



**REPÚBLICA DE CUBA**

**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO**

**"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"**

**FACULTAD DE METALÚRGIA Y ELECTROMECAÁNICA  
MOA - HOLGUÍN**

# **TRABAJO DE DIPLOMA**

**TITULO: CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE  
CALEFACCIÓN, PARA LA SALA DE NEONATOLOGÍA DEL  
HOSPITAL ISIDRO AYORA DE LOJA CON UTILIZACIÓN DE  
ENERGÍA SOLAR.**

**DIPLOMANTE: Miguel Antonio Ramón Alvarez.**

**Director: Ing. Thuesman Montaña Peralta. UNL**

**ASESORES: Ing. Rafael Galano Milhet.  
Dr. Enrique Torres Tamayo  
Ing. Inv. Alonso Torres Ten.**

**ISMM  
ISMM  
CIES**

**2004**

## INDICE

	Pág.
Portada.....	I
Declaración del autor.....	II
Pensamiento.....	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimiento.....	V
Resumen.....	VII
Summary.....	VIII
Introducción.....	10
Problematización.....	13
Hipótesis.....	16
Objetivos.....	18

## CAPITULO I

Marco teórico de la investigación.....	21
1.1 Fundamentos teóricos.....	21
1.1.1 Definiciones a considerar.....	21
1.2 El sol fuente de energía.....	22
1.2.1 Radiación total terrestre.....	22
1.2.2 Captación térmica de la energía solar.....	23
1.2.3 Energía solar térmica.....	24
1.2.4 Partes del sistema.....	25
1.2.5 Tipos de sistema.....	25
1.2.6 Colector solar.....	28
1.2.6.1 Tipos de colectores.....	31
1.2.6.1.1 Colector plano.....	31
1.2.6.1.2 Colector de tubos al vacío.....	31
1.2.6.1.3 Colector para piscina.....	32
1.2.6.1.4 Colector de aire.....	33
1.2.7 Medio transportador de calor.....	33
1.3 Calefacción.....	34
1.3.1 Sistemas de calefacción.....	34
1.3.1.1 Sistemas de calefacción eléctricos.....	34

1.3.1.2 Sistema de calefacción por rayos infrarrojos.....	35
1.3.1.3 Sistemas de calefactores con combustibles.....	35
1.3.1.3.1 De gas.....	35
1.3.1.4 Sistemas de calefacción por medio de calentamiento de agua.....	36
1.3.1.4.1 Componentes y funciones de un sistema de calentamiento de agua.....	36
1.3.1.4.2 Acumulador de agua caliente.....	37
1.3.1.4.3 Intercambiador de calor.....	38
1.3.1.4.4 Bomba de circulación.....	38
1.3.1.4.5 Control.....	38
1.3.1.4.6 Sistemas de seguridad.....	39
1.3.1.4.7 Tuberías y estructuras.....	39
1.3.1.4.8 Calefacción adicional.....	39
1.3.1.4.9 Diseño de un sistema de agua caliente.....	40
1.3.1.4.10 Tipos de sistemas para calentamiento de agua.....	40
1.3.1.4.10.1 Sistemas de calentamiento de agua según el principio termosifón.....	40
1.3.1.4.10.2 Sistema de calentamiento de agua regulado por circulación forzada.....	41
1.3.2 Calefacción de puertas.....	42
1.3.2.1 Características de las cargas de calefacción de puertas.....	42
1.4 Ventilación.....	43
1.4.1 Clasificación de los sistemas de ventilación.....	45
1.4.2 Sistema de ventilación y sus elementos.....	45
1.4.2.1 Sistema de ventilación general.....	45
1.4.2.2 Ventilación mecánica.....	46

## CAPITULO II

Cálculo del sistema de calefacción con el uso de energía solar.....	48
---	----

2.1 Metodología para el cálculo de las cargas térmicas.....	48
2.1.1 Cálculo del flujo de Calor.....	49
2.1.2 Cálculo de las cargas por infiltración.....	50
2.1.3 Cálculo de las cargas de ventilación exterior.....	51
2.1.4 Cálculo de caudal másico.....	52
2.2 Cálculos de las cargas térmicas de las habitaciones.....	52
2.2.1 Habitación No.1.....	53
2.2.2 Habitación No.6.....	56
2.2.3 Habitación No.2.....	59
2.2.4 Habitación No. 3.....	61
2.2.5 Habitación No. 4.....	63
2.2.6 Habitación No.5.....	64
2.2.7 Cálculo del caudal másico de las habitaciones 2, 3, 4, 5.....	66
2.2.8 Cálculo del sistema de tuberías.....	67
2.2.9 Cálculo de la bomba de recirculación.....	71
2.3 Cálculos para la extracción de olores de la sala.....	72
2.3.1 Cálculo de conductos.....	75
2.3.2 Sección de cada tramo.....	76
2.3.3 Cálculos de las rejillas.....	79
2.3.3.1 Campo de prueba para medir el caudal de aire	
en los difusores.....	80
2.3.4 Determinación del ventilador.....	83
2.4 Cálculo del número de colectores solares, para la alimentación del	
sistema de calefacción.....	83
2.4.1 Tipo colector.....	84
2.4.2 Cálculo del valor de la declinación del sol para el día medio	
de cada mes.....	85
2.4.3 Angulo horario de salida del Sol ( $W_s$ ).....	85
2.4.4 Cálculo de la radiación extraterrestre $H_0$ .....	86
2.4.5 Cálculo de la radiación total diaria por unidad de área de una	
superficie horizontal ( $H'$ ).....	86
2.4.6 Cálculo de la radiación difusa diaria que cae sobre una	

superficie horizontal ( $H_d'$ ).....	87
2.4.7 Determinación de la radiación solar total horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H).....	87
2.4.8 Determinación de la radiación difusa horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal ( $H_d$ ).....	89
2.4.9 Determinación del valor del ángulo de incidencia horario de la radiación Solar directa sobre el calentador solar ( $\theta_t$ ).....	91
2.4.10 Determinación del ángulo cenital ( $\theta_z$ ).....	92
2.4.11 Cálculo de la relación entre la radiación solar directa sobre una superficie inclinada y la radiación solar directa sobre una superficie horizontal ( $R_b$ ).....	93
2.4.12 Determinación de los valores de la radiación solar total horaria que cae sobre la superficie del colector solar ( $H_t$ ).....	94
2.4.13 Determinación del valor efectivo horario del producto transmisividad – absorbencia efectiva del calentador solar $(\tau\alpha)_e$ .....	95
2.4.14 Cálculo de la energía absorbida por el colector solar en la unidad de área (S), y en toda su superficie.....	97
2.4.15 Determinación del coeficiente de pérdida por la cubierta del calentador solar ( $U_t$ ).....	98
2.4.16 Determinación del coeficiente de pérdida por los laterales ( $U_e$ ).....	100
2.4.17 Determinación del coeficiente de pérdidas en el fondo ( $U_b$ ).....	100
2.4.18 Pérdidas de energía específicas.....	101
2.4.19 Determinación del factor de eficiencia del calentador solar ( $F'$ ).....	101
2.4.20 Determinación del flujo de líquido que pasa por el calentador ( $\dot{m}$ ).....	103
2.4.21 Determinación del factor de remoción del calor ( $F_r$ ).....	103
2.4.22 Energía útil ganada por el colector.....	104
2.4.23 Cálculo de la eficiencia diaria del calentador ( $\eta$ ).....	105
2.4.24 Calculo del número de colectores.....	109
2.4.25 Ubicación de los colectores solares.....	111
2.4.26 Conexión de los colectores solares.....	111
2.4.27 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento.....	112
2.4.28 Cálculo del sistema auxiliar.....	112

2.4.29 Bombas.....	113
2.4.30 Mantenimiento de los colectores solares.....	113

### **CAPITULO III**

Valoración Económica e Impacto Ambiental.....	116
3.1 Valoración económica.....	116
3.1.1 Gastos del proyecto.....	116
3.2 Impacto ambiental.....	120
Conclusiones.....	124
Recomendaciones.....	126
Bibliografía.....	128
Anexos.....	130

## RESUMEN

Un sistema de Calefacción se puede obtener con el uso de energías convencionales y no convencionales, en este sentido la calefacción con el uso de energía solar o energía no convencional juega un papel importantísimo en brindar confort e higiene en las actividades hospitalarias.

Se procede al cálculo de la calefacción para la sala de Neonatología, mediante el cual se logra determinar la carga térmica, necesaria a suministrar, implantado también un sistema de recirculación de aire, analizando y tomando en cuenta todos los principios de calefacción, utilizando las normas recomendadas; para luego seleccionar el equipamiento que se adapte a las condiciones y necesidades de la instalación.

El calentamiento de agua, usado para la recirculación se realizó con el uso de colectores solares planos tomando en cuenta el requerimiento térmico, la temperatura del agua, la radiación solar en Loja, y como fundamental punto de partida preservar y conservar las condiciones ambientales y más aún desarrollar este tipo de tecnologías, fácilmente asimilables en nuestro país, por ende en nuestra ciudad y provincia de Loja.

En el tercer capítulo se realiza la valoración económica y un estudio del impacto que se produjese con la instalación actual.

Se puede observar en el desarrollo del mismo, Cuadros, Anexos y tablas.

## SUMMARY

A system of heating one can obtain with the use of conventional and not conventional energy; in this sense the heating with the use of solar energy or non conventional energy plays an important paper in offering comfort and hygiene in the Hospital activities.

You proceeds to the calculation of the heating for the room of Neonatology, by means of which is possible to determine the thermal load, necessary to give, also implanted a system of recirculation of air, analyzing and taking into account all the heating principles, using the recommended norms; for then to select the equipment that adapts to the conditions and necessities of the installation.

The heating of water, used for the recirculation was carried out with the use of plane solar collectors taking into account him thermal requirement, the temperature of the water, the solar radiation in Loja, and as fundamental starting point to preserve and to conserve the environmental conditions and stiller to develop this type of technologies, easily assimilable in our country, for ende in our city and county of Loja.

In the third I surrender he/she is carried out the economic valuation and a study of the impact that takes place with the current installation.

One can observe in the development of the same one, Squares, Annexes and charts.





## INTRODUCCIÓN

Desde hace tiempos atrás la sociedad en general ha estado encaminada en crearse mejores condiciones ambientales y de confort, remarcando esto más en zonas de clima Frío, en las grandes industrias y en los locales donde es imprescindible contar con una buena calidad de aire, tomado en cuenta las normas y leyes sanitarias, su confiabilidad y en especial el factor económico.

Tanto el aire que se respira y la temperatura dentro de un local dependen de factores como: descargas interiores y exteriores de productos contaminantes, ventilación, eliminación de condiciones climatológicas y metereológicas. En los ambientes cerrados son un problema que afecta a la comunidad, tomando muy en cuenta que las personas que laboran en la urbe su mayor tiempo lo pasan en las oficinas siendo lugares cerrados contaminados en mayor o menor grado y a temperaturas no acordes para desarrollar sus labores diarias. Para contrarrestar en parte esta problemática hoy en día se esta optando por la construcción de edificios o casas un poco más herméticos y con un grado mayor de recirculación de aire con el propósito de un ahorro energético.

Cuando nos encontramos analizando temperaturas interiores se suele aplicar a ambientes no industriales: casas de habitación, edificios de oficinas, edificios públicos o privados (teatros, restaurantes, hospitales, escuelas, etc.)

Se debe tener muy en cuenta que las concentraciones de aire interior pueden ser del mismo orden que las usuales en el aire exterior y mucho menores que las existentes en aire industrial donde es necesario usar estándares muy bien definidos y de esta manera evaluar su calidad y confiabilidad.

Por tanto en las industrias, hospitales, el personal que labora no está a satisfacción con la temperatura y la calidad del aire dentro del local siendo imprescindible continuar con las investigaciones en cuanto a esta situación.

Se puede establecer como una función de la calefacción la determinación de condiciones destinadas a garantizar por todo el año, la calidad del aire y más aún el



confort del personal y de esta manera garantizar el buen desarrollo de sus labores cotidianas.

En la metodología y cálculos se detallan todos los aspectos que se deben considerar en el cálculo de la carga térmica para la calefacción y la circulación del aire por los conductos para la ventilación. La aplicación de este sistema se demuestra en la Sala de Neonatología del hospital Isidro Ayora de Loja, teniendo en cuenta que esta sala exige algunas reglas a considerar para su correcta aplicación.



## OBJETIVOS

Los **Objetivos** que se pretende alcanzar son los siguientes:

### Objetivo general

- Realizar el diseño y cálculo del sistema de calefacción, analizando y asociando los parámetros físicos, mecánicos y climatológicos de la sala de Neonatología.

### Objetivos específicos

- Diseñar el sistema de calefacción para la sala de neonatología por medio de la energía solar.
- Establecer un sistema de ventilación que haga posible la extracción de olores de la sala de neonatología incluido en lo que es calefacción.
- Seleccionar el número de colectores, que garantice la correcta calefacción de la sala de Neonatología del Hospital Isidro Ayora.
- Contribuir a la formación de los estudiantes de la carrera de Electromecánica, especialistas del hospital y técnicos de la localidad en el adiestramiento del cálculo de un sistema de calefacción por medio de colectores solares ya sea para hospitales como para cualquier otro local.

Para garantizar el cumplimiento de estos objetivos se establecen como **tareas de trabajo** las siguientes:

- Cálculo de la carga térmica de la sala.
- Selección de fan – coils.
- Proyección del sistema de recirculación de agua.
- Cálculo de la instalación de colectores solares de acuerdo a la capacidad térmica requerida.
- Cálculo del sistema de extracción y selección de sus componentes.
- Comunicación a los estudiantes, personal del hospital y técnicos de la localidad de la esencia de este trabajo y de las características de la instalación propuesta.



Para la realización de trabajo de tesis se usaron los siguientes métodos.

- **Método documental y bibliográfico**, mediante el cual se realizó la sistematización de los conocimientos, con el uso de teorías relacionadas con los sistemas de calefacción a partir del uso de la energía solar.
- **Método explicativo**, de manera que lo desarrollado sea fácil de comprender y de esta manera pueda ser utilizado por cualquier persona enmarcada en este ámbito investigativo.
- **Método experimental**, con los diferentes principios científicos, realizar cálculos para determinar y analizar el comportamiento del sistema que se está desarrollando.



## CAPITULO I

### MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACION

#### 1.1 Fundamentos teóricos

##### 1.1.1 Definiciones a utilizar

Es muy necesario para el análisis de los diferentes sistemas a estudiar el conocimiento de algunas definiciones y de su respectiva nomenclatura.

Aire seco: Son los componentes gaseosos que se encuentran en el aire atmosférico.

Aire Húmedo: Son todos aquellos componentes gaseosos, sumado a este el vapor de agua que se encuentran en el aire atmosférico.

Humedad: Es la cantidad de vapor en la mezcla.

Humedad Relativa: Se considera a la relación entre la presión parcial del vapor de agua contenido en la mezcla y la presión parcial de saturación para esta mezcla considerando la misma temperatura de bulbo seco, se expresa en tanto por ciento.

Temperatura de bulbo Seco: Es la temperatura del aire proporcionada por un termómetro ordinario, esta expresa en grados centígrados o kelvin. (°C o K).

Temperatura de bulbo Húmedo: Es la temperatura proporcionada por un termómetro que tiene un bulbo envuelto en una gasa humedecida e inmerso en una corriente de aire, esta expresada en grados centígrados o kelvin. (°C o K).

Calor Sensible: Es el calor que produce el cambio de la temperatura de una sustancia. Si se analiza el aire atmosférico es el calor extraído o añadido al aire sin que varíe el contenido de la humedad. (humedad constante).

Calor Latente: Este calor no afecta la temperatura de una sustancia, pero produce el cambio de estado de ella al ser extraído o añadido.

Carga térmica: Es la cantidad de calor total que se requiere extraer o adicionar a un recinto o proceso para lograr las condiciones de temperaturas requeridas.



## 1.2 El Sol Fuente de Energía

El sol es un gran cuerpo celeste compuesto de gases calientes que emiten radiación electromagnética, como resultado de las reacciones nucleares que tienen lugar en su interior. Al sol se le considera una estrella típica, posee una superficie visible llamada fotosfera, una atmósfera saturada de gases calientes y encima de ellas una corona más difusa y una corriente de partículas denominada viento solar (estelar).

El diámetro del sol, de acuerdo con los más recientes cálculos efectuados, es de 1 390 860 Km., o sea, unas 109 veces mayor que el diámetro de nuestro planeta, el sol se encuentra constituido por una mezcla de gases, fundamentalmente entre ellos están el 70 % de hidrógeno y un 27 % de helio.

En el núcleo se generan continuamente reacciones nucleares consideradas como la fuente de su energía. Esta energía filtra hacia capas externas y hacia el espacio por dispositivos de convección y radiación.

Al sol analizándolo como disipador energético se puede considerar como una esfera que emana una radiación, la cual se transmite en el espacio a la velocidad de la luz, teniendo en cuenta su distribución en una banda de longitud de onda entre los 0,29 – 4.75 micrones. Irradia como un cuerpo negro a una temperatura cercana a los 6 000 °C.

La energía radiante recibida del exterior de la atmósfera terrestre es la denominada constante solar y tiene un valor promedio de:

$$1,36 \text{ kW/m}^2 = 1167 \text{ kcal / (h - m}^2)$$

### 1.2.1 Radiación Solar Terrestre

La radiación solar al llegar a la atmósfera y atravesarla pasa por los procesos de reflexión, absorción, y difusión los cuales dependen de los componentes atmosféricos que disminuyen la intensidad final.



La componente difusa de la radiación solar se origina por cuatro fenómenos.

- Difusión generada debido al choque de los rayos solares con las moléculas de hidrógeno y oxígeno que se encuentran en la atmósfera. Este fenómeno es el que causa la aparición del color azul en el cielo.
- Difusión producto de las moléculas de vapor de agua.
- Absorción por medio del ozono, dióxido de carbono y vapor de agua los cuales absorben para luego radiar a causa de sus partículas asimétricas.
- Difusión debido a las partículas de polvo.

Se puede concluir que a la superficie terrestre, la radiación solar llega en dos componentes:

- La radiación solar directa, o sea los rayos solares incidentes, radiación que llega directamente.
- Radiación solar difusa es precisamente absorbida y difundida por la atmósfera el valor de ambas es variable y depende de los siguientes factores: la distancia que debe recorrer los rayos del sol a través de la atmósfera hasta alcanzar la superficie terrestre, el contenido de vapor de agua que existe en la atmósfera, y la cobertura de las nubes.

La radiación solar, directa como difusa, se refleja en todas las superficies en las que incide dando lugar a la radiación reflejada. La reflexión dependerá de las características y naturaleza de la superficie reflectora.

La Radiación total global es la suma de los tres tipos mencionados, radiación directa, difusa y reflejada y es la que podemos aprovechar para su transformación térmica.

### **1.2.2 Captación térmica de la energía solar**

La captación térmica de la energía solar es el procedimiento de transformar la energía radiante del sol en calor o energía térmica. Cuando se utiliza la energía recibida por el sol a temperaturas menores de 80 °C, se está hablando de energía solar a bajas



temperaturas y es aplicada para varios fines como: calentar agua (calentamiento de agua sanitaria), hornos solares, calefacción de locales, calentamiento de estanques, etc.

El principio de la captación es que al exponer una placa metálica (en especial negra) al sol, procede a calentarse a medida que recibe la energía radiante. La placa negra rápidamente aumenta su temperatura y por ende empieza a perder calor por factores como conducción a través de sus soportes, convección a través del aire que lo rodea y por radiación.

### 1.2.3 Energía solar térmica

El desarrollo de la energía solar térmica ha sufrido varios procesos los cuales analizamos a continuación, en el período comprendido de 1978 – 1985 la energía solar de baja temperatura tubo un despunte en la industria instalándose unos  $30\,000 \frac{m^2}{año}$  de colectores solares a nivel mundial motivados por la facilidad de conexión y bajo costo de mantenimiento, ha esto se sumaba el aumento de la crisis de materiales fósiles durante esos años influyendo en su desarrollo.

El siguiente proceso en el periodo de 1979 – 1982 se enmarca en el incremento de la demanda, apareciendo numerosas empresas bajando la calidad de los colectores solares.

En el periodo de 1986 – 1990 la venta e instalación de estos dispositivos sufrió un debilitamiento debido a que el precio de los combustibles fósiles bajo notablemente, borrando la crisis energética.

Estos sistemas básicamente son usados por familias individuales para calentamiento de agua con superficies instaladas de  $2\,m^2$  aproximadamente.

Existen algunos parámetros que están en contra de esta tecnología como son:

- Costo elevado.
- Falta de información (las personas consideran que la energía solar aun está en desarrollo).



Las instalaciones de energía solar se clasifican según el uso o no de elementos mecánicos para la captación, en activas y pasivas.

Las instalaciones **pasivas** son aquellas que se fundamentan en la aclimatación, puede ser calefacción o refrigeración de locales tomando en cuenta la no presencia de instrumentos mecánicos.

Las instalaciones **activas** son usadas para el calentamiento de fluidos, según la temperatura alcanzada por el fluido a la salida, las instalaciones activas para el calentamiento de fluidos se clasifican en:

- Baja temperatura ( $\leq 100$  °C)
- Media temperatura ( $\leq 400$  °C)
- Alta temperatura ( $\geq 400$  °C)

#### 1.2.4 Partes del sistema

Las instalaciones de baja temperatura están formadas por tres subsistemas:

- **Subsistema colector:** Capta la energía solar.
- **Subsistema de almacenamiento:** Su finalidad es de adaptar en el tiempo la disponibilidad de energía y la demanda.
- **Subsistema de distribución o consumo:** Traslada a los puntos de consumo el agua caliente.

El colector solar se convierte en el alma de estos sistemas pues tiene la capacidad de captar la radiación solar y convertirla en energía calorífica.

