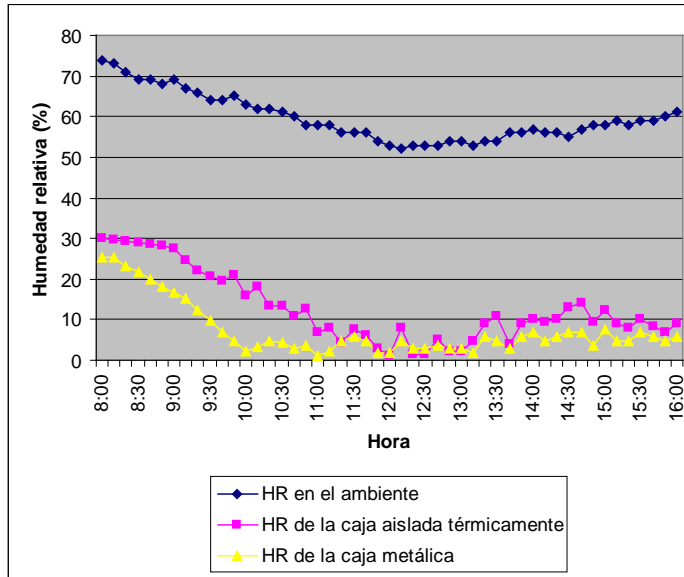
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 76: Curvas de calentamiento y enfriamiento en la caja aislada térmicamente en función de las horas del día.



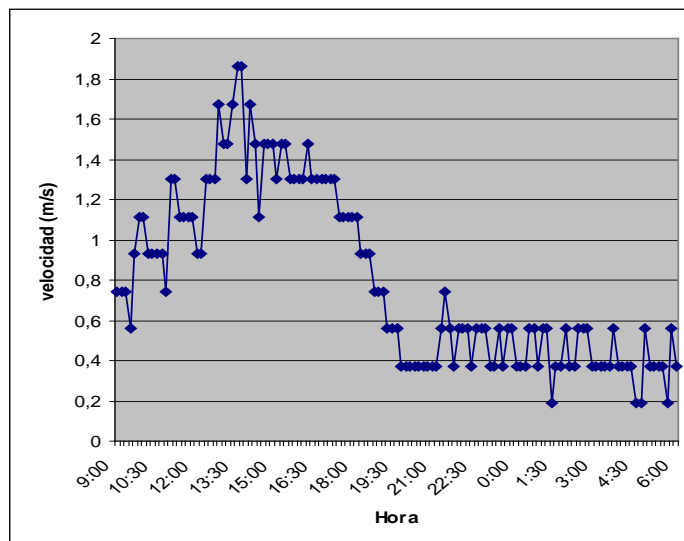
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 77: Humedad relativa en función de las horas del día.



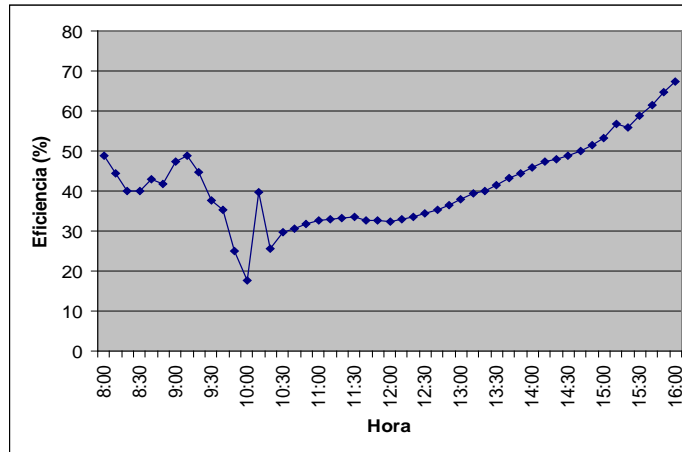
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 78: Velocidad del viento en función de las horas del día.



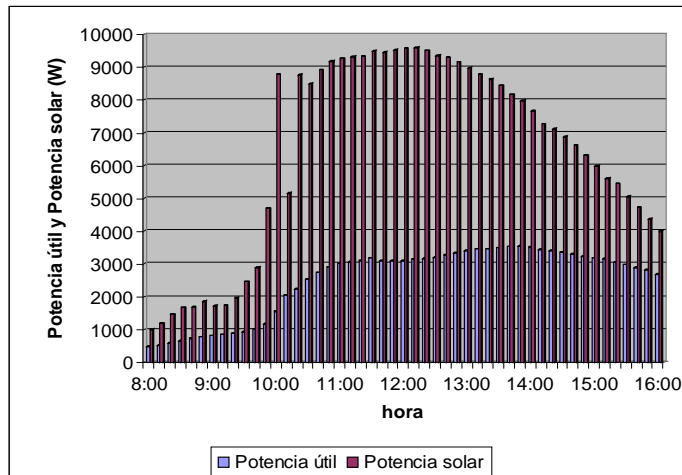
Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 79: Eficiencia media de la SSS con agua contenida en botellas en función de las horas del día.



Fuente: Archivo propio. (2012)

Figura 80: Potencia útil y Potencia solar en función de las horas del día.



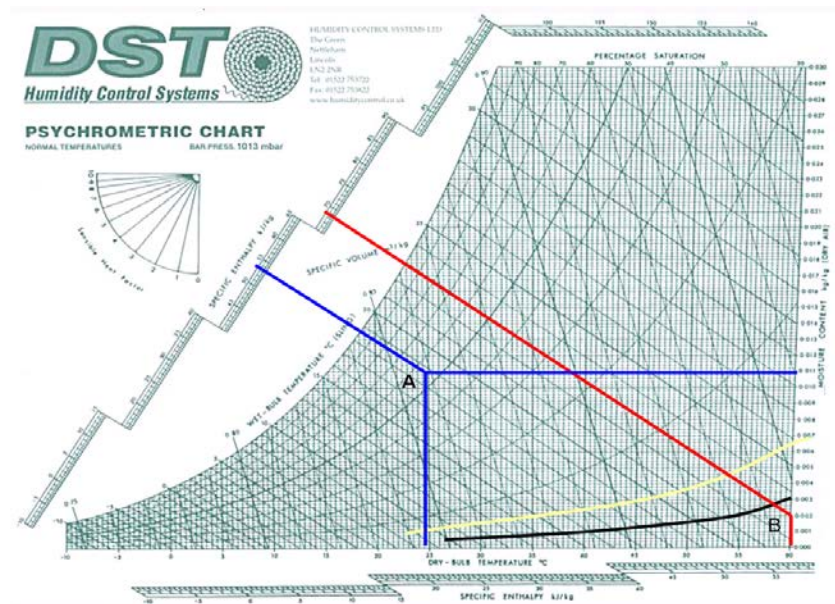
Fuente: Archivo propio. (2012)

Utilizando la Ec.(32) y los datos necesarios de la **(Tabla 13)**, nos queda que la eficiencia media diaria de la SSS con acumuladores de agua, es:

$$\eta_d = 41.4\% \quad (49)$$

4.5.- Análisis psicrometrico del aire en la caja absorbente.

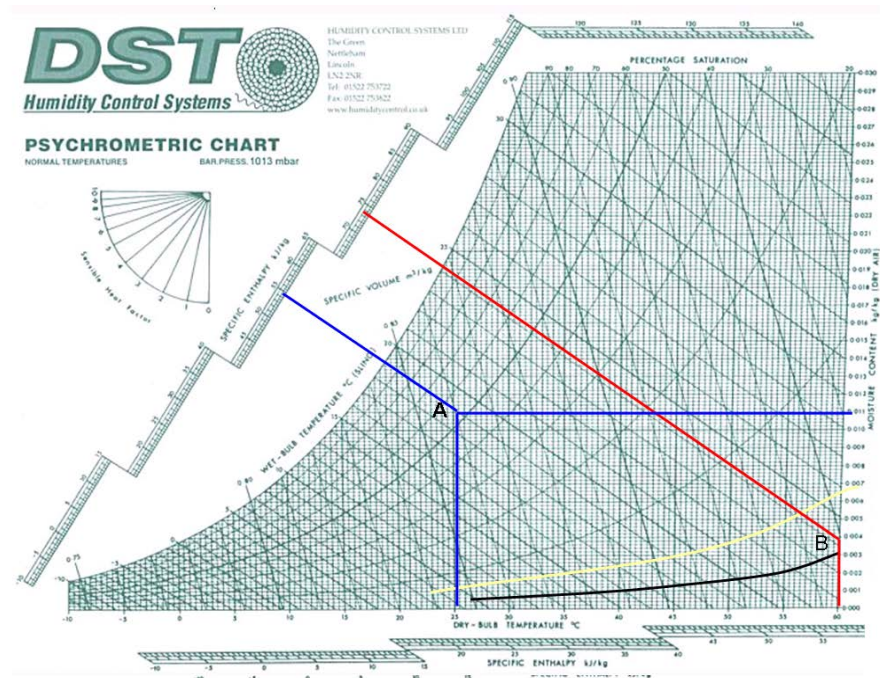
Figura 81: Entalpía útil de la SSS sin acumuladores térmicos. [25]



Nota:

- Punto "A" (líneas azules), representa el promedio de la temperatura ambiental de 24,49 °C, el punto cae en la curva de 54,3 % promedio de la humedad relativa del ambiente, (ver **Figura 81**). La respuesta sería una entalpía de 53 kJ/kg.
- Punto "B" (líneas rojas), representa el promedio de la temperatura del aire en la caja absorbente de 61,3 °C, el punto cae en la curva de 4,36 % promedio de la humedad relativa del aire en la caja absorbente. La respuesta sería una entalpía de 68 kJ/kg.
- La entalpía útil de la SSS es 15 kJ/kg, la diferencia entre B y A.

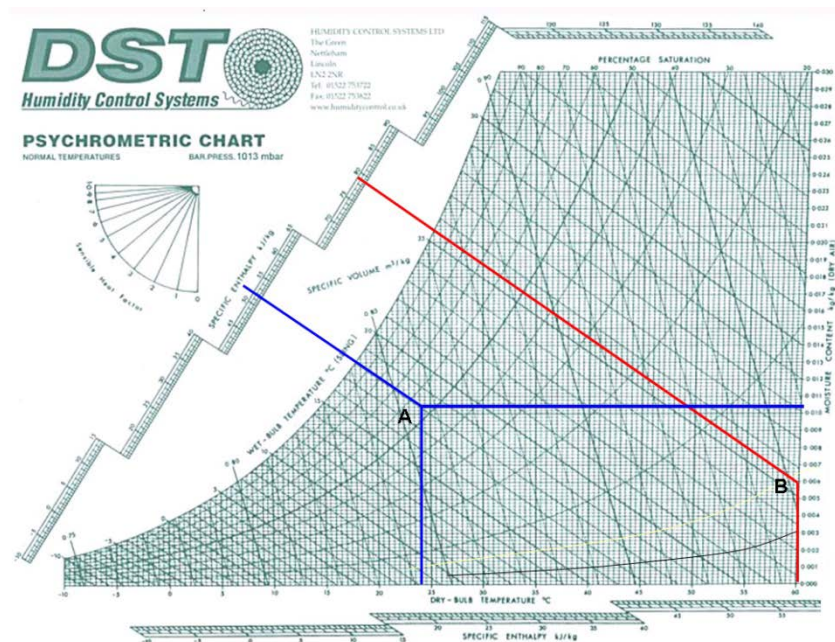
Figura 82: Entalpía útil de la SSS con acumuladores térmicos las piedras sin pintar. [25]



Nota:

- Punto "A" (líneas azules), representa el promedio de la temperatura ambiental de 25,75 °C, el punto cae en la curva de 55,8 % promedio de la humedad relativa del ambiente, (ver **Figura 82**). La respuesta sería una entalpía de 54 kJ/kg.
- Punto "B" (líneas rojas), representa el promedio de la temperatura del aire en la caja absorbente de 61,7 °C, el punto cae en la curva de 6,8 % promedio de la humedad relativa del aire en la caja absorbente. La respuesta sería una entalpía de 73 kJ/kg.
- La entalpía útil de la SSS es 19 kJ/kg, la diferencia entre B y A.

