

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS
AMÉRICAS**

VICERRECTORÍA ACADÉMICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA RENOVABLE
PARA SUSTITUCIÓN DE CALENTADORES DE AGUA A
VAPOR Y GAS EN UN CENTRO MÉDICO**

**MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

ING. JOSÉ FRANCISCO CALDERÓN VARELA

AUTOR

ING. BILLY RETANA PEÑA MAIE

TUTOR

SEDE ARANJUEZ

ABRIL, 2018

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
Título del Seminario de Graduación.....	15
Planteamiento del problema	15
Justificación	15
Objetivo General.....	16
Objetivos Específicos	16
Alcances.....	17
Limitaciones	17
Antecedentes.....	17
Antecedente No. 1	17
Antecedente No. 2	19
Antecedente No. 3	20
CAPÍTULO 1: DIAGNÓSTICO.....	22
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	28
2.1. Tipos de Radiación.....	29
2.1.1. Radiación Directa	29
2.1.2. Radiación Difusa.....	29
2.1.3. Radiación Reflejada.....	30
2.2. Conceptos importantes sobre energía solar	30
2.2.1. Irradiancia	30
2.2.2. Insolación.....	31
2.2.3. Heliofanía.....	31
2.3. Comportamiento de un fluido cualquiera en la transferencia de calor	32
2.4. Tipos de energía solar aprovechable	33
2.4.1. Energía solar fotovoltaica	33
2.4.2. Energía solar térmica.....	34
2.5. Tecnologías para calentamiento de agua de uso sanitario.....	35
2.5.1. Calentador de agua a gas	36
2.5.2. Calentador de agua con vapor	38
2.5.3. Calentadores solares.....	40
2.6. Matemáticas Financieras	48
2.6.1 Valor Actual Neto (VAN).....	48
2.6.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)	50
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	53
3.1. Métodos de investigación.....	54
3.1.1 Método deductivo	54
3.1.2 Investigación descriptiva	54
3.1.3 Etapas de la investigación descriptiva.....	54
CAPÍTULO 4: DESARROLLO	57

4.1. Consumo de combustibles y agua caliente.....	58
4.1.1 Estimación de consumo de gas y costo	59
4.1.2 Estimación de consumo de diésel y costo	59
4.1.3 Estimación de consumo de agua caliente Torre Sur.....	60
4.1.4 Estimación de consumo de agua caliente Torre Norte	60
4.2. Datos climatológicos del lugar	61
4.3. Dimensionamiento del sistema de colectores para ACS.....	62
4.3.1 Demanda energética de ACS.....	62
4.3.2 Selección de tipo de colector por utilizar	64
4.3.3 Cantidad de colectores necesarios para suplir la demanda de ACS	65
4.3.4 Cálculo bomba de recirculación	73
4.3.5 Tanques de acumulación de ACS	74
4.3.6 Área requerida para instalación de colectores	74
4.3.7 Área disponible para la instalación de colectores	75
4.4. Propuesta de implementación del sistema de colectores en la Torre Sur	76
4.4.1. Modelo de colector por utilizar.....	76
4.4.2. Área requerida para instalación de colectores	77
4.4.3. Implementación de conexión de tubería y bomba de recirculación	77
4.4.4. Arreglo de colectores por utilizar	80
4.4.5. Costo del sistema de colectores.....	81
4.4.6. Retorno de la inversión.....	82
4.5. Propuesta de implementación del sistema de colectores para la Torre Norte	86
4.5.1. Modelo de colector por utilizar.....	86
4.5.2. Área requerida para instalación de colectores	87
4.5.3. Implementación de conexión de tubería y bomba de recirculación	88
4.5.4. Arreglo de colectores por utilizar	88
4.5.5. Costo del sistema de colectores.....	89
4.5.6. Retorno de la inversión.....	89
4.6. Análisis de Resultados	94
4.6.1 Dimensionamiento sistema de colectores	94
4.6.2 Tipo de colector por utilizar	97
4.6.3 Cantidad de colectores, tanque de acumulación, bomba de recirculación, área requerida y disponible	98
4.6.4 Propuesta de implementación	102
4.6.5 Costo y retorno de inversión sistema de colectores Torre Sur	105
4.6.6 Costo y retorno de inversión de sistema de colectores Torre Norte	107
CONCLUSIONES	110
RECOMENDACIONES.....	116
BIBLIOGRAFÍA.....	118
APÉNDICE 1: Fotografías equipos actuales	120
Equipos Torre Sur	120
Equipos Torre Norte.....	121
APÉNDICE 2: Fichas técnicas Colectores solares	122
APÉNDICE 3: Cálculos adicionales.....	128
APÉNDICE 4: Cotizaciones	129

TABLAS

Tabla 1.1: Parámetros de funcionamiento de equipos de calentamiento de agua de Torre Sur.	25
Tabla 1.2: Consumo de agua caliente y gas en Torre Sur	26
Tabla 1.3: Parámetros de funcionamiento de equipos de calentamiento de agua de Torre Norte y Patrimonio Histórico.	27
Tabla 1.4: Consumo de agua caliente y diésel en Torre Norte.....	27
Tabla 4.1: Consumo y costo de gas quincenal y diario.	59
Tabla 4.2: Consumo y costo de diésel diario.	60
Tabla 4.3: Datos meteorológicos del lugar en estudio.	61
Tabla 4.4: Demanda energética ACS Torre Sur.	63
Tabla 4.5: Demanda energética ACS Torre Norte.....	64
Tabla 4.6: Potencia de salida por colector.	68
Tabla 4.7: Resultados de interpolación para T_m-T_a y 450 W/ m^2 , Torre Sur.	68
Tabla 4.8: Número de colectores necesario para cubrir la demanda en la Torre Sur.	69
Tabla 4.9: Resultados de interpolación para T_m-T_a y 450 W/ m^2 , Torre Norte.	70
Tabla 4.10: Número de colectores necesario para cubrir la demanda en la Torre Norte.....	70
Tabla 4.11: Resultados de interpolación para T_m-T_a y 450 W/ m^2 , Torre Sur.	71
Tabla 4.12: Número de colectores necesario para cubrir la demanda en la Torre Sur.	71
Tabla 4.13: Resultados de interpolación para T_m-T_a y 450 W/ m^2 , Torre Norte.	72
Tabla 4.14: Número de colectores necesario para cubrir la demanda en la Torre Norte.....	73
Tabla 4.15: Caudal de bomba de recirculación.....	74
Tabla 4.16: Características tanques de acumulación existentes.....	74
Tabla 4.17: Área necesaria para la instalación de colectores.	75
Tabla 4.18: Colectores requeridos y costo para Torre Sur.	77
Tabla 4.19: Costo del sistema de colectores Torre Sur.....	82
Tabla 4.20: Costo mensual y anual de GLP en la Torre Sur.	83
Tabla 4.21: Ahorro anual con y sin sistema de colectores Torre Sur.	84
Tabla 4.22: Retorno de inversión Torre Sur.....	85
Tabla 4.23: Colectores requeridos y costo para Torre Norte.....	87
Tabla 4.24: Cantidad de colectores en Torre Norte adaptada al área disponible y % de demanda cubierto.....	87
Tabla 4.25: Costo del sistema de colectores Torre Norte.....	89
Tabla 4.26: Costo mensual y anual de Diésel sin sistema de colectores en Torre Norte.	90
Tabla 4.27: Costo mensual y anual de Diésel para 27% de la demanda de ACS de la Torre Norte.	91
Tabla 4.28: Ahorro y acumulado anual en la Torre Norte.....	91

Tabla 4.29: Retorno de inversión Torre Norte.....	92
Tabla 4.30: Resumen de cálculos de número de colectores requeridos.....	99
Resumen elementos del sistema de colectores.....	105
Tabla 4.32: Costo calentamiento de agua	107

FIGURAS

Figura 1.1 Croquis de ubicación de edificios del Centro Médico.	23
Figura 1.2 Diagrama sistema de calentamiento de Agua Torre Sur.	24
Figura 1.3 Detalle tanque almacenamiento de gas y notas del sistema de calentamiento.	24
Figura 1.4 Sistema de calentamiento de agua torre sur.	25
Figura 1.5 Diagrama de sistema de calentamiento de agua de Torre Norte y Patrimonio Histórico.	26
Figura 1.6 Sistema de calentamiento de agua Torre Norte y Patrimonio Histórico.	27
Figura 2.1 Componentes de la radiación solar terrestre	30
Figura 2.2 Mapa de irradiación solar horizontal en Costa Rica	31
Figura 2.3 Brillo solar anual en Costa Rica	32
Figura 2.4 Energía solar fotovoltaica	34
Figura 2.5 Energía solar térmica	35
Figura 2.6 Partes de un calentador a gas	38
Figura 2.7 Calentador de tubos en U y carcaza	40
Figura 2.8 Calentador solar plano	42
Figura 2.9 Partes del Calentador solar plano con cubierta de vidrio	43
Figura 2.10 Calentador de tubos al vacío.	44
Figura 2.11 Calentador de tubos al vacío.	45
Figura 2.12 Calentador solar de concentración	46
Figura 2.13 Esquema de un sistema forzado.....	47
Figura 3.1 Diagrama de flujo marco metodológico.....	56
Figura 4.1 Visor de nivel en tanque de almacenamiento de diésel.....	58
Figura 4.2 Comparativa de características de colectores solares.	65
Figura 4.3 Planta de techos Casa de Máquinas Torre Norte.....	76
Figura 4.4 Ruta de tubería de agua caliente desde colectores solares.....	78
Figura 4.5 Cabezal de alimentación de agua caliente desde colectores hacia tanques de acumulación.	79
Figura 4.6 Cabezal de alimentación de agua fría desde red de suministro hacia colectores.....	80
Figura 4.7 Arreglo a utilizar de colectores solares.	81
Figura 4.8 Retorno de inversión sistema de colectores Torre Sur.....	86
Figura 4.9 Retorno de inversión sistema de colectores Torre Norte.....	93
Figura A.1 Tanques de almacenamiento y calentador a Gas de Torre Sur.....	120
Figura A.2 Presión y temperatura de trabajo de Torre Sur.....	120
Figura A.3 Sistema de calentamiento a vapor de Torre Norte.....	121
Figura A.4 Temperatura de operación y datos tanque almacenamiento de Torre Norte	121
Figura A.5 Ficha técnica Colector SAMMLER Alter 2504.....	124

Figura A.6 Ficha técnica Colector SAMMLER Alter 2004.....	127
Figura A.7 Cálculo de pérdida de calor en tubería aislada.	128
Figura A.8 Costo sistema de colectores Torre Norte.	129
Figura A.9 Costo sistema de colectores Torre Sur.	130

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS:

A Dios, quien nos brinda la fuerza y sabiduría para emprender nuestros proyectos de vida.

A mi madre, quien me ha dado su apoyo incondicional en mis años de vida, ha creído en mí y me ha brindado el mejor ejemplo para seguir adelante a pesar de las dificultades.

A mis hijos, Luciana, Francisco Andrés y Diego Alejandro quienes son el motor que me hace seguir adelante y superarme cada día.

A Alejandra Calvo, pareja, compañera, esposa, quien me ha brindado su apoyo y comprensión.

A todos aquellos que han estado a mi lado y que de alguna forma me han ayudado a alcanzar mis metas.

Al Máster Billy Retana Peña, quien ha sido mi guía durante este trabajo y ha dedicado parte de su tiempo con el fin de culminarlo de forma exitosa.

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el análisis de los tipos de tecnologías existentes para el calentamiento de agua de uso sanitario (ACS), sus características e implementación a gran escala, con el fin no solo de contribuir con el medio ambiente, sino también, el de disminuir los costos de operación de una actividad en particular.

Para realizar este análisis, se lleva a cabo una recopilación de datos en un centro médico que cuenta con sistemas de calentamiento de agua a gas y vapor, generado con combustible diésel. Datos importantes para el presente trabajo, son el consumo diario de agua caliente y, por ende, de combustible utilizado para dicho fin, esto para lograr cuantificar la actividad y partir de allí para poder investigar y plantear un sistema de calentamiento que use energía renovable como la solar, que supla las necesidades actuales de la Institución.

Como un segundo paso se estableció el tipo de colector adecuado para el sistema, que cumpliera con los parámetros de funcionamiento de la instalación y que brindará fiabilidad a futuro. Para esto se seleccionó colectores certificados con pruebas de laboratorio que brinden datos suficientes para poder dimensionar de manera correcta el sistema de calentamiento.

En la fase de diseño se utilizó datos de sistemas satelitales, con el fin de obtener la radiación de la zona, temperatura y otros, para estimar cómo estos colectores se comportan en la realidad desde un amplio rango de temperaturas y luz solar, para lograr llegar a un diseño adecuado para el proyecto.

Como un siguiente paso por seguir se analiza la posible implementación del sistema, adecuándolo a la realidad de la planta física existente y requerimientos técnicos del mismo.

Finalmente, se lleva a cabo un análisis de viabilidad económica del proyecto donde se calculó el VAN, TIR y retorno de la inversión, los cuales son parámetros básicos para analizar un proyecto a largo plazo. A partir del análisis financiero se determinó la rentabilidad de los sistemas propuestos y su retorno de inversión.

INTRODUCCIÓN

Título del Seminario de Graduación

“Análisis y selección de tecnología renovable para sustitución de calentadores de agua a vapor y gas en un centro médico.”

Planteamiento del problema

¿Cuál es la tecnología de calentamiento de agua para uso sanitario basada en energía renovable más adecuada y su respectivo dimensionamiento, para su implementación en un centro médico?

Justificación

El hospital Dr. Rafael Ángel Calderón Guardia es uno de los principales centros médicos del país, el cual cuenta con aproximadamente 3.228 funcionarios. En el 2016, registró 25.563 egresos y atendió a unas 6.000 personas a la semana en consulta externa. Así mismo, el Hospital brinda atención a los 1,5 millones de habitantes que pertenecen al área de adscripción del Centro Médico.

Es por esto que el calentamiento de agua para uso sanitario en este Centro Médico, es una necesidad de primera mano, ya que de ella dependen un gran número de actividades diarias que no serían posibles ante su ausencia, como los baños diarios de los pacientes, limpieza de procedimientos quirúrgicos, baños de recién nacidos, limpieza de instrumental quirúrgico, pilas de aseo en salas de operaciones y otros usos de los cuales no se puede prescindir.

Es así como esta actividad implica no solo un costo económico, sino también, ambiental, dependiendo de la tecnología usada para éste. Es por esto que se busca el método de calentamiento de agua utilizando energía renovable más adecuada, con el fin de sustituir los sistemas actuales, basados en vapor y gas. Esto se debe realizar manteniendo la misma continuidad en el suministro del servicio, con el fin no solo de reducir estos costos económicos, sino además, incluir un aspecto tan relevante en la actualidad, como lo es la protección del medio ambiente.

Objetivo General

Definir cuál es la tecnología de calentamiento de agua para uso sanitario basada en energía renovable más adecuada y su respectivo dimensionamiento, para su implementación en un centro médico.

Objetivos Específicos

- Recopilar la información de las características de los equipos actuales y consumo de agua caliente del centro médico en estudio, con el fin de dimensionar equipos de energía renovable propuestos.
- Definir el costo económico del calentamiento del agua necesaria, determinando las cantidades de combustibles diésel y gas utilizadas en esta actividad.
- Determinar el tipo de sistema que use energía renovable, más adecuado para el centro médico, según investigación de sus características y de tipos de tecnologías disponibles de calentamiento de agua.

- Realizar análisis de recuperación de la inversión y tasa interna de retorno, de la implementación de la nueva tecnología de calentamiento de agua seleccionada, comparándola con los sistemas existentes, con el fin de justificar el cambio desde el punto de vista económico.
- Establecer la factibilidad técnica de instalar el nuevo sistema de calentamiento de agua y las instalaciones mecánicas necesarias para su funcionamiento.

Alcances

Al finalizar este trabajo se entregará en formato digital lo siguiente:

- Recopilación de información del estado actual de consumo y producción de los equipos de calentamiento de agua.
- Propuesta de sistema de colectores solares.
- Análisis financiero y de retorno de inversión del sistema propuesto.

Limitaciones

Dentro de las limitantes que pueden encontrarse cabe mencionar:

- En el Hospital no se tiene un control, ni un histórico de consumo de combustibles utilizados para el calentamiento de agua.
- Los equipos no cuentan con mecanismos para llevar un conteo o control de consumo de vapor, combustible, agua caliente, etc.

Antecedentes

Antecedente No. 1

Tema: Diseño de un sistema de calentamiento solar de agua y utilización de aguas residuales.

Autor: Luis Diego Sandí Navarro.

Institución: Universidad Internacional de las Américas.

Año: 2011.

Esta tesis trata sobre el diseño de un sistema de calentamiento de agua utilizando energía solar térmica y utilización de aguas residuales, en primera instancia, se detalla el cálculo de los caudales de demanda para el sistema de calentamiento de agua y para el sistema de reutilización de aguas jabonosas, lo anterior basado en el método de Hunter, una vez conocidos los caudales de demanda, se indica el diseño de las tuberías y sistemas de bombeo, donde los cálculos anteriores se basan en las normas establecidas por el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias de Costa Rica.

Se presenta, para el abastecimiento de agua caliente, un sistema forzado de calentamiento de agua, es decir, que la circulación entre los tanques de almacenamiento y colectores solares sea por medio de una bomba de circulación.

La tubería interna de los colectores solares se dispone en forma serpentín, de modo que la velocidad del agua sea constante a través del colector, aumentando de esta forma la transferencia de calor, obteniendo un sistema más eficiente de absorción de energía. Se diseña una tubería de recirculación del agua a través del edificio, con el fin de evitar el enfriamiento del agua dentro de la tubería en caso de que no exista demanda de ésta por parte de los ocupantes del edificio.

En esta tesis, los aspectos útiles para el presente trabajo se puede decir que son los principios de la energía solar térmica y tipos de sistemas de calentamiento de agua, aprovechando la energía solar, descritos en el marco teórico y más

adelante desarrollados de forma numérica con el fin de obtener un diseño de calentamiento de agua que sea útil para las necesidades propuestas.

Antecedente No. 2

Tema: Estrategias para lograr ahorro energético en el hospital San Rafael de Alajuela.

Autor: Rosa Elena Vásquez Rodríguez.

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Año: 2012.

Esta tesis fue realizada en el Hospital San Rafael de Alajuela, respondiendo a la necesidad de tanto este centro médico como de la Caja Costarricense de Seguro Social de ahorrar los recursos disponibles y de promover las iniciativas de Gobierno con respecto de la Estrategia Nacional de Cambio Climático y la meta nacional de alcanzar la Carbono Neutralidad para el año 2021. Para cumplir con esto se propuso mejorar la eficiencia energética del Hospital San Rafael. En un primer lugar, esto planteó la necesidad de evaluar la situación energética actual del Hospital. Gracias a esta evaluación se determinó que el Hospital consumió en el 2011 en promedio 43,83 kWh/cama/día y que al hacer la comparación con el año 2009, establecido como año base, hubo una reducción del consumo de 6,09 kWh/cama/día, lo cual equivale a un ahorro diario de ₡ 171.843,44. Además, se determinó la distribución del consumo del Hospital, obteniéndose como resultado que el servicio de Aire Acondicionado representa el 38% del consumo eléctrico y

que la iluminación de este centro médico el 32% del consumo. Uno de los aspectos evaluados que responde a las iniciativas del Hospital en protección del medio ambiente, se evaluó la instalación de calentadores de agua solares para reducir el consumo de gas LP. De esto se determinó que en un periodo de 4 años se podría recuperar la inversión. Sin embargo, debido a la falta de datos reales de consumo de agua caliente y de gas del Hospital, no fue posible hacer un cálculo más seguro.

El aspecto relevante de esta tesis para el presente trabajo, es que éste se realizó en un centro médico, donde dada la similitud con el presentado en este documento, se tiene parámetros y variables similares, con el fin de llegar a un resultado similar en cuanto a lo que se refiere al análisis de costos y recuperación de inversión al implementar un sistema solar térmico de calentamiento de agua de uso sanitario.

Antecedente No. 3

Tema: Diseño de eficiencia energética, para el aprovechamiento de calor residual y disminución de la huella de carbono, en planta Pepsi.

Autor: José Eduardo Víquez Hernández.

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Año: 2015.

Este proyecto fue elaborado en la empresa Pepsi, ubicada en Ulloa de Heredia. El cambio climático es un tema de vital importancia para las empresas y de esta forma buscan aportar mediante la reducción de su propia huella carbono.

La planta Pepsi no se queda atrás y, por esta razón, cuenta con tres fases

para lograr el objetivo, éstas son: Medir, Reducir y Compensar. El presente proyecto busca reducir la mayor cantidad de combustible búnker consumido por la empresa. Actualmente, cuenta con una caldera pirotubular de 200 BHP, ésta en ocasiones, trabaja solo para alimentar un equipo. Esto provoca el consumo innecesario de combustible y aumenta las emisiones de CO₂ producidas por la empresa. Mediante el diseño de un sistema de recuperación de calor se aprovecha la mayor cantidad de energía de los sistemas de aire comprimido y del sistema de refrigeración por amoniaco. Además, se propuso la utilización de colectores solares para contar con un respaldo de energía limpia. En cuanto a los sistemas que se van a intervenir, está el saneamiento AICIP, la lavadora de envases de vidrio San Martín y el tanque de condensados de la caldera. El equipo con mayor consumo de energía es la lavadora, por lo que su precalentamiento genera un ahorro significativo. El diseño cuenta con una serie de intercambiadores de calor que extraen gran cantidad de energía de los sistemas y mediante un circuito cerrado de agua caliente se direcciona hacia la lavadora, y el tanque de condensados.

La utilización de colectores solares, en este trabajo, es una similitud útil con el presente trabajo, además el sistema de generación de vapor, también, brinda parámetros comparables, dado que en el centro médico en estudio, uno de los procesos de calentamiento de agua se realiza mediante el uso de vapor generado en una caldera con una potencia de 80 BHP, que utiliza combustible diésel.

CAPÍTULO 1:
DIAGNÓSTICO

El calentamiento de agua para uso sanitario en un centro médico es de suma importancia para su funcionamiento. En la actualidad, en lugar en estudio se cuenta con dos tecnologías de calentamiento de agua, una basada en vapor y otra a en gas licuado de petróleo (GLP).

