

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO DE PANEL ENFRIADO PARA
APLICACIÓN EN COBERTURA DE TECHO DE
42m² EN LA REGION DE AREQUIPA, PERÚ**

**Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico,
que presenta el bachiller:**

CARLOS ALFREDO BUSQUETS ELLIOT

ASESOR: Enrique José Barrantes Peña

Lima, Febrero del 2018





DEDICATORIA

A mis padres,

Mi Tío Carlos y mi Tía Olga



AGRADECIMIENTOS

A mi asesor, profesores y compañeros, gracias a los cuales este humilde trabajo fue posible.

RESUMEN

En Perú existen diversas poblaciones que no cuentan con acceso a viviendas, cuyo diseño contemple el clima de la zona habitada. Esto suele traducirse como una incomodidad por parte del ocupante de la vivienda, al verse obligado a permanecer en un ambiente con una temperatura alejada del rango considerado como de confort.

Tras una investigación, se selecciona a la localidad de “La Joya”, provincia de Arequipa”. Esta Localidad al ser habitada por pobladores de escasos recursos, y al estar sometida a una irradiación solar anormalmente alta, que promedia hasta 8Kw-h/m² según SENAMHI; reúne los factores causantes de una alta carga térmica por techo, la cual se traduce en una alta temperatura interior del recinto y la consecuente incomodidad del habitante.

Para dar solución al problema, se propone la utilización de un “Techo enfriado”. Este tendría como característica principal el ser una única estructura alivianada provista de canales de refrigeración, capaz de sustituir el sistema convencional de techo de fibras naturales o láminas metálicas.

Tras el diseño térmico y las comprobaciones mecánicas, se logra determinar que es posible evitar hasta un 61% de la carga térmica del recinto a través del techo, utilizando un caudal de agua de refrigeración de 270l/h.

Para ejemplificar la aplicación, se recurre al modelo de vivienda utilizado en el proyecto “Inkaq Samanan”. Finalmente se analiza la posibilidad de aprovechar el calor antes problemático, llegándose así al diseño de una vivienda fresca y con agua caliente solar/eléctrica.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO : DISEÑO DE PANEL ENFRIADO PARA APLICACIÓN EN COBERTURA DE TECHO DE 42m² EN LA REGIÓN DE AREQUIPA, PERÚ

ÁREA : Energía #415

PROPUESTO POR : Carlos Alfredo Busquets Elliot

ASESOR : Ing. Enrique José Barrantes Peña

TESISTA : Carlos Alfredo Busquets Elliot

CÓDIGO : 20080204

FECHA : 25 de septiembre de 2017



DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:

En las zonas costeras de la Región Arequipa, vive una gran población dedicada principalmente a actividades agrícolas. Y debido a sus bajos ingresos económicos se ven obligados a vivir en viviendas precarias. Entre los principales problemas que afrontan, se encuentra las altas temperaturas durante los meses más cálidos del año, por encontrarse la zona costera de Arequipa sometida a una irradiación solar, que puede alcanzar valores promedios diarios de hasta 8 kW-h/m² según SENAMHI.

Po lo tanto se propone este trabajo con el objetivo de diseñar un panel de techo enfriado, con aplicación al caso específico de la zona costera de la Región Arequipa, y con ello disminuir la carga térmica a través de los techos de las viviendas para proporcionar un mayor confort a la población que la habita.

Handwritten mark

Handwritten signature

i



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

**DISEÑO DE PANEL ENFRIADO PARA APLICACIÓN EN
COBERTURA DE TECHO DE 42m² EN LA REGIÓN AREQUIPA,
PERÚ**

Introducción

1. Características del Proyecto y acotación del problema.
2. Diseño del Panel y aplicación a la cobertura de techo.
3. Presupuesto del Proyecto.

Planos

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

Máximo: 100 páginas


Ing. Enrique J. Barrantes P.
Asesor

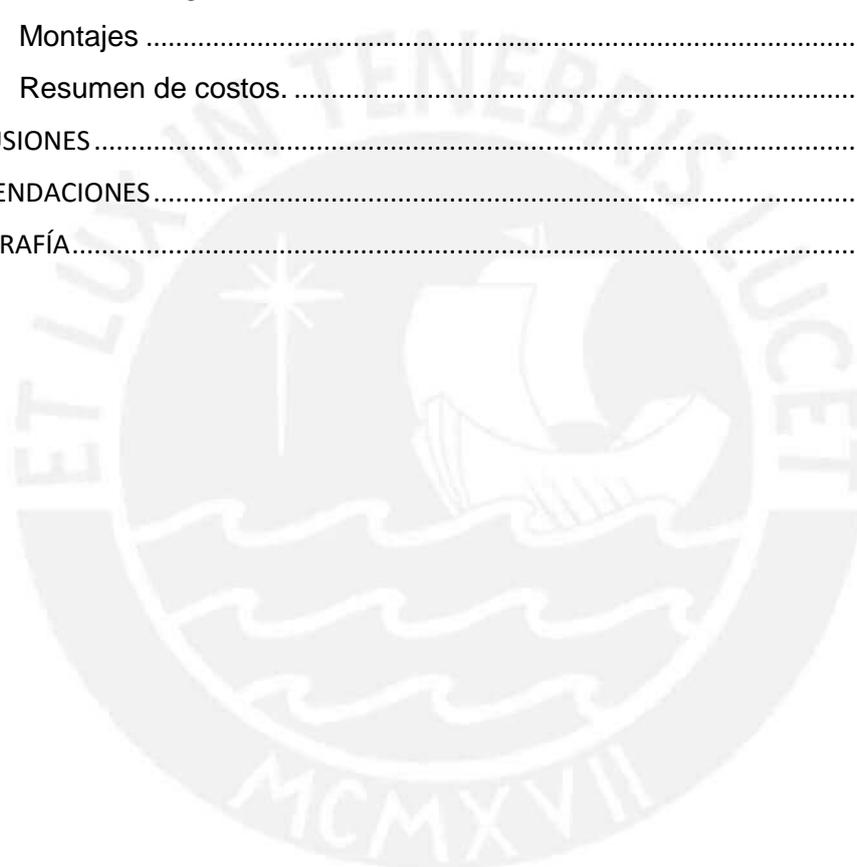




INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	iii
INDICE DE CONTENIDO	1
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO 1 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO Y ACOTACIÓN DEL PROBLEMA	1
1. Estado de la tecnología.....	1
1.1. La evasión de carga térmica a través de techos.....	1
A. Tecnologías de capas juntas.....	1
B. Tecnologías de múltiples capas.....	2
1.2. Colección de energía solar	4
1.2.1. Los colectores solares	4
A. Sin uso de concentradores	4
B. Con uso de concentradores.....	6
1.2.2. Los paneles fotovoltaicos.....	9
2. Acotación del problema.....	11
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DEL CAPITULO 1.....	17
CAPÍTULO 2 DISEÑO DEL PANEL Y APLICACIÓN A LA COBERTURA DE TECHO.....	21
2.1. El techo enfriado.....	21
2.2. Metodología.....	22
2.3. Cálculos	23
2.3.1. Planteamiento del problema.....	25
2.3.2. Identificación del estado termodinámico de análisis.....	28
2.3.3. Modelo de cálculo del paso	29
A. Cálculo del Coeficiente convectivo interior:.....	30
B. Cálculo de coeficiente convectivo exterior.	31
C. Cálculo de la radiación y ángulo óptimo en “La Joya”:.....	33
D. Cálculo de la distribución de temperaturas en la sección de análisis.....	43
E. Cálculo de la distribución del calor transferido	49
F. Cálculo de la eficiencia del paso.....	50
G. Solución mediante el método de Runge-Kutta de 4 ^{to} orden.....	51
H. Selección de la eficiencia más apropiada	55
2.3.4. Diseño del panel de techo enfriado	56
A. Cálculos de las fuerzas actuantes	57

B. Cálculo de pérdidas de presión en tuberías.....	65
2.3.5. Selección de máquinas y equipos accesorio	69
2.3.6. Cálculo eléctrico	73
2.3.7. Evaluación de la posibilidad de aprovechar el calor.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DEL CAPÍTULO 2	82
CAPÍTULO 3 PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	83
3.1. Lista de materiales	83
3.2. Costos de ingeniería	86
3.3. Montajes	87
3.4. Resumen de costos.	88
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES.....	90
BIBLIOGRAFÍA.....	91



INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1: Lista de símbolos que complementan las anteriores imágenes	28
Tabla 2. 2: Valores a reemplazar en la fórmula para cálculo de Re	30
Tabla 2. 4: Datos para el cálculo del coeficiente convectivo interior a partir del número de Nusselt	31
Tabla 2. 5: Datos para el cálculo del número de Reynolds y capa límite exterior	32
Tabla 2. 6: Resumen de datos para el diseño del panel de techo enfriado	56
Tabla 2. 7: Tipos de cargas identificadas	57
Tabla 2. 8: valores para el análisis de resistencia a la presión.	62
Tabla 2. 9: Funciones de las principales válvulas del sistema	73
Tabla 2. 10: Estudio de cargas eléctricas	74
Tabla 2. 11: Datos necesarios para la selección del conductor de acometida	75
Tabla 2. 12: Muestra los elementos de protección y maniobra eléctrica seleccionados	79
Tabla 3. 1: Materiales y procesos básicos necesarios para la construcción de un panel de techo enfriado	84
Tabla 3. 2 Materiales para realizar la estructura de todo el techo	84
Tabla 3. 3 Accesorios necesarios para la realización del circuito hidráulico y conexiones puntuales.....	85
Tabla 3. 4 Elementos necesarios para la instalación eléctrica	86
Tabla 3. 5 Costos de ingeniería	87
Tabla 3. 6 Resumen de costos e indicadores económicos de interés.....	88

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Interior de un edificio industrial, provisto de un techo aligerado no aislado, que consta con un mecanismo de ventilación; para el control de la carga térmica [1]. .	1
Figura 1. 2: Unidades con aislamiento incorporado de la marca comercial Ternium, denominada como “MULTYTECHO26/26” [2]	2
Figura 1. 3: Obreros instalando un falso techo de drywall aislado con lana de vidrio, el verdadero techo no es visible [3].....	3
Figura 1. 4: Colector solar plano sin cubierta flexible, montado sobre un techo de tejas de fibrocemento [4].....	5
Figura 1. 5: Colector solar de caucho [5].....	5
Figura 1. 6: Vista en corte y descripción de las partes principales de un colector plano con cubierta típico [6].	6
Figura 1. 7: Instalación de una batería de dos colectores planos con cubierta, con un tanque almacenador, sobre un techo [7].	6
Figura 1. 8: Montaje de un colector solar de tubo al vacío con colector parabólica con seguidor solar [8].....	8
Figura 1. 9: Vista aérea de un proyecto termosolar compuesto por una torre solar y heliostatos [9].	9
Figura 1. 10: Esquema de instalación de un panel fotovoltaico híbrido y su mecanismo de funcionamiento [11].	10
Figura 1. 11: Sistema de refrigeración para paneles solares utilizado en la construcción de paneles híbridos [12].	10
Figura 1. 12: Montaje del sistema de refrigeración [13].	10
Figura 1. 13 Histograma horizontal de la cantidad de viviendas necesarias por región [16].....	11
Figura 1. 14 : Vistas principales del modelo de vivienda descrito [18].	12
Figura 1. 15: Distribución de las casas del conjunto habitacional, desde la parte posterior [19].	13
Figura 1. 16: Forma constructiva de la estructura del techo [20].....	13

Figura 2. 1 : Esquema simplificado de la forma constructiva de un panel de techo enfriado (Elaboración propia).	21
Figura 2. 2: Vista isométrica de detalle de la sección de interés de un panel de techo enfriado (Elaboración propia).	22
Figura 2. 3: Diagrama de flujo que explica el procedimiento a seguir para los cálculos llevados a cabo en la sección 2.33.....	24
Figura 2. 4: Vista de corte de la sección de interés, en su forma realista, y su aproximación para cálculo (Elaboración propia).	25
Figura 2. 5 : Analogía eléctrica del problema de transferencia, y su correspondiente zona de error (Elaboración propia).	27
Figura 2. 6: Sección de conducción bidimensional, tal como será utilizada para el cálculo (Elaboración propia).	27
Figura 2. 7: Muestra un esquema del techo y el limite a analizar (LIMITE II) (Elaboración propia).	29
Figura 2. 8: Magnitud de la radiación disponible en las distintas estaciones del año [4].	34
Figura 2. 9: Ángulos para el análisis del recurso solar (elaboración propia).	35
Figura 2. 10: Superficie que forma la radiación absorbida por una superficie para los distintos ángulos azimutales a los que se puede orientar, los distintos días del año, para una inclinación particular (Elaboración propia).	42
Figura 2. 11: Vista en sección de la zona sobre la que se realizará el análisis (Elaboración propia).	43
Figura 2. 12: Vista isométrica de cómo se toma el elemento diferencial de análisis (Elaboración propia).	44
Figura 2. 13: Elemento diferencial en vista de sección y los fenómenos que lo afectan (el sumidero de calor estaría en $x=0$) (Elaboración propia).	44
Figura 2. 14: "Elemento diferencial" tomado para el cálculo del calor captado en cada punto (Elaboración propia).	49
Figura 2. 15: Comportamientos de la temperatura, el calor, la eficiencia y la carga térmica respecto de la posición (Elaboración propia).	53
Figura 2. 16: Características geométricas de un canal de refrigeración (Elaboración propia).....	59

Figura 2. 17: Diagrama de cuerpo libre del panel de techo simplemente apoyado (Elaboración propia)	60
Figura 2. 18: Esquema de recomendaciones para la soldadura (elaboración propia)..	61
Figura 2. 19: Diagrama de cuerpo libre de una sección transversal típica (elaboración propia).....	61
Figura 2. 20: Dimensiones de análisis para los cálculos de dilatación térmica (Elaboración propia).....	63
Figura 2. 21: Esquema de la instalación hidráulica únicamente con las válvulas principales (Elaboración propia).....	72
Figura 2. 22: Diagrama unifilar de la propuesta eléctrica (Elaboración propia).....	79



LISTA DE SIMBOLOS

Símbolo	Descripción	Unidades
a	: Ancho del recinto	m
Ap	: Área de acción de la presión del fluido	mm ²
Ar	: Área resistente del aluminio	mm ²
As	: Área de superficie	m ²
At	: Área de conducción	m ²
Atc	: Área transversal del conductor	mm ²
D	: Diámetro exterior aproximado de la sección real	mm
e	: Espesor de la pared	mm
f	: Coeficiente de fricción	-
F1	: Carga de agua en los canales de refrigeración	N
F2	: Carga de agua en los canales de distribución	N
FP	: Factor de potencia	-
Fp	: Fuerza ejercida por la presión	N
FS	: Factor de seguridad de carga	m
g	: Aceleración de la gravedad (9,8)	m/s ²
Gr	: Número de Grashof	-
h	: Pérdida de carga	m
h	: Coeficiente convectivo	-
Idis	: Corriente de diseño	A
In	: Corriente nominal	A
I _{sc}	: Constante solar (=1353)	W/m ²

k	: Coeficiente de conducción térmica	-
L	: Longitud a evaluar	m
Lc	: Longitud característica	m
Lc	: Longitud característica	m
n	: Día del año	-
Nu	: Número de Nusselt	-
P	: Paso entre canales de refrigeración	mm
p	: Perímetro mojado interior	mm
P _w	: Potencia a transmitir	W
P _o	: Presión de descarga	m
Pr	: Número de Prandtl	-
P _s	: Presión de succión	m
Q	: Caudal	m ³ /s
Q _a	: Calor absorbido	W
q _a	: Calor específico absorbido	W/m ²
Q _{ce}	: Calor convectivo exterior	W
Q _{ci}	: Calor convectivo interior	W
Q _e	: Calor evacuado	W
q _e	: Calor específico evacuado	W/m ²
Q _k	: Calor conducido	W
Q _r	: Calor radiante al interior	W
Q _t	: Calor de carga térmica	W
q _t	: Calor específico de carga térmica	W/m ²
R _{1x}	: Reacción en x del apoyo 1	N

R_{1y}	: Reacción en y del apoyo 1	N
R_{2x}	: Reacción en x del apoyo 2	N
Re	: Número de Reynolds	-
S	: Energía radiante absorbida	W
$T_{\infty 1}$: Temperatura del aire exterior	K
$T_{\infty 2}$: Temperatura del aire interior	K
T_b	: Temperatura media de refrigerante	K
T_{ex}	: Temperatura ambiente exterior máxima	K
T_i	: Temperatura de ingreso de refrigerante	K
T_{in}	: Temperatura ambiente interior máxima	K
T_s	: Temperatura de salida de refrigerante	K
T_{sex}	: Temperatura de superficie exterior	K
T_{sin}	: Temperatura de superficie inferior	K
U	: Tensión de suministro	V
V	: Velocidad de fluido	m/s
v	: Velocidad media	m/s
W	: Peso de una unidad de techo enfriado	N
Z_o	: Posición en altura del punto de descarga	m
Z_s	: Posición en altura del punto de succión	m

Símbolos griegos	Descripción	Unidades
α	: Absortancia del aluminio	-
α_1	: Índice de contracción térmica	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
α_a	: Absorbancia de albedo	-
α_d	: Absorbancia difusa	-
β	: Ángulo de inclinación del techo respecto a la horizontal	$^{\circ}$
γ	: Ángulo azimutal de la superficie	$^{\circ}$
δ	: Declinación solar	rad
ΔL	: Variación en la longitud	m
ΔT	: Variación de la temperatura	$^{\circ}\text{C}$
ΔU	: Caída de tensión	%
θ	: Ángulo de incidencia solar sobre el techo	$^{\circ}$
θ_z	: Zenith solar	$^{\circ}$
μ_a	: Viscosidad dinámica del aire	Kg/m-s
μ	: Viscosidad dinámica del agua	Kg/m-s
ρ	: Reflejancia del aluminio	-
ρ_a	: Densidad del agua	Kg/m ³
ρ_a	: Reflectancia del suelo	-
σ	: Esfuerzo en el material	N/mm ²
σ_{\max}	: Resistencia máxima del material recocido	N/mm ²
τ	: Transmitancia del aluminio	-
Υ	: Longitud	$^{\circ}\text{Este}$
Φ	: Diámetro interior del modelo de análisis	mm

φ	: Latitud	°Norte
ω_s	: Ángulo de la hora	°
ω_1	: Ángulo de la hora del inicio del análisis	°
ω_2	: Ángulo de la hora del fin de análisis	°



INTRODUCCIÓN

Según el MEM¹ la energía renovable representa un 0.5% de la matriz energética nacional, y será creciente hacia 2050, a un 5% (2% eléctrico) afín de poder sustentar el consumo energético global para ese momento [MEM, 2013].

En particular para el Perú, según el MEM en su publicación “PLAN ENERGÉTICO NACIONAL 2014-2025” [MEM,2013], explica de forma detallada la tendencia particular en la que se plantea inducir al país en los siguientes años, mencionando explícitamente el compromiso de continuar los planes de explotación de recursos renovables; mencionando el caso explícito de la energía solar, eólica y mini-hidro (denominándolas como energías renovables no convencionales, para diferenciarlas del caso particular de la gran explotación hidráulica). Este esfuerzo particular se sumaría al esfuerzo global de mitigar el uso de combustibles fósiles con la finalidad de reducir la emisión de gases de efecto invernadero que contribuyen con el cambio climático.

Por otra parte en el Perú, país sudamericano que estima un crecimiento económico de entre 4.5% y 6.5% para el 2025 [MEM,2013], según el documento antes mencionado. Basa un 6% de su PBI en el sector agropecuario, el cual se ha desarrollado en un 4.6% en los últimos años. A su vez de este, el 1.62% se desarrolla en la localidad de Arequipa [Diario Gestión, 2013].

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Arequipa cuenta con una de las irradiaciones solares más fuertes presentes en el Perú, pudiendo llegar a ser mayor a 7500W-h/m² en verano [SENHAMI,2003].

Esta Radiación puede ser aprovechada o desperdiciada, pero en ciertas ocasiones puede convertirse en un problema para ciertos recintos industriales o familiares, al tener el potencial de generar una alta carga térmica a través del techo o paredes orientadas al sol. Este problema se traduce en una grave falta de confort para el pequeño agroindustrial o familia.

Basándose en las razones antes mencionadas, la presente tesis tratará únicamente sobre una propuesta de solución para evitar la carga térmica a través del techo, bajo el mecanismo de captación del calor en un fluido de trabajo, basada en la aplicación de

¹ MEM: Siglas de Ministerio de Energía y Minas.

un diseño propio de techo dotado de canales de refrigeración. Adicionalmente se analizará la posibilidad de utilizar el calor capturado para beneficiar algún proceso que pueda resultar útil al ocupante del recinto.

Hipótesis:

Principal:

“Se puede reducir la carga térmica a través de un techo aligerado, mediante la utilización de un techo aligerado dotado de un mecanismo de refrigeración”

Secundaria:

“Se puede utilizar el calor extraído del techo mediante el fluido de trabajo, para alguna aplicación útil”

Objetivos de la tesis:

Principal:

- **Diseñar el panel de techo, y estimar mediante cálculos el calor que este puede absorber.**

Secundarios:

- **Obtener todos los datos necesarios, tanto del clima y recurso solar.**
- **Dimensionar y seleccionar el sistema de bombeo y tuberías.**
- **Dibujar los planos necesarios para definir el panel de techo propuesto.**
- **Cuantificar mediante cálculos teóricos el calor captado en el techo, analizar y decidir qué hacer con él.**
- **Hacer la evaluación energética, de si es conveniente o no la implementación.**

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO Y ACOTACIÓN DEL PROBLEMA

1. Estado de la tecnología

1.1. La evasión de carga térmica a través de techos.

Las tecnologías de una capa solida refieren a los casos más simples, siendo el más simple de todos ellos el no aislar en absoluto el techo. Si bien esto genera una alta carga térmica esta puede ser manejada posteriormente por otro mecanismo, por ejemplo ventilación o refrigeración.

Para evitar la carga térmica a través de los techos alivianados, la industria ha desarrollado algunas tecnologías basadas principalmente en técnicas de aislamiento. Pueden dividirse en dos grandes grupos; capas juntas y capas separadas

A. Tecnologías de capas juntas



Figura 1. 1: Interior de un edificio industrial, provisto de un techo aligerado no aislado, que consta con un mecanismo de ventilación; para el control de la carga térmica [1].

Dentro del rubro de las tecnologías capas juntas, se encuentra también el así llamado por sus fabricantes “Panel sandwich” o “Mutitecho” según su nombre comercial, el cual puede observarse en la figura 1.2. Esta tecnología refiere a varias capas de distintos componentes, todas ellas en contacto por la totalidad de su área. Las más comunes se componen de una capa de lámina metálica; la que proporciona protección contra los elementos y rigidez mecánica; una capa de aislante (tipo espuma expandida), que proporciona gran parte del poder aislante; y una última capa de un polímero más duro o lámina metálica, cuya única finalidad es brindar protección mecánica a la espuma, principalmente contra posibles golpes o arañazos desde el interior del recinto.

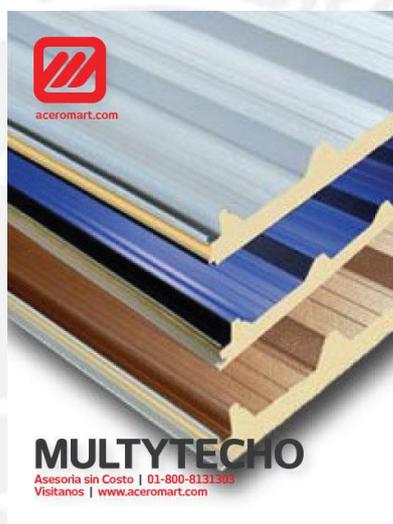


Figura 1. 2: Unidades con aislamiento incorporado de la marca comercial Ternium, denominada como “MULTYTECHO26/26” [2]

B. Tecnologías de múltiples capas.

En esta área se encuentran tipos de techos tanto alivianados como rígidos. Esta tecnología utiliza el principio de aislamiento por resistencia al cambio de medio; haciendo que el calor tenga que pasar a través del techo, posteriormente a través de una capa de aire (en estado estacionario o turbulento) y finalmente a través de una capa sólida inferior de un material que suele tener propiedades tanto aislantes como decorativas.