#### 1.2.5 Tipos de sistemas

Se pueden dividir en dos grupos:

- **Circuito abierto:** El agua pasa por los colectores, el circuito primario está directamente conectado al tanque de almacenamiento se caracteriza por no tener intercambiador, esta es la mas simple y su rendimiento térmico es muy elevado, como desventajas presentamos las siguientes:



- En el circuito de colectores no debe existir ningún contaminante.
- No se puede usar anticongelantes.
- Mayores riesgos de corrosión.
- Posibilidad de acumulación de suciedad en el circuito, por la continua renovación de agua de la red.
- **Circuito cerrado:** Posee un intercambiador, el fluido que atraviesa por los colectores no es el de consumo, no existiendo riesgo de contaminación, se pueden usar anticongelantes y la presión es menor, se concluye que es el más utilizado, como desventajas tenemos:
  - Incremento en los costos de la instalación
  - Complejidad

En los casos mencionados se debe garantizar la circulación de agua que se la puede hacer de las dos formas siguientes:

- **Circulación Natural:** El fluido en este caso el agua se mueve por la diferencia de temperaturas que aparece entre el agua del tanque y el agua caliente del colector. En el momento que el sol calienta el agua de los colectores esta baja su densidad y, por ende, su peso, por lo que el mayor peso del agua fría del depósito teniendo muy en cuenta que el tanque debe estar situado encima de los colectores, el fluido sale por el conducto situado en su parte inferior del tanque, el cual está conectado con la tubería de entrada a los colectores, empujando de esta forma el agua caliente del colector por la tubería de salida hacia la parte superior del depósito. Una vez calentada el agua del depósito, ambas temperaturas se igualan por lo que la circulación termina, no reanudándose hasta que halla un consumo de agua, por lo que entra en el depósito agua fría de la red disminuyendo la temperatura del tanque acumulador, estos sistemas son muy simples, la eficiencia tiene un porcentaje muy elevado y el costo es bajo. Sus desventajas son:
  - Se pone en funcionamiento automáticamente no necesita dispositivos debido a la densidad cuando se eleva la temperatura del agua.
  - Caudal circulante pequeño.



- No se puede limitar la temperatura del agua por lo que en verano puede alcanzar valores elevados.
- Tuberías de mayor tamaño para reducir las pérdidas.
- **Circulación Forzada:** En este sistema aparecen las bombas las cuales permiten la circulación del agua, este sistema es mucho más eficiente que el anterior, los inconvenientes que se pueden presentar son los siguientes:
  - Se necesita de corriente eléctrica.
  - Se necesita de un control y una regulación del líquido en este caso el agua para que entre en movimiento.

En los casos anteriormente descritos se pueden tener dos circuitos independientes pero pueden estar unidos por un intercambiador de placa o de cualquier otro tipo.

Muchas de las veces cuando se tiene un intercambiador exterior, la circulación en el primario es por termosifón, aunque lo normal sería que sea excitado por una bomba, ya que en el intercambiador para que exista una correcta transferencia de calor se necesita de mayor cantidad de agua y con el método termosifón no se logra.

Se debe tener presente que el circuito primario resista la presión de la red por si se ocasionan daños en el intercambiador y continúa la comunicación del primario con el secundario:

Características de la energía solar:

- **Ventajas de la energía Solar:**
  - Se considera un recurso inagotable.
  - Se recomienda en zonas alejadas donde es muy difícil llevar la energía eléctrica.
  - La contaminación es casi nula.



- **Desventajas de la energía solar:**
- La energía disponible por metro cuadrado es muy baja.
- No es constante, sometida a cambios día – noche y verano – invierno.
- No se puede almacenar de forma directa teniendo que transformarla energéticamente.

Nuestro país por su ubicación nos permite obtener de altos niveles de radiación durante casi el año completo, ya que la disposición de la radiación solar requiere de varios factores, latitud del lugar, época del año, altura y condiciones climatológicas.

La tecnología más eficaz para aprovechar energía solar es el calentamiento de agua por medio de colectores planos.

### **1.2.6 Colector solar**

A los colectores solares se les considera el corazón de los sistemas de calentamiento de agua, que se componen además de un acumulador de calor, un intercambiador de calor, una bomba de flujo, control y cañerías de conducción con tableros. En la Figura No. 1.1 se observa la construcción y funciones de un colector solar.

El acumulador debe almacenar el calor del sol hasta que sea utilizado y debe soportar períodos de tiempo en ciclos día-noche, mal tiempo, etc. El control enciende una bomba cuando se puede transportar calor desde el colector al acumulador. Se debe tener muy en cuenta que por razones económicas se diseñan los sistemas de calentamiento de agua solar de forma tal, que durante el año o hasta 3 años cubran un 50% de los requerimientos con suministro solar. La parte restante la entrega una calefacción convencional.

En principio los sistemas solares para calentamiento de agua de circulación forzada se distinguen de los de circulación natural. En sistemas de circulación natural el

acumulador se debe ubicar sobre los colectores solares. Como consecuencia de la diferencia de densidades entre el agua fría y caliente, fluye el agua caliente desde el colector hacia arriba, al acumulador, del que fluye el agua fría hacia abajo, a los colectores. Un sistema simple de calentamiento de agua con circulación natural y otro con control y circulación forzada, mostrará las principales partes y funciones de cada tipo de sistema.

Un colector se compone de una caja de clima fijo, una protección transparente (vidrio), material de aislamiento a los costados y cara posterior, y un absorbedor, el que toma en lo posible la mayor parte de la radiación incidente (absorber), la transforma en calor y la entrega al medio circulante transportador de energía, como calor.

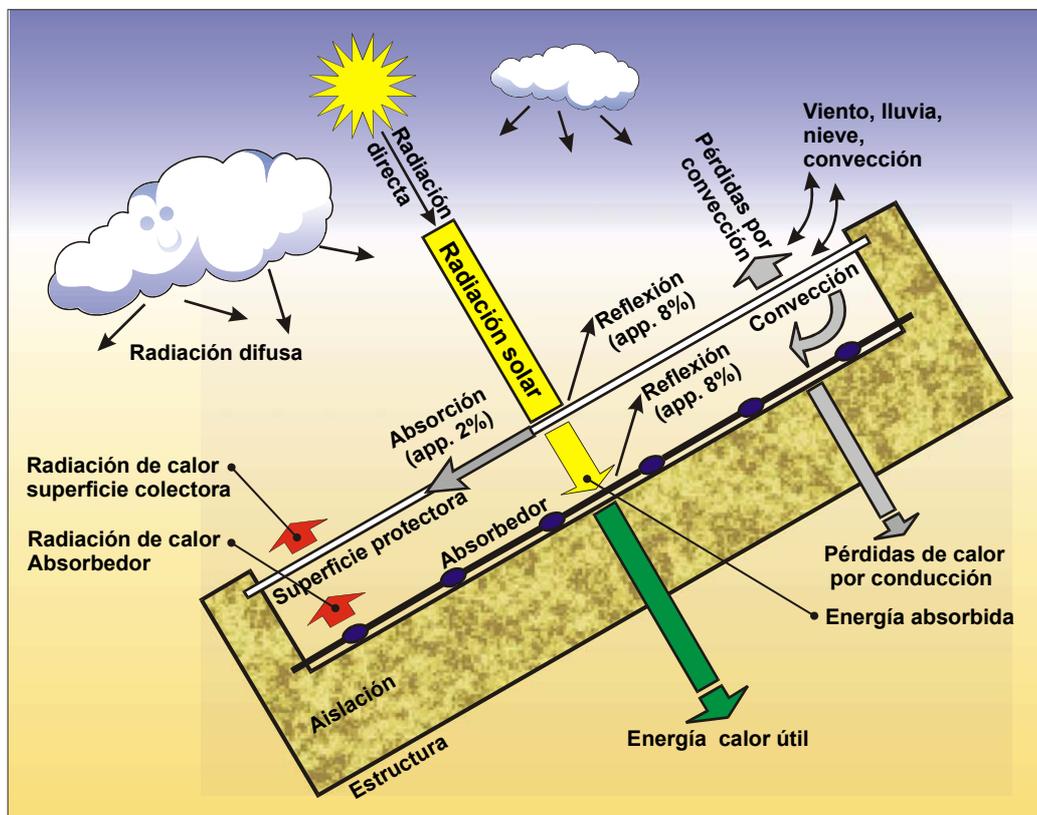


Figura No. 1.1 Construcción y Funciones de un Colector Solar

La **caja** tiene la tarea de proteger el absorbedor de las influencias del clima. Los materiales utilizados son plásticos, latón con zinc, láminas de acero precioso o aluminio.

El sellado debe permitir aislar el interior de la humedad.

La **superficie protectora** Se usa generalmente de vidrio constituye el techo de la caja y tiene que estar sellada. Simultáneamente debería en lo posible dejar pasar la radiación solar sin incurrir en las pérdidas, esto significa que debe poseer un alto valor para el factor de transmisión  $\tau$ . Para ello se adecua el uso de vidrio pobre en óxido de hierro (vidrio blanco, vidrio pirex). La caja con la protección transparente hace las veces de un invernadero que contiene un absorbedor caliente. La radiación solar puede entrar, pero el calor no puede salir. Como consecuencia del efecto invernadero se reducen las pérdidas por radiación del calor y por conducción.

El **aislamiento** en los costados y cara posterior debe aminorar las pérdidas de calor por conducción. Para ello se utilizan materiales de baja conductividad térmica que además deben soportar temperaturas de 200 °C. La lana mineral ( $\lambda = 0,4$  W/mK) y la espuma sólida de PU ( $\lambda = 0,027$  W/mK) son los materiales más utilizados

El **absorbedor** se compone de un material conductor con una superficie pintada oscura o con protección selectiva. Contiene canales y tubos adheridos a él, que permiten el flujo de calor entre el medio que cede calor al que lo transporta. Las protecciones selectivas mejoran la eficiencia del conductor. Para éste tipo de aplicación se utilizan absorbedores de cobre, aluminio y acero precioso. En la figura No. 1.2 se puede observar formas de construcción y distintos materiales.

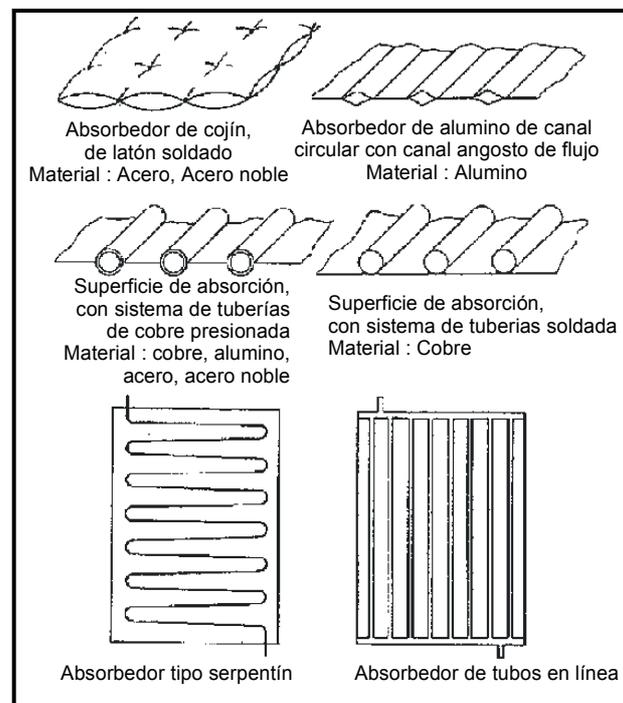


Figura No. 1.2 Formas de construcción y distintos materiales

### **1.2.6.1 Tipos de colectores**

#### **1.2.6.1.1 Colectores planos**

Los colectores planos se utilizan desde hace años y son el tipo de colectores solares más utilizados. Además existe una gama de otros tipos de colectores, que son sólo modificaciones del colector plano, como por ejemplo: colectores de tubos al vacío, colectores para piscina, colectores de aire.

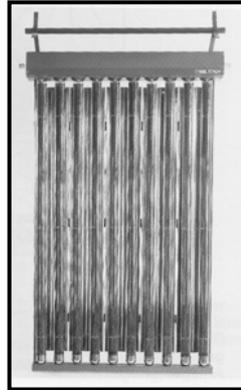
#### **1.2.6.1.2 Colectores de tubos al vacío**

Los colectores de tubos al vacío se componen de un tubo de vidrio sellado al vacío de dos caras, en el que se encuentra un absorbedor con cubierta selectiva. Con esto se logra impedir el transporte de calor por convección al interior del tubo desde el absorbedor caliente hacia el bulbo de vidrio. El bulbo de vidrio permanece aún ante una intensa radiación solar fría. Por ello y por la capa selectiva se irradia muy poco calor al ambiente. Estas propiedades permiten que los colectores de tubos al vacío, para una misma temperatura de trabajo, desarrollen una eficiencia considerablemente mayor que la de un colector plano. Están mejor diseñados para ser utilizados y para desarrollar altas temperaturas. La figura No. 1.3 muestra los componentes principales de un colector de tubos al vacío.

El aprovechamiento del calor del absorbedor se logra bien a través de un medio transportador de calor, que fluye por un intercambiador de calor de tubos unido al absorbedor.

Debido a que los tubos de vidrio poseen sólo un diámetro aproximado de 100 m.m. La superficie de absorción de un colector de tubos es relativamente pequeña. Para alcanzar mayores potencias energéticas se debe conectar un número de colectores de tubos, constituyendo así un sistema de colectores. En el se juntan los cabezales de

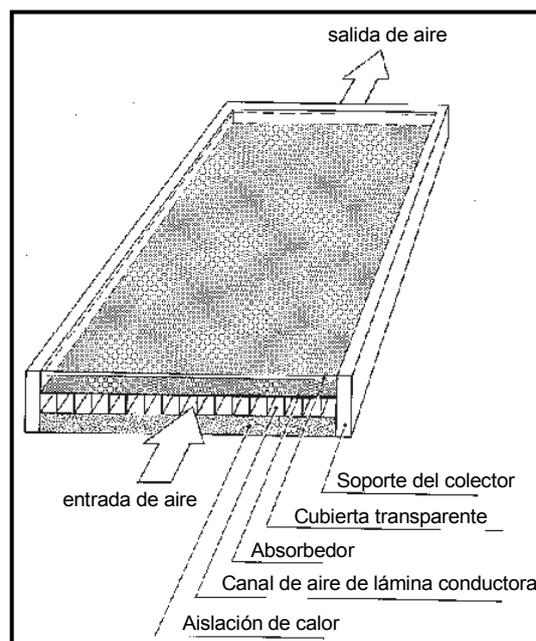
condensación y se conducen por una tubería a un único gran intercambiador de calor, por el cual fluye el medio transportador de calor y obtiene el calor útil.



**Figura No. 1.3 Sistema de Colector de Tubos al Vacío.**

### 1.2.6.1.3 Colectores para piscina

El colector para piscina se compone generalmente de un absorbedor simple sin caja y sin protección como se indica en la figura No. 1.4 Debido a que trabaja a bajas temperaturas (30 °C aproximadamente) cercanas a la temperatura ambiental, no se requieren protecciones especiales contra las pérdidas de calor.



**Figura No. 1.4 Colectores para Piscinas**



#### 1.2.6.1.4 Colectores de aire

Los colectores de aire utilizan como medio de transporte de calor el aire. Se utilizan especialmente para el calentamiento de habitaciones o para el secado de productos agrícolas (por ejemplo frutas). La construcción es parecida a la de un colector plano.

#### 1.2.7 Medio Transportador de calor

El mejor medio transportador de calor para temperaturas entre 0 y 100 °C es agua. Otros medios transportadores de calor son aire, aceite térmico, alcohol (en tubos de calor) y otros líquidos especiales, soluciones o mezclas. Las propiedades físicas, ecológicas y económicas que debe poseer un medio líquido transportador de calor, debe cumplir las siguientes exigencias:

- Bajo punto de congelamiento (-30 °C)
- En lo posible un alto punto de ebullición
- Baja viscosidad (de lo contrario existen altas pérdidas de presión en el bombeo)
- Buena conductividad
- Buena capacidad (capacidad calórica)
- No tóxico
- Incombustible
- No corrosivo, en lo posible de baja corrosión.

Se puede apreciar rápidamente que no existe un medio ideal para el transporte de calor. Para cada aplicación se debe buscar el que mejor se adecue.

La eficiencia,  $\eta$ , de un colector solar nos dice que parte de la potencia irradiada por el sol se transforma en potencia útil.



### 1.3 Calefacción

La calefacción es un sistema que permite elegir la temperatura a gusto de cada usuario, proporcionando parámetros de confort dentro de una habitación o de una sala en general.

#### 1.3.1 Sistemas de calefacción

##### 1.3.1.1 Sistemas de calefacción eléctricos

La utilización de energía eléctrica es relativamente sencilla en el momento de controlarla y distribuirla.

En comparación con los otros métodos de calefacción, la calefacción eléctrica tiene un costo de instalación inferior, requiere menos mantenimiento, y es más fácil de zonificar. En muchos casos se adopta la calefacción eléctrica de espacios cuando el costo inicial mínimo es un factor dominante. Sin embargo, la electricidad es una fuente de energía relativamente costosa. El aumento de costos de energías en los años setenta ha hecho que la electricidad sea prohibitiva económicamente en algunos casos. Los costos de operación de los sistemas eléctricos son normalmente superiores a los de calefacción con gas o combustibles fósiles, para realizar la selección del sistema de calefacción eléctrica se requiere, un análisis detallado del sistema de calefacción y que de esta manera satisfaga tanto el rendimiento como la efectividad económica del proyecto. El rendimiento se define como la capacidad del sistema para cumplir las necesidades del edificio, determinado en función del consumo energético requerido para mantener una temperatura interior por encima de las temperaturas exteriores. Los costos de operación son difíciles de determinar, se basan en la demanda anual de calefacción junto con estimaciones de precios de electricidad para determinar los costes anuales de operación. Es recomendable tener en cuenta los precios de electricidad de las compañías eléctricas y sus previsiones de futuros precios de electricidad. Tendiendo en cuenta también los precios de otras fuentes de energía, tales como fuel-oil y gas.



### 1.3.1.2 Sistema de calefacción por rayos infrarrojos

Este tipo de calefacción usa los rayos infrarrojos, aprovechando el hecho de que la luz puede transmitir calor, igual que la luz del sol puede calentar una superficie fría.

Puede ser utilizada en variedad de usos, los cuales se centran en calentar superficies restringidas dentro de grandes espacios. Por ejemplos:

- Cocheras de autobuses
- Carpas (entoldados)
- Garajes
- Gimnasios, etc.

Con el uso de estos calefactores por rayos infrarrojos el usuario puede tener calefacción total para un edificio entero manteniendo las temperaturas deseadas , así también para calefacción de zonas específicas dentro de un edificio, y en especial para calefacción de zonas al aire libre.

### 1.3.1.3 Sistemas de calefactores con combustibles

#### 1.3.1.3.1 De gas

Estos equipos usan el gas natural o propano, proporcionado presurizado. El gas es transportado por un tubo. El calor proporcionado por un calefactor tubular de gas puede ser de más de 29,3 kW., mientras que el de los calefactores de tipo panel oscila entre 5,9 y 58,6 kW. Estos dos tipos se instalan normalmente en lo alto de una pared, o colgados del techo mediante cables. Pequeños equipos portátiles, provistos de un tanque de gas licuado de petróleo (LPG), el cual puede estar instalado en el suelo.

### 1.3.1.4 Sistema de Calefacción por medio de calentamiento de agua

Se puede detallar que el calentamiento de agua es una de las aplicaciones más efectivas a través de la utilización de energía solar. Algunas razones que lo confirman son:

- La energía para el calentamiento de agua permanece casi constante durante el año, lo que permite una buena utilización de las altas radiaciones durante el período de verano.
- La ganancia de energía se puede lograr a bajos niveles de temperatura (invierno) en la medida que la temperatura de la fuente de calor sea capaz de elevar la temperatura del agua fría en 10-12 °C.
- Los sistemas más utilizados de calentamiento de agua que utilizan una caldera de aceite o gas, trabajan durante el verano con un bajo grado de eficiencia. Mediante la paralización de la caldera en los tiempos de calor y la utilización de colectores solares para el calentamiento de agua se puede lograr un alto ahorro de aceite o gas.

#### 1.3.1.4.1 Componentes y funciones de un sistema de calentamiento de Agua

Se puede observar en la figura No. 1.5 un esquema de un sistema solar térmico para calentamiento de agua, luego los colectores solares, que es el factor mas importante del sistema, se requieren más componentes los que deben estar ubicados en un orden especificado para obtener un funcionamiento óptimo del sistema completo; los componentes son los siguientes:

- Acumulador de agua caliente,
- Intercambiador de calor,
- Tuberías,
- Bomba de circulación,
- Control,
- Sistemas de seguridad,
- Armazón,

## ➤ Calefacción Auxiliar.

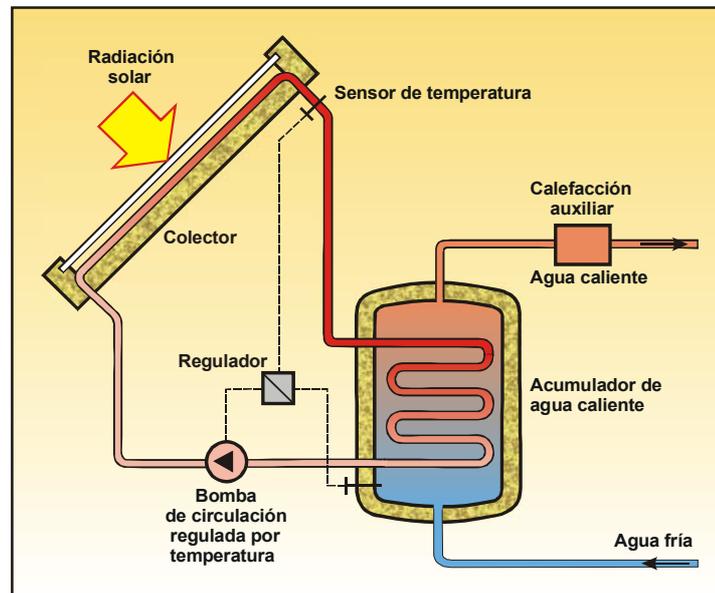


Figura No. 1.5 Esquema de un Sistema Solar Térmico para Calentamiento de Agua.