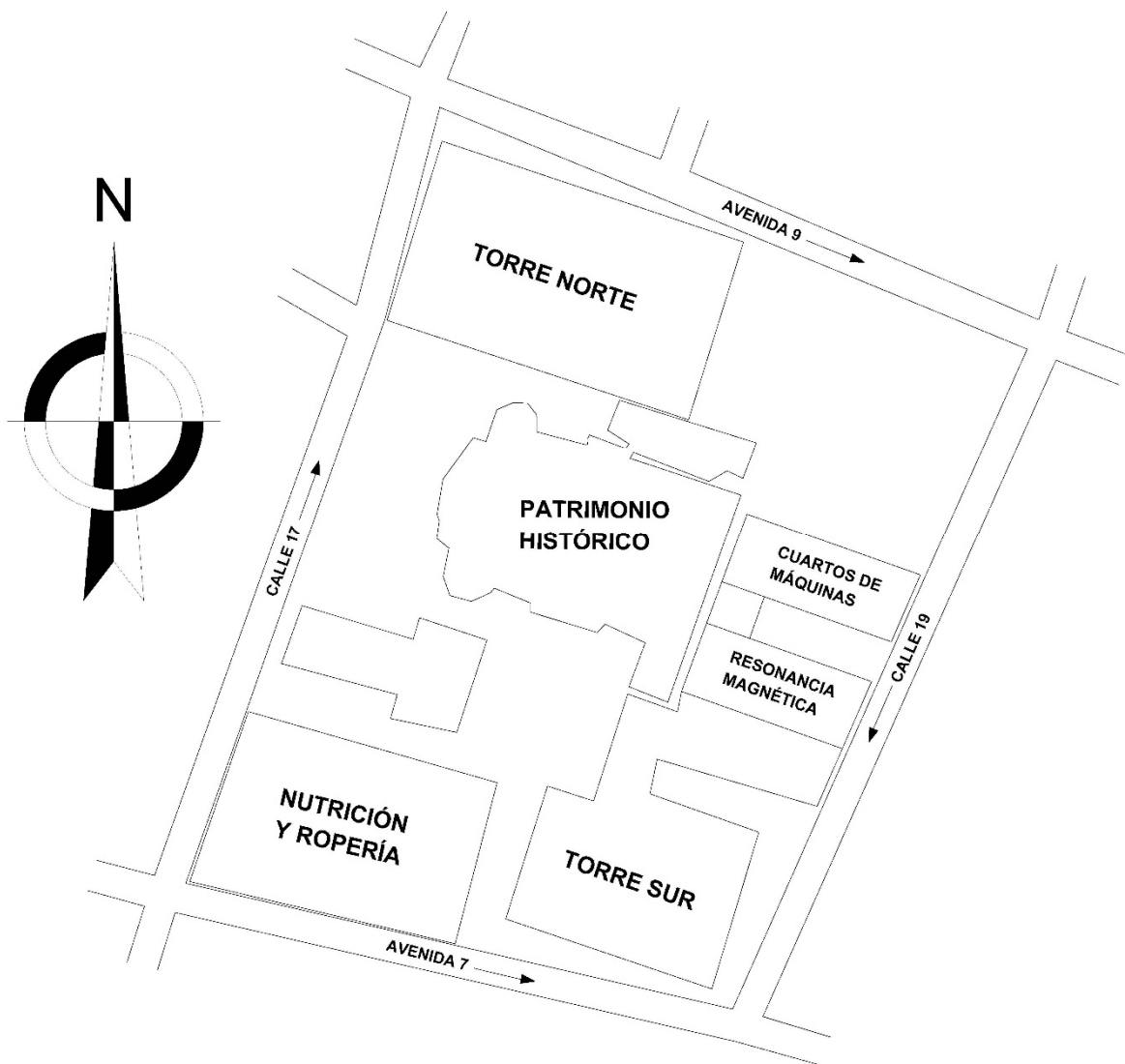


Figura 1.1 Croquis de ubicación de edificios del Centro Médico.

Fuente: Elaboración propia con software AutoCAD 2018

El edificio de Torre Sur o Torre de emergencias, está alimentado por un sistema de calentamiento de agua a gas LP, en este se muestran los detalles en las figuras 1.2 y 1.3.

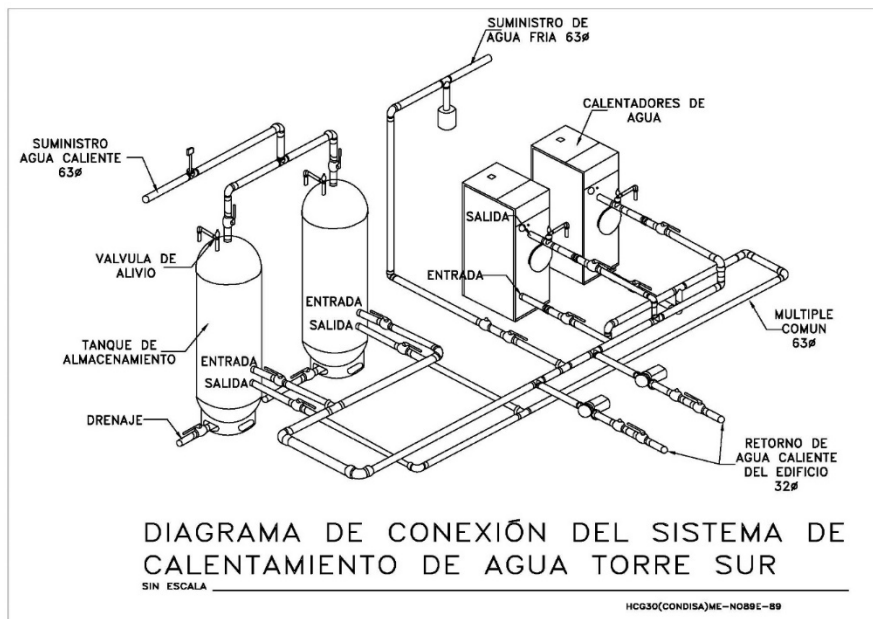


Figura 1.2 Diagrama sistema de calentamiento de Agua Torre Sur.

Fuente: Planos mecánicos Torre Sur

NOTA:

BOMBAS DE RECIRCULACION DE AGUA CALIENTE

DOS BOMBAS VERTICALES MULTITAPAS MARCA GOULDS MODELO 15VA, 3 ETAPAS, CARCAZA E IMPULSOR DE ACERO INOXIDABLE 304, CONEXIONES ROSCADAS DE 1 1/2", ACOPLADA DIRECTAMENTE A MOTOR DE 3/4 H.P., 115-230 VOLTIOS, 1 FASE . 80 CICLOS, 3450 RPM, TEFC, SF 1.15. CON CAPACIDAD PARA 7 GPM A 50 PSI.

SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA

DOS CALENTADORES DE AGUA A BASE DE GAS LPG DE LA MARCA LOCHINVAR POWER FIN MODELO PBL-0750-F9, CON CAPACIDAD DE 750 MBTU/HR CON EFICIENCIA TÉRMICA DEL 88%, CON CONTROL ELECTRÓNICO.

DOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CALIENTE VERTICALES, FORRADOS DE FABRICA CON CAPACIDAD PARA 750 GALONES DE LA MARCA LOCHINVAR MODELO RGA-752.

DOS BOMBAS DE RECIRCULACIÓN DE PAQUETE MODELO PBS-0750-FP-PM DE LOCHINVAR.
DOS CONTROLES DE SEGURIDAD DE CORTE POR BAJA CANTIDAD DE AGUA.

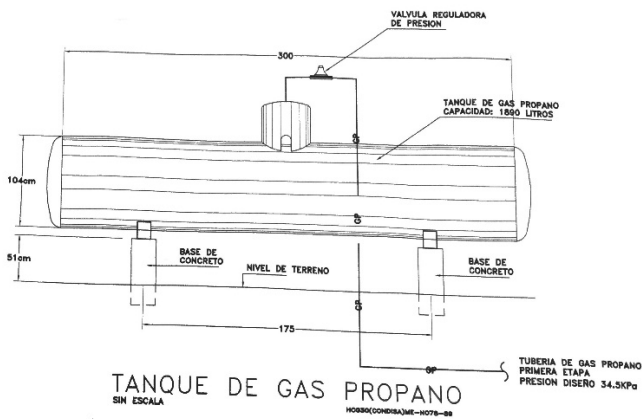


Figura 1.3 Detalle tanque almacenamiento de gas y notas del sistema de calentamiento.

Fuente: Planos mecánicos Torre Sur



Figura 1.4 Sistema de calentamiento de agua torre sur.

Fuente: Foto tomada en sitio

Los parámetros y condiciones de trabajo del sistema de calentamiento y almacenamiento de agua se resumen a continuación:

Tabla 1.1: Parámetros de funcionamiento de equipos de calentamiento de agua de Torre Sur.

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen de almacenamiento de cada tanque	2841	Litros
Volumen almacenamiento tanque GLP	1890	Litros
Presión de trabajo del sistema	620,527 (90)	KPa (Psi)
Temperatura del agua caliente	51	°C

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.2: Consumo de agua caliente y gas en Torre Sur

Parámetro	Valor	Unidad
Consumo de agua caliente	17046	Litros/día
Consumo GLP	94,5	Litros/día

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por funcionarios del centro médico.

El edificio de Torre Norte y Patrimonio Histórico se alimenta mediante un sistema de calentamiento de agua a vapor, el cual se muestran los detalles en la figura 1.4.

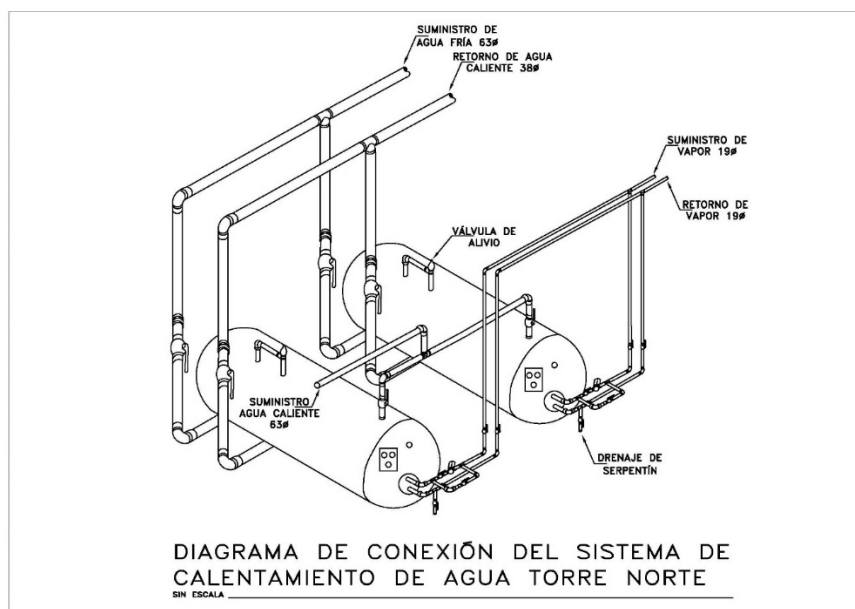


Figura 1.5 Diagrama de sistema de calentamiento de agua de Torre Norte y Patrimonio Histórico.

Fuente: Elaboración propia con software AutoCAD 2018.



Figura 1.6 Sistema de calentamiento de agua Torre Norte y Patrimonio Histórico.

Fuente: Foto tomada en sitio.

Tabla 1.3: Parámetros de funcionamiento de equipos de calentamiento de agua de Torre Norte y Patrimonio Histórico.

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen de almacenamiento de cada tanque	5300	Litros
Temperatura de vapor de entrada	120	°C
Presión de vapor de entrada	620,527 (90)	KPa (Psi)
Presión de trabajo del sistema	620,527 (90)	Kpa (Psi)
Temperatura del agua caliente	48	°C

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.4: Consumo de agua caliente y diésel en Torre Norte.

Parámetro	Valor	Unidad
Consumo de agua caliente	39750	Litros/día
Consumo diésel	378	Litros/día

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por funcionarios del centro médico.

CAPÍTULO 2:
**MARCO
TEÓRICO**

La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la antigüedad. En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de diversos captadores como células fotovoltaicas, heliostatos o colectores térmicos, pudiendo transformarse en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que podrían ayudar a resolver algunos de los problemas más urgentes que afronta la humanidad.

La potencia de la radiación varía, según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. En condiciones de radiación aceptables, la potencia equivale aproximadamente a 1000 W/m^2 en la superficie terrestre. ("Energía solar", 2017)

La radiación es aprovechable en sus componentes directos y difusos, o en la suma de ambos. Así se pueden definir tres tipos de radiación, directa, difusa y reflejada.

2.1. Tipos de Radiación

2.1.1. Radiación Directa

Es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización.

2.1.2. Radiación Difusa

La radiación difusa: es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del Sol en esta. Esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los

días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor. Por otra parte, las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, mientras que las superficies verticales reciben menos.

2.1.3. Radiación Reflejada

Es aquella reflejada por la superficie terrestre, la cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no "ven" superficie terrestre, mientras que las superficies verticales son las que más reciben. ("Radiación directa, difusa y reflejada en Ecomateriales y construcción sostenible - wiki EOI de documentación docente", 2017)

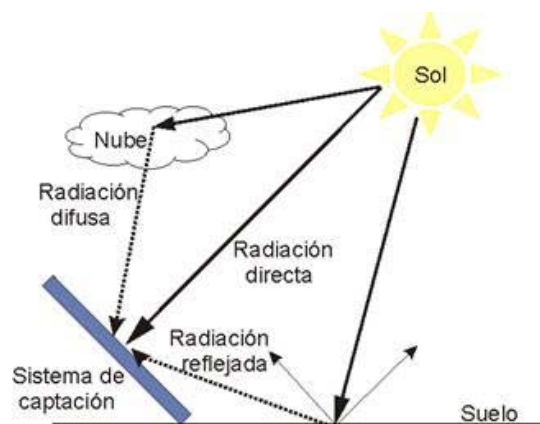


Figura 2.1 Componentes de la radiación solar terrestre

Fuente: <https://pedrojherandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>

2.2. Conceptos importantes sobre energía solar

2.2.1. Irradiancia

La irradiancia es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En unidades

del sistema internacional se mide en W/m^2 . ("Irradiancia", 2017)

La potencia de la radiación solar varía, según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. En condiciones de radiación aceptables, la potencia equivale aproximadamente a $1000 W/m^2$ en la superficie terrestre.

$$I = \frac{P_{inc}}{A_s}$$

- P_{Inc} = Potencia incidente
- A_s = Área de la superficie en que incide la onda

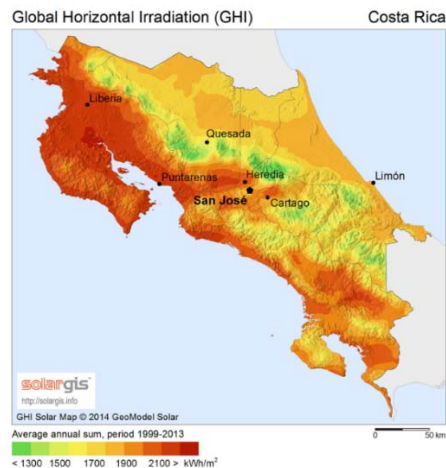


Figura 2.2 Mapa de irradiación solar horizontal en Costa Rica

Fuente: <http://www.acesolar.org/mapa/>

2.2.2. Insolación

La insolación es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o un año (insolación anual). ("Insolación", 2017)

2.2.3. Heliofanía

La heliofanía representa la cantidad del brillo del sol y está ligada al hecho de

que el instrumento utilizado para su medición, heliofanógrafo, que registra el tiempo en que recibe la radiación solar directa. La ocurrencia de nubosidad determina que la radiación recibida por el instrumento sea radiación solar difusa, interrumpiéndose el registro. Si bien, hay energía incidente disponible, la concentración o densidad de ésta no es suficiente para ser registrada. ("Heliografía", 2017)

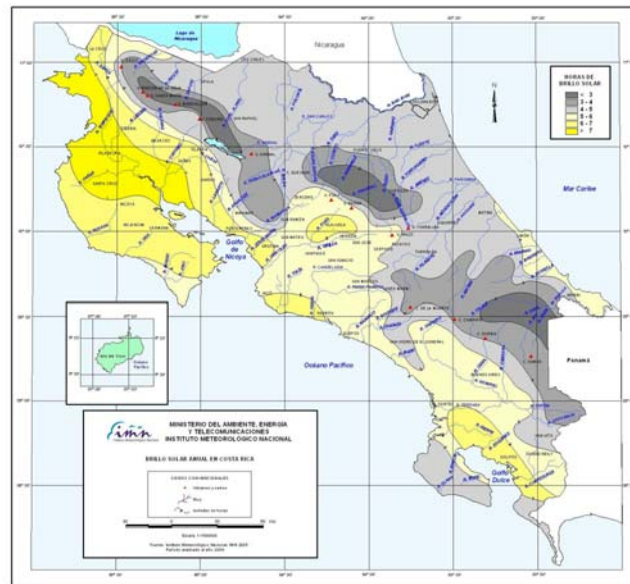


Figura 2.3 Brillo solar anual en Costa Rica

Fuente:

<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Series+de+Brillo+Solar+en+Costa+Rica>

2.3. Comportamiento de un fluido cualquiera en la transferencia de calor

Cuando un fluido cede calor sus moléculas se desaceleran por lo cual su temperatura disminuye y su densidad aumenta siendo atraída sus moléculas por la gravedad de la tierra.

Cuando el fluido absorbe calor sus moléculas se aceleran por lo cual su temperatura aumenta y su densidad disminuye, lo que lo hace más liviano.

El fluido más frío tiende a bajar y ocupa el nivel más bajo de la vertical y los fluidos más calientes son desplazados al nivel más alto, creándose así los vientos de la tierra.

La transferencia térmica convectiva consiste en el contacto del fluido con una temperatura inicial con otro elemento o material con una temperatura diferente. En función de la variación de las temperaturas, variarán las cargas energéticas moleculares del fluido, y los elementos interactuantes del sistema realizarán un trabajo, donde el que tiene mayor energía o temperatura se la cederá al que tiene menos temperatura. Esta transferencia térmica se realizará hasta que los dos tengan igual temperatura; mientras se efectúa el proceso las moléculas con menor densidad tenderán a subir y las de mayor densidad bajarán de nivel. Las moléculas que se encuentran en las capas inferiores aumentan su temperatura. ("Convección", 2017)

2.4. Tipos de energía solar aprovechable

2.4.1. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica consiste en la obtención de electricidad obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien, mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina.

El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un material al incidir sobre él una radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta). ("Efecto fotoeléctrico", 2017)

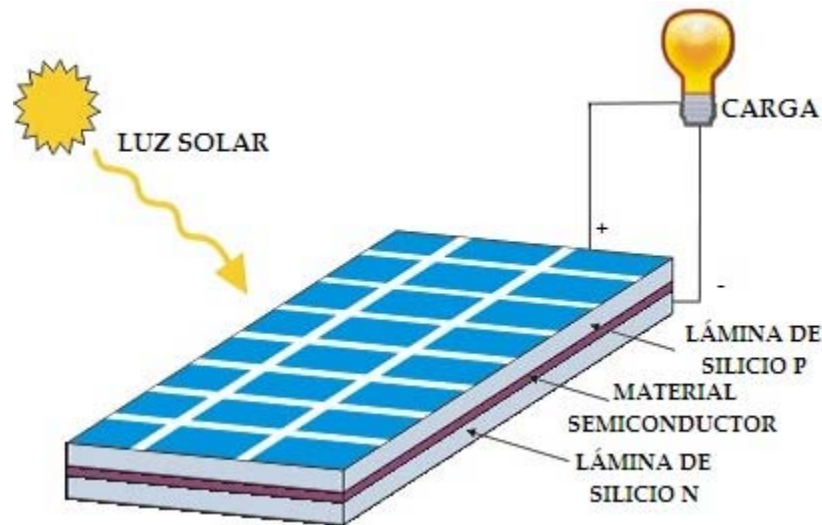


Figura 2.4 Energía solar fotovoltaica

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_fotoel%C3%A9ctrico

2.4.2. Energía solar térmica

La energía solar térmica o energía termo solar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica. ("Energía solar térmica", 2017)

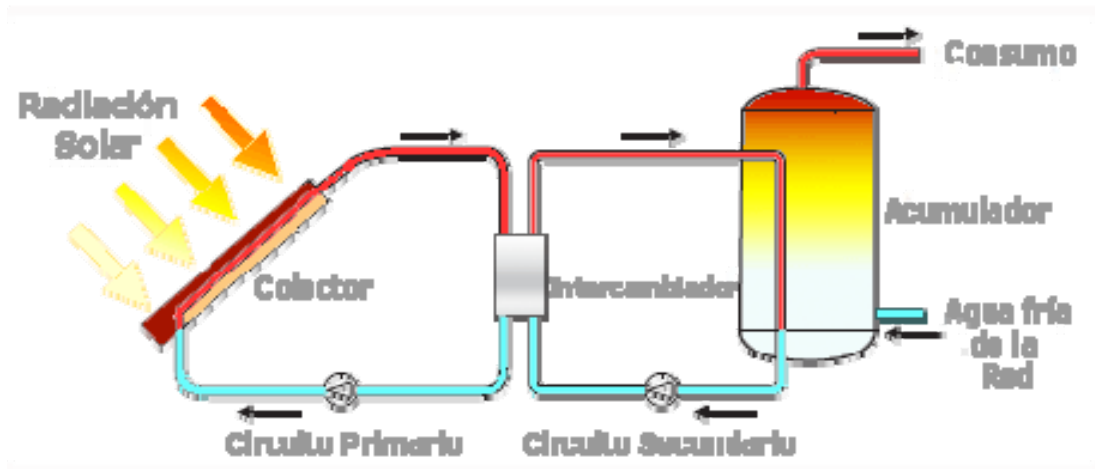


Figura 2.5 Energía solar térmica

Fuente: <https://solar-energia.net/energia-solar-termica>

2.5. Tecnologías para calentamiento de agua de uso sanitario

El agua caliente sanitaria (ACS) es agua destinada a consumo humano (potable) que ha sido calentada. Se utiliza para usos sanitarios (baños, duchas, etc.) y para otros usos de limpieza (fregado de platos, lavadora, lavavajillas, fregado de suelos). Normalmente, el agua procede de la instalación de agua del edificio.

En muchos países está considerado un servicio básico y obligatorio en las viviendas. La preparación de ACS requiere bastante cantidad de energía y es uno de los grandes consumos de la edificación residencial, suponiendo cantidades entre un 20% y un 40% del total. Por estas razones, entre otras cosas, es necesario que las conducciones y depósitos acumuladores estén aislados térmicamente para minimizar las pérdidas de energía.

Para la preparación por acumulación, se pueden utilizar prácticamente todos los tipos de energía: electricidad, gasóleo, gas natural, gases licuados de petróleo (GLP: butano y propano), etc. Para la preparación "instantánea" se utilizan preferentemente los gases (natural canalizado y los GLP) y, raramente, el gasóleo o la electricidad.

Cada vez más, debido a su menor impacto ambiental y al previsible agotamiento a medio plazo de las reservas de combustibles fósiles como el petróleo (y, en la práctica, a las nuevas normas nacionales que van obligando a que al menos una parte del ACS de las nuevas edificaciones se obtenga a partir de energías renovables), el agua caliente sanitaria se obtiene mediante la energía solar térmica, energía geotérmica o calores residuales, que debe prepararse necesariamente por acumulación. ("Agua caliente sanitaria", 2017)

Entre los sistemas de calentamiento de agua se pueden mencionar los siguientes:

- Calentadores a gas.
- Calentadores a vapor.
- Colectores solares.

2.5.1. Calentador de agua a gas

Los calentadores a gas están dotados de un calderín de acero vitrificado y un elemento interior intercambiador para el calentamiento del agua. En la base de este conducto está situada la cámara de combustión del gas y el quemador. La seguridad en la combustión en los modelos con llama piloto está garantizada por la existencia

de un termopar, que en caso de apagado de la llama impide el paso del gas al quemador. El termostato de sobrecalentamiento supone una medida adicional de seguridad, impidiendo que la temperatura del agua supere los 95·C. La gran ventaja de los termos a gas viene dada por:

- La acumulación, que permite dar servicio de agua caliente a varios puntos de consumo simultáneamente (a diferencia de los sistemas de producción instantánea).
- Su gran potencia de calentamiento, capaz de recuperar la temperatura del agua con mayor rapidez. ("Calentador de Agua", 2017)

Estos calentadores se dividen en dos grandes categorías, los modelos de cámara abierta y tiro natural, y los de cámara estanca y flujo forzado. La evacuación de los humos producto de la combustión, en el primer caso, se produce a través de una pequeña chimenea, mientras que en el segundo caso la evacuación se produce a través de un tubo coaxial que expulsa los humos al exterior mediante la acción de un micro-ventilador, y con un tubo central que toma aire del exterior.