Para la ejecución de este tipo de aislamiento, se requiere de una gran cantidad de espacio en altura, debido a que las propiedades aislantes del diseño estarán principalmente en función del ancho de la capa de aire. Además de esto es necesario

montar una segunda estructura, que soporte los elementos aislantes, esta necesidad aumenta la cantidad de material y el peso que deba soportar la estructura principal, siendo un factor determinante para el diseño del techo.

Es necesario mencionar que muchas veces es aplicado únicamente con funciones decorativas, pensando en la finalidad de ocultar ductos de ventilación, tuberías y similares instalaciones industriales, los mismos que pueden afectar la imagen de un recinto que requiera cierta estética. Aun así no pueden evadirse sus propiedades aislantes.

Si bien este sistema proporciona el mejor aislamiento, es también propenso a envejecer² por ejemplo por el contacto con polvo, humedad e incluso es susceptible de ser invadido por alimañas, como insectos o roedores, los cuales generan una gran destrucción del aislante, por ³poseer buenas propiedades para la construcción de sus nidos, sin contar el potencial de daño biológico si estos animales defecan sobre el aislante. Esta última capa de techo suele llamarse popularmente “falso techo” o “cielo raso”. Puede observarse un ejemplo de este tipo de techo durante el proceso de montaje en la figura 1.3.



Figura 1. 3: Obreros instalando un falso techo de drywall⁴ aislado con lana de vidrio, el verdadero techo no es visible [3]

² Envejecer: en el contexto mostrado, se refiere a la pérdida de las propiedades de un material, por las que fue seccionado en primera instancia; a lo largo de un periodo de tiempo.

³

⁴ Drywall: material comúnmente utilizado en construcciones modernas, el cual se caracteriza por su facilidad ante las remodelaciones y por soportar bajas cargas mecánicas. Se comporta principalmente por una o varias capas alternadas de yeso y cartón

1.2. Colección de energía solar

De ser deseada la energía solar disponible para alguna aplicación, se vuelve necesario recurrir a algún mecanismo que nos permita aprovechar esta forma de energía.

A la fecha se han desarrollado diversas tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar, las cuales en general pueden dividirse en dos grandes grupos, estos son: los concentradores solares y los paneles fotovoltaicos.

1.2.1. Los colectores solares

En este grupo se encuentran todos los mecanismos que procuran canalizar la energía solar generalmente en calentar algún fluido (en algunos casos sólido), sus aplicaciones suelen ser desde la producción de agua caliente para uso doméstico (duchas y lavabos) hasta la producción de vapor para generación eléctrica (planta termosolar).

A continuación se presentan los sistemas más comunes o considerados más referentes a posibles comparaciones con el presente tema de tesis.

A. Sin uso de concentradores

En este caso se ubican los colectores solares, que absorben la energía solar de forma directa, su capacidad de absorción se encuentra limitada a su orientación y el área de que disponen.

Entre los más comunes se encuentran los siguientes:

- **Colector solar plano sin cubierta**

Corresponde al tipo más básico e ineficiente de colector, está compuesto por una placa plana dotada de canales de refrigeración. Según su construcción, la cual puede ser con diversos materiales, este puede ser rígido o flexible (se amolda a la superficie que lo soporta).

Su principal aplicación suele ser para calentamiento de agua (en particular piscinas). Para ello requiere una gran área, la cual se sopesa con su costo económico. En las figuras 1.4 y 1.5, puede apreciarse una aplicación del caso antes mencionado así como el colector antes de la instalación respectivamente.



Figura 1. 4: Colector solar plano sin cubierta flexible, montado sobre un techo de tejas de fibrocemento [4].

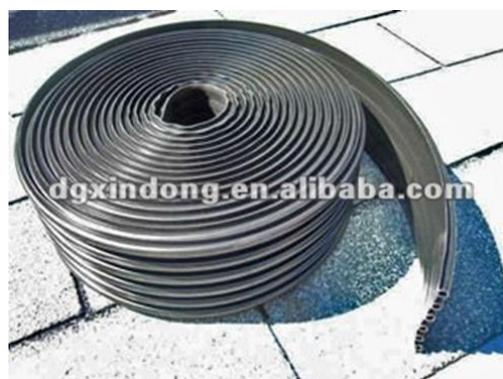


Figura 1. 5: Colector solar de caucho [5].

Si bien la figura 1.4 muestra un caso en el cual la aplicación principal es el calentamiento de agua de una piscina, aplicando los criterios básicos de termodinámica es muy fácil poder determinar si además de generar el efecto antes mencionado, este colector también pudo evitar la carga térmica a través del techo que lo soporta.

- **Colector solar plano con cubierta**

Corresponde al tipo de colector más común utilizado para calentamiento de agua para uso doméstico. Posee una mayor eficiencia que el colector plano sin cubierta, pero a diferencia de este, es únicamente rígido, debido a sus características constructivas.

Su característica principal es la presencia de un material transparente (de alta transmitancia) que facilite el efecto invernadero⁵ que se producirá debajo de este. El calor atrapado es luego recolectado por un mecanismo muy similar al del colector plano sin cubierta. Finalmente se dispone de una capa aislante en la parte posterior a fin de evitar pérdidas de calor a través de esta. Un ejemplo del sistema antes descrito puede observarse en las figuras 1.6 y 1.7.

⁵ Efecto invernadero: efecto que se refiere al permitir la entrada de energía en forma radiante, pero no permitir su salida, referido a un cierto volumen de control.

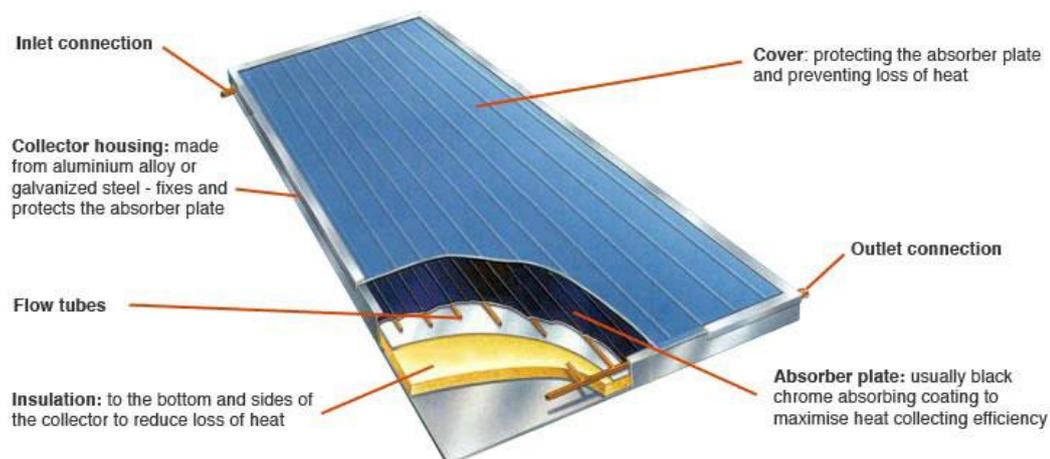


Figura 1. 6: Vista en corte y descripción de las partes principales de un colector plano con cubierta típico [6].



Figura 1. 7: Instalación de una batería de dos colectores planos con cubierta, con un tanque almacenador, sobre un techo [7].

B. Con uso de concentradores

En esta sección se ubican los colectores solares preparados no solo para captar la energía proveniente del sol, sino principalmente la radiación de albedo⁶ convenientemente por los concentradores. De esta forma el mecanismo de captación

⁶ Albedo: (radiación de albedo) Término técnico utilizado para expresar el reflejo del sol.

solar está dividido en dos equipos principales: el captador propiamente dicho y el o los concentradores.

Sus capacidad de alcanzar altas temperaturas lo vuelven la opción ideal para las aplicaciones de generación (construcción de plantas termo solares). En este caso los fluidos a calentar dejan de ser principalmente agua y aire, para dar cabida a aceites térmicos y sales fundidas. En el caso de calentar agua, suele llevarse esta hasta la fase de vapor, incluso ha habido prototipos dedicados a la fundición de aluminio con energía solar concentrada.

Entre las disposiciones más comunes, se encuentran las siguientes:

- **Tubo de vidrio al vacío y concentrador parabólico**

Es un intercambiador de calor de característica lineal, se compone de un tubo montado dentro de un tubo de vidrio al vacío, hecho que favorece el efecto invernadero.

El eje de estos tubos concéntricos se encuentra montado en el punto focal del concentrador parabólico el cual suele estar dotado de un mecanismo seguidor solar⁷. Disponiendo de la cantidad necesaria de metros de colector (asociados directamente a un área de captación), se pueden alcanzar temperaturas típicas de una caldera, su principal diferencia radica en la gran cantidad de área que ocupa y su limitación a operar solo durante ciertas horas del día. Un ejemplo de instalación de este tipo de colector solar, puede verse en la figura 1.8.

⁷ Seguidor solar: Mecanismo generalmente de uno o dos grados de libertad que se utiliza para fijar un haz de luz reflejado, evitando en movimiento normal del sol



Figura 1. 8: Montaje de un colector solar de tubo al vacío con colector parabólica con seguidor solar [8].

- Torre solar y heliostatos

Este captador solar (llamado también caldera solar), es a diferencia del anterior, de característica puntual. Esto se refiere a que se disponen de varios espejos (heliostatos) apuntados hacia un punto común.

Se compone principalmente por la torre, donde se encuentra el sistema de captación de energía y los heliostatos que lo rodean. Todos estos se encuentran debidamente apuntados hacia un punto común, y dotados de un mecanismo seguidor solar de dos grados de libertad.

Entre todos los mencionados es el que logra alcanzar las más altas temperaturas. Por otra parte su construcción está reservada únicamente a proyectos termosolares de considerable envergadura. Uno de ellos es mostrado, por ejemplo, en la figura 1.9.



Figura 1. 9: Vista aérea de un proyecto termosolar compuesto por una torre solar y heliostatos [9].

1.2.2. Los paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos son un mecanismo que convierte la energía solar en eléctrica, de forma directa, mediante el efecto fotovoltaico⁸ de distintos materiales.

Si bien su uso corresponde a una creciente tendencia en el aprovechamiento de la energía solar, su aplicación es únicamente para la obtención energía eléctrica.

Se mencionan en el presente documento, debido únicamente, al caso particular de los paneles fotovoltaicos de silicio cristalino [10]. Si bien estos son considerados entre los más económicos del mercado, son afectados en eficiencia por la temperatura (su eficiencia es inversamente dependiente de su temperatura), volviéndose más ineficientes a mayores temperaturas. Este valor se aproxima al 0,4% por cada grado centígrado, de alcanzar el panel por ejemplo, 80°C, su eficiencia caería en 40%.

Para evitar este fenómeno en estas tecnologías, se han desarrollado diversos mecanismos para evitar el calentamiento excesivo de los paneles. El más conocido de ellos llevó al desarrollo del así llamado “Panel Híbrido”. Este se compone básicamente de un panel solar de silicio cristalino con un mecanismo de colección solar en agua por la parte posterior, acoplados ambos térmicamente. De esta forma el calor que satura al panel se utiliza ahora para calentar agua. Este efecto puede verse esquemáticamente

⁸ Efecto Fotovoltaico: Efecto por el cual se produce una diferencia de potencial sobre un cierto material (susceptible a este efecto) al ser este impactado por fotones

en la figura 1.10, así como ejemplos de los sistemas de refrigeración en las figuras 1.11 y 1.12.

Es necesario comentar que la mayoría de fabricantes de estas tecnologías suelen expresar el rendimiento de sus equipos como la suma aritmética de sus potencias eléctricas y térmicas, razón por la cual no es extraño observar eficiencias de hasta 40%, siendo que la eficiencia del panel rara vez supera el 17% incluso con ayuda del mecanismo de refrigeración [10].

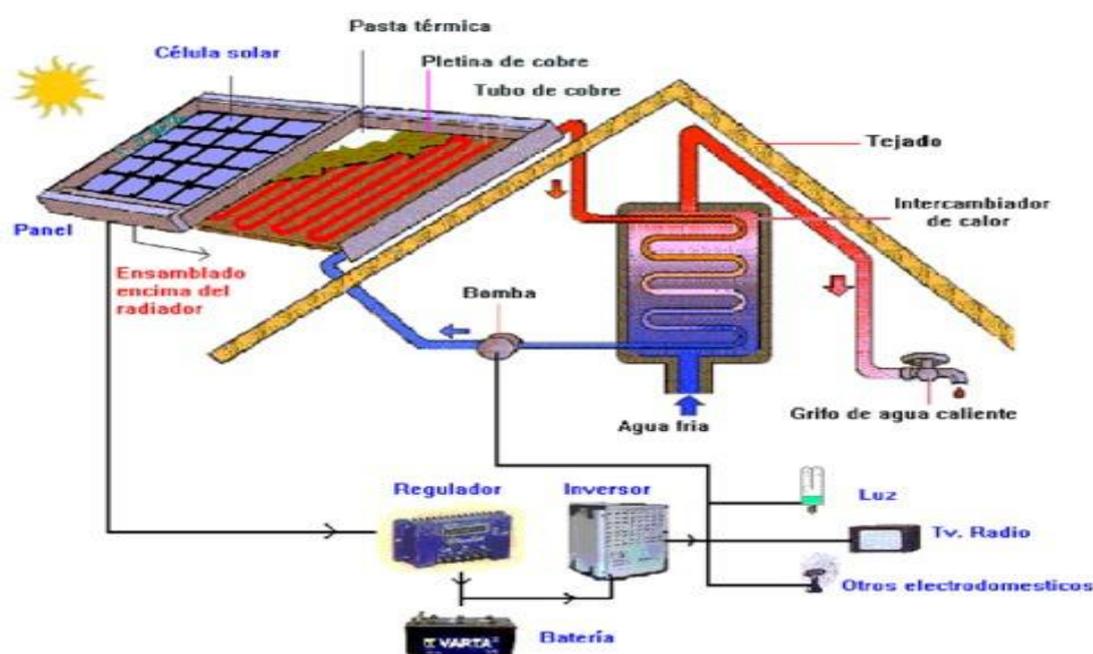


Figura 1. 10: Esquema de instalación de un panel fotovoltaico híbrido y su mecanismo de funcionamiento [11].



Figura 1. 11: Sistema de refrigeración para paneles solares utilizado en la construcción de paneles híbridos [12].



Figura 1. 12: Montaje del sistema de refrigeración [13].

2. Acotación del problema

Si bien el presente tema de tesis pudo ser aplicado a diferentes partes del país, se optó por el departamento de Arequipa, debido a que junto al de Tacna cuentan con un alto índice de radiación solar [14].

Un particular problema que posee la el departamento de Arequipa [15] es la falta de viviendas rurales apropiadas para su población, problema similar al sucedido en la comunidad campesina de Yanamayo, Ollantaytambo, Urubamba, del departamento de Cuzco. Una representación estadística del problema antes mencionado puede observarse en la figura 1.13.

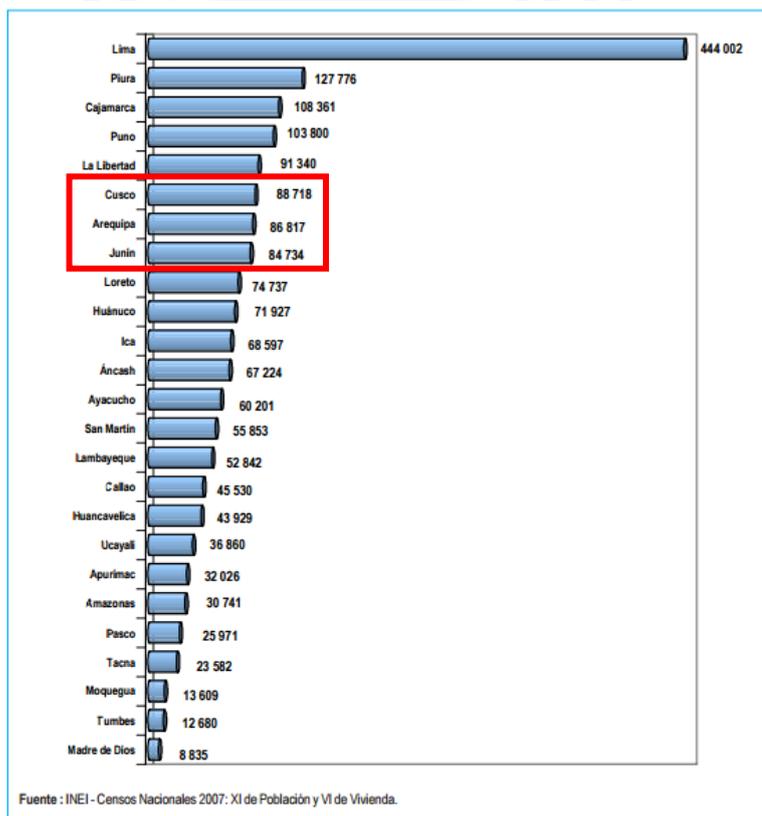


Figura 1. 13 Histograma horizontal de la cantidad de viviendas necesarias por región [16].

En el caso de la localidad de Yanamayo, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú (MVCS), a través del programa techo propio, desarrolló el

proyecto “Inkaq Samanan⁹” El cual consiste en subsidiar parte de la construcción de casas para los pobladores más necesitados

Estas casas, si bien de reducido tamaño, construcción rústica y básica, cuentan con los servicios básicos de saneamiento y electricidad monofásica [17]. Poseen con un área de nave¹⁰ de aproximadamente 33.5m² divididos entre una cocina-comedor, un baño completo y una habitación. La estructura principal se compone de un piso de un concreto, paredes de losas de concreto y un techo a dos aguas formado por tejas de fibrocemento, montadas sobre estructura metálica.

Detalles alusivos a la arquitectura ingeniería y urbanismo de las viviendas, pueden ser observados en las figuras 1.14, 1.15, 1.6.



Figura 1. 14 : Vistas principales del modelo de vivienda descrito [18].

⁹ Inkaq Samanan: Traducido del Quechua, “Posada de los Inkas”

¹⁰ Nave: Según la Real Academia Española, proveniente del latín “Navis”, refiere en su cuarta acepción a: Cuerpo, o crujía seguida de un edificio, como almacén, fabrica, fábrica, etc.



Figura 1. 15: Distribución de las casas del conjunto habitacional, desde la parte posterior [19].



Figura 1. 16: Forma constructiva de la estructura del techo [20].

Pueden verse los planos detallados de arquitectura, elevaciones e instalaciones de servicios, correspondientes a estas edificaciones en la sección de anexos. Estos planos fueron solicitados al Ministerio de vivienda. Puede verse en el mismo anexo

una copia de los cargos de los documentos que muestran la ruta que tomo la información.

A la fecha las pequeñas viviendas, vienen supliendo la necesidad de hogar de 110 familias. Por ello basándose en el éxito de este proyecto, la presente tesis recurrirá a la aplicación del mismo modelo de vivienda, ahora a la localidad de Arequipa, proponiendo la modificación de su techado. Teniendo en cuenta que la radiación máxima de Cusco es de 6 KW-h/m², mientras que la de Arequipa puede superar los 8 KW-h/m².

Si bien pudiere parecer que la diferencia no es mucha, (aproximadamente 25% mayor) se debe tener en cuenta que Cuzco se encuentra a mucha mayor altura y por ende en una zona más fría, de este modo la radiación solar diaria es aprovechada en el calentamiento de la estructura y aire interior del recinto, este calor acumulado, será favorable durante las horas frías de la noche.

Por otra parte, Arequipa, con una amplia zona costera no requiere aprovechar el calor de esta forma, pudiendo de esta manera, en el caso de los meses de verano convertirse el exceso de calor en una molestia.

Por las razones antes mencionadas, para el presente estudio, se recurrirá en específico la localidad de “La Joya”. Por reunir varias de las características principales que respaldan el tema: Ser una zona agrícola y poseer un gran recurso solar.

En resumen, se aplicará el diseño del “techo enfriado” (realizando los cálculos correspondientes), al modelo de casa utilizado en Yanamayo, trasladado ahora a la localidad de Arequipa, y sus correspondientes condiciones climáticas, realizando modificaciones que se determinen pertinentes.

Datos de consideración:

Debido a las características del cálculo que se desea realizar, es necesario fijar ciertos parámetros de las condiciones del lugar y problema materia de análisis. Para ello se

recurrió en parte a los datos históricos y estadísticos proporcionados por SENAMHI [21]. Un ejemplo de la data disponible puede verse en la tabla 1.1.

Tabla 1. 1: Ejemplo de agrupación de datos de libre disponibilidad generados por la estación meteorológica “La Joya” durante febrero de 2016 [22].

Estación : LA JOYA , Tipo Convencional - Meteorológica												
Departamento : AREQUIPA			Provincia : AREQUIPA			Distrito : VITOR		Ir : 2016-02 ▾				
Latitud : 16° 35' 1.05"			Longitud : 71° 55' 29.25"			Altitud : 1276						
Dia/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Temperatura Bulbo Seco (°c)			Temperatura Bulbo Humedo (°c)			Precipitacion (mm)		Direccion del Viento 13h	Velocidad del Viento 13h (m/s)
			07	13	19	07	13	19	07	19		
01-Feb-2016	29.4	13.2	14.8	28.4	20	14.8	19.8	17.2	0	0		
02-Feb-2016	29.6	14.2	17.4	29.6	18.6	14.2	19.8	16.4	0	0		
03-Feb-2016	29.2	14.4	18.4	27.8	18.6	16	19	16	0	0		
04-Feb-2016	30.2	13.6	19	29.4	20	16.6	19.8	17.2	0	0		
05-Feb-2016	29.8	13.8	17.2	28.8	19.8	15.4	19.4	17.4	0	0		
06-Feb-2016	29.2	13.6	18.6	28.6	18.8	16.4	19.4	17	0	0		
07-Feb-2016	28	16.2	17.4	26.8	18.2	16.2	19.8	16.6	0	0		
08-Feb-2016	25.2	15.8	16.2	24.2	18.2	15.4	19.2	16.6	0	0		
09-Feb-2016	29.2	14.4	15.2	28.8	17.4	15	19.4	16	0	0		
10-Feb-2016	28.4	15	20.8	27.6	20	17.2	20	16.6	0	0		
11-Feb-2016	31.2	17.8	19.4	29.2	21.6	17	19.8	17.6	0	-888		
12-Feb-2016	30	17.8	20.2	27.8	19.4	17	18.8	17	0	0		
13-Feb-2016	28.8	16.2	17.6	27.4	20.8	14.6	19.2	17.2	0	0		
14-Feb-2016	29.2	13.8	17.6	28.6	19	15.8	20	16.6	0	0		
15-Feb-2016	30.6	14	16.6	30	20.8	15.6	21	17.6	0	0		
16-Feb-2016	31.6	15	18	30.4	20.8	16.6	20.4	17.8	0	0		
17-Feb-2016	29.6	15.6	16	28.6	21	15.6	20.2	17.4	0	0		
18-Feb-2016	30.4	18.2	19.2	29.2	21.6	17	20.8	18.4	0	0		
19-Feb-2016	30	16.8	18.4	29.8	23.4	16.6	20.4	17.8	0	0		
20-Feb-2016	29.6	16.6	17.8	29.2	22.6	17.2	19.8	17.4	0	0		
21-Feb-2016	29.2	17.8	21.6	28.2	19.6	17.8	20.4	18	0	1		
22-Feb-2016	27.2	18.6	18.6	26.6	20.4	18	20.6	19.8	0	15		
23-Feb-2016	26.4	17.8	18.6	26	20.2	17.8	20.2	19.2	.3	.3		
24-Feb-2016	28	18.4	19.2	25.8	20.4	18.2	21.6	18.8	0	0		
25-Feb-2016	29.4	18	18.4	28.8	20.4	17.8	22.2	18.4	0	0		
26-Feb-2016	28.8	18.4	19.4	28.4	20.4	15.2	22	17.6	0	0		
27-Feb-2016	28	14.8	18.4	27.4	20	17.4	19.4	17.6	0	0		
28-Feb-2016	30	16	19.8	29.6	20.4	17.8	21.2	18	0	0		
29-Feb-2016	29.4	14.6	18.2	28.8	20	17	20.6	17.6	0	0		

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadística

* Información sin Control de Calidad

* El uso de esta Información es bajo su entera Responsabilidad

Papa poder contar con una muestra más amplia, se utilizó información correspondiente a los últimos años, el total de la de data analizada puede verse en la sección de anexos.

