



Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Mecánica

Informe Final Introducción al Trabajo de Título - ME-69E

Desarrollo de Ingeniería Conceptual y Básica de un Laboratorio Nacional de Homologación para Sistemas de Energía Térmica Solar

Alumno: Manuel Cifuentes E.
Prof. Guía: Roberto Román
Prof. Co-Guía: Ramón Frederick
Prof. Integrante: Patricio Jorquera

Leído y Aprobado.

Semestre Otoño 2007

Resumen Ejecutivo

Dada la difícil situación energética actual y las excelentes condiciones radiativas presentes en el norte de Chile, se hace factible la promoción del uso de sistemas que utilicen la radiación solar como fuente de energía. En orden de introducir la masificación de este tipo de sistemas en el mercado, se hace necesario contar con una entidad que posea la capacidad de realizar pruebas sobre ellos con el fin de caracterizar su funcionamiento.

Se establece entonces como trabajo de título, el desarrollo de las etapas de ingeniería conceptual y básica de un laboratorio para la realización de pruebas de caracterización a sistemas solares térmicos de uso doméstico. El funcionamiento de este laboratorio se basará en las normativas vigentes actualmente en Chile, utilizando la instrumentación y metodologías adecuadas a las exigencias que en ellas se establezcan. Este laboratorio además deberá poseer la flexibilidad para poder ampliar sus capacidades anexando nuevos elementos de prueba.

Dentro de los alcances, al finalizar el trabajo de título se pretende tener desarrollado el proyecto a nivel de diagramas de flujo, tuberías, instrumentación, listado de elementos y el diseño de los equipos que así lo requieran. Este diseño se limitará a las áreas que tengan directa relación con la ingeniería mecánica dejando los espacios para introducir los elementos anexos relacionados con otras especialidades.

En base al objetivo general y con el fin de recopilar los antecedentes necesarios para su cumplimiento, se investigarán temas relacionados con los conceptos de energía solar, los tipos de colectores solares y sistemas existentes, las normativas vigentes a nivel nacional e instrumentación utilizada. Además se presentarán antecedentes de la situación de los proyectos relacionados con energía solar térmica tanto a nivel nacional como global, y la medida en que estos se ven influenciados por las capacidades de prueba existentes en los diferentes países.

Finalmente se presentará un esquema de trabajo para el desarrollo del proyecto, en donde se muestre la estructura principal de las etapas a concretar y los hitos importantes a cumplir.

ÍNDICE

Resumen Ejecutivo	I
1. Introducción	1
1.1. Objetivos Generales	2
1.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Alcances y Limitaciones	2
2. Antecedentes y Discusión Bibliográfica	4
2.1. Situación Global de los sistemas de energía solar	4
2.2. Situación Nacional de los sistemas de energía solar	5
2.3. Esquema de funcionamiento de un laboratorio para sistemas térmicos solares	6
2.4. Fenomenología de la energía solar térmica	8
2.4.1. Radiación Disponible en la Superficie Terrestre	8
2.4.2. Componentes Básicos de un Colector Solar Térmico	8
2.4.3. Ecuaciones Fundamentales de un Colector Térmico	9
2.5. Tipos de colectores térmicos solares	11
2.5.1. Colectores solares térmicos para líquidos	11
2.5.2. Colectores solares térmicos para aire	13
2.6. Tipos de sistemas térmicos solares	14
2.7. Situación normativa nacional	17
2.7.1. NCh2906/2 Caracterización y pronóstico anual del rendimiento de los sistemas solamente solar mediante métodos de ensayo en exterior	17
2.7.2. NCh2906/3 Procedimiento de ensayo para caracterizar el rendimiento de los sis- temas solar más suplementario	19
2.7.3. NCH2919/2 Métodos de ensayo para colectores solares - Procedimientos de En- sayo de calificación	20
2.8. Instrumentación	21
2.8.1. Medición de Radiación	21

2.8.2. Medición de Temperatura	21
2.8.3. Medición de Caudal	22
2.8.4. Medición de Presión	23
2.9. Sistemas de Piping y Bombas	23
2.10. Datos de Radiación y Meteorológicos de Calama	24
2.11. Metodología General	24
3. Metodología Específica	25
4. Temario tentativo documento de memoria	27
5. Carta Gantt	28
6. Recursos necesarios	30
7. Bibliografía	31
8. Comentarios y Conclusiones	33
8.0.1. Observaciones	33
8.0.2. Conclusiones del período de práctica	34

Capítulo 1

Introducción

Durante la última década la utilización de las fuentes de energía tradicionales se ha visto cuestionada tanto por motivos ambientales como económicos. La mayor cantidad de estas fuentes son del tipo no renovable y provienen de la quema de combustibles de origen fósil. En Chile, sólo el 19 % de las fuentes de energía son renovables, y el 81 % proviene de los combustibles fósiles [15].

Es por el motivo anterior que una serie de organismos nacionales competentes, tanto en el tema energético como empresarial, entre los que destaca la Comisión Nacional de Energía, han comenzado a impulsar la investigación y uso de nuevas fuentes de energía alternativa que se adecúen a las condiciones actuales de nuestro país.

Entre los tipos de energía no tradicionales actualmente utilizados en el mundo, la energía solar no solo ha sido desarrollada para el uso industrial, sino también para su uso a nivel doméstico. Esto entrega la posibilidad de instalar sistemas que permitan la utilización de este recurso en hogares ubicados en lugares remotos donde el acceso a otras fuentes de energía se dificulta. Pero también pudiendo ser utilizados en zonas urbanas como sistemas de apoyo a las fuentes tradicionales.

Los sistemas de energía solar, especialmente los sistemas térmicos para calentamiento de fluidos, se han convertido en una posibilidad atractiva como fuente de energía alternativa. Si además se considera el alto potencial de energía solar disponible en nuestro país, esencialmente en la zona norte, se hace factible promover el uso masivo de este tipo de instalaciones.

En el marco anterior se genera la necesidad de contar con una entidad que posea la capacidad técnica y metodológica de realizar pruebas a los nuevos sistemas solares que se introduzcan en el mercado, con el fin de homologarlos de acuerdo a las normativas nacionales actualmente vigentes.

1.1. Objetivos Generales

En base a las motivaciones dadas, se plantea el objetivo general del trabajo de título, el cual consistirá en desarrollar las etapas de ingeniería conceptual y básica en el diseño de un laboratorio para sistemas solares térmicos. Este laboratorio debe poseer la capacidad de desarrollar pruebas de caracterización sobre sistemas solares y pruebas de resistencia a medioambiente agresivo (pruebas de calificación) sobre colectores solares térmicos planos.

1.2. Objetivos Específicos

Con el propósito de llevar a cabo los objetivos generales propuestos, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Generación de diagramas flujo de bancos de pruebas para sistemas solares térmicos.
- Especificación de bombas, tanques de almacenamiento y en caso de ser necesario, intercambiadores de calor para bancos de pruebas.
- Dimensionamiento y especificación de válvulas, piping e instrumentación de bancos de pruebas.
- Generación de diagramas de tubería e instrumentación de los módulos para bancos de pruebas.
- Generación de diagramas de disposición (layout) de los elementos del laboratorio, con dimensiones generales.
- Especificación de los procedimientos requeridos por los distintos tipos de prueba abarcados.

1.3. Alcances y Limitaciones

Dentro los límites de alcance del tema de memoria, es importante destacar que se desarrollarán los temas que tengan directa relación con la ingeniería mecánica. Se dejarán los espacios necesarios para desarrollar los elementos que tengan relación con otras especialidades, a excepción de los sistemas de adquisición de datos que a pesar de no estar directamente relacionado con la especialidad se desarrollarán a nivel conceptual.

El diseño deberá realizarse de acuerdo a las normas relacionadas con el tema actualmente vigentes en Chile. En caso de ser requerido se utilizarán estándares y normativas internacionales.

El sistema de pruebas a diseñar se dimensionará para realizar pruebas solo a sistemas del tipo de uso doméstico (capacidad de almacenamiento $\leq 0,6m^3$). Sobre los elementos se limitará el diseño a solo aquellos que por sus características no se encuentren disponibles en el mercado.

Sobre las pruebas de calificación para colectores, se diseñarán los elementos para probar todo tipo de colectores solares excepto aquellos del tipo concentradores de seguimiento.

Además es importante mencionar que el alumno Sebastián Araneda H., realiza en forma paralela un trabajo de título que trata sobre el diseño de un banco de pruebas para colectores solares térmicos. La principal diferencia entre ambos trabajos de título, es que el tema del presente informe se enfoca en el diseño de un laboratorio con todos los elementos que debe contener para realizar pruebas sobre sistemas solares térmicos dando mayor énfasis en los sistemas de medición y procedimientos a utilizar. En cambio, el tema que desarrolla el alumno Sebastián Araneda H. se enfoca en el diseño de un banco de pruebas específico para colectores solares, y no sobre sistemas solares térmicos.

