

DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA TERMOSOLAR DE ALIMENTACION PARA EL PROCESO DE DESTILACION DE AGUA EN EL LABORATORIO DE AMBIENTAL DE LAS UNIDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER

DIMENSIONING OF A THERMOSOLAR POWER SUPPLY SYSTEM FOR THE WATER DESTILLATION PROCES IN THE ENVIRONMENTAL LABORATORY FO THE UNIDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER

MSc. Brayan Eduardo Tarazona Romero^{*}, MSc. Camilo Leonardo Sandoval^{},
MSc. Javier Gonzalo Ascanio Villabona^{***}, MSc. Arly Dario Rincon Quintero^{****},
Ph. D. Daniel Alexander Velazco Capacho^{*****} and Tec. Rafael Eduardo Paez
Castro^{*****}**

Unidades Tecnológicas de Santander

Grupo de Investigación en Sistemas de energía, Automatización y Control GISEAC
Grupo de Investigación en Diseño y Materiales DIMAT
Grupo de Investigación en Control Avanzado GICAV
Calle de los Estudiantes # 9-82 Ciudadela Real de Minas. Bucaramanga, Santander,
Colombia.

E-mail: ^{*}btarazona@correo.uts.edu.co, ^{**}csandoval@correo.uts.edu.co,
^{***}jascanio@correo.uts.edu.co, ^{****}arincon@correo.uts.edu.co,
^{*****}dvelazco@correo.uts.edu.co ^{*****}rpaez@correo.uts.edu.co

Abstract: This paper describes the sizing of a thermo-solar coverage system to feed the water distillers in the Environmental Engineering laboratory located on the fourth floor of Building A of the Santander Technology Units, proposing a comparative study between three calculation methods (f-chart, instantaneous and TRNSYS) for the dimensioning of the solar catchment surface, the methodological development of the project is planned in stages which have implicit a series of activities. Initially, a search for information is carried out to establish the models to develop each of the calculation methods, additionally, technical data is collected from the laboratory equipment to determine the consumption of hot water. Subsequently, each of the calculation methods is applied in order to size the catchment surface, to finally carry out a comparative study between the results obtained, determining which is the most appropriate method for the calculation in order to project its design result. for its future implementation.

Keywords: Solar Collector, Water Heating, Distillation, Auxiliary System.

Resumen: El presente paper describe el dimensionamiento de un sistema de cobertura termo solar para alimentar los destiladores de agua en el laboratorio de Ingeniería Ambiental ubicado en el cuarto piso del Edificio A de las Unidades Tecnológicas de Santander, planteando un estudio comparativo entre tres métodos de cálculo (f-chart, instantáneo y ACSOL) para el dimensionamiento de la superficie de captación solar, el desarrollo metodológico del proyecto se plantea en etapas las cuales tienen implícitas una serie de actividades. Inicialmente se realiza una búsqueda de información para establecer los modelos para de desarrollar cada uno de los métodos de cálculo, adicionalmente se recopilan datos técnicos de los equipos de los laboratorios para determinar el consumo de agua caliente. Posteriormente se aplica cada uno de los métodos de cálculo con el fin de dimensionar la superficie de captación, para finalmente realizar un estudio comparativo entre los resultados obtenidos, determinando cuál es el método más adecuado para el cálculo con el fin de proyectar su resultado del diseño para su futura implementación.

Palabras clave: Colector Solar, Calentamiento de Agua, Destilación, Sistema auxiliar.

1. INTRODUCCION

Cada año la demanda energética en los países va aumentada conforme al crecimiento poblacional (Acquatella, 2008) y el desarrollo tecnológico (Morelos Gómez, 2016), acarreado un incremento en la utilización de fuentes de generación de energía convencionales como los combustibles fósiles (Ise et al., 2020), lo que con lleva su escasas a futuro de forma inevitable. Por lo tal, emerge la necesidad de buscar nuevas formas de generación de energía eléctrica (Sørensen, 2017) que sean eficientes y amigables con el medio ambiente(Noura Guimarães, 2020), como alternativa de transición para el cambio paradigmático del uso de combustibles fósiles (Bajpai, 2020).