#### 1.3.1.4.2 Acumulador de agua caliente

La radiación del sol no siempre coincide en el tiempo con el requerimiento de agua caliente, el acumulador de agua caliente debe almacenar el calor del sol para ser utilizado posteriormente. El volumen del acumulador debe ser tal, que exista suficiente calor durante el período de consumo de agua caliente y pueda además contrarrestar las variaciones que experimenta la radiación solar como son el día y la noche. Por ello el volumen del acumulador debe ser por lo menos 1,5 veces el volumen diario de agua requerido. Para disminuir lo mayor posible las pérdidas térmicas, el soporte del acumulador debe estar muy bien aislado (por lo menos 10 cm. de espesor).

La carga térmica del acumulador solar se logra a través de un intercambiador de calor ubicado en la parte baja del acumulador. El agua que se calienta, sube por convección natural y se acumula en la parte superior del acumulador, de donde se toma el agua para el servicio. Se debe tener en cuenta que en la parte superior del acumulador se ubica un segundo intercambiador para el calentamiento del agua durante la noche y opera con la caldera en caso que la energía solar no alcance o la temperatura o cantidad de agua no sea suficiente. Por ello ocurre una estratificación natural de la temperatura al



interior del acumulador desde abajo hacia arriba, abajo frío, arriba caliente, la que es deseada y necesaria. La diferencia de temperatura entre arriba y abajo puede llegar a ser de 70 °C. La forma ideal del acumulador para que se genere la estratificación en capas de temperatura, es construir un acumulador alto, con una relación entre su diámetro y altura de por lo menos 1: 2,5. Para evitar problemas de corrosión, en la actualidad los acumuladores se construyen de acero esmaltado o de acero noble, que a la vez resisten altas presiones.

#### **1.3.1.4.3 Intercambiador de calor**

Cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre el agua del colector y la de consumo la eficiencia de la transferencia de calor es mayor, Por ello el intercambiador de calor se ubica en la zona fría, esto es en la parte inferior del acumulador de calor.

#### **1.3.1.4.4 Bomba de circulación**

La bomba de circulación, es la encargada del transporte del medio energético, debe estar dimensionada para que en el circuito del colector fluya una cantidad entre 40 a 60 litros por hora y  $m^2$  dependiendo del requerimiento, un sobre dimensionamiento significa un requerimiento adicional innecesario de corriente, la ubicación de la bomba se hace en la zona fría (recirculación), cuando existen fallas en la bomba, cae la alta carga del sistema solar. Pudiendo alcanzar temperaturas de parada hasta 200 °C y aun más. Esto se debe tener considerado en el diseño del sistema para evitar daños.

#### **1.3.1.4.5 Control**

Tiene la finalidad de encender la bomba cada vez que exista necesidad de calor y de apagar la bomba cuando no haya calor para transportar del colector al acumulador. Para ello se usa generalmente una regulación basada en diferencias de temperaturas.

Este tipo de control compara la temperatura de salida del colector con la de la zona inferior del acumulador.



#### 1.3.1.4.6 Sistema de seguridad

El sistema de seguridad se ocupa de evitar las sobre presiones, con la necesidad de incorporar recipientes de expansión y una válvula de seguridad, sumado a esto se instalan recipientes de expansión de membrana, los que compensan la expansión de volumen del medio transportador de calor a través de calentamiento.

La válvula de seguridad o de sobre presión se ajusta a la máxima presión que es capaz de soportar el sistema. Se abre cuando esta presión es alcanzada, por ejemplo cuando el sistema está parado en verano, para que no existan sobre presiones en el sistema y se eviten así daños. Todos los componentes del sistema deben estar dimensionados para soportar la presión máxima requerida.

#### 1.3.1.4.7 Tuberías y estructura

Las tuberías usadas para la unión entre colector y acumulador de calor deben ser cortas y bien aisladas para mantener bajas las pérdidas de calor. Los materiales de las cañerías y de la estructura deben tener las siguientes características:

- Soportar temperaturas hasta  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (temperatura exterior más baja en invierno) y por lo menos  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (temperatura más alta en verano).
- Soportar la presión máxima del sistema en todo el incremento de la temperatura.
- Resistentes a la corrosión en contacto con el medio transportador de calor (generalmente agua) y los demás materiales utilizados.

Hoy en día el material de las tuberías más utilizado es el cobre, ya que satisface las exigencias y es fácil de trabajar.

#### 1.3.1.4.8 Calefacción adicional

Con solo un sistema de calentamiento de agua solar no es capaz de satisfacer los requerimientos de agua durante todo el año, se requiere por regla una calefacción adicional. Se puede instalar una caldera convencional (aceite, gas) conectada a un intercambiador de calor en la parte superior caliente del acumulador de calor, o bien a la



salida del acumulador conectada a la red de agua caliente como un calentador de agua a gas o también se puede utilizar una calefacción eléctrica.

#### **1.3.1.4.9 Diseño de un sistema de agua caliente**

Se debe tener muy en cuenta la demanda que se necesitara para la recirculación en nuestro sistema, se puede asumir que los colectores solares mayoritariamente calientan el agua durante el verano, durante el resto del año los colectores solo precalientan el agua de servicio. El calentamiento adicional se logra entonces con la calefacción auxiliar. Para ello se utilizan 1 a 2 m<sup>2</sup> de superficie de colector por persona y entre 100 hasta 150 litros de capacidad de acumulación.

En el dimensionamiento de un sistema de calentamiento de agua, la cobertura solar debe considerarse de acuerdo a la experiencia entre un 40 a 50%.

#### **1.3.1.4.10 Tipos de sistemas para calentamiento de agua**

Dependiendo del tipo de función se diferencian los sistemas solares de calentamiento de agua en:

- Sistema solar de circulación natural, denominado también sistema de termosifón.
- Sistema solar de circulación forzada.

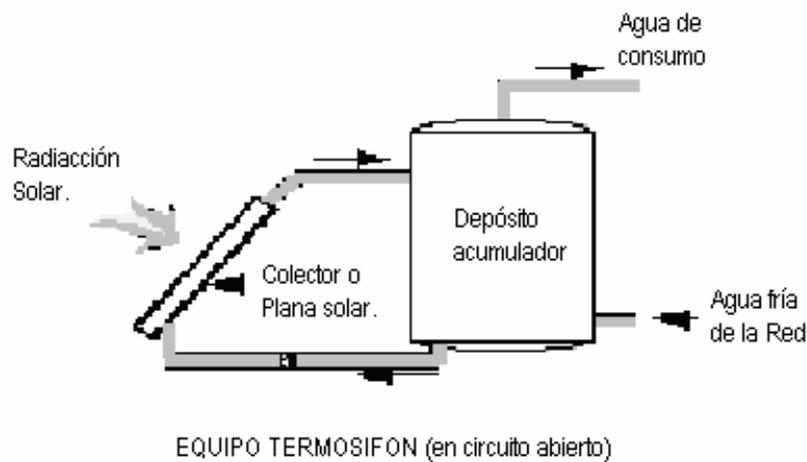
##### **1.3.1.4.10.1 Sistemas de calentamiento de agua según el principio termosifón**

El sistema de calentamiento de agua más simple opera bajo el principio termosifón y se compone esencialmente de un colector solar y de un acumulador de agua caliente ubicado más arriba del colector. Como consecuencia del calentamiento del agua en el colector por la radiación solar, el agua caliente sube y fluye en el recipiente de acumulación. El agua más fría ubicada en la parte más baja del recipiente de acumulación fluye de regreso en el colector. De este modo se genera un circuito sin necesidad de un accionamiento externo (bomba) según el principio termosifón o convección libre. La fuerza impulsora es en este caso la fuerza de gravedad. Importante

es que el acumulador de calor, en la figura No. 1.6 se puede apreciar el funcionamiento de un sistema termosifón.

Existen sensores de temperatura a la salida del colector y en el centro de la superficie de absorción, de modo que se pueda determinar la temperatura instantánea y el comportamiento de la temperatura durante un intervalo de tiempo.

Se llena el sistema, instalado sobre un soporte transportable, con agua por sobre el sujetador de inclinación y se orienta de forma que el colector solar quede expuesto a toda la radiación solar.



**Figura No. 1.6 Principio de Funcionamiento de los Sistemas Termosifón**

### **1.3.1.4.10.2 Sistema de calentamiento de agua regulado con circulación forzada**

En un sistema de calentamiento de agua regulado, se logra el transporte de calor desde el colector hacia el acumulador por la acción de una bomba.

El control de temperatura se ajusta a una diferencia de temperatura de 5 °C.

Cuando la temperatura de la salida del colector es 5 °C mayor a la de la temperatura inferior del acumulador, entonces se enciende la bomba. En nuestro sistema



se encuentra el acumulador más abajo que el colector, al contrario que el acumulador del sistema termosifón.

El sistema se ubica sobre una estructura movable, y después de ser llenado con agua se ubicará la estructura de modo que el colector quede totalmente expuesto a la radiación solar.

### **1.3.2 Calefacción de puertas**

La calefacción de puertas difiere de la aplicación normal en que incluye la carga de infiltración. Comparadas con las cargas de transmisión, las cargas de infiltración son erráticas y difíciles de predecir. Lo mejor que puede hacer un ingeniero es utilizar técnicas apropiadas combinadas con buen juicio para llegar a la solución con una posibilidad razonable de éxito a un costo razonable. Es imposible predecir el rendimiento exacto del sistema diseñado.

#### **1.3.2.1 Características de las cargas de calefacción de puertas**

Las soluciones efectivas para los problemas asociados a la calefacción de puertas deben reconocer las diferencias entre las cargas de infiltración y transmisión y responder de acuerdo con ellas. Las diferencias incluyen lo siguiente:

1. Las cargas de calefacción de puertas sufren cambios repentinos de temperatura. Con una carga de transmisión, la temperatura cambia lentamente.
2. Las cargas de calefacción de puertas son compactas. Los calefactores de puertas deben ser situados en la proximidad de la puerta.
3. La carga de calefacción de puertas es una masa de aire en movimiento. La carga de transmisión afecta a un considerable volumen de aire. La carga de calefacción de puertas consiste en una masa de aire frío que empuja y aparta el aire caliente de su trayectoria. Dado que el aire frío está en movimiento, los sistemas de control de un calefactor de puertas deben anticipar a las necesidades de calefacción.
4. Las cargas de calefacción de puertas son de corta duración. La carga de calefacción de puertas existe sólo mientras la puerta está abierta. En general las puertas no



permanecen abiertas más de 5 minutos. Sin embargo, las pérdidas de calor durante este tiempo muchas veces sobrepasan las pérdidas que puedan producirse en varias horas con la puerta cerrada.

En general, las cargas de transmisión con llevan cambios de temperaturas suaves sobre un volumen de aire constante y previsible. Las cargas de infiltración, en cambio, son cargas intensivas que se producen durante períodos de tiempo muy cortos.

Además, se concentran en una zona relativamente pequeña. El calefactor de puertas se puede definir como un dispositivo diseñado para responder a los requisitos especiales de una carga de infiltración.

#### 1.4 Ventilación

La ventilación es la renovación del aire de un local por aire del exterior. En latín la palabra ventilación significa “cambio de aire”. El objetivo de la ventilación consiste en mantener la composición química y el estado físico del aire que satisfaga los requisitos higiénicos y tecnológicos, o sea, asegurar una pureza necesaria del aire, su temperatura, humedad y velocidad de movimiento.

En su función higiénica tiene como objetivo:

- El control de los niveles de contaminantes contenidos en el aire, tanto orgánico como inorgánico, tales como polvos, bacterias, partículas extrañas, gases nocivos, olores, etc.

La función térmica de la ventilación contempla:

- La evacuación de la carga térmica en exceso de los locales, sustituyendo la masa de aire caliente por aire más frío, enfriando por conducción las superficies calientes.

Para la solución de estas funciones tiene en cuenta el caudal de aire, o la velocidad de su movimiento.



El exceso de calor en los locales aumenta la temperatura del aire y crea condiciones desagradables que influyen en el bienestar, la salud y la capacidad de trabajo de las personas, el excedente de humedad en el local ejerce una influencia negativa en el organismo del hombre. A una temperatura ambiente de 20 °C en estado de reposo, el hombre elimina 45g de humedad por hora; en un trabajo pesado a esta misma temperatura se alcanza a eliminar una humedad de 200g. A una temperatura del aire igual a la del cuerpo humano (36,6°C) la eliminación de calor como resultado de la convección se hace igual a cero, y la regulación térmica se mantiene fundamentalmente por evaporación de humedad de la superficie de la piel. En estado de reposo en este caso el desprendimiento de humedad es de 130g/h, mientras que en un trabajo pesado es de 430g/h., el hombre en una hora aspira y expira un promedio de 500 litros de aire, en un día aspira y expira 15 – 17 m<sup>3</sup> de aire. El aire expirado tiene en volumen: 15% de oxígeno (O<sub>2</sub>); 79% de nitrógeno (N<sub>2</sub>); 5% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); y un 1% de otros gases.

La contaminación del aire en los locales por los gases expulsados por las personas se tiene en cuenta en el proyecto de ventilación de los edificios sociales.

La contaminación del aire en los locales de producción tiene lugar fundamentalmente como resultado de los gases y vapores que se forman a consecuencia de los procesos productivos.

Las concentraciones límites admisibles de los gases y vapores tóxicos están reglamentadas rigurosamente por las normas sanitarias para el aire de los locales, limitándose a cantidades inofensivas para la salud de las personas.

La contaminación del aire por impurezas mecánicas (polvos) influye perjudicialmente en la salud del hombre.

Mientras más pequeña sea la partícula de polvo más profundo penetra en los pulmones.



### **1.4.1 Clasificación de los sistemas de ventilación**

Los sistemas de ventilación son un conjunto de componentes de ingeniería, que incluyen la vía aérea (conductos de aire), equipos para procesar y transportar el aire y equipos de redes (materiales receptores y distribuidores de aire, estranguladores, válvulas, etc.)

El aire que llega a la instalación se llama aire afluente. El aire que se extrae de la instalación, se llama aire succionado.

En dependencia del procedimiento de movimiento del aire en las instalaciones ventiladas, la ventilación puede ser:

a.- Natural.- Se considera la diferencia de temperaturas del aire interior y exterior, y de la acción del viento, es decir, de factores naturales.

b.- Mecánica con impulso artificial del movimiento del aire.-Se toma en cuenta el trabajo de los ventiladores.

### **1.4.2 Sistemas de ventilación y sus elementos**

#### **1.4.2.1 Sistema de ventilación general**

Los sistemas que permiten el cambio de aire en todo el volumen del local se llaman sistemas de ventilación general.

Dependiendo de las necesidades de los locales, existen de acuerdo a su construcción una gran cantidad de diversos elementos de los sistemas y equipos de tratamiento, transportación y distribución tanto del aire afluente como extraído.

La mayor aplicación la tienen los sistemas de ventilación general de tipo combinado (afluencia y extracción). Estos sistemas se instalan en la mayoría de los edificios de producción y sociales.



La ventilación general por extracción de emergencia se instala en los locales donde es posible una penetración brusca y en grandes cantidades de sustancias venenosas o explosivas la ventilación general por extracción se compone de una red de conductos de aire, equipos para la extracción del aire y cámaras de extracción donde se instalan los ventiladores con motores eléctricos y pozos para la expulsión del aire contaminado a la atmósfera.

#### **1.4.2.2 Ventilación mecánica.**

El sistema de ventilación en el cual el aire se desplaza debido a la presión creada por cualquier equipo impelente (ventilador, eyector) se llama sistema mecánico. La ventilación mecánica en comparación con la natural tiene una serie de ventajas, las principales son: radio grande de acción (hasta 50m) como consecuencia de las grandes cargas creadas por el ventilador, posibilidad de variar o conservar el volumen necesario de aire afluente o de aspiración con independencia de las condiciones meteorológicas de temperatura del aire exterior y velocidad del viento, posibilidad de someter el aire a distintos tratamientos (eliminación del polvo, humedad, etc.) Además se puede abastecer un gran número de locales, lo que permite lograr economía a cuentas del fortalecimiento de la potencia unitaria del equipo de ventilación.

Como desventaja de la ventilación mecánica es necesario señalar: la necesidad de aislamiento debido a los ruidos y el costo significativo de su construcción y explotación entre los tipos de ventilación local afluente se encuentran las duchas de aire y los oasis de aire.



## CAPITULO II

### Cálculo del sistema de calefacción con el uso de energía solar

#### 2.1 Metodología para el cálculo de las cargas térmicas

Por lo general cuando existe una diferencia de temperatura entre dos puntos de un mismo cuerpo, existirá una transferencia de calor, igualmente se producirá un flujo de vapor entre dos puntos sometidos a diferentes presiones parciales de este. Estas situaciones se observan en estructuras como (paredes, techo, piso) de un local con calefacción.

El calor ganado es la suma del flujo de calor relativamente estacionario, generado por la temperatura del aire en el interior del local es menor que la del exterior, sumado a esto el flujo de calor no estacionario producido por la intensidad de la radiación solar variable por la superficie exterior estructura.

Dos factores externos a considerar en el comportamiento del flujo de calor ingresando a la superficie exterior de la estructura son:

- Variación diaria de la temperatura exterior.
- Característica sinusoidal de la intensidad de la radiación solar.

La calefacción es el sistema de acondicionamiento del aire por el cual los locales alcanzan el agradable bienestar que supera las inclemencias del tiempo (bajas temperaturas) del exterior. Para la realización del cálculo de las cargas térmicas en las habitaciones de la sala de neonatología se usará las siguientes formulas:

Para determinar el área de pared y el volumen en cada cuarto se utilizan las siguientes formulas:

$$A = L * L \tag{2.1}$$

$$A = \text{Área} = m^2$$

$$L = \text{Longitud} = m$$



$$V = A * H \quad (2.2)$$

$$V = \text{Volumen} = m^3$$

$$A = \text{Área} = m^2$$

$$H = \text{Altura} = m$$

### 2.1.1 Cálculo del flujo de calor

Cuando se inicia el cálculo de la carga térmica es imprescindible conocer el "Coeficiente de Transferencia de Calor " denominado con la letra "K", o número de kcal que se pierden por hora, metro cuadrado de superficie exterior expuesta, y por grado centígrado de temperatura (kcal/ h m<sup>2</sup> °C). Se debe tener en cuenta zonas con pérdidas notables de calor, tales como suelo, tumbado o techo, paredes, ventanas, etc. ver tabla No. 2.1 por la cual se determinará el coeficiente K, los coeficientes de transferencia de calor para las paredes, tumbados, Pisos y ventanales son los siguientes:

**Tabla No.2.1 Coeficientes de transferencia de Calor**

Material	Unidades	Unidades
<b>Tumbado</b>	$1.26 \frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$	$1.465 * 10^{-3} \frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$
<b>Paredes</b>	$1.32 \frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$	$1.535 * 10^{-3} \frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$
<b>Vidrio</b>	$5.5 \frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$	$6.3965 * 10^{-3} \frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$
<b>Piso</b>	$1.45 \frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$	$1.6863 * 10^{-3} \frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$

Para encontrar el flujo de calor en cada una de las habitaciones se considera el área de la habitación, tomando muy en cuenta la temperatura del exterior y la temperatura que se desea tener en el interior, se establece el coeficiente de transferencia de calor a través de las paredes, el piso, tumbado y los ventanales y se procede a calcular el flujo calorífico con la siguiente ecuación general de flujo estacionario:

$$Q = A * K * \Delta T \quad (2.3)$$

Q = Flujo de Calor dado en (kW)



$A$  = Área del local dada en ( $m^2$ )

$K$  = Coeficiente Global de transferencia de calor dado en  $\left(\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}\right)$

$\Delta T$  = Incremento de Temperatura dado en ( $^\circ C$ )

### 2.1.2 Cálculo de las cargas por infiltración

La infiltración de aire es otra carga de calor muy importante. Es el aire frío que penetra en el interior, a través de las ranuras de las puertas y ventanas. Esta pérdida depende del tipo de sello existente en dichos elementos y de la velocidad del viento; de todas formas, con un buen sellado, se pueden llegar a disminuir dichas pérdidas. Por el contrario si éstas existen, nos llevarán a unos gastos de calor y para calcular el calor perdido por infiltración se usa la ecuación general para la transmisión de calor por puertas previa la selección de **n** en la tabla No. 2.2:

**Tabla No. 2.2 Infiltración por puertas.**

CONDICIONES PARA DETERMINAR “n”	
No. de lados del local con puertas.	
Ninguna	½ cambio / hora
1	¾ cambio / hora
2	1 ½ cambio / hora
3	2 cambio / hora
4	2 cambio / hora

$$Q = 1.2 (text - T_{int}) n * V \quad (2.4)$$

$n$  = numero de cambios por hora.

$V$  = Volumen del local en  $m^3$

$T_{int}$  = Temperatura interior.  $^\circ C$

$text$  = Temperatura exterior.  $^\circ C$

$$1,2 = \text{Calor específico volumétrico del aire } \frac{kJ}{m^3 * ^\circ C}$$

### 2.1.3 Cálculo de las cargas de ventilación exterior

Se debe considerar el flujo de calor por ventilación exterior, analizando el número de personas que permanecerán en las habitaciones y con la ayuda de la tabla No.2.3 determinar el caudal de ventilación requerido en las habitaciones, para hallar estos cálculos nos basamos en la siguiente ecuación:

$$Q_{SV} = 1,2 V_v (\Delta T) \tag{2.5}$$

$$V_v = \text{Caudal de ventilación} = \frac{m^3}{s}$$

$Q_{SV}$  = Ganancias o caudal sensibles dado en kW.

