



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN
SOLAR PARA LA POSTA DE SALUD DEL
POBLADO DE BELLA ANDINA, CHOTA -
CAJAMARCA”**

Presentado Por:

BACH. IRIGOIN BUSTAMANTE ANDER TITO

Asesor:

Ing. HÉCTOR OLIDEN NUÑEZ

LAMBAYEQUE – PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN
SOLAR PARA LA POSTA DE SALUD DEL
POBLADO DE BELLA ANDINA, CHOTA -
CAJAMARCA”**

Presentado Por:

BACH. IRIGOIN BUSTAMANTE ANDER TITO

Aprobado por el Jurado Examinador:

PRESIDENTE: Dr. JORGE LUIS NOMBERRA TEMOCHE

SECRETARIO: DR. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO

MIEMBRO: ING. PERCY EDUAR NIÑO VASQUEZ

ASESOR: ING. HECTOR OLIDEN NUÑEZ

LAMBAYEQUE – PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS DE INGENIERÍA

TÍTULO

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR PARA LA
POSTA DE SALUD DEL POBLADO DE BELLA ANDINA, CHOTA -
CAJAMARCA”**

CONTENIDOS

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPÍTULO IV: DISEÑO Y CÁLCULOS.

**CAPÍTULO V: DESARROLLO DEL PROCESO DE SELECCIÓN,
CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES.**

AUTOR: BACH. IRIGOIN BUSTAMANTE ANDER TITO

Dr. Jorge Luis Nombera Temoche

PRESIDENTE

Dr. Daniel Carranza Montenegro

SECRETARIO

Ing. Percy Edwar Niño Vásquez

VOCAL

Ing. Hector Oliden Nuñez

ASESOR

Lambayeque – Perú

2018

DEDICATORIA

Primeramente, dedico esta tesis a **Dios**, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado a esta etapa tan importante de mi formación profesional.

De manera muy especial dedico esta tesis a mi querida madre **María Rosa Bustamante Fustamante** que, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás siempre conmigo y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, eres la luz que alumbra mi camino, sé que este momento es tan especial para ti como lo es para mí por estar cumpliéndose uno de tus sueños.

Dedico esta tesis a mi padre **Segundo Israel Irigoin Rafael**, a mis cinco hermanos y a mi abuelita quienes son mi fuente principal de apoyo que me impulsan a realizar mis metas, por demostrarme su cariño incondicional contribuyendo a lograr mis objetivos propuestos

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi **Familia**, el pilar de mi vida, las personas más importantes para mí y por quienes trato de superarme y ser mejor cada día. Ellos son los que siempre están de manera incondicional.

A mi asesor de tesis **Ing. Hector Antonio Oliden Nuñez**, por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de esta tesis, por su apoyo, amistad y su experiencia compartida con mi persona para ser un profesional de éxito.

Quisiera dejar escrito mi agradecimiento a las personas más cercanas quienes fueron y son muy especiales para mí, por mostrarme confianza y enseñanza para enfrentarse sin miedo a los retos de la vida, sin perder nunca la humildad.

RESUMEN

Desde hace muchos años, en la región alto andina se vienen produciendo las denominadas heladas, afectando a la población de la zona alto andina de nuestro país. Al tratarse de una condición climatológica recurrente es que debemos generar tecnologías adecuadas y acordes a las poblaciones con el fin de mejorar el bienestar térmico en la vida de las personas.

Asimismo, estas condiciones de fríos extremos o similares se ven reflejadas en la incomodidad de los pacientes a la posta médica de la localidad, hecho que motiva preocupación, puesto que, es el lugar más apropiado para los controles médicos y el alumbramiento respectivo. Considerando el factor del frío como una de las fuentes de incomodidad, es que se propone desarrollar la presente tesis, con la finalidad de brindar a la posta de salud la alternativa de diseñar un sistema de calefacción solar y que el mismo sea replicable por los pobladores en general.

La presente abarca los principales antecedentes de la comunidad de Bella Andina, relacionados al sistema de calefacción, dentro de los mismos destacan el recurso solar disponible y las bajas temperaturas que se presentan.

Palabras clave: Sistema de Calefacción Solar, Zona Alto Andina, Heladas, Bienestar Térmico.

ABSTRACT

For many years, in the high Andean region, so-called frosts have been occurring, affecting the population of the Andean highlands of our country. Being a recurrent climatological condition is that we must generate appropriate technologies and according to the populations in order to improve thermal comfort in people's lives.

Also, these conditions of extreme cold or similar are reflected in the absenteeism of patients to the medical post of the locality, fact that causes concern, since, it is the most appropriate place for medical checks and the respective delivery. Considering the factor of cold as one of the sources of absenteeism, is that it is proposed to develop this thesis, in order to provide the health post the alternative of installing a solar heating system and that it is replicable by residents in general.

The present covers the main background of the community of Bella Andina, related to the heating system, including the solar resource available and low temperatures that occur.

Keywords: Solar Heating System, Andean High Area, Frost, Thermal Welfare.

INDICE

| | |
|---|------|
| RESUMEN | I |
| INDICE | III |
| INDICE DE TABLAS..... | VI |
| INDICE DE FIGURAS | VIII |
| INTRODUCCION | 1 |
| CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... | 4 |
| 1.1 Realidad Problemática | 4 |
| 1.2 Formulación del Problema..... | 9 |
| 1.3 Delimitación de la Investigación | 9 |
| 1.3.1 Infraestructura local..... | 9 |
| 1.3.2 Condiciones Climáticas..... | 9 |
| 1.3.3 Recurso Solar. | 13 |
| 1.4 Justificación e Importancia de la TESIS | 14 |
| 1.5 Limitaciones de la TESIS | 14 |
| 1.6 Objetivos de la TESIS | 15 |
| 1.6.1 Objetivo general..... | 15 |
| 1.6.2 Objetivos específicos. | 15 |
| CAPITULO II: MARCO TEORICO | 16 |
| 2.1 Antecedentes de Estudios..... | 16 |

| | | |
|---------------------------------------|---|----|
| 2.2 | Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado | 18 |
| 2.2.1 | La Energía Solar..... | 18 |
| 2.2.2 | Ángulos importantes en energía solar..... | 21 |
| 2.2.3 | Longitudes de onda y sus características principales. | 23 |
| 2.2.4 | Mecanismos de transferencia de calor..... | 24 |
| 2.2.5 | Confort térmico..... | 30 |
| CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO..... | | 31 |
| 3.1 | Tipo y Diseño de investigación | 31 |
| 3.2 | Población y Muestra | 31 |
| 3.3 | Hipótesis..... | 32 |
| 3.4 | Variables – Operacionalización | 33 |
| 3.5 | Análisis Estadístico e interpretación de los datos..... | 33 |
| 3.5.1 | Subsistema de captación. | 35 |
| 3.5.2 | Subsistema de acumulación. | 42 |
| 3.5.3 | Subsistema de control..... | 44 |
| 3.5.4 | Subsistema de distribución. | 45 |
| CAPITULO IV: DISEÑO Y CÁLCULOS..... | | 46 |
| 4.1 | Lista de exigencias | 46 |
| 4.2 | Determinación de la carga térmica de la habitación | 48 |
| 4.3 | Determinación de la carga térmica para una persona | 58 |
| 4.4 | Carca térmica requerida | 58 |
| 4.5 | Diseño de contrastación de hipótesis | 59 |

| | |
|---|-----|
| 4.6 Proyecto solución óptimo | 61 |
| 4.7 Cálculos..... | 62 |
| 4.7.1 Cálculo del área del colector <i>AC</i> | 65 |
| 4.7.2 Calculo de la irradiancia solar absorbida. | 67 |
| 4.7.3 Cálculo del coeficiente de pérdidas de calor del sistema..... | 91 |
| 4.7.4 Determinación del calor útil del sistema..... | 106 |
| CAPITULO V: DISEÑO Y CÁLCULOS..... | 108 |
| 5.1 Definición de los parámetros de selección a emplear | 108 |
| 5.2 Costos de materiales del sistema..... | 110 |
| 5.3 Cantidad de carga térmica que brinda el sistema y la que se requiere .. | 112 |
| CONCLUSIONES..... | 113 |
| RECOMENDACIONES | 115 |
| BIBLIOGRAFÍA | 116 |
| ANEXOS | 119 |
| RESULTADOS DE CALCULOS Y DATOS CLAVES | 119 |
| PLANOS | 122 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1.- Nivel de Temperatura para Bella Andina, registrada en promedio de 4 años..... | 12 |
| Tabla 2.- Resumen espectro electromagnético vs. Longitud de onda y energía disponible. | 24 |
| Tabla 3.- Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección. | 27 |
| Tabla 4.- Definición de Variables..... | 33 |
| Tabla 5.- Propiedades básicas de las cubiertas. | 37 |
| Tabla 6.- Funciones de acumuladores de calor a diferentes volúmenes..... | 44 |
| Tabla 7.- Lista de Exigencias del Proyecto..... | 47 |
| Tabla 8.- Espesores de calamina convencional. | 65 |
| Tabla 9.- Día promedio de irradiación solar mensual. | 69 |
| Tabla 10.- Ángulos de declinación y día promedio mensual. | 70 |
| Tabla 11.- Ángulos horario a evaluar. | 73 |
| Tabla 12.- Cálculo de la Irradiancia sobre superficies planas para diferentes horas. | 73 |
| Tabla 13.- Cálculo de la Irradiancia sobre superficies planas para diferentes horas. | 75 |
| Tabla 14.- Resultados del cálculo de Irradiación global, directa y difusa. | 80 |
| Tabla 15.- Resultados del Factor de Irradiación geométrica. | 83 |
| Tabla 16.- Propiedades ópticas Polimetilmetracrilato (PMMA)..... | 84 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 17.- Resultados del cálculo de Transmitancia, reflexión y absortividad.. | 90 |
| Tabla 18.- Resultados de Irradiancia [W/m^2]..... | 91 |
| Tabla 19.- Propiedades del aire a las temperaturas en análisis. | 99 |
| Tabla 20.- Velocidad del viento para Bella Andina, registrada en promedio de 4 años..... | 102 |
| Tabla 21.- Calor útil aportado del sistema. | 107 |
| Tabla 22.- Costos de materiales a utilizar. | 111 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|--------------------------------------|
| Figura 1.- Toma Geográfica satelital de la Ruta Bella Andina - Hospital de la Provincia de Chota. / Fuente Google Earth. | 6 |
| Figura 2.- Toma Geográfica satelital de la Ruta Bella Andina. / Fuente Google Earth..... | 7 |
| Figura 3.- Puesto de Salud Bella Andina - Chota Cajamarca..... | 8 |
| Figura 4.- Mapa de Temperatura mínima absoluta registro histórico – fuente Atlas de heladas del Perú – SENAMHI. | 10 |
| figura 5.- Adaptación Solar Engineering Thermal Processes (Duffie y Beckman 2013). | 23 |
| figura 6.- Reflexión, absorción y transmisión adaptación de Fundamentos de transferencia de calor (FRANK P. INCROPERA 1996). | 28 |
| Figura 7.- Cubiertas de vidrio templado. / fuente: (RIVAS 2017)..... | 36 |
| Figura 8.- Placa Colectora – Calamina Convencional. | 38 |
| Figura 9.- Carcasa de Madera -Juntas de Aluminio. | 39 |
| Figura 10.- Aislante-Poliestireno. | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 11.-Colector solar de placa plana con agua. | 41 |
| Figura 12.- Colector solar de placa plana con aire. (Energética vol.36 no.3 La Habana set.-dic. 2015). | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 13.- Sistema de acumulador de calor (lecho de piedras). (S. Bistoni 1979). | 43 |
| Figura 14.- Rejilla regulable de forma manual..... | 45 |

| | |
|---|----|
| Figura 15.- Ducto de aire caliente. (DECO 2014)..... | 45 |
| Figura 16.- Factor de corrección de temperatura. / fuente:(Norma D.11 UNE-EN 12831). | 49 |
| Figura 17.- Temperatura y velocidad de aire interior. / Fuente (ASHRAE 2008). | 51 |
| Figura 18.- Software de dimensionamiento de ductos HVAC. / Fuente (DECO 2014). | 54 |
| Figura 19.- Ducto de aire caliente. | 55 |
| Figura 20.- Carta Psicrométrica - La ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers)..... | 56 |
| Figura 21.- Presión atmosférica a diferentes altitudes./ (ASHRAE 2008)..... | 57 |
| Figura 22.- Esquema del colector solar. | 60 |
| Figura 23.- Estructura de funciones del sistema. | 61 |
| Figura 24.- Proyecto solución óptimo. | 62 |
| Figura 25.- Diagrama Energético del colector solar. | 63 |
| Figura 26.- Cálculo del Área del colector..... | 66 |
| Figura 27.- Ratio de irradiación directa y difusa extraído del libro Engineering of Thermal Processes basado en el estudio de Erbs. | 77 |
| Figura 28.- Distribución de Irradiancia diaria en Bella Andina para el mes de mayo..... | 78 |
| Figura 29.- Cálculo irradiación para -3.5 hora del medio día solar. | 79 |
| Figura 30.- Relación entre los ángulos de incidencia y refracción, adaptación de engineering of thermal processes..... | 84 |

| | |
|--|----|
| Figura 31.- Esquema de flujos de calor en el colector..... | 92 |
| Figura 32.- Proceso de determinación del Coeficiente de pérdidas de calor del sistema. (ITESO febrero de 1995)..... | 93 |
| Figura 33.- Sección del colector solar y las pérdidas de calor..... | 94 |
| Figura 34.- Diagrama de resistencias equivalentes..... | 95 |

INTRODUCCION

La geografía tan variada de nuestro país, los escasos recursos económicos y el difícil acceso a los poblados situados en la región alto andina, generan en la actualidad en ellas muchas necesidades sociales. Durante las épocas de friaje y/o heladas, los pobladores de la zona viven en condiciones infrahumanas, ya que, la temperatura desciende a niveles en los cuales la infraestructura actual no logra brindarles en su interior temperaturas apropiadas para el desarrollo normal de sus actividades.

Particularmente en el poblado de Bella Andina, ubicado en la provincia de Chota, departamento de Cajamarca, hay una problemática con respecto al confort térmico en la posta de salud, uno de los que destaca como producto de esta insatisfacción es la incomodidad por parte de los pacientes y posibles complicaciones tanto en los recién nacidos, jóvenes y adultos así como en las madres gestantes al realizar el nacimiento de sus hijos en sus hogares, en donde no se cuenta con los equipos y profesionales necesarios.

Las instalaciones solares térmicas tienen como fin principal aprovechar la energía proveniente del sol para elevar la temperatura de un fluido y así poder hacer uso de este recurso de manera productiva.

La presente tesis, tiene como objetivo eliminar esta incomodidad en la posta de salud de Bella Andina para que puedan llevar a cabo una mejor atención medica los pobladores, ya que este es el lugar más apropiado para realizarlo.

Para poder lograr esto, se realizará un estudio de las condiciones climáticas de la región, la cual se desarrolla en el primer capítulo.

Los capítulos segundo y tercero, son una recopilación de los principales conceptos teóricos necesarios para el diseño del sistema y las condiciones tecnológicas actuales. En relación a los conceptos teóricos al tratarse de un sistema solar se presentan los diferentes ángulos en el aprovechamiento solar, conceptos generales para el correcto manejo de información estadística y los conceptos relacionados con la transferencia de calor. Con relación al estado actual de la tecnología, se presentan los principales componentes de un sistema y los arreglos más comunes actualmente.

En el cuarto capítulo, se presentan los requerimientos del proyecto, indicando las exigencias que debe cumplir el mismo con la finalidad de satisfacer la necesidad real de la población. En esta parte se determina la carga térmica de diseño, a fin de obtener una la solución óptima y se procede a realizar los cálculos requeridos para consolidar el diseño.

Posteriormente, se presenta una metodología desarrollada para poder replicar el presente sistema en diferentes ubicaciones y condiciones, dentro de las cuales destacan el recurso solar disponible, la velocidad del viento en la zona y las dimensiones del recinto a calentar. Esta metodología pretende alcanzar a todos aquellos interesados una guía simple para el dimensionamiento de un sistema en una aplicación diferente a la posta de salud.

Luego se detallan las conclusiones, recomendaciones y anexos de la tesis, las cuales están acordes a los objetivos principales y específicos planteados.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Realidad Problemática

Los Andes centrales concentran la mayor cantidad de población indígena de Latinoamérica, precisamente en los países que conforman la Comunidad Andina de Nacionales (CAN), que según estudios de Servicios en comunicación Intercultural (SERVINDI 2015) constituye una de las zonas más riesgosas del mundo. Desde hace muchos años, en la región alto andina se vienen produciendo las denominadas heladas, afectando a la población de la zona alto andina de nuestro país.

La cantidad de habitantes en el poblado de Bella Andina es alrededor de 1,000 personas, un promedio de 155 viviendas (INEI 2002-2007), siendo bastante equitativa la distribución de género de la misma, aproximadamente 50.08 % son hombres y el 49.92 % son mujeres. Pertenecer a la Provincia de Chota, Departamento de Cajamarca, latitud sur: 7°9'56"; longitud oeste: 78°28'08"; está ubicada aproximadamente a unos 25 km, a 3 horas de la ciudad de Chota en automóvil y se encuentra a una altura aproximadamente de 3,704 m.s.n.m. las condiciones climatológicas en la zona son bastante frías sobre todo en las épocas de invierno como son en los meses de mayo, junio, julio, agosto y setiembre, lo que genera una calidad de vida no óptima para los habitantes. En el ámbito económico, como es común en la región alto andina del Perú el poder adquisitivo es muy limitado; enfocándose de forma más específica con este

proyecto, se busca generar un ambiente más agradable para los usuarios de la posta, y así evitar la incomodidad de los pacientes al establecimiento para sostener la atención y un tratamiento médico más saludable lo cual no ha tenido mucha acogida debido a razones culturales y a la falta de confort térmico que sienten los pobladores de Bella Andina en la Posta Medica.

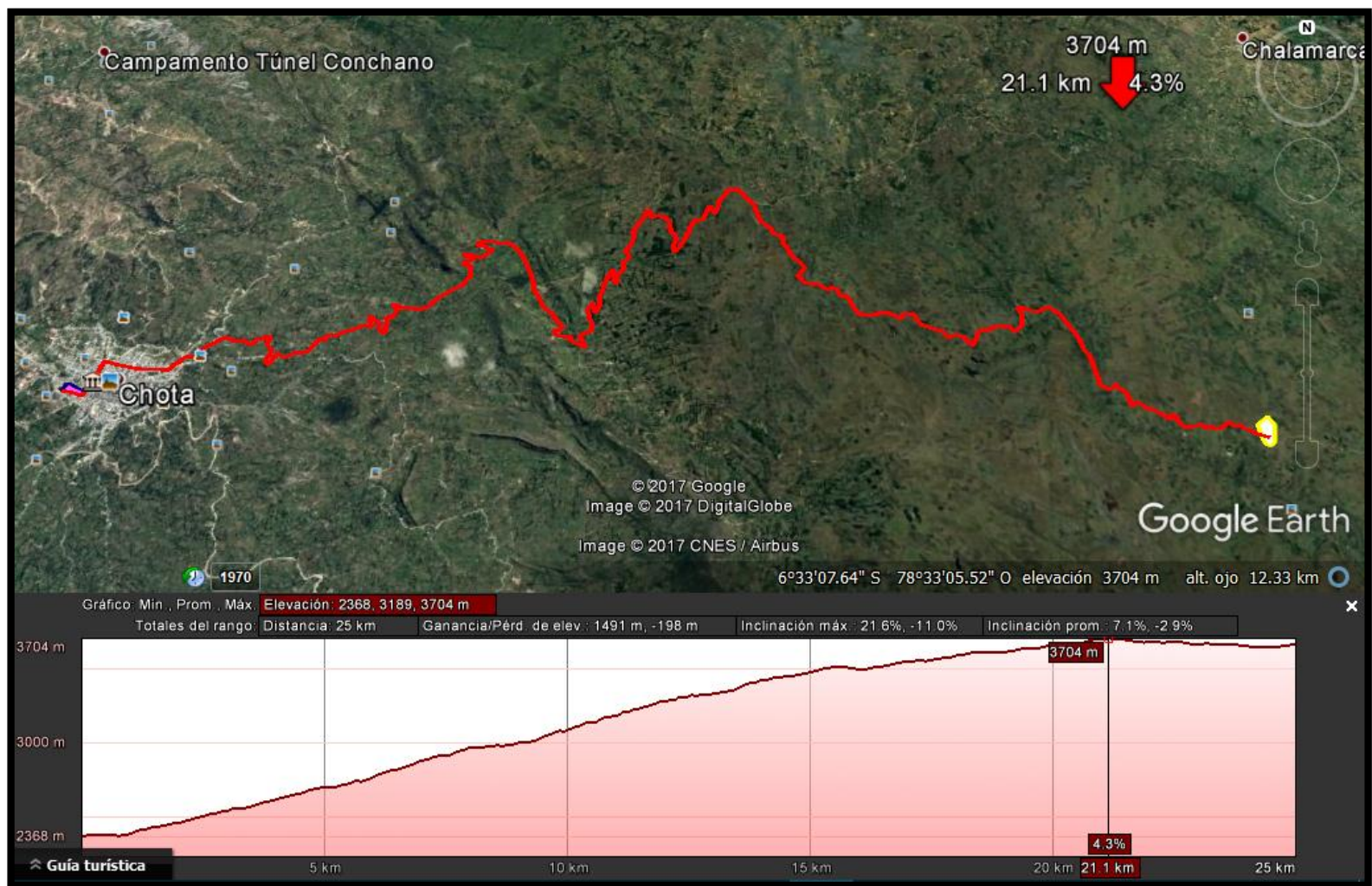


Figura 1.- Toma Geográfica satelital de la Ruta Bella Andina - Hospital de la Provincia de Chota. / Fuente: Google Earth.



Figura 2.- Toma Geográfica satelital de la Ruta Bella Andina. / Fuente: Google Earth.



Figura 3.- Puesto de Salud Bella Andina - Chota Cajamarca. / Fuente: toma fotográfica del tesista.

1.2 Formulación del Problema

¿En qué medida el Diseño de un Sistema de Calefacción Solar contribuye al bienestar y mejor calidad de atención médica para los pacientes en la posta de salud del poblado de Bella Andina?

1.3 Delimitación de la Investigación

1.3.1 Infraestructura local.

La infraestructura de la zona está básicamente hecha en construcciones de adobe. La construcción de la posta de salud se realizó de adobe revestida con cemento yeso (diablo fuerte), debido al material de su construcción, el sistema de calefacción deberá mantener cierto nivel de complejidad para correlacionarlo con la infraestructura de la misma, con esto se buscará evitar la incomodidad en la permanencia del paciente en la posta de salud; así como la implementación del sistema en sus propios hogares.

1.3.2 Condiciones Climáticas.

La Región Cajamarca, presenta una topografía muy variada; pues casi los dos tercios de su territorio son ocupados por la Cordillera de los Andes, el piso altitudinal alto andino del departamento de Cajamarca se encuentra situado en la zona jalca, desde los 3 500 a 3 900 msnm en los Andes del Norte del Perú, el clima es frío, típico de una zona de alta montaña; durante la noche la temperatura media anual fluctúa entre 5 a 8°C con mínimas de -3 a -20°C en la época de invierno (mayo-septiembre) y máximas de 22° C durante el día.

De acuerdo al Atlas de Heladas del Perú publicado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, Bella Andina se encuentran en la zona geográfica donde se han registrado muy bajas temperaturas históricas de nuestro país.

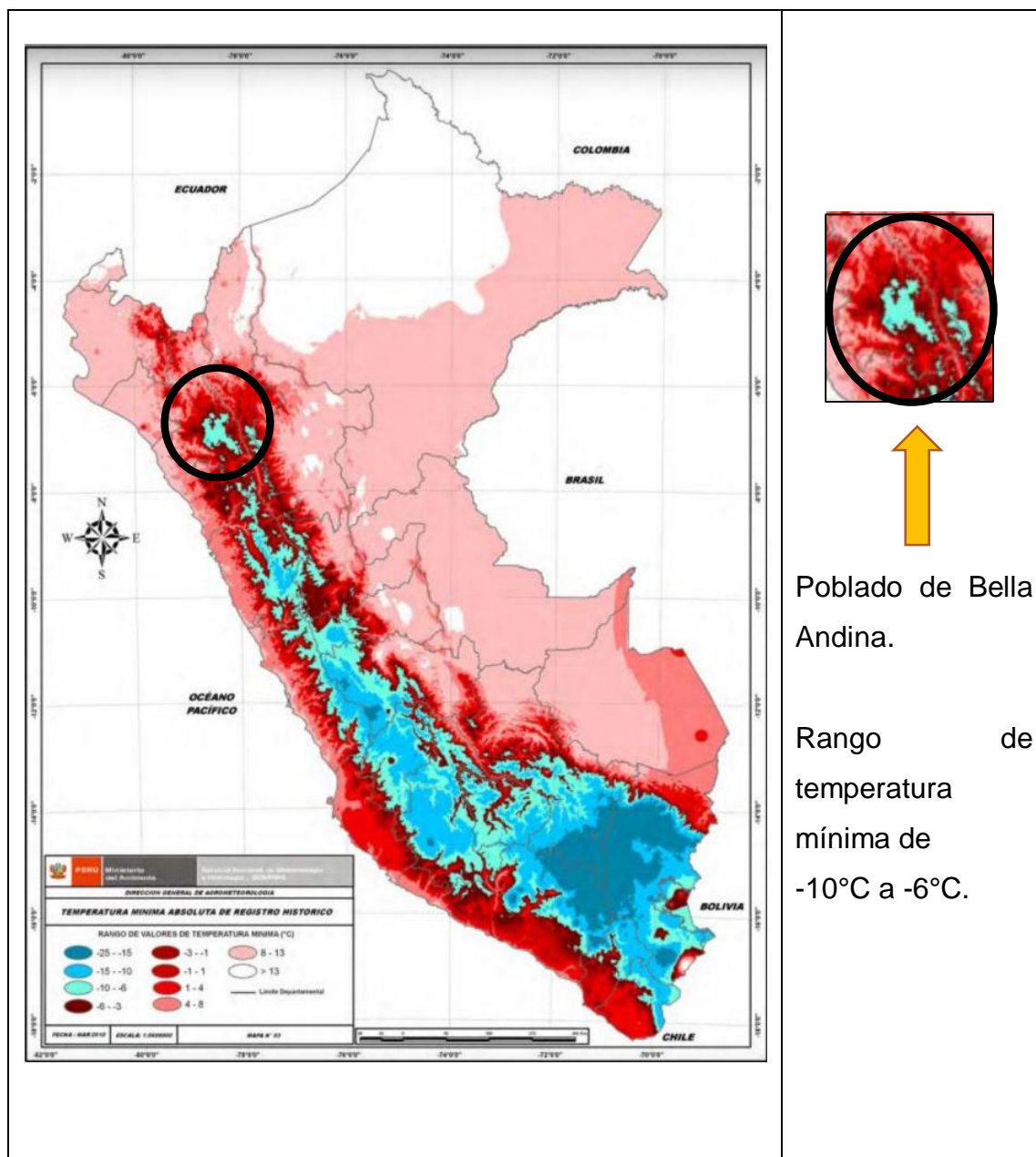


Figura 4.- Mapa de Temperatura mínima absoluta registro histórico – Fuente: Atlas de heladas del Perú – SENAMHI.