Es así, como las energías renovables convencionales y no convencionales (Vakulchuk et al., 2020) tendrán un papel importante para la humanidad (Shao et al., 2020), diversos desarrollos en temas de aprovechamiento de la radiación solar a través de plantas termo solares a pequeña (Tarazona-Romero et al., 2020) o gran escala; con sistemas fotovoltaicas (Elamim et al., 2019) o de concentración solar (Antonelli et al., 2014) se han aplicado a nivel mundial como fuente de producción de energía eléctrica (Herez et al., 2020), así como el aprovechamiento de la biomasa (Gómez-Calvet et al., 2019), velocidad del viento (Yi & Kang, 2020), fuerza mareomotriz (Pearre et al., 2019), entre otros, diversificando su matriz energética.

Por lo tanto este trabajo está orientado al dimensionamiento de un sistema de aprovechamiento solar el cual permita la reducción de consumo de energía eléctrica de las resistencias utilizadas en los sistemas de destilación de agua de los laboratorios de Ingeniería Ambiental de las Unidades tecnológicas de Santander; estas resistencias tienen una potencia de 3 kW por equipo, el diseño busca la disminución del tiempo de tratamiento de agua que en condiciones de trabajo normal oscila en una producción de 4 litros por hora, por medio de la inyección directa del liquido caloportador (Agua) en los equipos, a una temperatura aproximada de 60° C, con el fin de disminuir el uso y consumo excesivo del mismo y

aprovechando el comportamiento climatológico de la Ciudad de Bucaramanga, siendo este muy estable durante todo el año en términos de radiación solar.

El desarrollo del sistema se realizará mediante un estudio comparativo de tres métodos diferentes de cálculo que son: Indirecto, F-chart y ASCOL 2.5, permitiendo un análisis completo y detallado del sistema para una futura implementación.

Con este proceso se busca contribuir al uso de medios de generación alternativos y renovables para disminuir porcentualmente el alto consumo de energía eléctrica de estos equipos y a su vez, reducir las emisiones de gases invernadero con lo que decrecerá la contaminación ambiental generada en las instalaciones de las Unidades Tecnológicas de Santander, a través del futuro uso de energías limpias e inagotables provenientes de la abundante radiación solar.

2. METODOS Y MATERIALES

2.1 Metodología

El desarrollo metodológico del trabajo es descriptivo, con un enfoque cualitativo empleado un método de análisis a tres algoritmos de cálculo (Instantáneo, F-chart y TRNSYS) para el dimensionamiento de sistemas de auxiliar termo solar para un equipo de destilación de agua, con el fin de realizar un dimensionamiento preciso. El procedimiento para desarrollar el proyecto se describe en una serie de etapas presentadas en el diagrama de flujo de la Figura 1.

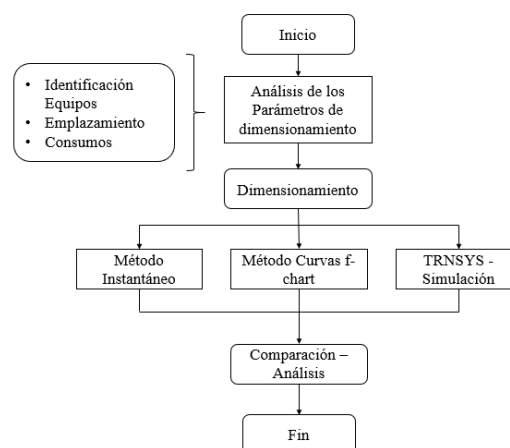


Figura 1. Diagrama flujo de trabajo

2.2 Métodos de análisis

El diseño y cálculo de instalaciones de ACS está supeditado al empleo y cumplimiento de las distintas normativas estatales y comunitarias. En el caso de España, el CTE en su DB-HE4 es el que establece las disposiciones legales que han de seguirse para el diseño de una instalación de producción de ACS basado en la necesidad de cubrir una parte de la demanda destinada a la producción de ACS.

En la actualidad existen distintos métodos de cálculo, desde simples procedimientos que consideran una situación estática (método indirecto), pasando por métodos semiestáticos basados en aproximaciones empíricas, hasta métodos complejos de simulación dinámica que permiten determinar el comportamiento real de la instalación (Barrera Gomez & Rodriguez Gozales, 2016).