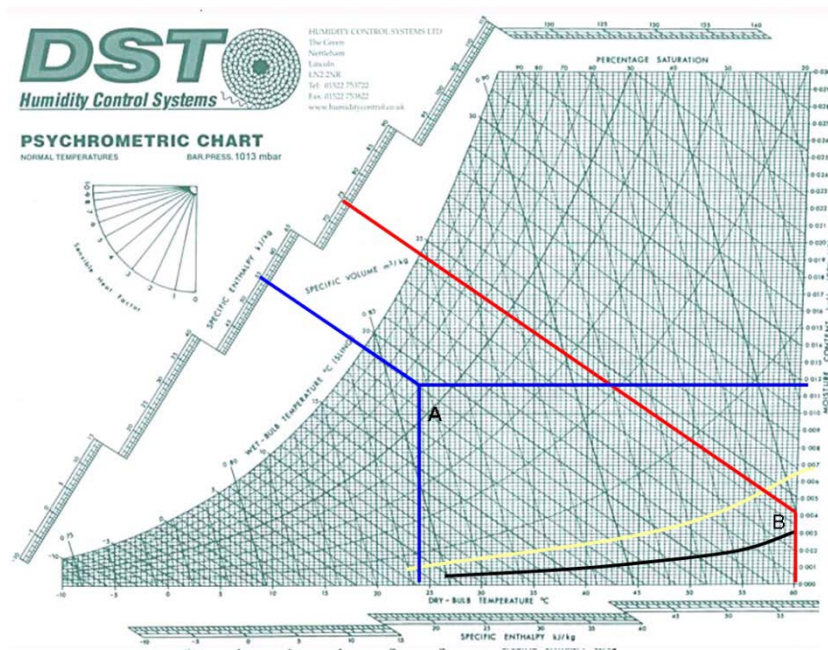
Figura 83: Entalpía útil de la SSS con acumuladores térmicos las piedras pintadas de negro mate. [25]



Nota:

- Punto "A" (líneas azules), representa el promedio de la temperatura ambiental de 24,08 °C, el punto cae en la curva de 52,5 % promedio de la humedad relativa del ambiente, (ver **Figura 83**). La respuesta sería una entalpía de 52 kJ/kg.
- Punto "B" (líneas rojas), representa el promedio de la temperatura del aire en la caja absorbente de 60,9 °C, el punto cae en la curva de 8,07 % promedio de la humedad relativa del aire en la caja absorbente. La respuesta sería una entalpía de 74 kJ/kg.
- La entalpía útil de la SSS es 22 kJ/kg, la diferencia entre B y A.

Figura 84: Entalpía útil de la SSS con acumuladores térmicos de agua contenida en botellas descartables. [25]



Nota:

- Punto "A" (líneas azules), representa el promedio de la temperatura ambiental de 24,74 °C, el punto cae en la curva de 59.6 % promedio de la humedad relativa del ambiente, (ver **Figura 84**). La respuesta sería una entalpía de 55 kJ/kg.
- Punto "B" (líneas rojas), representa el promedio de la temperatura del aire en la caja absorbente de 59,3 °C, el punto cae en la curva de 7,29 % promedio de la humedad relativa del aire en la caja absorbente. La respuesta sería una entalpía de 74 kJ/kg.
- La entalpía útil de la SSS es 19 kJ/kg, la diferencia entre B y A.

4.6.- Datos experimentales obtenidos de la radiación térmica de la caja metálica al interior de la SSS.

Tabla 15: Datos experimentales de la radiación térmica.

Hora	Sin acumuladores		Piedra sin pintar		Piedra pintada		Agua	
	E(W/m ²)	λ(m)	E(W/m ²)	λ(m)	E(W/m ²)	λ(m)	E(W/m ²)	λ(m)
8:00	450,86	9,6E-06	436,06	9,71E-06	446,68	9,7E-06	455,68	9,6E-06
8:10	458,1	9,6E-06	441,94	9,68E-06	450,26	9,6E-06	457,49	9,6E-06
8:20	479,07	9,5E-06	447,28	9,65E-06	455,07	9,6E-06	458,1	9,6E-06
8:30	551,89	9,2E-06	456,89	9,6E-06	459,92	9,6E-06	466,65	9,5E-06
8:40	628,85	8,9E-06	519,83	9,29E-06	467,26	9,5E-06	493,66	9,4E-06
8:50	673,04	8,7E-06	609,84	8,93E-06	527,2	9,3E-06	533,29	9,2E-06
9:00	719,53	8,6E-06	678,73	8,69E-06	606,09	8,9E-06	586,87	9E-06
9:10	748,9	8,5E-06	727,22	8,55E-06	688,56	8,7E-06	644,37	8,8E-06
9:20	730,66	8,5E-06	762,15	8,45E-06	707,69	8,6E-06	673,85	8,7E-06
9:30	788,24	8,4E-06	787,33	8,38E-06	746,28	8,5E-06	764,81	8,4E-06
9:40	828,16	8,3E-06	811,27	8,32E-06	780,07	8,4E-06	804,77	8,3E-06
9:50	838,61	8,2E-06	833,85	8,26E-06	822,5	8,3E-06	845,32	8,2E-06
10:00	851,09	8,2E-06	851,09	8,22E-06	856,9	8,2E-06	866,64	8,2E-06
10:10	889,37	8,1E-06	866,64	8,18E-06	882,4	8,1E-06	886,38	8,1E-06
10:20	909,49	8,1E-06	882,4	8,14E-06	901,4	8,1E-06	903,41	8,1E-06
10:30	920,7	8,1E-06	893,36	8,12E-06	918,65	8,1E-06	914,57	8,1E-06
10:40	930,98	8E-06	902,41	8,1E-06	929,95	8E-06	924,8	8E-06
10:50	939,26	8E-06	910,5	8,08E-06	941,35	8E-06	935,11	8E-06
11:00	953,9	8E-06	917,63	8,06E-06	946,56	8E-06	942,39	8E-06
11:10	948,65	8E-06	920,7	8,06E-06	951,8	8E-06	943,43	8E-06
11:20	954,95	8E-06	920,7	8,06E-06	953,9	8E-06	945,52	8E-06
11:30	960,22	8E-06	920,7	8,06E-06	953,9	8E-06	945,52	8E-06
11:40	963,4	8E-06	919,67	8,06E-06	954,95	8E-06	944,47	8E-06
11:50	963,4	8E-06	916,61	8,07E-06	951,8	8E-06	941,35	8E-06
12:00	964,46	8E-06	914,57	8,07E-06	949,7	8E-06	942,39	8E-06
12:10	967,64	8E-06	919,67	8,06E-06	954,95	8E-06	946,56	8E-06
12:20	969,77	8E-06	923,77	8,05E-06	959,17	8E-06	951,8	8E-06
12:30	971,9	7,9E-06	930,98	8,03E-06	965,52	8E-06	954,95	8E-06
12:40	971,9	7,9E-06	937,19	8,02E-06	970,83	8E-06	959,17	8E-06
12:50	971,9	7,9E-06	945,52	8E-06	975,1	7,9E-06	963,4	8E-06
13:00	974,03	7,9E-06	950,75	7,99E-06	981,53	7,9E-06	962,34	8E-06
13:10	971,9	7,9E-06	952,85	7,99E-06	985,84	7,9E-06	964,46	8E-06
13:20	971,9	7,9E-06	956	7,98E-06	990,15	7,9E-06	967,64	8E-06
13:30	974,03	7,9E-06	958,11	7,98E-06	991,24	7,9E-06	964,46	8E-06
13:40	979,39	7,9E-06	961,28	7,97E-06	986,91	7,9E-06	958,11	8E-06