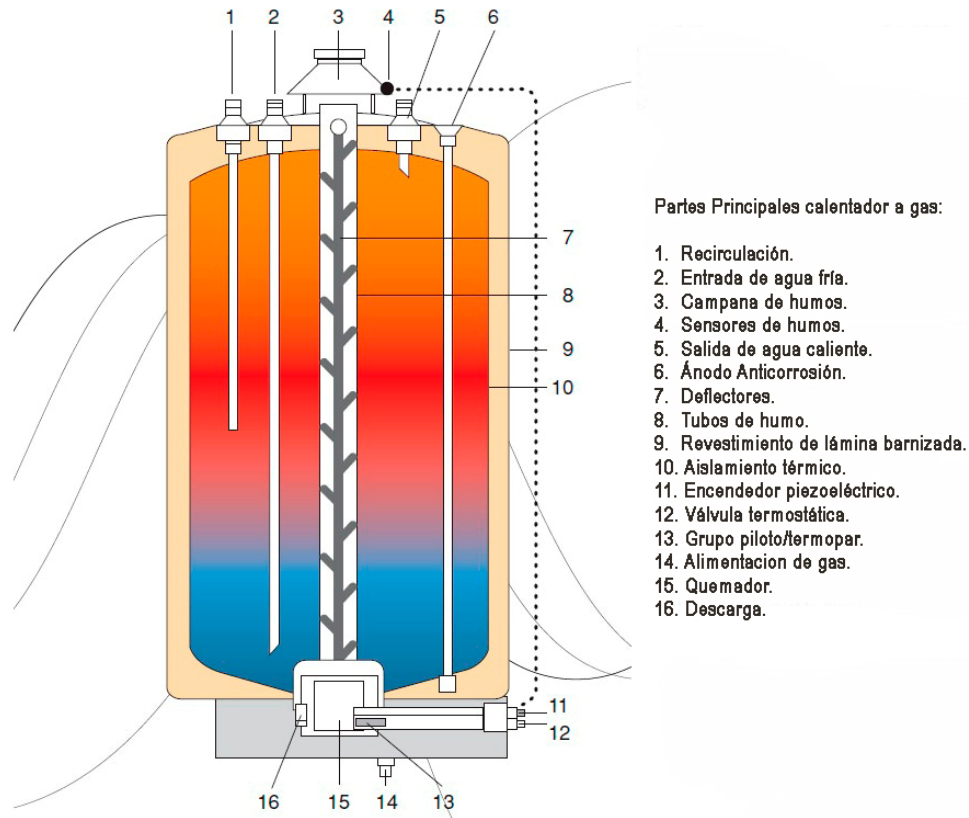


Figura 2.6 Partes de un calentador a gas

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Calentador_de_agua

2.5.2. Calentador de agua con vapor

Los calentadores de agua que utilizan vapor como fluido térmico para subir la temperatura del agua, son básicamente un intercambiador de calor que es un dispositivo que transfiere el calor de un medio a otro. El calor se transfiere por conducción a través de los materiales intercambiadores que separan los medios utilizados.

Existe una gran diversidad de intercambiadores de calor, pero las tres grandes tipologías en las que pueden ser clasificados son las siguientes:

- Intercambiador de calor de carcasa y tubo: Los intercambiadores de calor de carcasa y tubo están formados por un gran número de tubos pequeños situados en el interior de una carcasa cilíndrica. Los tubos se colocan en el cilindro usando un haz de tubos que puede tener placas de tubo permanentemente fijadas al cuerpo, o una pila de tubos flotantes que permite que el haz de tubos se expanda y contraiga según las condiciones de calor. La pila de tubos puede ser fácilmente extraída para su limpieza y mantenimiento. ("Pirobloc", 2017)
- Intercambiador de calor de placas: Los intercambiadores de calor de placas operan de la misma forma que los intercambiadores de tubo, aunque utilizan una serie de placas apiladas en lugar de tubos. Estos tipos de intercambiadores se construyen de forma compacta con acero inoxidable, lo cual los convierte en una solución ideal para su uso con refrigerantes, así como en el procesamiento de alimentos y bebidas.
- Intercambiador de calor refrigerado por aire: Aire enfriado; Los intercambiadores de calor refrigerados por aire se usan comúnmente en vehículos u otras aplicaciones móviles donde no hay una fuente permanente de agua fría disponible.

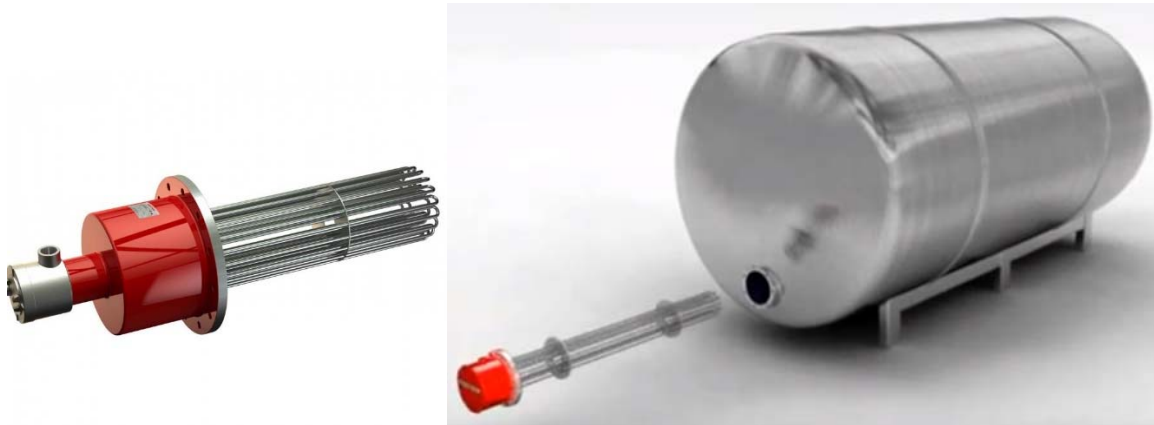


Figura 2.7 Calentador de tubos en U y carcaza

Fuente: https://www.wattco.com/es/product_category/calentadores-de-brid/

2.5.3. Calentadores solares

Un calentador solar de agua es un sistema foto térmico capaz de utilizar la energía térmica del sol para el calentamiento de agua sin usar ningún tipo de combustible. Se compone de un colector solar plano o tubos de vacío, donde se captura la energía del sol y se calienta el agua, pasa a un termo tanque donde se almacena el agua caliente para su uso posterior.

Un calentador solar ayuda a aprovechar en nuestros hogares la energía del sol, ya sea para calentar agua, para el secado de granos e incluso para mover turbinas que generen electricidad.

Los calentadores solares de agua han existido desde hace más de 100 años, pero en los últimos 20 años han visto importantes avances en tecnologías de recubrimiento de absorción de calor y ahora son mucho más eficientes. ("Cemaer.org", 2017)

El funcionamiento es sencillo, la luz solar se convierte en calor al tocar la placa térmica, la cual puede ser metálica o de plástico; por debajo de la placa se encuentran los cabezales de alimentación y circulación de agua, por donde el líquido entra frío y sale caliente.

El agua circula dentro del sistema, mediante el mecanismo de termosifón, el cual se origina por la diferencia de temperatura que se genera en el agua debido al calentamiento proporcionado por el sol. Esto significa que, el agua caliente es más ligera que la fría y, en consecuencia, tiende a subir.

El agua se almacena en el termo-tanque que está forrado con un aislante térmico para evitar la pérdida de calor, así el agua se mantiene caliente y lista para usarse en cualquier momento, incluso durante la noche.

2.5.3.1. Tipos de calentadores solares

En la actualidad, existen varios tipos de calentadores solares, todos estos tienen el mismo objetivo, calentar agua con energía solar. Se pueden distinguir principalmente los siguientes:

- Calentador solar plano:

También, son conocidos como colectores solares planos, mucha gente los puede confundir con los paneles solares fotovoltaicos por su parecido.

Los calentadores solares planos se dividen en dos tipos, con cubierta y sin cubierta. Los calentadores con cubierta están compuestos básicamente por una cubierta de vidrio y una placa captadora totalmente aislada térmicamente en el

interior. Los calentadores sin cubierta son más comunes para calentar el agua caliente de las piscinas, normalmente son de plástico y están expuestos directamente al sol. ("Cemaer.org", 2017)

Con este tipo de calentadores puedes alcanzar temperaturas entre 30° y 70°C, aunque dependiendo del diseño puedes alcanzar hasta los 100°C.



Figura 2.8 Calentador solar plano

Fuente: <http://www.cemaer.org/tipos-de-calentadores-solares/>

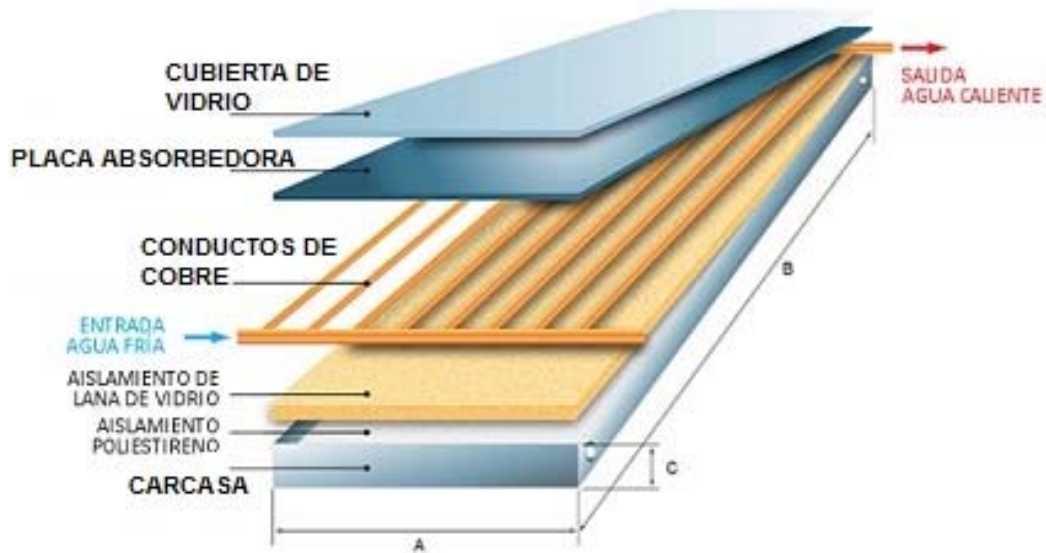


Figura 2.9 Partes del Calentador solar plano con cubierta de vidrio

Fuente: <http://www.datuopinion.com/captador-solar-plano>

Dada la construcción de este tipo de calentadores, al circular el agua por tubos de cobre en su parte interna, las presiones de trabajo pueden llegar hasta los 10 bar (145 psi), lo cual significa que pueden conectarse a sistemas de presión constante con variadores de frecuencia o con tanques hidroneumáticos, teniendo la posibilidad de conectar los mismos entre sí, con el fin de suplir la demanda necesaria de agua caliente.

- Calentadores solares de tubos al vacío:

Actualmente, son los más utilizados para el calentamiento de agua en los hogares. Como se puede ver en la foto, el calentador está formado de varios tubos, cada tubo de cristal en el interior es de cobre, por donde pasa el agua.

("Cemaer.org", 2017)

A diferencia de los planos son un poco más eficientes ya que gracias a la forma de los tubos absorben el calor del sol desde muchas direcciones.

Una de las mayores ventajas es que gracias a su diseño se reduce al máximo la dispersión de calor hacia el exterior. Sin embargo, su mayor desventaja es que los tubos son frágiles y duran menos que los calentadores solares de colector plano.

Dependiendo del tamaño y el diseño, con este tipo de calentadores puedes alcanzar temperaturas entre los 50° y los 190°C.



Figura 2.10 Calentador de tubos al vacío.

Fuente: <http://www.cemaer.org/tipos-de-calentadores-solares/>

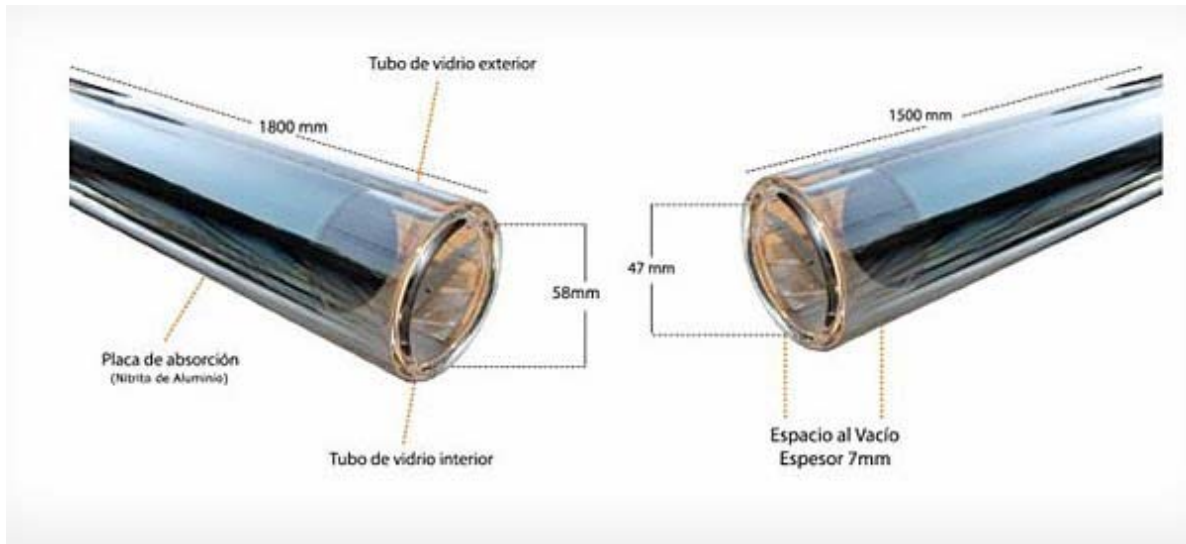


Figura 2.11 Calentador de tubos al vacío.

Fuente: <https://sites.google.com/site/teecsolbuap/home/calentadores-solares>

Este tipo de calentadores al estar contruidos por un conjunto de tubos al vacío como los mostrados en la figura 2.11, cuyo material predominante es el vidrio, soportan presiones máximas de 3 bar (43 psi), por lo cual no son adecuados en sistemas que requieren de una mayor presión para operar.

- Calentadores solares de concentración:

Este tipo de calentadores son totalmente diferentes a los dos anteriores. De hecho se utilizan más en las industrias, los calentadores son cóncavos y el objetivo es proyectar la concentración de la energía solar hacia un punto determinado. Son muy eficientes, pero sólo con luz solar directa. Generalmente, tienen incorporados seguidores solares para una mayor eficiencia.

Son muy utilizados para generadores solares a gran escala u hornos que requieren altísimas temperaturas de hasta 4000°C.



Figura 2.12 Calentador solar de concentración

Fuente: <http://www.cemaer.org/tipos-de-calentadores-solares/>

2.5.3.2. Sistema solar forzado

En el sistema solar forzado sólo hay que instalar el o los colectores sobre el techo y el tanque en un lugar bajo techo (normalmente el cuarto de pilas). Se denomina forzado porque requiere una fuerza (bomba de recirculación) que transporte el agua del tanque al colector para ser calentada y viceversa. El sistema solar forzado siempre se ve más estético que un sistema termosifón; sin embargo, requiere más material y, por lo tanto, el costo es más elevado. ("Issuu", 2017)

- Funcionamiento básico del sistema forzado:

Un regulador termodiferencial, a través de dos sensores (uno ubicado en la parte más caliente del colector y otro en la más fría del tanque), enciende la bomba de recirculación (consume 38W, menos que un bombillo incandescente) apenas para que el sensor del colector mida una temperatura más caliente que la del tanque.

SISTEMA SOLAR-FORZADO

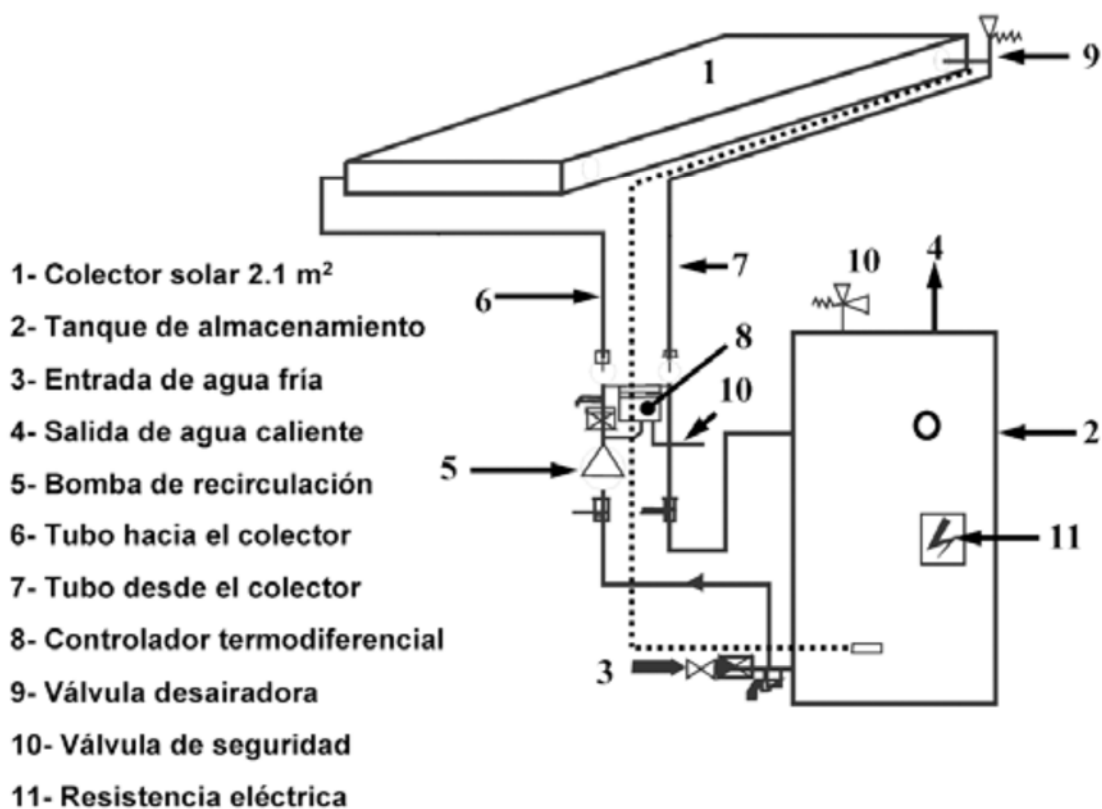


Figura 2.13 Esquema de un sistema forzado.

Fuente: https://issuu.com/accionsustentable/docs/manual_energia_solar_termica

La bomba lleva el agua más fría del tanque hacia el colector, para ser calentada y, una vez caliente, regresa al tanque. Si la temperatura del colector es la misma que la del tanque, el regulador apaga la bomba (normalmente en la tarde). El agua tiene pérdidas caloríficas mínimas en el tanque (bien aislado) y se conserva hasta su consumo, el cual puede ser hasta el día siguiente.

- Dimensionamiento:

El sistema básico para una casa consiste en un colector de 2,1 m² y un tanque de alrededor de 50 gls. (189 lt.). Este es capaz de cubrir las necesidades de agua caliente para cuatro personas en muchos hogares centroamericanos. Su temperatura depende de la radiación solar y del consumo, pero uno de buena calidad debería ser capaz de elevarse a unos 40° C, aunque, durante todo el día, haya una radiación solar difusa. ("Issuu", 2017)

Esta es una fórmula general utilizada para instalaciones residenciales, sin embargo, a gran escala se debe de calcular mediante fórmulas de termodinámica, la demanda energética necesaria, para calentar el volumen de agua requerido, con lo cual se debe de definir la cantidad de colectores, esto utilizando los datos de curva de eficiencia y salida energética del colector seleccionado, con el fin de definir el número requerido.

2.6. Matemáticas Financieras

2.6.1 Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es un método que se utiliza para la valoración de distintas opciones de inversión. Este método consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión y calcular su diferencia. El VAN va a expresar una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos, es decir, en n° de unidades monetarias. ("Valor Actual Neto", 2016)

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Ecuación 2.1 Valor Actual Neto

Donde:

- F_t son los flujos de dinero en cada periodo t
- I_0 es la inversión realiza en el momento inicial ($t = 0$)
- n es el número de periodos determinados
- k es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

El VAN sirve para generar dos tipos de decisiones: en primer lugar, ver si las inversiones son efectuales y en segundo lugar, ver qué inversión es mejor que otra en términos absolutos. Los criterios de decisión van a ser los siguientes:

- $VAN > 0$: el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.
- $VAN = 0$: el proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.
- $VAN < 0$: el proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

El VAN tiene varias ventajas a la hora de evaluar proyectos de inversión, principalmente, que es un método fácil de calcular y, a su vez, proporciona útiles predicciones sobre los efectos de los proyectos de inversión sobre el valor de la empresa. Además, presenta la ventaja de tener en cuenta los diferentes vencimientos de los flujos netos de caja.

Pero a pesar de sus ventajas, también, tiene algunos inconvenientes como la dificultad de especificar una tasa de descuento la hipótesis de reinversión de los flujos netos de caja y que los flujos netos de caja negativos son financiados con unos recursos cuyo coste también es el tipo de descuento. ("Valor Actual Neto", 2016)

2.6.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. Es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión que está muy relacionada con el Valor Actualizado Neto (VAN). De un modo simple se define como el valor de la tasa de descuento que para un proyecto de inversión dado, hace que el VAN sea igual a 0.

La tasa interna de retorno (TIR) da una medida relativa de la rentabilidad, es decir, va a venir expresada en tanto por ciento. Pero el principal problema radica en su cálculo ya que el número de periodos dará el orden de la ecuación por resolver.

Para resolver este problema se puede acudir a diversas aproximaciones que serán más o menos fiables, utilizar una calculadora financiera o emplear un programa informático. ("Tasa Interna de Retorno", 2016)

También, se puede definir basándonos en su cálculo, la TIR es la tasa de descuento que iguala, en el momento inicial, la corriente futura de cobros con la de pagos, generando un VAN igual a cero:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

Ecuación 2.2 Tasa Interna de Retorno

Donde:

- F_t son los **flujos de dinero** en cada periodo t
- I_0 es la inversión realiza en el momento inicial ($t = 0$)
- n es el número de periodos determinados

El criterio de selección será el siguiente donde “ k ” es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

- **Si $TIR > k$, el proyecto de inversión será aceptado.** En este caso, la tasa de rendimiento interno que se obtiene es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.
- **Si $TIR = k$, estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero.** En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.
- **Si $TIR < k$, el proyecto debe rechazarse.** No se alcanza la rentabilidad mínima que se le pide a la inversión.

La TIR es muy útil para evaluar proyectos de inversión ya que indica la rentabilidad de dicho proyecto. Sin embargo, tiene algunos inconvenientes:

- Hipótesis de reinversión de los flujos intermedios de caja: supone que los flujos netos de caja positivos son reinvertidos a “ r ” y que los flujos netos de caja negativos son financiados a “ r ”.

- La inconsistencia de la TIR: no garantiza asignar una rentabilidad a todos los proyectos de inversión y existen soluciones (resultados) matemáticos que no tienen sentido económico:
 - Proyectos con varias r reales y positivas.
 - Proyectos con ninguna r con sentido económico. ("Tasa Interna de Retorno", 2016)

CAPÍTULO 3:
**MARCO
METODOLÓGICO**

3.1. Métodos de investigación

3.1.1 Método deductivo

Parte de una premisa general para obtener las conclusiones de un caso particular. Pone el énfasis en la teoría, modelos teóricos, la explicación y abstracción, antes de recoger datos empíricos, hacer observaciones o emplear experimentos.

El presente trabajo se puede centrar en el método deductivo, esto por la forma de desarrollarse.

3.1.2 Investigación descriptiva

El objetivo de la investigación descriptiva consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. El objetivo principal es saber por qué y para qué se está realizando, siendo una herramienta fundamental de este tipo de investigación, la gráfica.

3.1.3 Etapas de la investigación descriptiva

1. Examinar las características del problema escogido.
2. Definir y formular hipótesis.
3. Enunciar los supuestos en que se basan las hipótesis y los procesos adoptados.
4. Elegir los temas y las fuentes apropiados.
5. Seleccionar o elaborar técnicas para la recolección de datos.