Se debe añadir que el banco de pruebas a diseñar por el alumno Sebastián Araneda H. se podrá anexas al laboratorio como un módulo adicional incrementando las posibilidades de prueba del laboratorio.

Capítulo 2

Antecedentes y Discusión Bibliográfica

En el presente capítulo se presentarán una serie de antecedentes obtenidos por medio de la investigación bibliográfica, que permiten iniciar el proceso de diseño propuesto como objetivo.

2.1. Situación Global de los sistemas de energía solar

Actualmente se han desarrollado una serie de tecnologías alrededor del mundo, que permiten la extracción de energía mediante la exposición de sistemas especialmente diseñados a la radiación solar. Estas tecnologías se pueden clasificar según su funcionamiento y el medio utilizado para la extracción energética, siendo los siguientes los tipos básicos:

- Sistemas solares térmicos.
- Sistemas solares fotovoltaicos.

Los cuales se diferencian tanto en principio de funcionamiento como en sus aplicaciones, teniendo en común la radiación solar como fuente energética.

Los tipos de conversión han evolucionado de acuerdo a los requerimientos que se presentan en los distintos campos de aplicación, siendo las fuentes de energía mediante la conversión térmica de especial importancia debido a su bajo costo en comparación con los tipos fotovoltaicos, lo que las hace de fácil acceso para su instalación tanto a nivel industrial como doméstico.

Los sistemas solares térmicos se basan en el calentamiento de fluidos como medio de transporte energético, y en países desarrollados se ha visto el potencial de utilización que tiene en zonas remotas y pequeñas urbes, donde se han utilizado estos sistemas para proveer de agua caliente a hogares, lo que induce ahorros en los costos energéticos. Un ejemplo importante de este desarrollo es el observado en Alemania, en donde hasta finales del año 2005, la superficie de colectores térmicos instalados alcanzaba los $6,7 * 10^6 [m^2]$, actualmente el 4 % de los hogares alemanes utiliza sistemas solares térmicos no contaminantes de forma sostenible. El crecimiento observado en la utilización de estos sistemas en

Alemania ha traído con sigo el aumento del volumen de ventas y la baja en los costos de producción de hasta un 25 % [17].

En el Libro Blanco de Energías Renovables, aprobado por la Unión Europea durante el año 1997, se previó que la superficie total de colectores instalada en Europa, debiese alcanzar $100[km^2]$ en el año 2010, es por este motivo que las empresa productoras de sistemas solares se encuentran trabajando en desarrollar nuevas tecnologías que sean más eficaces y económicas.

Junto con el crecimiento de los mercados para los sistemas térmicos solares, nace la necesidad de crear entidades que tengan como objetivo el regular la calidad y confianza de los productos que son introducidos por los fabricantes. La regulación se realiza mediante procesos de certificación y homologación, lo que a su vez crea la necesidad primaria de disponer de normativas en las que se especifiquen los aspectos y metodologías a seguir durante las pruebas de los productos. Es por los motivos anteriores que se crean laboratorios con el fin de realizar pruebas, basadas en normativas estándares en las que se especifican las cualidades a medir, y metodologías básicas a seguir.

Entre los laboratorios que actualmente funcionan en Europa, se destacan el Laboratorio de Captadores Solares del Instituto Tecnológico de Canarias (LABSOL), ubicado en la isla Gran Canaria, los servicios que ofrece LABSOL permiten a los fabricantes de captadores solares verificar el funcionamiento de sus productos e incorporar mejoras tecnológicas que aumenten su competitividad comercial. En Italia, se encuentra el Laboratorio de Calificación de Componentes Solares, perteneciente a la organización ENEA, dedicada a promover el desarrollo sustentable y la competitividad de Italia en temas energéticos y medio ambientales. Alemania posee el instituto Fraunhofer ISE, que al igual que los anteriores, se dedica a la investigación y pruebas en sistemas solares. En Estados Unidos opera la institución conocida como FSEC (Florida Solar Energy Center), perteneciente al estado de Florida, se dedica no solo a realizar pruebas, sino también a la búsqueda y desarrollo de nuevas tecnologías de energía solar. En Canadá se encuentra el laboratorio Bodycote Materials Testing, el cual junto a FSEC componen la agrupación SRCC (Solar Rating and Certification Corporation).

La importancia de estos laboratorios, es que les permite a los productores de sistemas solares poder competir, entregar productos de mayor calidad, y entregar confianza sobre las nuevas tecnologías que los fabricantes introducen al mercado.

2.2. Situación Nacional de los sistemas de energía solar

En la actualidad, la energía solar en Chile es utilizada a pequeña escala, de forma aislada, estas aplicaciones en su mayoría corresponden a la instalación de sistemas fotovoltaicos, utilizados para al-

imentar de electricidad a equipos de telecomunicaciones, sistemas de retransmisión de televisión y en algunos casos de electrificación rural. Bajo el marco del Programa de Electrificación Rural (PER), durante el periodo 1992-2000, se instalaron alrededor de 2500 soluciones individuales basadas en tecnología fotovoltaica, para alimentar a viviendas rurales, escuelas y postas de atención pública [15].

La aplicación de soluciones solares térmicas, se ha remitido a casos puntuales o del tipo artesanal. Existen también varios diseños experimentales desarrollados a nivel universitario, como por ejemplo el colector solar térmico construido por Heredia R. y Tapia V. [9] en la Universidad de Tarapacá, además del banco de pruebas para colectores solares desarrollado por la Universidad Federico Santa María.

A pesar de la pobre utilización, Chile posee un alto potencial de uso de sistemas solares, gracias a los excelentes niveles de radiación que se obtienen, especialmente en la zona norte, donde el promedio de irradiación diaria mínimo en Calama obtenida durante Julio del año 2005 superó los $4,8[\frac{kWh}{m^2}]$, y la máxima se obtuvo durante el mes de Diciembre superando los $8,8[\frac{kWh}{m^2}]$ [18].

Se justifica entonces fomentar la masificación del uso de equipos que utilicen esta fuente potencial de energía, para lo cual es fundamental la implementación de una entidad que se dedique a la revisión y homologación de los equipos solares térmicos.

2.3. Esquema de funcionamiento de un laboratorio para sistemas térmicos solares

El esquema de funcionamiento de los laboratorios investigados en el área de pruebas sobre sistemas solares térmicos, es similar en todos los casos. Se basa en una distribución por bloques, donde cada uno tiene asociada una función específica. Y la interconexión de una serie de bloques, crea una línea de prueba ya sea para colectores solares o sistemas térmicos.