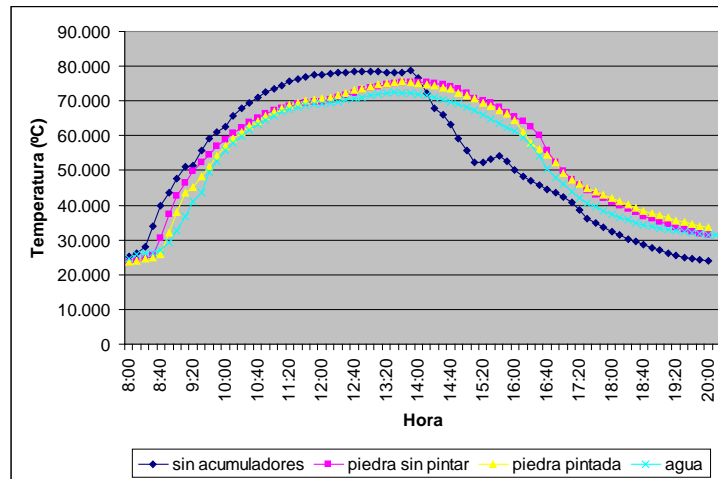
13:50	990,15	7,9E-06	959,17	7,97E-06	981,53	7,9E-06	953,9	8E-06
14:00	951,8	8E-06	956	7,98E-06	971,9	7,9E-06	948,65	8E-06
14:10	873,51	8,2E-06	950,75	7,99E-06	966,58	8E-06	936,15	8E-06
14:20	802,92	8,3E-06	944,47	8,01E-06	956	8E-06	925,83	8E-06
14:30	787,33	8,4E-06	936,15	8,02E-06	947,61	8E-06	916,61	8,1E-06
14:40	754,18	8,5E-06	925,83	8,05E-06	938,23	8E-06	902,41	8,1E-06
14:50	703,5	8,6E-06	913,55	8,07E-06	919,67	8,1E-06	885,38	8,1E-06
15:00	661,78	8,8E-06	892,36	8,12E-06	904,42	8,1E-06	868,6	8,2E-06
15:10	631,93	8,9E-06	871,54	8,17E-06	889,37	8,1E-06	852,06	8,2E-06
15:20	648,3	8,8E-06	862,73	8,19E-06	872,53	8,2E-06	832,9	8,3E-06
15:30	674,66	8,7E-06	852,06	8,21E-06	856,9	8,2E-06	814,07	8,3E-06
15:40	696,83	8,6E-06	846,28	8,23E-06	837,66	8,2E-06	796,47	8,4E-06
15:50	674,66	8,7E-06	812,2	8,31E-06	819,68	8,3E-06	778,27	8,4E-06
16:00	641,25	8,8E-06	790,07	8,37E-06	790,07	8,4E-06	754,18	8,5E-06
16:10	620,43	8,9E-06	776,46	8,41E-06	737,57	8,5E-06	722,09	8,6E-06
16:20	605,34	8,9E-06	754,18	8,47E-06	691,86	8,7E-06	672,24	8,7E-06
16:30	593,47	9E-06	717,83	8,57E-06	667,4	8,7E-06	620,43	8,9E-06
16:40	584,68	9E-06	657	8,77E-06	649,09	8,8E-06	593,47	9E-06
16:50	576,71	9,1E-06	613,6	8,92E-06	627,31	8,9E-06	575,27	9,1E-06
17:00	561,72	9,1E-06	591,26	0,000009	589,06	9E-06	553,28	9,2E-06
17:10	547,02	9,2E-06	570,25	9,08E-06	573,11	9,1E-06	536,7	9,2E-06
17:20	526,53	9,3E-06	558,19	9,13E-06	563,84	9,1E-06	526,53	9,3E-06
17:30	502,05	9,4E-06	549,1	9,17E-06	556,78	9,1E-06	519,16	9,3E-06
17:40	490,46	9,4E-06	541,5	9,2E-06	550,49	9,2E-06	512,53	9,3E-06
17:50	482,21	9,5E-06	533,29	9,24E-06	544,25	9,2E-06	505,96	9,4E-06
18:00	474,07	9,5E-06	527,2	9,26E-06	537,38	9,2E-06	500,76	9,4E-06
18:10	467,88	9,5E-06	519,83	9,29E-06	530,58	9,2E-06	495,59	9,4E-06
18:20	461,75	9,6E-06	513,85	9,32E-06	523,17	9,3E-06	491,1	9,4E-06
18:30	456,28	9,6E-06	506,62	9,35E-06	517,17	9,3E-06	487,28	9,4E-06
18:40	450,86	9,6E-06	500,11	9,38E-06	511,21	9,3E-06	484,11	9,5E-06
18:50	445,49	9,7E-06	495,59	9,41E-06	506,62	9,4E-06	481,58	9,5E-06
19:00	441,35	9,7E-06	489,82	9,43E-06	502,05	9,4E-06	479,7	9,5E-06
19:10	437,23	9,7E-06	485,37	9,46E-06	497,52	9,4E-06	477,82	9,5E-06
19:20	433,15	9,7E-06	480,33	9,48E-06	493,66	9,4E-06	475,94	9,5E-06
19:30	430,25	9,7E-06	476,57	9,5E-06	490,46	9,4E-06	474,07	9,5E-06
19:40	427,36	9,8E-06	472,83	9,52E-06	486,64	9,4E-06	472,83	9,5E-06
19:50	425,64	9,8E-06	469,73	9,53E-06	484,11	9,5E-06	470,97	9,5E-06
20:00	423,92	9,8E-06	466,65	9,55E-06	480,96	9,5E-06	470,35	9,5E-06

Fuente: Archivo propio. (2012)

Nota:

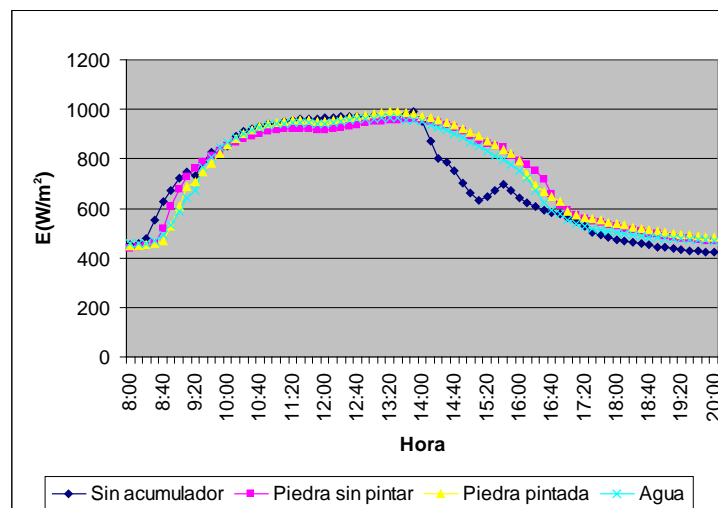
- Los datos de la (Tabla 15), fueron obtenidos usando las Ecs.(75) y (77); para $\lambda(m)$ y $E(W/m^2)$ respectivamente.

Figura 85: Temperatura promedio de la caja metálica en función de las horas del día.



Fuente: Archivo propio. (2012)

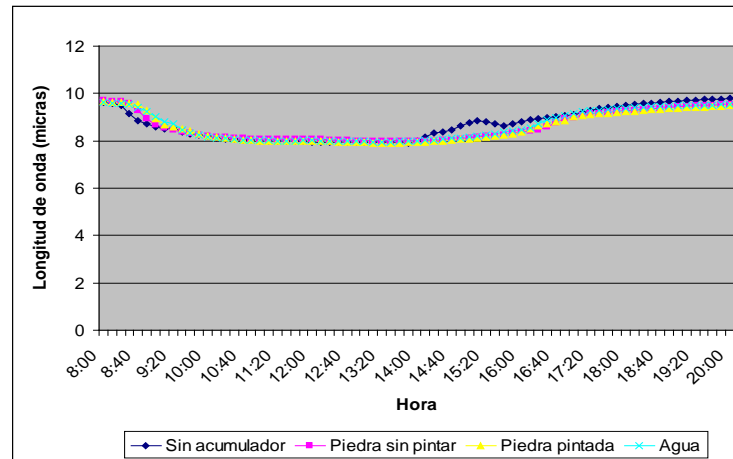
Figura 86: Potencia emisiva de la caja metálica en función de las horas del día.



Fuente: Archivo propio. (2012)

Nota: Cualquier duda referente a la potencia emisiva y a la longitud de onda de la radiación térmica, ver el anexo N° 2.

Figura 87: Longitud de onda de la radiación térmica en función de las horas del día.



Fuente: Archivo propio. (2012)

4.7.- Cuadro resumen de los resultados

Los principales resultados de toda esta evaluación están resumidos en la (Tabla 16).

Tabla 16: Resultados experimentales de la SSS.

	SSS sin acumuladores	SSS con acumuladores de piedra sin pintar	SSS con acumuladores de piedra pintada de negro mate	SSS con acumuladores de agua contenida botellas descartables
η_d [%]	38,7	38,1	40,7	41,4
Temperatura máxima alcanzada en la SSS [°C]	77,46	75,04	76,99	72,3
Longitud de onda mínima y máxima de la radiación térmica en la caja metálica al interior [µm]	9,8 a 7,9	9,55 a 7,97	9,5 a 7,9	9,5 a 8
Potencia emisiva mínima y máxima de la caja metálica al interior [W/m ²]	423,91 a 990,15	436,06 a 961,28	446,68 a 991,24	455,68 a 967,64

Fuente: Archivo propio. (2012)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

a) Conclusiones

- Se determinó que la eficiencia media diaria de la SSS con acumuladores térmicos de piedra pintada de negro mate, piedra sin pintar, agua contenida en botellas descartables y sin acumulador térmico, dicho resultado corresponde a 40,7 %; 38,1 %; 41,4 % y 38,7 % respectivamente, entre las 8 h a 16 h.
- En la SSS con acumuladores térmicos, tiene una caída de la curva térmica entre las 17 h y 18 h y sin acumulador entre las 14 h y 15 h, como se divisa en la **(Figura 85)**, por lo tanto, la hipótesis es asumida como verdadera.
- Se determinó que la temperatura máxima en el interior de la caja metálica de la SSS con acumuladores térmicos de piedra pintada, piedra sin pintar, agua y sin acumulador, dicho resultado corresponde a 76,99 °C; 75,04 °C; 72,3 °C y 77,46 °C con una radiación solar de 823,1 W/m²; 841,9 W/m²; 831,9 W/m² y 838,1 W/m² respectivamente.
- Se determinó que la humedad relativa mínima en el interior de la caja metálica de la SSS con acumuladores térmicos de piedra pintada, sin pintar, agua y sin acumulador, dicho resultado corresponde a 1,67 %; 1,75 %; 1,75 % y 1,25 % respectivamente.
- Los datos experimentales muestran que la radiación térmica de la caja metálica al interior, en los cuatro casos corresponde una longitud de onda que oscila entre (9,8 μm a 7,97 μm) y una potencia emisiva que oscila entre (423,91 W/m² a 991,24 W/m²) durante las 8 h a 20 h, este resultado sugiere que la integración entre la SSS y la cabina de radiación infra-roja es viable.

b) Recomendaciones

- Para el diseño del área de recepción de la radiación solar se debe tener en cuenta, que el ancho sea mayor que el largo, según el desplazamiento del sol de este a oeste, para lograr mayores temperaturas durante todo el día.
- El soporte del vidrio sea un material no conductor para evitar pérdidas.
- Localizar todas las posibles fugas de calor, para mejorar el aprovechamiento del efecto invernadero.
- Tener en cuenta para el diseño los cambios meteorológicos de lugar, como: lluvia, nieve, etc., a efectos de evitar fugas e infiltramientos.
- Colocar la caja metálica en la zona media del la caja aislada térmicamente para evitar mayores pérdidas de calor.
- Para experimentos posteriores, se recomienda utilizar como material aislante: lana de cordero, alpaca, etc.

REFERENCIAS

Referencias bibliográficas

- [1]. Acero Laura Gohnny, 2011, Diseño, Construcción y Caracterización de una Sauna Solar Seco, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Practicas Pre-Profesionales.
- [2]. Asociación Internacional para la Protección contra las Radiaciones (IRPA), 1985, Guidelines for limits of human exposure to laser radiation, *Health Phys* 48(2), 341-359.
- [3]. Arata, A., Salazar, L., Estudio experimental de colectores-invernaderos para el calentamiento del aire, 1989, Informe de VI Reunión de Trabajo Proyecto de Secado Solar, CYTED-D. Cartagena, Colombia.
- [4]. Arata, A., scheggia, I., Estudio experimental de calentador solar de aire para secadores horto-frutícolas, 1988, Universidad Téc. Federico Santa Maria, V Seminario Nacional de Energía eólica, Santiago, Chile.
- [5]. Colman J. P., Transferencia de calor, 1999, Editorial Mcgraw-hill/interamericana S.A., Octava edición, España.
- [6]. Colman J. P., Transferencia de calor, 1991, Compañía Editorial Continental S.A., Primera Edición, México.
- [7]. Chassériaux J.M., Conversión térmica de la radiación solar, 1990, Librería agropecuaria S.A., primera edición, Buenos Aires – Argentina.
- [8]. Delgado, E., Peralta, J., Barriga, A., guerrero, V., Diseño de cocinas solares para la aplicación en sectores rurales del Ecuador: Proyecto de investigación de FUNDACYT “PIC-210”.