$\Delta T$  = Incremento de Temperatura dado en ( $^\circ C$ )

**Tabla No. 2.3 Caudal de aire exterior para la ventilación de locales climatizados**

Aplicación	No. de fumadores	$\frac{m^3}{s} / persona$		$m^3(s * m^2)$ de piso mínima
		Recomendada	Mínima	
Apartamento	Pequeño	$9.5 * 10^{-3}$	$6.9 * 10^{-3}$	
Barbería	Grande	$6.9 * 10^{-3}$	$6.9 * 10^{-3}$	
	Muy Pequeño	$4.7 * 10^{-3}$	$3.6 * 10^{-3}$	
Salón de Belleza	Grande	$14.2 * 10^{-3}$	$11.7 * 10^{-3}$	$2.5 * 10^{-4}$
	Pequeño	$3.6 * 10^{-3}$	$2.4 * 10^{-3}$	
Bar	Grande	$23.6 * 10^{-3}$	$14.2 * 10^{-3}$	
Grandes Almacenes	Muy grande	$9.5 * 10^{-3}$	$6.9 * 10^{-3}$	
Sala de Consejo.		$9.5 * 10^{-3}$	$6.9 * 10^{-3}$	
Farmacia	Pequeño	$4.7 * 10^{-3}$	$3.6 * 10^{-3}$	$5.4 * 10^{-4}$
Fabrica	Ninguno	$4.7 * 10^{-3}$	$3.6 * 10^{-3}$	
Funeraria	Pequeño	$4.7 * 10^{-3}$	$3.6 * 10^{-3}$	
Hospital	Ninguno			$10.2 * 10^{-3}$
Quirófano	Ninguno	$14.2 * 10^{-3}$	$11.7 * 10^{-3}$	$1.7 * 10^{-3}$
Habitación Privada	Ninguno	$9.5 * 10^{-3}$	$6.9 * 10^{-3}$	
Sala común	Ninguno	$9.5 * 10^{-3}$	$6.9 * 10^{-3}$	
Laboratorio	Pequeño	$14.2 * 10^{-3}$	$11.7 * 10^{-3}$	$1.7 * 10^{-3}$
Habitación de Hotel	Grande	$5.6 * 10^{-3}$	$4.7 * 10^{-3}$	
Restaurante	Grande	$23.6 * 10^{-3}$	$14.2 * 10^{-3}$	$6.3 * 10^{-3}$
Sala de conferencia	Muy Grande	$6.9 * 10^{-3}$	$4.7 * 10^{-3}$	$1.3 * 10^{-3}$
Despacho:	Pequeño	$11.7 * 10^{-3}$	$6.9 * 10^{-3}$	
Común	Ninguno	$14.2 * 10^{-3}$	$11.7 * 10^{-3}$	
Privado	Grande			$1.3 * 10^{-3}$
Privado.	Grande			$1.3 * 10^{-3}$



### 2.1.4 Cálculo del caudal másico

Con el cálculo del caudal másico se podrá realizar la selección de la bomba que servirá para recirculación del agua utilizada en este caso para la calefacción, se utiliza las siguientes formulas.

$$Q = \dot{m} C_p (\Delta T) \quad (2.6)$$

$$\dot{m} = \text{caudal másico dado en } \frac{m^3}{h}$$

$$C_p = 1 \frac{kcal}{Kg \cdot ^\circ C}$$

$$\Delta T = ^\circ C$$

Se debe tomar en cuenta que se va a considerar la temperatura del líquido a la entrada al Fan- coil de 50 °C.

La temperatura del líquido al salir del Fan - coil será de 45 °C.

$$\Delta T = 5 ^\circ C$$

Se debe considerar también la densidad del agua para realizar la conversión de las unidades.

$$\rho_{agua} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

## 2.2 Cálculos de las cargas térmicas de las habitaciones

Se analizara solamente la habitación número 1 y la habitación número 6, puesto que los cálculos de las demás habitaciones se realizan con la misma metodología de cálculo. En el anexo No. 9 se puede apreciar la vista en planta de la sala de Neonatología analizada en el presente proyecto.

### 2.2.1 Habitación No. 1

Se procedió a calcular el volumen de la habitación dato que servirá en desarrollo de los diferentes cálculos:

$$\text{Área habitación No. 1} = 10.59 \text{ m}^2$$

$$V = 10.59 \text{ m}^2 * 2.80 \text{ m} = 29.652 \text{ m}^3$$

A los cálculos se procede analizando los componentes de cada habitación de la sala, las paredes, calculando su área y observando si en ellos existen ventanales para ser tomados en cuenta:

$$A_{\text{TOTAL}} = 15.96 \text{ m}^2 \quad (\text{hormigón})$$

$$K_{\text{paredes}} = 1.535 * 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$$

$$T_{\text{int}} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{ext}} = 15.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T_{\text{int}} - t_{\text{ext}}$$

$$\Delta T = 27 \text{ }^\circ\text{C} - 15.5 \text{ }^\circ\text{C} = 11.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = A * K * \Delta T$$

$$Q = 15.96 \text{ m}^2 * 1.535 * 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} * 11.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = \mathbf{0.28176 \text{ kW}}$$

Con el área de los ventanales se procede también a su cálculo:

$$A_{\text{TOTAL}} = 4.20 \text{ m}^2$$

$$K_{\text{vidrio}} = 6.3965 * 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T = 11.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = A * K * \Delta T$$

$$Q = 4.20 \text{ m}^2 * 6.3965 * 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} * 11.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = \mathbf{0.3089 \text{ kW}}$$



Se toma en cuenta también el número de puertas en cada habitación para de esta manera obtener por medio de la tabla No. 2.2 el valor de **n** a ser utilizado:

$$Q = 1.2 (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) n * V$$

Existe una puerta en esta habitación.

Según tabla No.2.2 el número de cambio de aire por hora es  $n = \frac{3 \text{ cambio}}{4 \text{ h}}$

$$Q = 1.2 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 * ^\circ\text{C}} * (11.5 ^\circ\text{C}) * \frac{3 \text{ cambios}}{4 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} * 29.652 \text{ m}^3$$

$$Q = 0.0852 \text{ kW.}$$

Se analiza también el flujo calorífico perdido por el piso, paredes, ventanales y tumbado tomando en cuenta para cada caso los coeficientes de transferencia de calor.

Calculo del flujo calorífico para el Piso:

$$Q = A * K * \Delta T$$

$$A = 10.59 \text{ m}^2$$

$$K_{\text{piso}} = 1.6863 * 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T = 11.5 ^\circ\text{C}$$

$$Q = 10.59 \text{ m}^2 * 1.6863 * 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} * 11.5 ^\circ\text{C}$$

$$Q = 0.20537 \text{ kW.}$$

Calculo del flujo calorífico para el tumbado:

$$Q = A * K * \Delta T$$

$$A = 10.59 \text{ m}^2$$

$$K_{\text{tumbado}} = 1.465 * 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T = 11.5 ^\circ\text{C}$$

$$Q = 10.59 \text{ m}^2 * 1.465 * 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} * 11.5 ^\circ\text{C}$$

$$Q = 0.0155 \text{ kW.}$$



Para el cálculo del caudal de ventilación exterior,  $V_V$  se le extrae de la tabla No. 2.3, recomendado para este tipo de salas y también previo al conocimiento del número de personas que permanecerán en las habitaciones.

El número de personas que permanecerá en el establecimiento se lo considerara de 5, para las habitaciones 1, 2, 3, 4 y 5.

Para las habitaciones 1 a la 5 los cálculos son los siguientes.

$$V_V = 14.2 * 10^{-3} \frac{m^3}{s-personas} * (5 personas) = 0.071 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{SV} = 1,2 V_V (\Delta T)$$

$$Q_{SV} = 1,2 \left( 0.071 \frac{m^3}{s} \right) (11.5 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Q_{SV} = \mathbf{0.9798 \text{ kW.}}$$

Se ha provisto para estas habitaciones, la colocación de rejillas de (25.3 cm. x 15.24 cm.) las cuales permitirán la renovación del aire.

Para la habitación 6 se consideran un número de 8 personas.

$$V_V = 14.2 * 10^{-3} \frac{m^3}{s-personas} * (8 personas) = 0.1136 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{SV} = 1,2 V_V (\Delta T)$$

$$Q_{SV} = 1,2 \left( 0.1136 \frac{m^3}{s} \right) (11.5 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Q_{SV} = \mathbf{1.56768 \text{ kW.}}$$

Se la ha provisto de una rejilla de (25.3 cm. x 15.24 cm.) las cuales permitirán la renovación del aire.

Con todos los cálculos anteriores se procede a calcular la carga térmica total de la Habitación sumando cada una de ellas

$$Q = Q_{T.(\text{paredes})} + Q_{T.(\text{ventanas})} + Q_{T.(\text{piso})} + Q_{T.(\text{tumbado})} + Q_{T.(\text{infiltraciones})} + Q_{T.(\text{ventilación exterior})}$$

$$Q = 0.28176 + 0.3089 + 0.0852 + 0.20537 + 0.0155 + 0.9798$$



$$Q = 1.87653 \text{ kW.}$$

Con el resultado de la carga total de la habitación y con la ayuda del Anexo No. 1 se procede a determinar el Fain – coil.

Para esta habitación se escogió un Fain – coil modelo M – 0100 - FC

Se debe tener muy en cuenta el cálculo del caudal másico ya que con él obtendremos el cálculo de la bomba, mediante la cual se logrará la recirculación del liquido dentro de las tuberías y por ende en el fan - coil. Para hallar el caudal másico se debe hacer el cálculo de la carga total de la habitación, convertidas a  $\frac{Kcal}{h}$ .

$$Q = 1.87653 \text{ Kw. (860 Kcal)} = 1613.8588 \frac{Kcal}{h}$$

$$Q = n \cdot Cp (\Delta T)$$

Despejando  $n$  se tiene

$$n = \frac{Q}{Cp \cdot \Delta T}$$

$$n = \frac{1613.8588 \frac{Kcal}{h}}{1 \frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ C} \cdot 5^\circ C} = \frac{322.77 \frac{Kg}{h}}{1000 \frac{Kg}{m^3}} = 0.3227 \frac{m^3}{h}$$

$$n = 0.3227 \frac{m^3}{h}$$

### 2.2.2 Habitación No. 6

El volumen de la habitación es el siguiente, dato que servirá en el desarrollo de los diferentes cálculos:

$$\text{Área total de la habitación No. 6} = 27.66 \text{ m}^2$$

$$V = 27.66 \text{ m}^2 \cdot 2.80 \text{ m} = 77.448 \text{ m}^3$$

Calculo del Flujo Calorífico en las paredes:

$$A_{TOTAL} = 17.92 \text{ m}^2 \quad (\text{hormigón})$$



$$K_{\text{paredes}} = 1.535 * 10^{-3} \frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$$

$$T_{\text{int}} = 27 \text{ } ^\circ C$$

$$T_{\text{ext}} = 15.5 \text{ } ^\circ C$$

$$\Delta T = T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}$$

$$\Delta T = 27 \text{ } ^\circ C - 15.5 \text{ } ^\circ C = 11.5 \text{ } ^\circ C$$

$$Q = A * K * \Delta T$$

$$Q = 17.92 m^2 * 1.535 * 10^{-3} \frac{kW}{m^2 * ^\circ C} * 11.5 \text{ } ^\circ C$$

$$Q = \mathbf{0.31635 \text{ kW}}$$

Cálculo del Flujo Calorífico en los Ventanales:

$$A_{\text{TOTAL}} = 10.92 m^2$$

$$K_{\text{vidrio}} = 6.3965 * 10^{-3} \frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$$

$$\Delta T = 11.5 \text{ } ^\circ C$$

$$Q = A * K * \Delta T$$

$$Q = 10.92 m^2 * 6.3965 * 10^{-3} \frac{kW}{m^2 * ^\circ C} * 11.5 \text{ } ^\circ C$$

$$Q = \mathbf{0.8032 \text{ kW}}$$

Cálculo de Infiltraciones de Aire en las Puertas y Ventanas:

$$Q = 1.2 (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) n * V$$

Existe una puerta en esta habitación.

Según tabla No.2.2 el número de cambio de aire por hora es  $n = \frac{3}{4} \frac{\text{cambio}}{h}$

$$Q = 1.2 \frac{kJ}{m^3 * ^\circ C} * (11.5 \text{ } ^\circ C) * \frac{3}{4} \frac{\text{cambios}}{h} * \frac{1h}{3600 s} * 77.448 m^3$$

$$Q = \mathbf{0.222663 \text{ kW}}$$

Cálculo del flujo calorífico para el Piso y el Tumbado:

Para el Piso

$$Q = A * K * \Delta T$$



$$A = 27.66 \text{ m}^2$$

$$K_{\text{piso}} = 1.6863 * 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T = 11.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 27.66 \text{ m}^2 * 1.6863 * 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} * 11.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = \mathbf{0.5364 \text{ kW.}}$$

Para el tumbado:

$$Q = A * K * \Delta T$$

$$A = 27.66 \text{ m}^2$$

$$K_{\text{tumbado}} = 1.465 * 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T = 11.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 27.66 \text{ m}^2 * 1.465 * 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} * 11.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = \mathbf{0.466 \text{ kW.}}$$

Carga de Ventilación Exterior.

Para la habitación número 6 se consideran 8 personas.

$$V_V = 14.2 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s} - \text{personas}} * (8 \text{ personas}) = 0.1136 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{SV} = 1,2 V_V (\Delta T)$$

$$Q_{SV} = 1,2 \left( 0.1136 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) (11.5 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Q_{SV} = \mathbf{1.56768 \text{ kW.}}$$

Cálculo de la Carga total de la habitación número 6.

$$Q = Q_{T.(\text{paredes})} + Q_{T.(\text{ventanas})} + Q_{T.(\text{piso})} + Q_{T.(\text{tumbado})} + Q_{T.(\text{infiltraciones})} + Q_{T.(\text{ventilación exterior})}$$

$$Q = 0.31635 + 0.8032 + 0.222663 + 0.5364 + 0.466 + 1.56768$$

$$Q = \mathbf{3.9122 \text{ kW.}}$$

Con el dato de la carga total y con la ayuda del Anexo No. 1 se procede a determinar el Fain – coil.

Para esta habitación se escogió un Fain – coil modelo M – 0200 - FC

Cálculo del Caudal másico de la habitación número 6.

$$Q = 3.9122 \text{ kW.}$$

$$Q = 3.9122 \text{ kW. (860 Kcal)} = 3364.492 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$Q = \dot{m} C_p (\Delta T)$$

Despejando  $\dot{m}$  se tiene

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta T}$$

$$\dot{m} = \frac{3364.492 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 5^\circ\text{C}} = \frac{672.8984 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0.67289 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\dot{m} = 0.67289 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Con el desarrollo de la carga térmica para todas las habitaciones se procede a encontrar la carga total del sistema sumándolas y de esta manera obtener la carga total del sistema, este cálculo servirá para realizar la selección del número de colectores solares a utilizar para la alimentación de la calefacción.

Calculo de la Carga total del Sistema.

$$Q_{\text{SISTEMA}} = Q_{\text{T. (hab. No.1)}} + Q_{\text{T. (hab. No.2)}} + Q_{\text{T. (hab. No.3)}} + Q_{\text{T. (hab. No.4)}} + Q_{\text{T. (hab. No.5)}} + Q_{\text{T. (hab. No.6)}}$$

$$Q_{\text{SISTEMA}} = 13.45 \text{ kW.}$$

Los cálculos de las demás habitaciones se detallan a continuación, tomando en cuenta que se procedió al cálculo con la misma metodología anteriormente descrita.

### 2.2.3 Habitación No. 2

Los cálculos se describen en las siguientes tablas.

Tabla No. 2.4 Cálculos para Paredes

Área Total Hormigón	K paredes	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	<b>kW</b>
3.64	$1.53 * 10^{-3}$	11.5	0.06426

Tabla No. 2.5 Cálculos para Ventanales.

Área Total Ventanales	K Vidrio	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	<b>kW</b>
4.20	$6.39 * 10^{-3}$	11.5	0.3089

Tabla No. 2.6 Cálculos para Pisos

Área Total Piso	K Pisos	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	<b>kW</b>
9.54	$1.68 * 10^{-3}$	11.5	0.1850

Tabla No. 2.7 Cálculos para el Tumbado

Área Total Tumbado	K tumbado	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	<b>kW</b>
9.54	$1.46 * 10^{-3}$	11.5	0.16

Tabla No. 2.8 Cálculo de la carga de Ventilación Exterior será valido para 1, 2, 3, 4, 5

<b>Cálculo de la carga de Ventilación Exterior será valido para 1, 2, 3, 4, 5</b>	<b>Caudal del aire exterior</b>	$V_v$	$Q = 1,2 * V_v (t_{ext} - T_{int})$
<b>No. de personas</b>	$\frac{m^3}{s}$	$\frac{m^3}{s - persona}$	kW
5	$14.268 * 10^{-3}$	0.071	0.9798

Tabla No. 2.9 Cálculo de Infiltraciones.

<b>Volumen de la habitación</b>	<b>n</b>	$Q = 1.2 (t_{ext} - T_{int}) n * V$
$m^3$	<b>Cambios por hora</b>	<b>kW</b>
26,712	$\frac{3}{4}$	0.076797

Tabla No. 2.10 Carga Total de la Habitación.

<b>Q paredes</b>	<b>Q ventanas</b>	<b>Q infiltraciones</b>	<b>Q pisos</b>	<b>Q tumbados</b>	<b>Q ventilación</b>	<b>Q<sub>TOTAL</sub></b>
<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>
0.06426	0.3089	0.076797	0.1850	0.16	0.9798	1.7747

### 2.2.4 Habitación No. 3

Tabla No. 2.11 Cálculos para Paredes

<b>Área Total Hormigón</b>	<b>K paredes</b>	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	<b>kW</b>
3.64	$1.53 * 10^{-3}$	11.5	0.06426

Tabla No. 2.12 Cálculos para Ventanales.

Área Total Ventanales	K Vidrio	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	kW
4.20	$6.39 * 10^{-3}$	11.5	0.3089

Tabla No. 2.13 Cálculos para Pisos

Área Total Piso	K Pisos	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	kW
11.05	$1.68 * 10^{-3}$	11.5	0.2143

Tabla No. 2.14 Cálculos para el Tumbado

Área Total Tumbado	K tumbado	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	kW
11.05	$1.46 * 10^{-3}$	11.5	0.186

Tabla No. 2.15 Cálculo de Infiltraciones

Volumen de la habitación	N	$Q = 1.2(text - T_{int})n * V$
$m^3$	Cambios por hora	kW
30.94	$\frac{3}{4}$	0.08895

Tabla No. 2.16 Carga Total de la Habitación

Q paredes	Q ventanas	Q infiltraciones	Q pisos	Q tumbados	Q ventilación	Q <sub>TOTAL</sub>
kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
0.06426	0.3089	0.08895	0.2143	0.186	0.9798	1.84

## 2.2.5 Habitación No. 4

Tabla No. 2.17 Cálculos para Paredes

Área Total Hormigón	K paredes	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	kW
17.92	$1.53 * 10^{-3}$	11.5	0.3163

Tabla No. 2.18 Cálculos para Ventanales

Área Total Ventanales	K Vidrio	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	kW
4.20	$6.39 * 10^{-3}$	11.5	0.3089

Tabla No. 2.19 Cálculos para Pisos

Área Total Piso	K Pisos	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	kW
9.72	$1.68 * 10^{-3}$	11.5	0.188

Tabla No. 2.20 Cálculos para el Tumbado

Área Total Tumbado	K tumbado	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	kW
9.72	$1.46 * 10^{-3}$	11.5	0.163

Tabla No. 2.21 Cálculo de Infiltraciones

Volumen de la habitación	n	$Q = 1.2(text - T_{int})n * V$
$m^3$	Cambios por hora	kW
27.216	$\frac{3}{4}$	0.078246

Tabla No. 2.22 Carga Total de la Habitación.

Q paredes	Q ventanas	Q infiltraciones	Q pisos	Q tumbados	Q ventilación	Q <sub>TOTAL</sub>
kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
0.3163	0.3089	0.078246	0.188	0.163	0.9798	2.0342

### 2.2.6 Habitación No.5

Tabla No. 2.23 Cálculos para Paredes

Área Total Hormigón	K paredes	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	kW
7.56	$1.53 * 10^{-3}$	11.5	0.133

Tabla No. 2.24 Cálculos para Ventanales.

Área Total Ventanales	K Vidrio	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	kW
7.84	$6.39 * 10^{-3}$	11.5	0.5767

Tabla No. 2.25 Cálculos para Pisos.

Área Total Piso	K Pisos	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	kW
7.56	$1.68 * 10^{-3}$	11.5	0.1466

Tabla No. 2.26 Cálculos para Tumbado

Área Total Tumbado	K tumbado	$\Delta T$	$Q = A * K * \Delta T$
$m^2$	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$	$^\circ C$	kW
7.56	$1.46 * 10^{-3}$	11.5	0.1274

Tabla No. 2.27 Cálculo de infiltraciones

Volumen de la habitación	n	$Q = 1.2 * (text - T_{int}) * n * V$
$m^3$	Cambios por hora	kW
21.168	$\frac{3}{4}$	0.06085

Tabla No. 2.28 Carga total de la habitación

Q paredes	Q ventanas	Q infiltraciones	Q pisos	Q tumbados	Q ventilación	Q <sub>TOTAL</sub>
kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
0.133	0.5767	0.06085	0.1466	0.1274	0.9798	2,02435

## 2.2.7 Cálculo del caudal másico de las habitaciones 2, 3, 4, 5

Tabla No. 2.29 Determinación del Fan – Coil para la Habitación No.2

$Q_T$	Fain - Coil	$\Delta T$	Calor específico del agua	Densidad del Agua	Caudal Másico
$\frac{kW}{h}$	Modelo	$^{\circ}C$	$\frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C}$	$\frac{Kg}{m^3}$	$\frac{Kg}{h}$
1526.242	M – 0100 - FC	5	1	1000	305.24

Tabla No. 2.30 Determinación del Fan – Coil para la Habitación No.3

$Q_T$	Fain - Coil	$\Delta T$	Calor específico del agua	Densidad del Agua	Caudal Másico
$\frac{kW}{h}$	Modelo	$^{\circ}C$	$\frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C}$	$\frac{Kg}{m^3}$	$\frac{Kg}{h}$
1584.30	M – 0100 - FC	5	1	1000	316.8

Tabla No. 2.31 Determinación del Fan – Coil para la Habitación No.4

$Q_T$	Fain - Coil	$\Delta T$	Calor específico del agua	Densidad del Agua	Caudal Másico
$\frac{kW}{h}$	Modelo	$^{\circ}C$	$\frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C}$	$\frac{Kg}{m^3}$	$\frac{Kg}{h}$
1749.412	M – 0100 – FC	5	1	1000	349.88

Tabla No. 2.32 Determinación del Fan – Coil para la Habitación No.5

$Q_T$	Fan - Coil	$\Delta T$	Calor específico del agua	Densidad del Agua	Caudal Másico
$\frac{kW}{h}$	Modelo	$^{\circ}C$	$\frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C}$	$\frac{Kg}{m^3}$	$\frac{Kg}{h}$
1740.941	M - 0100 -FC	5	1	1000	348.1

**Caudal másico total.**

$$Q_T = 2316.67 \frac{Kg}{h} \text{ y para el calculo de la bomba se usa } 2.31667 \frac{m^3}{h}$$

**2.2.8 Cálculo del Sistema de Tuberías**

Para dimensionar las Tuberías del sistema de calefacción por agua caliente se siguen los siguientes pasos:

- Se determina las pérdidas de calor a través de las estructuras de cada local, teniendo en cuenta la diferencia de temperatura exterior y la interior del sistema.
- Se seleccionan las unidades de calentamiento requeridas para compensar las pérdidas de calor en los locales de acuerdo con la temperatura del agua a circular y la diferencia de temperatura de esta a la entrada y salida de las unidades (Fan - coils).
- Se determinan las longitudes de tuberías de suministro y retorno desde el depósito de agua caliente hasta la unidad más alejada (circuito más desfavorable o de mayor pérdida de presión). Se acostumbra adicionar a esta longitud el 50 % del total para una primera aproximación (multiplicar por 1.5).
- Se calculan los flujos de agua para cada unidad con vista a determinar el flujo total a manipular por la bomba.

$$n = \frac{Q}{C_p * \Delta T * \delta_{agua}} \left( \frac{m^3}{h} \right) \quad (2.7)$$

- Cálculo de la red de tuberías y selección de la Bomba.