Al analizar la ubicación específica de Bella Andina encontramos que se encuentra en el rango de temperaturas mínimas de 6 a 10°C bajo cero. Estas temperaturas proponen que esta zona del noroeste del país goce de nuestros esfuerzos para lograr mitigar la falta de confort térmico. Asimismo, es importante reconocer que las bajas temperaturas se presentan en una franja muy extensa del territorio nacional, por lo que, se debe considerar como una exigencia de la tesis, que la tecnología brinde la posibilidad de replicar la misma bajo condiciones similares.

Luego de identificar este grave problema es que se requiere conocer de una manera más exacta las condiciones de temperatura, información detallada de carácter específico que se muestran en la siguiente tabla, (MINISTERIO DE AGRICULTURA 2001-2005). Al acceder a esta base de datos de medición de temperaturas en la región, se pudo conocer las condiciones de temperatura en un promedio de 4 años.

Tabla 1.- Nivel de Temperatura para Bella Andina, registrada en promedio de 4 años.

| Temporada en invierno; (2001 – 2005) | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|----------------|----------------|
| NIVEL DE T° | Promedio Mensual | Máximo Mensual | Mínimo Mensual |
| Mayo | | | |
| Temperatura Máxima Registrada | 14.45 | 21.20 | 7.70 |
| Temperatura Promedio Registrada | 9.85 | 19.92 | -0.21 |
| Temperatura Mínima Registrada | 5.65 | 16.80 | -5.50 |
| Junio | | | |
| Temperatura Máxima Registrada | 9.59 | 21.80 | 1.60 |
| Temperatura Promedio Registrada | 7.53 | 18.38 | -3.31 |
| Temperatura Mínima Registrada | 4.37 | 11.60 | -7.30 |
| Julio | | | |
| Temperatura Máxima Registrada | 9.30 | 20.10 | 2.10 |
| Temperatura Promedio Registrada | 7.29 | 17.34 | -2.76 |
| Temperatura Mínima Registrada | 4.74 | 10.00 | -7.60 |
| Agosto | | | |
| Temperatura Máxima Registrada | 11.31 | 21.00 | 4.20 |
| Temperatura Promedio Registrada | 8.96 | 19.28 | -1.35 |
| Temperatura Mínima Registrada | 6.17 | 15.00 | -6.80 |
| Setiembre | | | |
| Temperatura Máxima Registrada | 12.33 | 21.50 | 6.90 |
| Temperatura Promedio Registrada | 11.23 | 18.99 | 3.47 |
| Temperatura Mínima Registrada | 8.65 | 15.10 | -2.80 |
| Promedio total: (°C – K) | 9.85 °C 283 K | | |

Fuente: Ministerio de Agricultura, Región Agraria IX – Chota.

La Tabla 1, muestra el resumen de la información histórica que se ha podido recopilar sobre las temperaturas de la zona. Es sumamente importante contar con esta información para poder resolver el problema de confort térmico.

1.3.3 Recurso Solar.

Ante las bajas temperaturas debemos buscar alternativas para poder mejorar de manera sostenible la calidad de vida de los pobladores de la región razón por la cual realizamos un análisis del recurso solar disponible para los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y el promedio anual. / Fuente (SENAMHI Atlas Solar).

Es importante considerar tanto el promedio anual como los meses mencionados, ya que, del análisis histórico realizado hemos podido apreciar que la localidad de Bella Andina presenta condiciones frías por un periodo considerable del año, por lo que, el promedio anual nos permitirá satisfacer dicho requerimiento, asimismo, es crucial conocer el recurso solar en los meses de menor temperatura, ya que, estos presentan mayor severidad sobre las condiciones de confort térmico.

Del análisis realizado conocemos que para la ubicación del poblado de Bella Andina los valores promedio de irradiación diaria sobre una superficie horizontal en los meses de menor temperatura, mayo a septiembre, varían entre **4.5 – 6.5 kWh/m^2** . (SENAMHI 2005).

Al revisar la información sobre el recurso solar, es que, consideramos que esta fuente podría ser aprovechada con la finalidad de mejorar las condiciones

térmicas de la posta de salud, así como, de las casas de los pobladores de la zona.

1.4 Justificación e Importancia de la TESIS

- La justificación del presente documento es elevar la calidad en el servicio de salud ofrecido a los pobladores de la zona.
- La mejora en la calidad del servicio de salud se verá reflejada al generarse un ambiente más agradable para los usuarios de la posta, enfocándonos en el problema de incomodidad de los pacientes al establecimiento, para sostener su atención adecuada.

1.5 Limitaciones de la TESIS

En el desarrollo de la investigación se presentaron las siguientes limitaciones:

- Dificultad de obtener los datos hidrográficos y meteorológicos totalmente actualizados, por lo que se tuvo que desarrollar la presente tesis haciendo un estudio a base de referencias históricas.

1.6 Objetivos de la TESIS

1.6.1 Objetivo general.

“Diseñar un Sistema de Calefacción Solar para la Posta de Salud del poblado de Bella Andina – Chota Cajamarca, para mejorar la atención y tratamiento médico de la población”.

1.6.2 Objetivos específicos.

- Realizar un diagnóstico de la Posta de Salud para determinar las condiciones en que se encuentra el local, desde el punto de vista electromecánico.

- Recopilar estudios básicos sobre el comportamiento de la energía solar de la zona, que permiten conocer las variables necesarias para el diseño ideal del sistema de calefacción.

- Revisar y analizar las bases teóricas sobre Energía Solar.

- Elaborar una propuesta técnica del Diseño de Calefacción Solar para la posta de salud de Bella Andina, haciendo una metodología de diseño del sistema.

- Determinar los costos de materiales a emplear en el sistema de diseño.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de Estudios

De acuerdo a nuestros objetivos propuestos anteriormente, es brindar aire caliente a una habitación determinada y por ello se hace el estudio de diferentes tipos de proyectos teóricos y experimentales respecto a calefacción solar, aire acondicionado, confort térmico en base a energías no convencionales, es por ello que se hace la consulta de algunas referencias.

a.- Trabajo especial de grado en el modelo de un sistema tipo muro trombe para calefacción solar, presentado en junio de 2012, por Felipe Eduardo Acuña Zapata ante la universidad de chile en la Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas Departamento De Ingeniería Mecánica Para Optar al Título De Ingeniero Civil Mecánico. (ZAPATA 2012).

El sistema muro trombe se compone de un canal de colección -con un vidrio para colección de radiación solar-, un muro acumulador de calor con rendijas en sus partes superior e inferior, y un espacio habitable. El aire se calienta por contacto con el muro, que constituye la fuente térmica, y recircula entre el colector y el espacio habitable. En esta memoria se desarrolla un modelo bidimensional transigente del sistema muro Trombe, con dimensiones cercanas a las de una realización real de este concepto, considerando como fenómenos principales la acumulación térmica del muro y el efecto del empuje térmico.

Este trabajo tiene como objetivo exponer diferentes aspectos metodológicos de suficiente alcance, que puedan ser aplicados a distintas estructuras.

Esta investigación ayudó en el desarrollo de nuestro proyecto sin lugar a duda en el aspecto de simulaciones de pérdidas a través de las cubiertas, aislantes y carcasa del sistema, así mismo el aporte de la transferencia de calor por convección y conducción al espacio habitable, todas ellas en función del tiempo. La transferencia de calor al espacio habitable se realiza principalmente por convección natural, especialmente para tiempos largos. La circulación del aire pierde importancia gradualmente como aporte de calor a ese espacio, aunque es un medio efectivo de control de pérdidas de calor por el colector en el muro con rendijas.

b.- También se consultó el desarrollo de este trabajo, Diseño de un Sistema de Climatización para el Refugio del Chimborazo, presentado en diciembre de 2012, por Ángel Remigio Amangandi Aguilar ante la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo en la Facultad De Ingeniería Mecánica para Optar Al Título De Ingeniero Mecánico. (AGUILAR 2012).

El desarrollo de este proyecto surge de la necesidad de brindar un ambiente de confort a los turistas y deportistas que frecuentan los refugios del Chimborazo, para lo cual se ha decidido implementar un sistema de climatización que se convierta en una prioridad, debido a las condiciones climáticas que se tiene en las faldas del volcán Chimborazo, por su altitud y situación geográfica, posee

bajas temperaturas inferiores a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y con una humedad relativa promedio del 60%.

Se analizaron dos sistemas de calefacción, por radiadores y por suelo radiante, y se conoce que el sistema de calefacción por suelo radiante es el más óptimo para el lugar, debido a sus beneficios, consumo energético, mantenimiento en las instalaciones y, menor impacto en el ambiente.

El estudio desarrollado para el presente proyecto involucra el cálculo de las cargas térmicas de calefacción, tomando en cuenta todos los aspectos que intervienen en las pérdidas de calor.

Posteriormente se indican todos los equipos con la capacidad necesaria para obtener un ambiente de comodidad, así como también el dimensionamiento y selección de los ductos de conducción, la cantidad de material e insumos para su instalación, la longitud de ductos de los circuitos calefactores y otros componentes.

2.2 Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado

Un sistema de calefacción solar tiene como objetivo aprovechar la energía proveniente del sol para elevar la temperatura de un objeto determinado.

2.2.1 La Energía Solar.

La energía proveniente del Sol es generada por las constantes reacciones nucleares de fusión que se originan en el astro. El tamaño del Sol es de 1.39×10^9 metros y se encuentra a una distancia promedio de 1.5×10^{11} metros de la tierra. A pesar de esta gran distancia el Sol nos proporciona una gran cantidad de energía producto de las reacciones, una gran cantidad de energía

es irradiada y transportada en forma de partículas electromagnéticas llamadas fotones.

La constante solar, G_{SC} , se define como el valor de la energía disponible por unidad de tiempo y área sobre una superficie perpendicular en las afueras de la atmósfera, calculada a la distancia media entre el sol y la tierra. Su valor medio constante es de $1,353 \text{ W/m}^2$, este valor varía con la distancia entre el sol y la superficie receptora; dicha distancia es ampliamente modificada por la órbita elíptica de la tierra, lo cual genera que la constante fluctúe entre $1,308$ y $1,395 \text{ W/m}^2$ aproximadamente. Dependiendo del día del año (n) la radiación solar directa disponible extraterrestre variará de acuerdo a las siguientes fórmulas: (ITESO Febrero de 1995).

$$G_{on} = G_{SC} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (2.2.1. a)$$

$$G_{on} = G_{SC} \left(\begin{matrix} 1000110 + 0.034221 \cos B + 0.001280B \\ + 0.000719 \cos 2B + 0.000077 \sin 2B \end{matrix} \right) \quad (2.2.1. b)$$

Donde:

G_{SC} : Constante solar, su valor medio es de $1,353 \text{ W/m}^2$ o $4.93 \text{ MJ/m}^2\text{h}$.

G_{on} : Irradiación extraterrestre para el enésimo día del año, sobre el plano normal a la irradiación solar [W/m^2].

n : Enésimo día del año.

Asimismo B está dado en función del enésimo día del año por la fórmula.

$$B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (2.2.2)$$

Radiación e Irradiación

Los términos radiación e irradiación corresponden al cuerpo que radia la energía y al cuerpo expuesto respectivamente; ambos corresponden a la energía electromagnética que radia de un cuerpo. Es común que se utilice el término radiación para referirse a la irradiación y viceversa. A continuación, se definen los términos considerando la referencia en la tierra.

Irradiación Solar Directa

Es aquella radiación proveniente del sol que llega a la tierra sin presentar cambios en su dirección.

Irradiación solar difusa

Radiación solar recibida que presenta cambios en su dirección original, principalmente se trata de radiación reflejada por la atmósfera o cuerpos de nubes.

Irradiancia

Corresponde a la potencia solar recibida por una superficie por unidad de área.

2.2.2 Ángulos importantes en energía solar.

Un captador de energía solar puede ocupar cualquier posición sobre la superficie terrestre. Por lo que se muestran los diferentes ángulos para nuestro diseño. (Beckamn 2013).

Latitud de la ubicación geográfica, ϕ

Ángulo utilizado como referencia geográfica que indica la posición relativa en los hemisferios norte y sur con relación al ecuador, varía entre -90° y 90° correspondiendo los valores positivos al norte.

Declinación solar, δ

Ángulo que se genera entre la ubicación del sol y el plano del ecuador al medio día, varía entre -23.45° y 23.45° , siendo el norte positivo. Es importante mencionar que para ubicaciones tropicales cuando la latitud y la declinación tienen el mismo valor, la radiación solar incide perpendicularmente a la superficie terrestre.

Ángulo horario ω

Ángulo que corresponde al desplazamiento relativo entre el sol y la tierra por la rotación de esta última. Se considera una desviación de 15° por hora en relación al medio día solar, se otorga valores negativos a las horas de la mañana.

Inclinación de la superficie, β

Corresponde al ángulo entre el plano correspondiente a la superficie en análisis y la horizontal, técnicamente puede variar entre 0 y 180 grados,

considerando que para inclinaciones mayores a 90° la superficie se encuentra orientada hacia el suelo.

Azimut solar γ_s

Es el ángulo que se mide sobre la proyección de la posición del sol en el plano horizontal desde la línea correspondiente al sur de valor 0 con el este negativo dentro del rango de -180 a 180 grados.

Azimut de la superficie γ

Orientación de la superficie respecto de la línea correspondiente al sur de valor 0 con el este negativo dentro del rango de -180 a 180 grados.

Zenith solar θ_z

Corresponde al ángulo que se genera entre la línea vertical y la línea al sol, es equivalente al ángulo de incidencia de una superficie plana.

Ángulo de incidencia θ

Es aquel ángulo que se genera entre la dirección de la radiación solar directa y la normal a la superficie.

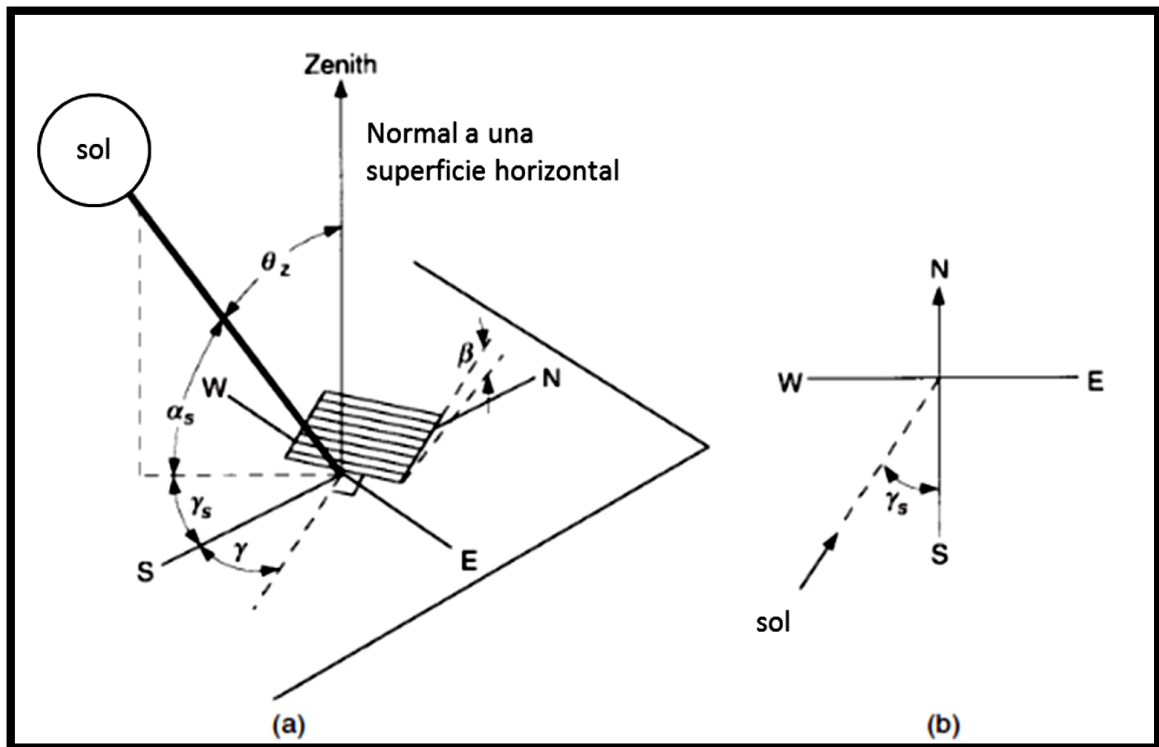


figura 5.- Adaptación Solar. / Fuente: *Engineering Thermal Processes* (Duffie y Beckman 2013).

2.2.3 Longitudes de onda y sus características principales.

Las diferentes radiaciones solares dan origen al espectro solar, el cual es distribuido según la longitud de onda, 47% radiación visible, 46% radiación infrarroja y 7% radiación ultravioleta. Estas longitudes de ondas son sumamente importantes debido a sus características. En el caso de los materiales transparentes estos dejarán atravesar una gran parte de la irradiación recibida, mientras que, la radiación proveniente del interior del colector no podrá atravesar al objeto transparente por tener una longitud de onda larga. Al no poder escapar del sistema la energía será absorbida por el mismo, con lo cual la energía será aprovechada por nuestro sistema. (ITESO Febrero de 1995).

Tabla 2.- Resumen espectro electromagnético vs. Longitud de onda y energía disponible.

| Parámetros | Visible | Infrarroja | Ultravioleta |
|-------------------|----------------|-------------------|---------------------|
| Long. Onda (mm) | <0.38 | 0.38-0.78 | >0.78 |
| W/m^2 | 640 | 618 | 95 |
| % de energía | 47 | 46 | 7 |

Fuente: ITESO Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente - 1995.

El comportamiento diferenciado para las diversas longitudes de onda permite elevar la temperatura de un sistema, puesto que, se conoce que los materiales transparentes permiten el ingreso de determinadas longitudes, pero al entrar en contacto la radiación con un cuerpo dentro del sistema este cuerpo reflejará la radiación en una longitud de onda diferente, generando que el cristal se comporte como un material opaco para la nueva longitud y que la energía se mantenga dentro del sistema.

Para poder aprovechar la energía solar recibida por un cuerpo es necesario conocer algunos fundamentos básicos de la transferencia de calor.

2.2.4 Mecanismos de transferencia de calor.

La transferencia de calor se puede producir mediante tres mecanismos, los cuales presentan características únicas, pueden ser aprovechadas a nuestro favor y otras que deben ser previstas para garantizar el correcto funcionamiento de nuestros sistemas. (ITESO Febrero de 1995).

Conducción

Es el mecanismo de transferencia de calor en escala atómica que se produce por la actividad molecular de la materia. Debido al movimiento molecular se generan choques entre las moléculas produciéndose una transferencia de energía de las moléculas más energéticas a las menos energéticas, produciéndose así, un flujo de calor de las temperaturas más elevadas (mayor movimiento molecular) a las más bajas. La fórmula para determinar el flujo de calor por conducción es:

$$q_{cond} = \frac{Q_{cond}}{A_s} = \frac{K(T_2 - T_1)}{L} \quad (2.2.4.1)$$

Donde

q_{cond} : Flujo de calor por conducción por unidad de área [W/m^2].

Q_{cond} : Calor transmitido por conducción [W].

A_s : Área de la superficie en m^2 .

K : Conductividad térmica del material [W/mK].

T_1 : Temperatura de la superficie en el punto 1 [K].

T_2 : Temperatura de la superficie en el punto 2 [K].

L : Longitud por la cual se genera la transferencia de calor [m].

Convección

Se producen por medio de un fluido que puede encontrarse en estado gaseoso o líquido. La transferencia de calor por convección puede describirse como la transferencia de energía que ocurre dentro de un fluido debido a la combinación de los efectos de la conducción y el movimiento global del fluido. Generalmente

se consideran los intercambios de energía sensible es decir no existe cambio de fase en la materia sin embargo existen casos donde se produce el cambio de fase por lo que en esos casos deberá considerarse las particularidades adicionales que se presentan. La fórmula para determinar el flujo de calor de convección es:

$$q_{conv} = \frac{Q_{conv}}{A_s} = h_{conv}(T_s - T_{\infty}) \quad (2.2.4.2)$$

Donde

q_{conv} : Flujo de calor por convección por unidad de área [W/m^2].

Q_{conv} : Calor transmitido por convección [W].

A_s : Área de la superficie en m^2 .

h_{conv} : Coeficiente de convección [W/mK].

T_s : Temperatura de la superficie [K].

T_{∞} : Temperatura infinita del fluido [K].

A continuación, presentamos una tabla de valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección.

Tabla 3.- Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección.

| Proceso | $h_{conv} [W/m^2 K]$ |
|-------------------------------|----------------------|
| Convección libre | |
| Gases | 2 - 25 |
| Líquidos | 50 - 1,000 |
| Convección Forzada | |
| Gases | 25 - 250 |
| Líquidos | 50 - 20,000 |
| Convección con cambio de fase | |
| Ebullición o condensación | 2,500 – 100,000 |

Fuente: ITESO Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente - 1995.

Radiación térmica

La radiación corresponde a la energía que es emitida por la materia al encontrarse a una temperatura finita determinada. Esta energía es transportada por ondas electromagnéticas, por lo que, a diferencia de los procesos de conducción y convección no requiere un medio material para realizar la transferencia. En ese sentido es que la radiación ocurre de manera más eficiente en el vacío. A continuación, se presentarán algunos conceptos básicos relacionados a la radiación térmica, ya que, serán necesarios para el desarrollo de los cálculos.

Emisividad

Es una propiedad radiativa de las superficies cuyos valores se encuentran en el rango de $0 \leq \varepsilon \leq 1$, debido a que, su valor es en referencia a la emisividad de un cuerpo negro a la misma temperatura que toma el valor de 1. La potencia emisiva de un material es:

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (2.2.4.3)$$

Donde

E : Potencia emisiva de la superficie [W/m^2].

ε : Emisividad de la superficie [Adimensional].

σ : Constante de (Stefan-Boltzmann s.f.) cuyo valor es $5.67 \times 10^{-8} [W/m^2 K^4]$.

T_s : Temperatura de la superficie [K].

Absorción, reflexión y transmisión en superficies

Es importante considerar que en los procesos de radiación térmica de los sistemas que aprovechan el recurso solar, se producen simultáneamente procesos de absorción, reflexión y transmisión como se muestra en la figura.

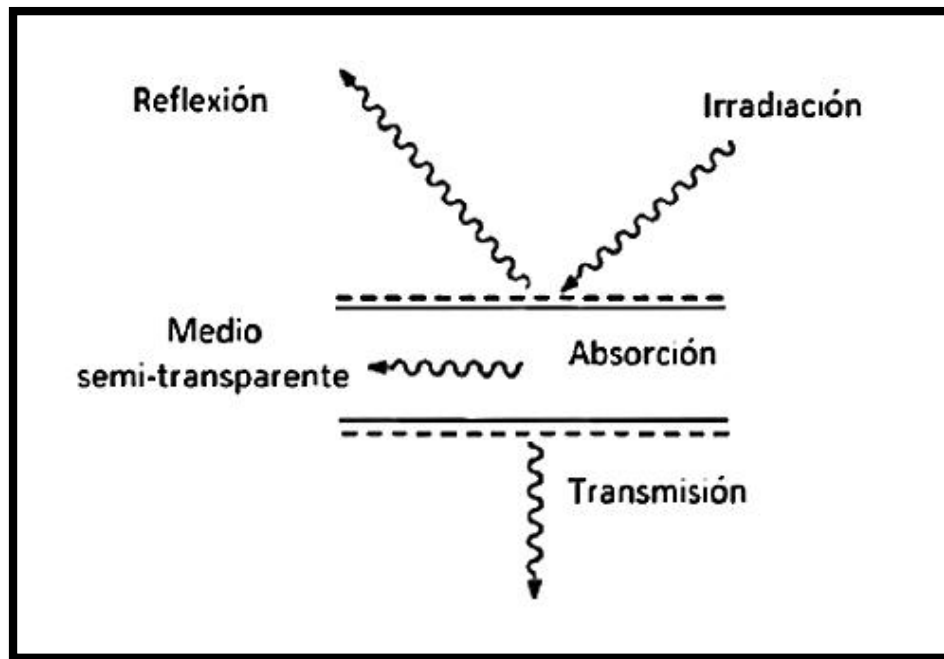


figura 6.- Reflexión, absorción y transmisión adaptación de Fundamentos de transferencia de calor. / Fuente: (FRANK P. INCROPERA 1996).

Absortividad

Propiedad radiativa de las superficies, cuyos valores se encuentran en el rango de $0 \leq \alpha \leq 1$, debido a que, su valor nos indica la proporción de irradiación absorbida por la superficie en relación a la irradiación recibida.

Reflectividad

Propiedad que determina la fracción de la irradiación reflejada en relación a la irradiación recibida por una superficie, el rango de valores que recibe es $0 \leq \rho \leq 1$.

Transmisividad

Propiedad que determina la fracción de irradiación transmitida por un medio y la irradiación recibida por una superficie, el rango de valores que recibe es $0 \leq \tau \leq 1$.

La conservación de la energía para un volumen de control

La ley de la conservación de la energía, indica que, la misma no se crea ni se destruye, únicamente se transforma en otros tipos de energía. Para lo cual, si lo aplicamos a un volumen de control tendremos la siguiente afirmación, la suma de la energía que ingresa (térmica y mecánica) al volumen de control y la energía que se genere dentro del sistema, menos la suma de la energía que sale del volumen de control será igual al incremento de energía almacenada en el sistema. (FRANK P. INCROPERA 1996).

$$E_{ing} + E_g - E_{sal} = \Delta E_{alm} \quad (2.2.4.4)$$

Donde

E_{ing} : Energía que ingresa al sistema [kWh].

E_g : Energía que se genera en el sistema [kWh].

E_{sal} : Energía que sale del sistema [kWh].

ΔE_{alm} : Variación en la energía almacenada en el sistema [kWh].

En la aplicación de un sistema de calefacción en el cual no existe generación interna de energía, es decir $E_g = 0$, tendremos la siguiente ecuación general.

$$E_{solar} - E_{perd} = E_{util} \quad (2.2.4.5)$$

Donde

E_{solar} : Energía solar disponible [kWh].

E_{perd} : Energía pérdida por el sistema [kWh].

E_{util} : Energía útil o aprovechada por el sistema [kWh].

2.2.5 Confort térmico.

Se define como confort térmico, al estado en que los individuos no experimentan sensación de frío ni calor, es decir, un ambiente agradable desde el punto de vista térmico. El análisis del confort térmico es muy complejo debido a tratarse de una sensación de los individuos, sin embargo, el confort térmico tiene la característica de presentarse en los momentos en los cuales la temperatura corporal varía dentro de un pequeño intervalo y la humedad en la piel es baja. (HIGIENE 1983)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y Diseño de investigación

Puesto que el objetivo principal de la investigación es establecer y analizar las relaciones causa–efecto entre las variables “Sistema de Calefacción Solar - Energía no Convencional”, “Incomodidad de los pacientes por falta de Confort Térmico” y “Posta de Saul - Bella Andina”, entonces, el tipo de investigación que se desarrolló es de carácter ANALÍTICO EXPLICATIVO, y se consideró los siguientes niveles: descriptivo, explicativo y correlacional.

Como parte del pensamiento volutivo se utiliza el método científico como procedimiento para la investigación y así descubrir las formas de existencia de procesos objetivos, desentrañar sus conexiones internas y externas, para generalizar y profundizar los conocimientos que den como resultados del proceso.