Tabla 1. 2: Resumen de datos meteorológicos correspondientes a la localidad de análisis

(Elaboración propia)

Parámetro	Abreviatura	Magnitud	Unidades
Temperatura ambiente exterior máxima	Tex	303	K
Temperatura media de refrigerante	Tb	316	K
Velocidad máxima del viento	V	2	m/s
Latitud	φ	16 35 1	° ' "
Longitud	Υ	71 55 29	° ' "



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DEL CAPITULO 1

1. BIENES ON LINE
FOTOS DE BODEGAS Y NAVES INDUSTRIALES DE HASTA 300 m²,
Consultado el 21 de noviembre de 2015
<http://www.bienesonline.mx/fotos-BOR101733-inicio-0.php>

2. ACERO MART
MULTYTECHO 26/26 (1.00 M) POLIESTER ESTANDAR (PINTRO),
Consultado el 21 de noviembre de 2015
<http://www.aceromart.com/Multytecho-26-26-Ternium-MultyPanel-Panel-Aislado-2.aspx>

3. PINTEREST
DRIWAL CIELOS RASOS, Consultado el 21 de noviembre de 2015
<https://es.pinterest.com/pin/561824122243914419/>

4. ALIBABA
FLEXIBLE CALENTADOR DE LA PICINA, Consultado el 21 de noviembre de 2015
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/flexible-solar-pool-heater-124048107.html>

5. ALIBABA
FLEXIBLE CALENTADOR DE LA PICINA, Consultado el 21 de noviembre de 2015
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/flexible-solar-pool-heater-124048107.html>

6. ECR SOLAR
DISEÑO Y FABRICACION DE SISTEMAS SOLARES, Consultado el 21 de noviembre de 2015
http://www.ecrsolar.com/solar_termica.php

7. ULTRA NOTICIAS

Consultado el 22 de noviembre de 2015

<http://www.ultra.com.mx/noticias/aguascalientes/Local/42108-recibe-aguascalientes-mas-de-5-horas-sol.html>

8. CT IGENIEROS

TUBO CALO-PORTADOR, Consultado el 22 de noviembre de 2015

http://www.ctingenieros.es/index.php/proyecto_moviles/energias-renovables/45

9. SUSTAINABLE MELBOURNE

THE CITY IS RE-INVENTING ITSELF, Consultado el 22 de noviembre de 2015

<http://www.sustainablemelbourne.com/category/policies/>

10. PLÉE, Dominique

2015 “Expo ASHRAE 2015”, Conferencia elaborada por el “ASHRAE Student Branch” de la PUCP

11. ARQUIGRÁFICO

QUE ES UN PANEL SOLAR HIBRIDO, Consultado el 23 de noviembre de 2015

<http://www.arkigrafico.com/que-es-un-panel-solar-hibrido/>

12. ARQUIEXPO

PANEL SOLAR HIBRIDO POLICRISTALINO DE 230-2550W, Consultado el 22 de noviembre de 2015

<http://www.archiexpo.es/prod/brandoni/product-91120-943806.html>

13. ARQUIEXPO

PANEL SOLAR HIBRIDO POLICRISTALINO DE 230-2550W, Consultado el 22 de noviembre de 2015

<http://www.archiexpo.es/prod/brandoni/product-91120-943806.html>

14. SENAMHI

2003 “Atlas de energía solar del Perú, Proyecto PER/98/G31

15. INEI,
2007 “*Censos nacionales 2007*”

16. INEI,
2007 “*Censos nacionales 2007*”

17. CONSTRUCCIONVIVIENDA.COM
INKAK SAMANAN: PROYECTANDO EL TECHO PROPIO EN LAS ALTURAS DEL CUSCO, Consultado el 25 de agosto de 2015
http://www.construccionyvivien.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=946:inka-samanan-proyectando-el-techo-propio-en-las-alturas-de-cusco

18. CONSTRUCCIONVIVIENDA.COM
INKAK SAMANAN: PROYECTANDO EL TECHO PROPIO EN LAS ALTURAS DEL CUSCO, Consultado el 25 de agosto de 2015
http://www.construccionyvivien.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=946:inka-samanan-proyectando-el-techo-propio-en-las-alturas-de-cusco

19. FLIKR
MINISTERIO DE VIVIENDA ENTREGA CASAS PERTENECIENTES AL COMPLEJO HABITACIONAL DENOMINADO “INKAK SAMANAN” UBICADO EN EL DISTRITO DE OLLANTAYTAMBO, URUBAMBA, EN CUSCO, Consultado el 25 de agosto de 2015.
<https://www.flickr.com/photos/prensapcm/sets/72157646954246503/>

20. FLIKR
MINISTERIO DE VIVIENDA ENTREGA CASAS PERTENECIENTES AL COMPLEJO HABITACIONAL DENOMINADO “INKAK SAMANAN” UBICADO EN EL DISTRITO DE OLLANTAYTAMBO, URUBAMBA, EN CUSCO, Consultado el 25 de agosto de 2015.
<https://www.flickr.com/photos/prensapcm/sets/72157646954246503/>

21. SENAMHI DATOS

HISTORICOS, Consultado el 19 de noviembre de 2016

http://www.senamhi.gob.pe/main_mapa.php?t=dHi

22. SENAMHI DATOS

HISTORICOS, Consultado el 19 de noviembre de 2016

http://www.senamhi.gob.pe/main_mapa.php?t=dHi



CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL PANEL Y APLICACIÓN A LA COBERTURA DE TECHO

2.1. El techo enfriado

El techo enfriado es el objetivo principal de investigación del presente documento de tesis, el cual se mostrará aplicado a las condiciones acotadas en el anterior capítulo. Se trata de un techo de material alivianado (lámina metálica) provisto por canales de refrigeración, por los cuales se conducirá un fluido refrigerante.

Dependiendo de su aplicación podría ser usado tanto como colector solar o como evasor de carga térmica. En cualquiera de ambos casos su efecto podría ser potenciado con la aplicación de una capa de aislante en la parte inferior, además de proporcionar orientaciones y ángulos adecuados al movimiento del sol.

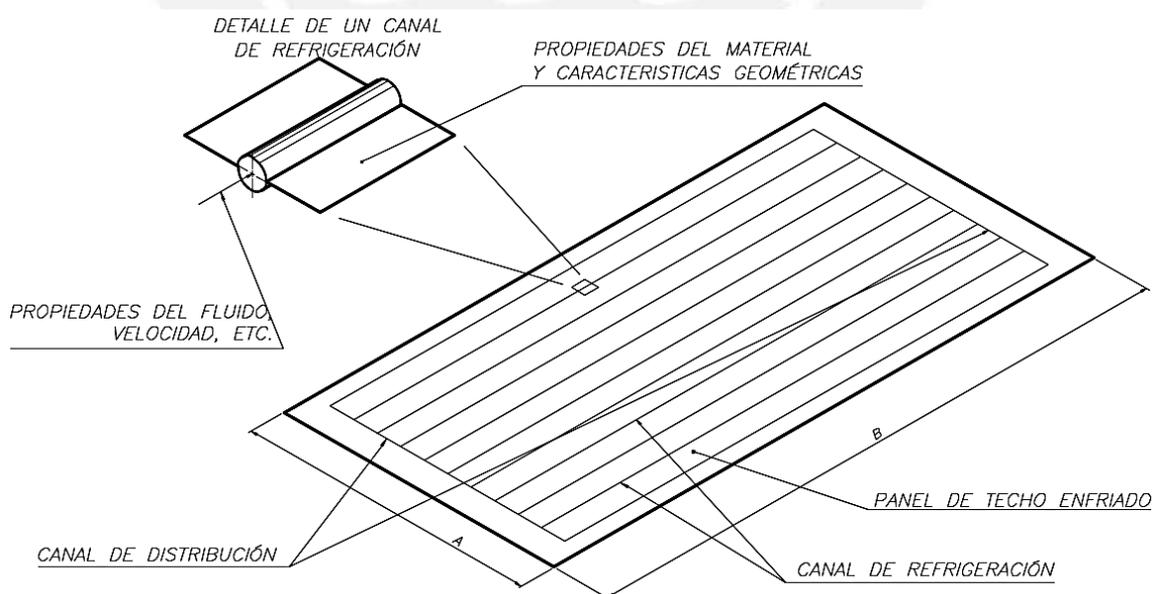


Figura 2. 1 : Esquema simplificado de la forma constructiva de un panel de techo enfriado (Elaboración propia).

Se procurará en todo momento que las dimensiones A y B especificada en la figura 2.1, sean 1222mm y 2444 respectivamente, dado que de esta forma corresponderían directamente con el standard en que se fabrican las planchas metálicas, y la producción no implicaría la necesidad de mermas.

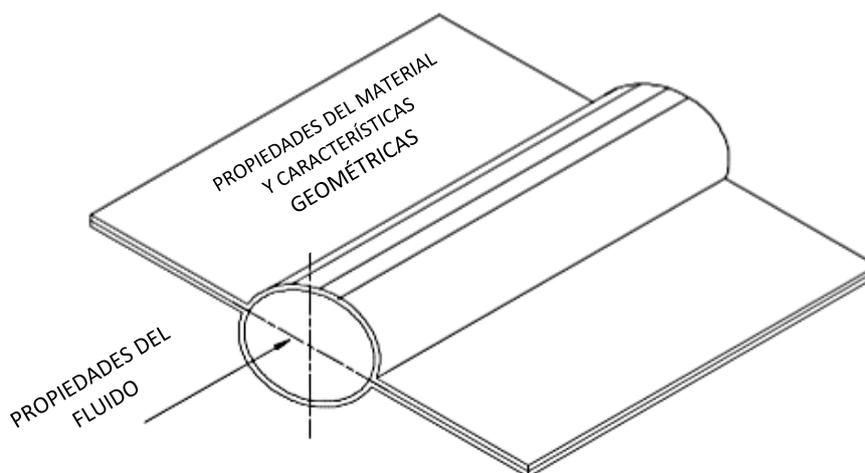


Figura 2. 2: Vista isométrica de detalle de la sección de interés de un panel de techo enfriado (Elaboración propia).

El objetivo de este mecanismo de refrigeración es poder coleccionar el calor que el sol irradia sobre el techo. Al estar el calor concentrado ahora en el fluido refrigerante, este puede ser manejado junto con este, evitando así que ingrese dentro del recinto, donde en esta circunstancia es indeseado.

En específico para el presente trabajo se propone la idea de utilizar aluminio como material estructural, debido a su alta permeabilidad al paso de calor. Por otra parte se escoge al agua potable (asumida como agua pura) como fluido refrigerante.

2.2. Metodología

Se menciona en esta sección, una secuencia de cómo resolver el problema antes planteado, desde la delimitación del problema, hasta la obtención de una propuesta de solución.

- Se realizará un planteamiento del problema básico de transferencia de calor, con los datos propios de la zona a las condiciones menos favorables (o más críticas) al problema abordado. Este problema básico proporcionará

información importante para la construcción de un panel básico, como por ejemplo: el paso más apropiado entre canales, el espesor más apropiado para lograr el efecto, y el área hidráulica del canal.

- Se realizará el diseño de un panel básico completo, teniendo esta vez en cuenta factores limitantes propios de la manufactura, como por ejemplo disponibilidad de tamaños de planchas, técnicas de unión y similares.
- Conociendo el área del recinto a techar, se propondrá un esquema de paneles apropiados, y se realizará el cálculo y selección de los elementos que formarán su correspondiente servicio de refrigerante.
- En ese punto se realizará un análisis cuantitativo de si es conveniente o no el aprovechamiento del calor acumulado en el refrigerante, y se tomará la decisión respectiva.
- De ser positivo el paso anterior, se diseñarán y/o seleccionarán los equipos necesarios para el aprovechamiento de este calor.

Cabe mencionar que algunos de los cálculos a realizar son de naturaleza iterativa, aun así, se procurará mostrar solo un ejemplo de cálculo con sus resultados; si esa respuesta no fuera la apropiada, se mostrarán solo los resultados correspondientes a nuevas iteraciones con la metodología antes descrita. En la figura 2.3, puede verse de forma esquemática la metodología de cálculo propuesta.

2.3. Cálculos

En la presente sección se procederá a abordar el proceso de cálculo necesario para el diseño de un panel de techo enfriado. El problema central de cálculo será la determinación de un paso apropiado entre canales de enfriamiento. Para ello se realizarán una serie de cálculos secundarios que brindarán información necesaria al problema principal. El proceso a seguir se muestra explicado en forma de diagrama de flujo en la figura 2.3.

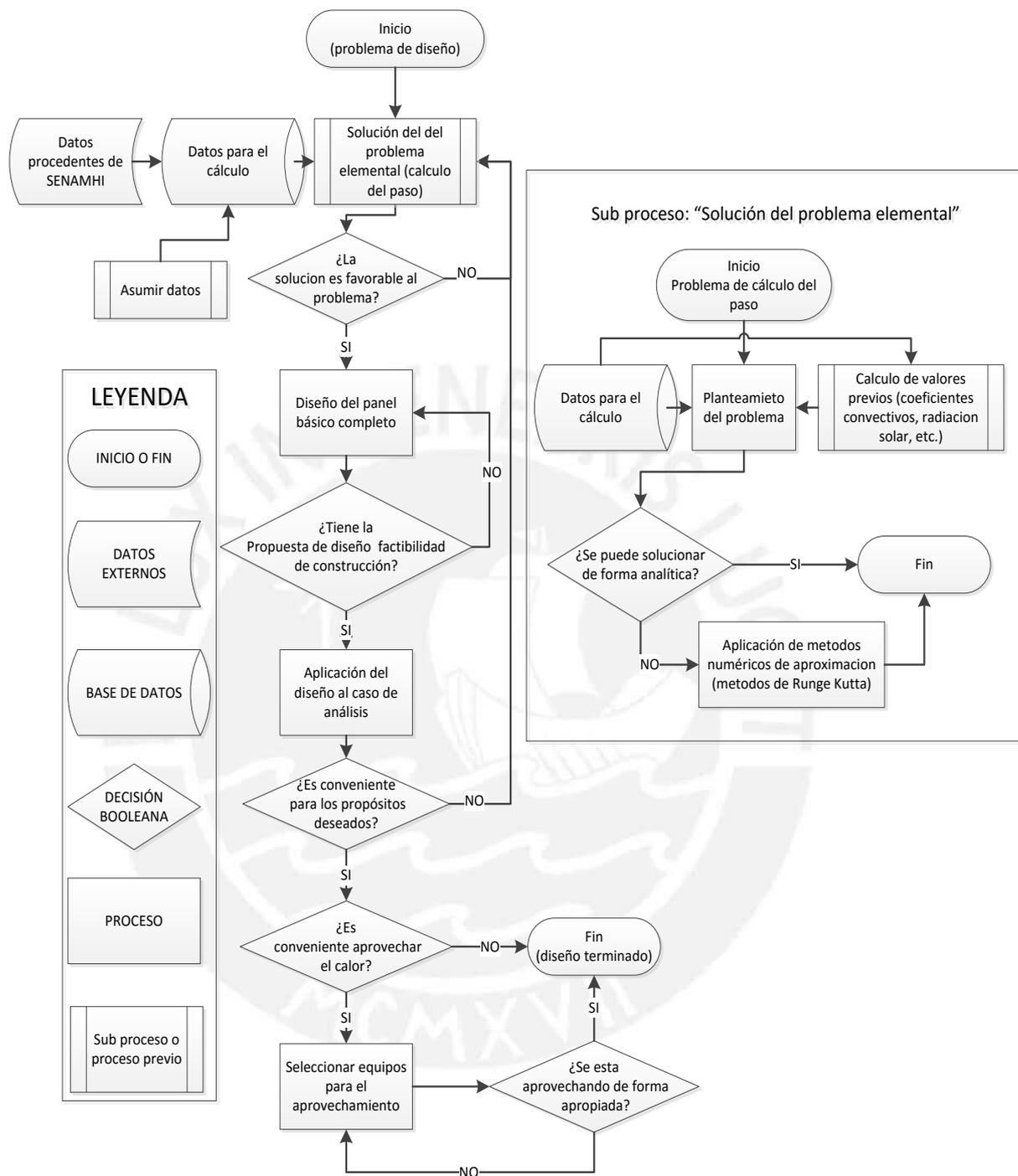


Figura 2. 3: Diagrama de flujo que explica el procedimiento a seguir para los cálculos llevados a cabo en la sección 2.33

2.3.1. Planteamiento del problema

En la presente sección se reduce el problema de análisis al problema elemental que lo representa. Debido a las características geométricas del panel propuesto (sección constante y longitud mayor al ancho), éste problema puede resumirse a la sección transversal de un solo canal de refrigeración con sus correspondientes superficies extendidas.

Debido a que es importante mantener la factibilidad del futuro proceso de construcción, el cual se desea sea realizado por la unión de dos planchas embutidas, es necesario tener en cuenta que este proceso no permite la realización de un canal perfectamente circular. Por ello, para los cálculos se aproximará la así llamada “sección real” a un “modelo de análisis”. En este modelo de análisis se optó por realizar una aproximación por perímetro mojado¹¹, debido a que es la que permite introducir un menor error en el cálculo del área de transferencia, la misma que será afectada por el coeficiente de convección.

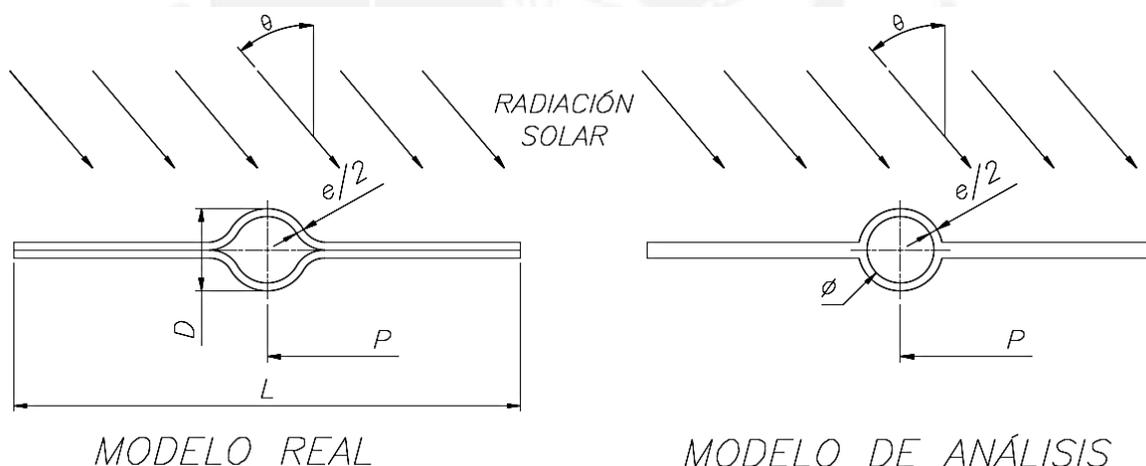


Figura 2. 4: Vista de corte de la sección de interés, en su forma realista, y su aproximación para cálculo (Elaboración propia).

¹¹ Perímetro mojado: Longitud característica para correlaciones de transferencia de calor, que se refiere a la longitud del perímetro que baña un fluido mientras atraviesa dicha sección.

Se muestra a continuación la nomenclatura que complementa a la figura 2.4:

D : Diámetro exterior aproximado de la sección real

e : Espesor de la pared

p : Perímetro mojado interior

P : Paso entre canales de refrigeración

Φ : Diámetro interior de análisis

Para representar el problema de forma apropiada, se llevará el modelo de análisis a su esquema eléctrico análogo que lo representa, el mismo que puede apreciarse en la figura 2.5.

Se desea conocer la distancia óptima entre canales de refrigeración, en adelante referida como el “paso”.

En este punto, el diagrama eléctrico no permite representar de forma apropiada el problema en cuestión, debido a que su aplicación es únicamente para los casos de conducción unidimensional. Permite identificar el balance de energía pero no el flujo de calor en la sección de análisis. El presente caso afronta un problema de conducción bidimensional. Un esquema referido a este punto, se muestra en la figura 2.6.

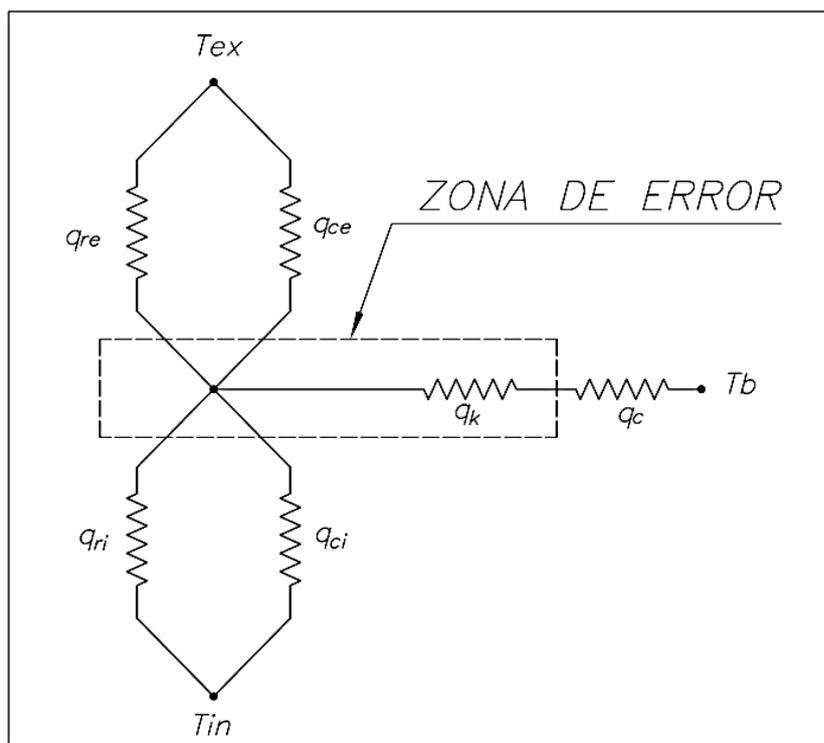


Figura 2. 5 : Analogía eléctrica del problema de transferencia, y su correspondiente zona de error (Elaboración propia).

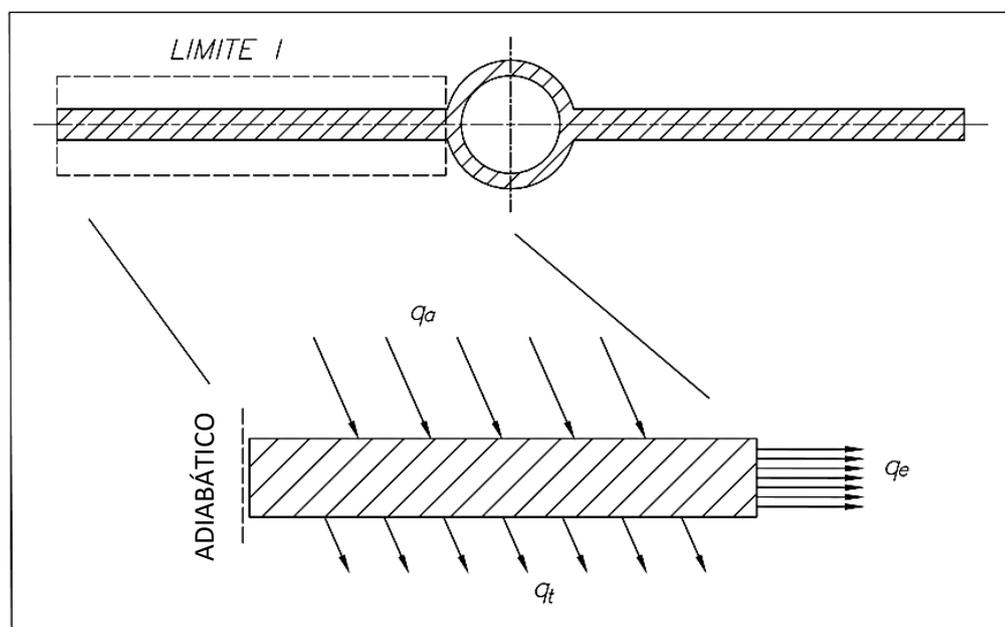


Figura 2. 6: Sección de conducción bidimensional, tal como será utilizada para el cálculo (Elaboración propia).