Para el desarrollo de todos los pasos anteriormente descrito se resume en la siguiente tabla No. 2.33

En el anexo No. 10 y No. 11 se puede apreciar el circuito para el sistema de calefacción y la vista en elevación de la sala de neonatología respectivamente.



Tabla No. 2.33 Dimensionado del Circuito más desfavorable.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sección	Longitud	Carga de calor	Diámetro del tubo	$\Delta P$	Velocidad	Perdida en Tubos rectos	Accesorios	Longitud Equivalente	$\Delta P$	Perdidas en Accesorios	Perdidas de Carga en cada sección
	M	kW	Pulgadas	$\frac{mmc.a}{m}$	$\frac{m}{s}$				$\frac{mmc.a}{m}$		
						Col 2 * Col 5				Col 9 * Col 10	Col 7 * Col 11
A - B	7	13.46	3/4	250	2	1750	1 codo	0.42	250	105	1855
B - C	0.70	13.46	1/2	700	3	490	1T	5.1	700	3570	4060
C - D	1.50	1.84	1/2	200	2	300	1T	5.1	200	1020	1320
D - E	3.00	2.03	1/2	200	2	600	1 T	5.1	200	1020	1620
E - F	6.20	2.02	1/2	200	2	1240	1 codo	0.42	200	84	1324
F - G	6.10	2.02	1/2	100	2	610	1 válvula, 1 T	5.1 + 5.1 10.2	100	1020	1630



G – H	2.90	2.03	$\frac{1}{2}$	200	2	580	1 T	5.1	200	1020	1600
H – I	1.50	1.84	$\frac{1}{2}$	200	2	300	1 T	5.1	200	1020	1320
I - J	7.00	13.46	$\frac{3}{4}$	250	3	1750	1 codo	0.42	250	105	1855



### 2.2.9 Cálculo de la Bomba de Recirculación

Para la selección de la bomba se debe tener muy en cuenta la velocidad específica o llamada también criterio de semejanza, la cual permite predecir el comportamiento de la maquina cuando varían sus parámetros de funcionamiento.

Para determinar la velocidad específica se usa la siguiente ecuación:

$$N_e = \frac{3.65 * n * \sqrt{Q}}{(H)^{\frac{3}{4}}} \quad (2.8)$$

$$N_e = \frac{3.65 * 1740 * \sqrt{0.0883}}{(16.654)^{\frac{3}{4}}}$$

$$N_e = 147$$

$N_e$  = Velocidad específica.

Q = es caudal necesario en  $m^3/\text{min}$

n = Número de revoluciones por minuto de la bomba seleccionada.

H = altura manométrica en metros.

Se puede analizar en la Tabla No. 2.34 que el resultado de la velocidad específica esta dentro de los parámetros de lo que es una bomba centrífuga.

**Tabla No. 2.34 Intervalos de velocidades específicas para distintos tipos de bombas.**

Tipo de Bomba	Intervalo de $N_e$
Rotatoria y de Pistones	< 40
De Remolino	10 – 40
<b>Centrífugas</b>	<b>40 – 300</b>
Mixtas	900 – 600
Axiales	600 – 1200

Para el cálculo de la bomba de recirculación se usa la suma total de las pérdidas en los circuitos y con la ayuda del caudal necesario se procede a escoger la bomba:

Se puede evidenciar que la bomba para nuestro requerimiento siempre está por debajo del 40% en lo que tiene que ver con su rendimiento.

La potencia absorbida en el eje de la bomba, expresada en HP esta dada por:

$$N = \frac{Q \left( \frac{m^3}{s} \right) * Hm * \gamma \left( \frac{N}{m^2 * s} \right)}{\eta (\%)} \quad (2.9)$$

$$N = \frac{6.38 \times 10^{-4} \left( \frac{m^3}{s} \right) * 16.654 \text{ mca} * 9810 \left( \frac{N}{m^2 * s} \right)}{0.4}$$

$N = 260 \text{ W} \cong 0.35 \text{ HP}$  En este caso se selecciona una bomba de 1 HP

Se selecciona una bomba de 1740 r.p.m y de 60 Hz la curva de la bomba se puede apreciar en el Anexo No. 8.

### 2.3 Cálculos para la extracción de olores de la sala

Para ventilar un local lo primero que debe considerarse es el tipo de actividad de los ocupantes del mismo. No es lo mismo una oficina moderna, espaciosa, con bajo índice de ocupación, que una cafetería, una sala de fiestas, un taller de confección o de pintura. La razón de ventilar habitaciones es la de proporcionar un ambiente higiénico y confortable a los ocupantes ya que se estima que pasan encerrados en locales un noventa por ciento de su tiempo. Hay que diluir el olor corporal, controlar la humedad, el calor, y la polución que desprenden los muebles, suelos y paredes de los edificios, además de los resultantes de las eventuales actividades industriales.

El método escogido para realizar la extracción de olores de la sala es el **Método de pérdida de carga constante**.

Este método se puede utilizar para dimensionar conductos tanto de impulsión, de retorno y de extracción de aire. Consiste en calcular los conductos de tal forma, que la pérdida por fricción por unidad de longitud sea constante en todo el sistema. Se debe tener muy en cuenta que se utiliza este sistema cuando las trayectorias sean simétricas,

de modo que exista compensación entre los distintos sistemas, si se utiliza en sistemas no simétricos, un ramal más largo que el otro el aire tiende a irse por el ramal mas corto, si la tendencia no ha sido controlada.

Para este método se procede a determinar la velocidad en el conducto principal próximo al ventilador, recomendadas en la tabla No. 2.35 donde se encuentran las velocidades máximas recomendadas para sistemas de baja velocidad, en las que el factor restrictivo se considera el ruido.

**Tabla No. 2.35 Velocidad Máxima recomendadas para sistemas de baja velocidad (m/s)**

Aplicación	Para el control Del nivel de Ruido conductos principales	Conductos Principales		Derivaciones	
		Suministro	retorno	suministros	Retorno
Apartamentos, Dormitorios, de Hoteles Hospitales	5	7.5	6.5	6	5
Oficinas, Bibliotecas	6	10	7.5	8	6
Cines, teatros, Auditorios.	4	6.5	5.5	5	4
Restaurantes	7.5	10	7.5	8	6
Cafeterías.	9	10	7.5	8	6
Industrias.	12.5	15	9	11	7.5

En este caso se utilizará el Anexo No. 2, partiendo de la velocidad y del caudal de aire, para encontrar las pérdidas de carga por unidad de longitud, se debe tener muy en cuenta que esta debe permanecer constante a lo largo del sistema.

Para determinar la pérdida de carga total, que debe ser superada por el ventilador, es preciso determinar la pérdida en el tramo que tenga mayor resistencia. Se debe tener en cuenta la resistencia en los codos y acoplamientos correspondientes a dicho conducto.

Los cálculos de este sistema se detallan continuación:

Al empezar con el cálculo del sistema de ventilación se selecciona el caudal de aire requerido, en este caso para una habitación de hospital mediante la tabla No. 2.3

Según tabla el caudal necesario es  $15 \frac{\text{litro}}{\text{s}}$  o  $15 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  por persona.

Para las habitaciones No.1, 2, 3, 4, 5 se considerara la presencia de personas en un número de 5, mientras que en la habitación 6 se considerara un número de 8 personas y se procede a la realización de los cálculos.

#### **Caudal de las habitaciones**

##### **Habitaciones: No. 1, 2, 3, 4, 5**

$$Q = 15 \frac{\text{litro}}{\text{s}} = 0.015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 0.015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 5 \text{ personas} = 0.075 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{T1-5} = 0.015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 5_{\text{HABITACIONES}} = 0,375 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

##### **Habitación: No. 6**

$$Q_{T6} = 0.015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 8 \text{ personas} = 0.12 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Con la determinación de los caudales por habitaciones se procede al cálculo del caudal total del sistema que es el siguiente:

### Cálculo total de aire en las habitaciones

Los cálculos de los caudales se pueden observar en la figura No.2.1

$$Q_T = Q_{T1-5} + Q_{T6}$$

$$Q_T = 0.495 \frac{m^3}{s}$$

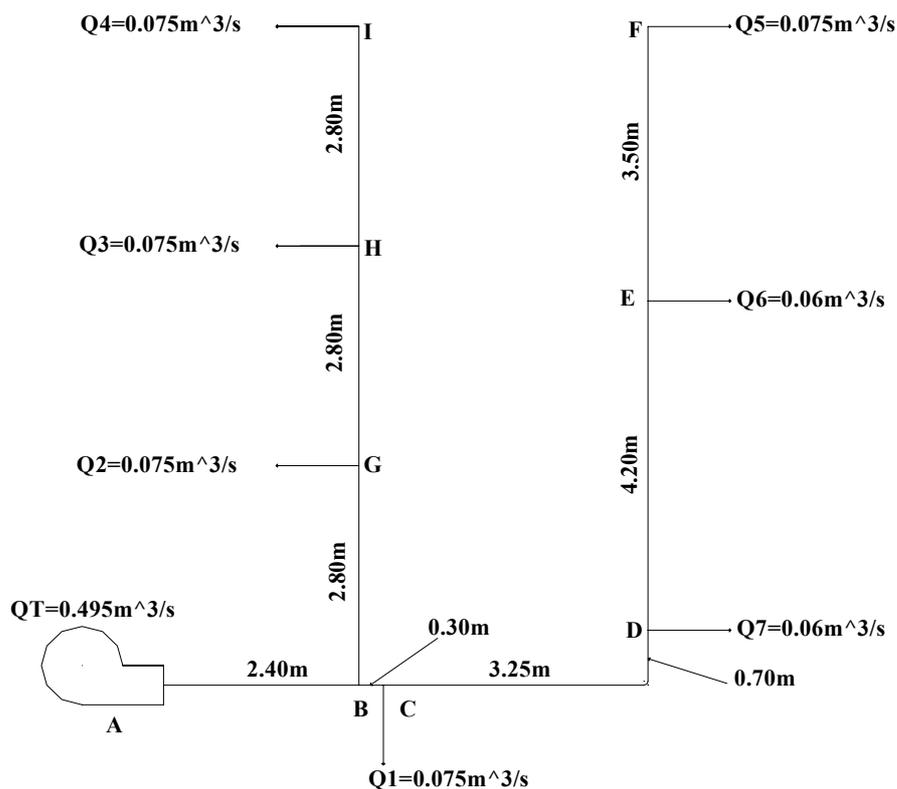


Figura. No. 2.1 Caudales que circulan por las habitaciones.

#### 2.3.1 Cálculo de conductos

Uno de los datos muy utilizados para estos cálculos es el caudal encontrado:

$$Q_T = 0.495 \frac{m^3}{s} = 1782 \frac{m^3}{h}$$

Con la ayuda de la tabla No. 2.34 se determina la velocidad aconsejable para este tipo de salas o habitaciones de un hospital.



Se establece una velocidad para el suministro de Aire de  $7.5 \frac{m}{s}$  y la velocidad para sus derivados de  $6 \frac{m}{s}$ .

Con la ayuda del caudal y la velocidad recomendada se obtiene el área la será utilizada para determinar el conducto.

$$A = \frac{Q}{V} \tag{2.9}$$

$$A = \frac{1782 \frac{m^3}{h}}{27000 \frac{m}{h}} = 0,066 m^2$$

Se debe tener muy en cuenta en caudal de aire necesario en cada una de las habitaciones, se detalla a continuación en la tabla No. 2.36

**Tabla No. 2.36 Caudales por habitaciones**

| TRAMO           |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| AB              | BC              | CD              | DE              | EF              | BG              | GH              | HI              |
| $\frac{m^3}{h}$ |
| 1782            | 270             | 216             | 216             | 270             | 270             | 270             | 270             |

### 2.3.2 Sección de cada Tramo

La selección de cada tramo se calcula analizando los ramales con sus respectivos caudales, para sacar la capacidad inicial en % se la realiza con la siguiente ecuación y los cálculos se observan en la tabla No. 2.37

$$\% \text{ de la Capacidad Inicial} = \frac{\text{caudal de Aire en cada sección}}{\text{caudal total de Aire}} \tag{2.10}$$

Tabla No. 2.37 Cálculo de la capacidad inicial de los tramos

Sección de Conducto	Caudal de Aire	% de la Capacidad Inicial
	$\frac{m^3}{h}$	$\frac{\% \text{ caudal aire en cada sección}}{\text{caudal de aire}}$
A – B	1782	100
B – C	972	54.54
C – D	702	39.39
D – E	486	27.27
E – F	270	15.15
B – G	810	45.45
G – H	540	30.30
H – I	270	15.15

La pérdida de carga por unidad de longitud se obtiene con el caudal y con la velocidad requerida ingresándolos en el Anexo No. 2, obteniendo que para nuestro cálculo sea el siguiente 0,2 mm c.d.a. Por cada metro de longitud equivalente de longitud equivalente.

Se debe seleccionar el conducto en este caso será rectangular

$$A = a * b \quad (2.11)$$

Donde  $a = b$

$$A = b^2$$

$$b = \sqrt{A}$$

$$b = \sqrt{0,066} ; b = 0.2569 \text{ m} ; a = b = 256.90 \text{ m.m.}$$

Según el Anexo No.3 y con el resultado 256.90 m.m. se establece un diámetro equivalente de 333 m.m.

La sección de cada tramo se la calcula en porcentaje:

$$\% = \frac{\text{Vol. de aire en cada tramo}}{\text{Vol. de Aire total}} \quad (2.12)$$

Se obtienen los porcentajes de áreas de conductos, se refiere al área inicial de conducto (es decir del tramo A – B). Las dimensiones de los conductos se proceden al cálculo de los porcentajes de la capacidad analizando en el Anexo No.3, los cálculos se pueden observar en la tabla No. 2.38

**Tabla No. 2.38 Cálculo de la sección de los tramos.**

Selección del conducto	Área de la sección Recta	Área	Dimensiones
	(%)	m <sup>2</sup>	(m.m.)(AXB)
A – B	100	0.2569	572 * 572
B – C	63	0.1618	572 * 483
C - D	47	0.1207	483 *427
D – E	34.5	0.088	427 * 384
E – F	21.5	0.0548	384 * 333
B – G	53	0.1350	465 * 465
G – H	37.5	0.0955	465 * 407
H - I	21.5	0.0547	407 * 333

Con las dimensiones de los tramos de conductos y el volumen que circula por cada uno de ellos, puede hallarse los valores de la velocidad del aire en los mismos y comprobar si están dentro de lo establecido o permisible.

1.25 es el valor estándar para cada codo sin guías.

Para las pérdidas en accesorios (codos) y longitud se debe determinar también cuál es la trayectoria de mayor resistencia, los valores de las longitudes equivalentes incluyendo los accesorios, los respectivos cálculos se pueden observar en la tabla No. 2.39

Tabla No. 2.39 Cálculos para las pérdidas en accesorios

Sección del conducto	Elemento	Longitud	Longitud. Equivalente Adicional	Relación entre los codos
		M	m	$\frac{R}{D}$
A – B	Tramo recto	2.40	-	-
B – C	Codo – tramo recto	0.30	4.004	1.18
C – D	Codo – tramo recto	3.95	3.381	1.13
D – E	Tramo recto	4.20	-	-
E – F	Tramo recto	3.50	-	-
B – G	Codo – tramo recto	2.80	3.25	1
G – H	Tramo recto	2.80	-	-
H - I	Tramo recto	2.80	-	-

### 2.3.3 Calculo de las rejillas

Previo el análisis del ramal más desfavorable se procede a encontrar las pérdidas por rozamiento en las rejillas con el uso de Anexo No.5. Tomando en cuenta que para el tramo A – F en las habitaciones 1, 2, 3, 4 se considera una velocidad de descarga de  $4.06 \frac{m}{s}$  para evitar la mayor cantidad de ruidos.

El caudal de salida es el mismo para todas las rejillas de este ramal.

$$Q = 0.075 \frac{m^3}{s}$$

Según el Anexo No. 5, Se selecciona una rejilla de 0.30 x 0.15 m.

$$\Delta P = 1.016 \text{ mm.de H}_2\text{O}$$



Analizando el tramo A – I en la habitación 5 se considera una velocidad de descarga  $4.06 \frac{m}{s}$  para evitar la mayor cantidad de ruidos.

El caudal de salida es el mismo para todas las rejillas de este ramal.

$$Q = 0.075 \frac{m^3}{s}$$

Según el Anexo No. 5, Se selecciona una rejilla de 0.30 x 0.15 m.

$$\Delta P = 1.016 \text{ mm. H}_2\text{O}$$

En la habitación 6 existen dos rejillas por las dimensiones de dicha habitación teniendo un caudal de:

$$Q = 0.059 \frac{m^3}{s}$$

Se selecciono dos rejillas de 0.30 x 0.15 m

### **2.3.3.1 Campo de prueba para medir el caudal de aire en los difusores**

Se debe tener muy en cuenta en el momento de montar el sistema que las rejillas deben estar balanceadas adecuadamente y así suministrar la requerida cantidad de aire a través de cada difusor.

- Se debe utilizar un anemómetro, colocándolo en la rejilla a la salida del aire tomando por lo menos unas cuatro pruebas.
- Se selecciona en la tabla No. 2.40 el factor “k” indicado para el tamaño y modelo del difusor que se este probando.
- Se multiplica el promedio de las cuatro mediciones del control de aire del factor “k”, para determinar el volumen de aire que se descarga por el difusor.
- Luego de esta prueba se deja ya calibrada la rejilla con el caudal necesario.

Tabla No. 2.40 Factor “k” indicado para el tamaño del difusor.

Medidas del cuello en pulgadas	Área efectiva Factor “k”
6 x 6	0.11
8 x 8	0.20
10 x 10	0.32
12 x 12	0.46
14 x 14	0.63
18 x 18	1.03
22 x 22	1.54
24 x 24	1.83

Luego del cálculo de las rejillas se procede a analizar el circuito más desfavorable

Se analiza la longitud equivalente:

Trayectoria A – F:

$$L_{\text{Equivalente}} = L_{\text{Tramo recto}} + L_{\text{accesorios}} \quad (2.13)$$

$$L_{\text{Equivalente}} = (2.40 + 0.30 + 3.95 + 4.20 + 3.50) + (4.004 + 3.381)$$

$$L_{\text{Equivalente}} = 21.735 \text{ m}$$

$$\Delta P = \frac{\Delta P}{L} (L_{\text{eq}}) + \Delta P_{\text{Rejilla}}$$

$$\Delta P = 2 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} (21.735 \text{ m}) + 10.16 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 53.63 \text{ Pa} \quad \text{o} \quad \Delta P = 5.36 \text{ mm.c.a} \quad \text{redondeando } 6 \text{ mm. c.d.a}$$

Trayectoria A – I:

$$L_{\text{Equivalente}} = L_{\text{Tramo recto}} + L_{\text{accesorios}}$$

$$L_{\text{Equivalente}} = (2.40 + 2.80 + 2.80 + 2.80) + (3.25)$$



$$L_{\text{Equivalente}} = 14,05 \text{ m}$$

$$\Delta P = \frac{\Delta P}{L} (L_{eq}) + \Delta P_{\text{Rejilla}}$$

$$\Delta P = 2 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} (14,05 \text{ m}) + 10,16 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 38,26 \text{ Pa} \quad \text{o} \quad \Delta P = 3,28 \text{ mm.c.a} \quad \text{redondeando } 4 \text{ mm.c.a}$$

La pérdida de carga total del ramal mas critico, se la determina por la siguiente expresión:

$$\text{Pérdida} = \text{long. equivalente} * \text{perdida unitaria.}$$

$$\text{Pérdida} = 21,735 (0,2 \text{ mm.c.a}) = 4,347 \text{ mm.c.a}$$

La presión estática total que se necesita en el ventilador es la suma de la presión en las bocas, más la pérdida de carga en el conducto, pero se debe tener muy en cuenta descontarse la recuperación debida a la diferencia de velocidad entre la primera y última parte del conducto:

$$\text{Velocidad de suministro: } 7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 450 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$\text{Velocidad de descarga: } 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 360 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Se toma en cuenta un coeficiente de recuperación del 75%.

$$\text{Pérdidas} = 0,75 \left[ \left( \frac{V_{\text{sum.}}}{242,4} \right)^2 - \left( \frac{V_{\text{salida}}}{242,4} \right)^2 \right] \quad (2.14)$$

$$\text{Pérdidas} = 0,75 \left[ \left( \frac{450}{242,4} \right)^2 - \left( \frac{360}{242,4} \right)^2 \right] = 0,9305 \text{ mm.c.a}$$

La presión estática total de descarga del ventilador será igual a:

Presión en las bocas es 1,016 mm.c.a

$$P_{\text{estatica}} = \text{Pérdida de carga} + \text{Presión en las bocas} - \text{recuperación} \quad (2.15)$$



$$P_{estatica} = 6 \text{ mm.c.a} + 1.016 - 0.9305$$

$$P_{estatica} = 6.0855 \text{ mm.c.a}$$

### 2.3.4 Determinación del ventilador.

Con el valor de la caída de presión en la trayectoria más desfavorable en este caso la trayectoria A – F se procede a calcular el ventilador.