6. Establecer categorías precisas, que se adecuen al propósito del estudio y permitan poner de manifiesto las semejanzas, diferencias y relaciones significativas.
7. Verificar la validez de las técnicas empleadas para la recolección de datos.
8. Realizar observaciones objetivas y exactas.
9. Describir, analizar e interpretar los datos obtenidos, en términos claros y precisos.

Los datos descriptivos se expresan en términos cualitativos y cuantitativos. Se puede utilizar uno de ellos o ambos a la vez.

Cualitativos: se usan en estudios cuyo objetivo es examinar la naturaleza general de los fenómenos. Los estudios cualitativos proporcionan una gran cantidad de información valiosa, pero poseen un limitado grado de precisión, porque emplean términos cuyo significado varía para las diferentes personas, épocas y contextos. Los estudios cualitativos contribuyen por identificar los factores importantes que deben ser medidos.

Cuantitativo: los símbolos numéricos que se utilizan para la exposición de los datos provienen de un cálculo o medición. Se pueden medir las diferentes unidades, elementos o categorías identificables.

Recolección de datos

En el informe de la investigación se señalan los datos obtenidos y la naturaleza exacta de la población de donde fueron extraídos. Una vez identificada ésta, entonces, se decide si se recogerán datos de la población total o de una muestra

representativa de ella. El método elegido dependerá de la naturaleza del problema y de la finalidad para la que se desee utilizar los datos.

Las visitas al sitio junto con la recaudación de la información de manuales, revisión bibliográfica, Internet, traen como resultado una mejor apreciación de los componentes principales que forman esta investigación.

Así la metodología del presente trabajo se puede resumir en el siguiente diagrama de flujo.

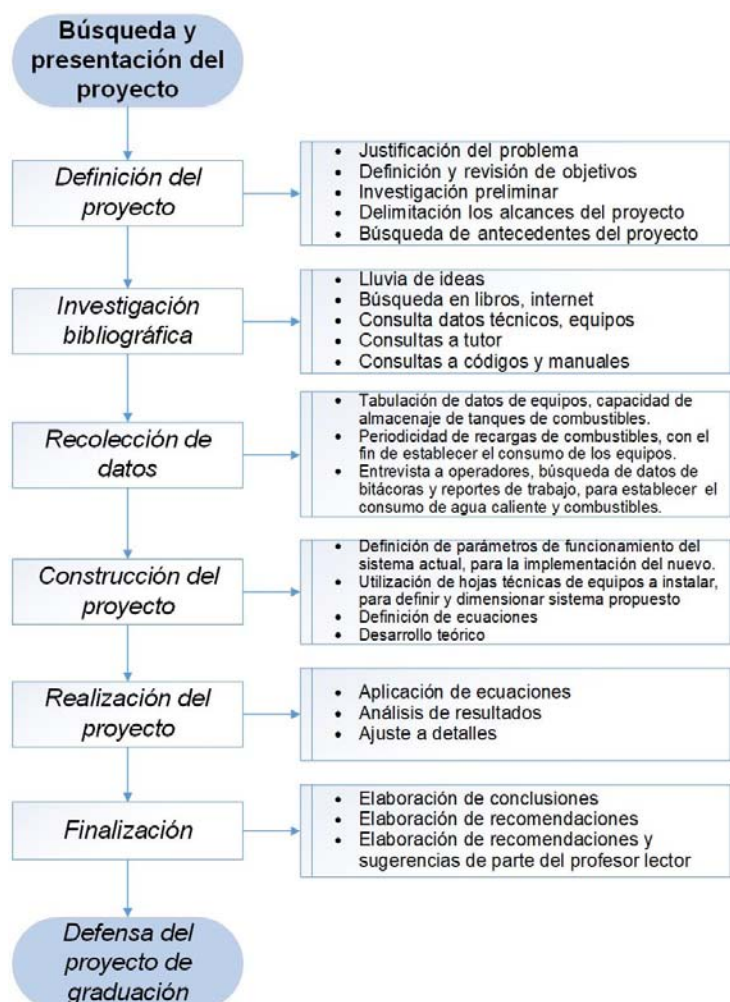


Figura 3.1 Diagrama de flujo marco metodológico

Fuente: Elaboración propia con software MSO Visio

CAPÍTULO 4:
DESARROLLO

4.1. Consumo de combustibles y agua caliente

El consumo de agua caliente, tanto para la torre norte como para la torre sur es difícil de establecer de forma directa, ya que no se cuenta con medidores en los tanques de acumulación, con el fin de tener una lectura de consumo real. Aunado a esto, se tiene la limitación de que los sistemas de suministro de agua caliente no se pueden sacar de servicio, con el fin de colocar algún tipo de medidor, ya que además de no poder obtener los permisos necesarios, la interrupción del suministro de agua caliente es un tema delicado en un centro médico.

En cuanto al consumo de combustibles, tanto gas LP como diésel, se puede tener un dato más exacto, debido a que el consumo es constante y la periodicidad de cargas de estos a los tanques de suministro, también, lo es y ésta se puede determinar por el volumen del tanque y el consumo en un periodo determinado.



Figura 4.1 Visor de nivel en tanque de almacenamiento de diésel.

Fuente: Foto tomada en sitio.

4.1.1 Estimación de consumo de gas y costo

El consumo de gas destinado para calentamiento de agua de la Torre Sur, se realiza mediante la recarga al tanque de almacenamiento de 1890 L (500 Galones), el cual es exclusivo para el equipo de calentamiento. La recarga de este tanque se realiza cada 15 días con un promedio del 75% del volumen del tanque, a un costo de ₡275,99 por litro, según datos tomados de facturas de la empresa suministradora del servicio.

Tabla 4.1: Consumo y costo de gas quincenal y diario.

Combustible	Consumo quincenal (L)	Consumo Diario (L)	Costo quincenal (₡)	Costo Diario (₡)
Gas LP	1418	94,5	391 353,82	26 081,06

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2 Estimación de consumo de diésel y costo

El consumo de diésel destinado para calentamiento de agua de la Torre Norte y edificio de Patrimonio Histórico, se realiza mediante el trasiego del combustible desde un tanque principal de almacenamiento, hasta un tanque diario para uso exclusivo de la caldera que genera el vapor necesario para el calentamiento de agua. El tanque diario de almacenamiento de diésel es de forma cilíndrica con dimensiones de 0,75 m de diámetro y 1,9 m de largo, para un volumen total de 0,84 m³ o 840 L para consumo de la caldera, la cual consume un promedio de 758 L de combustible diarios, dato que se obtiene de la observación del nivel del tanque y el tiempo que tarda en consumir el combustible el equipo. Un 50% del combustible es destinado para la producción de agua

caliente, según datos brindados por los operadores de los equipos. El costo de litro de diésel es de ¢478,75.

Tabla 4.2: Consumo y costo de diésel diario.

Combustible	Consumo diario (L)	Costo diario (¢)
Diésel	379	181 446,25

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3 Estimación de consumo de agua caliente Torre Sur

Para estimar el consumo de agua caliente, no se cuenta con medidores en la salida de los tanques, por lo cual se requirió realizar entrevistas a los operadores de los equipos, con el fin de obtener un dato de consumo, basado en la experiencia de estos. Así se obtiene el dato de que ambos tanques de acumulación de agua caliente rinden para un turno de 8 horas de consumo, por tanto, sumada la capacidad de estas y multiplicada por los 3 turnos diarios, se obtiene el siguiente resultado:

$$V_{\text{Agua caliente}} = 2 \times V_{\text{Tanque}} \times 3 = 2 \times 2841 \text{ L} \times 3 = 17046 \text{ L}_{\text{diarios}}$$

4.1.4 Estimación de consumo de agua caliente Torre Norte

Para estimar el consumo de agua caliente, no se cuenta con medidores en la salida de los tanques, por lo cual se requirió realizar entrevistas a los operadores de los equipos, con el fin de obtener un dato de consumo, basado en la experiencia de estos. Así se obtiene el dato de que la rotación de agua es el tanque de acumulación es de aproximadamente 2,5 veces por turno de 8 horas. Siguiendo la metodología anterior se obtiene lo siguiente:

$$V_{\text{Agua caliente}} = 2,5 \times V_{\text{Tanque}} \times 3 = 2,5 \times 5300 \text{ L} \times 3 = 39750 \text{ L}_{\text{diarios}}$$

4.2. Datos climatológicos del lugar

Para obtener los datos climatológicos del lugar en estudio, donde se instalarían los colectores solares, se acude a la página EOSWEB de la NASA, para las coordenadas de ubicación Latitud 9.937 / Longitud -84.069, de donde se obtiene lo siguiente:

Tabla 4.3: Datos meteorológicos del lugar en estudio.

Mes	Insolación Promedio (kWh/m ² /día)	Horas de sol	Insolación Promedio (W/m ²)	Tamb
Enero	5,92	11,6	510,34	19,9
Febrero	6,65	11,8	563,56	20,7
Marzo	7,02	12,0	585,00	21,3
Abril	6,42	12,3	521,95	21,5
Mayo	5,23	12,5	418,40	20,6
Junio	4,84	12,6	384,13	20,1
Julio	4,87	12,6	386,51	20,0
Agosto	4,87	12,4	392,74	19,9
Septiembre	4,74	12,1	391,74	19,8
Octubre	4,56	11,9	383,19	19,5
Noviembre	4,63	11,6	399,14	19,4
Diciembre	5,30	11,5	460,87	19,4
Promedio	5,42	12,1	449,80	20,18

Fuente: <https://eosweb.larc.nasa.gov/>

4.3. Dimensionamiento del sistema de colectores para ACS

Con el fin de realizar el dimensionamiento del sistema se deben calcular los parámetros energéticos de la demanda del mismo, así como las horas de sol que se tienen disponibles para que la instalación genere agua caliente.

4.3.1 Demanda energética de ACS

La demanda energética de ACS se calcula considerando la temperatura de preparación o suministro 50°C, por otra parte, la instalación sólo es capaz de funcionar durante las horas en las que hay aporte solar, de modo que hay que considerar las horas de sol propias de cada mes.

Con todo ello, el consumo medio mensual se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\dot{m} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] = \frac{\dot{V}_{ACS} \left[\frac{\text{l}}{\text{día}} \right] \cdot \Delta_{ACS} \cdot \rho_{\text{agua}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{l}} \right]}{\text{HorasSol} \left[\frac{\text{h}}{\text{día}} \right] \cdot 3600 \left[\frac{\text{s}}{\text{h}} \right]}$$

Ecuación 4.1 Consumo medio mensual

Donde:

- \dot{m} Es el flujo másico [Kg/s]
- \dot{V}_{ACS} Es el volumen de ACS diario en [L/día]
- Δ_{ACS} Es el factor de variación de la demanda [1]
- ρ_{agua} Es la densidad del agua [1000 Kg/L]

La demanda energética mensual de ACS, teniendo en cuenta las horas de sol al día y la variación de la demanda a lo largo de año se calcula mediante la

siguiente expresión:

$$Q_{ACS} [W] = \dot{m} \left[\frac{kg}{s} \right] \cdot C_p \left[\frac{J}{kgK} \right] \cdot (T_{SUM} - T_{RED}) [K]$$

Ecuación 4.2 Demanda energética mensual de ACS

Donde:

- Q_{ACS} Es la demanda energética [W]
- C_p Es el calor específico del agua [4,1813 KJ/Kg K]
- T_{SUM} Temperatura de suministro del ACS [K]
- T_{RED} Temperatura del agua proveniente de la red [K]

La demanda energética mensual de ACS da como resultado los datos obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 4.4: Demanda energética ACS Torre Sur.

Mes	Demanda (L/día)	Variación demanda	Horas de sol diarias	Tsum (°C)	Tred (°C)	Consumo (Kg/s)	Qacs (kW)
Enero	17046	1	11,6	51	18	0,408	56,323
Febrero	17046	1	11,8	51	18	0,401	55,369
Marzo	17046	1	12,0	51	18	0,395	54,446
Abril	17046	1	12,3	51	18	0,385	53,118
Mayo	17046	1	12,5	51	18	0,379	52,268
Junio	17046	1	12,6	51	18	0,376	51,853
Julio	17046	1	12,6	51	18	0,376	51,853
Agosto	17046	1	12,4	51	18	0,382	52,689
Septiembre	17046	1	12,1	51	18	0,391	53,996
Octubre	17046	1	11,9	51	18	0,398	54,903
Noviembre	17046	1	11,6	51	18	0,408	56,323
Diciembre	17046	1	11,5	51	18	0,412	56,813
Promedio			12,1			0,4	54,2

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.5: Demanda energética ACS Torre Norte.

Mes	Demanda (L/día)	Variación demanda	Horas de sol diarias	Tsum (°C)	Tred (°C)	Consumo (Kg/s)	Qacs (kW)
Enero	39750	1	11,6	48	18	0,952	119,401
Febrero	39750	1	11,8	48	18	0,936	117,378
Marzo	39750	1	12,0	48	18	0,920	115,421
Abril	39750	1	12,3	48	18	0,898	112,606
Mayo	39750	1	12,5	48	18	0,883	110,804
Junio	39750	1	12,6	48	18	0,876	109,925
Julio	39750	1	12,6	48	18	0,876	109,925
Agosto	39750	1	12,4	48	18	0,890	111,698
Septiembre	39750	1	12,1	48	18	0,913	114,467
Octubre	39750	1	11,9	48	18	0,928	116,391
Noviembre	39750	1	11,6	48	18	0,952	119,401
Diciembre	39750	1	11,5	48	18	0,960	120,440
Promedio			12,1			0,9	114,8

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.2 Selección de tipo de colector por utilizar

El Centro Médico en estudio cuenta con un sistema de bombeo de agua potable a presión constante, este opera de forma continua a una presión de 90 psi, necesaria para suplir el punto más alto de la red de suministro de agua potable, por ende, el sistema de agua caliente, también, opera a esta presión, por lo cual se requiere de un colector solar que pueda soportar una presión similar, con el fin de evitar la colocación de válvulas reductoras de presión y un sistema de rebombeo, una vez que se tenga el agua caliente lista para su distribución y todo esto relacionado también con el costo final del sistema de calentamiento de agua.

Es así como luego de la investigación sobre tipos de colectores, se define como el más adecuado el de placa plana, por su robustez, resistencia a condiciones adversas al encontrarse a la intemperie y sobre todo, que puede soportar presiones de más de 10 kg/cm² (143 psi aprox.), suficiente para operar sin problemas en la

red de distribución de agua del Centro Médico.

En la figura siguiente, se muestra una comparativa de características de colectores solares planos y de tubos al vacío, la cual deja más claro la toma de la decisión de utilizar colectores planos.



Figura 4.2 Comparativa de características de colectores solares.

Fuente: <http://coolcozumel.com/calentadores-termo-solares/>

4.3.3 Cantidad de colectores necesarios para suplir la demanda de ACS

Como se observó en la sección 4.3.1, con dos simples ecuaciones de termodinámica, se logró obtener la demanda energética requerida en kilowatts (kW)

para calentar el agua desde una temperatura inicial, temperatura a la cual ingresa el agua desde la red de suministro, hasta la temperatura de suministro hacia el centro médico.

Luego de esto, utilizando las hojas técnicas de los colectores a instalar, donde se encuentran los datos de pruebas de laboratorio realizadas a estos, se encuentra la curva de eficiencia, ecuaciones de eficiencia y temperaturas del colector, con todo esto se puede calcular la salida de potencia en kilowatts, del colector solar instalado en el sitio en estudio y con esto definir la cantidad de colectores necesarios para suplir la demanda total energética calculada en la sección 4.3.1.

El colector solar seleccionado es de la marca Alemana SAMMLER Solar, modelo Alter 2504, el cual tiene un área de absorción efectiva de 2,26 m², cuya hoja de datos técnicos y pruebas de eficiencia en laboratorio se muestran en el apéndice 2 y de donde se extraen las ecuaciones y datos necesarios para los cálculos de ahora en adelante.

Es así como se calcula la temperatura media del colector, para luego interpolar los datos de salida de potencia del colector, con el dato de irradiación del lugar de instalación. La temperatura media se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T_m = \frac{(T_{in} + T_{ex})}{2}$$

Ecuación 4.3 Temperatura media del colector

Donde:

T_m es la temperatura media del colector.

T_{in} es la temperatura de entrada al colector.

T_{ex} es la temperatura de salida del colector.

Calculando para sistema de la Torre Sur, utilizando los datos de la tabla 4.4, donde $T_{sum} = T_{ex}$ y $T_{red} = T_{in}$, tenemos:

$$T_m = \frac{(51 + 18)}{2} = 34,5^\circ C$$

A partir de este resultado se calcula $T_m - T_a$ (T_a = Temperatura ambiente), resultado con el cual se ingresa a la gráfica de eficiencia del colector, con el fin de obtener la potencia del mismo con la irradiación del sitio de Instalación.

La temperatura promedio del sitio, según los datos meteorológicos mostrados en la tabla 4.3 es de $20,18^\circ C$, con esto se obtiene:

$$T_m - T_a = 34,5 - 20,18 = 14,33 K$$

Calculando para sistema de la Torre Norte, utilizando los datos de la tabla 4.5, donde $T_{sum} = T_{ex}$ y $T_{red} = T_{in}$, se tiene:

$$T_m = \frac{(48 + 18)}{2} = 33^\circ C$$

A partir de este resultado se calcula $T_m - T_a$ (T_a = Temperatura ambiente), resultado con el cual se ingresa a la gráfica de eficiencia del colector, con el fin de obtener la potencia del mismo con la irradiación del sitio de Instalación.

La temperatura promedio del sitio, según los datos meteorológicos mostrados en la tabla 4.3 es de $20,18^\circ C$, con esto se obtiene:

$$T_m - T_a = 33 - 20,18 = 12,82 K$$

- Cantidad de colectores necesarios para suplir la demanda energética de

ACS en la Torre Sur:

Datos necesarios:

- $T_m - T_a = 14,33 \text{ K}$
- Insolación Promedio = 450 W/m^2

Se toma la tabla derivada del gráfico de eficiencia de la salida del colector seleccionado y se interpola el dato de potencia de salida, utilizando T_m e insolación promedio:

Tabla 4.6: Potencia de salida por colector.

T _m -T _a	Global irradiance G		
	G=400 W/m ²	G=700 W/m ²	G=1000 W/m ²
10 K	651 W	1205 W	1759 W
30 K	462 W	1015 W	1569 W
50 K	252 W	805 W	1359 W

Fuente: Hoja técnica colector SAMMLER Alter 2504.

Se crea una tabla basada en la tabla anterior y se interpolan los datos requeridos:

Tabla 4.7: Resultados de interpolación para $T_m - T_a$ y 450 W/m^2 , Torre Sur.

T _m -T _a (K)	400 W/ m ²	450 W/ m ²	700 W/ m ²
10	651		1205
14,33	610	702	1164
30	462		1015
50	252		805

Fuente: Elaboración Propia.

La potencia de salida del colector seleccionado en el sitio de instalación es de 702 W/m^2 , con esto se calcula la cantidad de colectores necesarios, dividiendo la demanda energética total (Q_{ACS}) entre la potencia de cada colector, obteniendo

el número necesario de estos. Este cálculo se resume en la siguiente tabla:

Tabla 4.8: Número de colectores necesario para cubrir la demanda en la Torre Sur.

Mes	Qacs (kW)	# colectores
Enero	56,323	80,18
Febrero	55,369	78,82
Marzo	54,446	77,51
Abril	53,118	75,62
Mayo	52,268	74,41
Junio	51,853	73,82
Julio	51,853	73,82
Agosto	52,689	75,01
Septiembre	53,996	76,87
Octubre	54,903	78,16
Noviembre	56,323	80,18
Diciembre	56,813	80,88
Promedio	54,163	77,11

Fuente: Elaboración Propia.

Por ende, se requieren 78 colectores para cubrir la demanda energética de ACS de la Torre Sur.

- Cantidad de colectores necesarios para suplir la demanda energética de ACS en la Torre Norte:

Datos necesarios:

- $T_m - T_a = 12,82 \text{ K}$
- Insolación Promedio = 450 W/m^2

Se realiza el mismo procedimiento que se realizó para el cálculo de la Torre Sur, obteniendo lo siguiente:

Tabla 4.9: Resultados de interpolación para T_m-T_a y 450 W/ m^2 , Torre Norte.

T_m-T_a (K)	400 W/ m ²	450 W/ m ²	700 W/ m ²
10	651		1205
12,82	624	717	1178
30	462		1015
50	252		805

Fuente: Elaboración Propia.

La potencia de salida del colector seleccionado en el sitio de instalación es de 717 W/m^2 , con esto se calcula la cantidad de colectores necesarios, dividiendo la demanda energética total (Q_{ACS}) entre la potencia de cada colector, obteniendo el número necesario de estos. Este cálculo se resume en la siguiente tabla:

Tabla 4.10: Número de colectores necesario para cubrir la demanda en la Torre Norte.

Mes	Qacs (kW)	# colectores
Enero	119,401	166,62
Febrero	117,378	163,79
Marzo	115,421	161,06
Abril	112,606	157,14
Mayo	110,804	154,62
Junio	109,925	153,40
Julio	109,925	153,40
Agosto	111,698	155,87
Septiembre	114,467	159,73
Octubre	116,391	162,42
Noviembre	119,401	166,62
Diciembre	120,440	168,07
Promedio	114,822	160,23

Fuente: Elaboración Propia.

Por ende, se requieren 161 colectores para cubrir la demanda energética de ACS de la Torre Norte.

Realizando un el mismo cálculo para el colector solar s de la marca Alemana SAMMLER Solar, modelo Alter 2004, el cual tiene un área de absorción efectiva

menor al anterior de 1,88 m², se obtiene los siguientes resultados:

- Cantidad de colectores necesarios para suplir la demanda energética de ACS en la Torre Sur:

Datos necesarios:

- $T_m - T_a = 14,33 \text{ K}$
- Insolación Promedio = 450 W/m²

Tabla 4.11: Resultados de interpolación para $T_m - T_a$ y 450 W/ m², Torre Sur.

$T_m - T_a$ (K)	400 W/ m ²	450 W/ m ²	700 W/ m ²
10	530		982
14,33	496	571	948
30	372		824
50	199		652

Fuente: Elaboración Propia.

La potencia de salida del colector seleccionado en el sitio de instalación es de 571 W/m².

Tabla 4.12: Número de colectores necesario para cubrir la demanda en la Torre Sur.

Mes	Qacs (kW)	# colectores
Enero	56,323	98,61
Febrero	55,369	96,94
Marzo	54,446	95,32
Abril	53,118	93,00
Mayo	52,268	91,51
Junio	51,853	90,78
Julio	51,853	90,78
Agosto	52,689	92,25
Septiembre	53,996	94,54
Octubre	54,903	96,12
Noviembre	56,323	98,61
Diciembre	56,813	99,47
Promedio	54,163	94,83

Fuente: Elaboración Propia.

Por ende, se requieren 95 colectores para cubrir la demanda energética de ACS de la Torre Sur.

- Cantidad de colectores necesarios para suplir la demanda energética de ACS en la Torre Norte:

Datos necesarios:

- $T_m - T_a = 12,82 \text{ K}$
- Insolación Promedio = 450 W/m^2

Tabla 4.13: Resultados de interpolación para $T_m - T_a$ y 450 W/ m^2 , Torre Norte.

$T_m - T_a$ (K)	400 W/ m^2	450 W/ m^2	700 W/ m^2
10	530		982
12,82	508	583	960
30	372		824
50	199		652

Fuente: Elaboración Propia.

La potencia de salida del colector seleccionado en el sitio de instalación es de 583 W/m^2 .

Tabla 4.14: Número de colectores necesario para cubrir la demanda en la Torre Norte.