- [9]. Duffie John y Beckman William, Solar engineering of thermal processes, 1991, Editorial John Wiley y Sons, INC, Segunda edición, EE.UU.
- [9]. Fernández Díez Pedro, 2005, Procesos termosolares en baja, media y alta temperatura, Universidad de Cantabria, Primera edición, España.
- [10]. Fernández Díez Pedro, 2005, Ingeniería térmica y fluidos, Universidad de Cantabria, Primera edición, España.
- [11]. Galarza, C., Polo, C., Rivasplata, C. y Gonzales, M., El secado de orégano, en Teoría y prácticas del secado solar, 1988, III Seminario de secado solar, Proyecto de secado solar, Universidad Nacional de ingeniería, Lima, Perú.
- [12]. Howell John R. y Buckius Richard O., Principios de termodinámica para ingeniería, 1999, Editorial McGraw-hill interamericana de México S.A., Octava Edición; México.
- [13]. Karlekar B.V., Desmond R.M., TRANSFERENCIA DE CALOR, 1995, Editorial McGraw – Hill, Segunda edición, México.
- [14]. Organización Mundial de la Salud (OMS), 1981, *Radiofrequency and microwaves*, Environmental HealthCriteria, No.16, Ginebra: OMS.
- [15]. Ordóñez Miranda Edilberto José, 2004, Construcción y Evaluación de una Terma Solar Tipo Termosifón de Colector de Placa Plana con Rejillas de Cobre, PVC y CPVC, Universidad Nacional Agraria La Molina, Tesis.
- [16]. Vennard John K. y Street Robert L., Elementos de la mecánica de Fluidos, 1979, Compañía Editorial Continente S.A., 2da edición, México.

Referencias electrónicas

- [17]. Energía solar. Obtenido en octubre 2011 del Centro de estudios de la energías solar.
<http://www.censolar.es>.
- [18]. Cabina infra-roja. Obtenido en octubre 2011 de Inbeca Wellness Equipment.
<http://www.inbeca.com>.
- [19]. Energía solar. Obtenido en octubre 2011 del instituto de energía solar.
<http://www.ies.upm.es>.
- [20]. Energías renovables. Obtenido en enero 2012 de desarrollo sostenible.
<http://www.dsostenible.com.ar>.
- [21]. Sauna. Obtenido en enero 2012 de la Empresa Sodromar. <http://www.sodromar.com.br>.
- [22]. Procesos termosolares en baja, media y alta temperatura. Obtenido en enero 2012 de la Universidad de Cantabria. <http://www.termica.webhop.info/>
- [23]. Energía solar. Obtenido en marzo 2012.
<http://www.economiadelaenergia.com>.
- [24]. Instalación solar. Obtenido en marzo 2012.
<http://www.energiasolar.com>.
- [25]. Cartas psicrometricas. Obtenido en marzo 2012 de Valcon.
<http://www.valycontrol.com.mx>.

ANEXOS

Anexo 1: Balance energético de la SSS

El balance energético nos permite encontrar la distribución de energía solar incidente sobre la SSS, su transformación en energía útil y las pérdidas térmicas. Para un intervalo de tiempo dt , el **principio de conservación de la energía** aplicado a una SSS, establece que:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Energía} \\ \text{Incidente} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Energía} \\ \text{útil} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Energía} \\ \text{almacenada} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Energía} \\ \text{perdida} \end{array} \right\}$$

$$Q_{\text{incidente}} dt = Q_u dt + Q_p dt + dE \quad (50)$$

$$Q_{\text{incidente}} dt = Q_u + Q_p + \frac{dE}{dt}$$

- **Energía incidente:** Es la energía solar incidente.
- **Energía útil:** Es la energía calorífica de aire en el interior de la caja metálica.
- **Energía almacenada:** Energía absorbida por el acumulador térmico, la caja metálica más la energía absorbida por las paredes laterales y piso del interior de la caja aislada térmicamente.
- **Energía perdida:** Energía perdida por conducción, convección y radiación.

Si “ G ” es la radiación solar total sobre el plano inclinado de la SSS y “ A ” su área, entonces la eficiencia instantánea de la SSS, es:

$$\eta = \frac{Q_u}{GA} \quad (51)$$

Mientras que la eficiencia media durante un intervalo de tiempo dado, es:

$$\eta_d = \frac{\sum \eta_i \cdot G_i}{\sum G_i} \quad (52)$$

Donde las eficiencias instantáneas η_i , están dados por la Ec.(51).

Antes de continuar es conveniente introducir el concepto de *Eficiencia Óptica*, η_0 , dado que la energía absorbida por la SSS depende de sus propiedades ópticas, ésta queda definida por:

$$\eta_0 = \frac{Q_{abs}}{GA} = \frac{q_{abs}}{G} \quad (53)$$

Para fines prácticos, es posible hacer las siguientes suposiciones, las cuales no están muy alejadas de la realidad.

- El funcionamiento de la SSS se realiza en estado cuasi-estacionario.
- Las propiedades ópticas de la SSS son independientes de la temperatura.
- El flujo de calor es unidireccional.

De esta forma, la Ec.(50), toma la forma:

$$GA\eta_0 = Q_p + Q_u + \frac{dE}{dt} \quad (54)$$

El cálculo de η_0 , Q_u , Q_p y dE/dt puede realizarse como sigue:

1.-Cálculo de η_0

Si τ , es la coeficiente de transmisión del vidrio, α el de absorción del absorbedor y ρ_d el de reflexión del vidrio para luz difusa, ya que refleja en todas las direcciones hacia el interior del colector, entonces la distribución de energía sobre la SSS es como lo muestra la, (**Figura 86**).

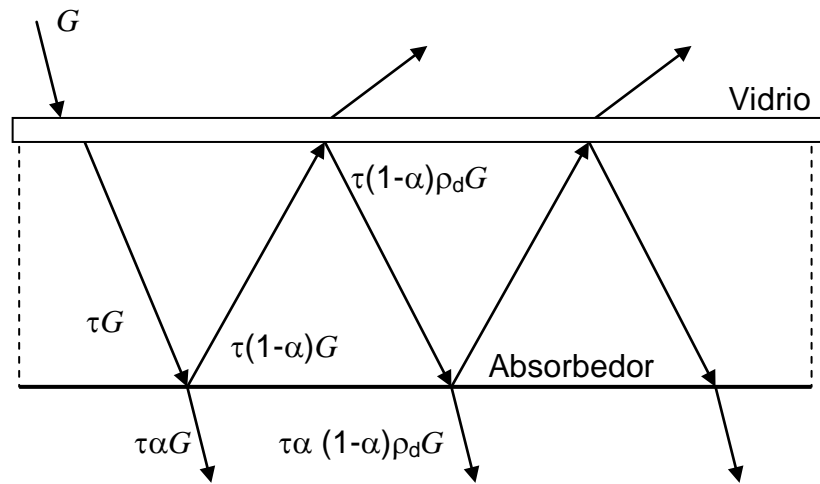


Figura 88: Distribución óptica de la energía dentro de la SSS.

Fuente: Archivo propio. (2012)

$$q_{abs} = \tau\alpha G + \tau\alpha(1-\alpha)\rho_d G + \tau\alpha(1-\alpha)^2 \rho_d^2 G + \dots$$

$$q_{abs} = \tau\alpha G \left[1 + (1-\alpha)\rho_d + (1-\alpha)^2 \rho_d^2 + \dots \right]$$

$$q_{abs} = \frac{\tau\alpha G}{1 - (1-\alpha)\rho_d}$$

$$\eta_0 = \frac{\tau\alpha}{1 - (1-\alpha)\rho_d} \quad (55)$$

2.-Cálculo De Q_p

Análisis del circuito térmico de la SSS con una cubierta

Si la parte superficial inferior de la SSS está bien aislada (de la caja absorbente hacia abajo), la mayor parte de las pérdidas al exterior se produce a través de su superficie superior y laterales.

Análisis de las pérdidas en la superficie al exterior

Utilizando la analogía eléctrica, las diferentes formas de pérdida de calor quedan representadas como en la (Figura 87).

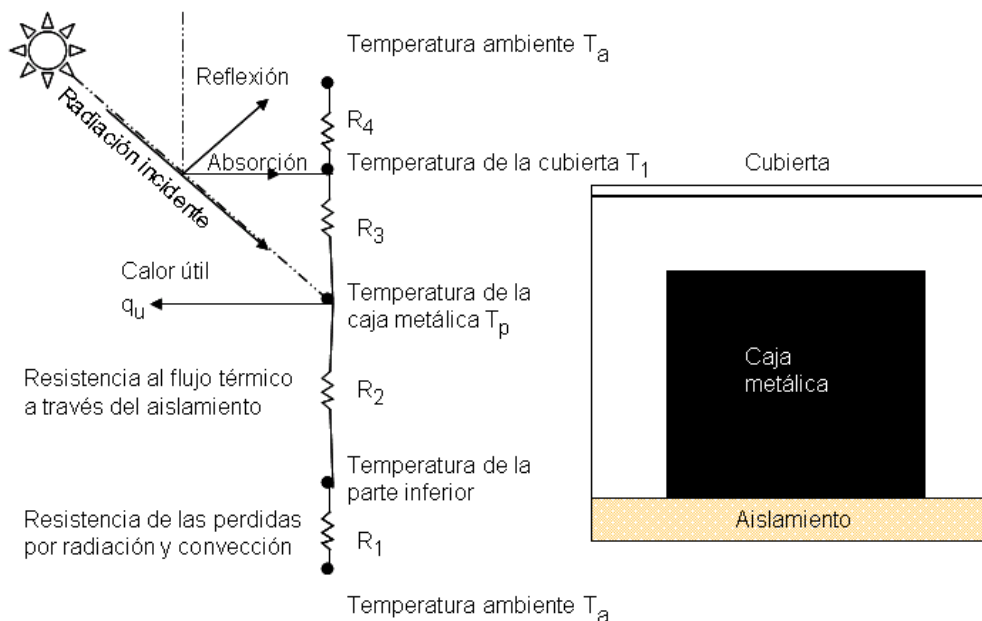


Figura 89: Esquema de las pérdidas de calor al exterior que se produce a través de la superficie superior.