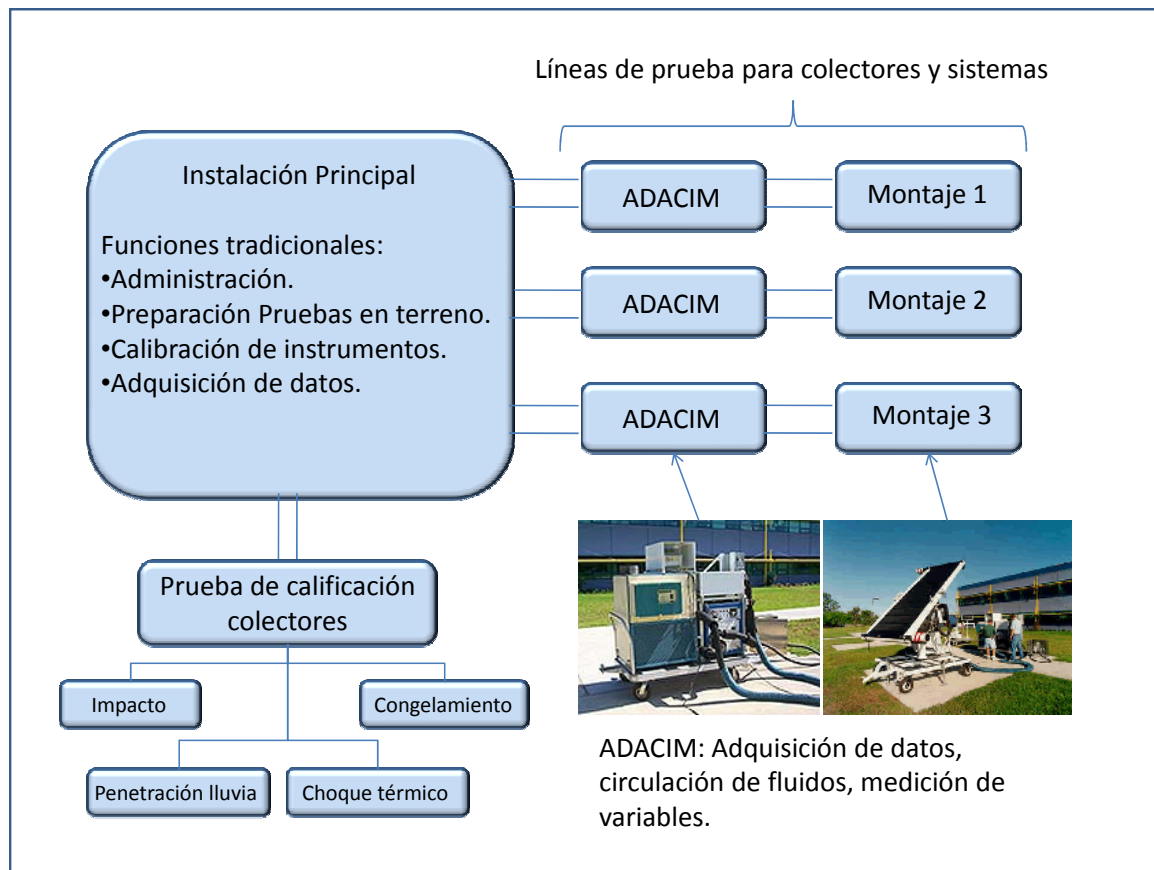


Figura 2.1: Esquema de un laboratorio para sistemas solares térmicos. Fotografías FSEC <http://www.fsec.ucf.edu/>.

En la figura 2.1 se muestra un ejemplo del esquema anteriormente descrito. Entre las ventajas que otorga esta forma de funcionamiento, se destacan la capacidad de realizar pruebas sobre varios sistemas y colectores al mismo tiempo, además otorga flexibilidad sobre los tipos de colectores y sistemas que puedan ser ensayados. También entrega la capacidad de incluir nuevos tipos de pruebas, al anexar bloques con nuevas características al laboratorio.

La configuración de los laboratorios descritos, requiere espacio abierto suficiente para exponer a la radiación solar los colectores y sistemas durante periodos que pueden llegar a prolongarse por varias semanas. Esto implica considerar la utilización de una superficie amplia, para el emplazamiento de un laboratorio.

2.4. Fenomenología de la energía solar térmica

La energía proveniente del Sol, tiene su origen en las reacciones nucleares que se producen en su interior, esta energía se transporta mediante procesos de convección y radiación desde su interior hasta la superficie, donde finalmente se emite al espacio exterior en forma de radiación.

2.4.1. Radiación Disponible en la Superficie Terrestre

De la radiación emitida por el sol, una parte es interceptada por la tierra, esta radiación es conocida como Radiación Extraterrestre, y es representada por la constante solar G_{sc} , la cual se conoce como la cantidad de energía por unidad de tiempo y superficie perpendicular a la dirección de propagación. Esta irradiación extraterrestre que incide sobre la tierra, interactúa de cierta forma con la atmósfera, motivo por el cual la radiación obtenida en la superficie de la tierra dependerá tanto de parámetros climáticos como atmosféricos.

La radiación obtenida en la superficie terrestre proviene de la radiación Extraterrestre Recibida por la tierra después de atravesar la atmósfera. La radiación total obtenida en la superficie terrestre se conoce como **radiación global**, la cual además se separa en dos componentes: **la radiación directa y la radiación difusa**. La radiación directa es aquella que viene directamente del ángulo sólido subtendido por el sol, a diferencia de la componente difusa, que corresponde a la radiación proveniente de todas direcciones, excepto la del ángulo sólido subtendido por el disco solar. La radiación difusa es integrada por la radiación que es desviada en la interacción con las moléculas y partículas en suspensión y por la radiación reflejada por las nubes.

La medición de la radiación a nivel terrestre, obteniéndose valores promedio diario o mensual sobre un plano horizontal permitirá obtener a través de un método adecuado, valores de la radiación horaria sobre una superficie inclinada. Este es el mismo tipo de comportamiento que tiene la radiación sobre un colector o red de colectores. Por lo que así se puede estimar la cantidad de energía entrante.

2.4.2. Componentes Básicos de un Colector Solar Térmico

Un colector puede ser considerado como un intercambiador de calor, el cual transforma la energía que proviene de la radiación solar en energía térmica. Los elementos básicos que componen un colector solar plano (figura 2.2) son:

- Cubierta transparente a la radiación (1 o más).
- Placa o superficie absorbente.

- Aislamiento posterior.

La función de la cubierta transparente consiste en disminuir las pérdidas por radiación, para lograrlo, deja pasar con facilidad la radiación cuya longitud de onda sea inferior a $3[\mu m]$ hacia el interior del colector, pero dificulta la salida de ondas largas que pueda emitir la superficie absorbente. La superficie absorbente se encarga de recibir la radiación y transformarla en calor, el cual mediante procesos de conducción y convección es transmitido al fluido que circula en su interior. Finalmente, la aislación posterior disminuye las pérdidas de calor hacia la zona posterior del colector.

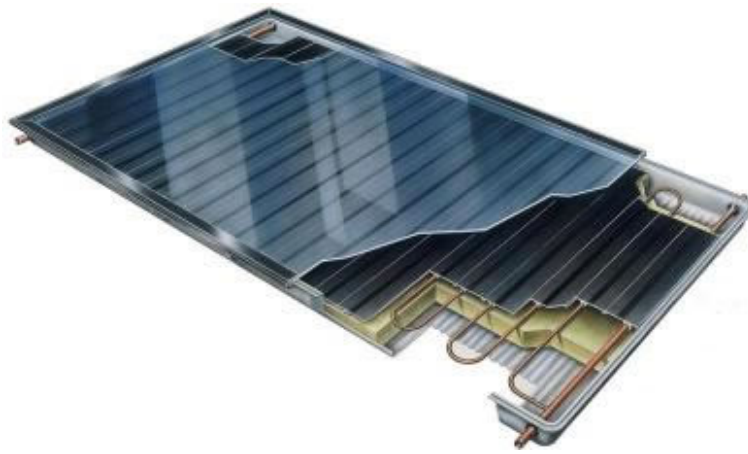


Figura 2.2: Fotografía de un colector solar común, <http://www.sertecso2005.com>.

2.4.3. Ecuaciones Fundamentales de un Colector Térmico

En régimen estacionario, el funcionamiento de un colector térmico queda descrito por un balance entre la energía solar incidente, la energía absorbida por el colector, la energía útil y las pérdidas. Considerando tanto las pérdidas de calor directas como indirectas, lo anterior se puede expresar en la siguiente ecuación para el calor útil[4]:

$$q_u = A_c \cdot [I_t \tau \alpha - U_L (\bar{t}_p - t_a)] \quad (2.1)$$

Donde los términos representan lo siguiente:

- q_u es la energía útil entregada por el colector $[W]$.
- A_c es el área de apertura total del colector $[m^2]$
- I_t es la radiación global sobre la superficie inclinable del colector $[\frac{W}{m^2}]$

- τ es la fracción de radiación total que llega hasta el absorbedor del colector solar, se conoce como transmitancia.
- α es la fracción de radiación que llega a la superficie del absorbedor y es absorbida, se conoce como absortancia.
- U_L es el coeficiente de pérdida de calor global del colector $[\frac{W}{m^2 \circ K}]$
- $\bar{t}_p$ es la temperatura promedio del absorbedor $[^{\circ}K]$.
- t_a es la temperatura ambiental $[^{\circ}K]$

A excepción del término $\bar{t}_p$, todos los valores de la ecuación 2.1 pueden ser determinados, es entonces que por conveniencia se reemplaza la temperatura promedio del absorbedor $\bar{t}_p$, por la temperatura del fluido de entrada al colector t_i , y para ello se introduce el factor de corrección F_R , quedando la ecuación que sigue:

$$q_u = F_R \cdot A_c \cdot [I_t \tau \alpha - U_L(t_i - t_a)] \quad (2.2)$$

El factor de corrección F_R , que fluctúa en $[0,1]$ también es conocido como factor de remoción de calor, y representa la relación entre el calor que el colector está entregando y el calor que podría entregar bajo la condición ideal de que el absorbedor se encontrara a una temperatura uniforme igual a la temperatura del fluido de entrada. Además se debe destacar que en la ecuación 2.2 el término t_i es función de las características de todo el sistema al cual el colector se encuentre conectado, en cambio, el término F_R , es solo afectado por las características del colector solar, el tipo de fluido utilizado y el caudal de fluido en circulación. Finalmente la ecuación 2.2 puede ser reescrita en términos de la eficiencia del colector, esto se logra dividiendo por la radiación total incidente sobre la apertura del colector $I_t \cdot A_c$, con lo que se obtiene:

$$\eta = F_R \tau \alpha - F_R U_L \cdot \frac{(t_i - t_a)}{I_t} \quad (2.3)$$

Para los efectos de pruebas sobre colectores solares térmicos, se pueden obtener curvas en base al rendimiento instantáneo del colector mediante la siguiente ecuación:

$$\eta_i = \frac{\dot{m} C_p (T_s - T_e)}{A_c G_T} [5] \quad (2.4)$$

Donde C_p representa el calor específico del fluido con que se realizan las mediciones, T_e representa la temperatura de entrada del fluido al colector y T_s representa la temperatura de salida. El valor A_c

representa el área colectora, y en un colector solar térmico típico de tubos, se puede obtener de $n \cdot d \cdot L$, donde n es el número de tubos que posee el colector, d es el diámetro de los tubos y L representa el largo. Finalmente G_T corresponde a la radiación global que llega a la superficie colectora.