Mes	Qacs (kW)	# colectores
Enero	119,401	204,80
Febrero	117,378	201,33
Marzo	115,421	197,97
Abril	112,606	193,14
Mayo	110,804	190,05
Junio	109,925	188,55
Julio	109,925	188,55
Agosto	111,698	191,59
Septiembre	114,467	196,34
Octubre	116,391	199,64
Noviembre	119,401	204,80
Diciembre	120,440	206,58
Promedio	114,822	196,94

Fuente: Elaboración Propia.

Por ende, se requieren 197 colectores para cubrir la demanda energética de ACS de la Torre Norte.

4.3.4 Cálculo bomba de recirculación

Según la hoja de datos de los colectores, para ambos modelos se recomienda tener un flujo de 150 L/h, con el fin de mantener el desempeño de los mismos, así la bomba de recirculación debe de tener la capacidad de brindar el flujo necesario para todo el conjunto de colectores de la instalación.

Es así como multiplicando la cantidad de colectores por este flujo, se obtiene el caudal que debe suministrar la bomba de recirculación para cada caso, esto se resume en la siguiente tabla:

Tabla 4.15: Caudal de bomba de recirculación.

Modelo	Caudal recomendado (L/h)	# Colectores Torre Norte	# Colectores Torre Sur	Caudal requerido Torre Norte (L/h) [L/min]	Caudal requerido Torre Sur (L/h) [L/min]
Alter 2004	150	197	95	29550 [492,5]	14250 [237,5]
Alter 2504	150	161	78	24150 [402,5]	11700 [195]

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.5 Tanques de acumulación de ACS

Al contar el hospital con tanques de acumulación que suplen de manera adecuada la demanda de agua caliente, lo que se pretende es conectar el sistema de colectores solares a ellos, el cual mediante un bypass, accionado por electroválvulas comandadas por un controlador programado para este fin, lograr mantener la temperatura de los tanques en el nivel óptimo, aun cuando no haya energía solar, utilizando el sistema actual como respaldo para este fin.

Las características básicas de los tanques de almacenamiento se resumen a continuación:

Tabla 4.16: Características tanques de acumulación existentes.

Ubicación	Volumen (L)	Presión máxima de trabajo (KPa) [Psi]	Cantidad de tanques	Presión de trabajo (KPa) [Psi]
Torre Norte	5300	827,370 [120]	2	620,527 [90]
Torre Sur	2841	1103,160 [160]	2	620,527 [90]

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.6 Área requerida para instalación de colectores

Derivado de los resultados obtenidos en la sección 4.3.3, donde se calculó la cantidad de colectores necesarios para suplir la demanda de ACS de las dos torres en estudio, utilizando dos tipos diferentes de colectores, se calcula el área necesaria

para la instalación de estos, utilizando el área dada para cada modelo de colector en la hoja de datos y multiplicándolo por la cantidad de colectores necesarios, agregando un área de 0,3 m² para instalación y mantenimiento en cada colector. Los resultados de este cálculo se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 4.17: Área necesaria para la instalación de colectores.

Modelo	Área de colector (m ²)	Área Instalación y mantenimiento (m ²)	# Colectores Torre Norte	# Colectores Torre Sur	Área total Torre Norte (m ²)	Área total Torre Sur (m ²)
Alter 2004	2,143	0,3	197	95	520	251
Alter 2504	2,549	0,3	161	78	491	238

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.7 Área disponible para la instalación de colectores

En la figura 1.1, se observa la distribución de edificios del centro médico, luego de una revisión de estos, se determina que el único espacio disponible para la instalación de un sistema de colectores solares es el techo de los cuartos de máquinas de la Torre Norte.

El área disponible es de 334 m² aproximadamente, correspondiente a la cubierta más grande con una caída de 12%, resaltada en color gris sólido, ya que los otros dos techos pequeños no están disponibles para este fin, esto se muestra en la siguiente figura:

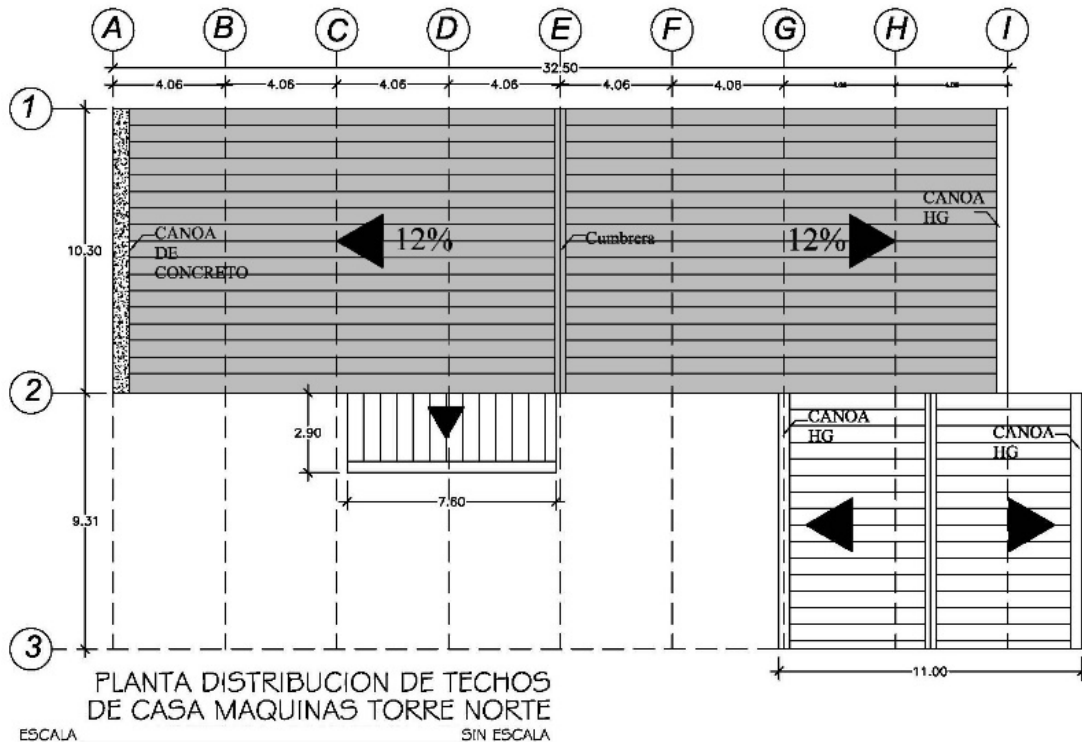


Figura 4.3 Planta de techos Casa de Máquinas Torre Norte.

Fuente: Elaboración propia con software AutoCAD 2018

4.4. Propuesta de implementación del sistema de colectores en la Torre Sur

4.4.1. Modelo de colector por utilizar

De los dos modelos presentados en secciones anteriores, ALTER 2004 y ALTER 2504, se selecciona el modelo 2504, ya que este requiere un área menor de instalación, según se observa en la tabla 4.17, con lo cual se necesita una cantidad menor de colectores y, por ende, un menor precio, lo que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.18: Colectores requeridos y costo para Torre Sur.

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio unitario	Precio total
Colector placa plana Alter 2004	106	unid	Ⓢ337.837,50	Ⓢ35.810.775,00
Colector placa plana Alter 2504	86	unid	Ⓢ401.362,50	Ⓢ34.517.175,00

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.2. Área requerida para instalación de colectores

Al tener como única área disponible la mencionada en la sección 4.3.7, correspondiente a 334 m² y requerir un área de 238 m², se puede instalar el total de colectores, con el único inconveniente de la distancia del sistema de acumulación al de colectores, la cual es de 150 m. Por ende, se requeriría realizar la instalación de tubería a través de la soportería existente, para llevar el agua caliente de los colectores hasta el sistema de acumulación.

4.4.3. Implementación de conexión de tubería y bomba de recirculación

Así como se describió en la sección anterior, la tubería se debe de instalar desde la Torre Sur hasta la Norte, con un recorrido de 150 m, donde existe la soportería o espacio suficiente para este fin, ya que en la ruta mostrada en la figura 4.3 existen tuberías de incendio, agua potable y gases médicos que interconectan ambas torres. La ruta se muestra en línea discontinua.



Figura 4.4 Ruta de tubería de agua caliente desde colectores solares.

Fuente: Elaboración propia con software AutoCAD 2018

Esta ruta implica una pérdida de calor en la tubería, en la cual utilizando tubo de cobre de 63 mm (2,5") de diámetro y un aislamiento de fibra de vidrio de 25 mm (1") de espesor, corresponde a 3,3 °C en los 150 m de esta, por ende, se debe de asumir esta pérdida de temperatura en el cálculo de la cantidad de colectores, con el fin de mantener el sistema de agua caliente con los parámetros de funcionamiento originales. El dato de pérdida de calor se calcula mediante software en línea CHECALC, el cual se muestra en el apéndice.

Es así como la temperatura a la que se debe de calentar el agua pasa de 51 °C a 54 °C, con esto se recalcula la cantidad de paneles requeridos, utilizando la misma metodología antes mostrada sería de 86 colectores, con una bomba de

recirculación de 215 L/min @ 620,527 KPa (90 Psi), además el área requerida de instalación aumenta a 262 m², la cual sigue estando dentro del margen de área disponible.

Los tanques de acumulación y el sistema de alimentación de agua fría se alimentará con un cabezal con derivaciones controladas por electroválvulas, las cuales abrirán o cerrarán comandadas por el controlador del sistema, abriendo y cerrando, según sea la necesidad de operación, ya sea el sistema de colectores solares, o el sistema de calentamiento de gas, el cual quedará como respaldo de los colectores, con el fin de garantizar la confiabilidad del sistema.

Es así como las conexiones de los cabezales se realizarán a la tubería existente de la forma que se muestra en las siguientes figuras:

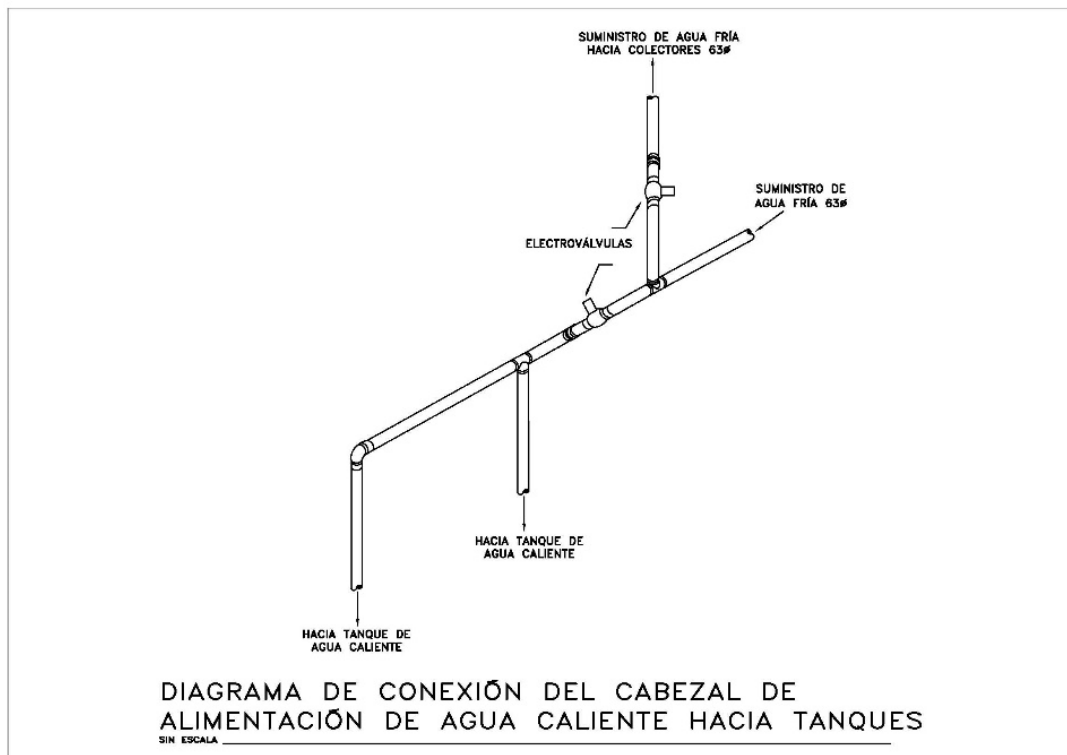


Figura 4.5 Cabezal de alimentación de agua caliente desde colectores hacia tanques de acumulación.

Fuente: Elaboración propia con software AutoCAD 2018

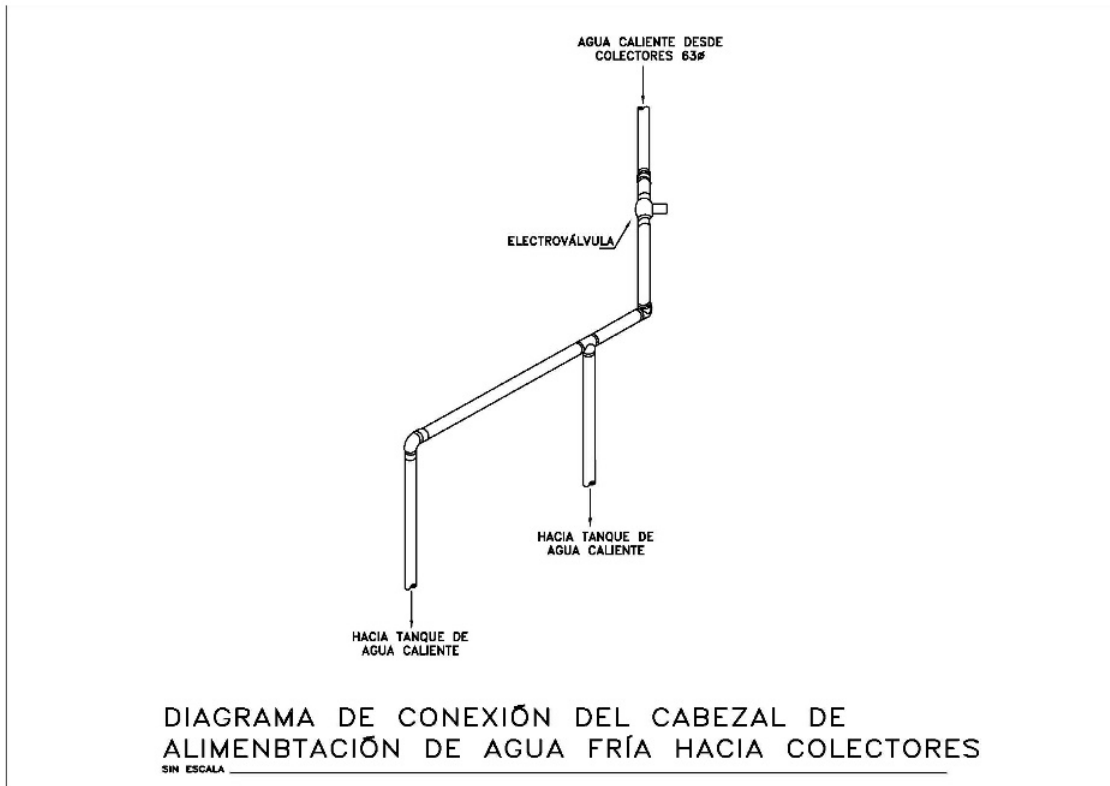


Figura 4.6 Cabezal de alimentación de agua fría desde red de suministro hacia colectores.

Fuente: Elaboración propia con software AutoCAD 2018

4.4.4. Arreglo de colectores por utilizar

Siguiendo los datos técnicos de las hojas del fabricante y hojas de ensayos y acreditaciones, se define el arreglo como se muestra en la siguiente figura:

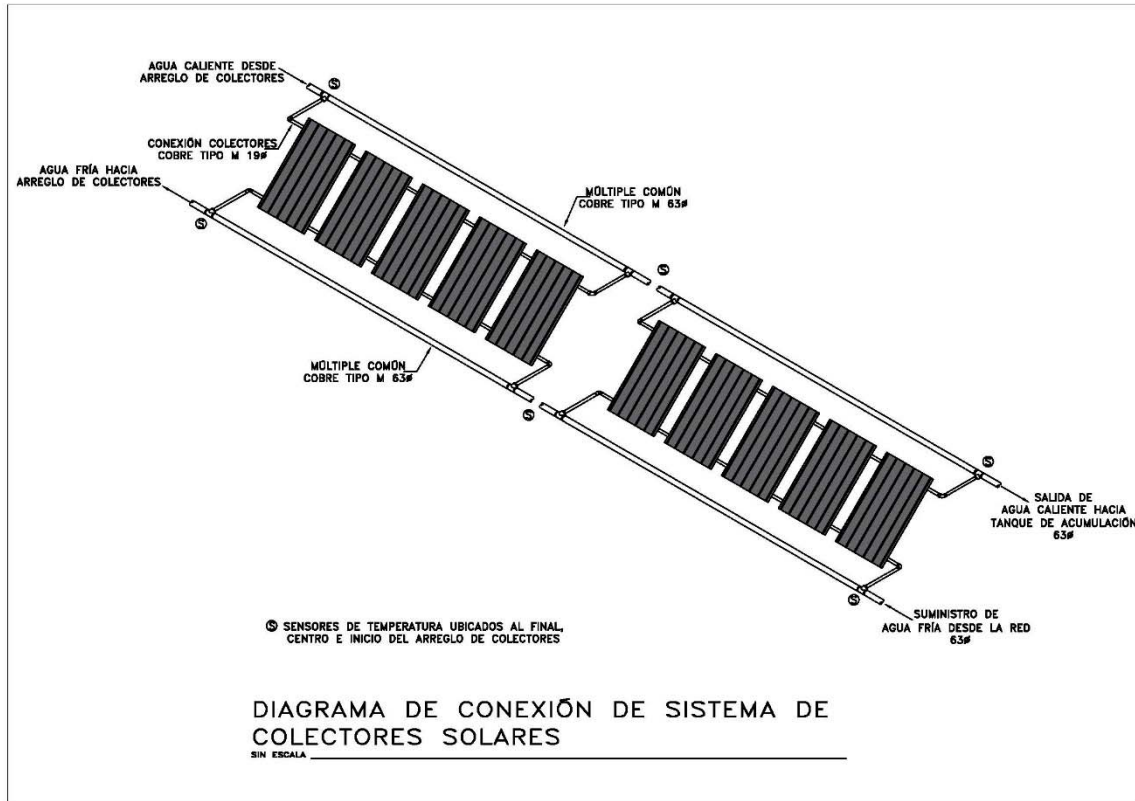


Figura 4.7 Arreglo a utilizar de colectores solares.

Fuente: Elaboración propia con software AutoCAD 2018

La inclinación de los colectores debe de corresponder a la latitud del lugar de instalación $\pm 10^\circ$, orientados hacia el sur. El centro médico se encuentra a una latitud de $9,94^\circ$, por ende, los colectores deben estar instalados con una inclinación de 20° aproximadamente.

4.4.5. Costo del sistema de colectores

El costo del sistema de colectores para suplir el 100% de la demanda de agua caliente de la Torre Sur, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4.19: Costo del sistema de colectores Torre Sur.

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio unitario	Precio total
Colector placa plana Alter 2504	86	unid	¢401.362,50	¢34.517.175,00
Kit de montaje	86	unid	¢86.625,00	¢7.449.750,00
Controlador ACS (SmartMaxx-Pro-XL6D)	1	unid	¢866.250,00	¢866.250,00
Sensor temperatura PT-1000	6	unid	¢28.875,00	¢173.250,00
Bomba de recirculación (DUPLEX)	1	unid	¢4.620.000,00	¢4.620.000,00
Tubería de cobre	1	unid	¢11.550.000,00	¢11.550.000,00
Aislamiento	1	unid	¢1.732.500,00	¢1.732.500,00
Válvulas solenoides 2 1/2" ASCO 8210	4	unid	¢693.000,00	¢2.772.000,00
Materiales Varios	1	unid	¢1.155.000,00	¢1.155.000,00
Total materiales=				¢64.835.925,00
Mano de obra=			50%	¢32.417.962,50
Imprevistos=			5%	¢3.241.796,25
Total de la obra=				¢100.495.683,75

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.6. Retorno de la inversión

Para el cálculo del retorno de la inversión, se debe calcular el gasto de combustible GLP sin tener el sistema de colectores solares y con el sistema instalado este gasto es cero, ya que se está implementando un sistema que supla el 100% del consumo de agua caliente del centro médico.

Es así como el gasto mensual de GLP, como el acumulado anual se muestra en la siguiente tabla, basado en los datos mostrados de consumo de GLP en el capítulo de diagnóstico Tabla 1.2 y costo diario en el desarrollo tabla 4.1.:

Tabla 4.20: Costo mensual y anual de GLP en la Torre Sur.

Mes	Número de días	Costo mensual
Enero	31	₪808.512,86
Febrero	28	₪730.269,68
Marzo	31	₪808.512,86
Abril	30	₪782.431,80
Mayo	31	₪808.512,86
Junio	30	₪782.431,80
Julio	31	₪808.512,86
Agosto	31	₪808.512,86
Septiembre	30	₪782.431,80
Octubre	31	₪808.512,86
Noviembre	30	₪782.431,80
Diciembre	31	₪808.512,86
Total Anual=		₪9.519.586,90

Fuente: Elaboración Propia.

El costo mensual resulta de multiplicar el costo diario de ₪26.081,06 por el número de días del mes.

Con base en la tabla anterior, se realiza con el ahorro mensual, el acumulado anual, para lo cual se utiliza un 10% de aumento en el GLP anual, con el fin de proyectar estos valores a futuro, lo cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.21: Ahorro anual con y sin sistema de colectores Torre Sur.

Año	Factura sin sistema Colectores (₡)	Factura con sistema Colectores (₡)	Ahorro anual (₡)
1	₡9.519.586,90	₡0,00	₡9.519.586,90
2	₡10.471.545,59	₡0,00	₡10.471.545,59
3	₡11.518.700,15	₡0,00	₡11.518.700,15
4	₡12.670.570,16	₡0,00	₡12.670.570,16
5	₡13.937.627,18	₡0,00	₡13.937.627,18
6	₡15.331.389,90	₡0,00	₡15.331.389,90
7	₡16.864.528,89	₡0,00	₡16.864.528,89
8	₡18.550.981,78	₡0,00	₡18.550.981,78
9	₡20.406.079,95	₡0,00	₡20.406.079,95
10	₡22.446.687,95	₡0,00	₡22.446.687,95
11	₡24.691.356,75	₡0,00	₡24.691.356,75
12	₡27.160.492,42	₡0,00	₡27.160.492,42
13	₡29.876.541,66	₡0,00	₡29.876.541,66
14	₡32.864.195,83	₡0,00	₡32.864.195,83
15	₡36.150.615,41	₡0,00	₡36.150.615,41

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, se realiza el análisis de retorno de inversión donde se utiliza como referencia para el factor de descuento el interés de los préstamos con garantía de certificado de inversión a plazo de Scotiabank, el cual es una referencia del costo de capital para este tipo de proyecto de inversión, como lo es un sistema de colectores solares. El interés consultado es del 7,00%.

Se agrega un costo por mantenimiento de ₡2.600 colones por colector y, según planes de mantenimiento de empresas dedicadas a la instalación de estos sistemas, se realizan dos visitas de mantenimiento al año, esto da un total de ₡447.200 al año.