3.2 Población y Muestra

La población de Bella Andina se caracteriza por ser emprendedora, busca ser una comunidad líder y pionera a nivel de las comunidades alto andinas, para lograr esto, ellos se encuentran en la búsqueda de tecnologías apropiadas para su desarrollo económico y social.

La cantidad de habitantes de Bella Andina es alrededor de 1,000 personas, un promedio de 155 viviendas, siendo bastante equitativa la distribución de

género de la misma, aproximadamente 50.08 % son hombres y el 49.92 % son mujeres. (INEI 2002-2007).

3.3 Hipótesis

El Diseño de un Sistema de Calefacción Solar generará un ambiente más agradable para los usuarios de la posta de salud y evitará la incomodidad de los pacientes al establecimiento, para sostener la atención y un tratamiento médico adecuado.

3.4 Variables – Operacionalización

Tabla 4.- Definición de Variables.

| TIPO DE VARIABLE | Variable Independiente | Variable Dependiente | Variable de Localización |
|---------------------|--|---|---|
| DEFINICION | Sistema de Calefacción Solar - Energía no Convencional | Incomodidad de los pacientes por falta de Confort Térmico | Posta de Salud - Bella Andina |
| TECNICA | <ul style="list-style-type: none"> • Observación • Resumen • Encuesta | <ul style="list-style-type: none"> • Observación • Encuesta | <ul style="list-style-type: none"> • Observación |
| INSTRUMENTOS | <ul style="list-style-type: none"> • Guía de Observación • Fichaje • Cuestionario • Test | <ul style="list-style-type: none"> • Guía de Observación • Cuestionario • Test | <ul style="list-style-type: none"> • Guía de Observación |
| INDICADORES | <ul style="list-style-type: none"> • Potencia • Eficiencia • Costos Fijos • Costos Variables • Tecnología | <ul style="list-style-type: none"> • Mortalidad • Enfermedades • Limitaciones | <ul style="list-style-type: none"> • Ubicación • Acceso • Tamaño |

Datos obtenidos de la zona. / Fuente: Elaboración propia).

3.5 Análisis Estadístico e interpretación de los datos

En la actualidad, existen diferentes sistemas que aprovechan la energía solar, la mayoría de estos sistemas se utilizan para el aumento en la temperatura del agua sanitaria de las residencias, algunas tecnologías cuentan con aporte de la

energía térmica solar para la calefacción de las habitaciones, sin embargo, esta aplicación se restringe a sistemas complementarios a un sistema de calefacción principal por lo general a gas o electricidad. Asimismo, en la actualidad se ha generado una tendencia al uso de sistemas similares a los de agua sanitaria para el calentamiento del aire en las habitaciones, sin embargo, la tecnología existente no ha logrado generar su uso de manera habitual en nuestro país. Es por esta razón que se estudiarán los diferentes sistemas existentes con la finalidad de poder idear un sistema más acorde a las necesidades, capacidades y costumbres peruanas.

En las regiones alto andinas se vienen utilizando sistemas de calefacción solar del tipo muro trombe, los cuales pueden llegar a ser muy eficientes si se realiza un correcto diseño y una instalación apropiada, sin embargo, la instalación de un muro trombe para los pobladores de la zona alto andina es percibida como una instalación de alta complejidad debido a las modificaciones a realizar en las construcciones. Asimismo, este tipo de instalaciones requiere de una orientación especial de la edificación por lo que su adaptación en edificaciones ya construidos puede ser compleja o inviable.

Como una primera distinción de los diferentes sistemas de captación, estos se pueden clasificar en sistemas pasivos y sistemas activos.

Sistemas pasivos

Los sistemas pasivos se basan en las propiedades termodinámicas de los fluidos para concebir el movimiento de los fluidos, lo cual, les otorga una

independencia energética considerable para aplicaciones en las cuales diferentes formas de energía son escasas. Por ejemplo, debido a la dispersión de la población rural en el Perú, existen muchos pobladores que no cuentan con energía eléctrica disponible.

Sistemas activos

Los sistemas activos requieren que los fluidos sean movilizados por diferentes equipos, en caso de trabajar con líquidos se utilizarán bombas y en el caso de trabajar con aire se utilizarán ventiladores. Debido a la necesidad de equipos para el movimiento de los fluidos, estos sistemas no cuentan con una independencia energética.

En la actualidad, los sistemas de calefacción mediante el aprovechamiento de la energía solar cuentan con los siguientes subsistemas:

Subsistema de captación.

Subsistema de acumulación.

Subsistema de control.

Subsistema de distribución.

3.5.1 Subsistema de captación.

Es el elemento principal de la instalación, debido a que es el captador de la energía proveniente del sol, su funcionamiento se basa en el principio del efecto invernadero. (Beckman (1980)).

3.5.1.1 Componentes de un sistema de captación.

Los sistemas de captación suelen presentar una serie de componentes principales, los cuales procedemos a describir.

Cubierta

Elemento que permite el ingreso de la radiación solar al sistema y que genera el efecto invernadero. La cubierta deberá estar hecha de un material transparente, que permita el ingreso de energía y además que contribuya con la generación del efecto invernadero; al estar expuesta a constantes cambios de temperatura deberá ser resistente a los mismos, así como, presentar una dilatación razonable. Usualmente se utiliza el vidrio templado como cubierta debido a que, reúne las características detalladas anteriormente; sin embargo, existen factores climáticos y sociales a considerar en la elección de los materiales.



Figura 7.- Cubiertas de vidrio templado. / Fuente: (RIVAS 2017).

Tabla 5.- Propiedades básicas de las cubiertas.

| Material | Vidrio templado | Polycarbonato | Polimetacrilato |
|-----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| Temperatura máxima °C | 200 | 130 | 103 |
| Dilatación K^{-1} | 9×10^{-6} | 6.8×10^{-5} | 8×10^{-5} |
| Transmisividad | 0.83 | 0.87 | 0.92 |
| Índice refractario | 1.52 | 1.585 | 1.49 |
| Vida útil | <100 | 6 | 10 |

Fuente:(VITROMART 2012).

Superficie de absorción

Una de sus principales funciones es el de absorber la radiación solar y entregarla al fluido caloportador para su utilización. A continuación, se describen algunos tipos de superficies absorbedoras.

La placa absorbedora, deberá ser de color negro mate, para así, maximizar el aprovechamiento de la radiación. En la actualidad, los principales materiales para la construcción de placa de absorción son el cobre, aluminio, hierro o materiales plásticos. El costo de los mismos obedece al orden de presentación, comúnmente se utilizan dos métodos de transferencia de calor de la placa de absorción al fluido caloportador; el primero consiste, en un flujo tipo serpentín del fluido para recoger el calor; el segundo, en caminos paralelos para el tránsito del fluido.

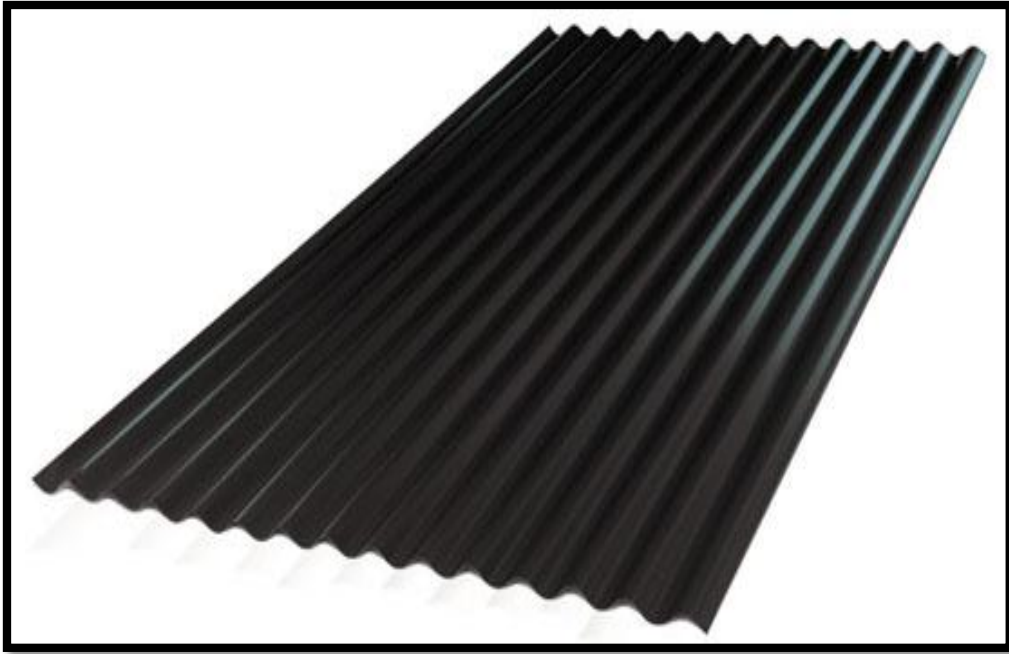


Figura 8.- Placa Colectora – Calamina Convencional. / Fuente: (RIVAS 2017).

Carcasa

Componente que alberga y sostiene el sistema, por lo general se fabrica de madera, fibra de vidrio o metales tales como el aluminio y el hierro. Al momento de la construcción de la carcasa se debe de tomar las precauciones necesarias para que ninguna parte de la placa absorbidora quede expuesta al medio ambiente, debido a que esto causaría grandes fugas de calor. Asimismo, la carcasa deberá contemplar que la misma se encontrará a la intemperie, por lo que, se deberá prever su interacción con las condiciones climáticas de la zona.

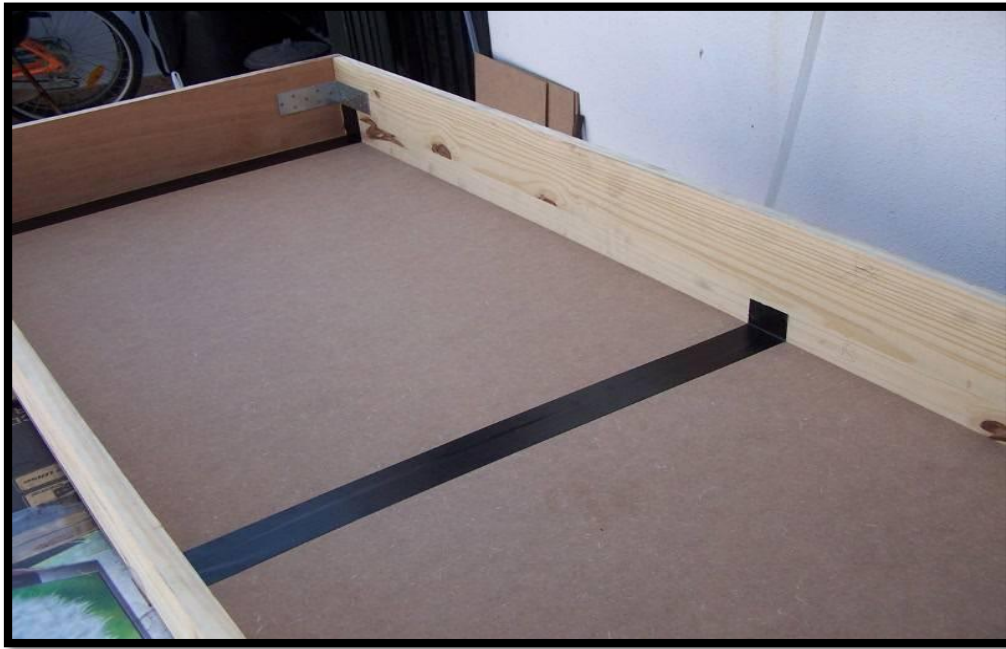


Figura 9.- Carcasa de Madera -Juntas de Aluminio. / Fuente: (Energética vol.36 no.3 La Habana set.-dic. 2015).

Aislante

Para lograr una mayor eficiencia el sistema se deberá mantener lo mejor aislado térmicamente posible del medio ambiente, esto con el fin de minimizar las pérdidas por transferencia de calor al exterior. Los aislantes comúnmente utilizados son la lana de vidrio, el poliestireno, la fibra de vidrio, etc., estos son colocados en la parte inferior del sistema de manera obligatoria y en algunas aplicaciones en las paredes laterales, esto último suele ser prescindible, debido a que, el área lateral suele ser pequeña.



Figura 10.- Aislante-Poliestireno. / Fuente: (Energética vol.36 no.3 La Habana set.-dic. 2015).

3.5.1.2 Principales tipos de subsistemas de captación.

Actualmente los tipos más comunes para la captación de la energía solar térmica son los concentradores y colectores. En la presente nos interesa profundizar en los sistemas de colectores puesto que las temperaturas requeridas son alcanzadas por estos métodos mientras que la aplicación de concentradores se utiliza para altas temperaturas.

Colector solar de placa plana con agua

Son los de mayor uso en la actualidad, la energía solar es absorbida por la placa absorbidora para ser transferida al fluido caloportador. El método de transferencia de la energía al fluido puede ser de diferentes maneras, ya que, las tuberías por donde circula el agua pueden ser soldadas a la placa de manera

tangencial, diametral, etc., asimismo, el método de circulación del agua puede ser del tipo serpentín o en tubos paralelos.

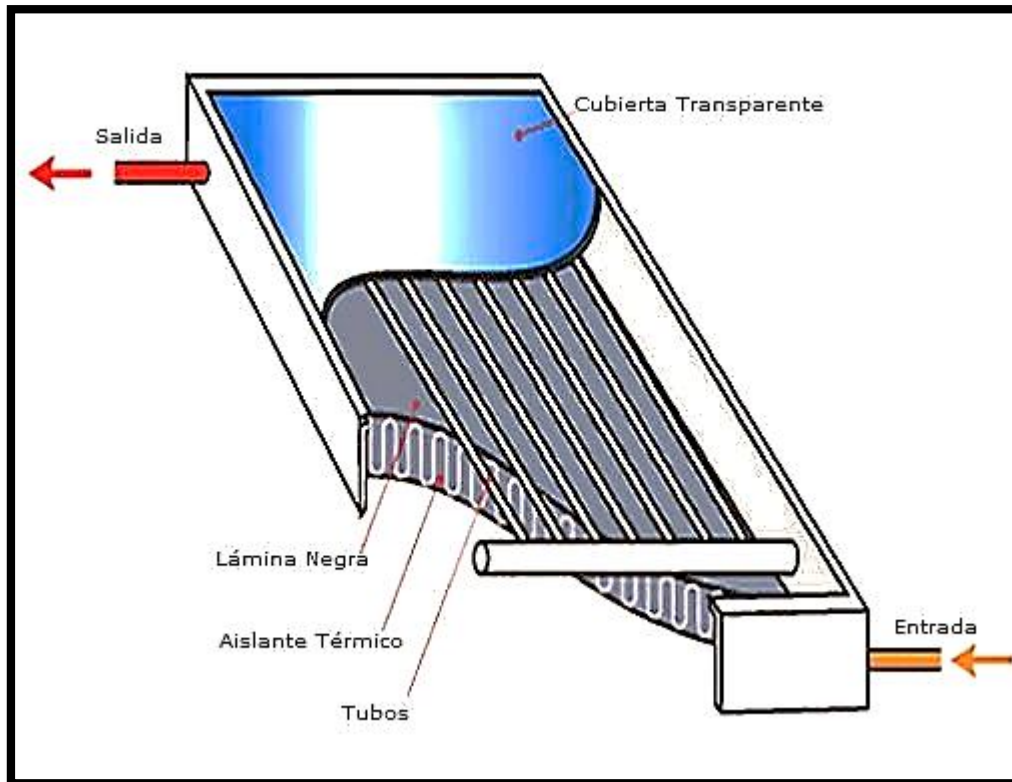


Figura 11.-Colector solar de placa plana con agua. / Fuente: (Energética vol.36 no.3 La Habana set.-dic. 2015).

Colector solar de placa plana con aire

El fluido caloportador de energía es el aire, el mismo que suele ser propulsado por un ventilador. La aplicación de este tipo de colectores suele utilizarse de la siguiente manera: la energía solar incidente atraviesa una o varias capas de material transparente, antes de alcanzar a la placa de absorción, donde la energía radiante es convertida en calor; este es transferido por convección natural al flujo de trabajo, en este caso que es el aire para luego ser utilizado en cualquier proceso industrial o doméstico.

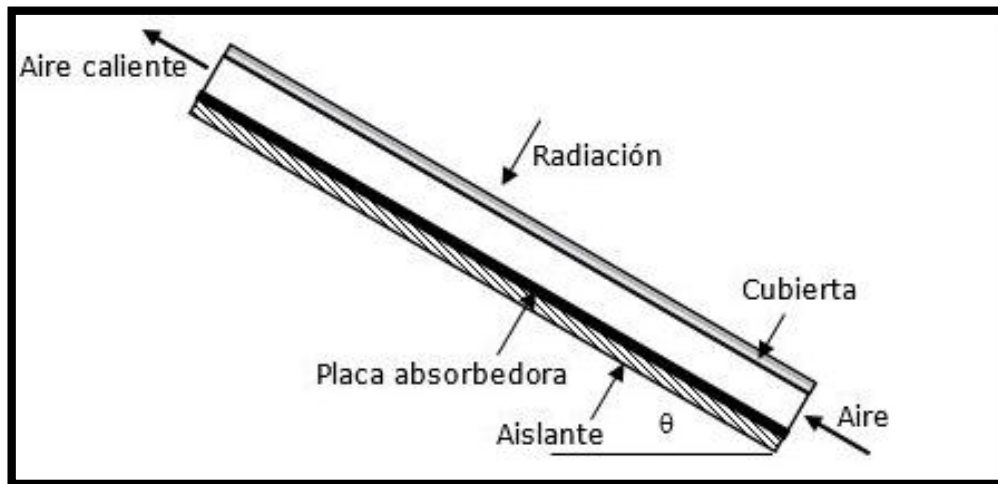


Figura 12.- Colector solar de placa plana con aire. / Fuente: (Energética vol.36 no.3 La Habana set.-dic. 2015).

3.5.2 Subsistema de acumulación.

Al aprovecharse una energía disponible de manera interrumpida aparece la necesidad de poder acumular energía para su disposición en momento donde la radiación solar no es aprovechable. Existen diferentes mecanismos de acumulación de calor los cuales aprovechan las características de los materiales y las propiedades de diferentes materiales para la acumulación de energía, para ser liberada durante la ausencia solar. Existen aplicaciones como la terma solar donde el agua sanitaria a utilizarse es calentada durante la presencia de radiación y debido a las características del tanque de acumulación y las propiedades del agua se logra mantener la temperatura adecuada por un intervalo de tiempo razonable. Existen otros mecanismos de acumulación tales como los lechos de piedras en los cuales se aprovecha la energía solar para elevar la temperatura de las piedras de manera que durante los periodos de ausencia solar las piedras liberan la energía almacenada durante el día, para luego, ser transportada por el fluido caloportador hacia su aplicación final.

Para nuestro sistema se ha estimado de forma complementaria el acumulador de lecho de piedras, que está compuesto por un contenedor en forma de jaula con malla romboidal en sus lados, de 1,5 m por 1,5 m de ancho por 1 m de altura. Dentro de la jaula se colocan las piedras y en la parte superior se coloca un plástico y una capa de 0,05 m de aserrín para evitar la salida de aire. El fluido atraviesa el lecho de piedra y regresa a través del ducto que queda formado por la abertura de los dos módulos.

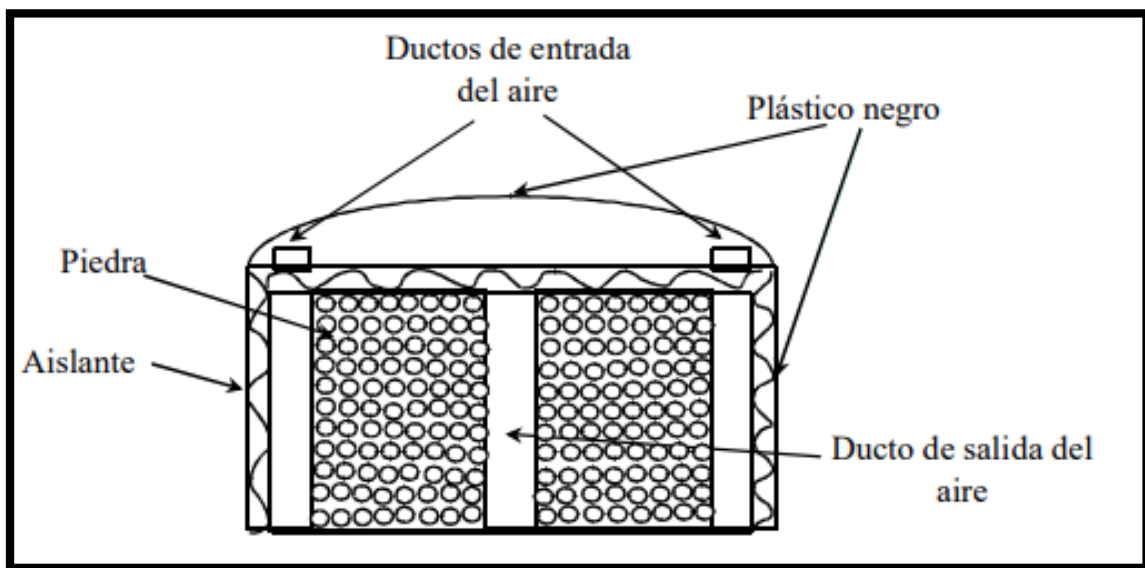


Figura 13.- Sistema de acumulador de calor (lecho de piedras). / Fuente: (S. Bistoni 1979).

Es claro que la carga de un acumulador de lecho de piedra con un sistema de calentamiento solar, como es en este sistema, no opera con valores constantes de temperatura de entrada porque existen variaciones de la radiación solar y de la temperatura ambiente.

Debido a estudios y pruebas realizadas por S. Bistoni, A. Iriarte y Academic Press. (1979); un lecho de piedra acumula una cantidad de calor debido a algunas características necesarias para determinar el tiempo promedio:

El volumen total de la estructura del acumulador, el calor necesario que brinda el sistema y el calor requerido (S. Bistoni 1979).

Lo cual nos brinda los siguientes resultados:

Tabla 6.- Funciones de acumuladores de calor a diferentes volúmenes.

| Volumen del lecho de piedra | potencia útil del sistema | potencia requerida | Tiempo de acumulación |
|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 0.125 m ³ | 500 W | 300 W | 1 h |
| 0.5 m ³ | 500 W | 300 W | 1.5 h |
| 1 m ³ | 1000 W | 900 W | 1.25 h |
| 1.5 m ³ | 3000 W | 2500 W | 4 h |
| 4.5 m ³ | 9000 W | 8000 W | 7 h |
| 9 m ³ | 12000 W | 9500 W | 10 h |
| 15 m ³ | 18000 W | 15500 W | 10.05 h |

Fuente: S. Bistoni, A. Iriarte y Academic Press. (1979).

El volumen estimado en nuestro diseño es de 2.25 m³ lo cual, para saber el tiempo promedio de acumulación, tendremos que conocer el calor brindado por nuestro sistema y el calor requerido; datos que se detallan en los siguientes capítulos.

3.5.3 Subsistema de control.

En algunas aplicaciones es necesaria la presencia de un sistema de control, ya sea, para controlar la temperatura de los fluidos, así como, el funcionamiento

de ventiladores o bombas utilizadas para el desplazamiento del fluido; particularmente en nuestro diseño se emplearán rejillas regulables de forma manual.

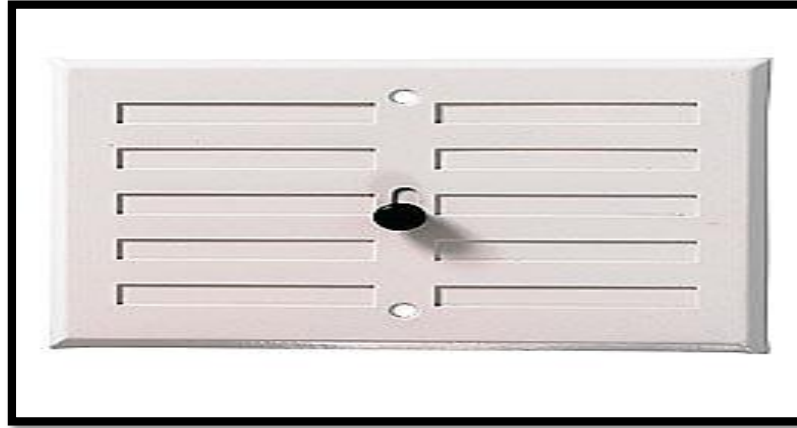


Figura 14.- Rejilla regulable de forma manual. / Fuente: ALG Sistemas.

3.5.4 Subsistema de distribución.

Al tener un fluido que en este caso es el aire y se quiere dar un uso determinado, de cualquier forma, tiene que ser transportado; para nuestro sistema se estima un ducto de aire caliente (CLIMAVÉR A2 deco).

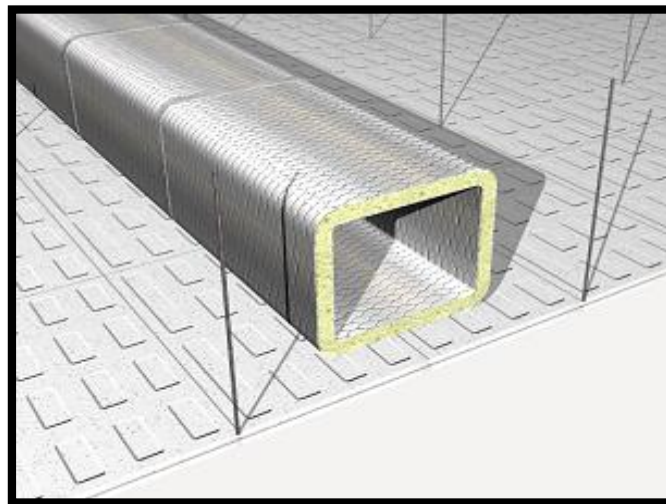


Figura 15.- Ducto de aire caliente. / Fuente: (DECO 2014).

CAPITULO IV

DISEÑO Y CÁLCULOS

En el presente capítulo se procederán a plantear los requerimientos del proyecto para así poder encontrar la solución óptima al mismo mediante cálculos que nos permitirán elaborar los planos que definan el sistema. Es importante mencionar que al tratarse de un sistema de aprovechamiento solar existirán medidas que afectarán la eficiencia del colector, estas medidas serán identificadas como medidas críticas.

4.1 Lista de exigencias

En concordancia con el objetivo principal de la tesis de eliminar la falta de confort térmico de la posta de salud de Bella Andina, es que, nos permitimos expandir los alcances de la presente a las viviendas de los pobladores de las regiones alto andina, ya que, consideramos que de diseñarse el sistema únicamente para la posta de salud la frecuencia de aprovechamiento de la población objetivo es reducida en comparación con un diseño replicable para implementarse en sus hogares. Es por esta razón, que se extienden las exigencias del sistema para que los pobladores de dicha región puedan obtenerlos, instalarlos y realizar el mantenimiento correspondiente.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto se identifican todas las exigencias que el diseño debe contemplar para considerarse un diseño óptimo.