Complementando a las figuras 2.5 y 2.6, la tabla 2.1 muestra el significado de los símbolos mostrados

Tabla 2. 1: Lista de símbolos que complementan las anteriores imágenes

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
q_{re}	Calor específico radiante exterior	q_{ci}	Calor específico convectivo interior
q_{ce}	Calor específico convectivo exterior	q_k	Calor específico conductivo
q_{ri}	Calor específico radiante interior	q_c	Calor específico convectivo (refrigerante)

Según recomendaciones [1] se deben tratar los problemas de conducción bidimensional mediante el método gráfico, o métodos de cálculo numérico. Debido a que el método gráfico resulta ser el menos preciso, se optó por utilizar el método numérico.

En este caso en particular se realizó un análisis a través de un elemento diferencial representativo [2].

2.3.2. Identificación del estado termodinámico de análisis

Antes de iniciar el cálculo, resulta conveniente realizar un esquema termodinámico de la situación a analizar, identificando los límites de análisis

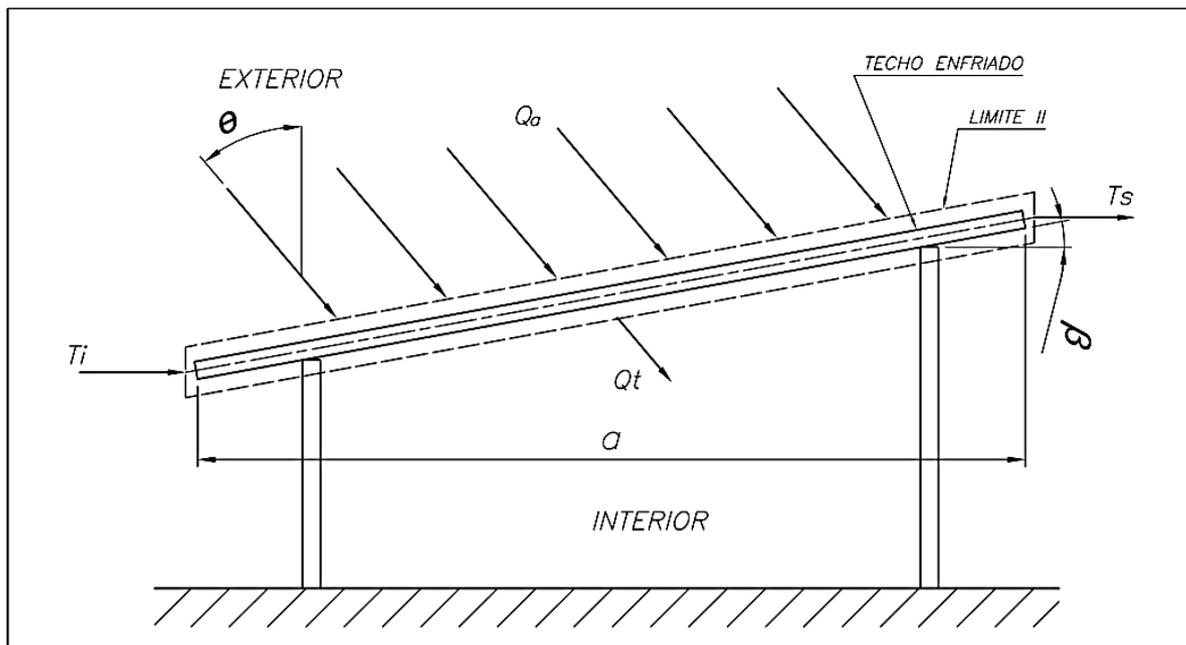


Figura 2. 7: Muestra un esquema del techo y el limite a analizar (LIMITE II) (Elaboración propia).

La lista a continuación mostrada detalla la nomenclatura empleada en la figura 2.7:

Q_a	: Calor que incide sobre el techo	W
Q_t	: Carga térmica	W
β	: Ángulo de inclinación del techo	°
a	: Longitud máxima	m
T_i	: Temperatura de ingreso del refrigerante	K
T_s	: Temperatura de salida del refrigerante	K

2.3.3. Modelo de cálculo del paso

Existen ciertos datos, tales como los coeficientes convectivos de las zonas sometidas a este mecanismo de transferencia de calor, y la radiación de la zona que deben ser conocidos de forma previa al planteamiento del problema principal. Estos valores no son datos directos, sino que deben ser pre calculados.

A. Cálculo del Coeficiente convectivo interior:

Para el cálculo de coeficientes convectivos, se recurre al uso de correlaciones y números adimensionales.

Antes de poder seleccionar una correlación se debe saber si el fluido que formará la capa límite, se encontrará en régimen laminar o turbulento. En nuestro caso, inicialmente, se desea que el régimen sea laminar, para requerir un menor caudal de fluido refrigerante. Si bien es sabido que este hecho devendrá en un bajo coeficiente convectivo, resulta atractivo iniciar el cálculo, desde el punto más bajo, para posteriormente subirlo solo lo necesario, según las iteraciones lo requieran.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot Lc}{\mu} \quad (2.1)$$

Tabla 2. 2: Valores a reemplazar en la fórmula para cálculo de Re

Símbolo	Descripción / consideración	Magnitud	Unidades	Fuente
ρ	Densidad del agua a T_b	992,7	Kg/m ³	[1]
V	Velocidad del agua	0,1	m/s	-
Lc	Diámetro de la "tubería"	$12,7 \cdot 10^{-3}$	m	-
μ	Viscosidad del agua a T_b	$6,37 \cdot 10^{-4}$	Kg/m-s	[1]

Luego de aplicar los valores propuestos en la tabla 2.2, en la fórmula 2.1, se obtiene: $Re=1980$, lo cual corresponde a un fluido en estado régimen laminar.

Debido a las características geométricas y físicas del caso en análisis; régimen laminar, longitud deseada: más de 60 veces mayor al diámetro y fluido líquido, se escoge la siguiente correlación, la cual cumple con ser aplicable al caso descrito.

$$Nu = 4,36 \quad (2.2)$$

La antes mostrada correlación 2.2 corresponde al tipo más básico, no requiere valores adimensionales, sino que es válida para todos los valores dentro del intervalo de requisitos. Recurriendo a la fórmula para el cálculo del coeficiente convectivo:

$$Nu = \frac{h \cdot Lc}{k} \quad (2.3)$$

Tabla 2. 3: Datos para el cálculo del coeficiente convectivo interior a partir del número de Nusselt

DATO	ABREVIATURA	Magnitud	Unidades	Fuente
Número de Nusselt	Nu	4,36	-	[1]
Coefficiente de conducción	K	0.636	W/m-K	[1]
Longitud característica	Lc	12,7 .10 ⁻³	m	-

Con los valores calculados con las formulas 2.1 y 2.2, según los datos mostrados en la tabla 2.3, se obtiene un coeficiente convectivo $h=218 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Para posteriores iteraciones en las que el régimen pudiere cambiar de laminar a turbulento, se debe cambiar la correlación por una acorde al régimen que expresen los números adimensionales del caso particular.

B. Cálculo de coeficiente convectivo exterior.

Al igual que para la determinación del coeficiente convectivo interior, en el caso del exterior, se inicia el cálculo determinando si el régimen es laminar o turbulento. Para esto se calcula el Número de Reynolds exterior.

Es necesario tener en cuenta que en este caso el fluido de trabajo es aire, y la característica geométrica se asemeja mucho a una placa plana, por lo que se aproximará a una de ellas.

La longitud característica en este caso será la mitad de dimensión más corta por la cual soplará el viento. A su vez se asumirá que el viento fluye en ese sentido, para ser más conservador en el cálculo general.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot Lc}{\mu} \quad (2.4)$$

Tabla 2. 4: Datos para el cálculo del número de Reynolds y capa límite exterior

DATO	ABREVIATURA	Magnitud	Unidades	Fuente
Longitud característica	Lc	2.5	m	-
Velocidad del viento	V	2	m/s	(Tabla 1.2)
Temperatura exterior	Tex	303	K	(Tabla 1.2)
Densidad del aire	ρ	1.1658	Kg/m ³	-
Viscosidad dinámica	μ_a	18.60 .10 ⁻⁶	Kg/m-s	-
Numero de Prandtl	Pr	0.707	ADM!	-
Conductividad térmica	K	2.6054 .10 ⁻²	W/m-K	[1]

Con los datos mostrados en la tabla 2.4 y la fórmula 2.4, se obtiene un número de Reynolds $Re=313387$

Conociendo el valor de Re , y determinando que se trata de un caso de régimen turbulento, se procede a seleccionar una correlación, que cumpla con las características necesarias [1].

$$Nu = (0.037Re^{0.8} - 871)Pr^{1/3} \quad (2.5)$$

Recurriendo a la correlación 2.5, y los valores antes calculados, se obtiene un número de Nusselt $Nu=46$. A continuación, utilizando nuevamente la fórmula 2.3, se obtiene un coeficiente convectivo $h=0.5$.

Debido a coeficiente obtenido es relativamente bajo, y la diferencia de calor a la que se someterá este coeficiente convectivo también es baja, y por tanto se despreciará para los siguientes cálculos.

C. Cálculo de la radiación y ángulo óptimo en “La Joya”:

Para el presente cálculo, se recurrirá a la data sobre el recurso solar proporcionados por SENAMHI para Arequipa, en particular para “La Joya”[3].

A continuación la figura 2.8 muestra en espectro de colores la energía incidente diaria para todo la Departamento de Arequipa. De ahí se extraerán los datos correspondientes únicamente a la zona de estudio en particular. Se ha indicado con una flecha la posición aproximada de La Joya dentro del plano.



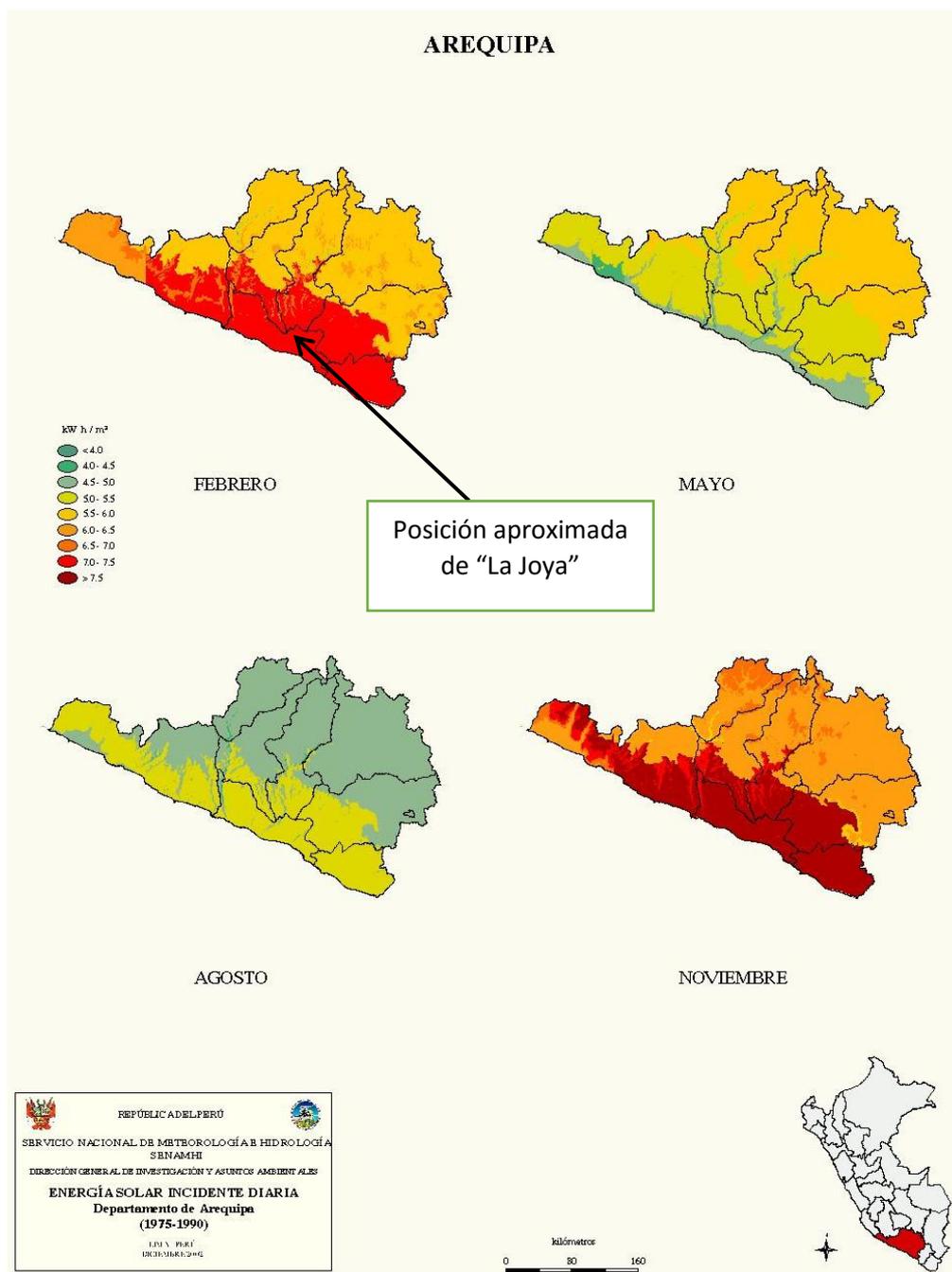


Figura 2. 8: Magnitud de la radiación disponible en las distintas estaciones del año [4].

Debido a que tanto para el aprovechamiento, como para la evasión de la radiación solar, es importante el poseer un ángulo de incidencia apropiado, a continuación se calculará la radiación disponible en función del ángulo de incidencia, el cual se encuentra en función de los ángulos solares, y las coordenadas de la zona de análisis.

Para el cálculo del ángulo óptimo, será necesaria la obtención de ciertos datos intermedios, necesarios para la determinación del ángulo óptimo. La nomenclatura de algunos de estos valores, puede observarse de forma esquemática en la figura 2.9.

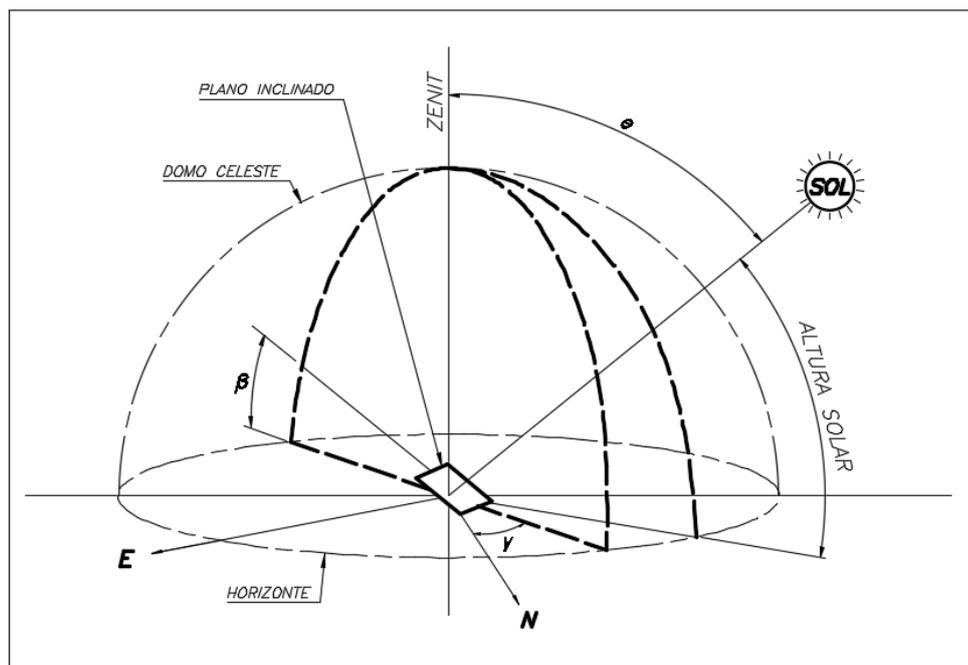


Figura 2. 9: Ángulos para el análisis del recurso solar (elaboración propia).

Dado que en el presente estudio trata sobre un forma de evitar la carga térmica, pero a priori se pretende aprovechar el recurso solar (al margen de que posterior calculo indique que no es conveniente), se propone utilizar una orientación que posea un ángulo desfavorable a la incidencia solar en verano, y uno favorable en invierno. Se tendrá como valor crítico el valor de mayor magnitud entre estas dos estaciones, en ambas con la misma orientación.

En resumen, para los meses de verano la orientación tiene que ser tal que permita una incidencia baja y alta para el invierno [5].

A continuación se mostrará el cálculo para un día y hora en particular, posteriormente se mostrará el resumen de los datos calculados con la misma metodología, para varios

días de interés, como por ejemplo días centrales de cada mes, solsticios¹² y equinoccios¹³.

Para la metodología de cálculo a emplear [6], el primer paso será numerar los días, comenzando con asignar el 1 al 1° de enero, presuponiendo de febrero tiene 28 días, se finaliza con asignar el 365 al 31 de diciembre.

A su vez se deben numerar las horas, partiendo del mediodía, hora que se considera como 0°, cada hora adicional hacia la tarde se considerará como 15°; a su vez cada hora hacia la mañana se considerará como -15°

Para el ejemplo de cálculo se utilizara el día #17 (17 de enero), a las 12:00m (0°)

Se calcula la declinación solar¹⁴ (δ)

Para el cálculo de la declinación solar se recurre a la fórmula mostrada a continuación:

$$\delta = 23.45 \text{Sen}\left(\frac{360 \cdot (n + 284)}{365}\right) \quad (2.6)$$

Reemplazando por ejemplo un $n=17$, en la fórmula 2.6, se obtiene una declinación solar $\delta=-0.365$ rad, cuyo equivalente en grados sexagesimales sería: $-20,92^\circ$

¹² Solsticios: Días en los cuales el sol alcanza su máxima o mínima altura aparente en el cielo. Se refleja para el habitante promedio como “el día más largo del año” o “el día más corto del año”.

Matemáticamente se expresa como el alcance del máximo y mínimo valor de la declinación solar.

¹³ Equinoccios: Días en los cuales el sol está contenido en el plano imaginario que circunscribe al ecuador terrestre. Matemáticamente se expresa como los días en los cuales la declinación solar es igual a cero.

¹⁴ Declinación solar: Ángulo que general el ángulo de inclinación del planeta respecto del plano orbital al transitar su órbita

Se calcula el “ángulo del amanecer¹⁵”(ω_s)

Cabe mencionar que el opuesto del ángulo del amanecer, será considerado como el ángulo de la puesta del sol ($-\omega_s$). Para su cálculo se proporciona a continuación una fórmula:

$$\omega_s = \text{Acos}[-\tan(\delta) \text{Tan}(\varphi)] \quad (2.7)$$

Para la fórmula 2.7, φ representa la latitud expresada en grados norte. Tomando un valor $\varphi = -16.5^\circ$ Norte, en la fórmula antes mencionada, se obtiene: $\omega_s = -1.68$ rad, equivalentes a $-96^\circ 30'$.

Se calcula la irradianza solar extraterrestre¹⁶ sobre sobre un plano normal a la irradiación (H_o)

$$H_o = I_{sc} \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right) \right] \quad (2.8)$$

Con los valores antes utilizados para el día 17, se obtiene: $H_o = 1345 \text{ W/m}^2$

Se calcula el zenith (θ_{zs})

$$\theta_{zs} = \text{Acos}\left(\left(\text{Cos}(\varphi) \cdot \text{Cos}(\delta) \cdot \text{Cos}(\omega_s) + \text{Sin}(\varphi) \cdot \text{Sin}(\delta)\right)\right) \quad (2.9)$$

¹⁵ Ángulo de la hora: Ángulo que varía el sol, en una hora.

¹⁶ Irradianza solar extraterrestre: Cantidad de energía que incide sobre la atmósfera, no afectada por ésta.

Utilizando los valores antes calculados, y considerando que en este ejemplo se calcula para el medio día ($\omega_s = 0$)

Se obtiene: $\theta_{zs} = 0,077\text{rad}$ ($4^\circ 24'$)

Se calcula la irradianza solar extraterrestre sobre una superficie horizontal

$$H = H_o * \text{Cos}(\theta_{zs}) \quad (2.10)$$

Con los valores antes calculados de H_o y θ_{zs} , se obtiene: $H = 1341 \text{ W/m}^2$

Se calcula la cantidad de horas de luz diurna (N)

$$N = \frac{\|\omega_s\| \cdot 2}{15} \quad (2.11)$$

Con el valor antes calculado de ω_s , se obtiene: $N = 12.87\text{hs}$ ($12\text{hs}52'$)

Se calcula la irradianza, promedio registrada (Hr)

En esta sección se recurre a los datos registrados en el "Atlas solar" [2] los cuales proporcionan a la localidad en estudio, una irradiación diaria $H_m = 7 \text{ KW-h/m}^2$:

$$H_r = \frac{H_m \cdot 1000}{N} \quad (2.12)$$

Con los valores de tabla y antes calculados, se obtiene: $H_r = 544 \text{ W/m}^2$.

Se calcula el factor de claridad¹⁷ (Kt)

$$Kt = \frac{Hm}{H} \quad (2.13)$$

Reemplazando, Kt=0,405

Se calcula la radiación difusa (Hd)

$$Hd = H.(1-1,13.Kt) \quad (2.14)$$

Reemplazando valores, se obtiene Hd=295W/m²

Se calcula el ángulo de incidencia solar (θ)

$$\theta = \beta - \theta_{zs} \quad (2.15)$$

Reemplazando valores: $\theta = 4,417$

Se calcula factor de forma promedio (Rb)

$$Rb = \frac{a}{b} \quad (2.16)$$

dónde:

$$a = \frac{(\text{Sen}(\delta) \cdot \text{Sen}(\phi) \cdot \text{Cos}(\beta) - \text{Sen}(\delta) \cdot \text{Cos}(\phi) \cdot \text{Sen}(\beta)) \cdot \pi \cdot (\omega_2 - \omega_1)}{180} \\ + (\text{Cos}(\delta) \cdot \text{Cos}(\phi) \cdot \text{Cos}(\beta) + \text{Cos}(\delta) \cdot \text{Sen}(\phi) \cdot \text{Sen}(\beta) \cdot \text{Cos}(\gamma)) \cdot (\text{Sen}(\omega_2) - \text{Sen}(\omega_1)) \\ - (\text{Cos}(\delta) \cdot \text{Sen}(\beta)) \cdot (\text{Cos}(\omega_2) - \text{Cos}(\omega_1))$$

y

¹⁷ Factor de claridad: factor que cuantifica el efecto de las pérdidas de energía en la atmósfera.

$$b = (\text{Cos}(\phi) \cdot \text{Cos}(\delta)) \cdot (\text{Sen}(\omega_2) - \text{Sen}(\omega_1)) + \frac{\text{Sen}(\phi) \cdot \text{Sen}(\delta) \cdot \pi \cdot (\omega_2 - \omega_1)}{180}$$

Complementando a la fórmula 2.16, se muestra a continuación la nomenclatura que la aclara:

δ	: Declinación solar	◦
Φ	: Latitud	◦
β	: Inclinación de la superficie	◦
γ	: Ángulo azimutal de la superficie	◦
ω_1	: Ángulo de la hora del inicio del análisis	◦
ω_2	: Ángulo de la hora del fin de análisis	◦

Utilizando los datos antes obtenidos, haciendo $\omega_1 = -10^\circ$, $\omega_2 = 10^\circ$ y $\gamma = 180^\circ$; se obtiene: $R_b = 1,044$ (el factor de forma promedio durante el mediodía $\pm 40'$)

Se calcula la radiación global (H_G)

$$H_G = H_d + H \quad (2.17)$$

Se calcula la cantidad radiación absorbida (S)

$$S = H \cdot R_b \cdot (a) + H_d (a_d) \cdot \left(\frac{1 + \text{Cos}(\beta)}{2} \right) + \rho_a \cdot H_G \cdot (a_a) \quad (2.18)$$

La lista a continuación mostrada, muestra la nomenclatura que complementa a la fórmula 2.18.

α	: Absorbancia directa
α_d	: Absorbancia difusa
α_a	: Absorbancia de albedo
ρ_a	: Reflectancia del suelo

En esta parte se observa que la radiación global está compuesta por tres componentes: la radiación directa, la difusa y finalmente la radiación de albedo. Esta última depende en gran medida de si se está emitiendo algún reflejo de forma intencional sobre la superficie de cálculo; por ejemplo, espejos, concentradores solares o reflejos del terreno. En el caso de albedo del terreno, se ve fuertemente influenciada por el ángulo de inclinación respecto de la horizontal, siendo mínimo (considerado despreciable ó 0) para una superficie horizontal ($\beta=0$), y máximo para una superficie vertical ($\beta=90$).