2.5. Tipos de colectores térmicos solares

Los tipos de colectores térmicos solares utilizados varían dependiendo del tipo de fluido que utilicen. Estos se dividen en colectores para el calentamiento de líquido, colectores para el calentamiento de aire, y colectores para el calentamiento de fluidos con cambio de fase. El tipo de colector de uso más común para propósitos comerciales, residenciales e industriales de baja temperatura ($< 95^{\circ}\text{C}$) es el colector de placa plana.

2.5.1. Colectores solares térmicos para líquidos

El tipo de colector solar térmico para fluidos más utilizado, es el colector de placa plana, éste tipo colector está compuesto por un absorbedor plano, cubierto con una superficie (pintura) de color negro y puede poseer una o mas superficies cobertoras transparentes (ver figura 2.3). La superficie cobertora del colector, como se mencionó anteriormente, permite la entrada de radiación y es relativamente opaca a la radiación emitida por el absorbedor (radiaciones de onda larga), lo que provoca un efecto invernadero a su interior. Pero además tiene por objetivo reducir las pérdidas de calor por convección que se pueden producir en la superficie externa del absorbedor. Este tipo de colectores usualmente se encuentra en una caja aislada térmicamente lo que reduce las pérdidas de calor por conducción. Este tipo de colectores puede suministrar agua hasta temperaturas de 95°C , a pesar de que la eficiencia disminuye rápidamente cuando se alcanzan temperaturas por sobre los 70°C .

Las ventajas de los colectores de placa plana, son su bajo costo, la ausencia de piezas móviles que le brindan confiabilidad y facilidad de reparación y por sobre todo, la capacidad de absorber radiación difusa lo cual les da ventaja para ser utilizados en climas nublados.

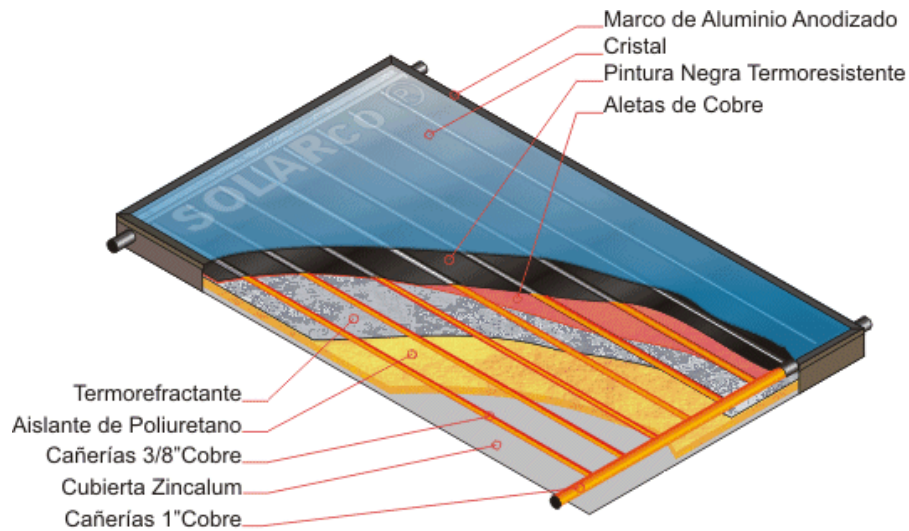


Figura 2.3: Ejemplo de un colector solar plano común y sus componentes, <http://www.solarco.cl>.

Un segundo tipo de colector utilizado en el calentamiento de líquidos, son los colectores de tubos concéntricos al vacío (ver figura 2.4). Este tipo de colector se compone de una serie de tubos absorbedores los cuales se encuentran cubiertos de forma concéntrica por tubos de vidrio, con el espacio entre los tubos al vacío. El propósito del vacío es la reducción de las pérdidas por conducción y convección en los cilindros absorbedores. Este tipo de colector puede absorber, al igual que los colectores de placa plana, tanto radiación directa como difusa, sin embargo, la configuración de este tipo de colector le brinda mayores niveles de eficiencia con respecto al colector de placa plana para mayores intervalos de ángulos de incidencia, es por esto que obtienen mejores resultados en pruebas a lo largo de un día promedio.

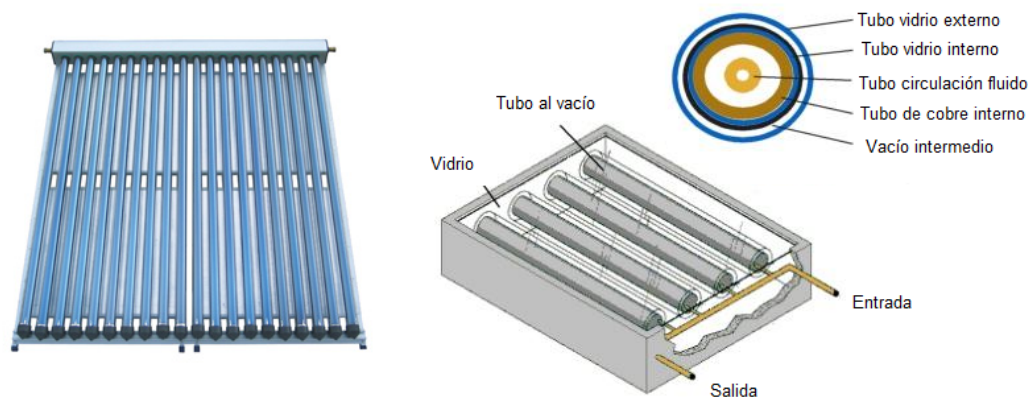


Figura 2.4: Ejemplo de un colector solar de tubos al vacío y sus componentes, <http://www.teknosolar.com>.

Un tercer tipo de colector, es el colector con almacenamiento integrado (ICS por sus siglas en inglés), este tipo de colector utiliza la superficie del dispositivo de almacenamiento como absorbedor, formando el colector en sí mismo. Al igual que los colectores de placa plana, el absorbedor (y tanque de almacenamiento para este caso) se monta al interior de una estructura aislada para disminuir las pérdidas por conducción, con una superficie abierta expuesta al sol. A pesar de que su simplicidad lo hace atractivo, este tipo de colector solo es utilizable en climas cálidos, y para propósitos en donde la capacidad de almacenamiento requerida sea pequeña.

2.5.2. Colectores solares térmicos para aire

Los colectores solares térmicos diseñados para el calentamiento de aire, son en construcción muy similares a los colectores de placa plana utilizado en el calentamiento de líquido. Estos poseen un absorbedor, montado en una caja aislada para reducir las pérdidas por conducción, y además pueden poseer una o más cubiertas transparentes.

La principal diferencia entre los colectores para líquido y para aire, se encuentra en el diseño interno del absorbedor (ver figura 2.5), en los colectores para aire se requiere un área de intercambio térmico mucho mayor al área requerida por los colectores para líquido, dado que el fluido de trabajo en este caso (aire), posee pobres cualidades para la transferencia de calor. Esto se resuelve permitiendo que el aire fluya por toda la superficie interna del absorbedor, a diferencia de los absorbedores para líquido en los cuales el fluido de trabajo circula confinado a canales diseñados con tal propósito.

Entre los diseños de este tipo de colectores, se pueden encontrar equipos que poseen ventiladores para la circulación del aire, como así también equipos que funcionan por convección natural. Entre las aplicaciones para este tipo de colectores se encuentra el calentamiento de interiores, utilizando directamente el aire obtenido desde el colector.