Tabla 7.- Lista de Exigencias del Proyecto.

| SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR PARA LA POSTA DE SALUD DE BELLA ANDINA | | |
|--|---|---|
| EXIGENCIAS | | |
| N° | DENOMINACIONES | DESCRIPCIÓN |
| 01 | Diseño de un sistema de calefacción solar para la posta de salud de Bella Andina. | El dimensionamiento del sistema deberá incrementar la temperatura de la habitación a una temperatura confortable. |
| 02 | Capacidad | El sistema deberá elevar la temperatura del fluido acorde a la carga térmica requerida, lo cual es superior a la temperatura estable. |
| 03 | Sistema Económico | El sistema deberá ser lo más económico y técnico posible. |
| 04 | Instalación. | El sistema deberá poder ser instalado por los pobladores de la región. |
| 05 | Mantenimiento 01 | El mantenimiento deberá ser simple para poder ser realizado por los pobladores. |
| 06 | Mantenimiento 02 | Los componentes que puedan sufrir fallas prematuras deberán de ser accesibles en la región. |
| 07 | Vida útil | Se utilizarán materiales con una vida útil no menor a 05 años. |
| 08 | Parámetros de selección | Se desarrollará un proceso de selección de sistemas para diferentes habitaciones y ubicaciones geográficas similares. |
| 09 | Versatilidad | El sistema deberá ser versátil para permitir la respectiva instalación bajo diferentes condiciones. |
| 10 | Estética | Deberá mantener una estética acorde con la zona geográfica y población objetivo. |

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los requerimientos planteados se procede a elaborar la estructura de funciones del proyecto.

4.2 Determinación de la carga térmica de la habitación

Carga Térmica

Método para el cálculo de la carga térmica de diseño según el apartado 9 (método simplificado) de la norma UNE-EN 12831: 2003.

- Carga Térmica de Diseño.

La carga térmica de diseño (Q_{HL}) se obtiene con la suma de:

$$Q_{HL} = Q_T + Q_V + Q_{RH}$$

Donde:

Q_T : Pérdida térmica por transmisión a través de cerramientos.

Q_V : Pérdida térmica por ventilación o infiltración de aire.

Q_{RH} : Capacidad de calentamiento del local.

Todos los valores se expresan en vatios [w].

- La Pérdida Térmica por Transmisión.

(Q_T) La pérdida térmica por transmisión se calcula para cada cerramiento en función de:

$$Q_T = f \times A \times U \times (T_{int} - T_e)$$

Donde:

f : Factor de corrección de la temperatura (Caudal mínimo de ventilación

A : Superficie del cerramiento atravesado por el flujo de calor [m^2].

U : Transmitancia térmica, según apéndice E del DB HS 1 [$W/(m^2 \cdot K)$].

T_{int} : Temperatura interior del local [$^{\circ}C$].

T_e : T_e : Temperatura exterior de cálculo (norma de prestigio) [$^{\circ}C$].

- El factor (f) de corrección de temperaturas es adimensional y según (Tabla D.11 UNE-EN 12831).

| | | | |
|--|---|-------|---|
| Factor f de corrección de temperaturas según la norma UNE-EN 12831 | Tabla D.11 Factor de corrección de la temperatura, f_k , por el método de cálculo simplificado | | |
| | Pérdida térmica: | f_k | Observaciones |
| | directamente al exterior | 1,00 | si los puentes térmicos están aislados |
| | | 1,40 | si los puentes térmicos no están aislados |
| | | 1,00 | para ventanas, puertas |
| | hacia un espacio no calentado | 0,80 | si los puentes térmicos están aislados |
| | | 1,12 | si los puentes térmicos no están aislados |
| | hacia el terreno | 0,3 | si los puentes térmicos están aislados |
| | | 0,42 | si los puentes térmicos no están aislados |
| | hacia el espacio del tejado | 0,90 | si los puentes térmicos están aislados |
| | | 1,26 | si los puentes térmicos no están aislados |
| | suelo suspendido | 0,90 | si los puentes térmicos están aislados |
| | | 1,26 | si los puentes térmicos no están aislados |
| | hacia un edificio adyacente | 0,50 | si los puentes térmicos están aislados |
| | | 0,70 | si los puentes térmicos no están aislados |
| | hacia un edificio colectivo adyacente | 0,30 | si los puentes térmicos están aislados |
| | | 0,42 | si los puentes térmicos no están aislados |

Figura 16.- Factor de corrección de temperatura. / Fuente:(Norma D.11 UNE-EN 12831).

Por lo tanto, enfocándose para puertas y ventanas es: $f = 1,00$.

- (A) El área se calcula para cada cerramiento:

Puerta principal: $(2m \times 2m) = 4 m^2$.

Puertas interiores: $(1m \times 2m) \times 4 = 8m^2$.

Puertas de baños: $(0.75m \times 2m) \times 2 = 3 m^2$.

Ventana de mayor área: $(1.25m \times 2m) = 2.5 m^2$.

Ventanas pequeñas: $(1.5m \times 0.5m) \times 4 = 3 m^2$.

Por lo tanto, el área total es: $A = 20.5 m^2$.

- (U) Coeficiente de conductividad térmica: 0,029 - 0,046 $W/m^2.K$ (Poliestireno expandido). (AIPEX 2011).
- La temperatura interior que se requiere es de 18 a 22 °C. (ASHRAE 2008).

$$Q_T = 1 \times 20.5 \times 0.04 \times (22 - 9.85)$$

$$Q_T = 10 W$$

- La Pérdida Térmica por Ventilación o Infiltración de Aire.

Q_V : La Pérdida térmica por ventilación o infiltración de aire se calcula para en función de:

$$Q_V = 0,34 \times V_{min} \times (T_{int} - T_e)$$

Donde:

V_{min} : Caudal mínimo de ventilación / infiltración de aire [m^3/h].

T_{int} : Temperatura interior del local [°C].

T_e : Te: Temperatura exterior de cálculo (norma de prestigio) [°C].

- V_{min} es el producto entre el volumen de la habitación ($210m^3$) y el índice de renovación mínima de aire exterior $n_{min} = 0,5$. (para centros médicos- UNE-EN 12831).

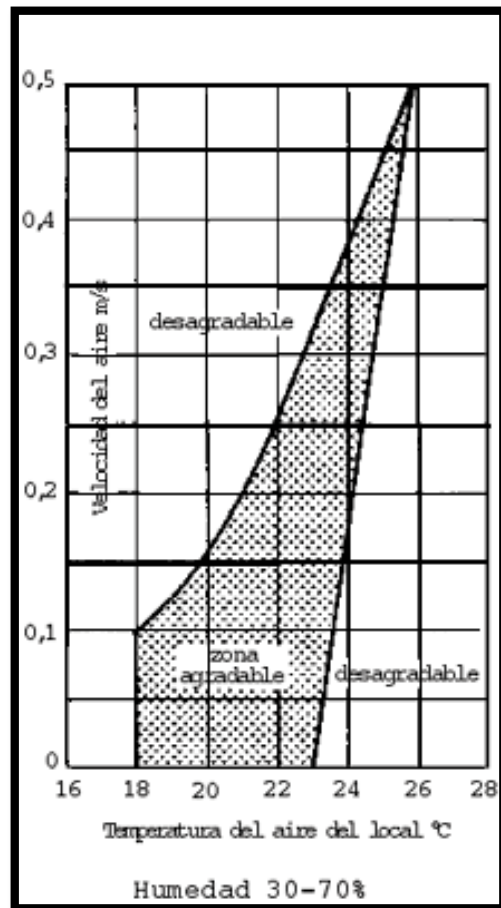


Figura 17.- Temperatura y velocidad de aire interior. / Fuente: (ASHRAE 2008).

- La temperatura interior que se requiere es de 18 a 22 °C. (ASHRAE 2008).

$$Q_v = 0,34 \times 105 \times (22 - 9.85)$$

$$Q_v = 433.7 \text{ W}$$

- **Capacidad de Calentamiento.**

Q_{RH} : La capacidad de calentamiento se calcula a partir de:

$$Q_{RH} = A \times f_{RH}$$

Donde:

A : Superficie del suelo del local [m^2].

f_{RH} : Factor de recalentamiento (Tabla D.10 UNE-EN 12831) [W/m^2].

- El A es igual al ancho por el largo de la posta (7 m x 12m) = $84m^2$.
- De acuerdo al local que en este estudio es de un centro médico se tiene un factor de recalentamiento igual a 3 (adimensional). (Tabla D.10 UNE-EN 12831).

$$Q_{RH} = 84 \times 3$$

$$Q_{RH} = 252 \text{ W}$$

Por lo tanto, la carga térmica de diseño (Q_{HL}) se obtiene con la suma de:

$$Q_{HL} = Q_T + Q_V + Q_{RH}$$

$$Q_{HL} = 10 + 433.7 + 252$$

$$Q_{HL} = 695.7 \text{ W}$$

Carga térmica ganada (Q_g)

- **Lámparas de descarga o fluorescentes:**

Numero de lamparas: 9

Potencia por lampara: 15 watts

Factor de balastro: $FB=1.25$; el sistema trabaja solamente en el nivel de ocupación.

Ganancia de calor: $168 \text{ btu/h} = 49 \text{ W}$

- la carga térmica aportada por equipos y demás electrodomésticos no se considera por lo que el tiempo de encendido es mínimo, lo cual genera una carga a favor que es poco considerable.

La carga térmica total que se requiere es:

$$Q_T = Q_{HL} - Q_g$$

$$Q_T = 695.7 - 49$$

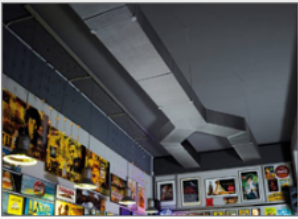
$$Q_T = 646.7 \text{ W}$$


- **Calculo del ducto de aire caliente:**

Al conocer nuestro caudal de ventilación que es $105 \text{ m}^3/\text{h}$ podemos calcular las dimensiones de nuestro ducto a utilizar; para esto hemos utilizado como herramienta un SOFTWARE de dimensionamiento de ductos HVAC.

Seleccionar Producto

Producto: CLIMAVER A2 deco



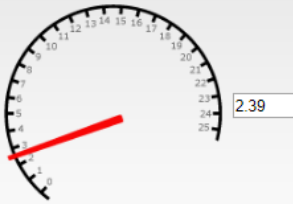
 Descargar Ficha de Producto

Conversión de Caudales:

m^3/h : 105 m^3/s : 0.0292


Velocidad y Pérdida de Carga

Velocidad (m/s)



2.39

Pérdida de Carga (Pa/m)




1

Longitud Conducto (m): 40

Pérdida de Carga (Pa): 40


Diámetro Equivalente

Diámetro Equivalente Conducto Circular (mm)



120.73

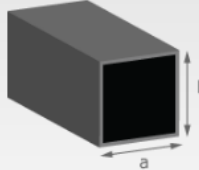
Lado Conducto Cuadrado (mm)



110.51

Dimensiones interiores de los Conductos

Cálculo Inverso: ☐



Posibles Combinaciones

Lado a (cm): 11.05

Lado b (cm): 11.05

Dimensiones Aconsejadas por Isover
(Criterio: ratio a/b NO mayor que 1/5)

| a x b (cm) |
|---------------|
| 11.05 x 11.05 |
| 12.50 x 10.00 |
| 15.00 x 8.00 |
| 17.50 x 7.00 |
| 20.00 x 6.00 |
| 22.50 x 5.50 |

Figura 18.- Software de dimensionamiento de ductos HVAC. / Fuente: (DECO 2014).

- **Producto:** CLIMAVER DECO
- **Metros cúbicos por hora (m^3/h):** 105
- **Metros cúbicos por segundo (m^3/s):** 0.0292
- **Diámetro Equivalente Conducto Circular (mm):** 120.73
- **Lado Conducto Cuadrado (mm):** 110.51
- **Velocidad (m/s):** 2.39
- **Pérdida de Carga (Pa/m):** 1
- **Longitud Conducto (m):** 40
- **Pérdida de Carga (Pa):** 40
- **Lado a (cm):** 11.05
- **Lado b (cm):** 11.05

El ducto que vamos a utilizar para nuestro sistema es de forma cuadrada.

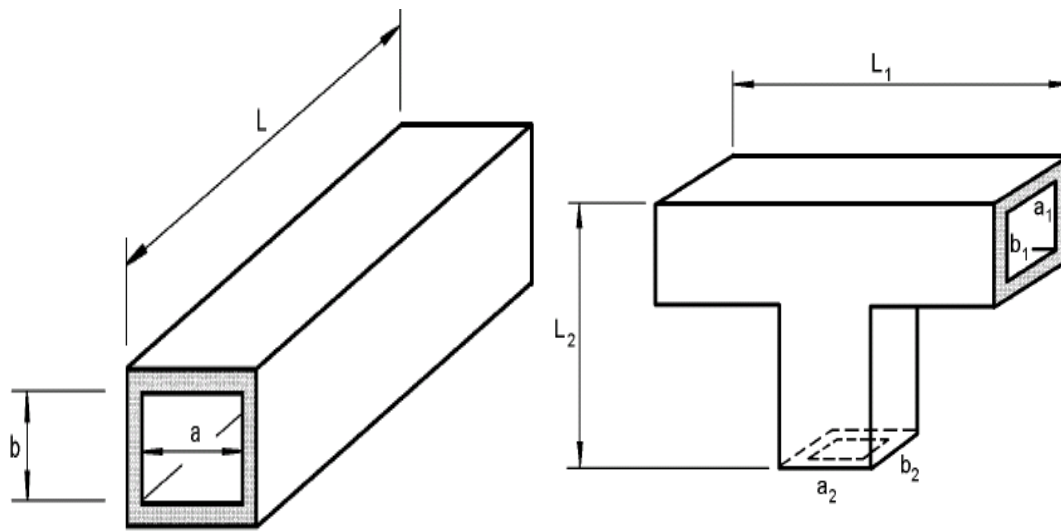


Figura 19.- Ducto de aire caliente. / Fuente: (DECO 2014).

CARTA PSICROMETRICA

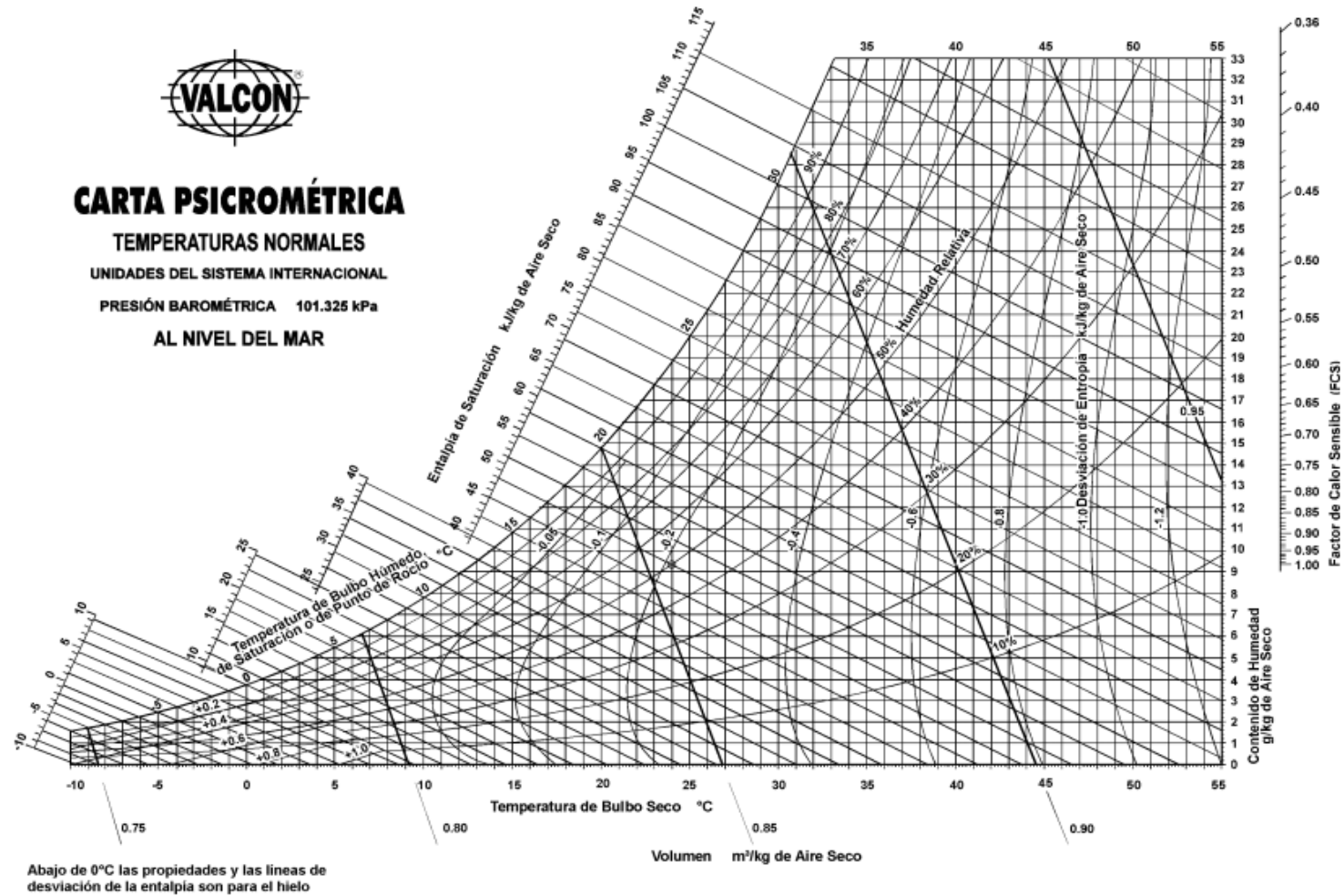


Figura 20.- Carta Psicrométrica. / Fuente: La ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers).

Bella Andina esta ubicada a 3700 msm, por lo que en la carta psicrometrica podemos conocer algunos detalles.

| ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR (m) | P R E S I O N | | |
|---|---------------|--------|---------------------------|
| | ABSOLUTA | | BARO- METRICA mm Hg |
| | kPa | psia | |
| 2,100 | 78.55 | 11.393 | 589 |
| 2,250 | 77.06 | 11.176 | 578 |
| 2,400 | 75.63 | 10.970 | 567 |
| 2,550 | 74.21 | 10.763 | 557 |
| 2,700 | 72.85 | 10.566 | 546 |
| 2,850 | 71.49 | 10.370 | 536 |
| 3,000 | 70.20 | 10.182 | 527 |
| 3,200 | 68.45 | 9.928 | 513 |
| 3,400 | 67.06 | 9.726 | 503 |
| 3,600 | 65.05 | 9.434 | 488 |
| 3,800 | 63.53 | 9.214 | 477 |
| 4,000 | 62.12 | 9.010 | 466 |
| 4,500 | 57.82 | 8.391 | 434 |
| 5,000 | 54.52 | 7.908 | 409 |
| 5,500 | 53.02 | 7.689 | 398 |
| 6,000 | 48.62 | 7.052 | 365 |

Figura 21.- Presión atmosférica a diferentes altitudes. / Fuente: (ASHRAE 2008).

De acuerdo a nuestros datos referenciales conocemos que la temperatura externa en promedio total (°C – K) es: 9.85 °C – 283 K; por lo que podemos aproximar que la temperatura interna es de 13°-16 ° con una humedad relativa de 50%.

4.3 Determinación de la carga térmica para una persona

En adición de acuerdo a la Tesis de Ronald Herrera Prado Cama Calefactora se conoce que una persona al descansar requiere de 1,300 kJ (temperatura corporal 36°C – temperatura ambiente 18 a 22 °C) (ASHRAE 2008); por 10 horas sin embargo al ser una posta médica se considera descanso de 24 horas por lo que tenemos:

$$Q_{persona} = \frac{24}{10} \times 1300 = 3,120 \text{ kJ/dia}$$

Convirtiendo el calor requerido por una persona a Watts tenemos:

$$Q_{requerido} = \frac{3120}{3.6} = 866.6 \text{ W}$$

Debemos tener en cuenta que este calor requerido se está estimando para una persona.

4.4 Carca térmica requerida

Para nuestro diseño según nuestras encuestas conocemos la máxima cantidad de personas que acuden a la posta de salud, incluyendo el personal médico.

- Número de personas en el establecimiento: 8
- El calor requerido por las personas es de $866 \times 8 = 6928 \text{ W}$.
- El calor requerido por la habitación es $Q_T = 646.7 \text{ W}$
- El calor requerido total es de 7574.7 W

4.5 Diseño de contrastación de hipótesis

La estructura de funciones se inicia con la captación de la radiación solar disponible, atravesando la cubierta que es el elemento que permite el ingreso de la radiación solar al sistema y que genera el efecto invernadero; dicha función la desempeñará la placa de absorción, la cual, aumentará su temperatura con el transcurso del tiempo, para así poder cumplir en simultáneo la siguiente función de transmitir la energía recibida hacia el fluido. El fluido seleccionado es el aire, debido a que, el objetivo es calentar el aire dentro de la posta de salud; El aire, debido a sus propiedades termodinámicas aumentará su temperatura y fluirá por convección natural por el interior de la carcasa, quien debido a su construcción es la encargada de canalizar el aire de tal manera que se generará una distribución del calor hacia el acumulador (lecho de piedras), para luego ser distribuido al interior del ambiente por un ducto de aire caliente (CLIMAVÉR A2 deco) de lado 11.05 cm, con 40 m de largo aproximadamente y ser liberado a través de rejillas regulables manualmente. A continuación, la función de almacenamiento será desarrollada por la habitación a calentar, la cual se está adicionando el recubrimiento de poliestireno (Tecnopor; 2.54 de espesor) al material que está construido (adobe) y asegurándose que la habitación este aislada térmicamente, obviamente después del lecho de piedras que sería el acumulador primordial y más eficiente. Al funcionar el sistema aproximadamente 11.45 horas diarias en promedio, y asegurándose de tener mínimas deficiencias sobre todo para los días de los meses entre mayo y septiembre, se complementó un acumulador de calor para luego contar con la energía de este más la energía transmitida a las paredes de la habitación que es acumulada por estas para ser liberada por las noches en un tiempo considerable. La función de refrescar se ha

incorporado, debido a que, al tratarse de un centro de salud, el aire debe ser refrescado constantemente, el mismo que se llevará a cabo de manera natural al cerrar las rejillas regulables que son manuales o cuando se apertura la puerta principal de la posta y ventanas de la misma, debido a la presencia de un gradiente de temperatura entre la habitación acondicionada y la parte externa de la posta (temperatura ambiente).

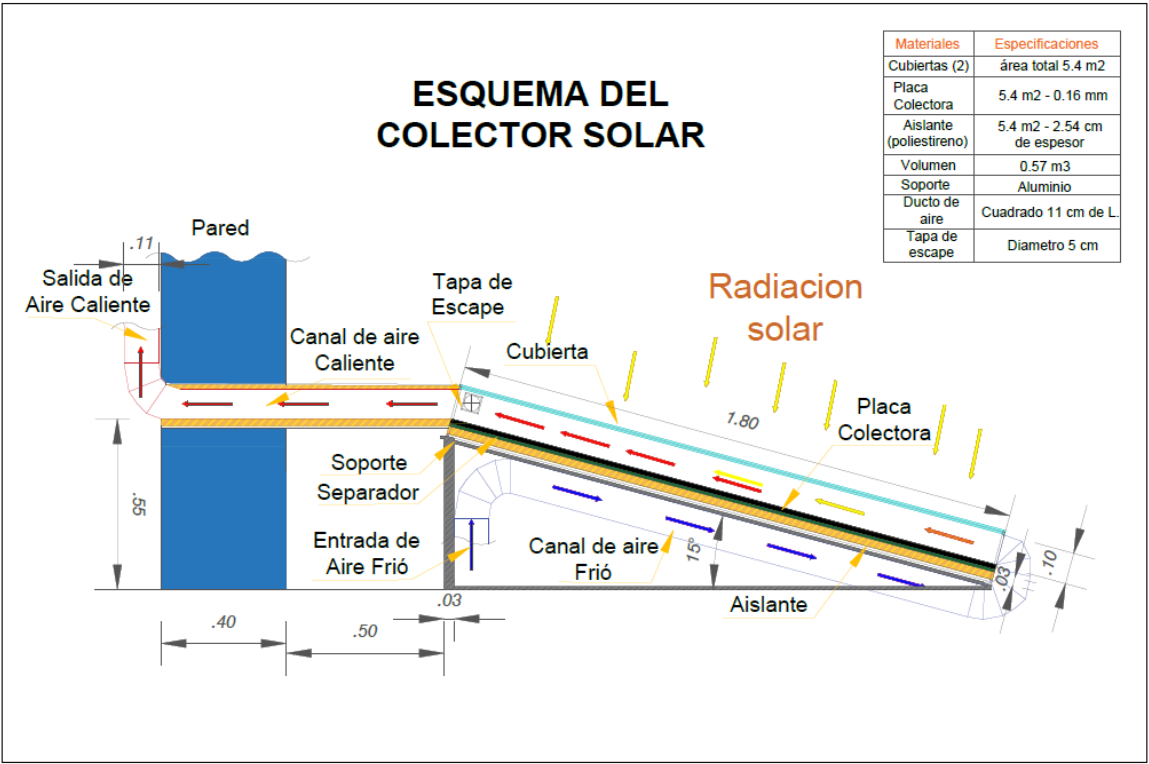


Figura 22.- Esquema del colector solar. / Fuente: Elaboración propia.

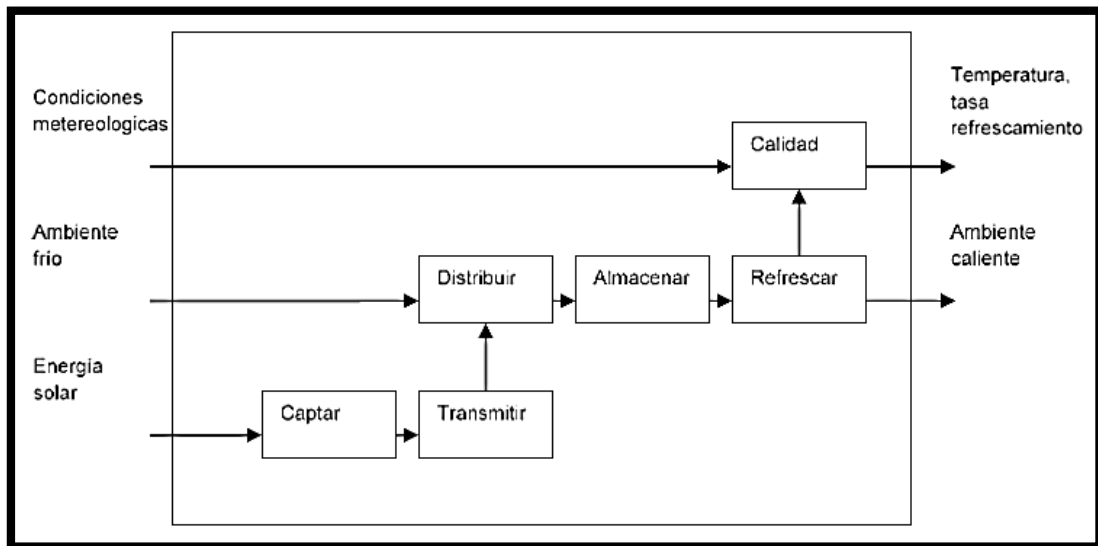


Figura 23.- Estructura de funciones del sistema. / Fuente: Elaboración propia.

4.6 Proyecto solución óptimo

El proyecto solución óptimo seleccionado, consiste principalmente de tres colectores solar plano, que deberá contar con la capacidad de captar la energía solar suficiente para lograr los objetivos de calentamiento planteados, permitir al aire fluir de manera direccionada hacia el acumulador (lecho de piedras), para luego ser conducido al interior de la habitación a través de un ducto de aire caliente de manera natural y brindar al ambiente seleccionado la cantidad suficiente de energía; mediante el aire caliente para permitir un refrescamiento del aire de la habitación.