En el presente caso de estudio, se presupone que nada o nadie realizará generará reflejos intencionales, por lo cual se considerará solo el albedo del terreno, presuponiéndolo como “arena de desierto”.

De esta forma, considerando todos los valores de absorción como 0,2, y el albedo del terreno como 0,4 [7].

Se obtiene $S \approx 166 \text{W/m}^2$ para el día 17 de enero, a las 12:00, medido sobre una superficie elevada 15° desde la horizontal, orientada a 180° respecto de la línea N-S.

En resumen, “S”, sería la cantidad de energía que ingresa al techo, a las condiciones mencionadas. Esta variable será el que se considerará para los subsiguientes análisis, calculada ahora para distintos días del año, distintas inclinaciones y orientaciones.

Se determina la inclinación y orientación más apropiadas (β, γ)

Para poder tener una idea más visual de cómo se comporta la radiación absorbida, en función de los distintos parámetros que la definen, se procede a tabular y graficar los resultados, para los días medios de cada mes, así como para los días críticos solares (solsticios y equinoccios). La tabla de cálculo, así como las superficies graficadas pueden verse en la sección de anexos 3.

Una de las superficies obtenidas, se muestra a continuación la figura 2.10.

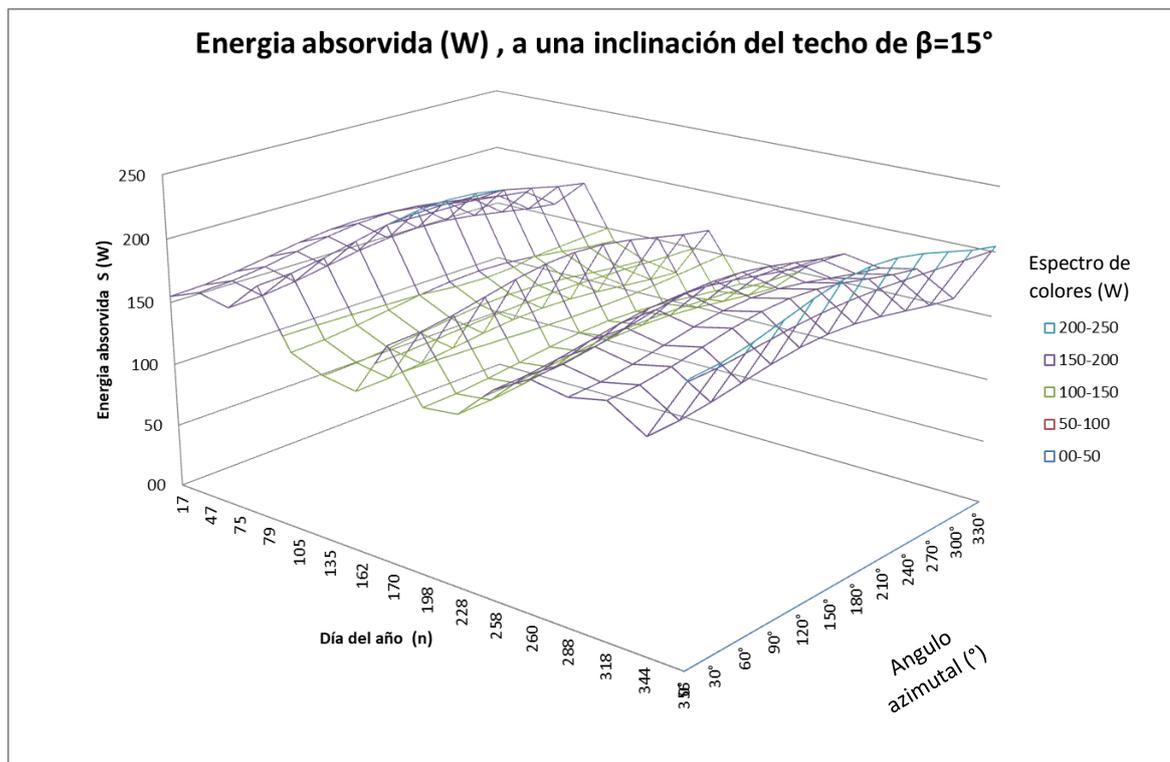


Figura 2. 10: Superficie que forma la radiación absorbida por una superficie para los distintos ángulos azimutales a los que se puede orientar, los distintos días del año, para una inclinación particular (Elaboración propia).

Pueden verse una mayor cantidad de gráficos correspondientes a otras posibilidades de inclinación, los cuales se encuentran la sección de anexos 3.

Analizando las gráficas, se puede notar que los máximos de energía absorbida, se dan para $\gamma=180^\circ$, así como los mínimos, para $\gamma=0^\circ$. Si bien es fácil modificar el ángulo de inclinación (β), es necesario tener presente que este está restringido a las recomendaciones [16] de inclinación de un techo alivianado, el cual se debería encontrar entre el 15% y el 20% ($8^\circ 30' - 11^\circ 20'$) como mínimo para una zona con lluvias moderadas. Condición que corresponde directamente a la localidad de La Joya.

Dado que el objetivo de este trabajo, es la evasión de carga térmica, resulta razonable selección un ángulo azimutal de $\gamma=0^\circ$ y un ángulo de inclinación de $\beta=15^\circ$, el cual sobrepasa el mínimo recomendado.

Con estos parámetros en la figura 2.10, se tiene un valor de S que se encuentra entre los 200W y 250W en los días más cálidos (entre $n=356$ y $n=17$; de diciembre a enero).

Por ello para los subsiguientes cálculos se utilizará un valor conservador (crítico) $S=250W$.

D. Cálculo de la distribución de temperaturas en la sección de análisis.

Para la determinación del paso óptimo entre canales de refrigeración, se procederá a analizar el comportamiento térmico de un modelo de análisis, en este caso, el modelo de análisis recurrirá al caso más simple: una plancha de metal muy larga refrigerada por un solo lado.

Debido a que por características constructivas, se desea que el espesor sea del orden de los milímetros, no conlleva un error muy alto el asumir que las temperaturas de superficie sean las mismas por ambos lados de la plancha [8].

De este modo se procede a tomar un elemento diferencial de análisis representativo, siendo este elemento afectado por todos los mecanismos de transferencia de calor que afectarían al techo real.

A continuación las figuras 2.11 y 2.12, muestran esquemas sobre las consideraciones, flujos de calor y demás particularidades de la zona de estudio.

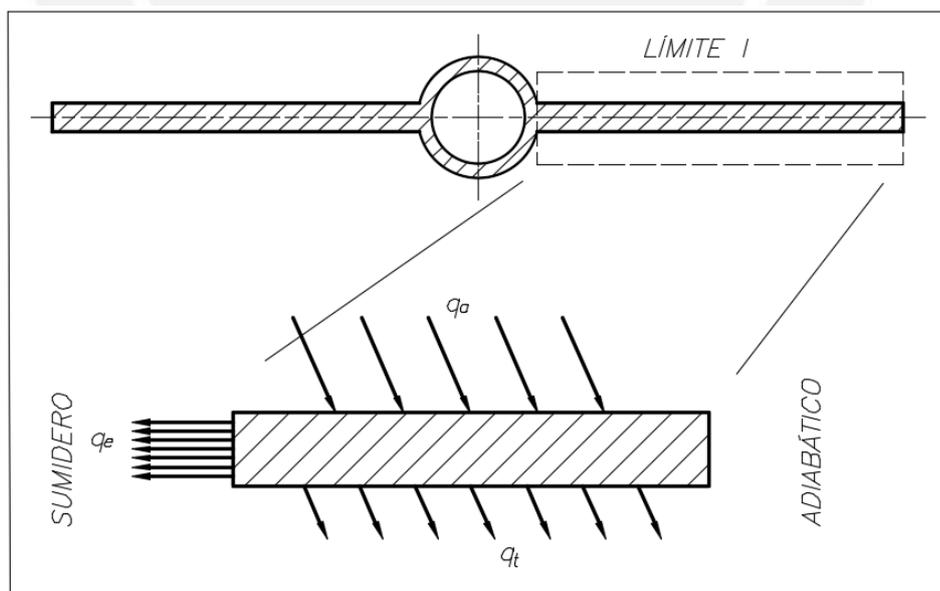


Figura 2. 11: Vista en sección de la zona sobre la que se realizará el análisis (Elaboración propia).

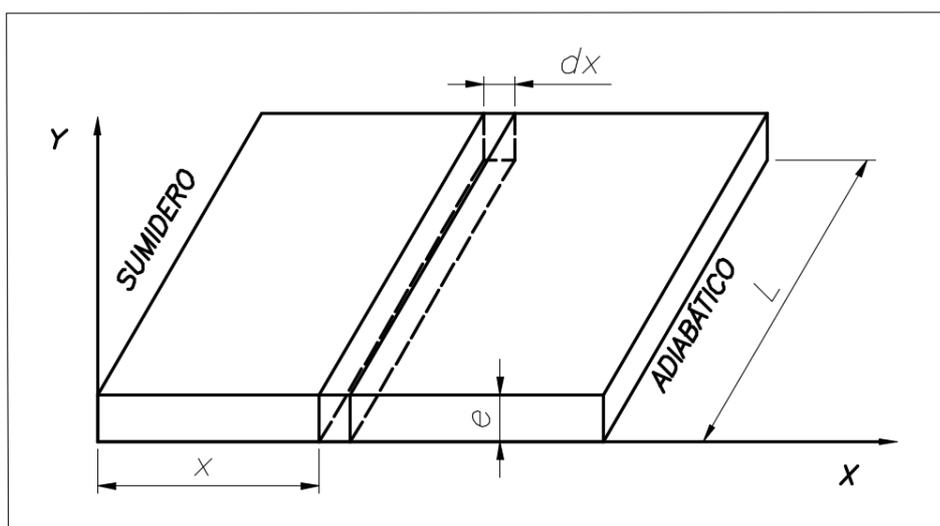


Figura 2. 12: Vista isométrica de cómo se toma el elemento diferencial de análisis (Elaboración propia).

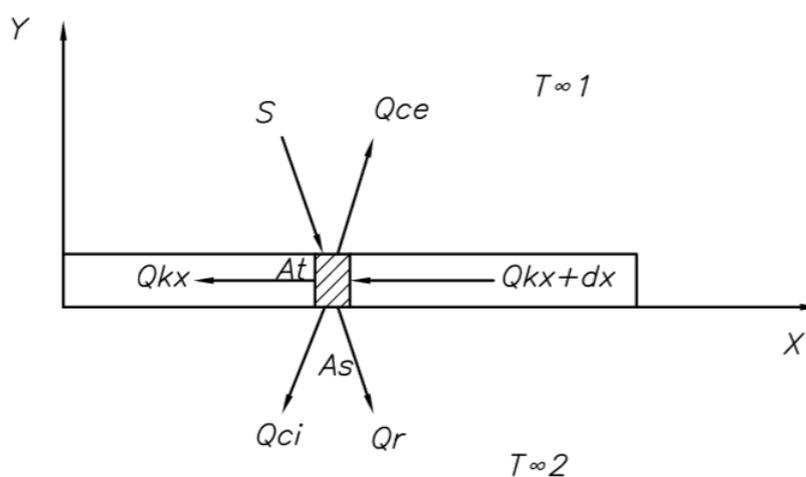


Figura 2. 13: Elemento diferencial en vista de sección y los fenómenos que lo afectan (el sumidero de calor estaría en $x=0$) (Elaboración propia).

Complementando a las figuras 2.11, 2.12 y 2.13, se muestra a continuación su nomenclatura.

Q_k	: Calor conducido	W
Q_{ce}	: Calor convectivo exterior	W
Q_{ci}	: Calor convectivo interior	W
Q_r	: Calor radiante al interior	W
S	: Energía radiante absorbida	W
$T_{\infty 1}$: Temperatura del aire exterior	K
$T_{\infty 2}$: Temperatura del aire interior	K
A_t	: Área de conducción	m ²
A_s	: Área superficial	m ²

Realizando un balance de energía en el elemento diferencial, análogo al realizado en el caso del análisis de superficies extendidas, se obtiene lo siguiente:

$$Q_{kx} = Q_{kx} + \Delta x + Q_{cap} \quad (2.19)$$

A su vez:

$$Q_{cap} = S - Q_{ce} - Q_{ci} - Q_r \quad (2.20)$$

En la ecuación 2.19, Q_{cap} representa el “calor captado”. Este se define como el calor que gana el fluido de refrigeración (agua).

A continuación se recurrirá a las formas básicas de los tres mecanismos que existen para la transferencia de calor, los cuales se expresan en las siguientes formulas:

$$Q_k = k \cdot A \cdot (dT/dx) \quad (2.21)$$

$$Q_c = h_c \cdot A \cdot (\Delta T) \quad (2.22)$$

$$E = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A \cdot T^4 \quad (2.23)$$

La siguiente lista muestra la nomenclatura utilizada en las formulas 2.21, 2.22 y 2.23, así como sus respectivas unidades.

Q _k : Calor transferido por conducción	W
k: Conductividad térmica del material	W/mK
A: Area de transferencia	m ²
dT/dx: Gradiente de temperatura	K/m
Q _c : Calor transferido por convección	W
h _c : Coeficiente convectivo	W/m ² K
ΔT: Variación de temperaturas	K
E: Energía radiante emitida por un radiador real	W
σ : Constante de Stefan y Boltzman (=5,67x10 ⁻⁸)	W/m ² K ⁴
ε: Emisividad del radiador	-
T: Temperatura superficial del radiador	K
S: Energía radiante absorbida	W

Reemplazando los valores del caso en análisis, se obtiene:

$$Q_{cap} = S \cdot A_s - h_e \cdot A_s \cdot (\Delta T1) - h_i \cdot A_s \cdot (\Delta T2) - \sigma \cdot \epsilon \cdot A_s \cdot T^4 \quad (2. 24)$$

dónde: $\Delta T1 = T - T_{\infty 1}$ y $\Delta T2 = T - T_{\infty 2}$

Reemplazando Q_{cap} en el balance de energía:

$$Q_{kx} - Q_{kx} + \Delta x = S \cdot A_s - h_e \cdot A_s \cdot (\Delta T1) - h_i \cdot A_s \cdot (\Delta T2) - \sigma \cdot \epsilon \cdot A_s \cdot T^4 \quad (2. 25)$$

Considerando $L=1m$, y $A_s = \Delta x \cdot L = \Delta x$ ($L=1$)

Reemplazando nuevamente

$$\frac{Q_{kx} - Q_{kx} + \Delta x}{\Delta x} = S - h_e \cdot (\Delta T1) - h_i \cdot (\Delta T2) - \sigma \cdot \epsilon \cdot T^4 \quad (2. 26)$$

Tomando Límite

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(\frac{Q_{kx} - Q_{kx} + \Delta x}{\Delta x} \right) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} (S - h_e \cdot (\Delta T1) - h_i \cdot (\Delta T2) - \sigma \cdot \epsilon \cdot T^4) \quad (2. 27)$$

$$\frac{dQ_k}{dx} = S - h_e \cdot (\Delta T1) - h_i \cdot (\Delta T2) - \sigma \cdot \epsilon \cdot T^4$$

definiendo

$$Q_k = k \cdot A \cdot (dT/dx) \quad (2. 28)$$

Reemplazando (2.28), en (2.27)

$$\frac{d}{dx} \left(-k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \right) = S - h_e \cdot (\Delta T_1) - h_i \cdot (\Delta T_2) - \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad (2.29)$$

$$-k \cdot A \cdot \frac{dT^2}{dx^2} = S - h_e \cdot (\Delta T_1) - h_i \cdot (\Delta T_2) - \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4$$

Reemplazando $\Delta T_1 = T - T_{\infty 1}$ y $\Delta T_2 = T - T_{\infty 2}$, se obtiene (2.30)

$$-k \cdot A \cdot \frac{dT^2}{dx^2} = S - h_e \cdot (T - T_{\infty 1}) - h_i \cdot (T - T_{\infty 2}) - \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad (2.30)$$

Desarrollando los paréntesis de (2.30) y dando forma, se obtiene: la ecuación diferencial que rige la variación de temperatura respecto de su posición al lado enfriado ($T=T(x)$).

$$\frac{dT^2}{dx^2} = \left(\frac{\sigma \cdot \varepsilon}{k \cdot A t} \right) \cdot T^4 + \left(\frac{h_e + h_i}{k \cdot A t} \right) \cdot T - \left(\frac{S + T_{\infty 1} \cdot h_e + T_{\infty 2} \cdot h_i}{k \cdot A t} \right) \quad (2.31)$$

Para una mayor practicidad en el manejo, la Ecuación (2.31) se reescribe como se muestra a continuación.

$$\frac{dT^2}{dx^2} = a \cdot T^4 + b \cdot T - c \quad (2.32)$$

Complementando a (2.32), la expresión para los coeficientes a , b y c , se muestran en (2.33)

$$a = \left(\frac{\sigma \cdot \varepsilon}{k \cdot At} \right), \quad b = \left(\frac{h_e + h_i}{k \cdot At} \right) \quad y \quad c = \left(\frac{S + T_{\infty 1} \cdot h_e + T_{\infty 2} \cdot h_i}{k \cdot At} \right) \quad (2.33)$$

E. Cálculo de la distribución del calor transferido

Para saber cuánto calor se logra transferir desde una cierta posición, se recurre a utilizar la distribución de calor antes determinada. Se analiza nuevamente el mismo elemento diferencial que se mostró en la figura 2.13, solo que en este caso por balance de energía basta con saber cuánto es el calor captado en cada punto.

Para ello bastara con reemplazar el valor de T en la mencionada ecuación (2.24).

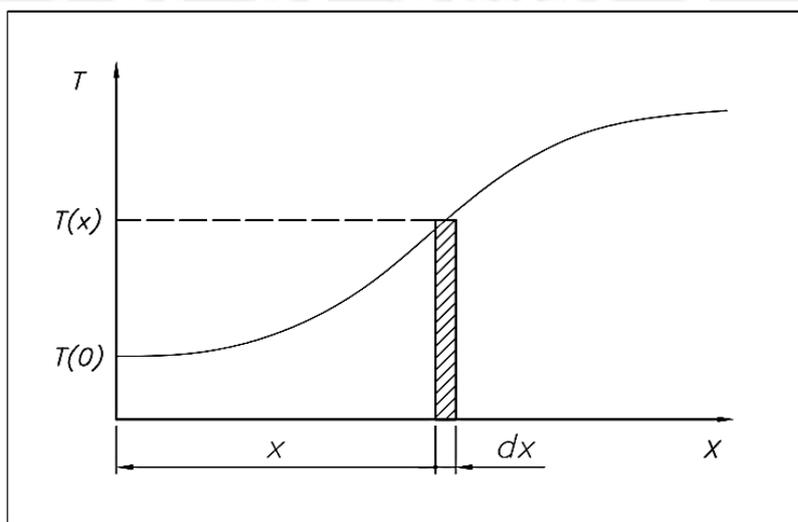


Figura 2. 14: “Elemento diferencial” tomado para el cálculo del calor captado en cada punto (Elaboración propia).

$$Q_{cap} = S \cdot A_s - h_e \cdot A_s \cdot (\Delta T1) - h_i \cdot A_s \cdot (\Delta T2) - \sigma \cdot \epsilon \cdot A_s \cdot T^4 \quad (2. 34)$$

dónde: $\Delta T1 = T - T_{\infty 1}$ y $\Delta T2 = T - T_{\infty 2}$

Si bien la forma estricta matemática de proceder debería ser utilizando la función que expresa el valor de la temperatura T en función de la posición, esta no es factible de ser despejada. Por este motivo se recurre a una aproximación numérica, mediante sumas.

Para dar forma al elemento repetitivo a sumar, se particionará el rango de x en pequeñas áreas (se tendrá una relación inversamente proporcional entre la precisión y la magnitud de la mencionada área) caracterizadas por una posición x y sobre las cuales la temperatura se considerará constante e igual a T(x).

Reemplazando lo antes mencionado:

Para un x en un intervalo [0,1]m, y una partición de 1000 intervalos

$$A_s = \frac{(1 - 0)}{1000} \cdot L \quad (2. 35)$$

F. Cálculo de la eficiencia del paso

Con el objetivo de poder determinar qué tan eficiente es el espaciado que se está proporcionando a los canales de refrigeración, en términos de cantidad de calor evacuado, se define en esta sección la así llamada eficiencia.

Esta se define como la proporción de la cantidad de calor captado en un determinado punto, a una distancia "x" respecto del sumidero de calor, y el calor que se puede captar en el extremo (x=0, o el punto más efectivo).

Sabiendo que el calor captado en cualquier punto se expresa como:

$$Q_{cap}(x) = S \cdot A_s - h_e \cdot A_s \cdot (T(x) - T_{\infty 1}) - h_i \cdot A_s \cdot (T(x) - T_{\infty 2}) - \sigma \cdot \epsilon \cdot A_s \cdot T(x)^4 \quad (2. 36)$$

Se plantea:

$$\eta(x) = \frac{S.As - h_e.As.(T(x) - T_{\infty 1}) - h_i.As.(T(x) - T_{\infty 2}) - \sigma.\epsilon.As.T(x)^4}{S.As - h_e.As.(T(0) - T_{\infty 1}) - h_i.As.(T(0) - T_{\infty 2}) - \sigma.\epsilon.As.T(0)^4} \quad (2.37)$$

donde $\eta(x)$ representa la “eficiencia del paso”.

G. Solución mediante el método de Runge-Kutta de 4^{to} orden

Como puede notarse la ecuación (2.32), que rige el comportamiento de la temperatura de la placa de análisis respecto de su posición al extremo refrigerado, se encuentra dada por una ecuación diferencial ordinaria no lineal de segundo orden. Este tipo de ecuación no puede ser solucionado por un método analítico, debido a las limitaciones de forma que estos poseen. Por la razón antes mencionada se decidió por la aplicación de un método numérico, en este caso debido a la presencia de una segunda derivada, resulta conveniente el aplicar un cambio de variable a fin de reducir en un grado la ecuación diferencial y formar un sistema de ecuaciones diferenciales abordables por un de los métodos de Runge-Kutta.

Problema original:

$$\frac{dT^2}{dx^2} = a.T^4 + b.T - c$$

Considerando $v = \frac{dT}{dx}$ y reemplazando:

$$\frac{dv}{dx} = a.T^4 + b.T - c, \quad y \quad \frac{dT}{dx} = v$$

De esto se obtiene:

$$\begin{bmatrix} \frac{dT}{dx} \\ \frac{dv}{dx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a.T^4 \\ v.T + c \end{bmatrix}$$

Donde a, b y c, se obtienen de la ecuación (2.33)

Finalmente para aplicar el método de Runge-Kutta de cuarto orden, es necesario conocer los valores de frontera y un intervalo para la solución. Teniendo en cuenta el caso de análisis, se proponen los siguientes valores:

$$x \in [0,1] \text{m}, \quad T(0) = 305\text{K}, \quad T'(0) = 0$$

De los valores antes mencionados, vale aclarar la procedencia de $T'(0)$. Este término representa la “primera derivada de la temperatura respecto de la posición”. Dado que se espera alcanzar una tendencia de $T(x)$, tal como la mostrada en la figura 2.14. Aplicando criterios de Cálculo diferencial de una variable, el comportamiento de $T'(0)$, sería la pendiente de una recta horizontal por lo tanto se deduce que $T'(0)=0$. Puede verse en la figura 2.15, que el comportamiento de la curva alcanzada coincide con la hipótesis planteada en la figura 2.14.

Teniendo en cuenta las consideraciones antes mencionadas, se procede a aplicar el método de Runge Kutta de cuarto orden.

$$T_{i+1} = T_i + \frac{1}{6}h(k_1 + k_2 + k_3 + k_4)$$

$$T'_{n+1} = T'_n + \frac{h}{6}(G_1 + 2G_2 + 2G_3 + G_4)$$

A su vez

$$k_1 = T(x_i, v_i)$$

$$G_1 = T'(x_i, v_i)$$

$$k_2 = T\left(x_i + \frac{1}{2}hk_1, v_i + \frac{h}{2}G_1\right)$$

$$G_2 = T'\left(x_i + \frac{1}{2}hk_1, v_i + \frac{h}{2}G_1\right)$$

$$k_3 = T\left(x_i + \frac{1}{2}hk_2, v_i + \frac{h}{2}G_2\right)$$

$$G_3 = T\left(x_i + \frac{1}{2}hk_2, v_i + \frac{h}{2}G_2\right)$$

$$k_4 = T(x_i + hk_3, v_i + hG_3)$$

$$G_4 = T(x_i + hk_3, v_i + hG_3)$$

Debido a las características de solución de un método numérico (procedimientos iterativos) se recurrirá a la ayuda de un software de tipo hoja de cálculo, en este caso la plataforma Matlab. Con ayuda de este software, se implementó un código (el cual puede verse en la sección de anexos 4) capaz de resolver el problema en cuestión, entregando como respuesta las gráficas correspondientes a los comportamientos de temperatura, calor, eficiencia y carga térmica respecto de la posición.