Fuente: Archivo propio. (2012)

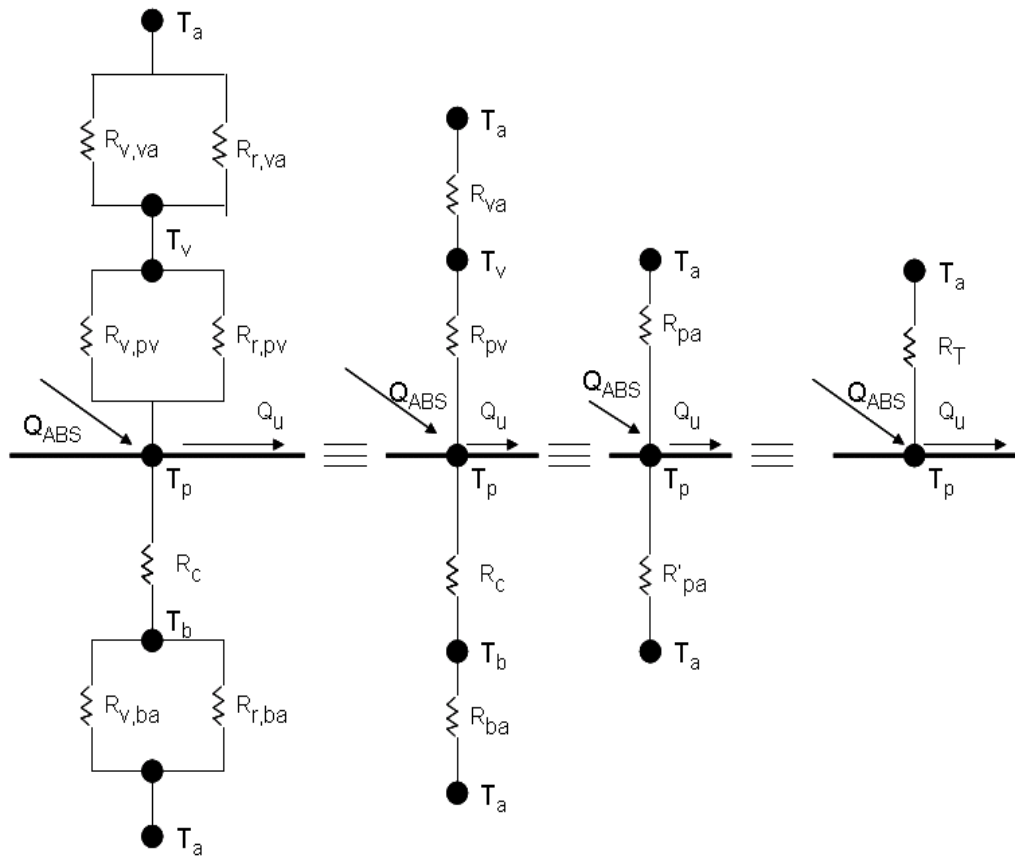


Figura 90: Circuito térmico de la superficie superior e inferior.

Fuente: Archivo propio. (2012)

Donde:

T_a : temperatura del aire.

T_v : temperatura del vidrio.

T_b : temperatura de la base de la SSS.

R_c : resistencia térmica por conducción del aislante de la base.

$R_{v,va}$; $R_{v,pv}$; $R_{v,ba}$: resistencias térmicas por convección entre: vidrio-aire, placa-vidrio y base-aire; respectivamente.

$R_{r,va}$; $R_{r,pv}$; $R_{r,ba}$: resistencias térmicas de radiación entre: Vidrio-aire, placa-vidrio, base-aire; respectivamente.

Luego:

$$R_{va} = [R_{v,va}^{-1} + R_{r,va}^{-1}]^{-1}$$

$$R_{pv} = [R_{v,pv}^{-1} + R_{r,pv}^{-1}]^{-1}$$

$$R_{ba} = [R_{v,ba}^{-1} + R_{r,ba}^{-1}]^{-1}$$

$$R_{pa} = R_{va} + R_{pv}$$

$$R'_{pa} = R_c + R_{ba}$$

$$R_T = [R_{pa}^{-1} + R'_{pa}{}^{-1}]^{-1}$$

Dado que la base de la SSS esté bien aislado, $T_b \approx T_a$ de donde: $R_{ba} = 0$. Como $r = h^{-1} = RA$, entonces $R^{-1} = hA$, lo que justifica la validez de las siguientes ecuaciones.

$$h_{va} = h_{v,va} + h_{r,va}$$

$$h_{pv} = h_{v,pv} + h_{r,pv}$$

$$h_{pa} = [h_{pv}^{-1} + h_{va}^{-1}]^{-1}$$

$$h'_{pa} = h_c$$

$$U_1 = h_{pa} + h_c = [h_{pv}^{-1} + h_{va}^{-1}]^{-1} + h_c$$

$$U_1 = \left\{ [h_{v,pv} + h_{r,pv}]^{-1} + [h_{v,va} + h_{r,va}]^{-1} \right\}^{-1} + h_c \quad (56)$$

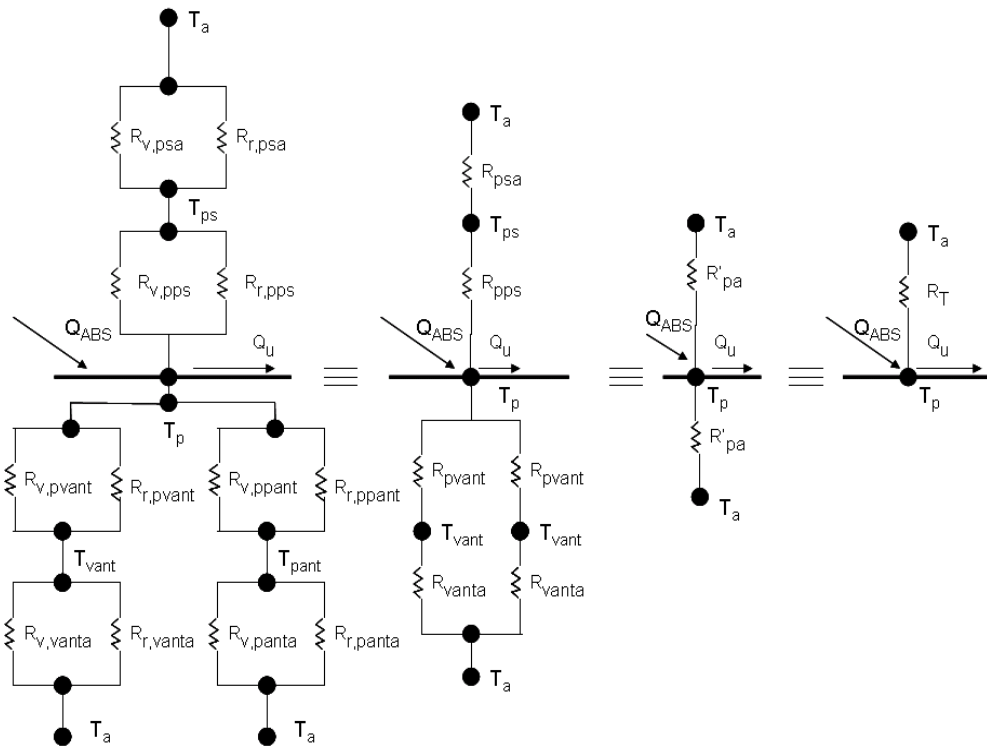


Figura 91: Circuito térmico de la pared anterior y posterior.

Fuente: Archivo propio. (2012)

Donde:

T_a : temperatura del aire.

T_p : temperatura del absorbedor.

T_{ps} : temperatura de la pared posterior.

T_{vant} : temperatura del vidrio anterior de la SSS.

T_{pant} : temperatura de la pared anterior de la SSS.

Q_u : calor útil.

Q_{ABS} : calor absorbido.

$R_{v,psa}$; $R_{v,pvant}$; $R_{v,vanta}$; $R_{v,pps}$; $R_{v,ppant}$; $R_{v,panta}$: resistencias térmicas por convección entre: pared posterior-aire, placa-vidrio

anterior, vidrio anterior-aire, placa-pared posterior, placa-pared anterior, pared anterior-aire; respectivamente.

$R_{r,psa}$; $R_{r,pvant}$; $R_{r,vanta}$; $R_{r,pps}$; $R_{r,ppant}$; $R_{r,panta}$: resistencias térmicas por radiación entre: pared posterior-aire, placa-vidrio anterior, vidrio anterior-aire, placa-pared posterior, placa-pared anterior, pared anterior-aire; respectivamente.

Luego:

$$R_{psa} = \left[R_{v,psa}^{-1} + R_{r,psa}^{-1} \right]^{-1}$$

$$R_{pps} = \left[R_{v,pps}^{-1} + R_{r,pps}^{-1} \right]^{-1}$$

$$R_{pvant} = \left[R_{v,pvant}^{-1} + R_{r,pvant}^{-1} \right]^{-1}$$

$$R_{vanta} = \left[R_{v,vanta}^{-1} + R_{r,vanta}^{-1} \right]^{-1}$$

$$R_{ppant} = \left[R_{v,ppant}^{-1} + R_{r,ppant}^{-1} \right]^{-1}$$

$$R_{panta} = \left[R_{v,panta}^{-1} + R_{r,panta}^{-1} \right]^{-1}$$

$$R_{pa}^0 = R_{pvant} + R_{vanta}$$

$$R_{pa}^+ = R_{ppant} + R_{panta}$$

$$R_{pa}' = R_{pps} + R_{psa}$$

$$R_{pa} = \left[R_{pa}^{0^{-1}} + R_{pa}^{+^{-1}} \right]^{-1}$$

$$R_T = \left[R_{pa}^{-1} + R_{pa}'^{-1} \right]^{-1}$$

Como $r = h^{-1} = RA$, entonces $R^{-1} = hA$, lo que justifica la validez de las siguientes ecuaciones.

$$h_{psa} = h_{v,psa} + h_{r,psa}$$

$$h_{pps} = h_{v,pps} + h_{r,pps}$$

$$h_{pvant} = h_{v,pvant} + h_{r,pvant}$$

$$h_{ppant} = h_{v,ppant} + h_{r,ppant}$$

$$h_{vanta} = h_{v,vanta} + h_{r,vanta}$$

$$h_{panta} = h_{v,panta} + h_{r,panta}$$

$$h_{pa}^0 = \left[h_{pvant}^{-1} + h_{vanta}^{-1} \right]^{-1}$$

$$h_{pa}^+ = \left[h_{ppant}^{-1} + h_{panta}^{-1} \right]^{-1}$$

$$h_{pa}' = \left[h_{psa}^{-1} + h_{pps}^{-1} \right]^{-1}$$

$$h_{pa} = h_{pa}^0 + h_{pa}^+$$

$$h_2 = h_{pa} + h_{pa}'$$

$$h_2 = h_{pa}^0 + h_{pa}^+ + \left[h_{psa}^{-1} + h_{pps}^{-1} \right]^{-1}$$

$$h_2 = \left[h_{pvant}^{-1} + h_{vanta}^{-1} \right]^{-1} + \left[h_{ppant}^{-1} + h_{panta}^{-1} \right]^{-1} + \left[\left(h_{v,psa} + h_{r,psa} \right)^{-1} + \left(h_{v,pps} + h_{r,pps} \right)^{-1} \right]^{-1}$$

$$\begin{aligned}
 U_2 = h_2 = & \left[(h_{v,pvant} + h_{r,pvant})^{-1} + (h_{v,vanta} + h_{r,vanta})^{-1} \right]^{-1} \\
 & + \left[(h_{v,ppant} + h_{r,ppant})^{-1} + (h_{v,panta} + h_{r,panta})^{-1} \right]^{-1} + \\
 & \left[(h_{v,psa} + h_{r,psa})^{-1} + (h_{v,pps} + h_{r,pps})^{-1} \right]^{-1} \quad (26)
 \end{aligned}$$