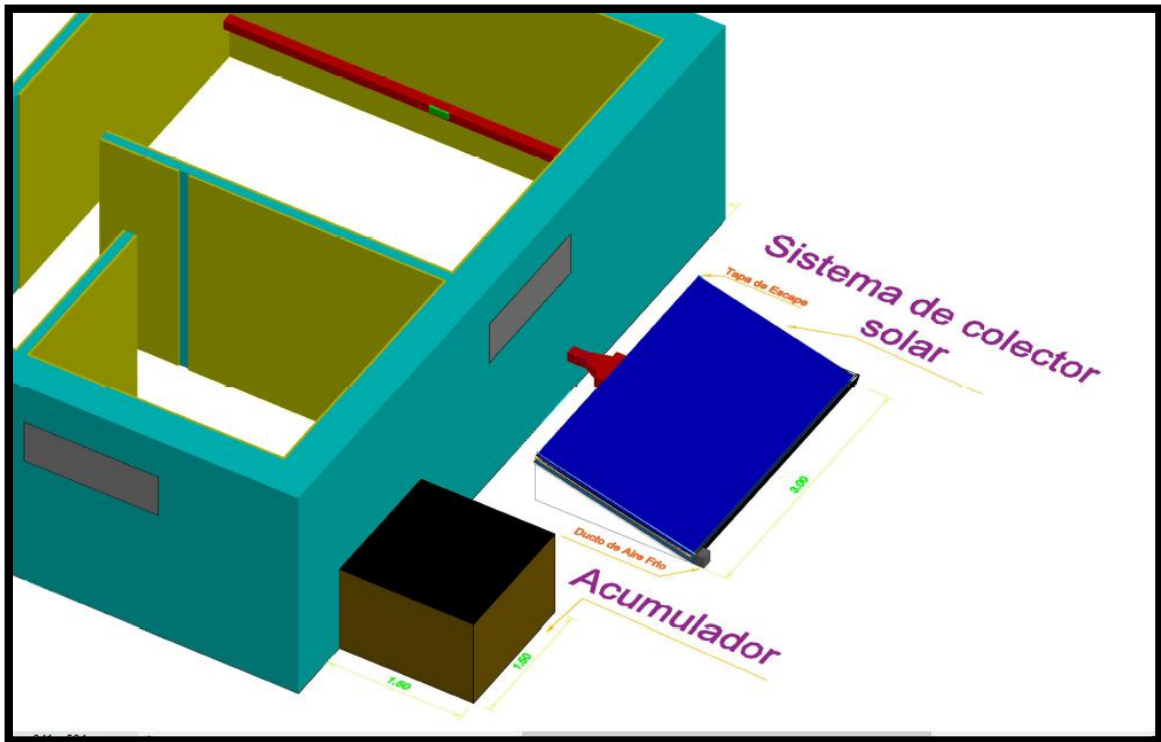


Figura 24.- Proyecto solución óptimo. / Fuente: Elaboración propia.

4.7 Cálculos

La metodología de cálculo a desarrollar se ha basado en los diferentes procedimientos mostrados por los autores presentados en la bibliografía, de la revisión de estos modelos, es que, se busca plantear una forma sencilla de entender paso a paso la metodología por el objetivo social del presente documento. La metodología, consiste en presentar una fórmula principal y luego determinar cada uno de sus términos mediante la aplicación de diferentes fórmulas, uso de tablas y gráficas propuestas por diferentes autores.

De acuerdo con el proyecto solución óptimo, tenemos que se trata de un sistema de calefacción solar sin generación de energía interna, por lo que,

podemos aplicar la ecuación (2.2.4.5) correspondiente a la conservación de la energía (ITESO Febrero de 1995); en la cual tenemos que:

$$E_{solar} - E_{perd} = E_{util} \quad (4.4.1)$$

La cual podemos apreciar de manera gráfica de la siguiente manera:

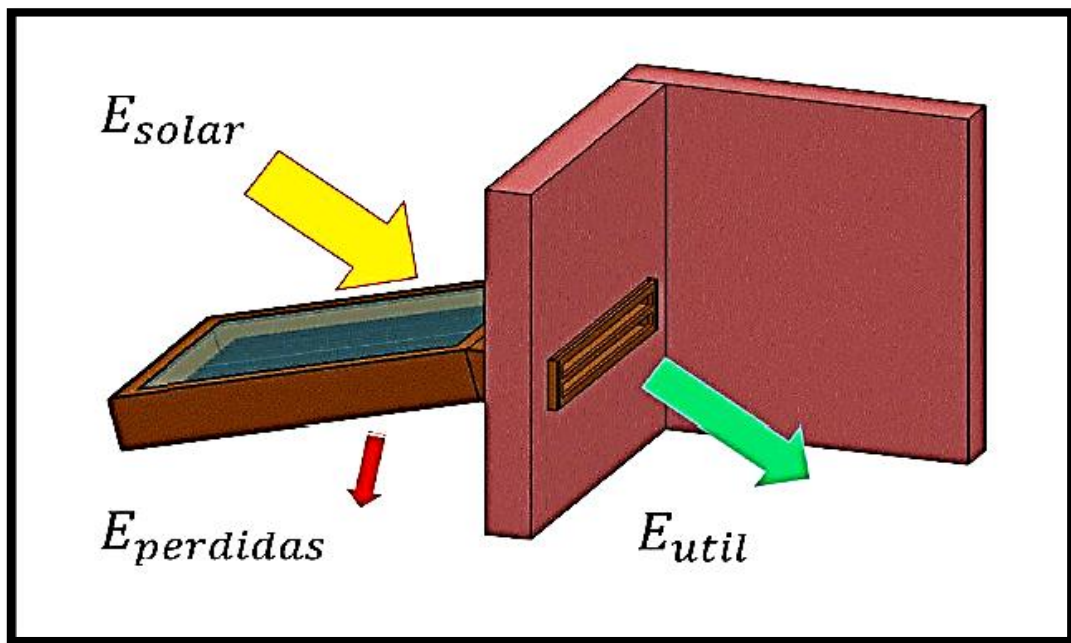


Figura 25.- Diagrama Energético del colector solar. / Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, al aplicar los conceptos de transferencia de calor pertinentes se tiene que la ecuación (4.4.1) es equivalente a:

$$Q_{solar} - Q_{perd} = Q_{util} \quad (4.4.1)$$

Donde

Q_{solar} : Calor solar disponible [W].

Q_{perd} : Calor cedido como pérdidas por el sistema [W].

Q_{util} : Calor útil o aprovechado por el sistema [W].

Esta ecuación es el punto de partida para nuestro análisis y al considerar las siguientes ecuaciones para el calor solar y el calor cedido tendremos la ecuación (4.4.1) en función de las características del colector solar plano.

$$Q_{solar} = A_C \times S \quad (4.4.3)$$

Y

$$Q_{perd} = A_C [U_L(T_{pm} - T_a)] \quad (4.4.4)$$

Obtenemos

$$Q_{util} = A_C [S - U_L(T_{pm} - T_a)] \quad (4.4.5)$$

Donde

Q_{solar} : Calor solar disponible [W].

Q_{perd} : Calor cedido como pérdidas por el sistema [W].

Q_{util} : Calor útil o aprovechado por el sistema [W].

A_C : Área de captación del colector [m^2].

S : Irradiancia solar absorbida por el colector [W/m^2].

U_L : Coeficiente global de pérdidas de transferencia de calor [W/m^2K].

T_{pm} : Temperatura media de la placa absorbidora [K].

T_a : Temperatura ambiente [K].

4.7.1 Cálculo del área del colector A_c .

El área de captación del colector seleccionado, correspondió a las medidas comerciales de los principales materiales a utilizarse en la construcción del colector. En esta oportunidad se trabaja con una superficie corrugada metálica para amplificar el área expuesta a la radiación solar y así elevar el rendimiento del sistema.

La oferta comercial viene en longitudes que varían entre 1,800 – 2,400 y 3,600 mm. Asimismo presenta los siguientes espesores.

Tabla 8.- Espesores de calamina convencional.

| Espesor calamina convencional (mm) | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|
| 0.16 | 0.20 | 0.22 | 0.25 | 0.27 | 0.30 |

Fuente: SODIMAC- Aceros Arequipa.

La dimensión limitante en el mercado de calaminas es el ancho de la misma, razón por la cual será considerada una medida crítica para nuestro diseño ya que guarda relación con la accesibilidad por parte de los pobladores.

Cálculo del área equivalente de la calamina

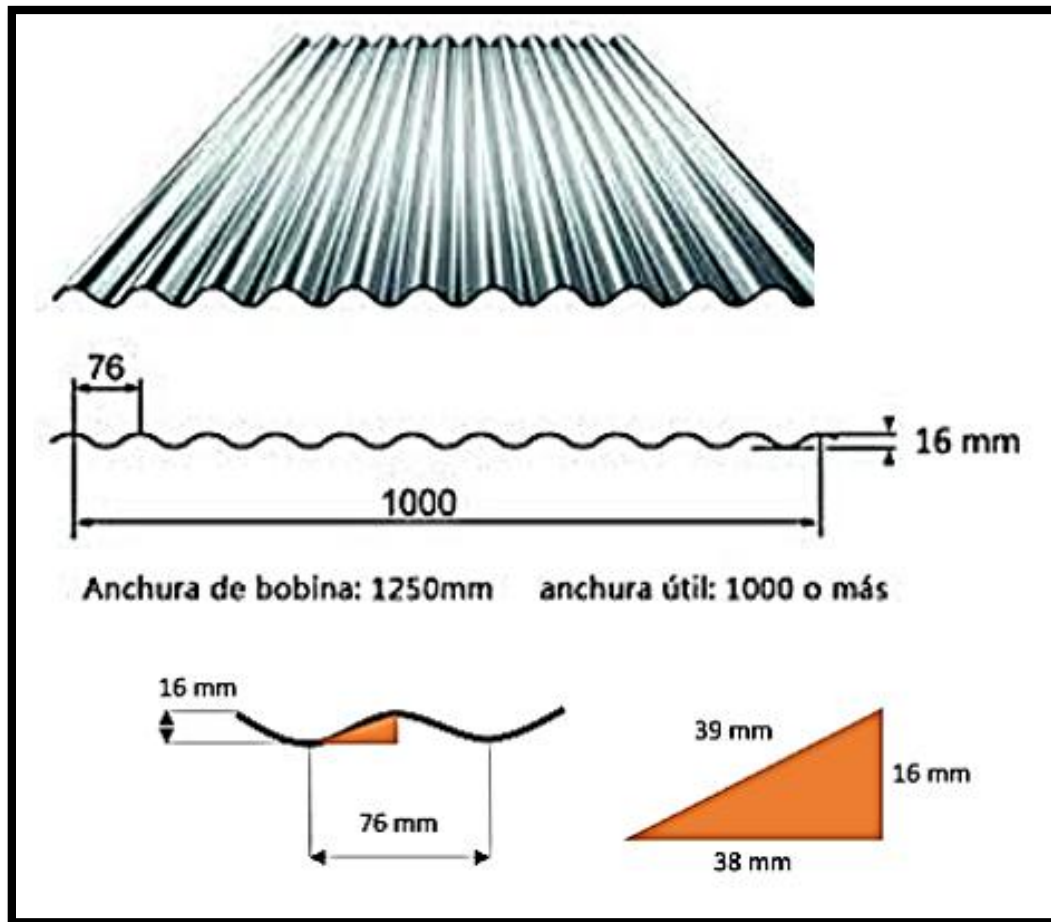


Figura 26.- Cálculo del Área del colector. / Fuente: (Energética vol.36 no.3 La Habana set.-dic. 2015).

$$\text{Ancho del colector} = \frac{1000}{38} \times 39 = 1026 \text{ mm.}$$

En nuestro calculo estamos estimando tres colectores, por lo tanto:

$$\text{Ancho del colector} = 1026 \times 3 = 3078 \text{ mm.}$$

$$\text{Longitud del colector} = 1800 \text{ mm.}$$

$$A_c = 5.5404 \text{ m}^2.$$

Asimismo, la temperatura ambiente del lugar se estima de la información meteorológica histórica, por lo que, se considera conocida.

Los otros tres términos son incógnitas que se hallan mediante la aplicación de otras fórmulas, en primer lugar, se buscará hallar el término referido a la irradiancia solar absorbida por el colector.

4.7.2 Cálculo de la irradiancia solar absorbida.

La irradiancia absorbida sobre el colector se calcula con la siguiente fórmula: (ITESO Febrero de 1995).

$$S = G_b R_b (\tau\alpha)_b + G_d (\tau\alpha)_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + \rho_g G (\tau\alpha)_g \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (4.4.2.1)$$

Donde

S : Irradiancia solar absorbida por el colector [W/m^2].

G_b : Irradiancia directa, se utiliza el subíndice b correspondiente al término en inglés beam [W/m^2].

R_b : Factor geométrico de irradiación directa entre superficies inclinadas y planas [Adimensional].

$(\tau\alpha)_b$: Producto Transmitancia-absortancia directo [Adimensional].

G_d : Irradiancia difusa [W/m^2].

$(\tau\alpha)_d$: Producto Transmitancia-absortancia difuso [Adimensional].

ρ_g : Reflectancia del suelo [Adimensional].

G : Irradiancia global [W/m^2].

$(\tau\alpha)_g$: Producto Transmitancia-absortancia del suelo [Adimensional].

A continuación, se presentará la forma de despejar los diferentes términos desconocidos de la ecuación.

Cálculo de la irradiación global G , directa G_b y difusa G_d .

Se procederá a calcular los valores de Irradiación directa e Irradiación difusa respectivamente. Para lo cual se procede a calcular la irradiancia en el exterior de la atmósfera, ya que, el proceso de difusión se genera en nuestro planeta. Para ello aplicaremos la ecuación (2.2.1.a).

$$G_{on} = G_{SC} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right)$$

Donde:

G_{SC} : Constante solar que actualmente tiene un valor de $1,367 \text{ [W/m}^2\text{]}/$ (ITESO Febrero de 1995).

G_{on} : Irradiación extraterrestre para el enésimo día del año, sobre el plano normal a la irradiación solar $[\text{W/m}^2]$.

n : Enésimo día del año [Adimensional].

Para conocer la irradiancia extraterrestre requerimos definir el día que se analizará, por lo que, se considera el día promedio del mes de mayo que corresponde al 15 de ese mes y es el 135 día del año de acuerdo a la tabla 9.

Tabla 9.- Día promedio de irradiación solar mensual.

| Mes | Valor de n para el i -ésimo día del mes | Día | n |
|-----------|---|-----|-----|
| Enero | i | 17 | 17 |
| Febrero | $31 + i$ | 16 | 47 |
| Marzo | $59 + i$ | 16 | 75 |
| Abril | $90 + i$ | 15 | 105 |
| Mayo | $120 + i$ | 15 | 135 |
| Junio | $151 + i$ | 11 | 162 |
| Julio | $181 + i$ | 17 | 198 |
| agosto | $212 + i$ | 16 | 228 |
| setiembre | $243 + i$ | 15 | 258 |
| octubre | $273 + i$ | 15 | 288 |
| noviembre | $304 + i$ | 14 | 318 |
| diciembre | $334 + i$ | 10 | 344 |

Fuente: Elaboración propia.

$$G_{on} = 1,367 \left(1 + 0.033 \cos \frac{360 \times 135}{365} \right) = 1,336.15 \text{ W/m}^2.$$

Luego de conocer la irradiancia extraterrestre del día en análisis, es importante la ubicación relativa con el Sol, razón por la cual, se utiliza el coseno del ángulo zenith para determinar dicho valor.

$$G_o = G_{on} \cos \theta_z \quad (4.4.2.2)$$

Y

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (4.4.2.3)$$

Por lo tanto

$$G_o = G_{on}(\cos\phi \cos\delta \cos\omega + \sin\phi \sin\delta) \quad (4.4.2.4)$$

Donde

G_o : Irradiación extraterrestre para el enésimo día del año sobre una superficie horizontal [W/m^2].

G_{on} : Irradiación extraterrestre para el enésimo día del año, sobre el plano normal a la irradiación solar [W/m^2].

ϕ : Latitud de la ubicación geográfica [Grados sexagesimales].

δ : Ángulo de declinación [Grados sexagesimales].

ω : Ángulo horario [Grados sexagesimales].

Los valores del ángulo de la declinación pueden ser hallados con la siguiente fórmula: (ITESO Febrero de 1995).

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{248 + n}{365}\right) \quad (4.4.2.5)$$

Donde

δ : Ángulo de declinación solar [Grados sexagesimales].

n : Enésimo día del año [Adimensional].

Con la finalidad de simplificar el análisis, se presenta a continuación una tabla con los valores de la declinación para los días promedio de cada mes.

Tabla 10.- Ángulos de declinación y día promedio mensual.

| Mes | Valor de n para el i -ésimo día del mes | Día | n | δ |
|-----------|---|-----|-----|----------|
| Enero | i | 17 | 17 | -20.09 |
| Febrero | $31 + i$ | 16 | 47 | -13 |
| Marzo | $59 + i$ | 16 | 75 | -2.4 |
| Abril | $90 + i$ | 15 | 105 | 9.4 |
| Mayo | $120 + i$ | 15 | 135 | 18.8 |
| Junio | $151 + i$ | 11 | 162 | 23.1 |
| Julio | $181 + i$ | 17 | 198 | 21.2 |
| agosto | $212 + i$ | 16 | 228 | 13.5 |
| setiembre | $243 + i$ | 15 | 258 | 2.2 |
| octubre | $273 + i$ | 15 | 288 | -9.6 |
| noviembre | $304 + i$ | 14 | 318 | -18.9 |
| diciembre | $334 + i$ | 10 | 344 | -23 |

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el ángulo horario corresponde por definición al valor de 0° al medio día solar y se le restan 15° por hora hacia el amanecer y se le agregan 15° por hora hacia el atardecer. Es importante considerar la existencia de la diferencia entre la hora solar y la hora común, por lo que, introducimos las siguientes ecuaciones.

$$\text{Hora solar} - \text{Hora estandar} = 4(L_{st} - L_{loc}) + E \quad (4.4.2.6)$$

Donde

L_{st} : Longitud del meridiano estándar con el cual se determina la hora de la ubicación geográfica [Grados sexagesimales].

L_{loc} : Longitud de la localidad [Grados sexagesimales].

Asimismo

$$E = 229.2 (0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032077 \sin B - 0.014615 \cos 2B - 0.04089 \sin 2B)$$

(4.4.2.7)

El factor B se halla utilizando la ecuación (2.2.2).

$$B = (n - 1) \frac{360}{365}$$

(2.2.2)

Aplicando las ecuaciones (4.4.2.6), (4.4.2.7) y (2.2.2) ya que conociendo las longitudes geográficas $L_{st} = 81^{\circ}19'34.5''$, $L_{loc} = 78^{\circ}28'08''$ obtenemos que para el caso en análisis la Hora Solar será:

$$\text{Hora solar} = \text{Hora estandar} + 15$$

Por lo que al calcular el ángulo horario debemos considerar dicha corrección de tiempo, es decir, las 10:15 a.m. reales le corresponderá las 10:30 a.m. en hora solar, para la ubicación de Bella Andina, es importante para el uso de tablas y cálculos que se desarrollarán en la presente tesis, considerar la hora solar.

Para poder determinar el comportamiento del colector solar de manera correcta es que se realizarán los cálculos para diferentes ángulos horarios u horas considerando las siguientes:

Tabla 11.- Ángulos horario a evaluar.

| Horas antes (-) | | | | | Medio día solar | | | | Horas después (+) | | | | | |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----------------|-----|---|-----|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 12:00 | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.5 | 5.5 | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 1.5 | 0.5 | 0 | 0.5 | 1.5 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 6.5 |
| 98 | 83 | 68 | 53 | 38 | 23 | 8 | 0 | 8 | 23 | 38 | 53 | 68 | 83 | 98 |

Fuente: Elaboración propia.

Al apreciarse simetría en relación al medio día solar en las próximas tablas se mostrarán los datos de manera abreviada.

Aplicando el valor de $\delta = 18.8^\circ$ correspondiente a mayo y la ecuación (4.4.2.4) podemos calcular la irradiancia por ejemplo para -3.5 horas del mediodía, conociendo la Latitud de la ubicación geográfica es: $\phi = 7^\circ 9' 56'' = 7^\circ$.

$$G_o = 1335.15(\cos(-7) \cos 18.8 \cos(-53) + \sin(-7) \sin 18.8) = 703 \text{ w/m}^2$$

Obteniéndose como resultado la siguiente tabla:

Tabla 12.- Cálculo de la Irradiancia sobre superficies planas para diferentes horas.

| Horas +/- del medio día solar | | | | | | | |
|-------------------------------|-----|-------|-------|------------|-------|------|--------|
| # Horas | 6.5 | 5.5 | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 1.5 | 0.5 |
| ω ($-am/+pm$) | 98 | 83 | 68 | 53 | 38 | 23 | 8 |
| G_o | -- | 100.5 | 417.8 | 703 | 936.8 | 1103 | 1190.7 |
| θ_z | | 85.7 | 71.8 | 58 | 45.5 | 34.3 | 27 |

Fuente: Elaboración propia.

No se considera G_o para 6.5 horas del medio día solar, debido a que, la duración del día aproximada es de 11.5 horas, por lo que, para dichos casos el análisis se limitara al considerar el ángulo horario del amanecer u ocaso, el cual se calcula con la siguiente ecuación: (ITESO Febrero de 1995).

$$\cos\omega_s = \cos(\omega_a) = -\frac{\sin\phi \sin\delta}{\cos\phi \cos\delta} = -\tan\phi \tan\delta \quad (4.4.2.8)$$

Donde

ω_s : Ángulo horario correspondiente al ocaso, se utiliza el subíndice s correspondiente al término en inglés *sunset* [Grados sexagesimales].

ω_a : Ángulo horario correspondiente al amanecer [Grados sexagesimales].

Al aplicar la latitud y declinación correspondiente obtenemos:

$$\omega_s = \arccos[-\tan(-7) \tan(18.8)] = 87.6^\circ$$

Al conocerse este dato es que podemos ajustar nuestro rango de muestreo, conociendo la cantidad de horas de luz solar, recordando que 15° de ángulo horario corresponde a una hora.

Entonces:

$$N = \frac{\omega_s}{15} \times 2 = 11.68 \text{ h} \quad (4.4.2.9)$$

Donde

N : Cantidad de horas de luz solar diaria [h].

Con lo cual tenemos que el amanecer se produce 5.8 horas antes del mediodía.

Tabla 13.- Cálculo de la Irradiancia sobre superficies planas para diferentes horas.

| Horas +/- del medio día solar | | | | | | | |
|-------------------------------|------|-------|-------|-------------|-------|------|--------|
| # Horas | 5.8 | 5.5 | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 1.5 | 0.5 |
| $\omega (-am/+pm)$ | 87.6 | 82.5 | 67.5 | 52.5 | 37.5 | 22.5 | 7.5 |
| G_o | 0.1 | 100.5 | 417.8 | 703 | 936.8 | 1103 | 1190.7 |
| θ_z | 90 | 85.7 | 71.8 | 58 | 45.5 | 34.3 | 27 |

Fuente: Elaboración propia.

Es importante precisar que el cálculo viene realizándose con la irradiancia [w/m^2], sin embargo, los datos proporcionados por los mapas solares están dados en [kwh/m^2], por lo que, debemos igualar las unidades para poder continuar nuestro análisis. Por ello debemos recurrir a las definiciones de la Irradiancia e Irradiación para encontrar una equivalencia.

La irradiancia es el valor instantáneo de radiación incidente sobre una superficie mientras que la irradiación es la suma de la radiación solar incidente sobre una superficie en un día completo.

$$\bar{H} \frac{kWh}{m^2} \times \frac{1 \text{ dia}}{11.45 \text{ h}} \times \frac{1000}{k} = H \frac{W}{m^2} \quad (4.4.2.10)$$

$$5 \frac{kWh}{m^2} \times \frac{1 \text{ dia}}{11.45 \text{ h}} \times \frac{1000}{k} = 436.68 \frac{W}{m^2}$$

A continuación, se debe estimar el coeficiente de claridad (K_T) correspondiente a Bella Andina para continuar con los cálculos del sistema, el cual corresponde a la relación entre la irradiancia promedio extraterrestre y la irradiancia promedio diaria sobre la superficie.

$$K_T = \frac{G}{(G_o)} \quad (4.4.2.11)$$

Donde

K_T : Índice de claridad [Adimensional].

$$K_T = \frac{G}{\text{promedio } G_o} = \frac{436.68}{635.98} = 0.69$$

Es al conocer este índice que podremos identificar la proporción de Irradiancia difusa sobre el sistema, lo cual es de suma importancia ya que el aprovechamiento de la energía directa y difusa se realizan de distinta manera. Con la finalidad de poder conocer este ratio es que recurrimos a los resultados de los estudios realizados por (Erbs 1982), para la irradiación mensual puesto que nuestros mapas nos presentan dicha frecuencia, donde nos presenta las siguientes ecuaciones y la gráfica correspondiente.

Cuando $\omega_s \leq 81.4^\circ$ y $0.3 \leq K_T \leq 0.8$

$$\frac{H_d}{H} = 1.391 - 3.560K_T + 4.189K_T^2 - 2.137K_T^3 \quad (4.4.2.12a)$$

Cuando $\omega_s > 81.4^\circ$ y $0.3 \leq K_T \leq 0.8$

$$\frac{H_d}{H} = 1.311 - 3.022K_T + 3.427K_T^2 - 1.821K_T^3 \quad (4.4.2.12b)$$

Donde

H_d : Irradiación mensual difusa [MJ/m^2].

Gráficamente se obtienen las siguientes curvas:

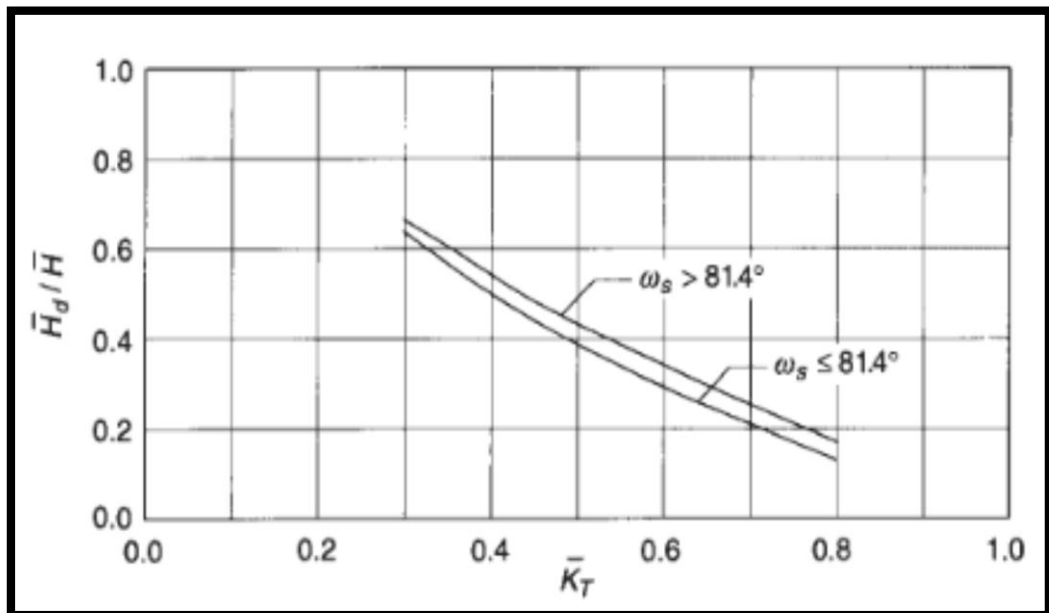


Figura 27.- Ratio de irradiación directa y difusa. / Fuente: Extraído del libro *Engineering of Thermal Processes* basado en el estudio de Erbs.