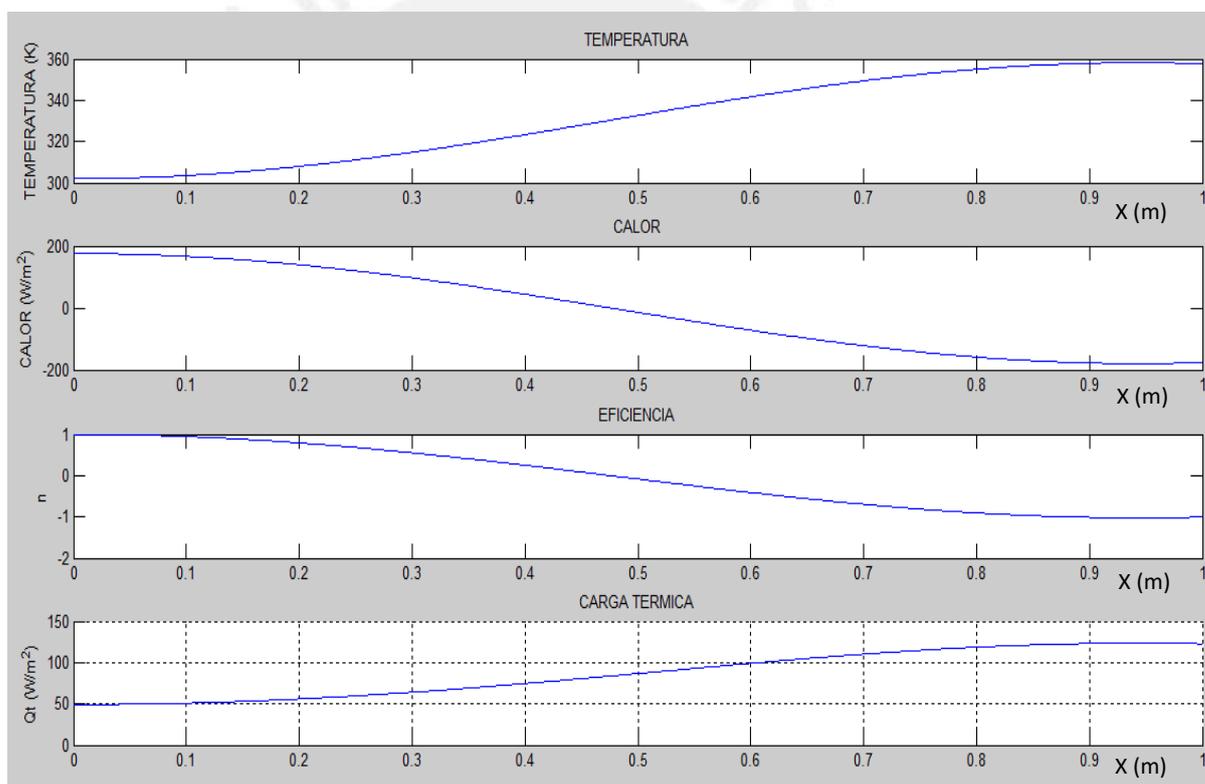


Figura 2. 15: Comportamientos de la temperatura, el calor, la eficiencia y la carga térmica respecto de la posición (Elaboración propia).

Análisis de los gráficos:

- **Temperatura-Posición:**

Esta grafica representa la variación de la temperatura (K) respecto de la posición (m). Se puede apreciar que la temperatura de la base se encuentra 305K, mientras que finalmente a aproximadamente 0,95m ha alcanzado su temperatura máxima de equilibrio a los 360K. Esta temperatura máxima alcanzada, representaría la temperatura de un techo común en la localidad de La Joya, fabricado del mismo material (Aluminio) sometido a la misma radiación solar.

- **Calor-Posición**

La grafica de posición (m) y calor (W) muestra la variación del calor captado a lo largo de su longitud. Cabe mencionar que este calor se vuelve 0W a aproximadamente 0,5m. Esto puede interpretarse como que la curva solo tiene sentido hasta esta posición, o físicamente debido a que el calor está siendo evacuado por mecanismos que no son conducción, como la radiación y la convección (calor de salida)

- **Eficiencia-Posición**

Debido a que esta gráfica se deriva de la anterior, es necesario tener en cuenta los mismos criterios de análisis, además de la particular definición de eficiencia que se está utilizando. Fuera de esto teniéndola en cuenta no tendría sentido utilizar el sistema planteado para valores más allá de 0,5m en ninguna circunstancia; mientras que sería recomendable desde el punto de vista térmico trabajar con valores cercanos a 1 (100%) los cuales se dan entre 0 y 0,1m (0 metros implicaría no solo un canal de refrigeración, sino una película de agua, un caso técnicamente inviable por su peso o resistencia a la presión)

- **Carga térmica-Posición**

Desde el punto de visto del análisis térmico es uno de los que permite una visualización más rápida de la condición alcanzada. Este grafico muestra la carga térmica local a lo largo de la posición. Analizando sus valores, para un caso ideal (posiciones cercanas a 0m) la carga térmica sería de poco menos de

50W/m²; mientras que para una posición muy alejada (que coincidiría con el de un techo común) la carga térmica se hace de aproximadamente 125W/m².

Puede verse el código implementado tal como en el entorno del software Mat Lab, en la sección de anexos 4.

Cabe mencionar que si bien la ecuación diferencial fue planteada teniendo en cuenta principios físicos, tales como las dimensiones y los principios que rigen la transferencia de calor, por otra parte los métodos numéricos (utilizados para solucionarla) son puramente matemáticos, por ello pierden de vista rápidamente la correspondencia con la realidad física y las unidades si son utilizados fuera de los rangos o contextos para los que fueron planteados; por ejemplo, para el caso estudiado, matemáticamente tiene sentido referirse a una posición negativa, y habrá una solución numérica para esta circunstancia; mientras que en la realidad no tiene correspondencia. Por ello es responsabilidad de quien analice los resultados detectar dichos errores mediante una correcta interpretación, así como proporcionar valores lógicos al programa de cálculo.

H. Selección de la eficiencia más apropiada

Debido a que para poder continuar con la fase de diseño es necesario seleccionar un valor de eficiencia con el que se desee trabajar, corresponde a la presente sección la justificación de este valor.

La mencionada justificación puede realizarse desde varios puntos de vista, como por ejemplo el puramente térmico, el técnico, (o de manufactura) y el más común, económico.

Dado que el principal objetivo en el presente trabajo, es el de lograr reducir la carga térmica, la decisión más idónea sería la de escoger una eficiencia tal que permitiera lograr la mejor carga térmica (la más baja).

Observando la gráfica de carga térmica (figura 2.15), es notorio que este valor se logra entre los 0,05 y los 0,06m, rango en el cual la curva es aún bastante plana, y de un valor muy cercano al más bajo que se puede obtener. Por encima de 0.1m la carga

térmica supera los 50 W/m^2 y continuará incrementándose hasta alcanzar su nuevo punto estable, esta vez de máxima carga térmica.

2.3.4. Diseño del panel de techo enfriado

En esta sección se recurre a los valores numéricos antes calculados, para proponer una solución al problema planteado, que mejor se adapte a los requerimientos térmicos y mecánicos, así como de practicidad para la producción en serie y montaje en forma de techo.

Intentando adaptarse a lo planteado en la figura 2.1, se realiza una propuesta que cumpla con las características geométricas que los cálculos térmicos exigen.

Se muestra a continuación una tabla de resumen de los datos a considerar:

Tabla 2. 5: Resumen de datos para el diseño del panel de techo enfriado

Símbolo	Descripción	Magnitud	Unidades
Φ	Diámetro del canal de refrigeración	12.7	mm
A	Ancho del panel	1222	mm
B	Largo del panel	2444	mm
P	Paso entre canales de refrigeración]100;120[mm
e	Espesor	3	mm

Se propone de esta forma un plano preliminar, en el cual se muestra un diseño que utiliza los valores antes tabulados para brindar una propuesta de solución al problema del diseño del panel de techo. Este plano puede verse en la sección de planos, lamina A1-2.

Puede observarse en el antes mencionado plano que al ponderar factores como el ancho estándar del material base, la necesidad de traslapar paneles para formar la totalidad de área del techo y el paso recomendado, la solución propuesta cuenta con diez canales de refrigeración por cada panel, espaciados entre ellos a un paso de 118mm.

A. Cálculos de las fuerzas actuantes

Debido a que hasta el momento, los factores considerados para el diseño han sido únicamente los correspondientes al diseño energético, corresponde en esta sección realizar una comprobación estructural del diseño obtenido. Esto implica determinar si el panel obtenido, puede soportarse a sí mismo, trabajando siempre en el régimen elástico (sin llegar a la deformación plástica).

Para ellos se procederá a calcular el factor de seguridad a la flexión, el cual tiene como primer paso la realización de un diagrama de cuerpo libre. Para la realización de este diagrama es necesario identificar las distintas cargas que recibirá el diseño, así como los puntos de aplicación de estas.

Realizando un análisis se llega a identificar las siguientes cargas:

Tabla 2. 6: Tipos de cargas identificadas

Símbolo	Descripción	Tipo de carga
W	Peso	Distribuida homogénea
F1	Carga de agua en los canales de refrigeración	Distribuida homogénea
F2	Carga de agua en los canales de distribución	Puntual
R1x	Reacción de apoyo	Puntual
R1y	Reacción de apoyo	Puntual
R2x	Reacción de apoyo	Puntual

Con el objetivo de poder realizar los cálculos, es necesario ahora conocer el valor de estas cargas. Para ello se procede con su cálculo:

- Cálculo del peso seco (W)

Se sabe que el material base para la construcción serán dos planchas de aluminio de 2,4x1,2m x 1,5mm de espesor. Al margen del proceso de embutido necesario para la realización de las tapas, la masa de aluminio se conservará, por lo cual corresponde a un valor de entrada fidedigno.

De este modo:

$$W = \rho a l * Val \quad (2. 38)$$

$$W = (2700 * 0.00015 * 2.4 * 1.2) * 2$$

Se obtiene un valor puntual de $W=11,7\text{kg}$

Debido a que se trata de una carga distribuida, es necesario repartir ese valor a lo largo de su longitud de aplicación; en ese caso 2,4m:

Finalmente $W=0.0476 \text{ N/m}$

- **Peso de agua en los canales de refrigeración (F1)**

Para la determinación de esta carga, es necesario saber la masa de agua que se acumula en estos elementos, para ello a su vez resulta útil conocer el área transversal real del canal. Este valor puede ser calculado mediante adiciones y sustracciones de áreas de circunferencias o directamente obtenido mediante una función del software AutoCad Mechanical (método utilizado).

Cabe mencionar que tanto los canales de refrigeración como los de distribución tienen la misma sección transversal, por lo que compartirán este valor.

El cálculo mostrado en entorno de software, así como la información proporcionada a este, puede verse completo en la sección de anexos

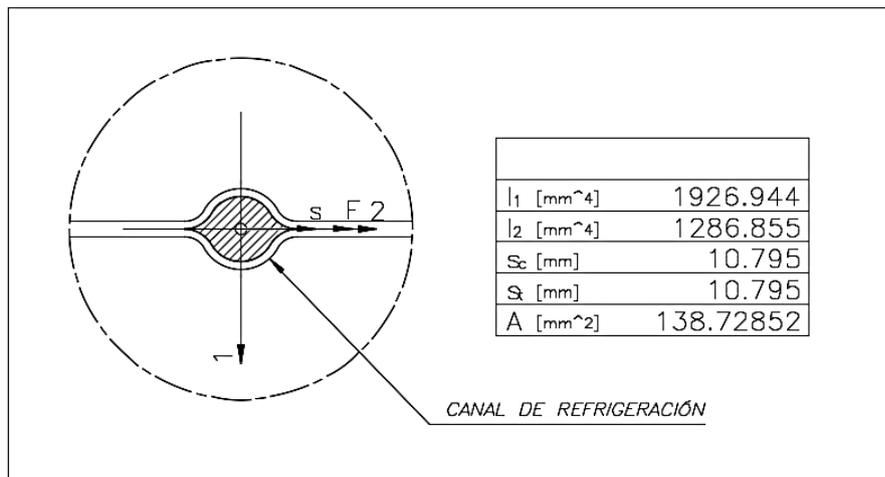


Figura 2. 16: Características geométricas de un canal de refrigeración (Elaboración propia).

Utilizando el valor de área transversal de aproximadamente 140mm², se procede a calcular el volumen total de agua almacenada:

$$F1 = \frac{2,1 * 10 * 0,00014 * 1000 * 9,8}{2100}$$

Se obtiene que F1=0,0146 N/mm

- **Peso de agua en los canales de distribución (F2)**

Utilizando los mismos valores de área que en el caso anterior, y teniendo en cuenta que existirán dos fuerzan puntuales de este tipo:

$$F2 = \frac{1,06 * 2 * 0.00014 * 1000 * 9,8}{2}$$

Se obtiene que F2=1,5N

Según las características de las cargas identificadas en la tabla 2.5, y las magnitudes encontradas posteriormente, se esquematiza el diagrama de cuerpo libre mostrado a continuación en la figura 2.17.

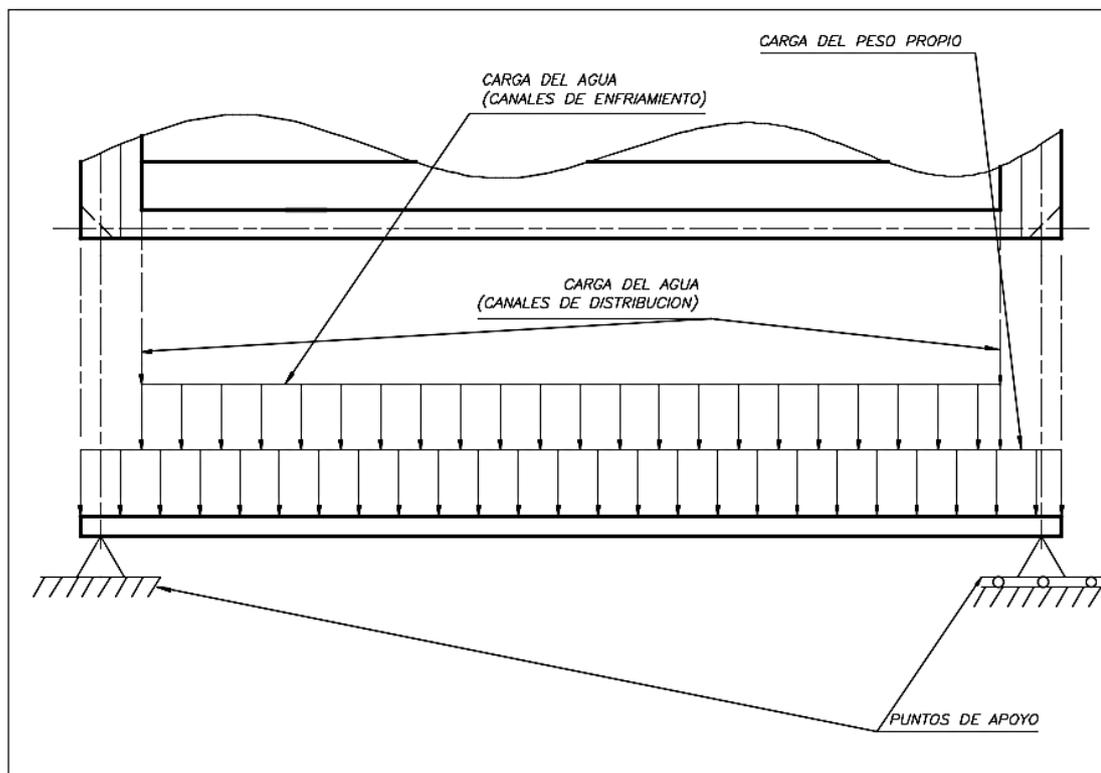


Figura 2. 17: Diagrama de cuerpo libre del panel de techo simplemente apoyado (Elaboración propia)

Finalmente los valores antes determinados de carga, así como las características geométricas ya previamente definidas en función de los requerimientos térmicos fueron utilizados para realizar el cálculo del factor de seguridad, con ayuda de la plataforma de cálculo de AutoCad Mechanical, obteniéndose un Factor de seguridad mayor a 1500, un valor que del punto de vista estructural estaría excesivamente sobredimensionado, pero en el caso planteado basta con saber que este valor se encuentra por encima de 2.

- Comprobación de la resistencia a la presión

Debido a la existencia de un canal cerrado formado por dos estructuras soldadas, a través del cual se conduce un fluido. Debe tratarse el caso tal como el de un recipiente a presión.

Para garantizar un “cordón” de soldadura estanco, se recomienda que el ancho de la línea de soldadura para dos planchas del mismo espesor, sea igual a dos veces el

espesor de una de ellas más 2mm, y como mínimo recomendable, únicamente dos veces el espesor.

Dado que en la sección G (Solución con el método de Runge Kutta), se determinó como apropiado un espesor total de 3mm; esto se traduce en un ancho ideal de 5mm y un mínimo aceptable de 3mm.

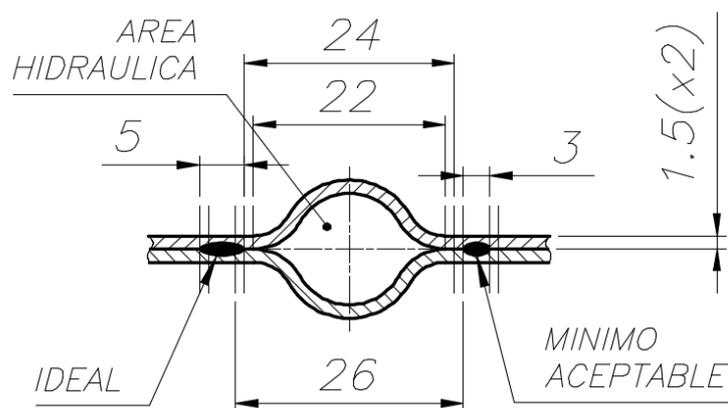


Figura 2. 18: Esquema de recomendaciones para la soldadura (elaboración propia)

La figura 2.18, muestra las restricciones geométricas de una sección transversal típica. Puede así observarse al lado izquierdo una soldadura ideal, la cual tendrá un ancho de 5mm, mientras que a la izquierda un caso de "mínimo aceptable" donde el ancho es de 3mm. Un ancho menor implicaría un defecto en el proceso de unión, mientras que un exceso, implica un gasto inútil en una unión demasiado robusta para el material base que la ocupa.

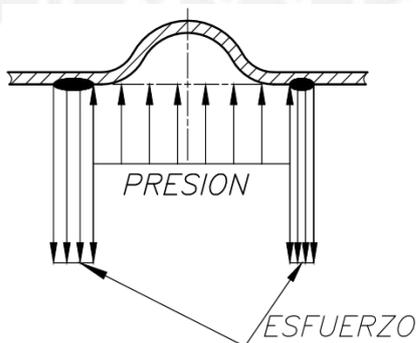


Figura 2. 19: Diagrama de cuerpo libre de una sección transversal típica (elaboración propia)

Según lo antes mencionado, para el cálculo de la suficiencia estructural del canal se utilizarán los datos correspondientes al caso crítico.

De esta manera para un largo típico de 10mm se tendrían los siguientes datos a analizar:

Tabla 2. 7: valores para el análisis de resistencia a la presión.

Símbolo	Parámetro	Magnitud	Unidades
Ar	Área resistente mínima	60	mm ²
Ap	Área de presión máxima	260	mm ²
P	Presión del fluido (+1ft)	30	m
σ_{\max}	Resistencia a la fluencia material base recocido	34	MPa

$$\sigma = \frac{Fp}{Ar} \quad (2.39)$$

$$P = \frac{Fp}{Ap} \quad (2.40)$$

Complementando a las antes enunciadas formulas (2.39) y (2.40), se muestra a continuación su correspondiente nomenclatura.

σ	: Esfuerzo en el material	N/mm ²
Fp	: Fuerza ejercida por la presión del fluido	N
Ar	: Área resistente	mm ²
Ap	: Área de acción de la presión del fluido	mm ²

Conociendo que el esfuerzo se expresa como el cociente entre la fuerza aplicada a un material y su área resistente: para el caso de análisis, se obtiene un esfuerzo de 1,3N/mm² en el aluminio; muy por debajo de del valor máximo recomendado de 34N/mm² (FS=26).

Por lo antes mencionado se concluye que la resistencia del material no representa un problema a la presión de trabajo.

- **Análisis de la expansión térmica**

Como ya es notorio en este punto, el diseño se basa en la aplicación de láminas metálicas a un ambiente expuesto a un amplio espectro de temperaturas, las cuales según cálculos previos, podrían ir desde los 80°C, lo cual representaría exposición directa al sol sin refrigeración durante varias horas en los meses más cálidos del año (figura 2.15), hasta los 5°C en invierno, tal como se analizó para la localidad de la Joya.

Para la correcta operación del diseño propuesto se espera que la expansión o contracción térmica sobre los paneles de techo sea absorbida en la diferencia de diámetro de los agujeros de montaje. Esto impediría esfuerzos innecesarios de tracción o compresión, evitando a su vez los riesgos de pandeo o colapso asociados a estos últimos.

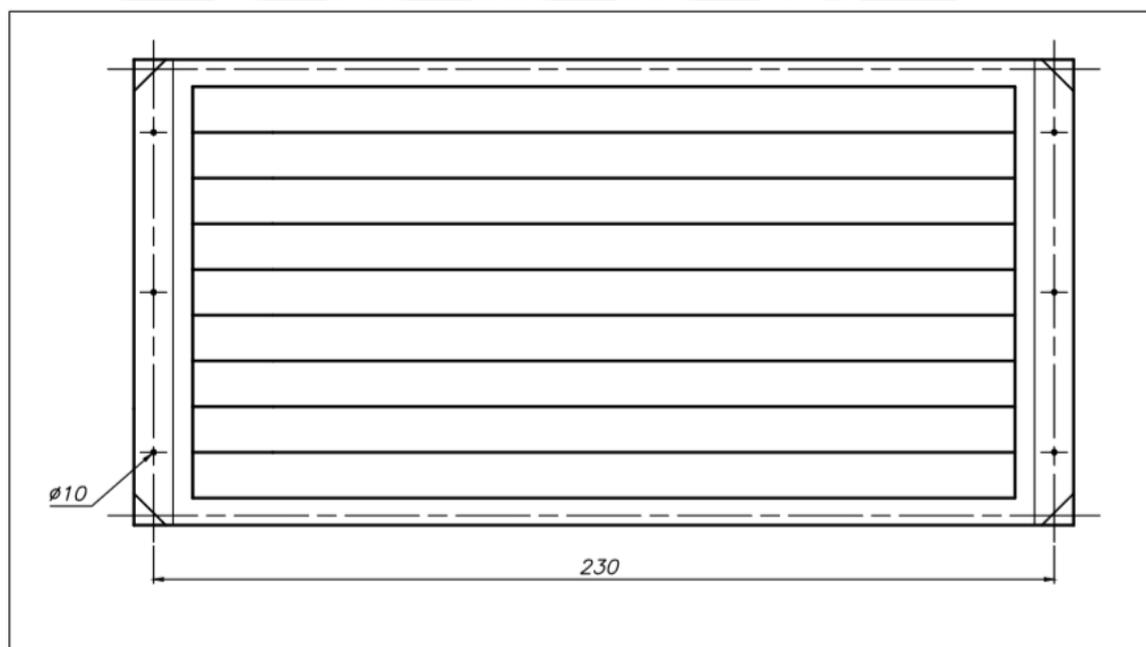


Figura 2. 20: Dimensiones de análisis para los cálculos de dilatación térmica (Elaboración propia).