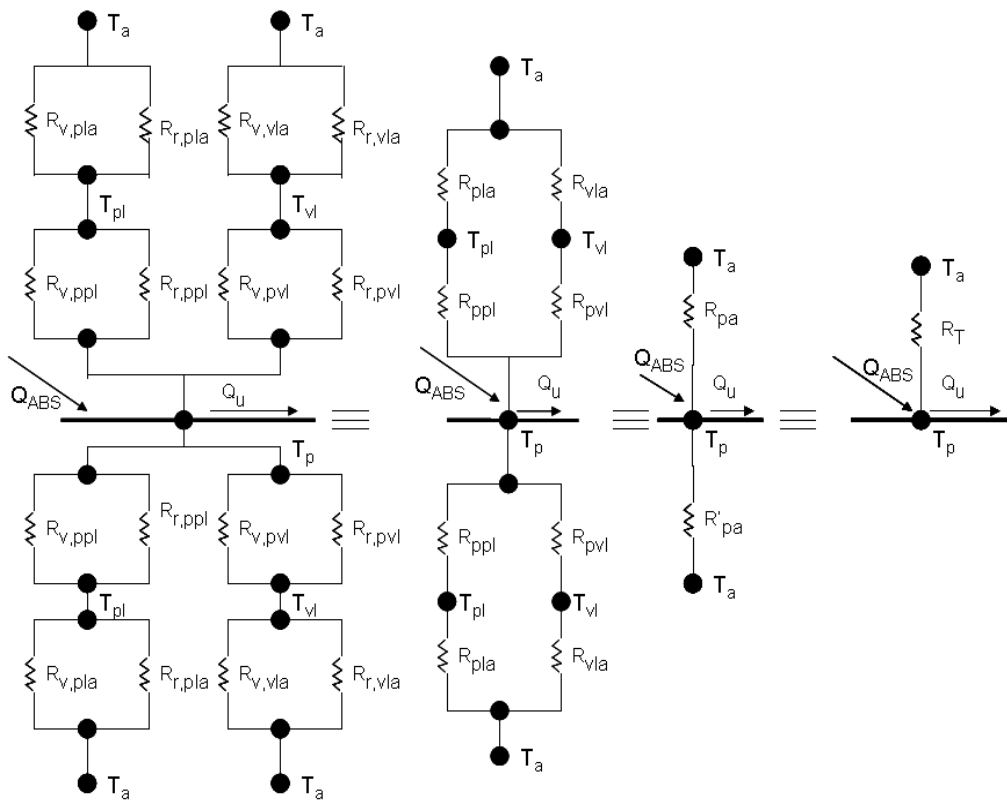


Figura 92: Circuito térmico de las paredes laterales

Fuente: Archivo propio. (2012)

Donde:

T_a : temperatura del aire.

T_p : temperatura del absorbedor.

T_{pl} : temperatura de la pared lateral.

T_{vl} : temperatura de la vidrio lateral.

Q_u : calor útil.

Q_{ABS} : calor absorbido.

$R_{v,pla}$; $R_{v,ppl}$; $R_{v,vla}$; $R_{v,pvl}$: resistencias térmicas por convección entre: pared lateral-aire, placa-pared lateral; respectivamente.

$R_{r,pla}$; $R_{r,ppl}$; $R_{r,vla}$; $R_{r,pvl}$: resistencias térmicas de radiación entre: pared lateral-aire, placa-pared lateral; respectivamente.

Luego:

$$R_{pla} = \left[R_{v,pla}^{-1} + R_{r,pla}^{-1} \right]^{-1}$$

$$R_{vla} = \left[R_{v,vla}^{-1} + R_{r,vla}^{-1} \right]^{-1}$$

$$R_{ppl} = \left[R_{v,ppl}^{-1} + R_{r,ppl}^{-1} \right]^{-1}$$

$$R_{pvl} = \left[R_{v,pvl}^{-1} + R_{r,pvl}^{-1} \right]^{-1}$$

$$R_{pa}^* = R_{vla} + R_{pvl}$$

$$R_{pa}^+ = R_{pla} + R_{ppl}$$

$$R_{pa}^\wedge = R_{ppl} + R_{pla}$$

$$R_{pa}^0 = R_{pvl} + R_{vla}$$

$$R'_{pa} = \left[R^{+ -1}_{pa} + R^{* -1}_{pa} \right]^{-1}$$

$$R_{pa} = \left[R^{\wedge -1}_{pa} + R^{0 -1}_{pa} \right]^{-1}$$

$$R_T = \left[R'^{-1}_{pa} + R^{-1}_{pa} \right]^{-1}$$

Como $r = h^{-1} = RA$, entonces $R^T = hA$, lo que justifica la validez de las siguientes ecuaciones.

$$h_{pla} = h_{v,pla} + h_{r,pla}$$

$$h_{ppl} = h_{v,ppl} + h_{r,ppl}$$

$$h_{vla} = h_{v,vla} + h_{r,vla}$$

$$h_{pvl} = h_{v,pvl} + h_{r,pvl}$$

$$h^*_{pa} = \left[h^{-1}_{vla} + h^{-1}_{pvl} \right]^{-1}$$

$$h^+_{pa} = \left[h^{-1}_{pla} + h^{-1}_{ppl} \right]^{-1}$$

$$h^{\wedge}_{pa} = \left[h^{-1}_{ppl} + h^{-1}_{pla} \right]^{-1}$$

$$h^0_{pa} = \left[h^{-1}_{pvl} + h^{-1}_{vla} \right]^{-1}$$

(57)

$$h'_{pa} = h^+_{pa} + h^*_{pa}$$

$$h_{pa} = h^{\wedge}_{pa} + h^0_{pa}$$

$$h_3 = h'_{pa} + h_{pa}$$

$$\begin{aligned}
h_3 &= h_{pa}^+ + h_{pa}^* + h_{pa}^\wedge + h_{pa}^0 \\
h_3 &= \left[\left(h_{pla}^{-1} + h_{ppl}^{-1} \right)^{-1} + \left(h_{vla}^{-1} + h_{pvl}^{-1} \right)^{-1} + \left(h_{ppl}^{-1} + h_{pla}^{-1} \right)^{-1} \right] \\
&\quad \left[+ \left(h_{pvl}^{-1} + h_{vla}^{-1} \right)^{-1} \right] \\
h_3 &= \left[\left(\left(h_{v,pla} + h_{r,pla} \right)^{-1} + \left(h_{v,ppl} + h_{r,ppl} \right)^{-1} \right)^{-1} + \right. \\
&\quad \left(\left(h_{v,vla} + h_{r,vla} \right)^{-1} + \left(h_{v,pvl} + h_{r,pvl} \right)^{-1} \right)^{-1} + \\
&\quad \left(\left(h_{v,ppl} + h_{r,ppl} \right)^{-1} + \left(h_{v,pla} + h_{r,pla} \right)^{-1} \right)^{-1} + \\
&\quad \left. \left(\left(h_{v,pvl} + h_{r,pvl} \right)^{-1} + \left(h_{v,vla} + h_{r,vla} \right)^{-1} \right)^{-1} \right] \\
U_3 = h_3 &= 2 \left[\left(\left(h_{v,ppl} + h_{r,ppl} \right)^{-1} + \left(h_{v,pla} + h_{r,pla} \right)^{-1} \right)^{-1} + \right. \\
&\quad \left. \left(\left(h_{v,pvl} + h_{r,pvl} \right)^{-1} + \left(h_{v,vla} + h_{r,vla} \right)^{-1} \right)^{-1} \right]
\end{aligned}$$

El coeficiente global de pérdidas $\mathbf{U}_p = \mathbf{h}_T$, es

$$U_p = U_1 + U_2 + U_3 \quad (58)$$

Finalmente:

$$Q_p = AU_p [T_p - T_a] \quad (59)$$

2.1.- Perdidas entre la caja metálica a la cubierta

$$q_{perd(caja-vidrio)} = A \cdot h_c (T_{caja} - T_{vidrio}) + \frac{\sigma(T_{caja}^4 - T_{vidrio}^4)A}{\frac{1}{\epsilon_{caja}} + \left(\frac{1}{\epsilon_{vidrio}} - 1 \right)} \quad (60)$$

$$\begin{aligned} q_{perd(caja-vidrio)} &= A(h_{v(caja-vidrio)} + h_{r(caja-vidrio)})(T_{caja} - T_{vidrio}) \\ &= \frac{T_{caja} - T_{vidrio}}{R_1} \end{aligned} \quad (61)$$

$$q_{perd(caja-vidrio)} = \frac{T_{caja} - T_{vidrio}}{\frac{1}{A(h_{v(caja-vidrio)} + h_{r(caja-vidrio)})}} \quad (62)$$

Donde:

$$h_{r(caja-vidrio)} = \frac{\sigma(T_{caja}^2 + T_{vidrio}^2)(T_{caja} + T_{vidrio})}{\frac{1}{\epsilon_{caja}} + \left(\frac{1}{\epsilon_{vidrio}} - 1 \right) \frac{A_{caja}}{A_{vidrio}}} \quad (63)$$

$$h_{c(caja-vidrio)} = \frac{N_{uL}K}{L} \quad (64)$$

2.2.- Perdidas entre el vidrio y el ambiente

$$\begin{aligned} q_{perd(vidrio-amb)} &= A(h_{v(vidrio-amb)} + h_{r(vidrio-amb)})(T_{vidrio} - T_{amb}) \\ &= \frac{T_{vidrio} - T_{amb}}{R_2} \end{aligned} \quad (65)$$

Siendo:

$$h_{r(vidrio-amb)} = \varepsilon_{vidrio} \sigma (T_{vidrio} + T_{amb})(T_{vidrio}^2 + T_{amb}^2) \quad (66)$$

Ecuación empírica de Watmuff (1977), como sigue:

$$h_{v(vidrio-amb)} = 2,8 + 3,0v \quad (67)$$

2.3.- Perdidas en las paredes

$$q_{perd(caja-amb)} = A_{lateral} U_{pared} (T_{caja} - T_{amb}) = \frac{T_{caja} - T_{amb}}{R_{pared}} \quad (68)$$

$$q_{perd(caja-amb)} = \frac{T_{caja} - T_{amb}}{\frac{espesor}{k_{pared} \cdot A_{pared}}} \quad (69)$$

3.-Cálculo de Q_u

La manera de medir la potencia útil extraída por el aire de la SSS, es mediante la calorimetría, la cual se estudia en cursos de física elemental y nos dice que:

$$Q_u = \frac{mc(\Delta T)}{\Delta t} \quad (70)$$

Donde:

T_{eq} : La temperatura equivalente es la mayor temperatura alcanzada en la evaluación.

T_i : Es la temperatura inicial en el interior de la SSS.

m_i : Es la masa de los componentes del sistema.

c_i : Es el calor específico.

Δt : Es el intervalo de tiempo que se mantiene constante durante la evaluación.

$$Q_u = Q_{acumulación_del_sistema}$$

$$Q_u = (mc)_{carcasa} (\Delta T) + (mc)_{aire} (\Delta T) + (mc)_{caja_metálica} (\Delta T)$$

$$Q_u = (mc)_{carcasa} (T_{eq} - T_{amb}) + (mc)_{aire} (T_{eq} - T_i) + (mc)_{caja_metalica} (T_{eq} - T_i) \quad (71)$$

$$(mc)_{sistema} = (mc)_{carcasa} + (mc)_{caja_metálica} + (mc)_{aire}$$

4.- Cálculo del $\frac{dE}{dt}$

La manera de medir la potencia almacenada por los acumuladores térmicos de la SSS, es mediante la calorimetría, la cual se estudia en cursos de física elemental y nos dice que:

Donde:

T_{acum}: La temperatura en el acumulador térmico.