Tabla 4.22: Retorno de inversión Torre Sur.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7
Inversión	-€100.495.683,75							
Ahorro		€9.519.586,90	€10.471.545,59	€11.518.700,15	€12.670.570,16	€13.937.627,18	€15.331.389,90	€16.864.528,89
Gastos		€447.200,00	€491.920,00	€541.112,00	€595.223,20	€654.745,52	€720.220,07	€792.242,08
Flujos	-€100.495.683,75	€9.072.386,90	€9.979.625,59	€10.977.588,15	€12.075.346,96	€13.282.881,66	€14.611.169,83	€16.072.286,81
Tasa de descuento	7,00%							
Aumento anual GLP	10,00%							
Factor de Descuento (%)	100,00%	93,46%	87,34%	81,63%	76,29%	71,30%	66,63%	62,27%
Valor Presente	-€100.495.684	€8.478.866	€8.716.591	€8.960.982	€9.212.224	€9.470.511	€9.736.039	€10.009.012
Ahorro Acumulado	-€100.495.684	-€92.016.817	-€83.300.226	-€74.339.244	-€65.127.020	-€55.656.509	-€45.920.469	-€35.911.457

Año	8	9	10	11	12	13	14	15
Inversión								
Ahorro	€18.550.981,78	€20.406.079,95	€22.446.687,95	€24.691.356,75	€27.160.492,42	€29.876.541,66	€32.864.195,83	€36.150.615,41
Gastos	€871.466,29	€958.612,92	€1.054.474,21	€1.159.921,63	€1.275.913,79	€1.403.505,17	€1.543.855,69	€1.698.241,26
Flujos	€17.679.515,49	€19.447.467,04	€21.392.213,74	€23.531.435,12	€25.884.578,63	€28.473.036,49	€31.320.340,14	€34.452.374,15
Tasa de descuento	7,00%							
Aumento anual GLP	10,00%							
Factor de Descuento (%)	58,20%	54,39%	50,83%	47,51%	44,40%	41,50%	38,78%	36,24%
Valor Presente	€10.289.639	€10.578.134	€10.874.717	€11.179.615	€11.493.062	€11.815.298	€12.146.568	€12.487.126
Ahorro Acumulado	-€25.621.818	-€15.043.684	-€4.168.968	€7.010.648	€18.503.710	€30.319.008	€42.465.576	€54.952.702

Fuente: Elaboración Propia.

Basado en este cálculo se puede observar que la inversión se recupera entre el año 10 y 11, más concretamente:

$$\text{Fracción Retorno Año 11 (Meses)} = \frac{€4.168.968 \times 12}{€11.179.615} \sim 5 \text{ meses}$$

Así la inversión del sistema se recupera en un periodo de 10 años y 5 meses.

De una forma más clara se puede observar en el siguiente gráfico:

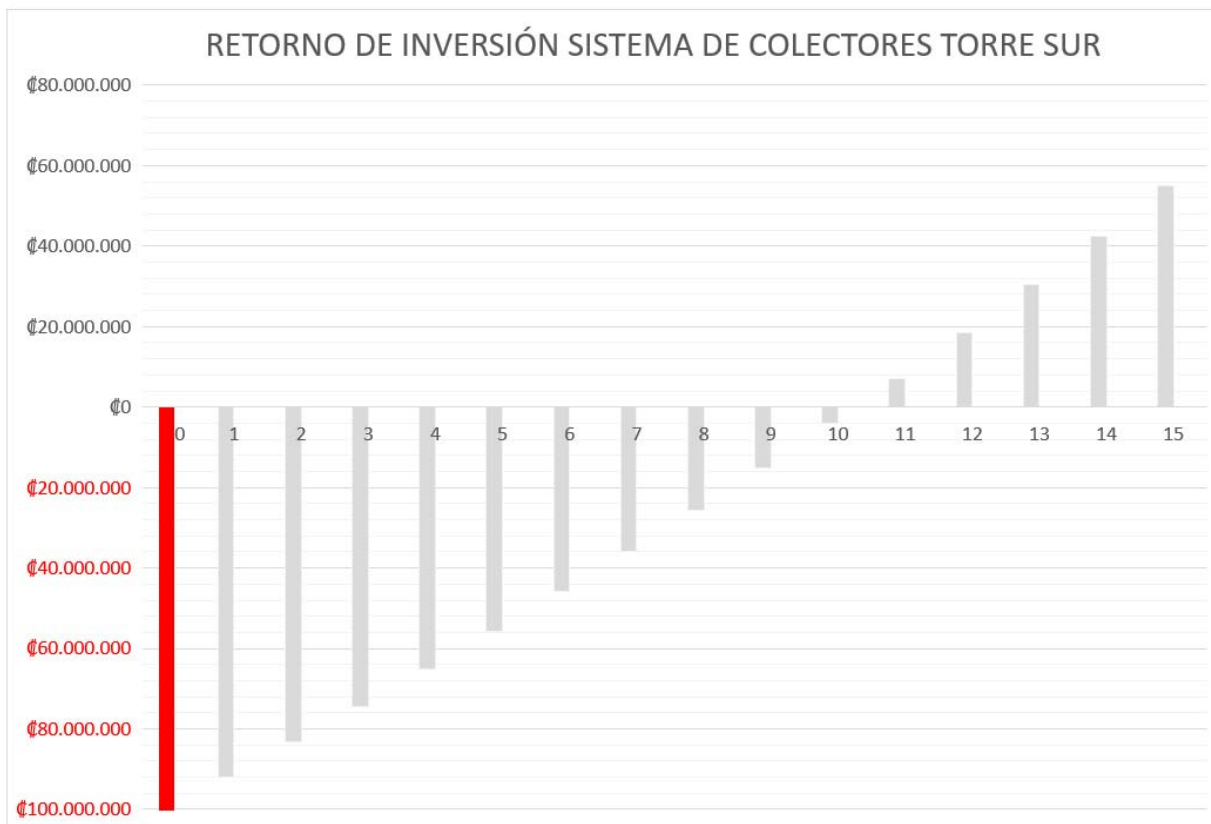


Figura 4.8 Retorno de inversión sistema de colectores Torre Sur.

Fuente: Elaboración propia con software MSO Excel

Finalmente, se calcula el VAN y el TIR para el proyecto, utilizando las ecuaciones 2.1 y 2.2, para el proyecto obteniendo los siguientes resultados:

VAN=	¢54.952.702	TIR=	13%
-------------	-------------	-------------	-----

4.5. Propuesta de implementación del sistema de colectores para la Torre Norte

4.5.1. Modelo de colector por utilizar

De los dos modelos presentados en secciones anteriores, ALTER 2004 y ALTER 2504, se selecciona el modelo 2504, ya que éste requiere un área menor de instalación, según se observa en la tabla 4.17, con lo cual se necesita una cantidad

menor de colectores y, por ende, un menor precio, lo que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.23: Colectores requeridos y costo para Torre Norte.

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio unitario	Precio total
Colector placa plana Alter 2004	140	unid	¢453.337,50	¢63.467.250,00
Colector placa plana Alter 2504	117	unid	¢516.862,50	¢60.472.912,50

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.2. Área requerida para instalación de colectores

Al tener como única área disponible la mencionada en la sección 4.3.7, correspondiente a 334 m² y requerir un área de 491 m², no se puede instalar el total de colectores para cubrir el 100% de la demanda de ACS, es por esto que se debe adaptar la cantidad de colectores por instalar en el área disponible.

Así, se utiliza el área de instalación del colector y se divide entre 300 m² del área disponible, con el fin de dejar la restante área para paso y mantenimiento y con este resultado calcular el porcentaje de cobertura de la demanda de ACS, el resultado se resume en la siguiente tabla:

Tabla 4.24: Cantidad de colectores en Torre Norte adaptada al área disponible y % de demanda cubierto.

Colector	Área Disponible (m ²)	Área del colector (m ²)	Solución (# Colectores)	Área requerida (m ²)	% demanda ACS
Modelo 2504	300	2,549	117	298,233	73,02%

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.3. Implementación de conexión de tubería y bomba de recirculación

Dado que el área disponible es el techo del cuarto de máquinas donde están instalados los sistemas de calentamiento de agua a vapor de la Torre Norte, lo único que se debe de hacer es llevar un tubo del tanque al techo y realizar la conexión del sistema a los tanques de acumulación existentes.

Los tanques de acumulación y el sistema de alimentación de agua fría se alimentarán con un cabezal con derivaciones controladas por electroválvulas de la forma que se muestra en las figuras 4.5 y 4.6 de la sección 4.4.3., las cuales abrirán o cerrarán comandadas por el controlador del sistema, abriendo y cerrando, según sea la necesidad de operación, ya sea el sistema de colectores solares, o el sistema de calentamiento de gas, el cual quedará como respaldo de los colectores, con el fin de garantizar la confiabilidad del sistema.

La cantidad de colectores por instalar es de 117, lo cuales requerirían una bomba de recirculación de 293 L/min@ 620,527 KPa (90 Psi).

4.5.4. Arreglo de colectores por utilizar

Al elegirse el mismo tipo, modelo y tamaño de colector, se siguen las mismas recomendaciones del fabricante, datos técnicos, así como hojas de ensayos y certificaciones, por lo tanto, se utiliza el mismo arreglo de colectores mostrado en la figura 4.7 de la sección 4.4.4.

La inclinación de los colectores debe de corresponder a la latitud del lugar de instalación $\pm 10^\circ$, orientados hacia el sur. El centro médico se encuentra a una

latitud de 9,94°, por ende, los colectores deben estar instalados con una inclinación de 20° aproximadamente.

4.5.5. Costo del sistema de colectores

El costo del sistema de colectores para suplir el 73% de la demanda de agua caliente de la Torre Norte, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4.25: Costo del sistema de colectores Torre Norte.

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio unitario	Precio total
Colector placa plana Alter 2504	117	unid	¢401.362,50	¢46.959.412,50
Kit de montaje	117	unid	¢86.625,00	¢10.135.125,00
Controlador ACS (SmartMaxx-Pro-XL6D)	1	unid	¢866.250,00	¢866.250,00
Sensor temperatura PT-1000	6	unid	¢28.875,00	¢173.250,00
Bomba de recirculación (DUPLEX)	1	unid	¢6.352.500,00	¢6.352.500,00
Tubería de cobre	1	unid	¢11.550.000,00	¢11.550.000,00
Aislamiento	1	unid	¢2.310.000,00	¢2.310.000,00
Válvula solenoide 2 1/2" ASCO 8210	4	unid	¢693.000,00	¢2.772.000,00
Materiales Varios	1	unid	¢1.732.500,00	¢1.732.500,00
Total materiales=				¢82.851.037,50
Mano de obra=			50%	¢41.425.518,75
Imprevistos=			10%	¢8.285.103,75
Total de la obra=				¢132.561.660,00

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.6. Retorno de la inversión

Para el cálculo del retorno de la inversión, se debe calcular el gasto de combustible diésel sin tener el sistema de colectores solares y con el sistema instalado este gasto corresponde al 27% que no se genera, ya que se está implementando un sistema que supla el 73% del consumo de agua caliente del centro médico.

Es así como el gasto mensual de diésel, como el acumulado anual se

muestra en la siguiente tabla, basado en los datos mostrados de consumo de combustible en el capítulo de diagnóstico Tabla 1.4 y costo diario en el desarrollo tabla 4.2.:

Tabla 4.26: Costo mensual y anual de Diésel sin sistema de colectores en Torre Norte.

Mes	Número de días	Costo mensual
Enero	31	¢5.624.833,75
Febrero	28	¢5.080.495,00
Marzo	31	¢5.624.833,75
Abril	30	¢5.443.387,50
Mayo	31	¢5.624.833,75
Junio	30	¢5.443.387,50
Julio	31	¢5.624.833,75
Agosto	31	¢5.624.833,75
Septiembre	30	¢5.624.833,75
Octubre	31	¢5.624.833,75
Noviembre	30	¢5.443.387,50
Diciembre	31	¢5.624.833,75
Total Anual=		¢66.227.881,25

Fuente: Elaboración Propia.

El costo mensual resulta de multiplicar el costo diario de ¢181.446,25 por el número de días del mes.

Ahora al estar produciendo solo el 73% del ACS con el sistema de colectores, se debe de producir el 27% restante con el sistema existente, por lo cual habrá un costo de realizarlo, el cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.27: Costo mensual y anual de Diésel para 27% de la demanda de ACS de la Torre Norte.

Mes	Número de días	Costo mensual
Enero	31	₡1.518.705,11
Febrero	28	₡1.371.733,65
Marzo	31	₡1.518.705,11
Abril	30	₡1.469.714,63
Mayo	31	₡1.518.705,11
Junio	30	₡1.469.714,63
Julio	31	₡1.518.705,11
Agosto	31	₡1.518.705,11
Septiembre	30	₡1.469.714,63
Octubre	31	₡1.518.705,11
Noviembre	30	₡1.469.714,63
Diciembre	31	₡1.518.705,11
Total Anual=		₡17.881.524,94

Fuente: Elaboración Propia.

Así, se realiza el ahorro mensual y el acumulado anual, con un 10% de aumento en el combustible para proyectar estos valores a futuro.

Tabla 4.28: Ahorro y acumulado anual en la Torre Norte.

Año	Factura sin sistema Colectores (₡)	Factura con sistema Colectores (₡)	Ahorro anual (₡)
1	₡66.227.881,25	₡17.881.527,94	₡48.346.353,31
2	₡72.850.669,38	₡19.669.680,73	₡53.180.988,64
3	₡80.135.736,31	₡21.636.648,80	₡58.499.087,51
4	₡88.149.309,94	₡23.800.313,68	₡64.348.996,26
5	₡96.964.240,94	₡26.180.345,05	₡70.783.895,88
6	₡106.660.665,03	₡28.798.379,56	₡77.862.285,47
7	₡117.326.731,54	₡31.678.217,51	₡85.648.514,02
8	₡129.059.404,69	₡34.846.039,27	₡94.213.365,42
9	₡141.965.345,16	₡38.330.643,19	₡103.634.701,96
10	₡156.161.879,67	₡42.163.707,51	₡113.998.172,16
11	₡171.778.067,64	₡46.380.078,26	₡125.397.989,38
12	₡188.955.874,40	₡51.018.086,09	₡137.937.788,32
13	₡207.851.461,85	₡56.119.894,70	₡151.731.567,15
14	₡228.636.608,03	₡61.731.884,17	₡166.904.723,86
15	₡251.500.268,83	₡67.905.072,58	₡183.595.196,25

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, se realiza el análisis de retorno de inversión donde se utiliza como referencia para el factor de descuento el interés de los préstamos con garantía de certificado de inversión a plazo de Scotiabank, el cual es una referencia del costo de capital para este tipo de proyecto de inversión, como lo es un sistema de colectores solares. El interés consultado es del 7,00%.

Se agrega un costo por mantenimiento de ₡2.600 colones por colector y, según planes de mantenimiento de empresas dedicadas a la instalación de estos sistemas, se realizan dos visitas de mantenimiento al año, esto da un total de ₡608.400 al año.

Tabla 4.29: Retorno de inversión Torre Norte.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7
Inversión	-₡132.561.660,00							
Ahorro		₡48.346.353,31	₡53.180.988,64	₡58.499.087,51	₡64.348.996,26	₡70.783.895,88	₡77.862.285,47	₡85.648.514,02
Gastos		₡608.400,00	₡669.240,00	₡736.164,00	₡809.780,40	₡890.758,44	₡979.834,28	₡1.077.817,71
Flujos	-₡132.561.660,00	₡47.737.953,31	₡52.511.748,64	₡57.762.923,51	₡63.539.215,86	₡69.893.137,44	₡76.882.451,19	₡84.570.696,31
Tasa de descuento	7,0%							
Aumento anual diesel	10,0%							
Factor de Descuento (%)	100,00%	93,46%	87,34%	81,63%	76,29%	71,30%	66,63%	62,27%
Valor Presente	-₡132.561.660,00	₡44.614.909,64	₡45.865.794,95	₡47.151.751,82	₡48.473.763,56	₡49.832.841,04	₡51.230.023,50	₡52.666.379,30
Ahorro Acumulado	-₡132.561.660,00	-₡87.946.750,36	-₡42.080.955,41	₡5.070.796,42	₡53.544.559,97	₡103.377.401,01	₡154.607.424,51	₡207.273.803,81

Año	8	9	10	11	12	13	14	15
Inversión								
Ahorro	₡94.213.365,42	₡103.634.701,96	₡113.998.172,16	₡125.397.989,38	₡137.937.788,32	₡151.731.567,15	₡166.904.723,86	₡183.595.196,25
Gastos	₡1.185.599,48	₡1.304.159,43	₡1.434.575,38	₡1.578.032,91	₡1.735.836,20	₡1.909.419,82	₡2.100.361,81	₡2.310.397,99
Flujos	₡93.027.765,94	₡102.330.542,53	₡112.563.596,79	₡123.819.956,46	₡136.201.952,11	₡149.822.147,32	₡164.804.362,05	₡181.284.798,26
Tasa de descuento	7,0%							
Aumento anual diesel	10,0%							
Factor de Descuento (%)	58,20%	54,39%	50,83%	47,51%	44,40%	41,50%	38,78%	36,24%
Valor Presente	₡54.143.006,75	₡55.661.034,98	₡57.221.624,75	₡58.825.969,37	₡60.475.295,61	₡62.170.864,65	₡63.913.973,00	₡65.705.953,55
Ahorro Acumulado	₡261.416.810,56	₡317.077.845,54	₡374.299.470,29	₡433.125.439,65	₡493.600.735,26	₡555.771.599,91	₡619.685.572,91	₡685.391.526,46

Fuente: Elaboración Propia.

Basado en este cálculo se puede observar que la inversión se recupera entre el año 2 y 3, más concretamente:

$$\text{Fracción Retorno Año 2 (Meses)} = \frac{₡42.080.955,41 \times 12}{₡47.151.751,82} \sim 11 \text{ meses}$$

Así la inversión del sistema se recupera en un periodo de dos años y 11 meses. De una forma más clara se puede observar en el siguiente gráfico:



Figura 4.9 Retorno de inversión sistema de colectores Torre Norte.

Fuente: Elaboración propia con software MSO Excel

Finalmente, se calcula el VAN y el TIR para el proyecto, utilizando las ecuaciones 2.1 y 2.2, obteniendo los siguientes resultados:

VAN=	¢685.391.526,46	TIR=	45%
-------------	-----------------	-------------	-----

4.6. Análisis de Resultados

4.6.1 Dimensionamiento sistema de colectores

El dimensionamiento de sistema de colectores es una de las partes más complejas de este trabajo, debido a que en Costa Rica el mercado, en general, trabaja con una receta para estos sistemas, cuando estos son de pequeña o mediana escala, donde para realizar el dimensionamiento simplemente usan reglas empíricas, sin fundamento alguno, donde se argumenta que un tanque de almacenamiento de 150 litros suple la necesidad de agua caliente de 4-5 personas y que un tanque de 200 litros, suple la necesidad de 6-7 personas, en ambos casos, el sistema cuenta con un solo colector solar y un tanque, todo instalado en el techo del lugar. Cuando se presentan mayores consumos de agua caliente, la solución de estas empresas es la de colocar varios sistemas de tanque y colector en el techo, aumentando no solo el costo del sistema, sino también, los requerimientos estructurales del sitio donde se instalen.

Otro gran vacío a nivel nacional, es de una normativa, que no solo brinde las regulaciones en esta materia, sino que también, estipule los parámetros físicos y técnicos de dichas instalaciones, con el fin de realizar un diseño no solo seguro, sino también, acorde, adaptado al entorno y necesidades a nivel nacional.

En países europeos como España, existe un Código Técnico de la Edificación, en el cual existe un capítulo donde se norman los parámetros de diseño de una instalación termo solar, no solo clasificando el país en zonas climáticas, sino también, tabulando los parámetros necesarios para el dimensionamiento de esta instalaciones, información vital en un diseño de este tipo. Además, cabe destacar

que los países europeos no solo utilizan ACS, sino también, para calefacción en los meses fríos del año, por lo cual la metodología de cálculo toma un rumbo diferente al que se requiere en este trabajo. Métodos de cálculo usados en Europa, como el F-Chart, son muy complejos de usar y adaptar en nuestro país, al no tener muchos datos que se norman en los códigos de otros países.

En América, países como Chile tienen una normativa similar y en Estados Unidos, generalmente, se utiliza software desarrollado por empresas especializadas en el tema, con el fin no solo de dimensionar estas instalaciones, sino también, de simular su comportamiento. Este software, en muchos casos, es bastante costoso y de acceso a empresas dedicadas al tema.

Por ende, para el presente trabajo se optó por realizar el dimensionamiento del sistema, mediante los datos de pruebas de laboratorio certificadas, desde estándares y normas ya estipuladas, donde los colectores se someten a condiciones estándar de prueba y sus resultados se recopilan en un informe, al cual se puede tener acceso mediante la página web del laboratorio que realiza las pruebas, o bien, como información que brinda el fabricante o el vendedor del equipo.

En Costa Rica se debe de seleccionar una empresa que importe colectores solares certificados desde alguna norma válida y aceptada, con el fin de tener los datos de laboratorio del colector necesarios, tales como presión de prueba, flujo en el colectores, rendimiento y muy importante, la salida de potencia del colector a una irradiación determinada.

Otra opción en el país es la de utilizar los servicios del Laboratorio de Eficiencia Energética (LEE), del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), donde se puede realizar el ensayo de rendimiento con simulador solar, bajo la norma PN

INTE/ISO 9806 Energía Solar - Colectores solares térmicos, en los casos en que los colectores son separables del tanque, y así obtener la salida de potencia y rendimiento del colector, en caso de no tenerse un colector certificado o tener que construirse algún tipo de sistema o colector a la medida. Este ensayo, según consulta en la página de servicios del LEE tiene un costo de \$2000, consultado el 12-03-2018.

La demanda energética calculada, es el resultado de usar fórmulas simples de termodinámica, con el fin de calcular la energía necesaria (KW), para calentar el agua de una temperatura baja, hasta una temperatura alta, a la cual se suministra a la red del centro médico.

Es así como se calcula el flujo másico de agua, mediante la ecuación 4.1, donde el volumen de agua es el consumo de ACS diario del centro médico y las horas de sol se obtienen de los datos meteorológicos, mostrados en la tabla 4.3 y obtenidos de la página eosweb de La NASA.

Con este dato de flujo másico calculado, se utiliza la ecuación 4.2, donde con la diferencia de temperaturas requerida y el calor específico del agua, se obtiene el valor de energía necesario para calcular el volumen de ACS diario requerido.

Por medio de este procedimiento se obtuvo la energía necesaria para calentar el volumen de ACS requerido con la diferencia de temperatura necesaria, tanto para la Torre Norte como para la Sur. De las tablas 4.4 y 4.5, se obtiene el dato de demanda energética necesaria (Q_{ACS}), en kilowatt, con el fin de, más adelante utilizarlo en el dimensionamiento de los sistemas específicos.

4.6.2 Tipo de colector por utilizar

El sistema de colectores utilizado, debe ser altamente fiable, robusto y que soporte inclemencias climáticas, esto por la razón de que el suministro de ACS a un centro médico es de vital importancia, para el desempeño diario de las tareas del lugar, una falla o falta del suministro de éste, es problemática y, por ende, se debe contar con un sistema confiable.

Entre las características del colector a seleccionar, se debe de tomar en cuenta la presión de trabajo, mantenimiento, vida útil, deterioro de este por situaciones anormales y sobre todo su resistencia física, con el fin de evitar algún desperfecto que lo saque de servicio.

Todas estas características se confrontan en la figura 4.2, donde se realiza una comparativa de las características de los tipos de colectores comúnmente usados, el de placa plana y el de tubos al vacío, de donde se obtienen los datos para definir el tipo de colector adecuado para el sistema requerido, donde se observa que el colector de placa plana es la opción adecuada, debido a que resiste altas presiones, hasta de 980,665 KPa (10 kg/cm² o 143 psi), característica requerida, ya que el sistema de distribución de agua del centro médico opera a 620,527 KPa (90 Psi). También, se tiene otro aspecto importante como lo es su robustez, resistencia a impactos y otros, el cual hace que la instalación sea más confiable.

Al ser los colectores planos construidos con materiales comunes, las refacciones en caso de daño son fáciles de conseguir y de realizar la reparación, los tubos de cobre internos, aislamientos y acoples son de uso común en la

industria, por lo cual ante una eventualidad, el colector no estaría fuera de servicio por mucho tiempo.

Sencillez de instalación y riesgos bajos de quemaduras son otros aspectos también por tomar en cuenta. Por lo cual la elección para este proyecto resulta ser el colector de placa plana.