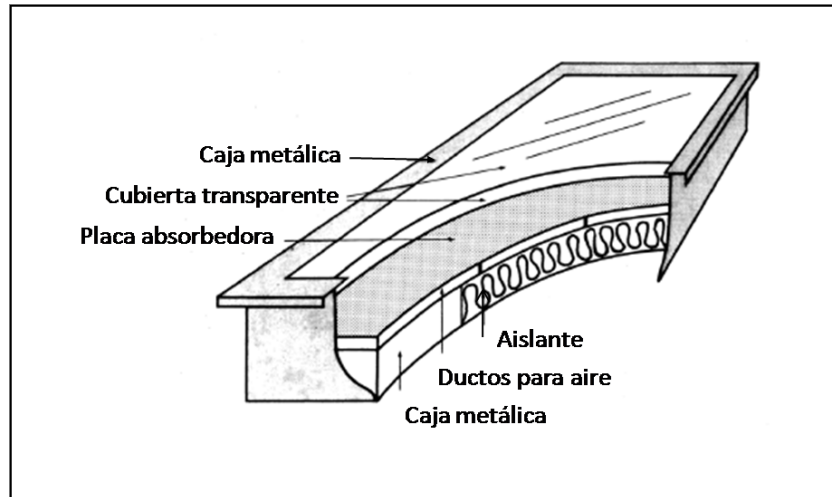


Figura 2.5: Ejemplo de un colector solar para aire[4].

2.6. Tipos de sistemas térmicos solares

Los sistemas térmicos solares se pueden clasificar dependiendo de las características de su funcionamiento y de su configuración. Existen dos clasificaciones básicas, la primera separa los sistemas de acuerdo a si el fluido de trabajo en el colector es directamente el fluido a utilizar o es un fluido intermedio de intercambio térmico, clasificándolos como:

- Sistemas directos.
- Sistemas indirectos.

Los sistemas solares directos, calientan el fluido a utilizar directamente a través del colector térmico solar, a diferencia de los sistemas indirectos, que utilizan un fluido de trabajo, el cual es calentado en los colectores térmicos, para luego circular a través de un intercambiador de calor y transferir energía al fluido final. Una ventaja de los sistemas directos es que permiten utilizar fluidos menos duros que el agua potable, además de la adición de anticongelante que permita la instalación de estos sistemas en zonas donde las temperaturas puedan ser bajas.

La segunda clasificación se basa en los elementos que permiten la circulación de los fluidos al interior del sistema, separándolos en las siguientes categorías:

- Sistemas de circulación forzada.

- Sistemas de circulación por termosifón.

Los sistemas térmicos solares de circulación forzada, son aquellos en que la circulación del fluido de trabajo se logra mediante el uso de algún dispositivo mecánico, como lo es una bomba. Estos sistemas además requieren algún sistema de control que comande el dispositivo encargado de la circulación. Los elementos básicos que forman un sistema de circulación forzada son los siguientes:

- Uno o más colectores solares.
- Depósito de acumulación/intercambiadores.
- Termostato diferencial o sistema de control.
- Sensores de temperatura.
- Bomba de circulación.
- Vaso de expansión.
- Válvulas.

En la imagen 2.6 se puede observar un esquema de un sistema tradicional, de calentamiento de agua, con circulación forzada utilizando bombas.

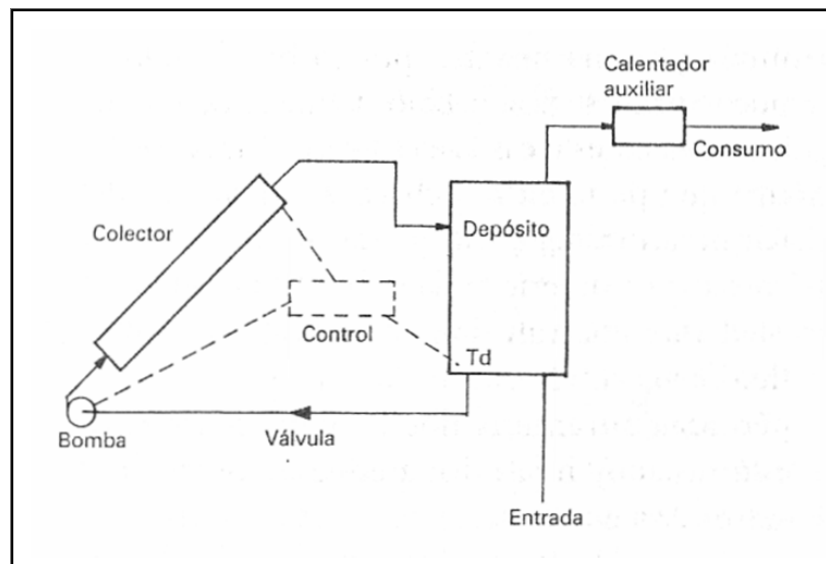


Figura 2.6: Sistema de calentamiento de fluido de circulación forzada[5].

Los sistemas térmicos solares de circulación natural, también conocidos como termosifón, son aquellos en que la circulación del fluido de trabajo a través del colector térmico solar se realiza de forma natural, debido a los cambios de densidad producto por el aumento de la temperatura del fluido. Los elementos básicos requeridos para obtener un sistema de circulación natural, son los siguientes:

- Uno o más colectores solares.
- Depósito de acumulación/intercambiadores(para sistemas indirectos).

En un sistema de circulación natural directo, el colector solar se encuentra conectado en un circuito cerrado y aislado térmicamente, con un depósito para el fluido caliente (ver figura 2.7). En caso de ser un sistema indirecto, el fluido calentado por el colector solar no es almacenado en el depósito, sino que circula a través de un intercambiador de calor que rodea al depósito, calentando el fluido en su interior.

Entre las ventajas que presentan los sistemas de circulación natural, una de las más destacadas es la ausencia de un sistema de control, esto se debe a que el sistema se auto regula de acuerdo a la cantidad de calor que está entregando el colector al fluido. La ausencia de un controlador y de partes mecánicas le otorga un alto nivel de confiabilidad. Por el contrario, una de las principales desventajas de este tipo de sistemas, es el requisito de posicionar el depósito en una zona a mayor altura que el colector, lo cual en algunos casos se puede transformar en un inconveniente por falta de espacio.

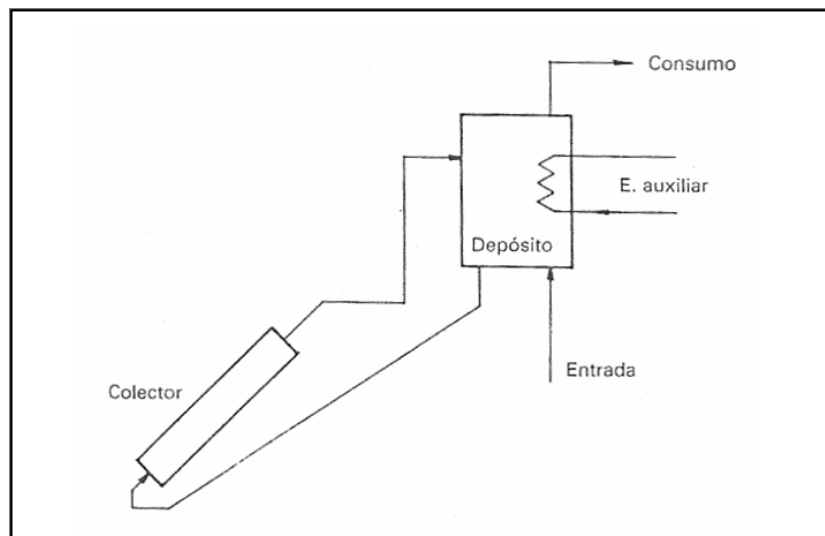


Figura 2.7: Sistema de calentamiento de fluido de circulación natural[5].

Además de los tipos de sistemas ya mencionados, existen una serie de otros tipos de clasificaciones de sistemas de acuerdo a características específicas de su diseño, entre ellos destacan los sistemas

integrales ICS, ya mencionado anteriormente, los sistemas abierto y ventilados, los sistemas con drenaje de retorno y sin retorno entre otros. Finalmente los sistemas se pueden clasificar de acuerdo a si la energía utilizada proviene exclusivamente de la radiación solar, o si además poseen algún sistema de calentamiento auxiliar.

2.7. Situación normativa nacional

El instituto encargado de la normalización en Chile, INN (Instituto Nacional de Normalización), posee una serie de normativas vigentes que se relacionan tanto con los colectores solares térmicos como con sistemas térmicos solares. Estas normativas han sido extraídas de normas internacionales ISO, y tienen por objetivo dar una pauta de como se deben realizar pruebas para caracterizar estos equipos.

Dado que el presente trabajo se centra en pruebas en exterior sobre sistemas solares térmicos, a continuación se introducen los alcances, objetivos y requerimientos que proveen las normativas nacionales vigentes en el INN, relacionadas directamente con la realización de pruebas sobre sistemas solares domésticos. Además se presentarán características generales de la norma NCh2919/2, que a pesar de ser aplicada a pruebas de durabilidad sobre colectores y no sistemas, se relaciona con las pruebas de calificación realizadas a colectores para líquido, lo cual se encuentra dentro de los objetivos.