Utilizando la fórmula (4.4.2.12b) por ser ω_s mayor a 81.4 tenemos:

$$\frac{H_d}{H} = 1.311 - 3.022 \times 0.69 + 3.427(0.69)^2 - 1.821(0.69)^3 = 0.26$$

Al obtener el ratio entre irradiación difusa e irradiación total mensual es que podemos utilizar este mismo ratio para la aplicación instantánea de la irradiancia para lo cual se convirtió la información extraída del mapa solar en Irradiación [kwh/m^2] a Irradiancia [W/m^2] y se construyó la siguiente gráfica para poder estimar la irradiancia en cualquier momento del día solar.

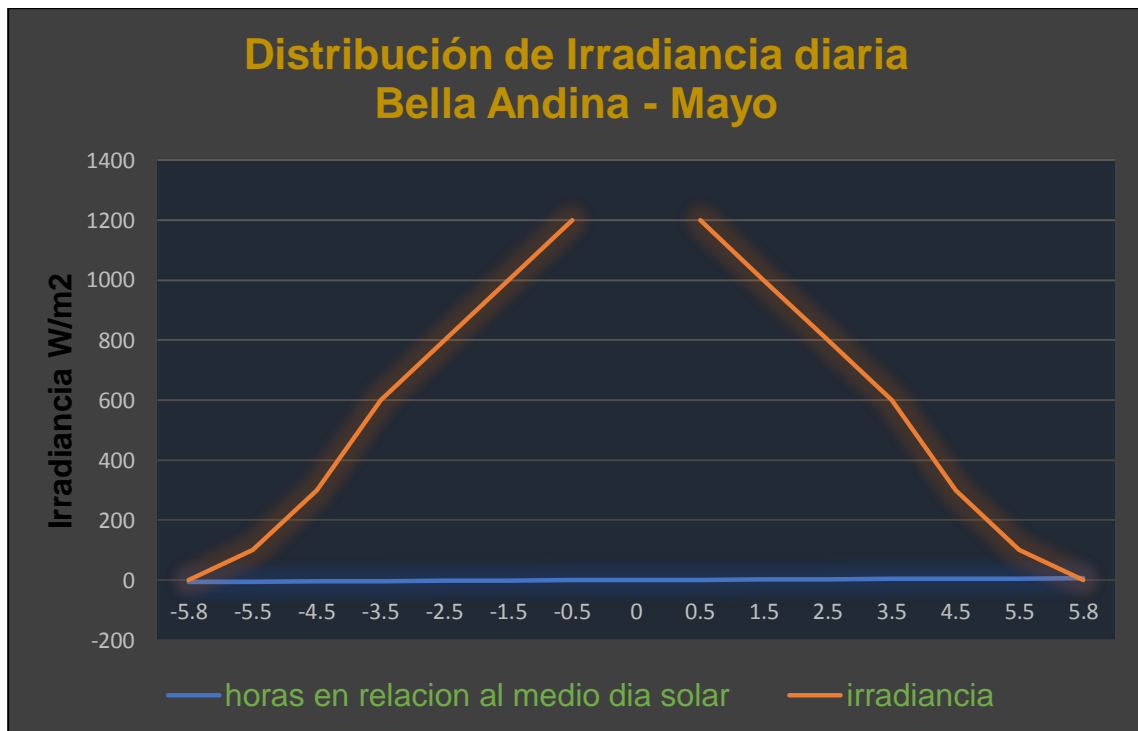


Figura 28.- Distribución de Irradiancia diaria en Bella Andina para el mes de mayo. /
Fuente: Elaboración propia.

Con esta gráfica podemos calcular la irradiación difusa y directa para cualquier instante del día siguiente como, por ejemplo, para -3.5 horas del mediodía solar tenemos:

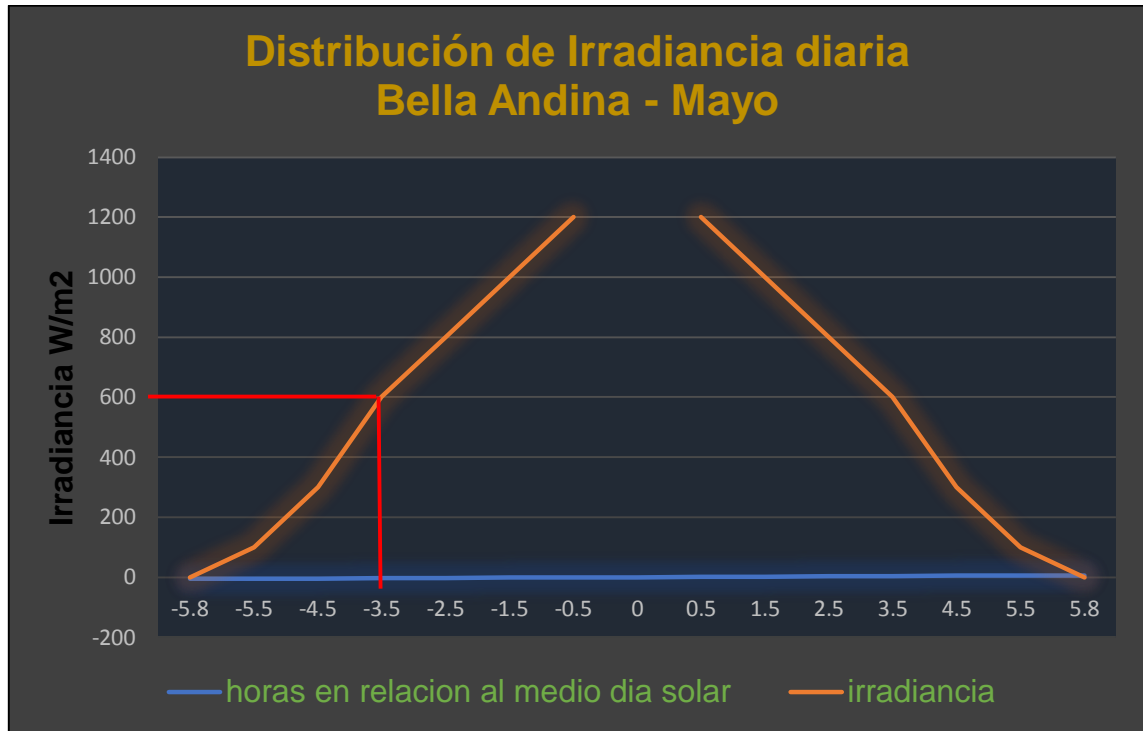


Figura 29.- Cálculo irradiación para -3.5 hora del medio día solar. / Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica tenemos que $G_{-3.5} = 600 \text{ W/m}^2$ y al haber obtenido anteriormente que:

$$\frac{H_d}{H} = 0.26$$

Tenemos que

$$G_{d-3.5} = 600 \times 0.26 = 156 \text{ W/m}^2$$

Asimismo, aplicamos la siguiente formula

$$G = G_b + G_d \quad (4.4.2.13)$$

Donde

G_b : Irradiación directa [W/m^2].

Obtenemos

$$G_{b-3.5} = 444 \text{ W/m}^2$$

De esta manera podemos hallar los valores de irradiancia difusa y directa para los instantes anteriormente analizados.

Tabla 14.- Resultados del cálculo de Irradiación global, directa y difusa.

| Horas +/- del medio día solar | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------------|-------|------|--------|
| # Horas | 5.8 | 5.5 | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 1.5 | 0.5 |
| $\omega (-am/+pm)$ | 87.6 | 82.5 | 67.5 | 52.5 | 37.5 | 22.5 | 7.5 |
| G_o | 0.1 | 100.5 | 417.8 | 703 | 936.8 | 1103 | 1190.7 |
| θ_z | 90 | 85.7 | 71.8 | 58 | 45.5 | 34.3 | 27 |
| G | 0.1 | 100 | 350 | 600 | 750 | 850 | 1100 |
| G_d | 0.026 | 26 | 91 | 156 | 195 | 221 | 286 |
| G_b | 0.074 | 74 | 259 | 444 | 555 | 629 | 814 |

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del Factor geométrico de irradiación directa R_b

Corrige la exposición de una superficie inclinada en relación a una superficie horizontal, el mismo se puede calcular con los ángulos anteriormente mencionados.

$$R_b = \frac{G_{b,t}}{G_b} = \frac{G_{b,n} \cos\theta}{G_{b,n} \cos\theta_z} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (4.4.2.14)$$

Donde

θ : Ángulo de incidencia [Grados sexagesimales].

θ_z : Ángulo zenith o de incidencia sobre una superficie horizontal [Grados sexagesimales].

Utilizando esta fórmula R_b es evaluado en un momento determinado, si se desea evaluar en un período de tiempo se debe utilizar la fórmula integrada puesto que la ecuación (4.4.2.14) pierde funcionalidad cuando el amanecer u ocaso suceden a la hora estimada.

$$R_{b,prom} = \frac{a}{b} \quad (4.4.2.15)$$

Donde

$$\begin{aligned} a = & (\text{sen}\delta \text{ sen}\phi \cos\beta - \text{sen}\delta \cos\phi \text{ sen}\beta \cos\gamma) \times \frac{\pi}{180} \times (\omega_2 - \omega_1) \\ & + (\cos\delta \cos\phi \cos\beta + \cos\delta \text{ sen}\phi \text{ sen}\beta \cos\gamma) \times (\text{sen}\omega_2 - \text{sen}\omega_1) \\ & - (\cos\delta \text{ sen}\beta \text{ sen}\gamma) \times (\cos\omega_2 - \cos\omega_1) \end{aligned} \quad (4.4.2.16)$$

$$b = (\cos\phi \cos\delta) \times (\text{sen}\omega_2 - \text{sen}\omega_1) + \text{sen}\phi \text{ sen}\delta \times \frac{\pi}{180} \times (\omega_2 - \omega_1) \quad (4.4.2.17)$$

Donde los valores de la latitud (ϕ) y la inclinación del colector (β) son conocidos por la ubicación geográfica y las características de diseño. Asimismo, para maximizar la captación del recurso solar el valor de γ es considerado 180 grados.

$$\phi = -7$$

$$\beta = 15$$

$$\gamma = 180$$

Siendo ω_1 y ω_2 los valores horarios del período a evaluar, en grados sexagesimales. Por ejemplo, para -3.5 horas del mediodía solar tenemos:

$$\begin{aligned} a = & (\text{sen}18.8 \text{ sen}(-7)\text{cos}15 - \text{sen}18.8 \text{ cos}(-7)\text{sen}15 \text{ cos}180) \times \pi/180 \times (-37.5 \\ & - (-52.5)) + (\text{cos}18.8 \text{ cos}(-7)\text{cos}15 \\ & + \text{cos}18.8 \text{ sen}(-7)\text{sen}15 \text{ cos}180) \times (\text{sen}(-37.5) - \text{sen}(-52.5)) \\ & - (\text{cos}18.8 \text{ sen}15 \text{ sen}180) \times (\text{cos}(-37.5) - \text{cos}(-52.5)) \\ & \mathbf{a = 0.896} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b = & (\text{cos}(-7) \text{ cos}18.8) \times (\text{sen}(-37.5) - \text{sen}(-52.5)) \\ & + \text{sen}(-7)\text{sen}18.8 \times \frac{\pi}{180} \times ((-37.5) - (-52.5)) \\ & \mathbf{b = 0.163} \end{aligned}$$

$$R_b = \frac{a}{b} = \frac{0.896}{0.163} = 5.50$$

Aplicando el mismo procedimiento para todos los diferentes intervalos de una hora del día solar, los cuales se identificarán con la hora 5.5 para el intervalo entre las 6 y 5 horas y así para cada rango de horas.

Tabla 15.- Resultados del Factor de Irradiación geométrica.

| Horas +/- del medio día solar | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|------|------|--------------|-------|-------|-------|
| # Horas | 5.8 | 5.5 | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 1.5 | 0.5 |
| $\omega_{1(am),2(pm)}$ | 87.6 | 82.5 | 67.5 | 52.5 | 37.5 | 22.5 | 7.5 |
| $\omega_{2(am),1(pm)}$ | 82.5 | 67.5 | 52.5 | 37.5 | 22.5 | 7.5 | 7.5 |
| R_b | 10.86 | 7.85 | 6.50 | 5.502 | 4.445 | 3.973 | 3.973 |

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de las propiedades ópticas del colector – Transmisividad (τ), Reflexión (ρ) y Absortancia (α).

Los términos ($\tau\alpha$) dependen de las características ópticas de los componentes del sistema, a continuación, se realizará el cálculo para hallar los mismos.

Para poder desarrollar estos cálculos es necesario contar con las siguientes propiedades de los materiales:

- K** : Coeficiente de extinción de la cubierta [m^{-1}].
- n** : Índice refractario de la cubierta [Adimensional].
- L** : Espesor de las cubiertas [m].

Para nuestra aplicación utilizaremos 2 cubiertas de Polimetilmetracrilato (PMMA), las cuales presentan las siguientes características:

Tabla 16.- Propiedades ópticas Polimetilmetacrilato (PMMA).

| Polimetilmetacrilato (PMMA) | |
|-----------------------------|------|
| Coeficiente de extinción | 2 |
| Índice refractivo | 1.49 |
| Espesor | 5 mm |

Fuente: (LIBRERO 2012).

Relación entre los índices refractivos y los ángulos de incidencia y de refracción.

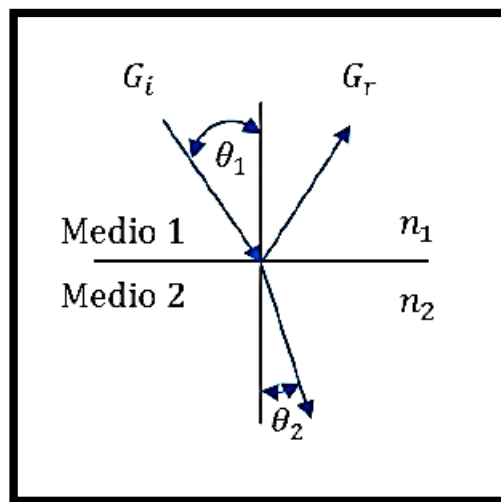


Figura 30.- Relación entre los ángulos de incidencia y refracción. / Fuente: Adaptación de engineering of thermal processes.

Relación de ángulos de incidencia y refracción:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \quad (4.4.2.18)$$

El índice refractivo del aire se aproxima con la unidad, por lo que, cuando uno de los medios es aire, el valor de $n_{\text{aire}} = 1$, como en nuestro caso. A

continuación, se calculan las pérdidas por transmisividad, reflexión y absorción siguiendo la metodología que se presenta a continuación y como en el caso anterior al final se presentaran los resultados para todos los momentos en estudio. (ITESO Febrero de 1995).

Transmisividad

$$\tau = \frac{\tau_{\perp} + \tau_{\parallel}}{2} \quad (4.4.2.19)$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\tau_a (1 - r_{\perp})^2}{1 - (r_{\perp} \tau_a)^2} = \tau_a \frac{1 - r_{\perp}}{1 + r_{\perp}} \left[\frac{1 - r_{\perp}^2}{1 - (r_{\perp} \tau_a)^2} \right] \quad (4.4.2.20a)$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{\tau_a (1 - r_{\parallel})^2}{1 - (r_{\parallel} \tau_a)^2} = \tau_a \frac{1 - r_{\parallel}}{1 + r_{\parallel}} \left[\frac{1 - r_{\parallel}^2}{1 - (r_{\parallel} \tau_a)^2} \right] \quad (4.4.2.20b)$$

Donde

$$r_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} \quad (4.4.2.21a)$$

$$r_{\parallel} = \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \quad (4.4.2.21b)$$

$$r = \frac{I_r}{I_i} = \tau = \frac{\tau_{\perp} + \tau_{\parallel}}{2} \quad (4.4.2.22)$$

$$\tau_a = \frac{I_{transmitida}}{I_{incidente}} = \exp\left(-\frac{KL}{\cos\theta_2}\right) \quad (4.4.2.23)$$

Para la cubierta exterior a -3.5 horas del mediodía tenemos

$$\theta_{1\ c.ext.} = 54.59$$

$$\theta_{2\ c.ext.} = \text{asen}\left(\frac{\text{sen}\theta_1}{n_{pmma}}\right) = 33.16$$

$$\tau_a = \frac{I_{transmitida}}{I_{incidente}} = \exp\left(-\frac{KL}{\cos\theta_2}\right) = \exp\left(-\frac{2 \times 0.005}{\cos 10}\right) = 0.9881$$

$$r_{c.ext} = \frac{I_r}{I_i} = \frac{\tau_{\perp} + \tau_{\parallel}}{2} = \frac{\left[\frac{\text{sen}^2(33.16 - 54.59)}{\text{sen}^2(33.16 + 54.59)} + \frac{\tan^2(33.16 - 54.59)}{\tan^2(33.16 + 54.59)}\right]}{2}$$

$$r_{c.ext} = \left[\frac{0.1337 + 0.0002}{2}\right] = 0.0670$$

$$\tau_{\perp} = \frac{0.9881(1 - 0.1337)^2}{1 - (0.1337 \times 0.9881)^2} = 0.7548$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{0.9881(1 - 0.0002)^2}{1 - (0.0002 \times 0.9881)^2} = 0.9877$$

$$\tau_{c.ext} = \frac{0.9092 + 0.9227}{2} = 0.8712$$

Reflexión

$$\rho_{\perp} = r_{\perp} + r_{\perp} \frac{\tau_a^2 (1 - r_{\perp})^2}{1 - (r_{\perp} \tau_a)^2} = r_{\perp} (1 + \tau_a \tau_{\perp}) \quad (4.4.2.24)$$

$$\rho_{\perp} = 0.2333 \quad \rho_{\parallel} = 0.0005$$

$$\rho_{c.ext} = \frac{0.2333 + 0.0005}{2} = 0.1169$$

Absortancia

$$\alpha_{\perp} = (1 - \tau_a) \left(\frac{1 - r_{\perp}}{1 - r_{\perp} \tau_a} \right) \quad (4.4.2.25)$$

$$\alpha_{\perp} = 0.0119 \quad \alpha_{\parallel} = 0.0119$$

$$\alpha_{c.ext} = \frac{0.0119 + 0.0119}{2} = 0.0119$$

Para la cubierta interior se realiza el mismo procedimiento, considerando la corrección del ángulo de incidencia, ya que este, será igual al ángulo de refracción.

$$\theta_{1\ c.int} = \theta_{2\ c.ext} = 33.16$$

$$\theta_{2\ c.int2} = \text{asen} \left(\frac{\text{sen} \theta_{1\ c.int}}{n_{pmma}} \right) = 21.54$$

$$\tau_{c.int} = 0.9119$$

$$\rho_{c.int} = 0.0774$$

$$\alpha_{c.int} = 0.0107$$

Luego para un sistema de cubiertas tenemos la siguiente fórmula, para determinar los valores en conjunto:

$$\tau = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\tau_1 \tau_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \right)_{\perp} + \left(\frac{\tau_1 \tau_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \right)_{\parallel} \right] \quad (4.4.2.26)$$

$$\rho = \frac{1}{2} \left[\left(\rho_1 + \frac{\tau \rho_2 \tau_1}{\tau_2} \right)_{\perp} + \left(\rho_1 + \frac{\tau \rho_2 \tau_1}{\tau_2} \right)_{\parallel} \right] \quad (4.4.2.27)$$

$$\tau_{2 cubiertas} = 0.8077$$

$$\rho_{2 cubiertas} = 0.1702$$

$$\alpha_{2 cubiertas} = 0.0220$$

Asimismo, se deben hallar los valores para la irradiación difusa y la reflexión del suelo, para lo cual se utilizará la misma metodología considerando los ángulos de incidencia de acuerdo a las ecuaciones o gráfica propuesta por Brandemuehl y Beckman (1980).

$$\theta_{1eq.d} = 59.7 - 0.1388\beta + 0.001497\beta^2$$

$$\theta_{1eq.s} = 90 - 0.5788\beta + 0.002693\beta^2$$

$$\tau_d = 0.7665$$

$$\rho_d = 0.2095$$

$$\alpha_d = 0.0239$$

$$\tau_g = 0.2051$$

$$\rho_g = 0.7100$$

$$\alpha_g = 0.0849$$

Al generarse una interacción importante entre la superficie absorbedora y la cubierta del sistema, es necesario evaluar la combinación de la transmitancia/absortancia la cual se define como:

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d} \quad (4.4.2.28)$$

Considerando el valor de absortancia de la placa absorbedora de 0.95 tendríamos:

$$(\tau\alpha)_b = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d} = \frac{0.8077 \times 0.95}{1 - (1 - 0.95) \times 0.2095} = 0.7754$$

$$(\tau\alpha)_d = 0.7359$$

$$(\tau\alpha)_g = 0.2021$$

Tabla 17.- Resultados del cálculo de Transmitancia, reflexión y absortividad.

| | Horas +/- del medio día solar | | | | | | |
|------------------|-------------------------------|------|------|-------------|------|------|------|
| # Horas | 5.8 | 5.5 | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 1.5 | 0.5 |
| θ_1 | 85 | 83 | 68 | 54 | 41 | 28 | 19 |
| θ_2 | 42 | 42 | 39 | 33 | 26 | 19 | 12 |
| $(\tau\alpha)_b$ | 0.23 | 0.33 | 0.68 | 0.77 | 0.80 | 0.81 | 0.81 |
| $(\tau\alpha)_d$ | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 |
| $(\tau\alpha)_g$ | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| ρ_g | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 |

Fuente: Elaboración propia.

Determinación de la Irradiancia

Al conocer estos valores ya podemos calcular la irradiancia para un momento determinado, al contar con todas las variables de las cuales depende, en el caso de - 3.5 horas; (reemplazando en la formula (4.4.2.1) tenemos:

$$S = G_b R_b (\tau\alpha)_b + G_d (\tau\alpha)_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + \rho_g G (\tau\alpha)_g \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right)$$

$$S = 444 \times 5.50 \times 0.77 + 156 \times 0.74 \left(\frac{1 + \cos 15}{2} \right) + 0.71 \times 600 \times 0.20 \left(\frac{1 - \cos 15}{2} \right)$$

$$S = 1995.26 \text{ W/m}^2$$

Tabla 18.- Resultados de Irradiancia [W/m^2].

| Horas +/- del medio día solar | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|--------|---------------|--------|-------|--------|
| # Horas | 5.8 | 5.5 | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 1.5 | 0.5 |
| G | 0.1 | 100 | 350 | 600 | 750 | 850 | 1100 |
| G_d | 0.026 | 26 | 91 | 156 | 195 | 221 | 286 |
| G_b | 0.074 | 74 | 259 | 444 | 555 | 629 | 814 |
| R_b | 235.9 | 16.85 | 6.50 | 5.502 | 4.445 | 3.973 | 3.973 |
| $(\tau\alpha)_b$ | 0.23 | 0.33 | 0.68 | 0.77 | 0.80 | 0.81 | 0.81 |
| $(\tau\alpha)_d$ | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 |
| $(\tau\alpha)_g$ | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| ρ_g | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 |
| S | 4.033 | 430.6 | 1370.9 | 1995.3 | 2117.2 | 2187 | 2830.3 |

Fuente: Elaboración propia.

La S promedio para los días de mayo es $1562.2 [W/m^2]$.

4.7.3 Cálculo del coeficiente de pérdidas de calor del sistema.

El esquema de la transferencia de calor consiste principalmente de la energía que ingresa al sistema representada con la flecha de color amarillo, el calor útil representado con la flecha verde y las pérdidas por transferencia de calor superior e inferior representadas con las flechas rojas.

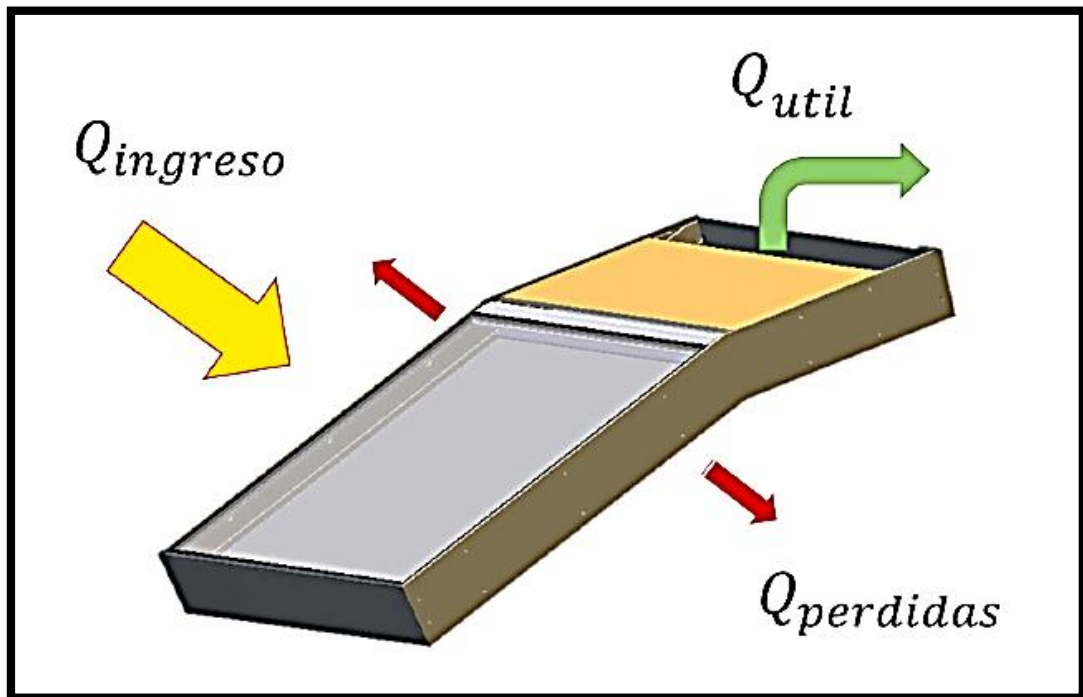


Figura 31.- Esquema de flujos de calor en el colector. / Fuente: Elaboración propia.

Con la finalidad de poder determinar los flujos de calor correspondientes y así poder conocer el coeficiente de pérdidas del sistema para las diferentes condiciones se desarrolló el siguiente proceso iterativo, para obtener el valor del coeficiente global de pérdidas por transferencia de calor del sistema.