4.6.3 Cantidad de colectores, tanque de acumulación, bomba de recirculación, área requerida y disponible

El cálculo de la cantidad de colectores requeridos para suplir la demanda diaria de ACS se realiza partiendo del dato mostrado en las tablas 4.4 y 4.5, de la demanda energética necesaria (Q_{ACS}), en kilowatt. Con esto se puede realizar la estimación de la cantidad de colectores, utilizando los datos de las hojas técnicas de pruebas de laboratorio de los colectores, con esto se recurre al valor de insolación promedio que recibe el lugar donde se instalaría el sistema y, entonces, se procede a tomar los datos tabulados de la curva de eficiencia del colector, con el fin de interpolar la salida de potencia que tendría el colector, instalado en el lugar donde se ubica el centro médico.

Al tener el dato de la cantidad de energía necesaria para calentar el volumen de agua diario requerido, tanto en la Torre Norte como en la Sur, se puede relacionar con una simple división, con la salida de potencia del colector calculada, lo cual brinda la cantidad de colectores requeridos para cada sistema.

Con esto, en la torre sur al realizar el cálculo, con los parámetros de operación del sistema, al interpolar los datos de la tabla 4.7, para $T_m - T_a = 14,33$ K y

$G=450 \text{ W/m}^2$, se obtiene una salida de potencia del colector desde estas condiciones de 702 W/m^2 .

Así, realizando este mismo procedimiento para los dos modelos de colectores seleccionados, se obtiene una cantidad de colectores requeridos para suplir la demanda de cada torre. En resumen, estos cálculos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.30: Resumen de cálculos de número de colectores requeridos.

Ubicación	Modelo	Demanda energética ACS (kW)	Energía de salida colector (KW)	# Colectores Requerido	Área Absorbente (m ²)	Área total (m ²)
Torre Norte	Alter 2004	54,15	571	95	1,880	2,143
	Alter 2504	54,15	702	78	2,260	2,549
Torre Sur	Alter 2004	114,8	583	197	1,880	2,143
	Alter 2504	114,8	717	161	2,260	2,549

Fuente: Elaboración Propia.

Como era de esperarse, el modelo de colector que posee el área absorbente de radiación solar más grande, es el que brinda una mayor potencia o energía de salida y, por ende, para suplir el total de la demanda se requiere una menor cantidad de colectores, lo cual más adelante se analiza desde el punto de vista de la instalación del sistema y, por ende, en su análisis económico.

En cuanto a los tanques de almacenamiento, el centro médico cuenta con tanques de acumulación que suplen de manera adecuada la demanda de agua caliente, ya que al realizar entrevistas a los operadores de los equipos, estos comentan que en la torre sur al tener los dos tanques de almacenamiento llenos, pueden suplir la demanda de la torre durante 8 horas aproximadamente y en la torre norte pueden suplir la demanda durante unas 7 horas aproximadamente. El

estado de los tanques es aceptable, así como el de su aislamiento, por lo cual la idea es utilizarlos para el sistema de colectores, evitar un gasto innecesario y desechar equipo en buen estado. Por ende, lo que se pretende es conectar el sistema de colectores solares a ellos, el cual mediante un bypass, accionado por electroválvulas comandadas por un controlador programado para este fin, lograr mantener la temperatura de los tanques en el nivel óptimo, aun cuando no haya energía solar, utilizando el sistema actual como respaldo para este fin.

Las características básicas de los tanques de almacenamiento se resumen en la tabla 4.16 de la sección 4.3.4 donde se puede observar que, tanto las presiones de trabajo máximas, están acorde con la presión a la cual opera el sistema de agua caliente del centro médico.

En lo referente al sistema de bombeo de recirculación de agua, éste debe de tener la capacidad de suplir el caudal suficiente para alimentar todo el sistema de colectores con un flujo constante durante todo el día, según las hojas técnicas de la pruebas de laboratorio, el flujo recomendado por el fabricante es de 90-200 L/hora, sin embargo, las pruebas se realizan con un flujo constante de 150 L/hora, con lo cual se obtienen los datos de rendimiento térmico de los colectores y con el fin de mantener estos parámetros, rendimiento, para los cálculos realizados en el presente trabajo, se selecciona el caudal de 150 L/hora para seleccionar el sistema de bombeo de recirculación hacia los colectores.

Con esto, el resultado de multiplicar el número de paneles por el flujo requerido, da como resultado el caudal de la bomba que debe de alimentar el sistema completo, a una presión de 620,527 KPa (90 Psi), la cual es la presión

de operación del sistema de agua caliente del centro médico.

Con el fin de mantener la confiabilidad del sistema, se selecciona un sistema dúplex de bombas, en el cual una sola bomba tenga la capacidad de alimentar todo el sistema de colectores y se alterne su funcionamiento con la segunda bomba, esto no solo con el fin de mantener un desgaste equilibrado en ambas bombas, sino también, para que en caso de fallar una bomba, la otra tenga la capacidad de seguir operando y alimentando al sistema, esto para evitar paros por averías en el sistema de bombeo.

El área disponible para instalación es un único techo de 334 m², donde se debe de adecuar el sistema de calentamiento, según la cantidad de colectores requerida y el área que ocupan.

Dado esto se define un área de instalación para cada colector, que se muestra en la tabla 4.17 de la sección 4.3.6, para lo cual se toma el área total de cada colector, según su modelo y se le agrega un área de 0,3 m², con el fin de dar espacio para conexiones y mantenimiento de los colectores. El total requerido de área para la instalación del sistema, para cada modelo y para cada sistema, tanto de la torre norte como de la sur, supliendo el 100% de la demanda de ACS del centro médico se muestra en esta tabla, de donde se puede observar que el área disponible para la instalación es suficiente para el sistema de la torre sur, independientemente del modelo de colector que se utilice, sin embargo, para el sistema de colectores de la torre norte no es suficiente, por lo cual se debe de adaptar el sistema, disminuyendo la cantidad de colectores y calculando el porcentaje de la demanda que cubriría éste, para así lograr una propuesta real.

4.6.4 Propuesta de implementación

Dado que el sistema de colectores debe adaptarse al espacio físico y necesidades del centro médico, se debe de proponer el sistema por implementar, es así como se selecciona el modelo ALTER 2504 para ambos sistemas, Torre Norte y Torre Sur, esto porque este modelo brinda un menor costo, lo cual se verá reflejado en el retorno de la inversión del sistema, sino también, se requiere una menor cantidad de colectores y, por ende, una menor área de instalación, así como de tubería y accesorios requeridos para instalarlos. Esto se muestra en la tabla 4.18 de la sección 4.4.1 para la Torre Sur y la tabla 4.23 de la sección 4.5.1 de la Torre Norte.

Al analizar el área disponible para la instalación, se describió que para el sistema de la Torre Sur es suficiente para su instalación, sin embargo, se debe de trasegar el agua por un tramo de 150 m, con el fin de llegar a los tanques de acumulación.

Esta ruta implica una pérdida de calor en la tubería, en la cual utilizando tubo de cobre de 63 mm (2,5") de diámetro y un aislamiento de fibra de vidrio de 25 mm (1") de espesor, corresponde a 3,3 °C en los 150 m de ésta, por ende, se debe de asumir esta pérdida de temperatura en el cálculo de la cantidad de colectores, con el fin de mantener el sistema de agua caliente con los parámetros de funcionamiento originales. Es así como la temperatura a la que se debe de calentar el agua pasa de 51 °C a 54 °C, con esto se recalcula la cantidad de colectores la cual aumenta en 8 colectores, con una bomba de recirculación de 265 L/min @

620,527 KPa (90 Psi), además el área requerida de instalación aumenta a 262 m², la cual sigue estando dentro del margen de área disponible.

En cuanto al arreglo de conexión de los colectores solares, el fabricante recomienda conectar un máximo 6 colectores en serie, esto porque si se analiza la estructura física del colector, la entrada de agua fría y la salida de agua caliente son de un diámetro de tubería de cobre de 19 mm (3/4"), mientras que los conductos internos por donde fluye el agua son de 3 mm (1/8"), por lo cual al conectar el máximo de 6 colectores, se mantiene el flujo necesario de agua en los mismos, mientras que si se conectara un mayor número, las tuberías internas no tendrían la capacidad de trasegar el flujo necesario de agua que requiere el colector. Basado en esto, se decide agrupar los colectores en series de 5, con lo cual se deja un margen de seguridad para asegurar el flujo constante en estos, como se muestra en la figura 4.7 de la sección 4.4.4, donde además, se especifica que la inclinación óptima de los paneles debe de ser de 20°, esto debido a la latitud del lugar donde se realiza el presente estudio.

Para el caso de la torre norte, como se analizó con anterioridad, el área disponible para instalación no es suficiente para instalar la cantidad necesaria de colectores para suplir el 100% de la demanda de ACS, por lo tanto, la adaptación del sistema se hace para maximizar la producción de ACS con el área disponible. Para esto se define un área utilizable del techo de 300 m² con el fin de dejar la restante área para paso y mantenimiento, al recalcular con base en este dato, se obtiene un total de 117 colectores para un área de 298,233 m² y con esta cantidad de colectores se supliría un 73% de la demanda de ACS aproximadamente, lo cual se muestra en la tabla 4.24 de la sección 4.5.2.

Dado que el área disponible es el techo del cuarto de máquinas donde están instalados los sistemas de calentamiento de agua a vapor de la Torre Norte, lo único que se debe de hacer es llevar un tubo del tanque al techo y realizar la conexión del sistema a los tanques de acumulación existentes, donde por la distancia corta, la pérdida de temperatura no es relevante, además de que la tubería de suministro de agua fría hacia los colectores iría desnuda sobre un techo metálico, aportando éste y la radiación incidente sobre el tubo, un aporte energético adicional al agua que circule por estos tubos, por esto se desprecia la pérdida de temperatura para este sistema.

Los tanques de acumulación y el sistema de alimentación de agua fría se alimentarán con un cabezal con derivaciones controladas por electroválvulas, las cuales abrirán o cerrarán comandadas por el controlador del sistema, abriendo y cerrando, según sea la necesidad de operación, ya sea el sistema de colectores solares, o el sistema de calentamiento de gas, el cual quedará como respaldo de los colectores, con el fin de garantizar la confiabilidad del sistema.

Es así como las conexiones de los cabezales se realizarán a la tubería existente de la forma que se muestra en las figuras 4.5 y 4.6 de la sección 4.4.3.

Al elegirse el mismo tipo, modelo y tamaño de colector, se siguen las mismas recomendaciones del fabricante, datos técnicos, así como hojas de ensayos y certificaciones, por lo tanto, se utiliza el mismo arreglo de colectores mostrado en la figura 4.7 de la sección 4.4.4.

La inclinación de los colectores al igual que en la solución de la Torre Sur, debe de corresponder a la latitud del lugar de instalación $\pm 10^\circ$, orientados hacia el sur. El centro médico se encuentra a una latitud de $9,94^\circ$, por ende, los colectores

deben estar instalados con una inclinación de 20° aproximadamente.

Con la cantidad de colectores definido, se calcula la bomba de recirculación necesaria, la cual sería de 293 L/min @ 620,527 KPa (90 Psi).

En resumen, los elementos principales de los sistemas de colectores se muestran en la siguiente tabla:

Resumen elementos del sistema de colectores

Elemento	Torre Norte	Torre Sur
Modelo de colector	Alter 2504	Alter 2504
Número de colectores	117	86
Área de instalación requerida	298,233 m ²	261,763 m ²
Inclinación y orientación de los colectores	20°@Sur	20°@Sur
Caudal bomba de recirculación	293 L/min@620,527 KPa (90 Psi)	215 L/min@620,527 KPa (90 Psi)

Fuente: Elaboración Propia.

4.6.5 Costo y retorno de inversión sistema de colectores Torre Sur

Una vez definido lo necesario para implementar el sistema de colectores de Torre Sur, se puede realizar un presupuesto estimado del costo de la obra, con el fin de partir de este dato para realizar un análisis financiero del proyecto. Este costo es de aproximadamente ₡100.495.683,75 y se detalla en la tabla 4.19, donde se enumera el costo de los componentes básicos requeridos.

Para el cálculo del retorno de la inversión, se calculó el gasto de combustible GLP, sin tener el sistema de colectores solares y con el sistema instalado este gasto es cero, ya que se está implementando un sistema que supla el 100% del consumo de agua caliente del centro médico.

Es así como el gasto mensual de GLP, como el acumulado anual se muestra en la tabla 4.20, basado en los datos mostrados de consumo de GLP en el capítulo

de diagnóstico Tabla 1.2 y costo diario en el desarrollo tabla 4.1., este gasto en el primer año asciende a ₡9.519.586,90, con lo cual para los siguientes años se asume un 10% de aumento en el GLP anual, con el fin de proyectar estos valores a futuro, con lo cual se crea la tabla 4.21, que resume el costo anual de combustible proyectado a los próximos 15 años.

Finalmente, se realiza el análisis de retorno de inversión donde se utiliza como referencia para el factor de descuento el interés de los préstamos con garantía de certificado de inversión a plazo de Scotiabank, el cual es una referencia del costo de capital para este tipo de proyecto de inversión, como lo es un sistema de colectores solares. El interés consultado es del 7,00%.

Se agrega un costo por mantenimiento de ₡2.600 colones por colector y, según planes de mantenimiento de empresas dedicadas a la instalación de estos sistemas, se realizan dos visitas de mantenimiento al año, esto da un total de ₡447.200 al año.

El retorno de la inversión se detalla en la tabla 4.22, de donde se observa que el tiempo de retorno del proyecto es de un poco más de 10 años, más concretamente en 10 años y 5 meses, esto debido, principalmente a que en el centro médico, al ser una institución pública, el costo del gas es más bajo debido a la exoneración de impuestos y otro punto fundamental, es que la eficiencia de los calentadores a gas es de más de un 80%, por lo cual este tiempo de retorno se alarga aún más.

Comparando el costo en colones por calentar un litro de agua, con gas y con vapor generado a partir de diésel, se puede aclarar aún más este concepto, esto se observa en la siguiente tabla:

Tabla 4.32: Costo calentamiento de agua

Descripción	Torre Sur	Torre Norte
Costo diario GLP/DIÉSEL (€)	€26.081,06	€181.446,25
Consumo diario GLP/DIÉSEL (L)	94,50	379
Consumo ACS (L)	17046,00	39750,00
Costo por calentar 1 litro agua (€)	€1,53	€4,56

Fuente: Elaboración Propia.

Con todo esto se calcula el VAN de nuestro proyecto, el cual al ser de más de 54 millones indica que éste es rentable. También, se calcula el TIR del proyecto con un resultado de 13%, el cual es mayor que la tasa de descuento, por tanto, el proyecto brinda utilidad positiva.

4.6.6 Costo y retorno de inversión de sistema de colectores Torre Norte

Al igual que en el análisis de la Torre Sur, se define lo necesario para implementar el sistema de colectores, con el fin de poder realizar un presupuesto estimado del costo de la obra, para así partir de este dato para efectuar un análisis financiero del proyecto. Este costo es de aproximadamente €132.561.660,00 y se detalla en la tabla 4.25, donde se enumera el costo de los componentes básicos requeridos.

Para el cálculo del retorno de la inversión, se calculó el gasto de combustible diésel, sin tener el sistema de colectores solares, y con el sistema instalado, el cual, según la solución propuesta generaría el 73% de la demanda de ACS, se debería generar el 27% restante con el sistema actual.

Es así como el gasto mensual de diésel, el acumulado anual se muestra en la tabla 4.26, basado en los datos mostrados de consumo de combustible en el capítulo de diagnóstico Tabla 1.4 y costo diario en el desarrollo tabla 4.2, este gasto

en el primer año asciende a ₡66.227.881,25, con lo cual para los siguientes años se asume un 10% de aumento en el diésel anual, con el fin de proyectar estos valores a futuro, con lo cual se crea la tabla 4.21, que resume el costo anual de combustible proyectado a los próximos 15 años.

El 27% del costo anual de combustible, sería lo que se debe de general al estar el sistema de colectores instalado y la diferencia de ambos se traduce en el ahorro anual al implementar la solución propuesta.

Este costo de combustible de 27% se traduce en ₡17.881.527,94, el cual al ser un consumible y no un activo, se continúa considerando como un gasto, por lo cual al realizar el análisis financiero, se resta del total anual del gasto de combustible, con lo que resulta pasar de ₡66.227.881,25 a gastar solo estos 17 millones mencionados, generando un ahorro en el primer año de ₡48.346.353,31, todo esto se resume en la tabla 4.28.

Finalmente, se realiza el análisis de retorno de inversión donde se utiliza como referencia para el factor de descuento el interés de los préstamos con garantía de certificado de inversión a plazo de Scotiabank, el cual es una referencia del costo de capital para este tipo de proyecto de inversión, como lo es un sistema de colectores solares. El interés consultado es del 7,00%.

Se agrega un costo por mantenimiento de ₡2.600 colones por colector y, según planes de mantenimiento de empresas dedicadas a la instalación de estos sistemas, se realizan dos visitas de mantenimiento al año, esto da un total de ₡608.400 al año.

El retorno de la inversión se detalla en la tabla 4.29, de donde se observa que el tiempo de retorno del proyecto es de 2 años y 10 meses, este tiempo es

mucho más corto que en el caso de los calentadores a gas, debido principalmente a que el costo de calentamiento de agua por litro usando combustible diésel es mucho mayor que en el caso del gas, como se observa en la tabla 4.32, además de esto, los generadores de vapor son equipos antiguos e ineficientes, donde se puede estimar una eficiencia cercana al 30%, lo cual es una gran diferencia, comparándolos con los calentadores a gas, por ello el tiempo de retorno de inversión se reduce sustancialmente.

Con todo esto, se calcula el VAN de nuestro proyecto, el cual al ser de más de 685 millones indica que éste es rentable. También, se calcula el TIR del proyecto con un resultado de 45%, el cual es mayor que la tasa de descuento, por tanto, el proyecto brinda utilidad positiva.

CONCLUSIONES

- Recopilar la información de las características de los equipos actuales y consumo de agua caliente del centro médico en estudio, es una tarea vital para esta investigación, ya que estos datos son la base de todas las estimaciones y dimensionamiento de equipos que se lleven a cabo.

La recolección de datos se puede llevar a cabo de diferentes formas, puede ser mediante equipos adecuados para realizar las mediciones, de ser posible, sin embargo, para el presente trabajo esto resultó difícil de hacer, ya que además, de que no se cuenta con los equipos de medición, ni presupuesto para adquirirlos, un detalle importante es que sacar de servicio alguno de los sistemas de calentamiento de agua, requiere de una coordinación de todos los servicios afectados.

Sin embargo, resultó importante la experiencia de los trabajadores del centro médico y la información brindada, así como los reportes de servicio y las bitácoras diarias de operación, de donde se pudo extraer datos importantes con el fin de estimar los consumos diarios, mensuales de combustibles y agua caliente, con todo esto se obtuvo los datos mostrados en la sección del diagnóstico, tablas 1.2 y 1.4.

Los costos de calentamiento y consumo que se resumen en la tabla 4.32, se pueden obtener mediante facturas, donde además, se toma en cuenta la periodicidad de recarga de los tanques de almacenamiento.

En conclusión, para realizar un estudio como el presente, se debe de contar

con datos de operación de los equipos analizados, consumos y características de estos, donde no solo se pueden obtener datos directos de equipos de medición, sino que también, se puede analizar el histórico de consumos y operación de estos, con el fin de determinar los parámetros requeridos.

- Definir el tipo de sistema que use energía renovable, más adecuada para el centro médico, requirió de una amplia investigación no solo de las tecnologías disponibles, sino también, de las necesidades del centro médico, ya que no todos los tipos de colectores solares se adaptan a los requerimientos de operación del sistema.

Entre los sistemas de calentamiento termosolares estudiados, se pudo observar que los de tubos al vacío presentan una mayor eficiencia y permiten obtener temperaturas mayores, sin embargo, al ser construidos con tubos de vidrio, no soportan altas presiones y, por ende, son más propensos por sufrir averías que interrumpan el flujo continuo de agua caliente.

Otros sistemas como los de concentración, requieren de instalaciones más complejas, un mayor espacio abierto y la utilización de fluidos térmicos, en algunos casos tóxicos, con el fin de utilizarlos para realizar la transferencia de calor hacia el agua de usos sanitario, es por esto que no son considerados funcionales en el presente estudio.

El otro tipo de colector solar, el de placa plana, por estar construido con tubos de cobre soldados, presenta una mayor resistencia a altas presiones, son sencillos de reparar, ya que sus materiales son de uso común en el mercado y

además, su estructura externa robusta los hace resistentes a golpes e inclemencias climáticas.

Además, el sistema por implementar seleccionado, es un sistema forzado, donde el agua circula hacia los colectores mediante bombeo, para mantener el flujo constante, además de la presión suficiente para poder suministrar ésta hasta los puntos más altos y lejanos, por ende, mantener la funcionalidad y parámetro originales.

La selección del colector es el aspecto más importante, ya que de él dependen no solo la funcionalidad del sistema, sino también su dimensionamiento, ya que se debe de contar con datos fidedignos de su desempeño en condiciones controladas, con el fin de partir de ellos para poder calcular las necesidades de energía solar captada para calentar el volumen de agua requerido.

Por lo tanto, se concluye, que la selección del tipo de sistema y tecnología por usar del colector seleccionado, son vitales para el correcto dimensionamiento, funcionamiento y desempeño del conjunto, donde se debe asegurar no solo su seguridad, sino también, su fiabilidad.

- En cualquier inversión o negocio que se quiera emprender, así como para los proyectos destinados a la generación de ingresos, la rentabilidad de la actividad es el primer factor, y el más importante, que determina la sostenibilidad. No obstante, existe más de una manera para establecer la rentabilidad de una inversión. Cada enfoque tiene sus fortalezas y debilidades.

Por lo tanto, es conveniente usar más de un método. Además, es importante comprender que las cifras generadas por medio del análisis financiero no son muy útiles en sí mismas: necesitan ser interpretadas.

El índice más sencillo es el Valor Actual Neto (VAN). Después de calcular el ingreso anual neto para cada año, se aplica una tasa de descuento para reducir el valor, tanto de los beneficios como de las pérdidas netas en años futuros, es así como definir la tasa de descuento adecuada, es vital para un análisis realista. Así se puede elegir una tasa que nos garantice que la inversión será igual o mejor que el promedio para la economía del país donde se realiza.

El otro índice utilizado comúnmente es el TIR, que usa una metodología similar a la del VAN, pero éste lo que nos plantea es la pregunta de ¿qué tasa de descuento (o tasa de interés) apoyará esta inversión? Si el TIR es del 15%, esto significa que la inversión inicial rendirá una tasa de interés del 15% durante la vida del proyecto.

El otro indicador utilizado es el periodo de retorno, el cual nos indica en cuánto tiempo se recupera la inversión realizada, de acuerdo con los ahorros o utilidades que ésta nos produzca.

Otro parámetro importante utilizado es el presupuesto de una obra, ya sea de materiales, mano de obra y otros necesarios, mismo que nos brinda una idea global del costo de ejecutarla o inversión inicial.

Por tanto, se concluye que en proyectos de tipo termosolares, el análisis financiero es una herramienta muy útil con el fin no solo de ver el proyecto

como un gasto, sino como un generador de ahorro, como una inversión que se pagará sola el transcurso del tiempo, como son los casos presentados aquí donde en uno se obtiene un VAN de más de 54 millones, que nos indica que el proyecto es indudablemente rentable y un TIR de 13% que al haber utilizado una tasa de descuento del 7%, este brindará un 6% de rendimiento, esto en el caso del calentamiento de agua a gas de la Torre Sur.

En el caso de la Torre Norte, donde el calentamiento es a vapor, obtenido en una caldera que utiliza combustible diésel, se obtiene un VAN de más de 685 millones, que nos indica que el proyecto es indudablemente rentable y un TIR de 45% que al haber utilizado una tasa de descuento del 7%, el mismo nos brindará un 38% de rendimiento.