T_A: Es la temperatura en el interior de la caja aislada térmicamente.

m_i: Es la masa de los componentes del sistema.

c: Es el calor específico del acumulador térmico.

Δt: Es el intervalo de tiempo que se mantiene constante durante la evaluación.

$$\frac{dE}{dt} = mc \frac{dT}{dt}$$
$$\frac{dE}{dt} = \frac{mc(T_{acum} - T_A)}{\Delta t} \quad (72)$$

Anexo 2: Radiación térmica y sus efectos biológicos

La forma radiativa de la transmisión del calor se caracteriza porque la energía se transporta en forma de ondas electromagnéticas, que se propagan a la velocidad de la luz.

La radiación térmica emitida por una superficie en función de su temperatura se corresponde con las longitudes de onda comprendidas entre, 10^{-7} m y 10^{-4} m. [a10]

1.- Física de la radiación

1.1.- Cuerpo negro.

No todas las superficies emiten o absorben la misma cantidad de energía radiante cuando se calientan a la misma temperatura. Un cuerpo que emite (radiación difusa) o absorbe la máxima cantidad de energía a una temperatura determinada es un **cuerpo negro**, que no es más que un modelo ideal al que se pueden aproximar en la práctica los cuerpos reales recubriendo su superficie con determinadas pinturas o modificando su forma; es, por lo tanto, un cuerpo estándar con el que pueden compararse otros cuerpos radiadores. [10]

1.1.1.- Ley de Planck.

Cuando un cuerpo negro se calienta a una temperatura T , emite fotones desde su superficie, los cuales poseen una distribución determinada de energía que depende de la temperatura superficial; Max Planck en 1900 demostró que

la energía emitida por un cuerpo negro a una longitud de onda λ y temperatura T es de la forma:

$$E_{b\lambda}(T) = \frac{C_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)}, \quad \text{siendo: } \begin{cases} C_1 = 3,7418 \times 10^{-16} \text{ W.m}^2 \\ C_2 = 1,4388 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K} \end{cases} \quad (73)$$

En la que $E_{b\lambda}$ es la potencia emisiva espectral o monocromática del cuerpo negro a la temperatura T, en W/m^3 .

La variación de la potencia emisiva monocromática del cuerpo negro con la temperatura y con la longitud de onda, se denomina **Ley de Planck, (Figura 93)**. [10]

1.1.2.- Ley del desplazamiento de wien.

La longitud de onda a la cual la potencia emisiva del cuerpo negro alcanza un valor máximo para una temperatura dada, se deduce de la ley de Planck imponiendo la condición de máximo:

$$\frac{dE_{b\lambda}(T)}{d\lambda} = \frac{d}{d\lambda} \left\{ \frac{C_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)} \right\} T = Cte = 0 \quad (74)$$

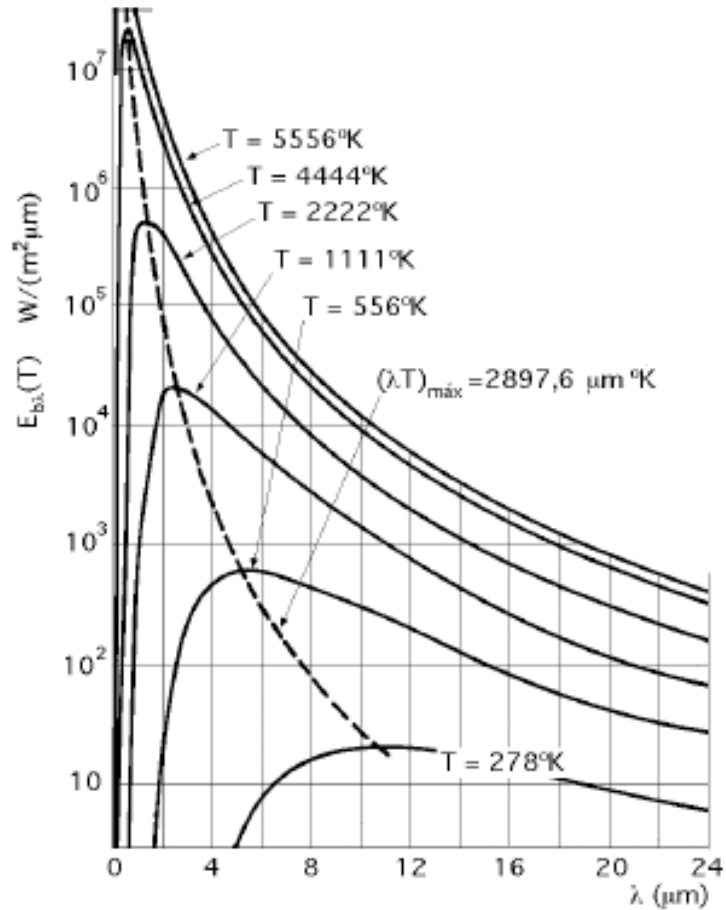


Figura 93: Poder emisor espectral del cuerpo negro y ley del desplazamiento de Wien. [6]

El resultado de esta operación es:

$$\lambda_{m\acute{a}x} T = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m K} \quad (75)$$

En la que $\lambda_{m\acute{a}x}$ es la longitud de onda correspondiente al máximo de potencia emisiva monocromática, de una superficie negra, a la temperatura T. [10]

Esta ecuación expresa la ley del desplazamiento de Wien; el valor máximo de la potencia emisiva monocromática del cuerpo negro se puede obtener sustituyendo la ecuación del desplazamiento de Wien en la ecuación de la ley de Planck, resultando:

$$(E_{b\lambda})_{\text{máx}} = 1,287 \times 10^{-5} T^5 \text{ W/m}^3 \quad (76)$$

Un ejemplo de fuente energética a alta temperatura es el Sol; su superficie exterior posee una temperatura del orden de 5 800 K; de acuerdo con la ley de Wien el valor de $\lambda_{\text{máx}}$ a esta temperatura es de $5,2 \times 10^{-7}$ m, o 0,52 μm , próximo al centro de la región visible. [10]

1.1.3.- Ley de stefan-boltzman.

La cantidad total de energía radiativa que por unidad de área emite una superficie a la temperatura absoluta T y a todas las longitudes de onda, se denomina poder emisivo total. Si la superficie corresponde a un cuerpo negro, el poder emisivo total viene dado por la integral de la distribución de Planck para todas las longitudes de onda:

$$E_b(T) = \int_0^{\infty} E_{b\lambda}(T) d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{C_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)} d\lambda = \sigma T^4 \quad (77)$$

Este resultado se conoce como ley de Stefan-Boltzman, siendo σ su constante de valor:

$$\sigma = \left(\frac{\pi}{C_2} \right)^4 \frac{C_1}{15} = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \quad (78)$$

Mientras que C_1 y C_2 son las constantes de la ley de Planck, viniendo medida E_b en unidades de flujo térmico W/m^2 . [10]

2.- El espectro electromagnético

2.1.- Características físicas básicas

La forma más conocida de energía electromagnética es la luz del sol. La frecuencia de la luz solar (luz visible) es la línea divisoria entre la radiación ionizante (rayos x, rayos cósmicos), más potente y de frecuencias más altas, y la radiación no ionizante, más benigna y de frecuencias más bajas.

La radiación no ionizante (RNI) engloba toda la radiación y los campos del espectro electromagnético que no tienen suficiente energía para ionizar la materia. La división entre la RNI y la radiación ionizante suele establecerse en una longitud de onda de 100 nanómetros aproximadamente. [14]

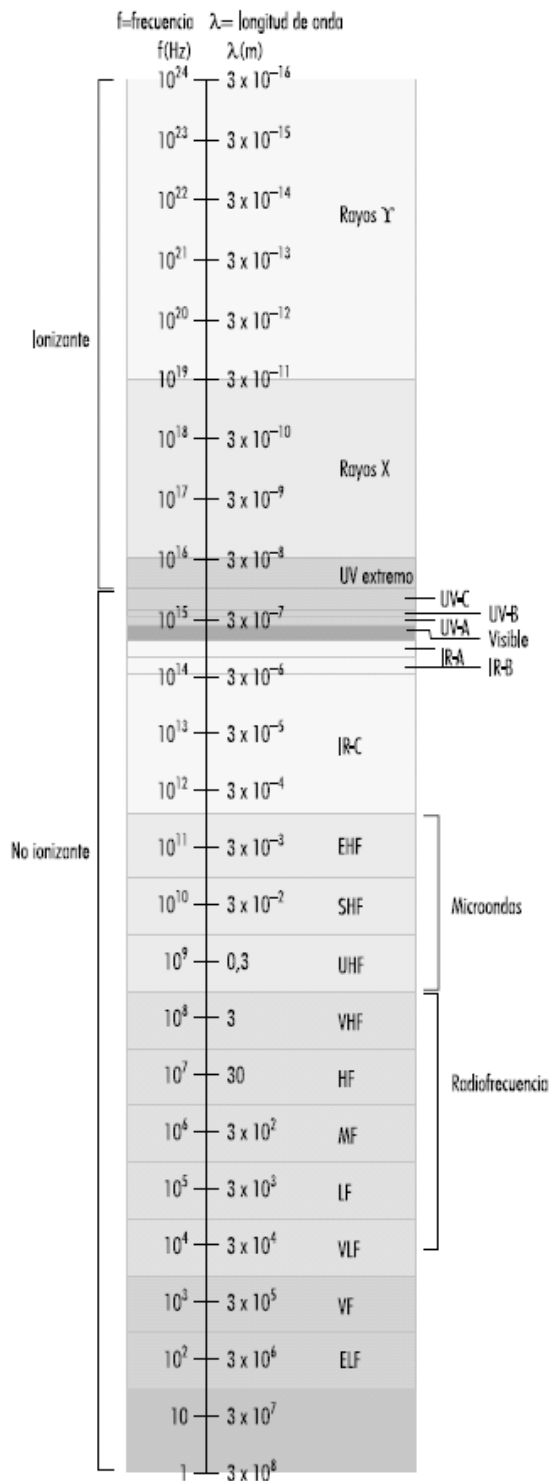


Figura 94: Espectro electromagnético. [14]

2.2.- Radiación infrarroja

La radiación infrarroja es la parte del espectro de radiación no ionizante comprendida entre las microondas y la luz visible.