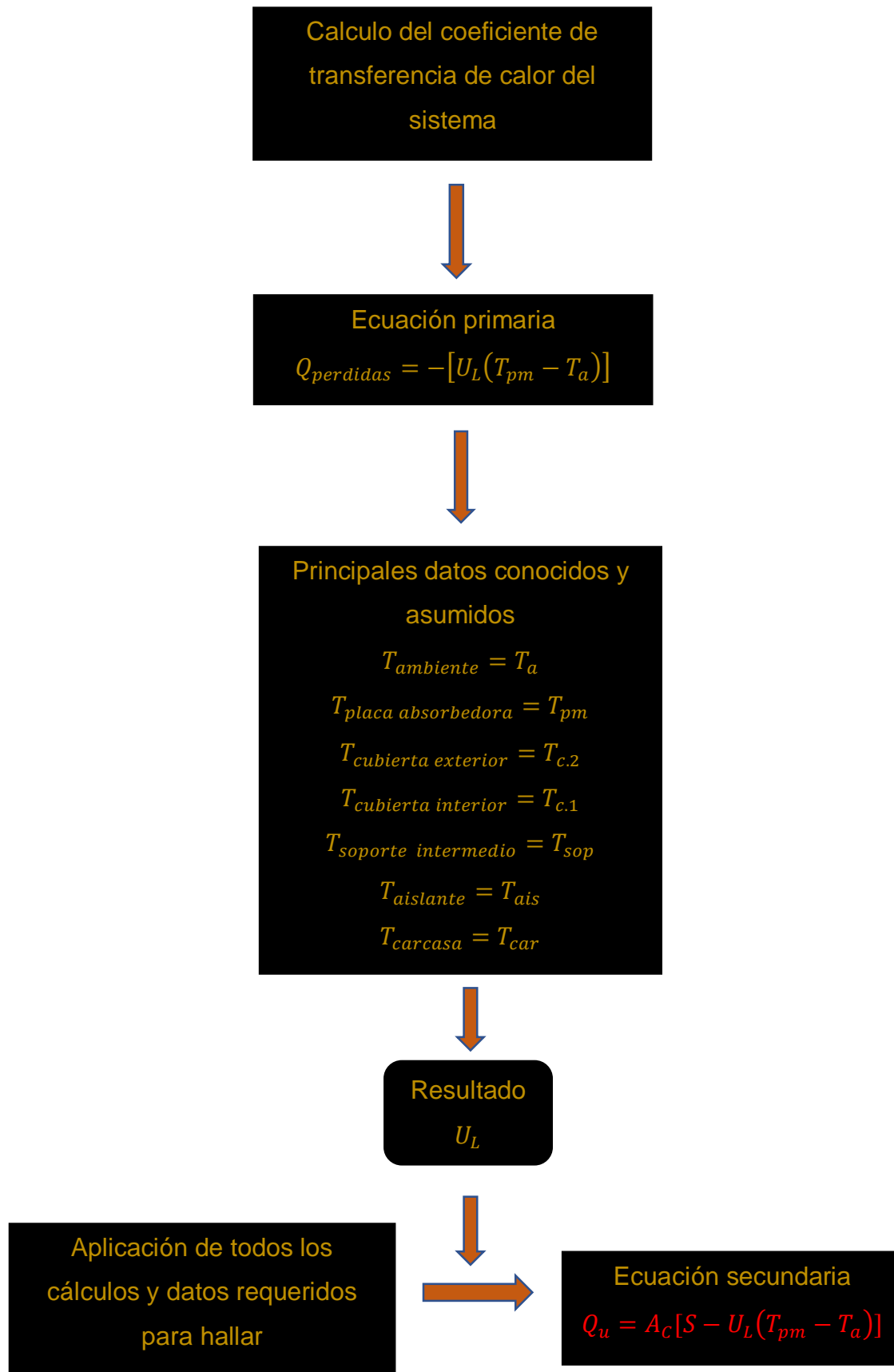


Figura 32.- Proceso de determinación del Coeficiente de pérdidas de calor del sistema. / Fuente: (ITESO febrero de 1995).

A continuación, se presentará un esquema de la vista en sección del colector solar con la finalidad de determinar el circuito de transferencia de calor.

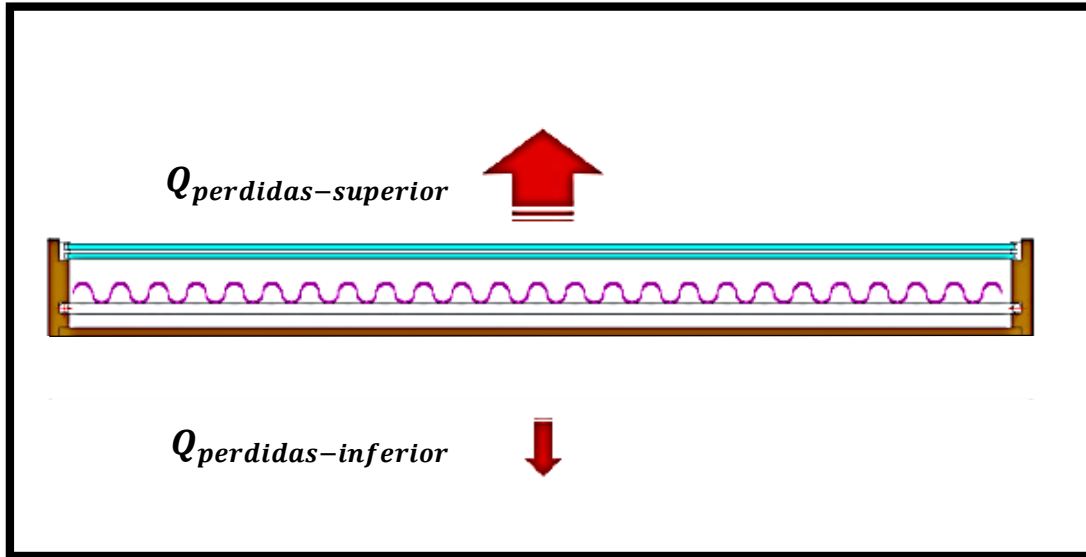


Figura 33.- Sección del colector solar y las pérdidas de calor. / Fuente: Elaboración propia.

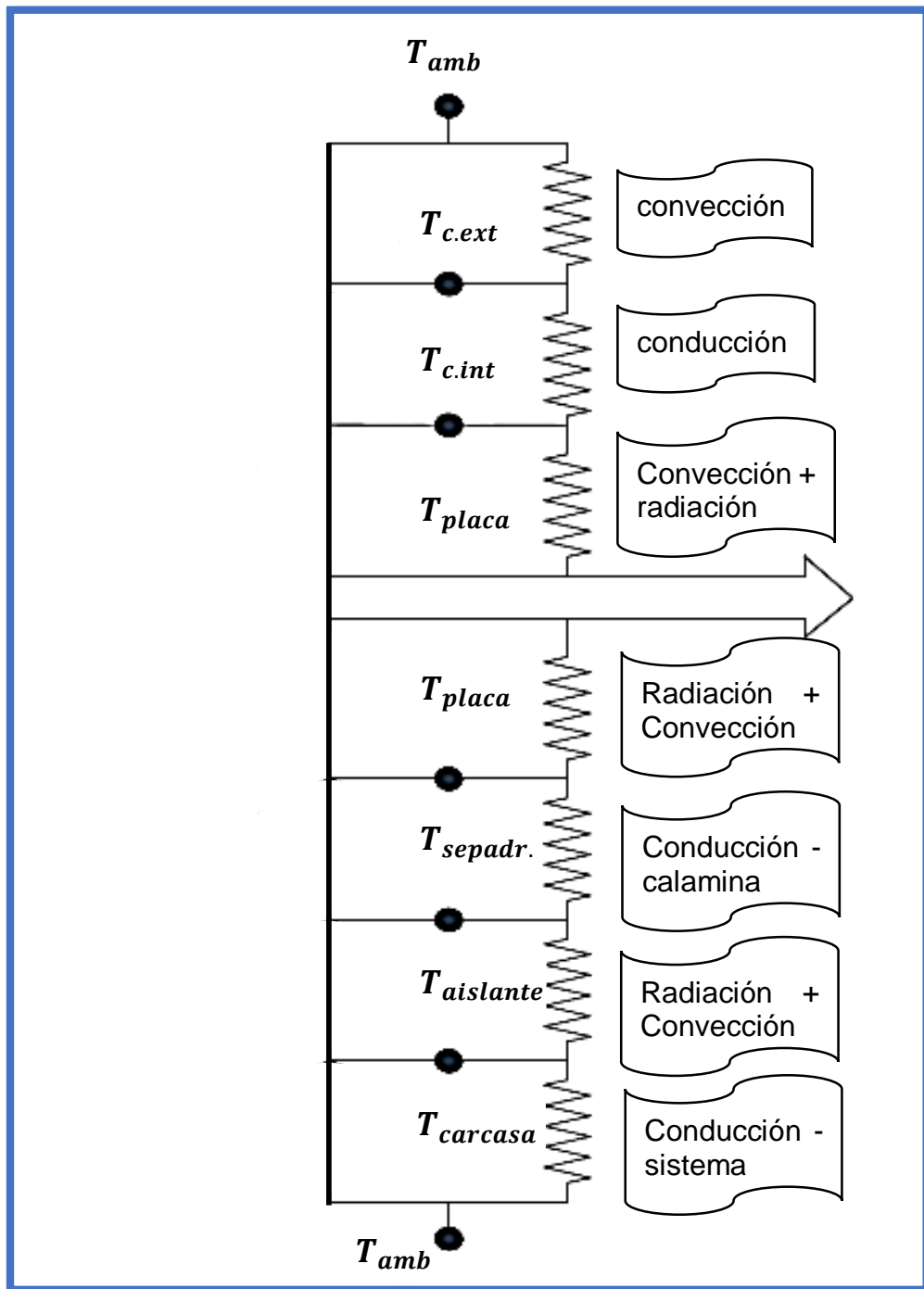


Figura 34.- Diagrama de resistencias equivalentes. / Fuente: Elaboración propia.

Con la finalidad de poder analizar el sistema de transferencia de calor se deben conocer y asumir las temperaturas mostradas en la figura. Como punto de partida para nuestro cálculo se detallarán los siguientes valores:

$$T_{pm} = 343 \text{ K}$$

$$T_{c.2} = 333 \text{ K}$$

$$T_{c.1} = 335 \text{ K}$$

$$T_{sop} = 310 \text{ K}$$

$$T_{ais} = 300 \text{ K}$$

$$T_{car} = 292 \text{ K}$$

$$T_{amb} = 283 \text{ K}$$

Como en el sistema no se produce energía, solamente se capta la proveniente del sol en la placa y esta fluye hacia la parte superior, el calor que fluye por cada etapa del sistema es igual, por lo que tenemos:

$$Q_{sup} = Q_{c.2-amb} = Q_{c.1-c.2} = Q_{placa-c.1} \quad (4.4.3.1)$$

$$Q_{sup} = U_{sup} \times (T_{pm} - T_{amb}) \quad (4.4.3.2)$$

Donde

U_{sup} : Coeficiente superior de transferencia de calor, el cual se define como la inversa de la suma de las resistencias equivalentes.

$$U_{sup} = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (4.4.3.3)$$

Para el presente diseño las resistencias equivalentes se determinan de las siguientes ecuaciones: (ITESO Febrero de 1995).

$$R_1 = \frac{1}{h_{c,c.2-amb} + h_{r,c.2-amb.}} \quad (4.4.3.4)$$

$$R_2 = \frac{1}{h_{c,c.1-c.2} + h_{r,c.1-c.2}} \quad (4.4.3.5)$$

$$R_3 = \frac{1}{h_{c,c.1-p} + h_{r,c.1-p}} \quad (4.4.3.6)$$

Como se aprecia en las fórmulas de las resistencias equivalentes es importante conocer como calcular el coeficiente de radiación entre placas paralelas e inclinadas, los cuales pueden calcularse de la siguiente manera:

$$h_{r,p.1-p2} = \frac{\sigma(T_{p2} + T_{p1})(T_{p2}^2 + T_{p1}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_{p.1}} + \frac{1}{\varepsilon_{p.2}} - 1} \quad (4.4.3.7)$$

Donde

σ : Constante de Stefan Boltzmann $5.67 \times 10^{-8} [W/m^2K^4]$.

$\varepsilon_{p.1}$: Emisividad de la placa 1 [Adimensional].

$\varepsilon_{p.2}$: Emisividad de la placa 2 [Adimensional].

Los valores de las emisividades de los componentes del sistema son:

| ε_{placa} | ε_{c1} | ε_{c2} | ε_{sop} | ε_{ais} | ε_{car} |
|-----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 |

Al aplicar la fórmula se obtienen los valores para los coeficientes de radiación de los tres tramos.

$$h_{r,c.2-amb.} = 6.2705 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{r,c.1-c.2} = 7.4944 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{r,c.1-p} = 7.8371 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Los coeficientes convectivos de los distintos tramos se calculan de la siguiente manera:

Primero, se deben hallar las temperaturas medias de cada tramo ya que debemos conocer las propiedades del aire en cada uno de esos puntos

$$T_{prom.} = \frac{(T_2 + T_1)}{2} \quad (4.4.3.8)$$

$$T_{placa-c.1} = \frac{(T_{placa} + T_{c.1})}{2} = 339 \text{ K}$$

$$T_{c.1.c.2} = \frac{(T_{c.1} + T_{c.2})}{2} = 334 \text{ K}$$

$$T_{c.2.amb} = \frac{(T_{c.2} + T_{amb})}{2} = 308 \text{ K}$$

Luego, con estas temperaturas se extraen las propiedades del aire a dichas temperaturas de las tablas de propiedades del aire.

Tabla 19.- Propiedades del aire a las temperaturas en análisis.

| | T | K | | 308 | 334 | 339 |
|------------------------------|----------|----------|----------|-------|-------|-------|
| Viscosidad cinemática | ν | m^2/s | 1.00E-05 | 1.66 | 1.91 | 1.96 |
| Difusividad Térmica | α | m^2/s | 1.00E-05 | 2.28 | 2.65 | 2.72 |
| Conductividad Térmica | k | W/mK | 1.00E+00 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| Prandtl aprox | | Adim. | 1.00E+00 | 0.73 | 0.72 | 0.72 |
| Densidad | ρ | kg/m^3 | 1.00E+00 | 1.15 | 1.06 | 1.04 |
| Calor Específico | C_p | J/kgK | 1.00E+00 | 1.007 | 1.007 | 1.007 |
| Viscosidad dinámica | μ | kg/ms | 1.00E-05 | 1.89 | 2.01 | 2.03 |

Fuente: Gas Dynamics Tables (2007).

Con la finalidad de poder determinar los coeficientes de convección es que recurrimos a los números adimensionales puesto que nos brindan las herramientas apropiadas para poder despejar los valores de los mismos.

El número de Nusselt (N_u) es un **número** adimensional que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido discurre (transferencia de calor por convección); está en relación al coeficiente convectivo, por lo que de determinarlo podremos hallar este último. (ITESO Febrero de 1995).

$$N_u = \frac{h_c L}{k} \quad (4.4.3.9a)$$

$$h_c = \frac{N_u k}{L} \quad (4.4.3.9b)$$

Donde

L : Longitud característica $[m]$.

k : Conductividad térmica $[W/mK]$.

h_c : Coeficiente convectivo $[W/m^2K]$.

$$N_u = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708(\sin 1.8\beta)^{1.6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ + \left[\left(\frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^+ \quad (4.4.3.10)$$

Donde

β : Ángulo de inclinación del colector [Grados sexagesimales].

Ra : Número de Rayleigh [Adimensional].

El número de Rayleigh se puede determinar con la siguiente fórmula:

$$Ra = \frac{g \beta' \Delta T L^3}{\nu \alpha} \quad (4.4.3.11)$$

Donde

g : Constante de gravitación $[m/s^2]$.

β' : Coeficiente volumétrico $[K^{-1}]$.

Asimismo, es importante considerar el número de Reynolds ya que mediante el uso del mismo podremos identificar el valor de los coeficientes de convección con el ambiente:

$$Ra = \frac{v_s D}{\nu} = \frac{\rho v_s D}{\mu} \quad (4.4.3.12)$$

Donde

v_s : Velocidad característica del fluido [m/s].

ν : Viscosidad cinemática del fluido [m^2/s].

ρ : Densidad del fluido [kg/m^3].

μ : Viscosidad dinámica del fluido [kg/ms].

D : Diámetro o Longitud característica [m].

A continuación, se desarrollarán los dos casos tipo, el de transferencia entre la cubierta exterior y el ambiente que se replicará en la carcasa inferior, y el de placa y la cubierta interior que se replicará para todas aquellas superficies paralelas.

Cálculo del coeficiente para cubiertas exteriores y el ambiente.

El procedimiento consiste en el cálculo del número de Reynolds, siendo la velocidad característica del fluido la velocidad del viento promedio en la localidad de Bella Andina.

Tabla 20.- Velocidad del viento para Bella Andina, registrada en promedio de 4 años.

| Velocidad del Viento; (2001 – 2005) | | | |
|-------------------------------------|------------------|------------------|----------------------------|
| | Velocidad máxima | Velocidad mínima | Velocidad promedio mensual |
| Mayo | 3.1 m/s | 2.6 m/s | 2.85 m/s |
| Junio | 3.5 m/s | 3 m/s | 3.25 m/s |
| Julio | 4.1 m/s | 3.4 m/s | 3.75 m/s |
| Agosto | 3.2 m/s | 2.5 m/s | 2.85 m/s |
| Setiembre | 3 m/s | 2.1 m/s | 2.55 m/s |

Fuente: Ministerio de Agricultura, Región Agraria IX – Chota.

Donde obtenemos como promedio en meses de invierno:

$$v_{s_{c.2.amb}} = 3 \text{ m/s}$$

Asimismo, la longitud característica sería el ancho del colector, ya que, este se encuentra paralelo a las paredes de la edificación, siendo esta la principal corriente de aire.

$$Re_{c.2.amb} = \frac{1.15 \times 3 \times 3}{1.89 \times 10^{-5}} = 5.47 \times 10^5$$

Cuando el valor del Número de Reynolds es menor a 10^6 se puede considerar la siguiente correlación con el Número de Nusselt

$$Nu_{u_{c.2.amb}} = 0.86 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad (4.4.3.13)$$

$$N_{u_{c.2.amb}} = 0.86 \times (5.47 \times 10^5)^{\frac{1}{2}} (0.73)^{\frac{1}{3}} = 572.7$$

$$h_{c_{c.2.amb}} = \frac{572.7 \times 0.03}{3} = 5.727 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Cálculo del coeficiente para superficies paralelas al interior del colector.

El segundo desarrollo tipo que se presenta, es el cual se realiza para hallar el coeficiente de convección entre la placa absorbadora y la cubierta interior. Para el desarrollo de coeficientes de convección es necesario la temperatura media y las propiedades del aire, el coeficiente volumétrico y el espaciamiento entre las superficies para este caso son:

Anteriormente conociendo las temperaturas de:

$$T_{pm} = 343 \text{ K}$$

$$T_{c.1} = 335 \text{ K}$$

Obtenemos:

$$T_{placa-c.1} = 339 \text{ K}$$

$$\beta'_{placa-c.1} = \frac{1}{339} = 0.0029 \text{ K}^{-1}$$

$$L_{placa-c.1} = 0.10 \text{ m}$$

Con estos valores y las propiedades del aire se calcula el número de Rayleigh y luego el Número de Nusselt

$$Ra_{placa-c.1} = \frac{g\beta'\Delta TL^3}{\nu\alpha} = \frac{9.81 \times 0.0029 \times (343 - 335) \times (0.1)^3}{1.96 \times 10^{-5} \times 2.72 \times 10^{-5}} = 2.78 \times 10^4$$

$$Nu_{placa-c.1} = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708(\sin 1.8\beta)^{1.6}}{2.78 \times 10^4 \cos 15} \right] \left[1 - \frac{1708}{2.78 \times 10^4 \cos 15} \right]^+ \\ + \left[\left(\frac{2.78 \times 10^4 \cos 15}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^+ = 2.99$$

Una vez conocido el Número de Nusselt utilizamos la fórmula que lo relaciona con el coeficiente de convección y determinamos este último.

$$h_{c_{placa-c.1}} = \frac{2.99 \times 2.85 \times 10^{-2}}{0.1} = 2.1311 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Al aplicar este método tipo al tramo 2, podemos lograr hallar las tres resistencias equivalentes del sistema.

$$h_{r,c.2-amb.} = 6.2705 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{r,c.1-c.2} = 7.4944 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{r,c.1-placa} = 7.8371 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{c_{placa-c.1}} = 2.1311 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{c_{c.1-c.2}} = 7.0383 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{c_{c.2-amb}} = 5.727 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_1 = \frac{1}{5.727 + 6.2705} = 0.0834$$

$$R_2 = \frac{1}{7.0383 + 7.4944} = 0.0688$$

$$R_3 = \frac{1}{2.1311 + 7.8371} = 0.1003$$

$$U_{sup} = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{1}{0.0834 + 0.0688 + 0.1003} = 3.9612 \text{ W/m}^2\text{K}$$

En el caso del circuito inferior, existe una capa de aislamiento para la cual se debe calcular el coeficiente de pérdidas por conducción.

$$h_{co.1} = \frac{k_1}{L_1} \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$k_{ais} = 0.450 \text{ W/mK}$$

$$L_{ais} = 0.0127 \text{ m} = 12.7 \text{ mm}$$

$$k_{car} = 0.15 \text{ W/mK}$$

$$L_{car} = 0.01 \text{ m} = 10 \text{ mm}$$

$$h_{co.ais} = \frac{k_{ais}}{L_{ais}} = 35.433 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{co.car} = \frac{k_{car}}{L_{car}} = 15.00 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Obteniendo que la resistencia equivalente para este tramo es

$$R_6 = \frac{1}{h_{co.ais} + h_{co.car}} = \frac{1}{35.433 + 15} = 0.0198$$

Luego siguiendo los ejemplos modelo de cálculo desarrollados anteriormente, se hallan las resistencias equivalentes faltantes

$$R_4 = 0.0990$$

$$R_5 = 0.1335$$

$$R_7 = 0.0703$$

Para el presente diseño las resistencias equivalentes se determinan de las siguientes ecuaciones

$$U_{inf} = \frac{1}{R_4 + R_5 + R_6 + R_7} = 3.0998 \text{ W/m}^2\text{K}$$

El coeficiente global de pérdidas del colector sería:

$$U_{global} = U_{sup} + U_{inf} = 7.061 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

4.7.4 Determinación del calor útil del sistema.

Se procede a determinar el calor útil para diferentes momentos del día y verificaremos su impacto en la habitación de la posta de salud. Para el caso específico de Bella Andina utilizaremos el coeficiente de pérdidas para cada instante, para otras aplicaciones se puede tomar el promedio hallado anteriormente para simplificar el procedimiento.

Aplicando la formula (4.4.5)

$$Q_{util} = A_c [S - U_L(T_{pm} - T_a)]$$

Tabla 21.- Calor útil aportado del sistema.

| Horas +/- del medio día solar | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|--------|---------------|--------|--------|---------|
| # Horas | 5.8 | 5.5 | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 1.5 | 0.5 |
| S | 4.033 | 430.6 | 1370.9 | 1995.3 | 2117.2 | 2187 | 2830.3 |
| Q_u | -- | 38.5 | 5247.7 | 8706.9 | 9382.2 | 9768.9 | 13332.8 |

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a nuestros cálculos tenemos en cuenta que se está realizando para un día n° del mes de mayo y para una hora estimada de 3.5 horas del día; en conclusión, tenemos que el calor aportado por el sistema en promedio diario para los meses de mayo en Bella Andina es de **7,913 W** por lo cual ahora debemos conocer el calor requerido.

El objetivo de la tesis fue incrementar la temperatura a un ambiente agradable o superior a lo que dicho establecimiento cuenta, por lo que procedemos a verificar el requerimiento de la habitación. Se conoce un volumen de la misma de 210 m³.

CAPITULO V

DESARROLLO DEL PROCESO DE SELECCIÓN

El presente apartado, busca facilitar la diversificación de la tecnología desarrollada, con el fin de que la misma pueda ser replicada en localidades con condiciones climáticas similares.

5.1 Definición de los parámetros de selección a emplear

Acorde con el objetivo de diversificación se debe especificar los parámetros accesibles al público en general. A continuación, presentamos los parámetros a utilizar:

Temperatura ambiente promedio:

Como se aprecia en la sección de los cálculos, este es el punto de partida para el análisis de la problemática y el estudio termodinámico. Recordar que el sistema se diseña con el propósito de incrementar la temperatura.

Velocidad de viento promedio:

Este factor es de vital importancia, debido a que, a mayores velocidades de viento la transferencia de calor del sistema con su entorno incrementa drásticamente, por lo que se perderá eficiencia.

Irradiación solar promedio diaria:

Valor fundamental en nuestro análisis, debido a que, es la fuente de energía que nos permite aprovechar la misma de una manera adecuada para nuestro confort.

En adición a los parámetros antes mencionados es importante reconocer que cambios drásticos pueden existir entre los valores presentados en el cálculo de la tesis y la localidad objetivo, ya que esos parámetros pueden alterar el desempeño del sistema.

Presión atmosférica:

Su importancia radica en la variación de las propiedades físicas del aire a diferentes presiones y temperaturas. En caso no se pueda contar con una tabla isobárica, a la presión indicada de propiedades físicas del aire, se podrán utilizar tablas de presión de una atmósfera. La densidad si deberá corresponder a la presión atmosférica real.

Horas de irradiación útil:

Determina las horas útiles de nuestro sistema, es uno de los parámetros limitantes de nuestro sistema.

Volumen de habitación y perdidas térmicas por transmisión, ventilación o infiltraciones de aire:

Es de suma importancia conocer estos valores para poder determinar la carga térmica de diseño.

Latitud de la localidad:

La latitud de la zona donde se instalará el dispositivo nos indicará el ángulo de inclinación con el cual debemos instalar nuestro sistema. El método de selección se ha generado asumiendo una inclinación de 15° debido a que la mayoría del territorio alto andino del Perú se encuentra en la mencionada latitud. Para aplicaciones en latitudes mayores a 15° se deberán realizar correcciones a los cálculos, para latitudes inferiores no hay problema debido a que 15° es el mínimo recomendable para que la superficie del colector sea auto limpiante.

5.2 Costos de materiales del sistema

Para nuestro proyecto se ha hecho un análisis de costos a los materiales a utilizar, lo cual nos permite brindar una información a los pobladores de la zona para que puedan tener una idea de cuanto les puede costar al querer adquirir el sistema para sus propios hogares ya que una de las intenciones es que este diseño sea replicable en la población.

Tabla 22.- Costos de materiales a utilizar.

| BIENES | CANTIDAD | MATERIAL | Precio Unitario (S/.) | Precio Total (S/.) |
|-------------------------------|--|---|--------------------------------|---------------------|
| Doble Cubierta | 4 – (150 cm ancho x 90 cm longitud) | Polimetilcrilato PMMA | 94.74 (€) = 379.87 S/. | 1,519.4 S/. |
| Placa Colectora | 3 – (102.6 cm ancho x 180 cm longitud) | Calamina Convencional (Aluminio) | 20.90 S/. | 62.7 S/. |
| Separador | 1 – (1 cm de espesor / $5.4 m^2$) | Madera de pino | 8.75 S/. / m^2 | 47.25 S/. |
| Aislante | $157.7 m^2$ | Poliestireno (Tecnopor) | 10.90 S/. / Plancha $2.88 m^2$ | 596.85 S/. |
| Carcasa | ---- | madera | ---- | 40.0 S/. |
| Soporte General | $12.7 m^2$ | Aluminio (3 cm de lado) | 7.2 S/. / m^2 | 91.4 S/. |
| Ducto de Aire Caliente | 40 m x 0.44 m = $17.6 m^2$ | Aluminio + fibra de vidrio (25 mm de espesor) | 21.68 S/. / m^2 | 381.5 S/. |
| Ducto de Aire Frio | 2 m | PVC (11 cm de lado / 2 mm de espesor) | \$ 1.98 / metro = 6.49 S/. | 12.98 S/. |
| Rejillas | 6 | Rejillas KRLZ2 Acero Galvanizado (22 cm x 9 cm) | \$ 7.89 = 31.6 S/. | 189.6 S/. |
| Tapa de Escape | 1 | Acero Galvanizado (Diamet. 5 cm) | \$ 9.8 = 32.14 S/. | 32.14 S/. |
| Tornillos | 100 unidades | Metal (7.5 x 80 mm) | 8.90 S/. x 10 unidades | 89.0 S/. |
| Abrazaderas | 40 | Metal (4" de lados) | 4.90 S/. x 5 unidades | 39.2 S/. |
| COSTO TOTAL | | | | 3,102.02 S/. |

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Cantidad de carga térmica que brinda el sistema y la que se requiere

En el caso desarrollado en los capítulos anteriores el recurso solar correspondió al mes de mayo y su valor es de $5kWh/dia$ por lo que obtenemos que tres colectores solares brindaran **7,913 W**.

verificando la cantidad de colectores asumidos

Para comprobar la cantidad de colectores asumidos en nuestro cálculo, para la aplicación hay que analizar la necesidad energética para lo cual se presentan a manera simplificada los siguientes valores.