Trayectoria A – F = 6 mm. c. a = 0.0059 m., se estima 0.00635 m, y con el caudal total de estrada en el sistema que es de  $0.495 \frac{m^3}{s}$ .

Con la utilización de estos datos y el uso del Anexo No. 7, se coge un ventilador de las siguientes características:

Modelo 033 – 12.25 –BCD1312 r.p.m

Las denominaciones son las siguientes:

03: Serie No. de Producto.

3: Clasificación de la construcción.

12.12: diámetro del rodete en pulgadas.

BC: Tipo de Rodete.

D: Código de Horspower.

1312: Revoluciones por minuto del motor.

El ventilador que seleccionado proporciona un velocidad de salida de  $6.60 \frac{m}{s}$ .

## 2.4 Cálculo del número de colectores solares, para la alimentación del sistema de calefacción

Se analizara un sistema de energía solar, el cual permitirá el calentamiento de agua y con ella proporcionar la carga térmica necesaria y mantener parámetros de confort en la sala de Neonatología del Hospital Isidro Ayora.

En la tabla No. 2.41 se observa algunos datos proporcionados por la estación meteorológica “LA ARGELIA” de la ciudad de Loja.

**Tabla No. 2.41 Datos Proporcionados por la estación meteorológica “LA ARGELIA”**

Velocidad de Viento	$3.3 \text{ m/s}$
Temperatura media Anual	$15.5 \text{ }^\circ\text{C}$
Latitud	$4 \text{ }^\circ 01' 50'' \text{ (S)}$ $79 \text{ }^\circ 11' 58'' \text{ (W)}$

### 2.4.1 Tipo colector

El colector solar posee las siguientes características:

- Área del Captación  $A_c = 0.96 \text{ m}^2$ .
- Espesor de la plancha =  $3 \times 10^{-3} \text{ m}$ .
- Coeficiente de absorción del material =  $3 \text{ m}^{-1}$
- Numero de espejos  $N = 2$
- Absorbencia del Plato = 0,95
- Factor de eficiencia del colector = 0.98
- Diferencia entre la temperatura de consumo y la temperatura del agua fría  $(T_f - T_a) = 36$ .
- Calor específico del agua =  $4.19 \text{ kJ/kg K}$
- Efecto del polvo = 0.02
- Efecto sombra = 0.03



### 2.4.2 Cálculo del valor de la declinación del sol para el día medio de cada mes.

Se necesita calentar agua que se hará recircular y pasar por un Fan – Coil, mediante el cual se emitirá la carga térmica de 13.45 Kw. y de esta manera garantizaremos la calefacción dentro de la sala de Neonatología, para el desarrollo de los cálculos siguientes tomaremos como guía a Duffie, John A. y Beckman, William A. Solar Engineering of Thermal Processes. Wiley Interscience, 1980.

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left( 360 \left( \frac{284 + n}{365} \right) \right) \quad (2.16)$$

Para nuestros cálculos se toma el día 16 de junio por que es el mes con menor radiación y corresponde para el mes de Junio  $151 + i$  en donde  $i$  es el número de días escogidos del mes ( $n=167$ ), por cuanto el valor de la inclinación del sol para el día medio o escogido del mes de junio es:

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left( 360 \left( \frac{284 + 167}{365} \right) \right)$$

$$\delta = 23,354^\circ$$

### 2.4.3 Angulo horario de salida del Sol ( $W_s$ ).

El Angulo Horario de Salida del Sol se calcula para  $n=167$  es decir para el día escogido con su respectivo mes, en este caso en Junio donde la radiación solar es baja.

Se debe tener muy en cuenta que para el sur en nuestro caso Ecuador se debe considerar la latitud con signo negativo.

$$\phi = \text{latitud } -4^\circ$$

$$W_s = \cos^{-1}(-\text{tg } \phi \cdot \text{tg } \delta) \quad (2.17)$$

$$W_s = \cos^{-1}(-\text{tg } (-4) \cdot \text{tg } (23,354))$$

$$W_s = 88.27^\circ$$

#### 2.4.4 Cálculo de la radiación extraterrestre $H_o$

El presente valor se determina según (8), para cada día del año tomando en cuenta el día 16 de junio y también la constante solar  $I_{sc}$  que es tiene un valor de  $1367 \text{ W/m}^2$  es el resultado es el siguiente:

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600 \cdot I_{sc}}{\pi} \left( 1 + 0,033 \cos \left( \frac{360 \cdot (n)}{365} \right) \right) \cdot \left( \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \text{sen} W_s + \left( \frac{\pi \cdot W_s}{180} \right) \text{sen} \phi \cdot \text{sen} \delta \right) \quad (2.18)$$

Entonces tenemos:

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600 \cdot 1367}{\pi} \cdot \left( 1 + 0,033 \cdot \cos \left( \frac{360 \cdot (167)}{365} \right) \right) \cdot \left( \cos(-4) \cdot \cos(23.354) \cdot \text{sen}(88.27) + \left( \frac{\pi \cdot (88.27)}{180} \right) \text{sen}(-4) \cdot \text{sen}(23.354) \right)$$

$$H_o = 31.77 \times 10^3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h}$$

#### 2.4.5 Cálculo de la radiación total diaria por unidad de área de una superficie horizontal ( $H'$ )

Teniendo:

$K_T$  (Índice de Nubosidad o Factor de Turbiedad de la atmósfera y tiene en cuenta la transparencia de la atmósfera por efectos de nubes, polvo, aerosoles, ozono, etc.). El valor calculado es 0,384, que se le obtiene de la división de la radiación promedio en el mes que se esta analizando para la radiación extraterrestre como se muestra a continuación:

$$K_T = \frac{12204}{H_o}$$

$$K_T = 0.384$$

$$H' = K_T \cdot H'_o \quad (2.19)$$



$$H' = 0.384 \times 31.77 \times 10^3 \text{ kJ} / \text{m}^2 \cdot \text{hora}$$

$$H' = 12.2 \times 10^3 \text{ kJ} / \text{m}^2 \cdot \text{hora}$$

**2.4.6 Cálculo de la radiación difusa diaria que cae sobre una superficie horizontal ( $H_d'$ ).**

$$H_d' = f(K_t) \cdot H' \quad (2.20)$$

Según Liu and Jordan (15),  $f(K_t)$  viene dada por la siguiente expresión:

$$f(K_T) = 1,309 - 4.027 \cdot (K_T) + 5.531 \cdot (K_T)^2 - 3.108 \cdot (K_T)^3 \quad (2.21)$$

$$f(K_T) = 1,309 - 4.027 \cdot (0.384) + 5.531 \cdot (0.384)^2 - 3.108 \cdot (0.384)^3$$

$$f(K_T) = 0.483$$

Entonces:

$$H_d' = f(K_t) \cdot H'$$

$$H_d' = 0.483 (12.2 \times 10^3 \text{ kJ} / \text{m}^2 \text{ hora})$$

$$H_d' = 5.899 \cdot 10^3 \text{ kJ} / \text{m}^2 \text{ hora}$$

**2.4.7 Determinación de la radiación solar total horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal ( $H$ ).**

$$H = K \cdot H' \quad (2.22)$$

Siendo:

$K$ , la relación entre la Radiación Solar Horaria y la Radiación Solar Total Diaria por unidad de área y se calcula por la siguiente expresión tomada de (8):

$$K = \left(\frac{\pi}{24}\right) \cdot (a + b \cdot \cos W) \cdot \left( \frac{(\cos W - \cos W_s)}{\text{sen} W_s - \left(\frac{\pi \cdot W_s}{180}\right) \cdot \cos W_s} \right) \quad (2.23)$$

$$a = 0.409 + 0.5016 \cdot \text{sen}(W_s - 60) = 0.6465 \quad (2.24)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \cdot \text{sen}(W_s - 60) = 0.4351 \quad (2.25)$$

W es el Angulo Horario que toma valor 0 para el mediodía solar y varía de 15° cada hora.

$$K = \left(\frac{\pi}{24}\right) \cdot (0.64 + 0.4351 \cdot \cos W) \cdot \left( \frac{(\cos W - \cos 88.2704)}{\text{sen} 88.2704 - \left(\frac{\pi \cdot 88.2704}{180}\right) \cdot \cos 88.2704} \right)$$

Entonces:

Para  $W = 45^\circ$

$$H = 0.089 \cdot 1.08 \cdot 10^3$$

Entonces:

$$H' = 96.12$$

A partir de las ecuaciones anteriores se hallan los valores de K para cada hora del día y se calcula la Radiación Solar Total horaria por unidad de área sobre una superficie horizontal (H), y representado en la siguiente tabla No. 2.42

Tabla No. 2.42 Radiación Solar Total Horaria por unidad de Área

W (°)	Horas del día	K	H (kJ/m <sup>2</sup> h)
75°	6 - 7 17 - 18	0.024	290.104
60°	7 - 8 16 - 17	0.056	680.208
45°	8 - 9 15 - 16	0.089	1.08*10 <sup>3</sup>
30°	9 - 10 14 - 15	0.117	1.43*10 <sup>3</sup>
15°	10 - 11 13 - 14	0.137	1.673*10 <sup>3</sup>
0°	11 - 12 12 - 13	0.144	1.758*10 <sup>3</sup>

#### 2.4.8 Determinación de la radiación difusa horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H<sub>d</sub>).

La radiación difusa horaria según (8) se obtiene mediante la siguiente expresión. Con los valores horarios de K<sub>d</sub> se calcula H<sub>d</sub> los cuales se muestran en la tabla No. 2.43:

$$K_d = \left( \frac{\pi}{24} \right) \left( \frac{(\cos W - \cos W_s)}{\text{sen} W_s - \left( \frac{\pi \cdot W_s}{180} \right) \cdot \cos W_s} \right) \quad (2.26)$$

Sustituyendo W<sub>s</sub>:



$$K_d = \left( \frac{\pi}{24} \right) \left( \frac{(\cos W - \cos 88.2704)}{\sin 88.2704 - \left( \frac{(\pi \cdot 88.2704)}{180} \right) \cdot \cos 88.2704} \right)$$

Donde W varía 15° cada hora.

Para W = 45°

$$K_d = 0.093$$

Entonces:

$$H_d = K_d \cdot H_d' \quad (2.27)$$

$$H_d = 548.416 \text{ KJ/m}^2 \cdot h$$

**Tabla No. 2.43 Radiación difusa horaria por unidad de área**

W (°)	Horas del día	K <sub>d</sub>	H <sub>d</sub> (KJ / m <sup>2</sup> h)
75°	7 y 17	0.031	185.232
60°	8 y 16	0.065	380.627
45°	9 y 15	0.093	548.416
30°	10 y 14	0.115	677.165
15°	11 y 13	0.129	758.1
0°	12	0.133	785.706

La suma de los valores de H<sub>d</sub> debe darnos aproximado con el valor de la radiación difusa diaria.

$$\Sigma H_d = 6.441 \cdot 10^3 \text{ KJ/m}^2 \cdot h$$

**2.4.9 Determinación del valor del ángulo de Incidencia horario de la radiación solar directa sobre el calentador solar ( $\theta_t$ ).**

Para el cálculo del ángulo de incidencia se tiene en cuenta que el valor de S se lo obtiene con  $S = \phi + 10$ , en este caso se trabaja con 14 grados, de inclinación por pruebas experimentales realizadas por León (1984). ( $\phi = 4^\circ, S = 14^\circ, \delta = 23.354^\circ$ ).

El ángulo de Incidencia de la Radiación Solar sobre el calentador solar, esta dado por:

$$\cos \theta_t = (\text{sen} \delta \cdot \text{sen} \phi \cdot \cos S - \text{sen} \delta \cdot \cos \delta \cdot \text{sen} S \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos S \cdot \cos W +) \\ (+ \cos \delta \cdot \text{sen} \phi \cdot \text{sen} S \cdot \cos \gamma \cdot \cos W + \cos \delta \cdot \text{sen} S \cdot \text{sen} \gamma \cdot \text{sen} W)$$

con la aplicación de identidades trigonométricas se obtiene:

$$\cos \theta_t = [\cos(\phi + S) \cdot \cos \delta \cdot \cos W + (\text{sen}(\phi + S) \cdot \text{sen} \delta)] \tag{2.28}$$

$$\theta_t = \arccos[\cos(\phi + S) \cdot \cos \delta \cdot \cos W + (\text{sen}(\phi + S) \cdot \text{sen} \delta)] \tag{2.29}$$

Los resultados de  $\theta_t$  como de  $\text{Cos } \theta_t$  se presentan en la tabla No. 2.44 siguiente:

**Tabla 2.44. Angulo de incidencia horario**

W (°)	Horas del día	$\theta_t$	Cos $\theta_t$
75°	6 - 7 17 - 18	69.61	0.3484
60°	7 - 8 16 - 17	56.01 3	0.5590
45°	8 - 9 15 - 16	42.27 7	0.7399
30°	9 - 10 14 - 15	28.52 6	0.8786
15°	10 - 11 13 - 14	15.02 7	0.9658
0°	11 - 12 12 - 13	5.027	0.995

### 2.4.10 Determinación del ángulo cenital ( $\theta_z$ ).

Para este cálculo se debe tener muy en cuenta que la cubierta esta dirigida u orientada al norte y por ende el acimut  $\gamma = 0^\circ$ , por lo que el ángulo Cenital se lo obtiene con el uso de la siguiente formula:

$$\cos \theta_z = \text{sen} \phi \cdot \text{sen} \delta + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos W \quad (2.30)$$

$$\theta_z = \text{arc cos}(\text{sen} \phi \cdot \text{sen} \delta + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos W) \quad (2.31)$$

Los resultados se muestran en la tabla No 2.45. Para los valores de  $\theta_z$  se los halla para cada hora considerando que W es el Angulo horario que toma valor 0 para el mediodía solar y varía  $15^\circ$  para cada hora en el transcurso del día.

Tabla No 2.45. Angulo cenital

W ( $^\circ$ )	Horas del día	$\theta_z$	Cos $\theta_z$
75 $^\circ$	6 - 7 17 - 18	74.65	0.2646
60 $^\circ$	7 - 8 16 - 17	60.95	0.4855
45 $^\circ$	8 - 9 15 - 16	47.53	0.6752
30 $^\circ$	9 - 10 14 - 15	34.84	0.8207
15 $^\circ$	10 - 11 13 - 14	24.18	0.9122
0 $^\circ$	11 - 12 12 - 13	19.369	0.9434

### 2.4.11 Cálculo de la relación entre la radiación solar directa sobre una superficie inclinada y la radiación solar directa sobre una superficie horizontal ( $R_b$ ).

Este cálculo resulta de la relación entre la radiación que incide que cae sobre una superficie inclinada y la radiación que incide sobre una superficie horizontal y su resultado se obtiene con la siguiente expresión:

$$R_b = \frac{H_t}{H} = \frac{H_n \cos \theta_t}{H_n \cos \theta_z}$$
$$R_b = \frac{\cos \theta_t}{\cos \theta_z} \quad (2.32)$$

Con el desarrollo de la ecuación se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla No. 2.46 Valores  $R_b$  para cada hora del día**

W (°)	Horas del día	$R_b$
75°	6 - 7	1.317
	17 - 18	
60°	7 - 8	1.151
	16 - 17	
45°	8 - 9	1.096
	15 - 16	
30°	9 - 10	1.071
	14 - 15	
15°	10 - 11	1.059
	13 - 14	
0°	11 - 12	1.055
	12 - 13	

### 2.4.12 Determinación de los valores de la radiación solar total horaria que cae sobre la superficie del colector solar ( $H_t$ ).

Para encontrar los valores de la Radiación Solar Total Horaria se calcula con el uso de (8) mediante la siguiente expresión matemática:

$$H_t = (H - H_d) \cdot R_b + H_d \left( \frac{1 + \cos S}{2} \right) + H \left( \frac{(1 - \cos S) \cdot \rho_t}{2} \right) \quad (2.32)$$

Donde:

$H$  = Radiación total horaria que incide sobre una superficie horizontal  $\text{kJ}/\text{m}^2$ ;

$H_d$  = Radiación difusa horaria que cae sobre un plano horizontal  $\text{kJ}/\text{m}^2$ ;

$R_b$  = Relación entre la radiación directa sobre una superficie inclinada y la radiación sobre una superficie horizontal  $\text{kJ}/\text{m}^2$ ;

$S$  = ángulo de inclinación del colector (grados);

$\rho_t$  = Reflexividad de la tierra ( $\rho_t = 0.2$ ).

Con el desarrollo de la formula anterior se obtienen los cálculos los cuales están señalados en la tabla No. 2.47

Tabla No 2.47. Radiación total horaria que cae sobre la superficie del colector

W (°)	Horas del día	H <sub>t</sub> (kJ/m <sup>2</sup> h)
75°	6 – 7	322.374
	17 – 18	
60°	7 – 8	721.929
	16 – 17	
45°	8 – 9	1.128 x 10 <sup>3</sup>
	15 – 16	
30°	9 – 10	1.481 x 10 <sup>3</sup>
	14 – 15	
15°	10 – 11	1.72 x 10 <sup>3</sup>
	13 – 14	
0°	11 – 12	1.804 x 10 <sup>3</sup>
	12 – 13	

#### 2.4.13 Determinación del valor efectivo horario del producto transmisividad – absorbencia efectiva del calentador solar ( $\tau\alpha$ )<sub>e</sub>.

Para determinar este valor efectivo se debe tener en cuenta lo siguientes parámetros:

$\alpha$ : Coeficiente de absorbencia del plato de absorción.

$\tau$ : Coeficiente de transmisividad total de la cubierta de vidrio.

Se debe tener muy en cuenta también que:

$K_a = 2,5 \text{ m}^{-1}$  (Coeficiente de absorción del vidrio)

$N = 2$

$L = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$ . (espesor del vidrio)



$\alpha = 0,98$  (Para pintura negro mate)

$$K_a * L = 0,0125$$

Para hallar el producto transmisividad – absorbencia efectiva del calentador solar se puede hacer con la ecuación 2.33.

$$(\tau\alpha)_e = (\tau\alpha) + 0.27 (1 - \tau) \quad (2.33)$$

Donde:  $\tau = \tau_a + \tau_r$

Tomando en cuenta que  $\tau_a$  es el coeficiente de trasmisividad por absorción y  $\tau_r$  por reflexión.

Con el empleo del método gráfico se obtienen los valores de  $(\tau\alpha)_e$ , En la tabla No. 2.48 se pueden observar estos valores, tomando en cuenta que estos datos son para cada valor de  $\theta_t$ .

**Tabla No. 2.48 Producto transitivity - absorbencia.**

W (°)	Horas del día	$(\tau\alpha)_e$
75°	6 – 7	0.620
	17 – 18	
60°	7 – 8	0.760
	16 – 17	
45°	8 – 9	0.810
	15 – 16	
30°	9 – 10	0.828
	14 – 15	
15°	10 – 11	0.830
	13 – 14	
0°	11 – 12	0.830
	12 – 13	

#### 2.4.14 Cálculo de la energía absorbida por el colector solar en la unidad de área (S), y en toda su superficie.

El cálculo de la radiación total absorbida por el colector tiene que ver con la radiación que llega a él, tomando en cuenta también las características del colector tales como son la transmisividad de la cubierta de vidrio, y de la placa de absorbencia del plato, etc.

Se puede obtener en valor de S para cada hora por medio de la ecuación:

$$S = H_t \cdot (\tau\alpha)_e \cdot (1 - a) \cdot (1 - b) \quad (2.34)$$

Donde:

$(\tau\alpha)_e$  = valor efectivo del producto transmisividad-absorbencia en el colector;

$(1 - a)$  = factor de efecto del polvo sobre el colector;

$(1 - b)$  = factor de efecto de la sombra sobre el plato de absorción.

Se debe tener muy en cuenta que el producto efectivo de transmisividad-absorbencia del colector juega un papel importante en su eficiencia. Este factor depende en su totalidad de las características del material de la cubierta (su reflexividad y su factor de absorción y extinción), del espesor y del número de laminas usadas sumado a esto las características de la superficie del plato de absorción.

Se tiene que a y b son coeficientes, los cuales indican la suciedad y efecto de sombra de los laterales en la cubierta del colector respectivamente y se puede tomar para el cálculo los siguientes valores según (8):

$$a = 0.03$$

$$b = 0.02$$

$$S = H_t \cdot (\tau\alpha)_e \cdot (1 - 0.03) \cdot (1 - 0.02) \quad (2.35)$$

$$S = H_t \cdot (\tau\alpha)_e \cdot (0.9506)$$

Con el uso de esta fórmula se obtienen los valores de la energía absorbida por unidad de área representados en la tabla No. 2.49 que se detalla a continuación.