2.7.1. NCh2906/2 Caracterización y pronóstico anual del rendimiento de los sistemas solamente solar mediante métodos de ensayo en exterior

Los objetivos de esta norma consisten en realizar las pruebas necesarias sobre sistemas solares térmicos destinados a uso doméstico, cuyo funcionamiento solo depende de energía solar, para poder realizar pronósticos sobre el rendimiento anual de estos sistemas en cualquier condición climática y de funcionamiento.

Los alcances de esta norma se limitan a realizar pruebas sobre sistemas que usen solo energía solar y no otra fuente de energía auxiliar. Además los sistemas a probar deben estar destinados al calentamiento de agua potable para uso doméstico con dispositivo de almacenamiento cuya capacidad sea inferior a $0,6[m^3]$. En general, esta norma se aplica para ensayar los sistemas como un único objeto funcional, y no la prueba de sus componentes, dado que su desarrollo se basa en considerar el sistema solar térmico como una caja negra.

Para poder realizar pruebas bajo esta norma, se requiere cumplir con los requisitos que ella estipula tanto a metodologías, instrumentación e instalación. Las variables a medir durante las pruebas descritas en la norma junto con los requisitos especificados se pueden observar en el siguiente listado:

- Radiación solar: Se deben medir radiación solar difusa y directa, con piranómetro estándar de primera clase que cumpla con ISO 9060.
- Temperatura: Las temperaturas deben ser medidas de acuerdo a lo observado en la tabla 2.1, además los instrumentos deben tener un tiempo de respuesta inferior a $5[s]$.
- Flujo líquido: Se debe medir con un error inferior al 1 % en exactitud. En sistemas de circulación forzada, en el circuito del colector se debe medir caudal con exactitud dentro de $\pm 5\%$.
- Tiempo transcurrido: La exactitud de la medición del tiempo transcurrido debe ser $\pm 0,2\%$.
- Velocidad del aire circundante: Se debe medir con instrumento y sistema lector que puedan determinar el promedio integrado de velocidad del aire, con una exactitud de $\pm 0,5[\frac{m}{s}]$.

Tabla 2.1: Requisitos de medición de temperatura

Temperatura	Exactitud	Precisión
Aire ambiente	$\pm 0,5[^\circ K]$	$\pm 0,2[^\circ K]$
Agua de entrada	$\pm 0,1[^\circ K]$	$\pm 0,1[^\circ K]$
Diferencia entrada-salida del sistema	$\pm 0,1[^\circ K]$	$\pm 0,1[^\circ K]$

Además se establecen requerimientos sobre las configuraciones y el tipo de materiales utilizados en las cañerías del sistema de ensayo. Estas deberán estar aisladas en sectores donde las pérdidas de calor pudiesen alterar las lecturas, soportar un mínimo de $95[^\circ C]$ y estar recubiertas en algunos sectores con elementos reflectantes a la radiación solar.

Sobre las condiciones ambientales en donde se realicen los ensayos, la norma exige que la velocidad del aire circundante se encuentre en el rango de $3[\frac{m}{s}]$ a $5[\frac{m}{s}]$ en dirección paralela al plano del colector. También exige que la radiación durante los intervalos de ensayo diarios fluctúe entre $8[\frac{MJ}{m^2}]$ y $25[\frac{MJ}{m^2}]$.

Con respecto al procedimiento que establece esta norma, en forma general este se compone de una serie de ensayos que tienen un día de duración. En cada día de ensayo, el sistema se acondiciona mediante la circulación de agua a temperatura controlada, luego se deja funcionando en exterior, es decir expuesto a la radiación. Debe estar instalado de acuerdo a las indicaciones que entrega el fabricante además de algunas especificaciones que entrega la norma. Finalmente se realiza una descarga única del sistema completo al final del día. Se realizan mediciones tanto de la radiación incidente, como de la temperatura del agua de descarga.

2.7.2. NCh2906/3 Procedimiento de ensayo para caracterizar el rendimiento de los sistemas solar más suplementario

Los objetivos de esta norma consisten en realizar las pruebas necesarias sobre sistemas solares térmicos con apoyo auxiliar destinados a uso doméstico, para poder realizar pronósticos sobre el rendimiento anual de estos sistemas en cualquier condición climática y de funcionamiento. Estos sistemas utilizan la energía solar en conjunto con una fuente auxiliar para calentar el líquido, esta fuente auxiliar puede funcionar a base de electricidad o de algún combustible fósil.

Los alcances de esta norma se limitan a la realización de pruebas a sistemas solares domésticos de calentamiento de agua potable, donde el colector solar y el dispositivo de almacenamiento se exponen a las mismas condiciones ambientales y su configuración permite monitorear de forma separada el consumo de energía por parte del calentador auxiliar. Al igual que la norma anterior, dado que para los ensayos el sistema se considera como una caja negra, el objeto de esta norma es realizar pruebas sobre el sistema completo y no a componentes individuales.

Sobre los requerimientos de medición de esta norma, se aplican los mismos encontrados en la norma NCh2906/2, pero también se requiere la medición de algunos parámetros adicionales:

- Diferencia de temperatura a través de la fuente auxiliar térmica con exactitud y precisión de $\pm 0,1 [^{\circ}K]$.
- Para fuente auxiliar eléctrica, se requiere medir la energía consumida por esta, con exactitud $\pm 1 \%$.
- Para fuente auxiliar de combustible fósil, se requiere medir caudal másico de combustible con exactitud $\pm 1 \%$.

Sobre las condiciones ambientales, esta norma exige que el aire circundante en torno a los colectores de los sistemas probados circule a una velocidad entre $3 [\frac{m}{s}]$ y $5 [\frac{m}{s}]$, además limita la variación permitida de la radiación solar diaria durante el periodo a no más de $5 [\frac{MJ}{m^2}]$.

El procedimiento de ensayo establecido por esta norma se divide en dos etapas, en la primera se realizan una serie de cuatro periodos de ensayos no solares, para determinar si el sistema es capaz de entregar la temperatura especificada por el fabricante cuando la entrada solar es cero. La segunda etapa consiste en realizar una serie de ensayos, con el sistema funcionando normalmente, pero exigiéndole distintos niveles de descarga, para así obtener resultados en un rango de niveles de funcionamiento, en este caso, se deben por lo menos registrar siete períodos estable de cinco o mas días de funcionamiento.

2.7.3. NCH2919/2 Métodos de ensayo para colectores solares - Procedimientos de Ensayo de calificación

El objetivo principal de las normas de calificación para colectores solares térmicos, es de determinar las características de durabilidad y resistencia de los colectores solares a agentes degradantes externos. Esto es de vital importancia cuando se está evaluando la calidad de un colector o sistema solar térmico.

Esta norma es aplicable a todos los tipos de colectores solares, incluyendo los sistemas acumuladores integrales, pero exceptuando los colectores concentradores de seguimiento. También es importante destacar que esta norma define los procedimientos de ensayo bajo condiciones claras y repetibles, pero no incluye un criterio pasa/falla para los resultados obtenidos.

A continuación se presentan los tipos de ensayos de calificación que abarca esta norma:

- Ensayos de presión interna para absorbedores.
- Ensayos de resistencia a alta temperatura.
- Ensayos de exposición.
- Ensayos de choque térmico externo.
- Ensayos de choque térmico interno para colectores de calentamiento de líquido.
- Ensayos de penetración de lluvia.
- Ensayos de congelamiento.
- Ensayos de resistencia al impacto.

Entre los requerimientos adicionales de instrumentación mencionados en esta norma se deben destacar dos:

- Manómetro para líquido (agua) con exactitud de $\pm 5\%$.
- Balanza con exactitud de $\pm 20[gr]$.

Sobre los procedimientos, es importante mencionar que para cada tipo de prueba se requieren condiciones simples de montaje y metodología. La norma no exige realizar las pruebas en ningún orden específico, y según el criterio del laboratorio, algunas pueden ser omitidas.

2.8. Instrumentación

De acuerdo a lo obtenido de la revisión de las normativas vigentes, con el objetivo de poder realizar pruebas sobre sistemas, se deben tomar medidas de los siguientes tipos de parámetros:

- Medición de Radiación.
- Medición de Temperatura.
- Medición de Caudal.
- Medición de Velocidad del aire circundante.