- 01 persona descansando requiere **866 Watts** diarios.
- 01 habitación de $84 m^2$ con una altura de $2.5 m$, requiere de $Q_T = 640.95 Watts$ diarios.
- El calor requerido por la habitación es $Q_T = 646.7 W$
- El calor que puede ser entregado por el sistema es de **7,913 W**.
- El calor requerido por las personas es de $866 \times 8 = 6,928 W$.
- El calor requerido total es de **7,574.7 W** lo cual es menor a **7,913 W** por lo que tres colectores es suficiente.

En caso el requerimiento sea mayor que el calor entregado se debe de contar con un número mayor de colectores.

CONCLUSIONES

Se diseñó un sistema de calefacción solar para la posta de salud de Bella Andina, el cual recopilando estudios básicos sobre el comportamiento de la energía solar de la zona se aprecia que inclusive en condiciones desfavorables de temperatura ambiente de -10 grados, velocidad promedio del viento de 3 m/s y recurso solar de 5 kWh/m^2 el calor generado por el sistema satisface el calor requerido para la aplicación.

Al hacer un diagnóstico de la posta de salud, para tener un proyecto solución optimo desde el punto electromecánico se complementó a nuestro sistema un acumulador de calor (lecho de piedras), más el recubrimiento con poliestireno (Tecnopor, 2.54 cm de espesor); con la intención de mantener el calor interno durante las noches y así poder mantener el ambiente caliente durante el mayor tiempo posible.

El sistema de calefacción solar diseñado cumple con los requisitos planteados, puesto que se ha logrado elevar la temperatura interior de una habitación de la posta de salud, calculando la carga térmica de diseño a una temperatura necesaria de 22 °C la cual es mayor de la que cuenta, utilizando un sistema económico con una vida útil aceptable debido a los materiales empleados, se ha mantenido la simpleza en el sistema facilitando la instalación y el mantenimiento.

Las pérdidas por convección con el medio ambiente se ven sumamente reducidas al incorporar una segunda cubierta en el sistema, lo cual incrementa su eficiencia.

Se ve que la carga térmica total requerida para este establecimiento, entre la habitación especificada considerando sus pérdidas térmicas por transmisión a través de cerramientos, ventilación o enfriamiento de aire y la cantidad de personas asumidas, con un calor de 866 *W* cada una durante las 24 horas, es menor al calor útil del sistema diseñado.

Para tener una idea de cuanto puede llegar a gastarse en este sistema, se ha determinado los precios de cada material a utilizar en el diseño lo cual da como resultado un monto total de 3,102.02 S/.; esto permite a los pobladores hacer una evaluación de sus propios medios y poder implementar en sus viviendas.

RECOMENDACIONES

Es de suma importancia minimizar cualquier tipo de pérdidas de energía, esto incluye tanto las uniones del colector como las condiciones del recinto objetivo, por lo que se recomienda verificar la hermeticidad del colector y de las habitaciones principalmente techos, ventanas, puertas y junta de paredes.

Es importante realizar la limpieza de manera continua a la cubierta del colector, puesto que, la acumulación de polvo sobre la misma genera una caída en la eficiencia.

En caso de tener una temperatura muy elevada que sería en tiempos de verano, se recomienda cerrar las rejillas de las habitaciones ya que son manuales y abrir la tapa de escape del sistema.

Para aquellos casos en los cuales la masa térmica de las habitaciones sea reducida y se pueda anticipar que no retendrá el calor por las noches, se puede instalar el presente sistema en conjunto con una cama calefactora o una chimenea interna con la finalidad de obtener mayores beneficios.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, ANGEL REMIGIO AMANGANDI. *DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACION*. CHIMBORAZO -ECUADOR, 2012.
- AIPEX. *asociacion iberica de poliestireno expandido*. barcelona: numancia 185, 2011.
- ASHRAE. *TECNOLOGIA DEL FRIO*. BUENOS AIRES, 2008.
- Beckamn, Duffie y. *Adaptacion Solar*. EE.UU.:(2013). Engineering thermal processes.
- Beckman, Brandemuehl y. *Solar Energy Thermal Technology*. softcover reprint of the hardcover : New York, (1980).
- Crawford, Kays and. *McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering*. Stanford University: Third Edition, 1993.
- DECO, CLIMAVÉR. *SOFTWARE DE DIMENSIONAMIENTO DE DUCTOS HVAC*. 2014. <http://www.isover.net/programaconductos/>.
- DUFFIE J.A. Y BECKMAN W.A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2° edición, pp 393-399. Wiley.
- EL, INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN. *Confort térmico*. Barcelona: Thermal Confort, 1983.
- Erbs. *economical and technical considerations for solar tracking*. higher institute for applied sciences and technology, syria: s.soulayman, 1982.
- EVANS, J. M. Y SILVIA DE SCHILLER (1994), *Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar*.
- FRANK P. INCROPERA, DAVID P. DEWITT. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. College of Engineering: et al., 1996.

HIGIENE, INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E. *Confort térmico*. Barcelona: Thermal Confort, 1983.

INEI. *POBLACIÓN Y VIVIENDA*. CHOTA-CAJAMARCA: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA , 2002-2007.

ITESO. *Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente* . Tlaquepaque - Mexico: Miryam Mendoza Rmires , Febrero de 1995.

KORNHER, STEVE Y ANDY ZAUGG; 2006 *The complete handbook of solar air heating Systems*. Knowledge publications.

LIBRERO, JAVIER GARCIA. *Características y Propiedades - Polimetilmetacrilato*. barcelona: plexiglas , 2012.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, Region Agraria IX-Chota. *Temperaturas Bella Andina- Chota - Cajamarca*. Chota - Cajamarca: Region Agraria IX, 2001-2005.

RIVAS, PAULINO. *INSTALACIONES Y EFICIENCIA ENERGETICA*. 2017. <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/>.

SAYIGH A., (1979), *Solar Thermal Energy Storage Systems*, Solar Energy Application in Buildings, Cap. 4, Academic Press.

S. Bistoni, A. Iriarte y Academic Press. *Acumulador Lecho de Piedra*. CATAMARCA: Ciencias de la Ingeniería, Agronomía y Tecnología, 1979.

SENAMHI-FAO. (2010). *Atlas de Heladas del Perú*. LIMA - PERÚ: Servicio Nacional De Meteorología E Hidrología Del Perú.

SENAMHI. «Promedio de Irradiacion Diaria.» 2005.

SERVINDI. *Servicios en comunicación Intercultural*. 2015. <https://www.servindi.org/>.

Stefan-Boltzmann. <http://www.oxfordreference.com/>. s.f.

https://es.wikipedia.org/wiki/Constante_de_Stefan-Boltzmann.

TELKES, M., (1955). Solar Heat Storage, Solar Energy Research, University of Wisconsin Press, Madison.

VITROMART. *VITRO*. 2012. WWW.vitromart.com.

ZAPATA, FELIPE EDUARDO ACUÑA. *SISTEMA DE MURO TROMBE*. CHILE, 2012.

ANEXOS

RESULTADOS DE CALCULOS Y DATOS CLAVES

Tabla 1.

Nivel de Temperatura para Bella Andina, registrada en promedio de 4 años.

| | |
|--------------------------|-----------------|
| Promedio total: (°C – K) | 9.85 °C / 283 K |
|--------------------------|-----------------|

Fuente: Ministerio de Agricultura, Región Agraria IX – Chota.

Del análisis realizado podemos identificar que para la ubicación del poblado de Bella Andina los valores promedio de irradiación diaria sobre una superficie horizontal en los meses de menor temperatura, mayo a septiembre, varían entre **4.5 – 6.5 kWh/m²**.

- Área del colector $A_c = 5.5404 \text{ m}^2$.

Tabla 14.

Resultados del cálculo de Irradiación global, directa y difusa.

| Horas +/- del medio día solar | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|------|-------|------|--------|
| # Horas | 5.8 | 5.5 | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 1.5 | 0.5 |
| $\omega (-am/+pm)$ | 87.6 | 82.5 | 67.5 | 52.5 | 37.5 | 22.5 | 7.5 |
| G_o | 0.1 | 100.5 | 417.8 | 703 | 936.8 | 1103 | 1190.7 |
| θ_z | 90 | 85.7 | 71.8 | 58 | 45.5 | 34.3 | 27 |
| G | 0.1 | 100 | 350 | 600 | 750 | 850 | 1100 |
| G_d | 0.026 | 26 | 91 | 156 | 195 | 221 | 286 |
| G_b | 0.074 | 74 | 259 | 444 | 555 | 629 | 814 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17.

Resultados del cálculo de Transmitancia, reflexión y absortividad.

| Horas +/- del medio día solar | | | | | | | |
|-------------------------------|------|------|------|-------------|------|------|------|
| # Horas | 5.8 | 5.5 | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 1.5 | 0.5 |
| θ_1 | 85 | 83 | 68 | 54 | 41 | 28 | 19 |
| θ_2 | 42 | 42 | 39 | 33 | 26 | 19 | 12 |
| $(\tau\alpha)_b$ | 0.23 | 0.33 | 0.68 | 0.77 | 0.80 | 0.81 | 0.81 |
| $(\tau\alpha)_d$ | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 |
| $(\tau\alpha)_g$ | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| ρ_g | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18.

Resultados de Irradiancia [W/m^2].

| Horas +/- del medio día solar | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|--------|---------------|--------|-------|--------|
| # Horas | 5.8 | 5.5 | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 1.5 | 0.5 |
| G | 0.1 | 100 | 350 | 600 | 750 | 850 | 1100 |
| G_d | 0.026 | 26 | 91 | 156 | 195 | 221 | 286 |
| G_b | 0.074 | 74 | 259 | 444 | 555 | 629 | 814 |
| R_b | 235.9 | 16.85 | 6.50 | 5.502 | 4.445 | 3.973 | 3.973 |
| $(\tau\alpha)_b$ | 0.23 | 0.33 | 0.68 | 0.77 | 0.80 | 0.81 | 0.81 |
| $(\tau\alpha)_d$ | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 |
| $(\tau\alpha)_g$ | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| ρ_g | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 |
| S | 4.033 | 430.6 | 1370.9 | 1995.3 | 2117.2 | 2187 | 2830.3 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21.
Calor útil aportado del sistema.

| Horas +/- del medio día solar | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|--------|---------------|--------|--------|---------|
| # Horas | 5.8 | 5.5 | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 1.5 | 0.5 |
| S | 4.033 | 430.6 | 1370.9 | 1995.3 | 2117.2 | 2187 | 2830.3 |
| Q_u | -- | 38.5 | 5247.7 | 8706.9 | 9382.2 | 9768.9 | 13332.8 |

Fuente: Elaboración propia.

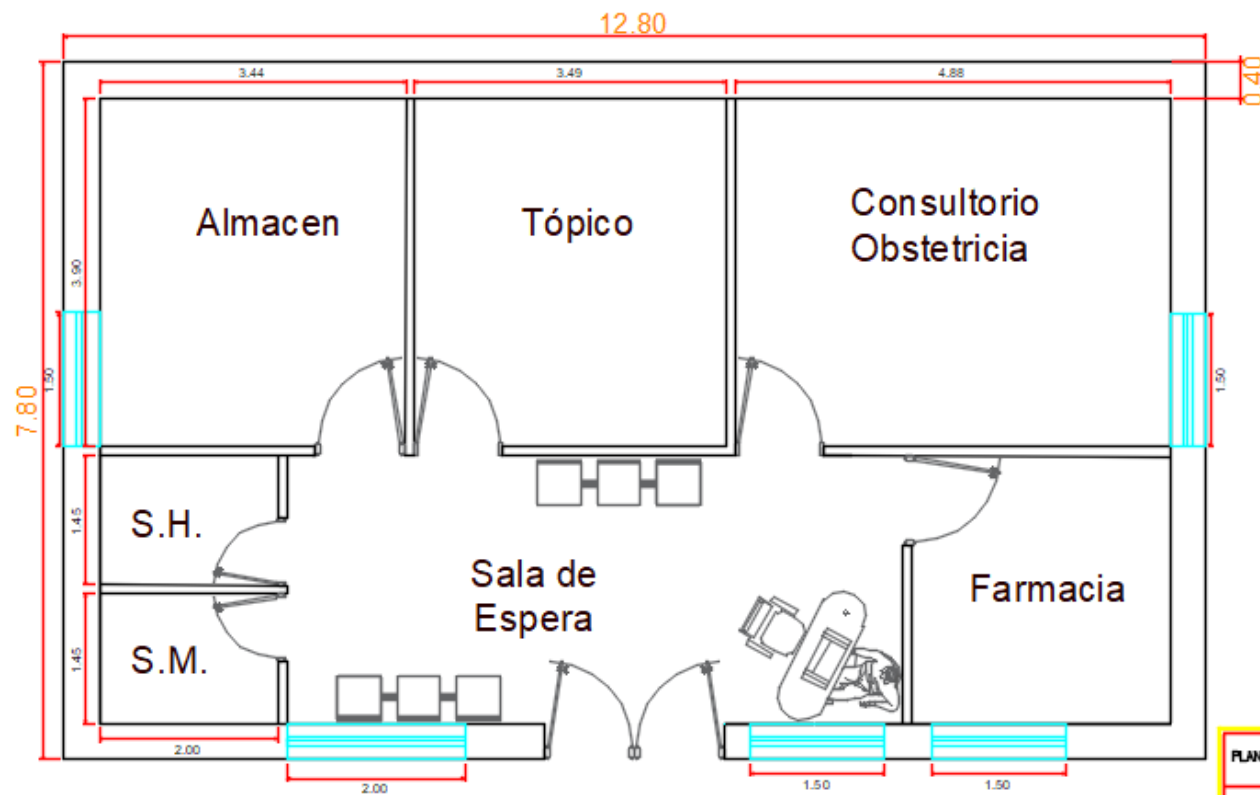
Cálculos para la carga térmica:

- El calor que puede ser entregado por el sistema es de **7,913 W**.
- El calor requerido por las personas es de **866 x 8 = 6,928 W**.
- El calor requerido por la habitación es de **Q_T = 646.7 W**.
- El calor requerido total es de **7,574.7 W** lo cual es menor a **7,913 W** por lo que tres colectores es suficiente.

En caso el requerimiento sea mayor que el calor entregado se debe de contar con un número mayor de colectores.

PLANOS

PLANO DE DISTRIBUCION DE HABITACIONES POSTA DE SALUD - BELLA ANDINA



PLANO : DISTRIBUCION DE HABITACIONES

UBICACIÓN : Chota - Cajamarca

LAMINA:

IE - 01

PROVINCIA : CHOTA

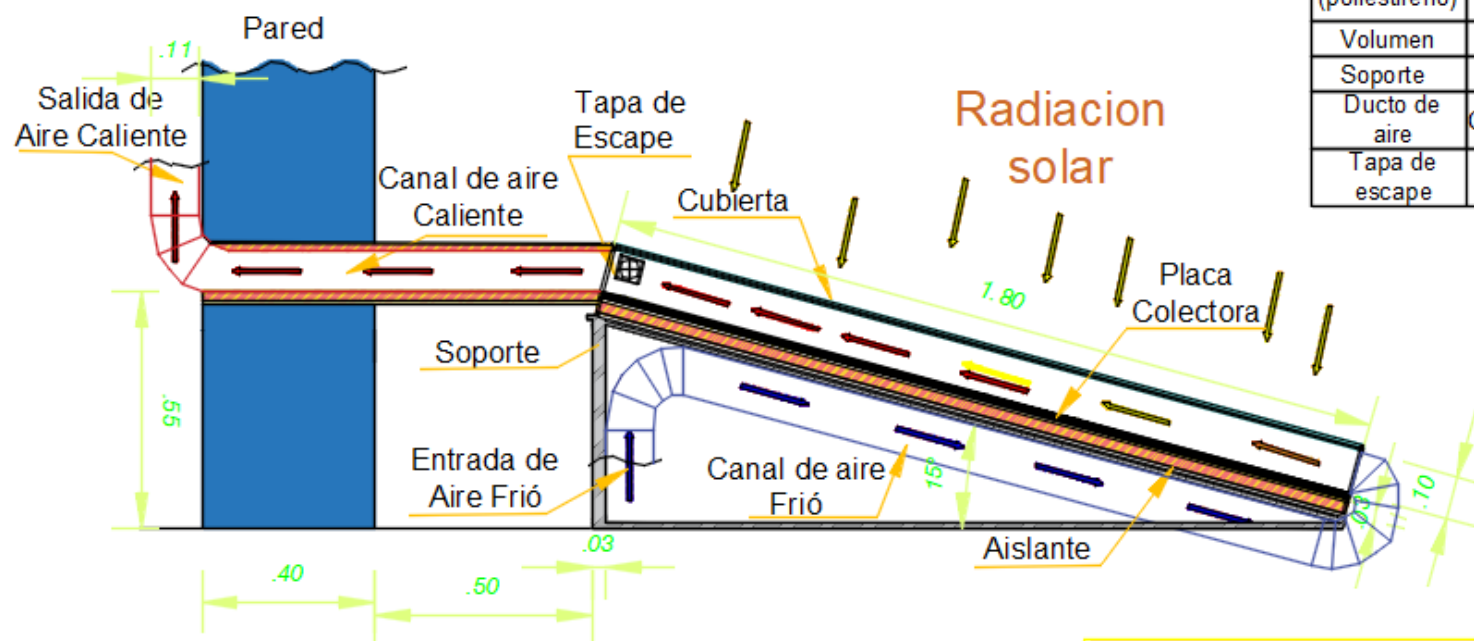
POBLADO : BELLA ANDINA

FECHA : NOVIEMBRE 2017

DIBUJADO POR:

Ander Tito Irigoin
Bustamante

ESQUEMA DEL COLECTOR SOLAR



LEYENDA

| Materiales | Especificaciones |
|-------------------------|---|
| Cubiertas (2) | área total 5.4 m ² |
| Placa Colectora | 5.4 m ² - 0.16 mm |
| Aislante (poliestireno) | 5.4 m ² - 2.54 cm de espesor |
| Volumen | 0.57 m ³ |
| Soporte | Aluminio |
| Ducto de aire | Cuadrado - 11 cm de L |
| Tapa de escape | Diametro 5 cm |

PLANO: COLECTOR SOLAR

LAMINA:

UBICACION: Chota Cajamarca

IE-02

PROVINCIA: Chota

DIBUJADO POR:

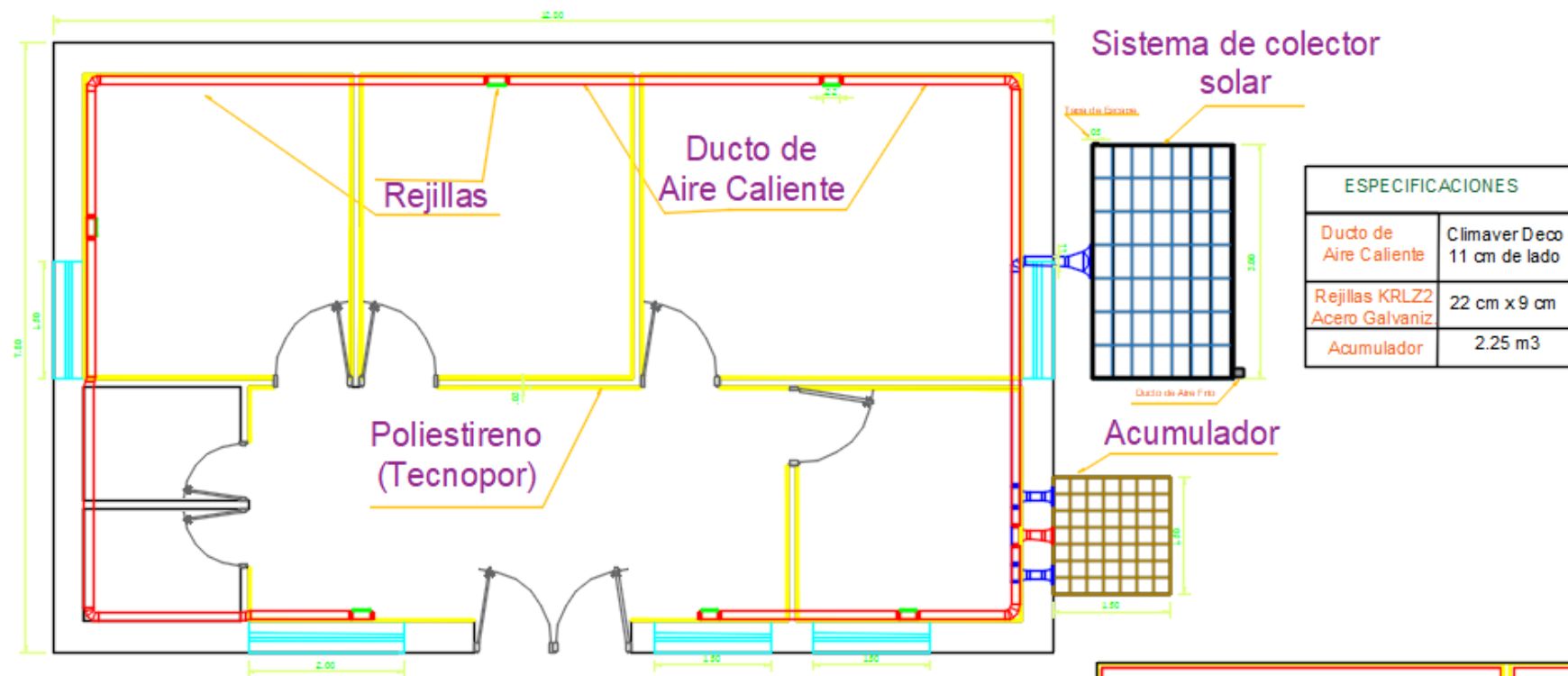
POBLADO: Bella Andina

Ander Tito

FECHA: Noviembre 2017

Irigoin Bustamante:

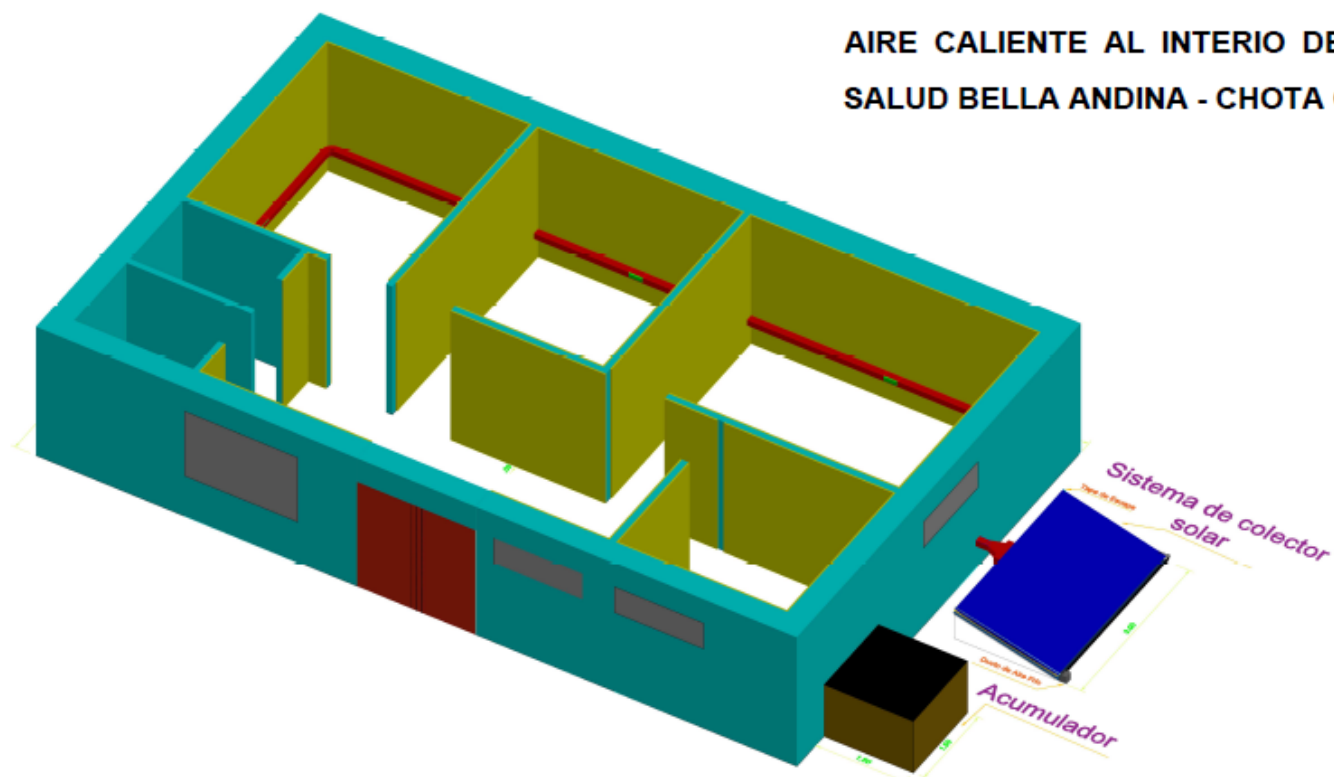
PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE CALIENTE POSTA DE SALUD - BELLA ANDINA



| ESPECIFICACIONES | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Ducto de Aire Caliente | Climaver Deco 11 cm de lado |
| Rejillas KRLZ2 Acero Galvaniz | 22 cm x 9 cm |
| Acumulador | 2.25 m3 |

| | | |
|-------------|------------------------|--|
| PLANO : | DUCTO DE AIRE CALIENTE | LAMINA: IE - 03 |
| UBICACION : | Chota - Cajamarca | |
| PROVINCIA : | CHOTA | DIBUJADO POR: Ander Tito Irigoin Bustamante |
| POBLADO : | BELLA ANDINA | |
| FECHA : | NOVIEMBRE 2017 | |

ESQUEMA DEL SISTEMA, DEL ACUMULADOR,
 ABSORCION DE AIRE FRIO Y DISTRIBUCION DE
 AIRE CALIENTE AL INTERIO DEL PUESTO DE
 SALUD BELLA ANDINA - CHOTA CAJAMARCA.



PLANO : **PROYECTO SOLUCION OPTIMO**

LAMINA :

UBICACION : CHOTA - CAJAMARCA

IE - 04

PROVINCIA : CHOTA

DIBUJADO POR :

POBLADO : BELLA ANDINA

Ander Tito

FECHA : NOVIEMBRE 2017

Irigoin Bustamante