Tabla No. 2.49 Energía solar absorbida por el colector

W (°)	Horas del día	S (kJ/m <sup>2</sup> h)
75°	6 - 7	189.998
	17 - 18	
60°	7 - 8	521.562
	16 - 17	
45°	8 - 9	868.926
	15 - 16	
30°	9 - 10	1.165 x 10 <sup>3</sup>
	14 - 15	
15°	10 - 11	1.357 x 10 <sup>3</sup>
	13 - 14	
0°	11 - 12	1.424 x 10 <sup>3</sup>
	12 - 13	

#### 2.4.15 Determinación del coeficiente de pérdida por la cubierta del calentador solar ( $U_t$ )

Para obtener el cálculo del coeficiente de pérdida por la cubierta, se emplea la fórmula de Klein, tomada de (8)

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[ \frac{(T_{pm} - T_a)}{(N + f)} \right]^q} + \frac{1}{h_w}} \right\}^{-1} + \frac{\sigma(T_{pm} + T_a)(T_{pm}^2 + T_a^2)}{(\varepsilon_p + 0.00591Nh_w)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133\varepsilon_p}{\varepsilon_g} - N} \quad (2.36)$$



$$U_t = \left\{ \frac{2}{\frac{514.802}{363.15} \left[ \frac{(363.15 - 288.65)}{(2 + 0.698)} \right]^{0.312} + \frac{1}{-0.497}} \right\}^{-1} + \frac{2.0412 \times 10^{-7} (363.15 + 288.65) \{ (363.15)^2 + (288.65)^2 \}}{(0.95 + 0.00591(2) - 0.497)^{-1} + \frac{4 + (-0.497) - 1 + 0.133(0.95)}{0.80} - 2}$$

$$U_t = 17.652 \frac{KJ}{m^2 h K}$$

Donde:

$\sigma$ : Constante de Boltzman  $2.0412 \times 10^{-7} \frac{kJ}{h * m^2 * K^{-4}}$

El coeficiente f se determina por la siguiente expresión

$$f = (1 + 0.089h_w - 0.1166h_w \varepsilon_p)(1 + 0.07866N) \quad (2.37)$$

Teniendo:

$$f = \{1 + 0.089(65.664) - 0.1166(65.664)(0.95)\} \{1 + 0.07866(2)\}$$

$$f = \{1 + 5.844 - 7.2736\} \{1.15732\}$$

$$f = -0.497$$

$N = 2$  (Número de cubiertas de vidrio)

El valor de C; se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$C = 520(1 - 0.000051\beta^2) \text{ para } 0^\circ < \beta < 70^\circ. \text{ Para } 70^\circ < \beta < 90^\circ, \text{ se usa } \beta = 70^\circ \quad (2.38)$$

$$C = 520 \{1 - 0.000051(14)^2\}$$

$$C = 514.802$$

El valor de e; se determina por la siguiente expresión:

$$e = 0.430(1 - 100/T_{p,m}) \quad (2.39)$$

$$e = 0.430(1 - 100/363 \text{ } ^\circ K)$$

$$e = 0.311$$

$\beta$  = Inclinación del colector (grados)

$\varepsilon_g$  = Emitancia del vidrio (0.80)

$\varepsilon_p$  = Emitancia del plato (0.95)

$T_a$  = Temperatura ambiente, ( $15.5 \text{ } ^\circ C = 288.65K$ )

$T_{pm}$  = Temperatura media del plato ( $90 \text{ } ^\circ C = 363.15K$ )

$h_w$  = Coeficiente de transferencia de calor del viento  $\frac{kJ}{m^2 \cdot ^\circ C}$  se determina por la

siguientes expresión:

$$h_w = 5.7 + (3.8) (W) \quad (2.40)$$

$$h_w = 5.7 + (3.8) (3.3)$$

$$h_w = 65.664 \frac{kJ}{m^2 hK}$$

#### 2.4.16 Determinación del coeficiente de pérdida por los laterales ( $U_e$ ).

Para calcular el coeficiente de pérdidas en el fondo se usa la siguiente expresión extraída de (8):

$$U_e = \frac{\left(\frac{k}{tei}\right) p(ec)}{Ac} \quad (2.41)$$

Donde  $k$  = conductividad térmica del aislamiento,  $0.162 \frac{kJ}{m h K}$

$p$  = perímetro del colector, 3.92 m.

$tei$  = espesor del aislamiento, 0.05 m.

$ec$  = espesor del colector, 0.075 m.

$Ac$  = ancho del colector,  $0.96 m^2$

$$U_e = 0.99 \frac{kJ}{m^2 h K}$$

#### 2.4.17 Determinación del coeficiente de pérdidas en el fondo ( $U_b$ ).

Según Duffie (1991) se tiene la siguiente expresión para el cálculo:

$$U_b = \frac{k}{tei} \quad (2.42)$$

Se debe tener muy en cuenta en el momento del cálculo que estas dos pérdidas la del fondo y la de los laterales se las puede despreciar pues se las considera ínfimas con respecto a las pérdidas en la cubierta

### 2.4.18 Pérdidas de energía específicas

El coeficiente global de pérdidas de energías específicas esta dado por la suma de los tres coeficientes de pérdidas:

$$U_L = U_t + U_e + U_b \quad (2.43)$$

Donde:

$U_t$  = coeficiente de pérdidas por la cubierta del colector  $\left( \frac{kJ}{m^2 h K} \right)$ ;

$U_b$  = coeficiente de pérdidas laterales  $\left( \frac{kJ}{m^2 h K} \right)$ ;

$U_e$  = coeficiente de pérdidas por el fondo  $\left( \frac{kJ}{m^2 h K} \right)$

Para nuestro cálculo solo se tomara en cuenta las pérdidas en la cubierta mas las pérdidas por los laterales, las perdidas en el fondo la consideramos despreciable:

$$U_L = U_t + U_b$$

$$U_L = 17.652 + 0.99$$

$$U_L = 18.642 \frac{kJ}{m^2 h K}$$

### 2.4.19 Determinación del factor de eficiencia del calentador solar (F').

Con la ayuda de (12) se conoce que la que la conductividad térmica del Al y el coeficiente de transferencia de calor por convección natural del tubo al fluido vienen dados por:

$$K = 760 \frac{kJ}{m h K} \quad (\text{Conductividad térmica del Aluminio})$$

$h = 1000 \frac{kJ}{m^2 h K}$  (Coeficiente de transferencia de calor por convección natural del tubo al fluido)

$$d = 0.005 \text{ m}$$

$$W = 0.13 \text{ m}$$

$$D = 0.033 \text{ m}$$



Tenemos que Luego F' es igual:

$$F' = \frac{1}{\left[ \left( \frac{W * U_L}{\pi * D * h} \right) \right] + \left[ \frac{W}{(D + (W - D) * F)} \right]} \quad (2.44)$$

Y

$$F = \frac{\tanh m \left[ \frac{(W - D)}{2} \right]}{\left[ \frac{m(W - D)}{2} \right]} \quad (2.45)$$

$$m = [U_L / (K \times d)]^{1/2} \quad (2.46)$$

$$m = [18.642 / (760 \times 0.005)]^{1/2}$$

$$m = 2.214$$

$$F = \frac{\tanh \left[ \frac{2.214(0.13 - 0.033)}{2} \right]}{\left[ \frac{2.214(0.13 - 0.033)}{2} \right]}$$

$$F = 0.996$$

$$F' = \frac{1}{\left[ \left( \frac{0.13 * 20.892}{\pi * 0.033 * 1000} \right) \right] + \left[ \frac{0.13}{(0.033 + (0.13 - 0.033) * 0.996)} \right]}$$

$$F' = 0.974$$

El dato del Factor de Eficiencia del colector solar representa la relación existente entre la energía que realmente gana el calentador y la energía que el ganaría si todo el plato absorbedor estuviera a la temperatura media.

**2.4.20 Determinación del flujo de líquido que pasa por el calentador ( $\dot{m}$ ).**

Tenemos que:

$$C_p = 4.19 \text{ kJ/Kg. K (Calor específico del Agua)}$$

$$T_f = 25 \text{ °C} = 298.15 \text{ K}$$

$$T_a = 15.5 \text{ °C} = 288.65 \text{ K (Temperatura ambiente)}$$

$$U = \frac{[S - U_L(T_f - T_a)]}{[(S - U_L(T_f - T_a)) - (U_L * F' * (T_f - T_a))]} \quad (2.47)$$

$$U = \frac{[11052.972 - 18.642(298.15 - 288.65)]}{[(11052.972 - 18.642(298.15 - 288.65)) - (18.642 * 0.974 * (298.15 - 288.65))]}$$

$$U = 1.016$$

$$\text{Ln } U = 0.01587$$

Para encontrar el flujo de líquido que pasa por el calentador se lo realiza con la siguiente ecuación:

$$\dot{m} = \frac{(U_L * F' * A_c)}{(C_p * \text{Ln } U)} \quad (2.48)$$

$$\dot{m} = \frac{(18.642 * 0.974 * 0.96)}{(4.19 * 0.01587)}$$

$$\dot{m} = 262.13 \text{ kg/h}$$

**2.4.21 Determinación del factor de remoción del calor ( $F_r$ ).**

Se debe tener muy en cuenta el número de cubiertas en este caso de cubiertas de vidrio ya que de estas depende el coeficiente global de pérdidas, si existen mas capas de vidrio menor serán las pérdidas, y por otra parte, disminuirá la radiación que llegue al plato de absorción, ya que también se afecta el factor  $(\tau\alpha)_e$ ; por esto, el valor de N optimo a de fijarse con el objetivo de una eficiencia máxima en el colector. En la práctica, se aconseja utilizar un número de planchas de una a tres dependiendo principalmente de la temperatura del plato  $T_p$ , si se desea obtener una temperatura más alta se puede usar hasta tres planchas de vidrio

El factor de remoción es muy importante encontrarlo pues con él se relaciona la energía útil ganada por el colector, si la superficie del colector estuviera a la temperatura de entrada del fluido, se puede expresar matemáticamente este factor como:

$$Fr = \left\{ \left( \frac{\dot{m} * Cp}{Ac * U_L} \right) * \left( 1 - e^{-\left( \frac{U_L * F' * Ac}{\dot{m} * Cp} \right)} \right) \right\} \quad (2.49)$$

$$Fr = \left\{ \left( \frac{262.13 * 4.19}{0.96 * 18.642} \right) * \left( 1 - e^{-\left( \frac{18.642 * 0.966 * 0.96}{262.13 * 4.19} \right)} \right) \right\}$$

$$Fr = 0.966$$

#### 2.4.22 Energía útil ganada por el colector

Algunos parámetros como la radiación recibida, el tipo de colector, su diseño y la calidad de los materiales utilizados, del área de absorción, de la temperatura de trabajo y la temperatura del medio ambiente, garantizará la energía útil ganada por el colector

La carga útil del colector se la puede determinar para cada hora del día, y se la halla con la siguiente expresión matemática en la tabla No. 2.50 se puede apreciar los cálculos para cada hora del día:

Se puede apreciar el cálculo para la primera hora del día.

$$Q_U = A_C \cdot F_r [S_1 - U_L (T_f - T_a)] \quad (2.50)$$

$$Q_U = 0.96 \cdot 0.966 [189.998 - 18.642(298.65 - 288.65)]$$

$$Q_U = 3.318 \text{ kJ/h}$$

Donde:

S = radiación total absorbida por el colector en unidad de área en una hora,  $\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 * \text{h}}$

$U_L$  = coeficiente global de las pérdidas del colector;  $\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{ h K}}$

$T_f$  = temperatura del fluido que entra al colector, (K)

$T_a$  = temperatura del medio ambiente, (K)

$F_r$  = factor de remoción del colector.

Tabla No. 2.50 Energía útil ganada por el colector

W (°)	Horas del día	Q <sub>U</sub>
75°	6 – 7	3.318
	17 – 18	
60°	7 – 8	561.471
	16 – 17	
45°	8 – 9	829.246
	15 – 16	
30°	9 – 10	1.167x10 <sup>3</sup>
	14 – 15	
15°	10 – 11	1.345x10 <sup>3</sup>
	13 – 14	
0°	11 – 12	1.407x10 <sup>3</sup>
	12 – 13	

#### 2.4.23 Cálculo de la eficiencia diaria del calentador ( $\eta$ ).

El cálculo de la eficiencia diaria del colector se obtiene de la relación entre la energía total ganada por el colector solar y la energía total de la radiación solar incidente y se usa la siguiente fórmula matemática:

$$\eta = \frac{\sum Q_u}{(A_c * \sum H_t)} \quad (2.51)$$

$$\eta = \frac{10626.07}{(0.96 \times 14354.606)}$$



$$\eta = 0.68$$

El rendimiento del colector solar utilizado para este proyecto no proporciona un 68 % de rendimiento.

El resumen de todos los cálculos realizados se los puede apreciar en la tabla No. 2.51



$$UI = 18.642 \text{ kJ/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{K}$$

$$Fr = 0.966$$

$$\eta = 0.68$$

**Tabla No 2.51. Resumen de los cálculos para la determinación del rendimiento del colector Solar.**

Hora	H	H <sub>d</sub>	$\theta_t$	$\cos \theta_t$	$\cos \theta_z$	R <sub>b</sub>	H <sub>t</sub>	$(\tau\alpha)_e$	S	Q <sub>u</sub>	$\eta$
6 - 7 17 - 18	290.104	185.232	69.61	0.3484	0.2646	1.317	322.374	0.620	189.998	3.318	0.011
7 - 8 16 - 17	678.532	380.627	56.013	0.5590	0.4855	1.151	721.929	0.760	521.562	561.471	0.81
8 - 9 15 - 16	1.08*10 <sup>3</sup>	548.416	42.277	0.7399	0.6752	1.096	1.12 x 10 <sup>3</sup>	0.810	868.926	829.246	0.824
9 - 10 14 - 15	1.43*10 <sup>3</sup>	677.165	28.526	0.8786	0.8207	1.071	1.48 x 10 <sup>3</sup>	0.828	1.16 x 10 <sup>3</sup>	1.167x10 <sup>3</sup>	0.821
10 - 11 13 - 14	1.669*10 <sup>3</sup>	758.1	15.027	0.9658	0.9122	1.059	1.7 x 10 <sup>3</sup>	0.830	1.35 x 10 <sup>3</sup>	1.345x10 <sup>3</sup>	0.814



11 - 12	$1.75 \times 10^3$	785.70	5.027	0.995	0.9434	1.055	$1.80 \times 10^3$	0.830	$1.42 \times 10^3$	$1.407 \times 10^3$	0.812
12 - 13											

#### 2.4.24 Cálculo del número de colectores

El cálculo del número de colectores que debe tener una instalación para el aprovechamiento de la energía solar, debe ser un cálculo simplificado, que se base en un tanque de almacenamiento del fluido caliente sin estratificación y perfectamente mezclado (que la temperatura en cualquier punto de su interior sea la misma en cualquier momento), y de esta manera se permita la determinación del número de colectores, sin la necesidad de la programación del problema.

Es recomendable instalar un tanque de almacenamiento que contenga de una a dos veces y medio, la demanda diaria. Se usará en la instalación una fuente de energía adicional (una resistencia eléctrica) con la cual se bajara la capacidad del tanque de almacenamiento a 1.5 veces la demanda diaria.

Se debe tener muy en cuenta que el caudal másico necesario para satisfacer el sistema de calefacción es  $2.3 \frac{m^3}{h}$  y para hallar  $m_L$  o caudal de demanda se lo hace de la siguiente manera:

Se halla el volumen específico ( $V_f$ ) a los  $50^\circ\text{C}$  o  $323\text{ K}$ ; según (12) el volumen específico a esa temperatura es  $V_f = 0.0010122 \frac{m^3}{Kg}$ .

$$\delta = \frac{1}{V_f} = 987.94 \frac{Kg}{m^3} \quad (2.52)$$

Se tiene que  $m_L$  es

$$m_L = 2.3 \frac{m^3}{h} \left( 987.94 \frac{Kg}{m^3} \right) = 2272.262 \frac{Kg}{h}$$

Se deben tener muy en cuenta que para que el cálculo de la instalación sea confiable, en este caso que es un proceso para calefacción se debe saber la carga por hora que se necesita para de esta manera suministrar el agua necesaria dependiendo de esa carga requerida, se puede determinar un valor aproximado de la demanda de energía diaria, con ayuda de la siguiente ecuación:

$$Q'_L = m_L \cdot C_p (T_S - T_L) \quad (2.53)$$



Donde:

$$m_L = \text{Consumo de la carga térmica } \frac{Kg.}{h};$$

$$C_p = \text{calor específico del fluido a la temperatura media } kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1};$$

$$T_s = \text{Temperatura de demanda del fluido, } [^{\circ}K]$$

$$T_L = \text{Temperatura del fluido en el depósito general, } [^{\circ}K]$$

$$Q'_L = 2272.262 \frac{Kg.}{h} \left( 4.19 \frac{kJ}{Kg \cdot K} \right) (5 K)$$

$$Q'_L = 47603,8889 \frac{kJ}{h}$$

$$Q'_L = 13.45 kW.$$

Se debe tener muy en cuenta las pérdidas existentes en el sistema y el flujo requerido para calentar la masa de agua necesaria que permitirá la calefacción, se estipula un valor aproximado de la energía útil que debe ganar la batería de colectores en un día por la fórmula empírica:

$$Q'_T = 1.15 Q'_L \quad (2.54)$$

$$Q'_T = 1.15 (13.45 kW)$$

$$Q'_T = 15.467 kW$$

$$Q'_T = 55683 \frac{kJ}{h}$$

Con la ayuda de este valor se determina, el número de colectores necesario para la alimentación del sistema de calefacción, por la ecuación siguiente:

$$n_c = \frac{Q'_T}{\eta A_c \sum H_T} \quad (2.55)$$

$$n_c = \frac{55683 \frac{kJ}{h}}{0.68 (0.96 m^2) \left( 7177.303 \frac{kJ}{m^2 h} \right)}$$

$$n_c = 11.88$$

Se necesita 12 colectores solares para garantizar proporcionar la carga térmica necesaria para la calefacción de la sala de Neonatología.

#### 2.4.25 Ubicación de los colectores solares

El conjunto de colectores solares se ubicara en la parte superior de la edificación con lo que no se altera la arquitectura del mismo. Los colectores tendrán una orientación en la dirección Sur - Norte, teniendo en cuenta que su azimut (ángulo con la inclinación norte - Sur) es de  $0^\circ$  y la inclinación con respecto al plano horizontal es de 14 grados y orientado al norte por encontrarse Loja ubicado en el hemisferio Sur.

#### 2.4.26 Conexión de los Colectores Solares

Los colectores solares estarán colocados en paralelo en 6 filas como se muestra en la Figura No. 2.2

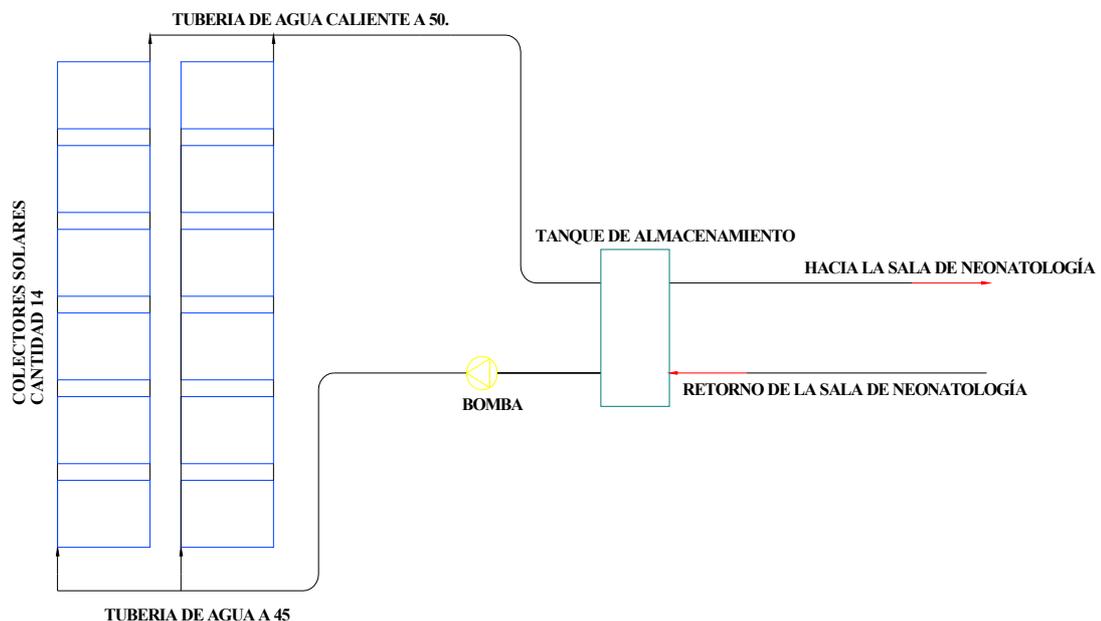


Figura No. 2.2 Conexión en paralelo de las filas de colectores solares.

### 2.4.27 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento para el agua caliente se encontrará ubicado también en la parte superior del edificio a la intemperie colocado en posición horizontal y con una capacidad de 2300 litros de capacidad, se prevé colocar una resistencia dentro del tanque la cual será calculada mas adelante, con la cual se garantizará la permanencia de la temperatura del agua a 50 °C.

Para el cálculo de Tanque de almacenamiento se usaron las siguientes formulas:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} * h \quad (2.56)$$

Se le dará un diámetro de 1 m, teniendo la altura de la siguiente dimensión:

$$h = \frac{4(2.3)}{\pi(1)}$$

$$h = 2.9 \text{ m}$$

Para el presente sistema se tiene un tanque de almacenamiento de 1 m y una altura de 2.9 m. se prevé colocar el tanque en forma horizontal.

### 2.4.28 Cálculo del sistema auxiliar

Para garantizar la temperatura del agua a 50 °C, se dispondrá en el tanque de una resistencia de 14 kW. de potencia tomando en cuenta que en el tanque se colocara un termostato y de esta manera la resistencia trabaje solo cuando la energía solar empiece a declinar y no proporcione la energía necesaria para mantener la temperatura del agua requerida en el tanque de almacenamiento.

Los cálculos de la resistencia a utilizar son los siguientes:

$$Q = m_L * \delta_{\text{agua}} * C_p * \Delta T$$



$$Q = 2.3 \frac{m^3}{h} * 1000 \frac{Kg}{m^3} * 4.19 \frac{kJ}{Kg * ^\circ C} * 5^\circ C$$

$$Q = 13.38 \frac{kJ}{s}$$

Se debe usar una resistencia de 14 kW.

Se procedió también a la selección de un dispositivo electrónico que nos permitirá tener un control de la temperatura en el tanque, más específicamente en la temperatura del agua de recirculación, conjuntamente con la resistencia puesta en el tanque, y que en el momento de bajar la temperatura hasta los 45° o llegar a los 50° se active o desactive la resistencia eléctrica y de esta manera garantizar la calefacción de la sala para cualquier momento del día o cualquier estación climatológica.

Para esta automatización se ha seleccionado un Relee estático easy 412 el esquema del control de temperatura se lo puede observar en el anexo No. 13.