2.8.1. Medición de Radiación

Para poder realizar las mediciones de radiación, se debe disponer de un instrumento conocido como piranómetro, el cual posee la capacidad de medir la radiación global incidente en el plano en el cual este se instale. Además se pueden obtener mediciones de la radiación difusa, para esto se debe utilizar un disco conocido como parasol, el cual se instala sobre el piranómetro suprimiendo la componente directa de la radiación global.

Los componentes básicos del sensor, son una cúpula de cristal transparente, un disco de color negro y una termocupla adherida al disco.

Este tipo de sensores se ha estandarizado de acuerdo a la norma internacional ISO 9060, en donde se clasifican en tres categorías, los de primera, segunda y tercera clase.

En las normas NCh2906/2 y NCh2906/3, se exige utilizar un piranómetro de primera clase o mejor para la realización de las mediciones durante las pruebas a sistemas.

2.8.2. Medición de Temperatura

Las mediciones de temperatura se deben realizar tanto en el interior de ductos por los cuales circula líquido, como en el exterior para medir temperatura ambiente.

En el estándar industrial actual, existen varios tipos de instrumentos para medir temperatura, basados en distintos tipos de fenómenos. Dada las características de la aplicación son de especial interés dos tipos de sensores, los sensores de tipo termocupla (termopar), y los sensores RTD (Resistance Temperature Detectors).

Los sensores de tipo termocupla (termopar) se basan en el principio de Seebeck, según el cual la unión de dos metales diferentes ante la presencia de un gradiente de temperatura, producirán un fuerza electro motriz, la cual puede ser registrada y asociada a un valor de temperatura.

El segundo tipo de sensores de alto uso tanto a nivel industrial como de laboratorio, son los sensores de tipo RTD, estos se basan en el principio que establece que la resistividad de un material varia con la temperatura. La construcción de este tipo de sensores utiliza básicamente tres tipos de materiales: níquel, cobre y platino, siendo este último de gran importancia, debido a que provee altos niveles de precisión y excelente reproducibilidad en las medidas. Uno de los tipo de RTD en base a platino mas conocido son las PT100, cuyo nombre proviene de los 100Ω de resistencia que posee a $0[^\circ C]$.

Los RTD fabricados en platino, acompañados de los elementos necesario para medir temperatura, pueden alcanzar niveles de exactitud de $\pm 0,01[^\circ C]$ [6]. Para ello se debe pasar por el proceso de calibración adecuado al rango en el que se desean realizar las mediciones.

Los sensores RTD además de clasificarse en el material del elemento sensor, también se pueden clasificar según el número de cables que posea y su construcción.

Los sensores RTD han sido clasificados por el estándar IEC-751 en dos tipo de tolerancia a la exactitud, los de clase A y los de Clase B. Los sensores de Clase A, poseen de forma estándar exactitud de $\pm 0,15[^\circ C]$ a $0[^\circ C]$, y los de clase B $\pm 0,15[^\circ C]$ a $0[^\circ C]$, estos valores se mejoran al utilizar un proceso de calibración de acuerdo al rango de trabajo necesario.

En base a las especificaciones de rango de trabajo, requerimiento de exactitud y tiempo de respuesta, se puede seleccionar el tipo correcto de sensor de temperatura a utilizar.

2.8.3. Medición de Caudal

Para la medición de caudal de fluido al interior de un ducto, existen varios tipos de sensores, los que se pueden dividir en medidores por presión diferencial, turbinas, medidores de desplazamiento positivo y rotámetros.

Las turbinas (ver figura 2.8) son uno de los tipos de medidores de caudal más populares cuando se desea medir y registrar la información de forma electrónica. El funcionamiento de los sensores de turbina se basa en el giro de un rotor rodeado por aletas, inducido por una corriente de fluido que viaja en sentido paralelo a su eje de rotación. Luego el giro del rotor induce un voltaje AC a través de una bobina montada en el exterior del fluido. La señal generada es pulsante y su frecuencia tendrá relación directa con el caudal que se desea medir. Este tipo de sensores es intrusivo por lo que producen pérdidas de carga en el fluido, lo cual debe ser considerado en la etapa de diseño de un sistema y de selección

del sensor.

La selección de un flujómetro de turbina debe ser acorde a las características de viscosidad del fluido a medir, los requerimientos de precisión y tiempo de respuesta, y del nivel de confiabilidad deseado. Esto último según la calidad de las partes móviles que posea sensor seleccionado.

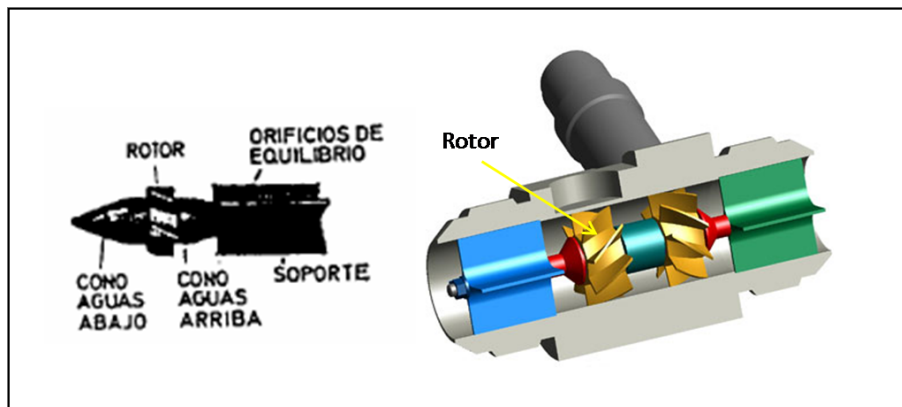


Figura 2.8: *Flujómetro de turbina*[6].

2.8.4. Medición de Presión

Para la medición de presión, se requiere la instalación de un manómetro de presión. Actualmente existe la posibilidad de instalar tanto un manómetro de presión mecánico, como uno manómetro electrónico. Para la selección del manómetro adecuado se debe considerar los requerimiento de exactitud exigidos por la instalación y la norma, el fluido de trabajo y si se desea utilizar adquisición electrónica de datos.

2.9. Sistemas de Piping y Bombas

Dadas las características del sistema a diseñar, se necesita utilizar piping para realizar el traslado del fluido entre las diferentes etapas del sistema. Para el tipo de aplicación y el tipo de fluido, existen dos posibilidades interesantes de piping que pueden ser utilizadas.

Una de las alternativas de piping, es la tubería fabricada en acero al carbono, estas se fabrican en variedad de diámetros, espesores y tipos de acero, siendo los de acero inoxidable una buena alternativa para trabajar con agua. La segunda alternativa consiste en la utilización de piping fabricado polietileno de alta densidad (HPDE), este material posee alta resistencia a la exposición climática y ha sido ampliamente utilizado en la industria del gas. Para el diseño del piping se considerarán las pautas dictadas

por el manual ASHRAE para aplicaciones de HVAC (heating, ventilating and air conditioning)[4].

Con respecto a las bombas, estas deben ser de circulación, y serán elegidas de acuerdo a las características del piping y los requisitos del procedimiento de la norma.

2.10. Datos de Radiación y Meteorológicos de Calama

Por las características de ubicación geográfica, y cercanía a zonas con alto potencial de uso de sistemas solares térmicos, Calama será considerada como una de las principales posibles localizaciones laboratorio. Es por este motivo que se obtienen datos tanto de la radiación local de la zona, como de algunas características meteorológicas que son de importancias para el diseño. Desde la base de datos de la WRDC (World Radiation Data Center)[18] se obtuvieron datos de la radiación promedio mensual y diaria para el año 2005, de una estación de medición ubicada en Calama. Además se obtuvieron datos de las velocidades del viento de la estación climática El Loa ubicada en Calama, donde se pueden observar las magnitudes promedio mensuales y su dirección, además el valor promedio anual alcanza los $8 \frac{m}{s}$.

2.11. Metodología General

La metodología general consistió, en una primera etapa, realizar una investigación sobre las tecnologías de sistemas y colectores más usadas a nivel mundial y su estado actual de desarrollo en Chile, además se investigó de los laboratorios y organizaciones dedicadas a las pruebas y homologación de este tipo de tecnologías y de las normativas vigentes en que se basan. También se investigó sobre los tipos de instrumentos que se utilizan en las pruebas que se realizan a sistemas solares térmicos y sus características.

En una segunda etapa, se realizará la ingeniería conceptual de los bancos de prueba, para esto se utilizará la información obtenida en la primera etapa, con el fin de seleccionar los instrumentos adecuados y su correcta ubicación, generar los diagramas de flujo y funcionamiento con sus respectivos componente y dimensionamiento básico.