Es parte natural del entorno humano y por lo tanto, las personas están expuestas a ella en pequeñas cantidades en todas las situaciones de la vida diaria, por ejemplo, en el hogar o durante las actividades recreativas realizadas al sol. [22]

2.2.1.- Conceptos y magnitudes

Las longitudes de onda de la radiación infrarroja (IR) están comprendidas entre 780 nm y 1 mm Según la clasificación de la **Comisión Internacional de Iluminación (CIE)**, esta banda se subdivide en IRA (de 780 nm a 1,4 μm), IRB (de 1,4 μm a 3 μm) e IRC (de 3 μm a 1 mm). Tal subdivisión se ajusta de manera aproximada a las características de absorción dependiente de la longitud de onda de la IR en el tejido y a los diferentes efectos biológicos resultantes. [14]

2.2.2.- Efectos biológicos

Por regla general, la radiación óptica no penetra a mucha profundidad en el tejido biológico. Por lo tanto, los principales objetivos de una exposición a IR son la piel y los ojos. En la mayoría de condiciones de exposición el principal mecanismo de interacción de la IR es térmico. Con la radiación IR no son de prever efectos debidos a ionización o a la rotura de enlaces químicos, dado que la

energía de las partículas, al ser inferior a 1,6 eV aproximadamente, es demasiado baja para causar tales efectos. Por la misma razón, las reacciones fotoquímicas sólo revisten importancia a longitudes de onda cortas en las regiones visible y ultravioleta del espectro. Los distintos efectos de la IR para la salud, dependientes de la longitud de onda, se deben principalmente a las propiedades ópticas de los tejidos, dependientes también de la longitud de onda que presenta el tejido: por ejemplo, la absorción espectral de los medios oculares (**Figura 95**). [14]

2.2.3.- Efectos sobre el ojo

En términos generales, el ojo está bien adaptado para autoprotgerse frente a la radiación óptica del entorno natural. Además, está protegido fisiológicamente contra lesiones por fuentes de luz intensa, como el sol o las lámparas de alta intensidad, mediante una respuesta de aversión que limita la duración de la exposición a una fracción de segundo (0,25 segundos aproximadamente).

La IRA afecta principalmente a la retina, debido a la transparencia de los medios oculares. Además, cuando se mira directamente a una fuente puntual o a un haz láser, la capacidad de enfocar en la región de la IRA hace la retina mucho más susceptible de sufrir daños que ninguna otra parte del cuerpo.

Se considera que, con períodos de exposición cortos, el calentamiento del iris por absorción de radiación visible o IR próxima conduce a la formación de opacidades en el cristalino.

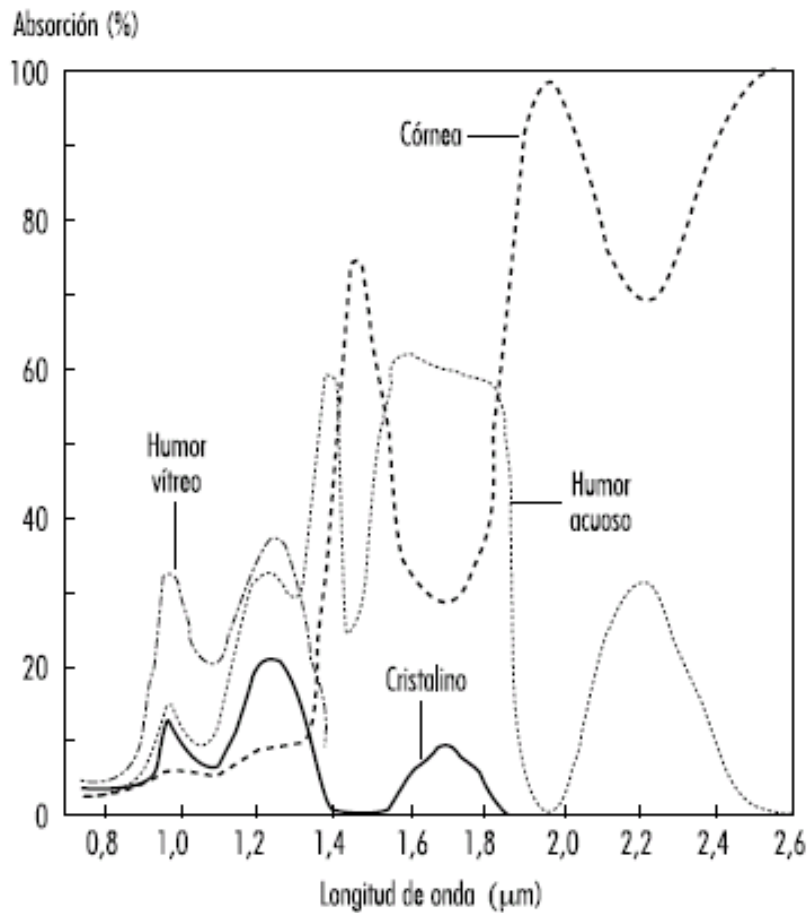
Al aumentar la longitud de onda, a partir de 1 μm aproximadamente, aumenta también la absorción por los medios oculares. Por lo tanto, se considera que la absorción de radiación IRA por el cristalino y el iris pigmentado influye en la formación de opacidades de cristalino. Las lesiones del cristalino se atribuyen longitudes de onda inferiores a 3 μm (IRA e IRB).

El humor acuoso y el cristalino presentan una absorción especialmente elevada de la radiación infrarroja de longitud de onda superior a 1,4 μm .

En la región IRB e IRC del espectro, los medios oculares se vuelven opacos a causa de la elevada absorción por el agua que contienen. En esta región, la absorción se produce principalmente en la córnea y el humor acuoso. Por encima de 1,9 μm , el único medio realmente absorbente es la córnea. La absorción de radiación infrarroja de larga longitud de onda por la córnea puede elevar la temperatura del interior del ojo debido a la conducción térmica. Gracias a la rápida renovación de las células superficiales de la córnea cabe esperar que cualquier daño que se limite a la capa externa de esta última sea temporal.

En la banda de IRC, la exposición puede provocar en la córnea quemaduras similares a las de la piel. No obstante, las quemaduras de la córnea no son muy probables dada la reacción de aversión que desencadena la sensación dolorosa provocada por una exposición intensa. [14]

Figura 95: Absorción espectral de los medios oculares. [14]

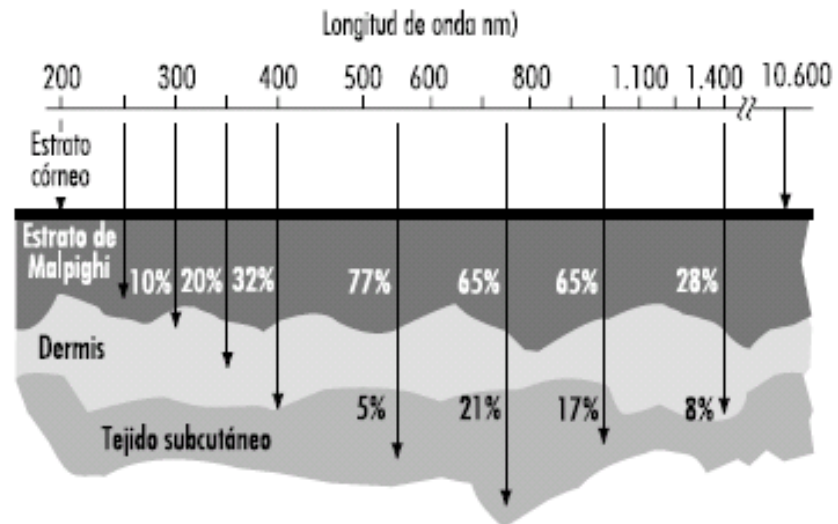


2.2.4.- Efectos sobre la piel

La radiación infrarroja no penetra en la piel a mucha profundidad, por lo que la exposición de la piel a una IR muy intensa puede producir efectos térmicos de distinta intensidad e incluso quemaduras graves. Los efectos sobre la piel dependen de las propiedades ópticas de ésta, tales como la profundidad de penetración en función de la longitud de onda (**Figura 96**). Particularmente, a longitudes de onda más largas, una exposición extensa puede provocar un gran aumento de temperatura local y quemaduras. Debido a las propiedades físicas de los procesos de transporte térmico en la piel, los valores umbral para estos efectos dependen del tiempo. Por ejemplo, una irradiación de 10 kWm^{-2} puede causar una sensación dolorosa al cabo de 5 segundos, mientras que una exposición de 2 kWm^{-2} no producirá la misma reacción en períodos de duración inferior a 50 segundos aproximadamente. [14]

Si la exposición se prolonga durante períodos muy largos, incluso con valores muy inferiores al umbral de dolor, el cuerpo humano puede sufrir una elevada carga térmica, en especial si la exposición abarca la totalidad del cuerpo como por ejemplo delante de acero fundido. [14]

Figura 96: Profundidad de penetración en la piel a diferentes longitudes de onda. [14]



Los valores son porcentajes de radiación incidente que alcanza una determinada capa de la piel.
Fuente: OMS 1982.

Esto puede provocar un desequilibrio del sistema de termorregulación, en otro caso fisiológicamente bien equilibrado. El umbral de tolerancia de tales exposiciones depende de las diferentes condiciones individuales y ambientales, tales como la capacidad individual del sistema de termorregulación, el metabolismo del cuerpo durante la exposición o la temperatura ambiente, la humedad y el movimiento del aire (velocidad del viento). En ausencia de trabajo físico puede tolerarse una exposición de 300 Wm^{-2} como máximo durante ocho horas en determinadas condiciones ambientales, pero este valor disminuye a 140 Wm^{-2} aproximadamente durante el trabajo físico pesado. [14]

Anexo 3: Índices económicos fundamentales

Se realizó un análisis económico-financiero que justifica la viabilidad de la propuesta tecnológica desarrollada. Se asume en el análisis que la tecnología para la construcción y el uso de la “SSS” está desarrollada y se toma el caso particular de una entidad turística que se decide a instalarla. Se evalúa el impacto económico del resultado científico por el efecto de la introducción de la tecnología en la práctica económica del país a través del caso particular considerado.

En el estudio se hicieron las siguientes consideraciones:

- La “SSS” tiene una vida útil de 10 años.
- Se construye y pone en servicio una sola instalación de “SSS”.
- La investigación se calcula a partir de las siguientes indicaciones.
- Construcción y materiales de la “SSS” S/. 4 300 nuevos soles.
- Se atienden 9 usuarios por día.
- Se atienden 3 usuarios por sesión.
- Los ingresos por venta se realizan a través del servicio que presta la instalación “SSS”.

Se asume que la “SSS” funciona el 75% del total de días del año. (Se incluyen factores climáticos y tiempo de mantenimiento) Se presta servicio a tres bañistas diarios y la sesión de sauna se cobra a S/. 10 nuevos soles por bañista.

- Para el funcionamiento de la “SSS”, se gastan anualmente S/. 12 000 nuevos soles (promoción, salario del operario, etc.).

- La instalación experimenta una depreciación anual del 10 % de la inversión (S/. 430 nuevos soles).
- Se pagan impuestos del 18 % de las ganancias por operación de la “SSS” (S/. 4 422 nuevos soles).
- Una ganancia neta anual de S/. 7 718 nuevos soles.

Donde se da el valor actual neto de la sauna contra el tiempo en años, en las condiciones descritas mas arriba, puede recuperar la inversión en 1 año. Al cabo de los 10 años se han obtenido ganancias netas de S/. 71 180 nuevos soles.

Los resultados muestran el precio de venta de la SSS podría ser S/. 6 000 nuevos soles.

.....
Lic. Carlos Armando Polo Bravo
Asesor

.....
Bach. Gohnny Acero Laura
DNI. N° 42010089