#### 2.4.29 Bombas

El circuito primario y secundario estará provisto de bombas de recirculación, las bombas tienen una potencia de 1 Hp. Con un caudal de  $2.3 \frac{m^3}{h}$  Teniendo en cuenta que no están sometidas a ningún tipo de esfuerzo. En el anexo No. 12 se puede apreciar el circuito de calentamiento de Agua.

#### 2.4.30 Mantenimiento de los colectores solares

Se debe tener muy en cuenta la presencia y la actuación de los agentes externos climatológicos, tomando en cuenta que se debe realizar una revisión técnica cada tres meses de los siguientes componentes:

- Realizar cambio del Agua del tanque de Almacenamiento y aprovisionarle un tratamiento de cloro, aluminato de sodio, aluminato de potasio, Oxido de calcio



con el cual se logra que se unan las partículas de sedimentos y se ubiquen en el fondo quedando el agua casi libre de impurezas y de esta manera previniendo la corrosión en las tuberías.

- Comprobar que las cubiertas de vidrio de los colectores solares no este rotas o en malas condiciones.
- Realizar la limpieza de los colectores con detergentes, en zonas donde hay presencia de polvos, y residuos de contaminación.

## CAPITULO III

### VALORACIÓN ECONÓMICA E IMPACTO AMBIENTAL

#### 3.1 Valoración económica

La etapa del análisis económico y financiero consiste en un estudio de factibilidad donde se observa, si los beneficios obtenidos con la ejecución del proyecto superan los costos y gastos que recurrirán la implantación del mismo o su tiempo de amortización.

Los costos se clasifican en directos e indirectos analizándolos desde el punto de vista de producción; los costos directos analizan la materia prima, salarios directos del personal integrado con el desarrollo del trabajo, servicios públicos, electricidad, combustible, gas, vapor y otros; los costos indirectos se dividen en gastos comerciales (gasto de materiales, su almacenamiento, transporte, gastos por mantenimiento y reparaciones de la maquinaria).

Se debe tener muy en cuenta si el proyecto es factible, encontrando el tiempo de retorno de la inversión, con el cual se mide el número de años que deben pasar desde el inicio del proyecto hasta que se pueda observar que se este generando los primeros ingresos para la institución o ente particular.

##### 3.1.1 Gastos del proyecto

A continuación se detalla en las tablas No. 3.1, 3.2, 3.3 los costos del proyecto, gastos del Sistema de Calefacción, del Sistema de ventilación y del Sistema de colectores Solares respectivamente.

Tabla No. 3.1 Costos del sistema de calefacción.

SISTEMA DE CALEFACCION					
No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	u / m	VALOR USD.	
				UNIT	TOTAL
1	Fan - Coil	6	u	250	1500
2	Tubo Galvanizado 1/2 "	75	m	0,916	68,7
3	Válvula de tres Vías 1/2"	6	u	30	180
4	Válvula de dos Vías 1/2"	2	l	20	40
5	Uniones 1/2"	12	u	0,7	8,4
6	T 1/2"	20	u	1,6	32
7	Codos 1/2"	60	u	0,7	42
8	Bomba 1 Hp.	1	u	100	100
9	Lana de Vidrio, densidad kg/m <sup>3</sup> – 32 m.m.	25	m <sup>2</sup>	3,5	87,5
10	Cinta para Amarrar Conductos	30	m	3.6/100 m	1,08
11	Pegamento foster	3	l	4,5	13,5
12	<b>VALOR TOTAL DE LA INSTALACIÓN</b>				2073,18

Tabla No. 3.2 Costos del sistema de ventilación.

SISTEMA DE VENTILACIÓN					
No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	u / m	VALOR USD.	
				UNIT	TOTAL
1	Cinta adhesiva 63 m.m. x 30 m	4	Rollos	14	56
2	Cinta para amarrar conductos	30	m	3.6/100 m	1,08
3	Hebillas	40	u / m	2,10/100 m	0.84
4	Pegamentos Foster	5	l	4,5	22,5
5	Tornillos rosca para chapa # 10 x 5/8 in	60	u	1,50/100 u	0,9
	#10 x ¼ in	60	u	3,0/100 u	1,8
6	Valor de la Chapa	23	m <sup>2</sup>	5	125,5708
7	Valor del Conducto				207,8508
8	Ventilador	1	u	80	80
9	Rejillas	7	u	20	140
10	<b>VALOR TOTAL DE LA INSTALACIÓN</b>				427,85

Tabla No. 3.3 Costos del sistema de colectores solares.

SISTEMA DE COLECTORES SOLARES					
No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	U / m	VALOR USD.	
				UNIT	TOTAL
1	Colectores solares SOLEICO	12	u	630	7560
2	Tanque de almacenamiento de 2300 l	1	u	2.500	2500
3	Resistencia Eléctrica de 14 Kw.	1	u	300	300
4	Relee térmico easy 412 (SIEMENS)	1	u	250	250
5	Bomba de circulación de 1Hp.	1	u	100	100
6	Manómetro de Esfera ( 0 - 10 bar )	1	u	7	7
7	Termómetro	1	u	6,5	6,5
8	Válvula de dos vías	30	u	20	600
9	Válvula de tres vías	1	u	30	30
10	Codos	50	u	1	35
11	T	15	u	2	24
12	Tubería de cobre (d = 12.7mm)	18	m	16,86	303,48
13	Accesorios Varios				50
14	<b>VALOR TOTAL DE LA INSTALACIÓN</b>				<b>11765,98</b>

A continuación en la tabla No. 3.4 se describe el costo total del proyecto.

Tabla No. 3.4 Costo total del proyecto.

COSTO TOTAL DEL PROYECTO		
No.	SISTEMA	COSTO PROYECTO
1	Sistema de Calefacción	2073,18
2	Sistema de Ventilación	427,85
3	Sistema de colectores Solares	11765,98
4	<b>COSTO TOTAL DE PROYECTO</b>	<b>14.267</b>

Se procedió a realizar un análisis económico entre el uso de la energía solar y la energía eléctrica llegando a las siguientes conclusiones:

Tomando en cuenta la carga térmica requerida en la calefacción que es de 14 kW. y el costo del kW – hora de energía eléctrica que es de 12 centavos de dólar dato proporcionado por la E.E.R.S.S.A se tiene que diariamente se gasta:

$$\text{Costo} = 14 \text{ kW} * 24 \text{ h} * 0.12 = 40.32 \text{ usd.}$$

Teniendo un gasto mensual de 1209.6 usd.

Con la ayuda de la energía solar se economizará diariamente 6 horas de energía eléctrica.

$$\text{Costo} = 14 \text{ kW} * 6 \text{ h} * 0.12 = 10.08 * 30 \text{ días} = 302.4 \text{ usd}_{\text{MENSUAL}}$$

Para encontrar el tiempo de recuperación de la inversión se usa la siguiente ecuación

$$\text{TRI} = \frac{I}{B} = \frac{14267}{302.4 \text{ usd/mensual}} = 47 \text{ meses ó 3.9 años} \quad (3.1)$$

Donde:

I = Inversión total, usd



B = Beneficio anual,  $\text{usd}/\text{mensual}$

Taza de eficiencia económica:

$$E = \frac{1}{TRI} * 100 = \frac{1}{3,9} * 100 = 25,64 \text{ \%} / \text{año} \quad (3.2)$$

### 3.2 Impacto Ambiental

Los efectos de la energía, como la producción, transformación, el transporte y el uso, son notables sobre el medio ambiente. Estos varían dependiendo de la fuente de energía, de las tecnologías de producción y de su uso, en diferentes sectores: agricultura, industria, transporte y consumo doméstico y comercial. Los efectos ambientales de los distintos sistemas energéticos se evalúan normalmente para todo el ciclo del combustible, desde la extracción de la materia prima, transporte, elaboración, almacenamiento y consumo, hasta la gestión de desechos producidos en todas las etapas de este ciclo.

El consumo de Energía para Calefacción se dice que es la tercera parte del consumo total de energía de una casa, la mayor parte de la energía para la calefacción se obtiene quemando carbón y leña, los siguientes cuatro combustibles empleados, por orden de su importancia, son el gasóleo, la electricidad, los gases licuados de petróleo (butano, propano y gas natural).

La ventilación utiliza electricidad, pero el consumo total de energía es muy inferior en relación con el necesario para la calefacción.

La salida de los contaminantes atmosféricos está en proporción directa con el tipo de combustible utilizado:

➤ El consumo de electricidad es sumamente limpio, pero se debe tener en cuenta la contaminación que supone su producción en origen. Buena parte de la electricidad se genera en centrales térmicas que queman carbón o petróleo, este proceso constituye uno



de los mayores problemas de contaminación ambiental por la emisión de gases a la atmósfera, dentro de los cuales se encuentra el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que constituye el elemento fundamental que interviene en el llamado Efecto Invernadero causante de la elevación gradual de la temperatura de la atmósfera terrestre. Se puede evidenciar en nuestro país los cambios notables en el comportamiento climatológico, ocasionando prolongación en la época de verano y estiajes en época de invierno, con lo cual se ocasionan pérdidas en las labores agrícolas y ganaderas de nuestra población.

- El gas natural, como el propano y el butano, apenas generan contaminantes en su combustión. Son por lo tanto combustibles bastante adecuados para los sistemas de calefacción urbanos.
- La quema del gasóleo para la calefacción produce una variada colección de contaminantes como: óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, etc. Por ello, su empleo estaría desaconsejado en una ciudad, aunque puede dar buen resultado en casas aisladas y en el medio rural. No obstante, hay que tener en cuenta los progresos en materia de reducir el impacto ambiental de estos combustibles: por ejemplo, su contenido en azufre ha sido muy reducido en los últimos años.
- La quema de carbones y leñas tiene un gran problema: además de otros contaminantes, produce enorme cantidades de partículas de ceniza. Por esta razón, este tipo de calefacción ya no está siendo usada en las grandes ciudades, aunque puede funcionar razonablemente en el medio rural.

Hoy en día los organismos gubernamentales están haciendo conciencia en la masificación de las energías renovables, mediante las cuales se pueda contrarrestar a los sistemas convencionales de calefacción siendo los principales emisores de gases como anhídrido carbónico, ácido sulfuroso y óxido nitroso en pequeñas cantidades.

Sin embargo desde el punto de vista medio ambiental la energía solar está muy por encima de los otros dos tipos de energía. Evidentemente el sistema eléctrico es el que más daño causa al medio, pero cabe decir que los sistemas de gas natural aunque se intente persuadir a la sociedad de lo contrario, generan un fuerte impacto ambiental,



que claro esta si lo comparamos con el de la energía eléctrica el impacto se reduce, pero tampoco se reduce tanto como para plantear el gas natural como la fuente alternativa para la solución de los problemas ambientales del planeta, y más teniendo en cuenta que es un recurso cuyas reservas están estimadas en alrededor de unos 60 años al nivel de consumo actual.

La energía solar térmica, se convierte en una fuente muy cuidadosa con el medio ambiente en comparación con las energías convencionales, debido a que sus recursos son inagotables para cubrir los requerimientos energéticos. En cuanto a los aspectos ambientales estos son sin duda el gran benéfico de la instalación de este tipo de sistemas. La energía solar es la más limpia de todas las energías renovables desarrolladas hasta el momento; no necesitan combustibles fósiles para su funcionamiento, con lo que no contribuyen al agotamiento de este tipo de reservas, no generan emisiones de gases que producen el efecto invernadero, tampoco producen ruidos, a demás no necesitan grandes infraestructuras para su distribución, ya que cada estancia tiene su pequeña instalación para abastecer las necesidades requeridas, el único impacto sobre el medio físico es el efecto visual sobre la infraestructura del local o del paisaje del recinto por lo que se debe tener muy en cuenta la ubicación del sistema colector.

Se observa también que los sistemas solares no influyen en la flora y la fauna, lo que si se puede evidenciar en grandes sistemas es la gran cobertura de ellos.

Con el uso de colectores solares contaremos con el agua caliente necesaria para realizar la calefacción de la sala de neonatología de una forma natural, teniendo en cuenta que por cada kW-h de energía eléctrica consumida por un equipo que puede ser una bomba, un calefactor eléctrico, se descarga a la atmósfera 0.94 Kg. de CO<sub>2</sub>.

**Como conclusiones se tiene que el sistema de calefacción tiene una incidencia casi nula sobre el efecto invernadero y por ende con el medio ambiente y más bien con la implantación del presente proyecto se prevé evitar la liberación de al menos 28 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.**



## Conclusiones

- Con la correcta evaluación de la carga térmica de la sala de neonatología del Hospital Isidro Ayora de Loja, se llegó a precisar que se necesita 13.45 kW. de calor para garantizar condiciones de confort dentro de la sala.
- Se garantiza un funcionamiento sin ruidos, ya que la velocidad del aire usada para la remoción es de  $6.60 \frac{m}{s}$ , velocidad que está dentro de los límites recomendados para este tipo de salas.
- Los conductos y accesorios utilizados dentro del sistema de calefacción y extracción de olores garantizan condiciones de trabajo normal.
- El calentamiento de agua usado para la recirculación, se obtiene con el uso de 12 colectores solares planos proporcionando un calor útil de  $2951.6861 \frac{W}{h}$  en régimen forzado. Como sistema alternativo se propone el uso de una resistencia eléctrica de 14 kW. de potencia y de esta manera se garantiza la temperatura del agua a los 50°C requeridos en la calefacción de la sala.
- Con la utilización de colectores solares planos se garantiza reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, en un valor de 28 Ton al año y de esta manera ayudar a la conservación de medio ambiente.
- La ejecución del proyecto de tesis ha contribuido de forma significativa en mi formación profesional, debido a que se han integrado conocimientos de varias disciplinas de la carrera en Electromecánica así como los métodos de investigación científica y técnicas computacionales, logrando de esta manera el desarrollo exitoso del presente trabajo.



### Recomendaciones

- Emplear correctamente los parámetros de cálculo y la utilización de los materiales recomendados en el momento de la implantación del sistema.
- Utilizar un aislante térmico para la red de conductos de calefacción, y de esta manera reducir pérdidas por transferencia hacia el exterior.
- Procurar eliminar todas las infiltraciones posibles dentro de la sala.
- Realizar un mantenimiento preventivo cada tres meses al sistema de calefacción, extracción de olores y colectores solares.
- Indicar al personal que labora en el hospital y a los estudiantes de la carrera en ingeniería en Electromecánica y hacer conciencia en ellos en la utilización de nuevas tecnologías como la solución propuesta



### Bibliografía

- 1.- Bogoslovki B.H y otros: Acondicionamiento de Aire y Abastecimiento de Frío. Edit. "Stroyizdat". Moscú, 1985, en Ruso.
- 2.- Catalogo: Rejillas de suministro y controles, Rejillas de retorno, Aerometal.
- 3.- Catalogo: INCOS, Fabricación de Aparatos para: Calefacción, Ventilación, Refrigeración y Quemadores.
- 4.- Catalogo: Hartzell; Selección de Ventiladores; Litho in U.S.A
- 5.- Carrier: Manual de Aire Acondicionado. MA<sup>c</sup> Grau Hill. Ediciones el Castillo. 1981
- 6.- Cueva González, Wagner Roberto: Sistema Solar de Agua Caliente Sanitaria para el hospital oncológico "SOLCA" Loja – Ecuador.
- 7.- Claudio Miguel Gomez Ing. Industrial: Calefacción, Ventilación y aire acondicionado. Mcgraw – Hill. Baklastov A.M. y otros. Procesos de instalaciones industriales de transferencia de calor. Moscú, 1986, en Ruso.
8. - Duffie, John A. y Beckman, William A. Solar Engineering of Thermal Processes. Wiley Interscience, 1980.
- 9.- Gonzalez Jordán Roberto: Ahorro de Energía en Cuba. Edit. "Científico – Técnica" La Habana. Cuba. 1986.
- 10.- Gaona Salinas, Alci Javier: Metodología para la realización del cálculo verificativo de instalaciones de climatización. Salinas. Loja – Ecuador.
- 11.- García Amador, Olbert: Selección de Calentadores Solares compactos para una instalación turística. Moa 3 de Julio del 2003.
12. - Incropera P. Fundamental of Heat and Mass transfers. Editorial Pueblo y Educación. Tomo I Y II, 1998.
- 13.- Juan de Cusa: Energía Solar para Viviendas. Ceac, Perú 164 – 08020, Barcelona – España.
- 14.- León Tapia Milton; Diseño y Construcción de un colector Solar de Placa Plana de doble exposición. Guayaquil, Ecuador. 1984
15. - Liu, B.Y.H. and Jordan, R. C. "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation". Solar Energy, 4, No.3. 1960.
- 16.- Mekler V. Y.; Ovchinnikov P.A: Ventilación industrial y Acondicionamiento de aire. Edit. "Stroyizdat". Moscú, 1978, en Ruso.



- 17.- Polaino de los Santos, Lázara; Castilla, Sara; Padrón, Verónica: Instalaciones de Climatización, Editorial ISPJAE, La Habana, 1987
- 18.- Ramos Páez, Nestor; Bombas, Ventiladores y Compresores, Editora ISPJAE, Calle 116 s/n, esq. 127 CUJAE Marianao, Ciudad de La Habana.
- 19.- V.V. baturin: Fundamentos de Ventilación Industrial. Editorial Labor, S.A., Primera Edición: Octubre, 1976.
- 20.- Yves, guenand; Climatización de Locales. Editorial Gustavo Gili, Barcelona. 1977, tomo No. 1.

### Enlaces en Internet.

- 1.- Centrales solares; [www.thales.cica.es](http://www.thales.cica.es), mayo del 2004
- 2.- Energía; librería técnica, [www.energuia.com](http://www.energuia.com), abril del 2004
- 3.- Ismael Caballero; Sistema de calefacción, [www.gea-es.org](http://www.gea-es.org), abril del 2004.
- 4.- Naturaleza educativa; colectores solares, [www.iespana.es](http://www.iespana.es), mayo del 2004
- 5.- Sistemas de calefacción; [www.consumer.es](http://www.consumer.es), abril del 2004.
- 6.- Universidad de los Andes; Ventilación mecánica, [www.micigc.uniandes.edu.cu](http://www.micigc.uniandes.edu.cu), abril del 2004.
- 7.- Universidad católica de Argentina; Leyes ambientales, [www.ingenieroambiental.com](http://www.ingenieroambiental.com), junio del 2004.



### Bibliografía

- 1.- Bogoslovki B.H y otros: Acondicionamiento de Aire y Abastecimiento de Frío. Edit. "Stroyizdat". Moscú, 1985, en Ruso.
- 2.- Catalogo: Rejillas de suministro y controles, Rejillas de retorno, Aerometal.
- 3.- Catalogo: INCOS, Fabricación de Aparatos para: Calefacción, Ventilación, Refrigeración y Quemadores.
- 4.- Catalogo: Hartzell; Selección de Ventiladores; Litho in U.S.A
- 5.- Carrier: Manual de Aire Acondicionado. MA<sup>c</sup> Grau Hill. Ediciones el Castillo. 1981
- 6.- Cueva González, Wagner Roberto: Sistema Solar de Agua Caliente Sanitaria para el hospital oncológico "SOLCA" Loja – Ecuador.
- 7.- Claudio Miguel Gomez Ing. Industrial: Calefacción, Ventilación y aire acondicionado. Mcgraw – Hill. Baklastov A.M. y otros. Procesos de instalaciones industriales de transferencia de calor. Moscú, 1986, en Ruso.
8. - Duffie, John A. y Beckman, William A. Solar Engineering of Thermal Processes. Wiley Interscience, 1980.
- 9.- Gonzalez Jordán Roberto: Ahorro de Energía en Cuba. Edit. "Científico – Técnica" La Habana. Cuba. 1986.
- 10.- Gaona Salinas, Alci Javier: Metodología para la realización del cálculo verificativo de instalaciones de climatización. Salinas. Loja – Ecuador.
- 11.- García Amador, Olbert: Selección de Calentadores Solares compactos para una instalación turística. Moa 3 de Julio del 2003.
12. - Incropera P. Fundamental of Heat and Mass transfers. Editorial Pueblo y Educación. Tomo I Y II, 1998.
- 13.- Juan de Cusa: Energía Solar para Viviendas. Ceac, Perú 164 – 08020, Barcelona – España.
- 14.- León Tapia Milton; Diseño y Construcción de un colector Solar de Placa Plana de doble exposición. Guayaquil, Ecuador. 1984
15. - Liu, B.Y.H. and Jordan, R. C. "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation". Solar Energy, 4, No.3. 1960.
- 16.- Mekler V. Y.; Ovchinnikov P.A: Ventilación industrial y Acondicionamiento de aire. Edit. "Stroyizdat". Moscú, 1978, en Ruso.



- 17.- Polaino de los Santos, Lázara; Castilla, Sara; Padrón, Verónica: Instalaciones de Climatización, Editorial ISPJAE, La Habana, 1987
- 18.- Ramos Páez, Nestor; Bombas, Ventiladores y Compresores, Editora ISPJAE, Calle 116 s/n, esq. 127 CUJAE Marianao, Ciudad de La Habana.
- 19.- V.V. baturin: Fundamentos de Ventilación Industrial. Editorial Labor, S.A., Primera Edición: Octubre, 1976.
- 20.- Yves, guenand; Climatización de Locales. Editorial Gustavo Gili, Barcelona. 1977, tomo No. 1.

### Enlaces en Internet.

- 1.- Centrales solares; [www.thales.cica.es](http://www.thales.cica.es), mayo del 2004
- 2.- Energía; librería técnica, [www.energuia.com](http://www.energuia.com), abril del 2004
- 3.- Ismael Caballero; Sistema de calefacción, [www.gea-es.org](http://www.gea-es.org), abril del 2004.
- 4.- Naturaleza educativa; colectores solares, [www.iespana.es](http://www.iespana.es), mayo del 2004
- 5.- Sistemas de calefacción; [www.consumer.es](http://www.consumer.es), abril del 2004.
- 6.- Universidad de los Andes; Ventilación mecánica, [www.micigc.uniandes.edu.cu](http://www.micigc.uniandes.edu.cu), abril del 2004.
- 7.- Universidad católica de Argentina; Leyes ambientales, [www.ingenieroambiental.com](http://www.ingenieroambiental.com), junio del 2004.