Para iniciar la comprobación estática, se presupone que la estructura de soporte del techo no sufrirá variación con la temperatura, lo cual corresponde al caso crítico. Esto debido a que una expansión o contracción térmica de esta estructura tendría la misma tendencia que el panel de techo, y sería favorable al fenómeno, o contraproducente a los fenómenos de tracción o compresión.

La fórmula 2.25 muestra una expresión que permite calcular las dilataciones o contracciones debidas a la variación de temperatura

$$\Delta L = \alpha_1 \cdot L \cdot (\Delta T) \quad (2.41)$$

Complementando a lo expresado en la fórmula (2.41), se muestra a continuación su nomenclatura.

ΔL	: Variación en la longitud	m
α_1	: Índice de contracción térmica	°C ⁻¹
L	: Longitud a evaluar	m
ΔT	: Variación de la temperatura	°C

Utilizando los valores de longitud entre agujeros, $L=2,3\text{m}$, índice de expansión térmica del aluminio $\alpha=24 \cdot 10^{-6}/\text{°C}$, y una diferencia de temperaturas $\Delta T=75\text{°C}$; en la fórmula 2.25, se obtiene una dilatación $\Delta L= 4,14 \cdot 10^{-6}\text{m}$ ($\approx 4\text{mm}$).

Teniendo en cuenta que para la instalación se planea utilizar tornillos de $\frac{1}{4}$ inch (6,35mm) de diámetro, según los cálculos mostrados, se hace necesario necesario que el juego de estos con los agujeros sobrepase los 4mm.

Debido a los agujeros propuestos de 10,5mm, y asumiendo un centrado óptimo, se dispondría un juego de 4,15mm, suficiente para absorber las dilataciones y contracciones máximas alcanzables.

Puede verse el detalle de cálculo con software en Anexo 8

B. Cálculo de pérdidas de presión en tuberías

Debido a la existencia de una compleja red de caminos que deben ser recorridos por un fluido, y necesidad de un sistema de bombeo que transporte este fluido a lo largo del techo, es necesario conocer la pérdida de carga que un panel típico general, para de esta forma poder seleccionar una bomba adecuada.

Debido a que no existe una fórmula tal que permita el cálculo a un sistema de canales tan complejo, se procederá a considerar a estos como tubos en sus secciones más largas, y a despreciar las partes más pequeñas. Las zonas de transición más comunes serán consideradas como codos o conexiones en T, según sea mejor la aproximación geométrica.

Si bien existen varios métodos de cálculo de pérdidas. Teniendo en cuenta el tipo de medio, tubería de flujo interno totalmente llena, el fluido a transportar, agua y el diámetro de la "tubería", 1/2in. Es bastante simple descartar la mayoría de métodos quedando presente sólo el método de Darcy-Weisbach [9].

El cálculo se dividirá en dos partes principales, siendo la primera el cálculo de las pérdidas en las tuberías¹⁸, y el segundo el cálculo de las pérdidas en las singularidades¹⁹

- Cálculo en tuberías:

Se utilizara el método de Darcy-Weisbach, enunciado por la fórmula 2.26, mostrada a continuación.

$$h = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (2.42)$$

$$h = 0.0826(f) \left(\frac{Q^2}{D^5} \right)$$

¹⁸ Tuberías: Las secciones rectas de los canales serán asumidas como tuberías.

¹⁹ Singularidades: en contextos referentes a tuberías y transporte de fluidos se refiere a puntos críticos puntuales y discretos de análisis por ejemplo, codos, válvulas, conexiones en "T" y similares.

La correspondiente nomenclatura a la fórmula 2.26, se muestra en la lista siguiente:

h	: Pérdida de carga	m
f	: Coeficiente de fricción	-
L	: Longitud de la tubería	m
D	: Diámetro de la tubería	m
v	: Velocidad media	m/s
Q	: Caudal	m ³ /s

Según sea la condición de transporte (laminar o turbulenta), el coeficiente de fricción deberá ser calculado de diferente forma:

Para el caso de un régimen turbulento, se deberá utilizar la correlación de Blasius, la cual se muestra a continuación [9].

$$f = 0.3164 * Re^{-0.25} \quad (2.43)$$

Por otra parte para el caso de regímenes laminares, se recurrirá a la correlación de Poiseuille, mostrada a continuación [9].

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.44)$$

Aclarando los términos utilizados en las formulas (2.43) y (2.44), a continuación se muestra su nomenclatura.

f	: Coeficiente de fricción	-
Re	: Número de Reynolds	-

- Cálculo en singularidades:

Para el cálculo de pérdidas en singularidades se recurrirá al método de las longitudes equivalentes. Según el cual las singularidades se comportan de la misma manera que una cierta longitud de tubería recta horizontal, en el mismo régimen.

Estas longitudes serán finalmente sumadas, para obtener la longitud equivalente total, la cual está relacionada a la pérdida de carga total del sistema.

Para simplificar el cálculo, se recurrió a una hoja de cálculo de Microsoft Excel, en la cual se detallaran los distintos tramos de tubería y los respectivos regímenes de transporte en cada una de ellas.

El caso de análisis presenta el caso de tuberías tanto en serie como en paralelo. Por tanto se optará por calcular la pérdida de la considerada ruta crítica²⁰. Este valor será considerado como el valor de pérdida de carga.

Para el cálculo del caudal máximo, se recurrirá a la suma de todos los caudales en paralelo existentes en una determinada posición. Para la correcta instalación y distribución del fluido durante la operación, se tendrá en cuenta que rutas no críticas (con menores pérdidas de carga) deberán ser estranguladas, a fin de que los fluidos recorran las rutas adecuadas en la proporción adecuada.

Para iniciar el cálculo es necesario definir un caudal; si bien no se ha hecho de forma directa hasta el momento, la información que lo define se encuentra en la tabla 2.2, y refiere a 270 l/h. Puede verse en la sección de anexos 5, los esquemas con medidas tentativas utilizadas para el cálculo del Hman²¹ dinámico. Estos cálculos arrojan un valor de aproximadamente 0,11m.

Por otra parte puede verse en la sección de planos, la lámina A0-4, la cual muestra los detalles constructivos de la instalación.

²⁰ Ruta crítica: Para el caso de análisis de pérdidas de carga, se refiere a la ruta más larga y/o más compleja; aquella por la que se presupone, existe la mayor pérdida.

²¹ Hman: Abreviatura inglesa de "Height Manometric", traducido como "Altura Manométrica"

- **Cálculo del Hman estático.**

Corresponde a la componente de presión que debe poder proporcionar la bomba, correspondiente al efecto de la gravedad sobre la columna de fluido ubicada entre el punto de succión y el de descarga.

$$H_{man\ est\ ático} = \frac{(P_s - P_o)}{\rho \cdot g} + (Z_s - Z_o) \quad (2.45)$$

La lista a continuación, muestra la nomenclatura utilizada en la fórmula 2.29

Ps	: Presión de succión	mca
Po	: Presión de descarga	mca
pa	: Densidad del fluido transportado	Kg/m ³
g	: Aceleración de la gravedad (9,8)	m/s ²
Zs	: Posición en altura del punto de succión	m
Zo	: Posición en altura del punto de descarga	m

Para el presente caso de estudio, se asumirá el caso crítico (esto implica que el tanque se encuentre con una cantidad mínima de agua). La presión de succión será igual a la de descarga, y la diferencia de alturas será equivalente a la altura del tanque (aproximadamente 1,2m), de esta forma se obtiene: Hman estático = 1,20m

Finalmente se recurre a la fórmula (2.46), para el cálculo del Hman total

$$H_{man\ total} = H_{man\ est\ ático} + H_{man\ dinámico} + FS \quad (2.46)$$

En la fórmula (2.46) el término FS, corresponde al factor de seguridad, el cual debe estar expresado en metros

Utilizando los valores previamente obtenidos, y por recomendación un factor de seguridad de 1f [9], utilizando este valor en la fórmula (2.46), se obtiene Hman total=1,6m.

2.3.5. Selección de máquinas y equipos accesorio

Utilizando los valores calculados en las anteriores secciones, en la presente se procede a seleccionar ciertos componentes de vital importancia.

- Selección de la bomba:

Para la correcta selección de la bomba, se requiere de un equipo capaz de movilizar un caudal de 270l/h, a una altura de 1,6m. Debido a que en lo práctico no existe un equipo diseñado exactamente para estos requerimientos, se optará por seleccionar el más pequeño que cumpla con la tarea.

De esta forma, investigando en tiendas locales (Ace Home center, y Sodimac Home center) se opta por una bomba periférica de ½hp de la marca “Karson”, la cual posee una capacidad de 30L/min a 30m de altura.

Debido al exceso de capacidad, se hace necesario el estrangular la bomba, a fin de no exceder la presión necesaria.

Puede verse la ficha técnica completa en la sección de anexos 7.

Teniendo en cuenta también que el suministro de agua sería el de una zona rural, se presupone que la presión disponible podría ser suficientemente baja como para no alcanzar a llenar el tanque elevado. Por tanto teniendo desde ya disponibilidad de una bomba de agua, se decide dotarla de un esquema de tuberías tal que permita un doble uso de esta máquina; como recirculador de agua para el techo, y como elevador de presión para llenado del tanque.

- Selección del tanque:

Para poder disponer de un suministro constante de agua tanto para la vivienda, como para el consumo de los habitantes se requiere de un tanque elevado, para la selección de este componente se requiere cumplir con requisitos de materiales, tipo de fluido, presión y volumen.

Para los primeros requisitos, se resume a la necesidad de un tanque para agua potable a presión atmosférica. Para la determinación del volumen, se requiere conocer la cantidad de agua necesaria para absorber la el calor que puede absorber el techo en el periodo de horas del día, en que el usuario considere necesario enfriar el techo. Este valor puede resultar subjetivo no solo al clima del momento sino también a la preferencia y comodidad del usuario. Únicamente para cuestiones de cálculo numérico se asumirá como periodo de utilización continua desde las 10:00am hasta las 03:00 pm.

Debido a que previamente se calculó un caudal de agua de enfriamiento de 270L/h, se hace necesario el tener una disponibilidad 1350L. Sobre este valor lo subjetivo se hace presente nuevamente, debido a que el consumo de agua durante estas horas afectará directamente el cálculo del volumen.

Por lo antes explicado, se optará por la selección de un tanque de 1100L, el cual según los fabricantes es recomendable para una vivienda de 5 ocupantes, lo cual coincide con el caso de análisis. Los modelos disponibles más cercanos, se encuentran en 750L y 2500L. Si bien no es común en ingeniería aproximar por defecto, en este caso en particular conlleva el menor error, dentro de lo asumido.

Investigando nuevamente en las tiendas locales, se determina una posibilidad ambigua, debido a la existencia de tanques para agua potable de 1100L en diversos colores, entre ellos el Negro y el denominado por su fabricante como “arena” (beige). Debido a que se propone un montaje a la intemperie, en un ambiente muy soleado, y no se desea captar el calor, se escoge el color más claro, por tener conceptualmente una menor absorción.

De esta forma se selecciona un tanque de 1100L, de la marca Rotoplas en color arena.

Puede verse la ficha técnica de este elemento en la sección de anexos 7.

- **Selección de tuberías y accesorios:**

Una vez seleccionados los principales accesorios y máquinas, se propone el siguiente esquema de conexión entre ellos. En él se muestra la ubicación de los principales componentes y válvulas. El detalle de la conexión con todos los accesorios se muestra en el plano de conexión hidráulica.



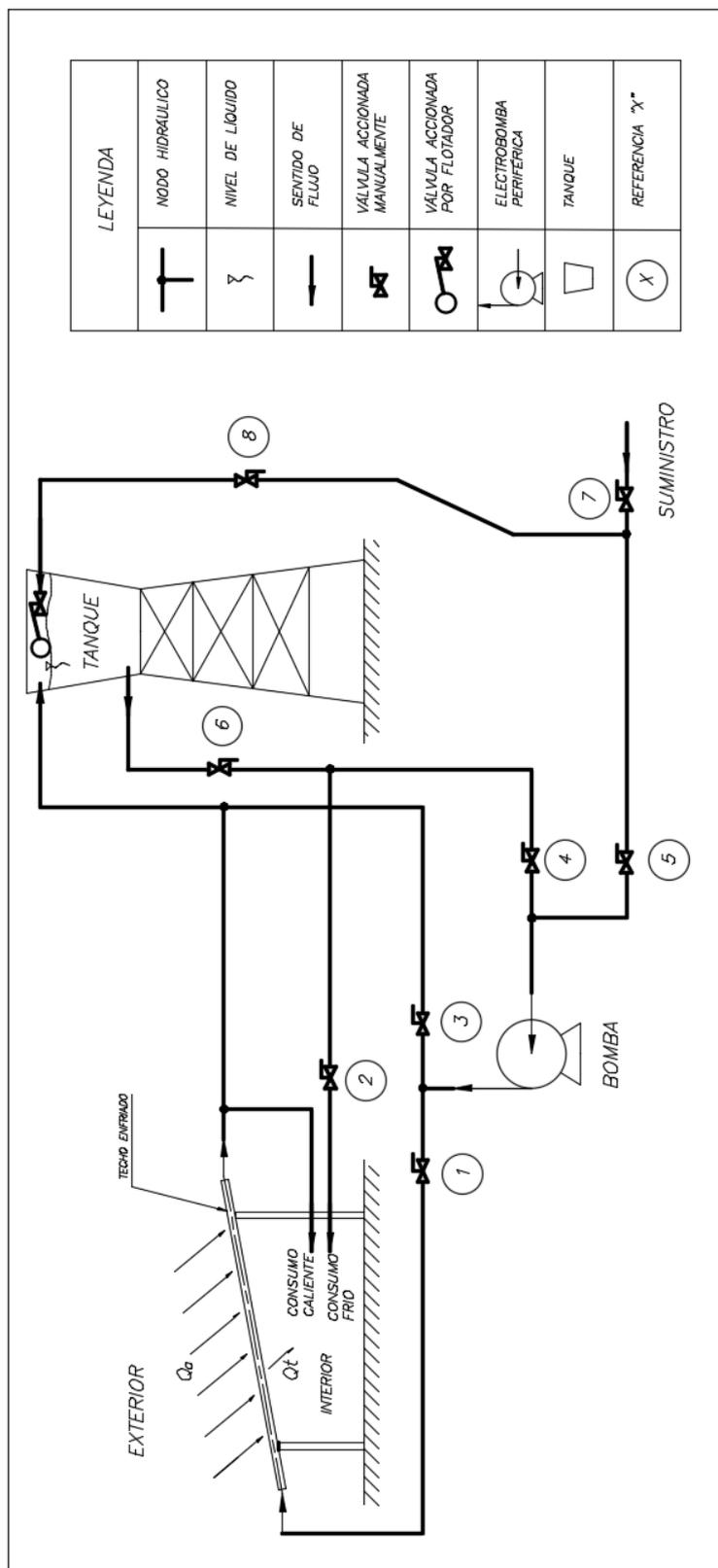


Figura 2. 21: Esquema de la instalación hidráulica única con las válvulas principales (Elaboración propia).

Tabla 2. 8: Funciones de las principales válvulas del sistema

Función de las válvulas principales		
Referencia	Función	Tipo de operación
1	Cierre del flujo de agua de la bomba al techo	Casos de baja presión de suministro
2	Cierre del flujo de agua fría a los consumos de la vivienda	Mantenimiento
3	Evita la recirculación inútil de agua	Casos de baja presión de suministro
4	Controla el paso del agua para refrigeración	Casos de baja presión de suministro
5	Controla el paso del agua de suministro a baja presión	Casos de baja presión de suministro
6	Corta la salida del tanque	Mantenimiento / Fallas hidráulicas catastróficas
7	Corta el suministro de agua	Mantenimiento / Fallas hidráulicas catastróficas
8	Evita el ingreso de aire al sistema	Casos de baja presión de suministro.

Pueden observarse los detalles de la instalación hidráulica en la sección de planos, lamina A0-4.

2.3.6. Cálculo eléctrico

Debido a la presencia de máquinas que utilizan energía eléctrica, se hace necesario dimensionar [10] sus requerimientos de suministro eléctrico, así como los mecanismos de seguridad y maniobra que podrán actuar sobre el sistema.

- Estudio de cargas

En esta etapa del cálculo, se deben identificar las principales cargas eléctricas que compondrán la instalación. Teniendo en cuenta que el sistema es relativamente pequeño [11], se espera que menor a 3,5KW (ver tabla 2.7), existe una alta probabilidad de operación simultánea de todos los equipos que consumen energía eléctrica; aun así, se respetará el método de cálculo utilizado inicialmente en el proyecto, el cual consiste en ponderar las cargas por los factores de utilización.

Es importante indicar que el sistema no será diseñado desde el comienzo, sino que se seguirá el estado del arte del proyecto Inqak Samanan, tal como se encuentra indicado en los planos proporcionados por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [11]. Esto implica utilizar los mismos valores de potencia ya pre calculados para alumbrado, y para enchufes fuera de los que se planea adicionar.

Tabla 2. 9: Estudio de cargas eléctricas

Aplicación	Tipo de carga	Potencia instalada que requiere (W)	Factor de demanda	Corriente @220v-1F (A)	Potencia demandada
Alumbrado	Resistiva	500	1	2,3	500
Tomacorrientes	Resistiva / inductiva	1300	0,3	5,9	390
Tomacorrientes especiales	resistiva	1500	0,1	6,8	150
Bomba	resistiva / inductiva	370	0,8	1,7	296
Reserva	resistiva / inductiva	1000	1	4,5	1000
				0,0	0
Total				21,2	2336

Debido al tipo de instalación la cual será doméstica, no se hará un cálculo de la energía reactiva. Se considerarán todas las cargas como resistivas, debido a encontrarse esta suposición dentro del caso crítico, y debido a que no existen penalidades económicas por energía reactiva a nivel doméstico.

- Selección de los conductores

En la presente sección (ejemplo de cálculo de un conductor) se calculará el conductor de acometida (considerado para este caso desde el medidor eléctrico hasta la llave eléctrica principal).

Primero: Selección por corriente admisible

Tabla 2. 10: Datos necesarios para la selección del conductor de acometida

Datos necesarios para la selección del conductor		
Factor	Magnitud	Unidades
Potencia	2400	W
Voltaje	220	V
Cos(ϕ)	1	-
Longitud del conductor	5	m
Temperatura	30-35	°C
Tipo de canalización	Empotrado en tubo pvc	-
Número de conductores	2	(unidades)
Numero de circuitos	1	(unidades)

$$I_n = \frac{P_w}{U \cdot FP} \quad (2.47)$$

La nomenclatura correspondiente a la fórmula (2.47), se muestra en la lista a continuación.

I_n	: Corriente nominal	A
P_w	: Potencia a transmitir	W
U	: Tensión de suministro	V
FP	: Factor de potencia	-

Reemplazando los valores mostrados en la tabla 2.11, en la fórmula (2.47), se obtiene una corriente nominal $I_n=10,90A$

Se calcula a continuación la corriente de diseño, según la fórmula (2.48).

$$I_{dis} = 1,25 \cdot I_n \quad (2.48)$$

La corriente de diseño es la que agrega el un factor de seguridad al diseño eléctrico. En particular para el caso de los sistemas eléctricos en Perú, el cálculo la corriente de diseño se encuentra normalizado [11]. Para el caso en estudio, con ayuda de la fórmula (2.48), se determina que la corriente de diseño será: $I_{dis} = 13,63 \text{ A}$.

Se calcula la corriente de diseño corregida por temperatura, cuya expresión se muestra en la fórmula (2.49).

La corriente de diseño corregida por temperatura (I_{disct}), es la considera los efectos de la temperatura sobre el conductor eléctrico

$$I_{disct} = \frac{I_{dis}}{K_t} \quad (2.49)$$

En la fórmula (2.49), el termino K_t representa a el factor de corrección eléctrica por temperatura.

Para el presente caso de estudio, $K_t = 0,91$ [10]. Utilizando el anterior valor en la fórmula (2.49), se obtiene una corriente de diseño corregida por temperatura: $I_{disct} = 14,97 \text{ A}$

Se utiliza I_{disct} , para ubicar las posibles soluciones según corriente admisible

Luego de consultar la tabla respectiva, considerando el tipo de instalación y número de circuitos, se encuentre que una posible solución sería la siguiente:

“02 conductores de Cu de $2,5 \text{ mm}^2$ (AWG 14), con aislamiento de PVC, conducidos por un tubo de PVC para uso eléctrico de clase liviana, empotrado en pared o piso a no más de 0,8m de profundidad”

Si bien la solución planteada cuenta con un cálculo que la respalda y es “eléctricamente” correcta, las normas de instalación en Perú no permiten la utilización de un conductor de calibre menor al 12 para acometidas o enchufes o del número 14 para iluminación.

Por lo antes mencionado la respuesta sería:

“02 conductores de Cu de 4mm² (AWG 12), con aislamiento de PVC, conducidos por un tubo de PVC para uso eléctrico de clase liviana, empotrado en pared o piso a no más de 0,8m de profundidad”

Finalmente, Se verifica la selección por caída de tensión admisible, para ello se recurrirá a la formula (2.50).

$$\% \Delta U = \frac{0,0392 \cdot L \cdot I_{dis} \cdot FP}{n \cdot A_{tc} \cdot U} \cdot 100\% \quad (2.50)$$

La nomenclatura utilizada en la fórmula 2.34 se aclara en la lista mostrada a continuación:

ΔU	: Caída de tensión	%
L	: Longitud del conductor	m
I _{dis}	: Corriente de diseño	A
FP	: Factor de potencia	-
n	: Número de conductores seleccionados	-
A _{tc}	: Área transversal del conductor	mm ²
U	: Tensión de operación	V

Utilizando la fórmula 2.34, se obtiene una caída de tensión: $\Delta U=0,030\%$

Se observa que el conductor seleccionado, cumple ampliamente con el 4% de caída de tensión admisible para distribuciones eléctricas

No se realizará la corrección por número de circuitos en la misma canalización (sexto y último paso), debido a que solo se posee un circuito, caso para él cual no se aplica corrección.

De la misma forma se realiza el cálculo para todos los conductores necesarios. El resultado a este cálculo se muestra directamente expresado en el diagrama unifilar del plano eléctrico

- Selección de elementos de protección y accesorios

Finalmente para poder contar con un sistema de protección adecuado, se requieren de los elementos de seguridad y maniobra adecuados, según el esquema del tablero principal (TAF1), el cual a su vez coincide con el diagrama unifilar.

Fuera del esquema eléctrico utilizado, se optó por utilizar llaves termo magnéticas para aplicaciones generales, una llave diferencial principal y una llave de maniobra para la bomba.

De esta forma se espera que en caso de una falla por sobre carga o corto circuito, la llave termo magnética que este justo aguas arriba del imprevisto se abra, protegiendo la instalación. En caso de una falla por derivación eléctrica (falla de aislamiento), se espera que la llave diferencial apague la totalidad del circuito. Finalmente para los circuitos que requieren accionamientos frecuentes (bomba) se dispone de una llave de maniobra directamente sobre la puerta del tablero, asociada a un led indicador. Esto debido a que las llaves termo magnéticas y diferenciales, si bien brindan protección, no están destinadas a una operación frecuente.

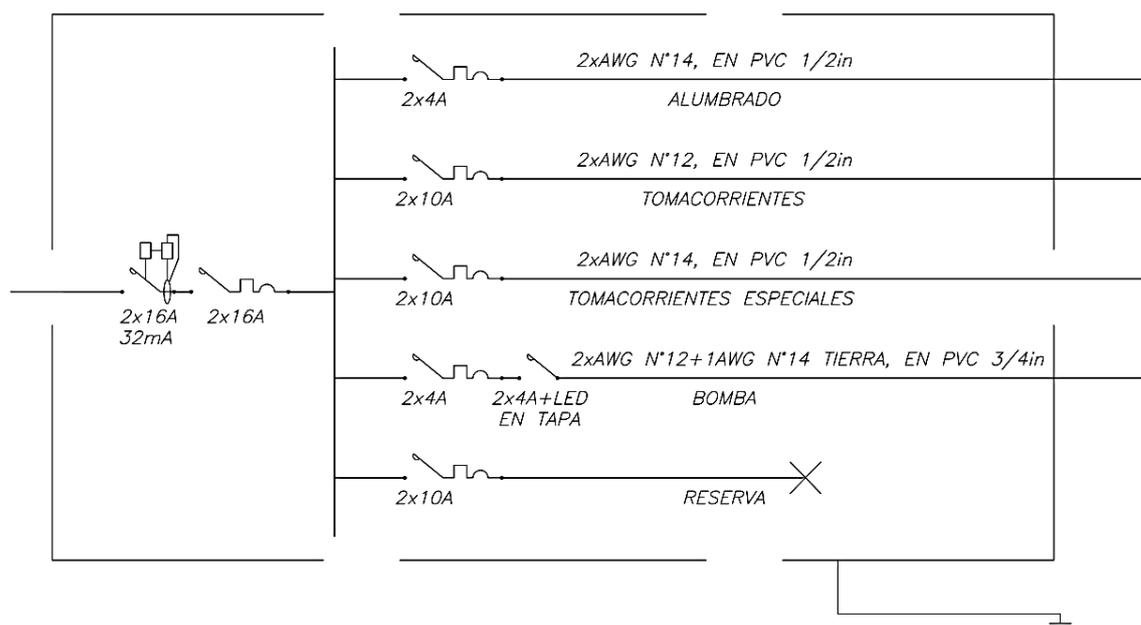


Figura 2. 22: Diagrama unifilar de la propuesta eléctrica (Elaboración propia).