En la etapa final de desarrollo del tema de memoria, se procederá a desarrollar la ingeniería básica, etapa en la que se diseñarán con mayor detalle elementos como el piping, los sistemas de bombeo y válvulas de control, todos calculados en base a la información obtenida durante las primeras dos etapas. Se determinarán los montajes adecuados de las cadenas instrumentales. Además se establecerán las metodologías básicas para la realización de pruebas y se diseñarán las metodologías para las pruebas futuras.

Capítulo 3

Metodología Específica

Para el desarrollo del tema de memoria propuesto, se seguirá la siguiente metodología específica. Se inicia con una primera etapa el desarrollo de la ingeniería conceptual del laboratorio, compuesta por los siguientes procesos:

- Establecer parámetros de diseño del laboratorio.
- Ingeniería conceptual de módulos de pruebas para sistemas.
 - Estudio normas y generación de diagramas de flujo para sistemas.
 - Identificación de las características y requerimientos de los equipos necesarios para pruebas de sistemas (dimensionamiento básico).
- Ingeniería conceptual de módulos para pruebas de calificación para colectores.
 - Identificación exhaustiva de los requerimientos de las normas y generación de los diagramas de flujo para las pruebas de calificación (si es aplicable a la prueba).
 - Identificación de las características y requerimientos de los equipos necesarios para las pruebas de calificación de colectores.
- Generación de diagrama de disposición básico de los elementos del laboratorio (dimensiones básicas).

Con las etapas de ingeniería conceptual terminados, se procederá a realizar la ingeniería básica de los módulos que se habrán establecido, siguiendo los siguientes procesos:

- Ingeniería básica de los módulos de pruebas para sistemas.
 - Diseño de los procesos, especificación y diseño de bombas, tanques y recipientes.
 - Dimensionamiento y especificación de válvulas, piping e instrumentación.
 - Preparación de diagramas de tuberías e instrumentación.

- Ingeniería básica de los módulos de pruebas de calificación para colectores.
 - Diseño de los procesos, especificación y diseño de bombas, tanques y recipientes.
 - Dimensionamiento y especificación de válvulas, piping e instrumentación.
 - Preparación de diagramas de tuberías e instrumentación.
- Generación de diagrama de disposición de los elementos del laboratorio con dimensiones generales.
- Generación de procedimientos requeridos para los tipos de pruebas.

La redacción del informe se realizará durante el desarrollo del trabajo. Además se destinará una última etapa para concluir la redacción del documento final y su revisión.

Capítulo 4

Temario tentativo documento de memoria

Se presenta un temario tentativo para el documento final de la memoria, se incluyen los temas principales a tocar.

- Introducción.
- Objetivos.
- Antecedentes.
 - Situación global.
 - Situación nacional (incluye situación normativa).
 - Tipos de colectores térmicos solares.
 - Tipos de sistemas térmicos solares.
 - Datos de radiación y meteorológicos del lugar de emplazamiento tentativo.
- Desarrollo del diseño.
 - Parámetros de diseño
 - Análisis de normas aplicadas a sistemas.
 - Análisis de normas de calificación para colectores.
 - Diseño conceptual.
 - Diseño y especificación de elementos específicos.
 - Especificación de metodologías.
- Comentarios y posibles mejoras.
- Conclusiones.
- Anexos (diagramas, planos, catálogos y normas).

Capítulo 5

Carta Gantt

En la figura 5.1 se puede observar la programación propuesta para el desarrollo del tema propuesto.

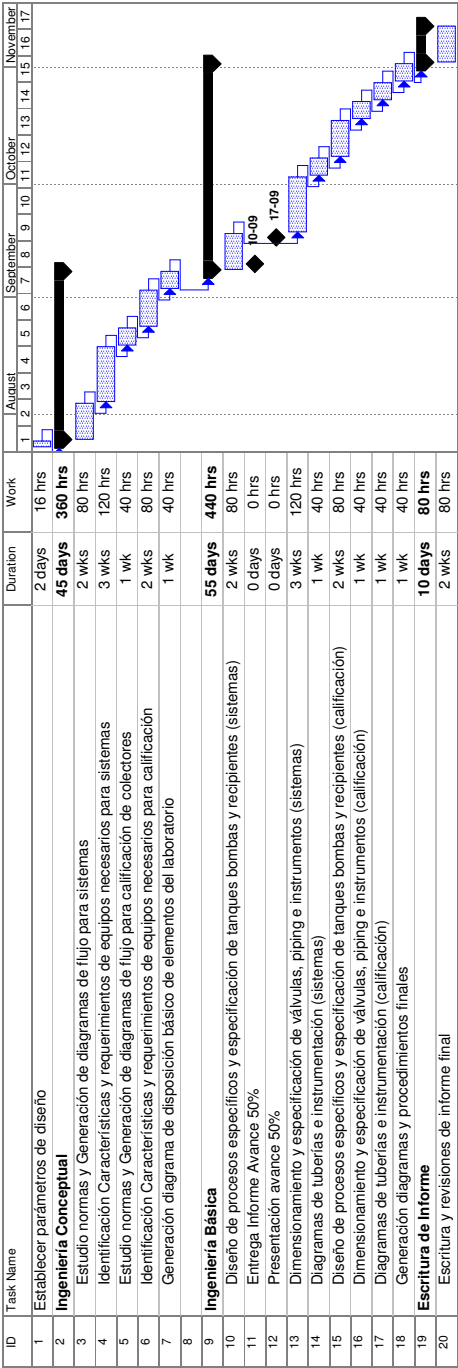


Figura 5.1: Carta Gantt para el desarrollo del tema.

Capítulo 6

Recursos necesarios

Para la realización de este tema de memoria, solo se requieren recursos del tipo no financieros. Estos recursos esencialmente se concentran en software computacional y referencia bibliográfica.

A continuación se listan los recursos de software que se estiman necesarios para el desarrollo del proyecto:

- Solid Edge V16.
- Intellicad.
- Adina.
- Femap.
- EPANET.

Es necesario destacar que todos los programas mencionados se encuentran disponibles en las dependencias del departamento. Sobre los requerimientos bibliográficos, fue necesario adquirir varias normas del instituto INN, las cuales se compraron con recursos dispuestos por el profesor guía.

Capítulo 7

Bibliografía

- [1] NCh2906/2.Of2004 *Energía solar - Sistemas domésticos de calentamiento de agua - Parte 2: Caracterización y pronóstico anual del rendimiento de los sistemas solamente solar mediante métodos de ensayo en exterior.*
- [2] NCh2906/3.Of2004 *Energía solar - Sistemas domésticos de calentamiento de agua - Parte 3: Procedimiento de ensayo para caracterizar el rendimiento de los sistemas solar más suplementario.*
- [3] NCh2919/2.Of2005 *Energía solar - Métodos de ensayo para colectores solares - Parte 2: Procedimientos de ensayo de calificación.*
- [4] ASHRAE *Handbook of Applications*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329, 1999.
- [5] Sardón J.M., *Energías Renovables para el Desarrollo*, Primera Edición, Paraninfo, España, 2003.
- [6] Bustillos O.P., *Instrumentación Industrial*, Departamento de Eléctrica - Universidad de Oriente, Venezuela, 2001.
- [7] Webster J.G., *The Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook*, Segunda Edición, CRC Press, Estados Unidos, 1999.
- [8] Junta de Castilla y León - ENREN, *Energía Solar Térmica: Manual del Arquitecto*, Castilla y León Consejería de Educación y Cultura, España, 2002.
- [9] Heredia R., Víctor, Tapia L., Juan, Flores C., Camilo et al. *Colector solar construido mediante taladrado por fluencia térmica*. Rev. Fac. Ing. - Univ. Tarapacá, ago. 2005, vol.13, no.2, p.65-70. ISSN 0718-1337.
- [10] Kratzenberg M.G., Beyer H.G., Colle S., *Uncertainty calculation applied to different regression methods in the quasi-dynamic collector test*, European Solar Conference, November 2006, vol.80, issue 11, p.1453-1462.

- [11] Campos C.A., *Optimización del proceso de producción de queso de cabra mediante energías alternativas*, Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Mecánico, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2004.
- [12] Gidi A., *Diseño construcción y prueba de un calentador solar de agua*, Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Mecánico, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 1989.
- [13] Convenio para el Impulso Tecnológico de la Energía Solar entre IDAE y e INTA. *Instalaciones de Energía Solar Térmica, Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*. España, octubre 2002.
- [14] FSEC, Florida Solar Energy Center, <http://www.fsec.ucf.edu>.
- [15] CNE, Comisión Nacional de Energía, <http://www.cne.cl>.
- [16] Omega Engineering INC., <http://www.omega.com>.
- [17] Renewavle made in Germany, Federal Ministry of Economics and Technology, <http://www.renewables-made-in-germany.com/>.
- [18] WRDC, World Radiation Data Centre, <http://wrdc.mgo.rssi.ru/>.