Además, los periodos de retorno de inversión para ambos sistemas son de 10 años y meses para la Torre Sur y 2 años y 11 meses para la Torre Norte.

En los casos estudiados en el presente trabajo, se concluye, que los sistemas termosolares son indudablemente rentables, aun compitiendo con sistemas tan eficientes como los calentadores a gas, al contrario de un sistema de caldera que utiliza diésel como combustible, que es menos eficiente, por tanto, los periodos de recuperación de la inversión mostrados, están relacionados directamente con el costo del calentamiento del agua, así como a la eficiencia del equipo que se pretenda sustituir.

- En el planteamiento e implementación de un sistema termosolar en un centro médico existente, además de complejo, debe de cumplir con todas las

necesidades de consumo, fiabilidad y limitaciones de planta física.

Como se logró observar en el desarrollo del presente trabajo, el área disponible para la implementación del sistema fue vital para definir el porcentaje del suministro de agua caliente a producir, según la demanda de cada una de las dos torres.

Es por esto que el sistema de calentamiento para la torre norte se redujo, para adaptarlo a la planta física, donde se calculó un 73% de producción de ACS del total de la demanda. Para la Torre Sur, al tener suficiente área disponible, se pudo implementar un sistema que supla el 100% de la necesidad, sin embargo, la distancia desde el área requerida hasta el sistema de acumulación de agua, obligó a calcular una pérdida de temperatura en el agua, al trasegarse por una tramo de longitud considerable, que pese a estar debidamente aislado, siempre se presenta una pérdida energética.

Por lo tanto, se concluye, que la adaptación del sistema a una necesidad, es vital en un análisis de este tipo, ya que el cálculo es importante, pero al definir las necesidades y limitaciones, éste se debe de adaptar, modificar y recalcular, con el fin de llegar a la solución óptima que cumpla con todos estos requerimientos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar colectores solares que cuenten con certificaciones y pruebas de laboratorio, dado que estos tienen datos importantes como lo son la curva de eficiencia, parámetros de prueba y especificaciones físicas, que son de vital importancia para el diseño y dimensionamiento de una instalación para calentamiento de agua caliente sanitaria.
- No todas las metodologías de cálculo se adaptan a un proyecto específico, o no siempre se tiene todos los datos necesarios para llevar a cabo un diseño, por lo cual se recomienda siempre realizar un análisis del entorno y características del sistema por implementar, con el fin de adaptar la metodología de diseño a los requerimientos específicos que se presenten.
- Para realizar una instalación térmica para calentamiento de agua de uso sanitario, se recomienda tener un profesional a cargo, quien se encargue no solo de su diseño, sino también, de la ejecución, con el fin de velar no solo del buen funcionamiento de ésta, sino de su seguridad y eficiencia, con el fin de aprovechar al máximo los recursos que se tengan a mano.
- El mantenimiento del sistema de colectores solares es muy básico, una limpieza de la superficie de la placa absorbente es importante para mantener la eficiencia de ésta, se recomienda agregar rutinas de mantenimiento periódicas, como la revisión de elementos roscados en tuberías, acoples y demás, con el fin de evitar fugas que saquen de servicio el total o una parte del sistema, así como también,

una revisión del sistema de control, sensores, dispositivos de seguridad, con el fin de corroborar su correcto funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

Calentadores Solares - TEECSOL BUAP. (2018). Sites.google.com. Recuperado el 25 de febrero de 2018, de <https://sites.google.com/site/teecsolbuap/home/calentadores-solares>

Calentadores Termo-Solares. (2018). Coolcozumel.com. Recuperado el 03 Febrero de 2018, de <http://coolcozumel.com/calentadores-termo-solares/>

Diseño de una instalación solar térmica multipropósito para un edificio de vivienda en Granada (2018). E-archivo.uc3m.es. Recuperado el 08 de febrero de 2018, de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7310/PFC_Ana_Criado_Gonzalez.pdf?sequence=1

Energía solar. (2016). *Es.wikipedia.org.* Recuperado el 30 de Enero de 2018, de https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar

Heliofanía. (2016). *Es.wikipedia.org.* Recuperado el 01 de Febrero de 2018, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Heliofan%C3%ADa>

Instalaciones Termosolares para la Producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS). (2018). *Ingemecanica.com.* Recuperado el 08 de Febrero de 2018, de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html>

Insulation Heat Loss Horizontal Pipe. (2018). Checalc.com. Recuperado el 05 de Marzo de 2018, de <https://checalc.com/calc/inshoriz.html>

Irradiancia. (2016). *Es.wikipedia.org.* Recuperado el 01 de Febrero de 2018, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Irradiancia>

Insolación. (2016). *Es.wikipedia.org.* Recuperado el 01 de Febrero de 2018, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Insolaci%C3%B3n>

NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables. (2018). *Eosweb.larc.nasa.gov.* Retrieved 15 de Enero de 2018, de https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=096100&lat=9.937&hgt=100&submit=Submit&veg=17&sitelev=1193&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid_id&p=swv_dwn&p=exp_dif&p=avg_dnr&p=daylight&p=azi_ang&p=T10M&p=DLYRANGE&p=TSKIN_MN&step=2&lon=-84.069

Radiación directa, difusa y reflejada en Ecomateriales y construcción sostenible - wiki EOI de documentación docente. (2016). *Eoi.es.* Recuperado el 25 de Enero de 2018, de http://www.eoi.es/wiki/index.php/Radiaci%C3%B3n_directa,_difusa_y_reflejada_en_Ecomateriales_y_construcci%C3%B3n_sostenible

Residential Solar Hot Water Tanks | Solar Hot Water Storage Tanks. (2018). Silicon Solar Store. Recuperado el 30 de Enero de 2018, de <http://www.siliconsolar.com/residential-solar-hot-water-tanks.html>

Tasa Interna de Retorno (TIR). Economipedia.com. Recuperado el 03 de Febrero de 2018 de <http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

Tipos de Calentadores Solares | Cemaer. (2018). Cemaer.org. Recuperado el 01 Febrero 2018, de <http://www.cemaer.org/tipos-de-calentadores-solares/>

Valor Actual Neto (VAN). Economipedia.com. Recuperado el 03 de Febrero de 2018 de <http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

www.sammler.gr - Solar collectors - ALTER serie. (2018). Sammler.gr. Recuperado el 25 de Enero de 2018, de <http://sammler.gr/details2.php?lang=2&wh=1&the1id=2&the2id=21&theid=21&open1=2&open2=21&thepid=72&page=1>

APÉNDICE 1: Fotografías equipos actuales

Equipos Torre Sur



Figura A.1 Tanques de almacenamiento y calentador a Gas de Torre Sur

Fuente: Propia



Figura A.2 Presión y temperatura de trabajo de Torre Sur

Fuente: Propia

Equipos Torre Norte



Figura A.3 Sistema de calentamiento a vapor de Torre Norte

Fuente: Propia



Figura A.4 Temperatura de operación y datos tanque almacenamiento de Torre Norte

Fuente: Propia

APÉNDICE 2: Fichas técnicas Colectores solares



STS 301

1 Description of Collector

1.1 Technical Data of the Sample

Product information		Absorber	
Manufacturer	SAMMLER Solar	Absorber element	Aluminium sheet
Model	ALTER 2504	Length of absorber element	1950.0 mm
Type	Flat plate collector	Width of absorber element	1159.0 mm
Flow	Serpentine	Thickness of absorber element	0.50 mm
Serial product	Yes	Coating	Ceramic-metal-structure (Cermet)
Drawing number	A complete set of technical drawings is filed at the test institute.	Flowed through element	Copper pipe
Serial number	01523	Joining technique	Laser welded
Date of manufacture	01.07.2010	Joining seam	--
Physical parameters		Installation	
Gross length	2.046 m	On tilted roof	Yes
Gross width	1.246 m	In tilted roof	Yes
Gross height	0.090 m	On flat roof	No
Gross area	2.549 m ²	On flat roof with stand	Yes
Aperture area	2.288 m ²	Facade	No
Absorber area	2.260 m ²	Casing and insulation	
Weight empty	53.0 kg	Casing material	Aluminium
Fluid capacity	1.8 l	Sealing material	Polyurethane sealant, Silicone
Construction		Insulation material	Glass wool, Mineral wool
Type	Flat plate collector	Thickness (in mm)	20, 55
Number of absorber elements	1	Aperture dimensions	1.967 m * 1.163 m
Absorber pitch	90.0 mm	Limitations (manufacturer information)	
Number of hydraulically parallel tubes	1	Max. temperature	Not specified
Number of thermally serial glazings	1	Max. operating pressure	10 bar
Material of glazing(s)	Toughened glass	Other	--
Thickness of glazing(s)	4.0 mm	Remarks on collector design	
Heat transfer fluid (manufacturers' recommendation)		--	
Type	Water-glycol	Test schedule	
Specifications	--	Test procedure	EN12975:2006, Outdoor test
Flow range (manufacturers' recommendation)		Sample received	09.08.2010
Flow range	90 - 200 l/h	Start of test	12.08.2010
Rated flow rate	150 l/h	End of test	30.11.2010

2.3 Power Output

2.3.1 General

Flow rate during test	160.0 l/h
Fluid for tests	33.3 Vol-% ethylene glycol
Test method	stationary (steady state)
Geographical position of test site	47.2°N / 8.8°O, 417 m NN
Collector tilt angle	tracked (45±5)°
Collector azimuth angle	tracked (0±48)°
Definition of efficiency	$\eta = \dot{Q} / A \cdot G$
Thermal output power of collector	\dot{Q}
Reference area	A
Solar irradiance	G
Solar irradiance on reference area	A · G
Efficiency equation	$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T_m - a_2 \cdot G \cdot T_m^2$
Temperature at collector inlet	T_{in}
Temperature at collector outlet	T_{ex}
Ambient temperature	T_a
Mean collector temperature	$T_m = (T_{in} + T_{ex}) / 2$
Reduced collector temperature	$T_m' = (T_m - T_a) / G$
Solar irradiance for efficiency diagrams	G = 800 W/m ²

2.3.2 Power output per collector unit

2.3.2.1 Peak power

Peak power W_{peak} per collector unit for normal incident irradiation of 1000 W/m².

$$W_{peak} = 1846 \text{ [W]}$$

2.3.2.2 Diagram

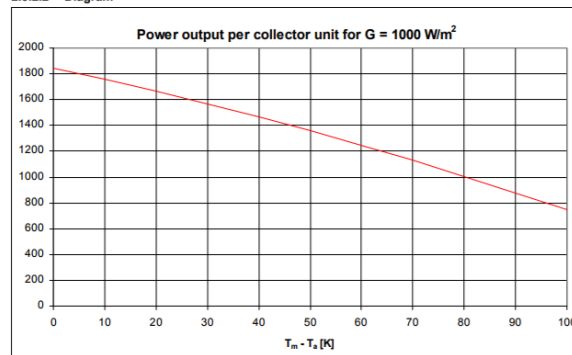


Fig. 2.2: Power output per collector unit at irradiance G = 1000 W/m²

2.3.2.3 Power output per collector unit

$T_m - T_a$	Global irradiance G		
	G=400 W/m ²	G=700 W/m ²	G=1000 W/m ²
10 K	661 W	1205 W	1759 W
30 K	462 W	1015 W	1569 W
50 K	252 W	805 W	1359 W

2.7 Pressure Drop

2.7.1 Diagram

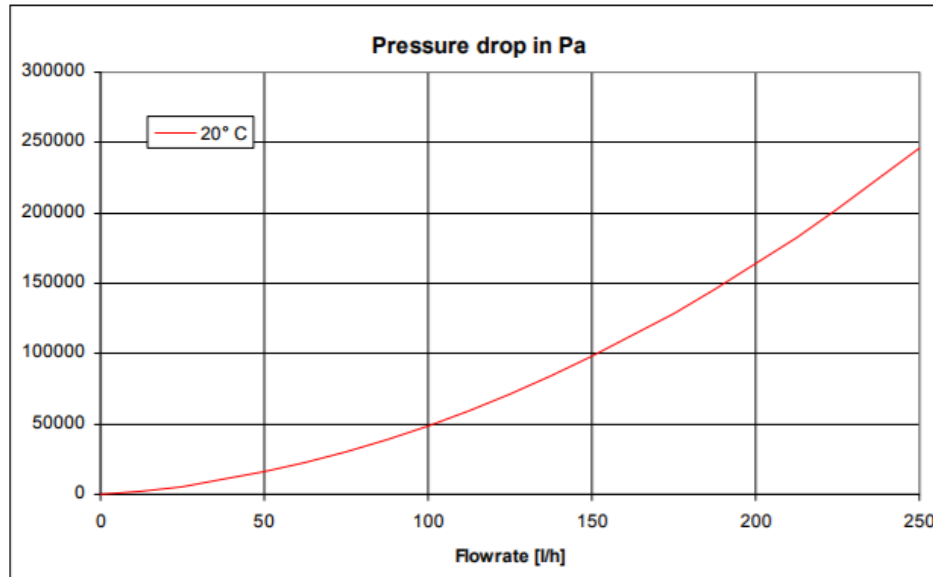


Fig. 2.5: Pressure drop as a function of volume flowrate

2.7.2 Pressure drop at rated flowrate

Conditions:

$T_m = 20^\circ\text{C}$ and $dV/dt = 150 \text{ l/h}$

$\Delta p = 97887 \text{ Pa}$

2.7.3 Table of pressure drop data in Pa

Conditions:

$T_m = 20^\circ\text{C}$

Flow rate [l/h]	0	50	100	150	200	250
Pressure drop [Pa]	0	15990	48619	97887	163794	246341

Figura A.5 Ficha técnica Colector SAMMLER Alter 2504

Fuente: Ficha técnica SAMMLER Alter 2504

1 Description of Collector

1.1 Technical Data of the Sample

Product information		Absorber	
Manufacturer	SAMMLER Solar	Absorber element	Aluminium sheet
Model	ALTER 2004	Length of absorber element	1950.0 mm
Type	Flat plate collector	Width of absorber element	969.0 mm
Flow	Serpentine	Thickness of absorber element	0.50 mm
Serial product	Yes	Coating	Ceramic-metal-structure (Cermet)
Drawing number	A complete set of technical drawings is filed at the test institute.	Flowed through element	Copper pipe
Serial number	01523	Joining technique	Laser welded
Date of manufacture	01.07.2010	Joining seam	--
Physical parameters		Installation	
Gross length	2.047 m	On tilted roof	Yes
Gross width	1.047 m	In tilted roof	Yes
Gross height	0.090 m	On flat roof	No
Gross area	2.143 m ²	On flat roof with stand	Yes
Aperture area	1.896 m ²	Facade	No
Absorber area	1.880 m ²		
Weight empty	45.0 kg	Casing and insulation	
Fluid capacity	1.5 l	Casing material	Aluminium
		Sealing material	Polyurethane sealant, Silicone
		Insulation material	Glass wool, Mineral wool
		Thickness (in mm)	20, 55
		Aperture dimensions	1.967 m * 0.964 m
Construction		Limitations (manufacturer information)	
Type	Flat plate collector	Max. temperature	Not specified
Number of absorber elements	1	Max. operating pressure	10 bar
Absorber pitch	90.0 mm	Other	--
Number of hydraulically parallel tubes	1		
Number of thermally serial glazings	1	Remarks on collector design	
Material of glazing(s)	Toughened glass	--	
Thickness of glazing(s)	4.0 mm	Test schedule	
Heat transfer fluid (manufacturers' recommendation)		Test procedure	EN12975:2006, Outdoor test
Type	Water-glycol	Sample received	09.08.2010
Specifications	--	Start of test	12.08.2010
		End of test	02.12.2010
Flow range (manufacturers' recommendation)			
Flow range	90 - 200 l/h		
Rated flow rate	150 l/h		

2.3 Power Output

2.3.1 General

Flow rate during test	135.0 l/h
Fluid for tests	33.3 Vol-% ethylene glycol
Test method	stationary (steady state)
Geographical position of test site	47.2°N / 8.8°O, 417 m NN
Collector tilt angle	tracked (45±5)°
Collector azimuth angle	tracked (0±48)°
Definition of efficiency	$\eta = \dot{Q}/A \cdot G$
Thermal output power of collector	\dot{Q}
Reference area	A
Solar irradiance	G
Solar irradiance on reference area	A · G
Efficiency equation	$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T_m' - a_2 \cdot G \cdot T_m'^2$
Temperature at collector inlet	T_{in}
Temperature at collector outlet	T_{ex}
Ambient temperature	T_a
Mean collector temperature	$T_m = (T_{in} + T_{ex})/2$
Reduced collector temperature	$T_m' = (T_m - T_a)/G$
Solar irradiance for efficiency diagrams	G = 800 W/m ²

2.3.2 Power output per collector unit

2.3.2.1 Peak power

Peak power W_{peak} per collector unit for normal incident irradiation of 1000 W/m².

$$W_{peak} = 1508 \text{ [W]}$$

2.3.2.2 Diagram

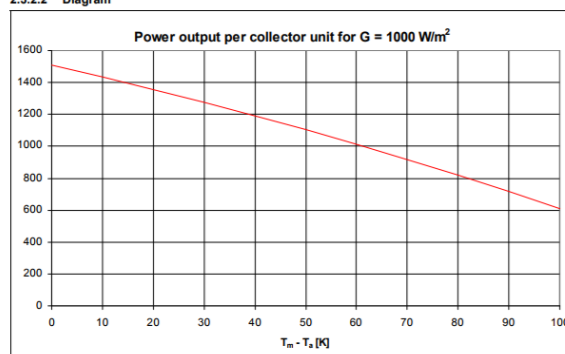


Fig. 2.2: Power output per collector unit at irradiance G = 1000 W/m²

2.3.2.3 Power output per collector unit

$T_m - T_a$	Global irradiance G		
	G=400 W/m ²	G=700 W/m ²	G=1000 W/m ²
10 K	530 W	982 W	1434 W
30 K	372 W	824 W	1276 W
50 K	199 W	652 W	1104 W

2.7 Pressure Drop

2.7.1 Diagram

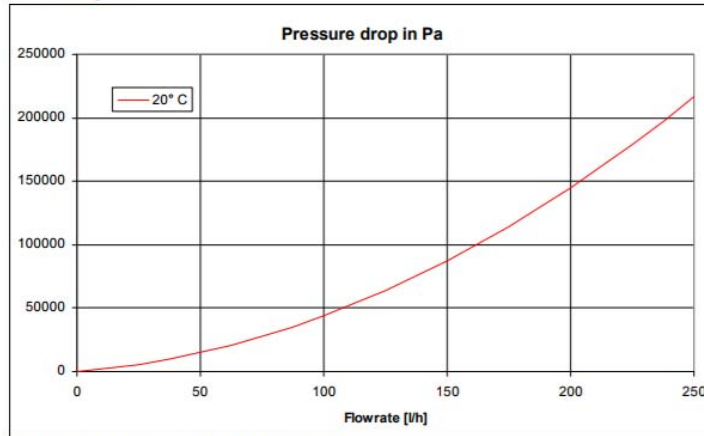


Fig. 2.5: Pressure drop as a function of volume flowrate

2.7.2 Pressure drop at rated flowrate

Conditions:
 $T_m = 20^\circ\text{C}$ and $dV/dt = 150 \text{ l/h}$
 $\Delta p = 87345 \text{ Pa}$

2.7.3 Table of pressure drop data in Pa

Conditions:
 $T_m = 20^\circ\text{C}$

Flow rate [l/h]	0	50	100	150	200	250
Pressure drop [Pa]	0	14910	44025	87345	144870	216600

Figura A.6 Ficha técnica Colector SAMMLER Alter 2004

Fuente: Ficha técnica SAMMLER Alter 2004

APÉNDICE 3: Cálculos adicionales

The screenshot displays the 'INSULATION HEAT LOSS CALCULATION' tool on the CHECALC website. The tool is designed to estimate heat loss from an insulated and bare horizontal steel pipe, along with the calculation of surface temperature.

Data Input Section:

- Pipe Size (inch):** 12
- Operating Temperature:** 124 °F
- Ambient Temperature:** 68 °F
- Wind Speed:** 8 mile/h
- Insulation Details:**
 - Insulation:** Fiberglass
 - Temperature Range (°F to 450°F):** (highlighted in green)
 - Surface Emmissivity (ε):** 0.90 - All Service Jacket
 - Thickness:** 1 inch

Result Section:

Category	Surface Temp.	Heat Loss	Units
Insulated Pipe	71.38	43.92	°F BTU/h/ft
Bare Pipe	123.83	641.19	°F BTU/h/ft

Additional features include a sidebar menu with categories like HOME, CALCULATIONS (Fluid Flow, Equipment, Heat Transfer, Vapor Liquid Equilibria, Agitation, Distillation, Instrument, Properties, Others), and CONTACT. A top navigation bar shows 'Home / Heat Transfer / Insulation Heat Loss'. A social media bar includes icons for Facebook, Twitter, and Email. A promotional banner for 'Aerogel Blanket For Sale' is visible at the bottom of the result area, along with 'CHE Guide' and 'Units' buttons.

Figura A.7 Cálculo de pérdida de calor en tubería aislada.

Fuente: Calculadora en línea CHECALC

APÉNDICE 4: Cotizaciones

Servicios Profesionales Electromecánicos Juan Carlos Calderon Perez www.electromecanicos-jc.com		Teléfono (506) 87295235 Turrialba Cartago C.R Ced-303300815-28 Gmail: electromecanicosjc@gmail.com	
COTIZACION DE TRABAJOS CASA MÁQUINAS CALDERÓN GUARDIA			
CLIENTE: CCSS HOSPITAL CALDERON GUARDIA Dirección: SAN JOSE C.R		Fecha: 23/02/18 Validez 15 días	
Línea	Descripción de trabajos a realizar	Cantidad	Precio
1.	Suministro e instalación de sistema de calentamiento de agua con colectores solares completo para Casa Máquinas Torre Norte.	01	₡ 132.561.660
			SUBTOTAL: ₡ 132.561.660
			I.V.A 13% ₡ 0
			TOTAL: ₡ 132.561.660
OBSERVACIONES			
<ul style="list-style-type: none"> • Los colectores solares serán de la marca SAMMLER alemana con certificaciones de laboratorio de eficiencia. • La duración de los trabajos serán de 4 semanas calendario. • Sistema de bombeo será de marca grundfos. • La instalación de este sistema cumplirá con la norma vigente del Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias de Costa Rica. 			

Figura A.8 Costo sistema de colectores Torre Norte.

Fuente: Empresa Electromecánicos JC

Servicios Profesionales Electromecánicos Teléfono (506) 87295235
 Juan Carlos Calderon Perez Turrialba Cartago C.R Ced-303300815-28
www.electromecanicos-jc.com Gmail: electromecanicosjc@gmail.com

COTIZACION DE TRABAJOS CASA MÁQUINAS CALDERÓN GUARDIA

CLIENTE: CCSS HOSPITAL CALDERON GUARDIA
 Dirección: SAN JOSE C.R

Fecha: 23/02/18

Validez 15 días

Línea	Descripción de trabajos a realizar	Cantidad	Precio
1.	Suministro e instalación de sistema de calentamiento de agua con colectores solares completo para Casa Máquinas Torre Sur.	01	₡ 100.495.683,75

SUBTOTAL: ₡ 100.495.683,75

I.V.A 13% ₡ 0

TOTAL: ₡ 100.495.683,75

OBSERVACIONES

- Los colectores solares serán de la marca SAMMLER alemana con certificaciones de laboratorio de eficiencia.
- La duración de los trabajos serán de 5 semanas calendario.
- Sistema de bombeo será de marca grundfos.
- La instalación de este sistema cumplirá con la norma vigente del Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias de Costa Rica.

Figura A.9 Costo sistema de colectores Torre Sur.

Fuente: Empresa Electromecánicos JC