Finalmente según lo antes mencionado se muestran a continuación los elementos de protección y maniobra seleccionados.

Tabla 2. 11: Muestra los elementos de protección y maniobra eléctrica seleccionados

Aplicación	Corriente Nominal (A)	Tipo	Nombre comercial	Fabricante (marca comercial)
Principal	2x16	Diferencial	Vigi iC60 Acti 9-16A	Schneider electric
Principal	2x16	Termo magnética	iC60LMA-2p 16A	Schneider electric
Alumbrado	2x4	Termo magnética	iC60LMA-2p 4A	Schneider electric
Tomacorrientes	2x10	Termo magnética	iC60LMA-2p 10A	Schneider electric

Continuación tabla 2.9

Tomacorrientes especiales	2x10	Termo magnética	iC60LMA-2p 10A	Schneider electric
Bomba (seguridad)	2x4	Termo magnética	iC60LMA-2p 4A	Schneider electric
Bomba (maniobra)	2x4	Rotativa	TeSys Mini-Vario-12A	Schneider electric
Reserva	2x10	-	-	-

Si bien la anterior tabla muestra una selección de elementos de protección y maniobra, esto no implica que sea la única posible, puede seleccionarse sobre cualquier marca comercial disponible, teniendo en cuenta los criterios de selección

El plano que complementa el diseño eléctrico antes calculado puede verse en la sección de planos, lamina A0-5.

2.3.7. Evaluación de la posibilidad de aprovechar el calor

En la presente sección, se ha concluido con la tarea de proponer una solución a la evasión de carga térmica. Sin embargo resulta en este punto, atractiva la idea de aprovechar el calor a alguna aplicación que resulte favorable al confort de los habitantes.

Para organizar la “lluvia de ideas”, se recurre a la metodología del diseño VDI 2221, a fin de organizar y calificar las posibles ideas en cuanto a lo técnico y lo económico, teniendo como punto de partida el tanque de agua calentada al final del día, con toda la energía que se haya logrado almacenar en forma de calor.

La metodología completa puede verse en la sección de anexos 6. Según ella, la recomendación sería la de realizar un proyecto que tenga el concepto de solución #3,

este se refiere a un sistema que permita aprovechar el agua entibiada de forma directa.

Siguiendo con la idea obtenida de la aplicación de la metodología VDI 221, se procede a seleccionar un equipo que sea capaz de acumular, y calentar agua.

Debido a que se desea aprovechar al máximo el calor almacenado en el agua, lo ideal en este caso sería almacenar la mayor cantidad de agua a una temperatura no tan alta y cercana a la temperatura a la que se dese utilizar finalmente (aprox. 40°C); a diferencia de la típica instalación de agua caliente a aprox. 70°C y su posterior mezcla con agua fría en el punto de utilización.

Si bien la primera opción implica un equipo de mayores dimensiones (mayor capacidad den volumen) para un mismo objetivo, el hecho de no tener que invertir energía eléctrica en demasía para “recalentar²²” el agua, mas si para mantener la temperatura debido a las pérdidas de calor.

Según lo antes mencionado, y basándose en las recomendaciones del mismo fabricante, se propone como equipo que cumpla los objetivos seleccionados a la “Terma eléctrica de almacenamiento marca ROTOPAS, de 100l, modelo horizontal”. Pueden verse los datos técnicos de este equipo en Anexo 7.

²² Recalentar: En el contexto utilizado, se refiere a elevar la temperatura de un fluido a un punto en que no será utilizado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DEL CAPÍTULO 2

1. CRUZ RODRIGUEZ, Juan
2015 Transferencia de calor, guía para la exposición en aula, Lima
2. YUNUS, Cengel; ASHFAN, Ghajar
s/f *Transferencia de calor y masa*, 4ta edición, Mc Graw Hill
3. SENAMHI,
2003 “Atlas de energía solar del Perú, Proyecto PER/98/G31
4. SENAMHI,
2003 “Atlas de energía solar del Perú, Proyecto PER/98/G31
5. Confort térmico en viviendas alto andinas
6. BAKIRCI, Kadir,
2012 *General models for optimum tilt angles for solar panels: Turkey case study*, Renewable and sustainable energy reviews, Department of mechanical engineering, University of Atatürk, 25240 Erzurum, Turkey
7. MODEST, Michael
1993 “*Radiative Heat transfer*” First edition, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK,
8. YUNUS, Cengel; ASHFAN, Ghajar
s/f *Transferencia de calor y masa*, 4ta edición, Mc Graw Hill
9. PRITCHARD, Philip, LEYLEGIAN, Jhon
2010 “*Introduction to Fluid Mechanics*” JHON WILEY & SONS, INC. EIGHT EDITION, Fox and McDonald's
10. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
2007 “*TABLAS DE CONDUCTORES ELECTRICOS DEL CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD UTILIZACION*”, Dirección General de Electricidad, Dirección de Normas,
11. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
2007 Dirección general de Electricidad “*CODIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD*”, Utilización

CAPÍTULO 3

PRESUPUESTO DEL ROYECTO

Finalmente en el presente capítulo, se mencionaran los costos referenciales correspondientes a las etapas principales para la implementación del sistema propuesto.

3.1. Lista de materiales

En el presente inciso, se muestran en tablas únicamente los costos correspondientes a materiales necesarios para la ejecución de los principales componentes de la propuesta.

Los componentes correspondientes a las instalaciones del proyecto de vivienda original (proyecto “Inkaq Samanan”) que no hayan sido modificadas, no serán evaluados por mantenerse dentro del presupuesto del proyecto sin modificar (pueden consultarse directamente), con excepción del sistema eléctrico, el cual por practicidad será completamente rediseñado.

Se pueden ver las distintas proformas consultadas a los distintos proveedores en anexos 7

- Materiales para la construcción un panel de techo enfriado

Tabla 3. 1: Materiales y procesos basicos necesarios para la construccion de un panel de techo enfriado

CONSTRUCCION DE UN PANEL DE TECHO ENFRIADO						
Ref.	Descripcion	Precio por unidad	Cantidad necesaria	Fecha de cotizacion	Proveedor /marca comercial	Total
1	Plancha de Aluminio 1010 de 2,4x1,2x1,5	264	2			528
2	Barra redonda de Aluminio 1010 7/8in (1m)	36	0,06			2,16
3	Aporte TIG 1/16in	2	0,2			0,4
4	Embutido de planchas	10	2			20
5	Taladrado de agujeros	0,25	6			1,5
6	Torneado de conectores hidraulicos	5	2			10
7	Soldadura TIG de los conectores hidraulicos	5	2			10
8	Soldadura por costura de resistencia de las planchas	20	1			20
					Total presupuestado:	592,06
					Concideracion contra contingencias y consumibles (10%)	59,206
					TOTAL A CONSIDERAR	651,266

- Materiales estructurales

Tabla 3. 2 Materiales para realizar la estructura de todo el techo

ESTRUCTURA DEL TECHO						
Ref.	Descripcion	Precio por unidad	Cantidad necesaria	Fecha de cotizacion	Proveedor / marca comercial	Total
1	Tubo rectangular 2x4x1/8in (6m)	126,4	9	15.08.2017	ACEROS FLOVICSA S.A.C. / ACEROS AREQUIPA	1138
2	ELECTRODO E6011 1/8in (Kg)	12	2	15.08.2017	ACEROS FLOVICSA S.A.C. / INDURA	24
3	DISCO DE CORTE 7in	5,7	3	15.08.2017	ACEROS FLOVICSA S.A.C. / NORTON	17,1
4	BASE Zn-Cr (1Gl)	31,9	0,5	15.08.2017	ACEROS FLOVICSA S.A.C. / ANYPSA	15,95
5	TINER ACRILICO	14,9	1	15.08.2017	ACEROS FLOVICSA S.A.C. / MAESTRO	14,9
6	Tornillo J 6x2x1/4	2	36			72
7	Tuerca Hexagonal 1/4	0,5	36			18
					Total presupuestado:	1300
					Concideracion contra contingencias y consumibles (10%)	130
					TOTAL A CONSIDERAR	1430

- Instalación hidráulica

Tabla 3. 3 Accesorios necesarios para la realización del circuito hidráulico y conexiones puntuales.

INATALACION HIDRAULICA						
Ref.	Descripcion	Precio por unidad	Cantidad necesaria	Fecha de cotizacion	Proveedor /marca comercial	Total
1	Bomba centrifuga 0,5 hp monofasica 220V	89,9	1	07.11.2016	SODIMAC/Karson	89,9
2	Tuberia PVC 1in x5m	21	4	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/MATUSITA	84
3	Tuberia PVC 3/4in x5m	14,5	1,4	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/MATUSITA	20,3
4	Tuberia PVC 1/2in x5m	10	0,5	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/MATUSITA	5
5	Codo 90° x1in PVC	3	8	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/MATUSITA	24
6	Codo 90° x1/2in PVC	0,8	1	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/MATUSITA	0,8
7	Tee x1in PVC	3	2	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/MATUSITA	6
8	Tee x3/4in PVC	2,5	7	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/MATUSITA	17,5
9	Tee x1/2in PVC	1,5	2	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/MATUSITA	3
10	Union universal x1in PVC	4	4	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/MATUSITA	16
11	Reduccion 1 a 3/4 in PVC	2	4	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/MATUSITA	8
12	Reduccion 3/4 a 1/2 in PVC	1	4	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/MATUSITA	4
13	Reduccion 1 a 1/2 in PVC	2	1	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/MATUSITA	2
14	Manguera flexible 1/2in x40cm	9,5	12	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/MATUSITA	114
15	Manguera flexible 1/2in x60cm	12,5	12	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/MATUSITA	150
16	Manguera flexible 1in x40cm	28,5	1	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/MATUSITA	28,5
17	Valbula check 1in	35	4	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/CIM	140
18	Valbula esferica 1in	45	7	14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/CIM	315
19	Valbula globo 1in	40		14.08.2017	INVERCIONES "LUIS DENIL"/CIM	0
20	adaptador de presion a rosca NPT	2,2	12	14.08.2017	INVECIONES "LUIS DENIL"/PAVCO	26,4
21	Terma electrica 100L	699,9	1	15.08.2017	MAESTRO / ROTOPLAS	699,9
22	Tanque elevado rotomoldeado de 1100L	389	1	07.11.2016	SODIMAC/ROTOPLAS	389
23	Estructura metalica de 3,5m de altura para tanque rotomoldeado de 1100L	1000	1			1000
24	punto de sujecion con riel Strut, y accesorios	3	21			63
					Total presupuestado:	3206,3
					Concideracion contra contingencias y consumibles (10%)	320,63
					TOTAL A CONSIDERAR	3526,93

- Instalaciones eléctricas

Tabla 3. 4 Elementos necesarios para la instalacion eléctrica

INSTALACION ELECTRICA						
Ref.	Descripcion	Precio por unidad	Cantidad necesaria	Fecha de cotizacion	Proveedor/ Marca comercial	Total
1	Conductor de cobre aislado 600v AWG14	0,86	60	15.08.2017	MAESTRO / INDECO	51,6
2	Conductor de cobre aislado 600v AWG12	1,3	20	15.08.2017	MAESTRO / INDECO	26
3	Conductor de tierra AWG14	1	50	14.08.2017	ELECTRO G&V INGENIERA S.A.C. /INDECO	50
4	Conductor electrico desnudo AWG12	1,4	7	14.08.2017	ELECTRO G&V INGENIERA S.A.C. /INDECO	9,8
5	llave electrica diferencial 16A	120	1			120
6	llave electrica termo magnética 16A	35	1	14.08.2017	ELECTRO G&V INGENIERA S.A.C. /SCHNEIDER	35
7	llave electrica termo magnética 10A	35	3	14.08.2017	ELECTRO G&V INGENIERA S.A.C. /SCHNEIDER	105
8	llave electrica termo magnética 4A	78	2	14.08.2017	ELECTRO G&V INGENIERA S.A.C. /SCHNEIDER	156
9	Tablero Electrico metalico empotrado 40x60c15	150	1	14.08.2017	ELECTRO G&V INGENIERA S.A.C.	150
10	Caja electrica octogonal 100x100x40 galvanizada clase pesada	3,5	4	14.08.2017	ELECTRO G&V INGENIERA S.A.C.	14
11	Tornillo en U galvanizado 2x5x3/8in	3	4			12
12	Tuerca hexagonal galvanizada 3/8in	0,5	8			4
13	Prensa estopa para conduit flexible aislado de 3/4in	2,5	1	14.08.2017	ELECTRO G&V INGENIERA S.A.C.	2,5
14	Conduit flexible aislado 3/4in	2,5	1	14.08.2017	ELECTRO G&V INGENIERA S.A.C.	2,5
15	Caja electrica rectangular 100x40x40 galvanizada clase liviana (o plastica)	2,5	1	14.08.2017	INVERSIONES "LUIS DENIL"	2,5
16	Caja de paso plastica 100x100x40	4,5	1	14.08.2017	INVERSIONES "LUIS DENIL"	4,5
17	Tubo PVC para uso electrico empotrado de clase liviana de 3/4 (3m)	2,2	14	14.08.2017	INVERSIONES "LUIS DENIL"/PAVCO	30,8
18	Curvas de 90° 3/4in PVC para uso electrico empotrado de clase liviana	0,3	15	14.08.2017	INVERSIONES "LUIS DENIL"/PAVCO	4,5
					Total presupuestado:	780,7
					Concideracion contra contingencias y consumibles (10%)	78,07
					TOTAL A CONSIDERAR	858,8

3.2. Costos de ingeniería

Debido a que este proyecto requiere un trabajo de diseño previo, en el cual deberían intervenir diversos profesionales, trabajando con recursos apropiados, se hace

necesaria la consideración del coste de la ingeniería. Una tentativa al cálculo de estos costos se muestra a continuación en la tabla 3.5.

Tabla 3. 5 Costos de ingeniería

COSTO DE LA INGENIERÍA						
COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA						
REF	DESCRIPCION	Sueldo mensual (S/.)	Dedicacion mensual (hs)	Cantidad necesaria (hs)		Total
1	Ing. Jr o Practicante (Mecánica)	850	120	720		5100
2	Ing. Jr o Practicante (Civil)	850	120	720		5100
3	Arquitecto Jr	850	180	360		1700
6	Ing Sr. (encargado del proyecto)	7000	180	48		1867
7	Dibujante	3000	180	50		833
					SUB TOTAL	14600
OTROS GASTOS DE INGENIERÍA						
			Porcentaje que representan del sub total			
5	Gastos directos al proyecto		20			2920
6	Gastos de estudio de ingenieros		50			7300
7	Gastos legales generales		40			5840
					SUB TOTAL	16060
					PRE TOTAL DEL RUBRO	30660
					Consideracion contra contingencias (10%)	3066
					TOTAL DE LOS COSTOS DE INGENIERÍA (S/.)	33726

Los costos de ingeniería, deberían ser repartidos equitativamente entre el número de viviendas a elaborar. Dado que el proyecto idealmente refiere a un sistema constructivo en serie, a mayor número de viviendas construidas, se tendrá un menor costo de ingeniería

3.3. Montajes

Debido a las características económicas de la probable aplicación del presente proyecto (viviendas sociales de bajo costo). Queda descartada la posibilidad de complejos sistemas de montaje; más aún al desconocerse la ubicación final de las viviendas, la cual podría ser en una zona muy alejada y sin acceso por carretera apropiado al paso de una grúa.

Por otra parte su reducido tamaño se presta a aplicar con facilidad y comodidad técnicas manuales y de trabajo en equipo.

Por ello se considera que el montaje debería netamente manual y de construcción en el lugar de la instalación.

3.4. Resumen de costos.

Tabla 3. 6 Resumen de costos e indicadores económicos de interés

RESUMEN DE COSTOS			
Rubro	Costo (S/.)	Cantidad	Costo parcial
Total a considerar por concepto de construcción de un panel de techo enfriado	651,266	18	11722,788
Total a considerar por concepto de construcción de la estructura del techo	1429,505	1	1429,505
Total a considerar por concepto de instalaciones hidráulicas	3526,93	1	3526,93
Total a considerar por concepto de instalaciones eléctricas	858,77	1	858,77
		TOTAL	17537,993
INDICADORES DE INTERES			
Rubro	Cantidad referencial	Unidad del costo por unidad	INDICADOR
Área total a techar (m2)	42	(S./)/m2	417,6
costo de instalación por kW/h de carga térmica evadida (kW/h)	7	(S./)/(kW/h)	2505,427571
Costo de operación (asumiendo costo eléctrico de S/.0,3 por kW/h eléctrico) (KW/h)	0,35	(S./)/(kW/h)	0,0150

Finalmente es necesario considerar el costo de la ingeniería, tal como se mostró en la tabla 3.5. Asumiendo la construcción de un lote de 100 viviendas, el costo de ingeniería caería hasta S/. 41.00 por vivienda construida

CONCLUSIONES

1. Según se puede interpretar de los gráficos de la sección G del capítulo 2 (Solución mediante el método de Runge-Kutta), la aplicación de un techo enfriado, bajo las condiciones utilizadas para el diseño, sería capaz de reducir la carga térmica de 125W/m^2 , a 48W/m^2 , con un caudal de 270 l/h (disminución del 61%). Por lo tanto se concluye que si sería posible evitar carga térmica mediante la aplicación de un techo enfriado.
2. Según los cálculos realizados, técnicamente se puede elevar aún más la eficiencia obtenida (61%), aumentando la capacidad del tanque elevado, o en su defecto proporcionando otro sumidero de calor, por ejemplo una piscina en un enfoque socio económico distinto.
3. Bajo una radiación absorbida de 250W/m^2 , el panel sería capaz de trasladar 190W/m^2 , al fluido refrigerante, correspondiendo la diferencia a las pérdidas por convección en el exterior.
4. Con ayuda de la metodología del diseño VDI 2221, si sería posible aprovechar el calor residual. La mejor opción para el su aplicación, era el almacenamiento del agua en un calentador eléctrico domestico de 100L (Una terma eléctrica), para su posterior consumo directo.
5. Por motivos técnico-económicos, se descarta la posibilidad de aprovechar el calor en en procesos de calefacción.
6. Teniendo en cuenta una “inversión energética” de aproximadamente 370W eléctricos en el mecanismo de bombeo (circulación forzada), en las horas más favorables puede llegarse a una captación de hasta 7kW térmicos, esto implicaría una ganancia aproximadamente 18 veces la cantidad de energía invertida

RECOMENDACIONES

1. Si se desea utilizar el techo específicamente como colector solar, se sugiere en primera instancia proporcionar un ángulo azimutal a la superficie del techo que permita una mejor captación del recurso solar. En segunda, aplicar algún recubrimiento (por ejemplo pintura o anodizado oscuro) con una alta absorción. Finalmente se sugiere colocar un aislante por la parte inferior para evitar la carga térmica al recinto; en este caso considerada como pérdida de calor del colector.
2. De poseer el presupuesto necesario se recomienda la construcción del calentador de agua de almacenamiento, debido a que su función principal no sería la de calentar propiamente, sino compensar pérdidas de calor, no se requeriría de una potencia tan alta en las resistencias, las mismas que obligan a sobredimensionar el sistema eléctrico, sobre todo en la potencia instalada.
3. Si bien los agujeros de montaje de los paneles de techo, ofrecen un amplio juego sobre los tornillos J, es preciso mencionar que este juego no está destinado a los posibles problemas o desalineamientos de la estructura, sino únicamente a absorber las contracciones o dilataciones térmicas. Si bien el problema está contemplado en la propuesta de solución, un mal montaje o mala construcción de la estructura aún podría ocasionar problemas relacionados a este fenómeno.

BIBLIOGRAFÍA

- ASHRAE
2011 *Solar energy use, Chapter 35*

- ASHRAE STANDARD 55
Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
2.24.03

- ASSUREIRA ESPINOZA, Estela de la Gracia,
1999 Tablas y gráficos de mecánica de fluidos, Pontificia Universidad
 Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería

- BAKIRCI, Kadir
2012 *General models for optimum tilt angles for solar panels: Turkey*
case study, Renewable and sustainable energy reviews,
Department of mechanical engineering, University of Atatürk,
25240 Erzurum, Turkey

- BECMAN, William A.
1977 *Solar heating design, by the f-chart method*, New York: Wiley.

- COMICION EUROPEA DE AYUDA HUMANITARIA
s/f Confort térmico en viviendas alto andinas, un enfoque integral,
 CARE, Canadá

- CURSOLAR,
Ejemplo de cálculo de radiación, consultado el 5 de junio de 2016
https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/02_intermedio/ej_cal_radiacion.htm#up

- DECKER, Karl Heinz
2007 *Maschinenelemente: funktion, Gestaltung und Berechnung* , 16. neu bearbeite Auflage, München , HANSER.

- DUFFIE, Jhon A.
1991 *Solar engineering of thermal processes*, 2nd Edition, New York: Wiley.

- FOX, Robert W, McDONALD, Alan T
1973 *Introduction to fluid mechanics*, School of Mechanical Engineering Purdue University,

- GERHART Philliph M, GROSS, Richard J., HOCHSTEIN, Jhon I
1995 *Fundamentos de mecánica de fluidos*, Addison-Wesley Iberoamericana

- GUENAND, Yves
1977 *Climatización de locales*, Barcelona, G.Gili

- INEI
2007 “*Censos nacionales 2007*”,

- LHEUREXUS, G.- BELLOTE, E.
1983 *Soldadura por Resistencia*, Barcelona, España, Editorial hispano
 Europea

- LUNDE, Peter
1984 *Solar thermal engineering: Space heating and hot water systems*.
 New York: Wiley

- MANRRIQUE, José Alberto
1984 *Energía solar: Fundamentos y aplicaciones fototérmicas*, Mexico,
 Harla

- MEXALIT, Eureka
s/f *Manual de instalación, Lamina ondulada Estándar P7*

- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
2007 *Tablas de conductores eléctricos del código nacional de
 electricidad, Utilización*, Dirección General de Electricidad,
 Dirección de Normas

 Código nacional de electricidad, Dirección general de
 Electricidad, Utilización

 “*Plan energético Nacional 2014-2025, Documento de trabajo*”,
 Dirección general de Eficiencia energética

- MODEST, Michael
1993 *Radiative Heat transfer*, First edition, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK,

- PRITCHARD, Philip J, LEYLEGIAN, Jhon C
2010 *Introduction to Fluid Mechanics*, JHON WILEY & SONS, INC. Eight Edition, Fox and McDonald's

- SENAMHI
2003 "*Atlas de energía solar del Perú*, Proyecto PER/98/G31

- SILVA JASAUI, Diego Jesus
2016 *DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCION SOLAR PARA LA POSTA DE SALUD DEL POBLADO DE LANGUI*, Tesis para optar por el título de Ingeniero Mecánico.

- SOLARTRONIC
2003 *Irradiaciones global, directa y difusa, en superficies horizontales e inclinadas, así como irradiación directa normal , para la república mexicana*, Av. Morelos Sur No.90 92070 Col. Chipitalán, Cuernavaca, Morelos, Mexico.

- VALERA PALACIOS, Aníbal
1993 *Energía solar: Teoría & práctica*, Lima, UNI

- YUNUS, Cengel, ASHFIN, Ghajar
s/f *Transferencia de calor y masa*, 4ta edición, Mc Graw Hill