A continuación, se describen tres métodos de dimensionado de sistemas para el calentamiento de agua que son:

2.2.1 Método Indirecto

Este método conocido también como instantáneo, se basa en emplear un procedimiento de cálculo en el que se consideran que todas las condiciones de funcionamiento son estáticas. Al ser un procedimiento manual este introduce un gran error en el dimensionado, pero en muchas ocasiones sirve como punto de partida inicial.

Por ello se compara la demanda de energía con la posible producción de energía que tendría la instalación si las condiciones ambientales y de funcionamiento se mantuvieran constantes a lo largo de todo un periodo de tiempo.

De esta forma, se exhiben los siguientes pasos con su respectiva ecuación matemática para la determinación de la superficie del ASC (Ruiz Gomez, 2010):

1. Determinación de la demanda energética aplicando el % de cobertura solar requerido. Para ello utilizamos la expresión:

$$D \text{ diaria} = C_{ac} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{ac} - T_{af}) \quad (1)$$

Donde:

C_{ac} = Consumo de agua caliente (l/día)

ρ = Densidad del agua (1 kg/l)

C_p = Calor específico del agua (4.190 J/kg °C)

T_{ac} = Temperatura del agua caliente (°C)

T_{af} = Temperatura del agua fría (°C)

2. Determinación del rendimiento del captador utilizado a partir de la expresión que relaciona la temperatura de trabajo y ambiental con el rendimiento empleando la ecuación de rendimiento de un captador solar.

3. Conocido el rendimiento, obtener la producción de energía por unidad de superficie multiplicando para ello el rendimiento por la irradiación solar incidente en el periodo de tiempo considerado. Para ellos se emplea la siguiente expresión:

$$P = I \cdot h \cdot \eta \quad (2)$$

Donde:

P: Producción de energía por unidad de superficie kWh/m²

I= Radiación media W/m²

h = Horas diarias de Sol

η = Rendimiento del captador

4. Obtenida la producción energética por unidad de superficie, dividiremos la demanda entre la producción para obtener la superficie necesaria para producir dicha demanda. Para ellos se emplea la siguiente expresión:

$$S = D \cdot (P)^{-1} \quad (3)$$

Donde:

P: Producción de energía por unidad de superficie kWh/m²

S= Energía por unidad de superficie m²

D = Demanda Energética diaria kWh/día

5. Finalmente, en función de la superficie de apertura de cada captador, determinaremos el número necesario dividiendo el área de captación obtenida entre la superficie de apertura, redondeando está a el número entero inmediatamente superior (Ruiz Gomez, 2010). Para ellos se emplea la siguiente expresión:

$$N = S \cdot (A_c)^{-1} \quad (4)$$

Donde:

N: Numero de captadores

S= Energía por unidad de superficie m²

A_c = Área de captador

2.2.2 Método de Cálculo F-Chart

El método F-Chart es un análisis que es útil para diseñar sistemas solares térmicos tanto de circulación forzada como termo sifónicos, especialmente para seleccionar el tamaño y el

tipo de colectores solares a suministrar que suplirán las demandas de ACS u otras cargas térmicas.

El objetivo del método es obtener la curva f y estimar el desempeño de un colector solar. La curva f representa la fracción de carga calorífica mensual transformada a partir de energía solar, siendo definida en función de dos parámetros: la energía absorbida (ganancia) y la pérdida por reflexión en el colector solar (Obaco & Jaramillo, 2010).

En cualquier caso, el método desarrollado aporta resultados relativamente fiables en sistemas centralizados, que sumados a la facilidad de implementación lo convierten en uno de los métodos de cálculo más extendidos.

La ecuación utilizada en este método puede apreciarse en la siguiente fórmula (Obaco & Jaramillo, 2010):

$$f = 1,029 D_1 - 0,065 D_2 - 0,245 (D_1)^2 + 0,0018 (D_2)^2 + 0,0215 (D_1)^2 \quad (5)$$

La secuencia que suele seguirse en el cálculo es la siguiente:

1. Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de A.C.S. o calefacción.
2. Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
3. Cálculo del parámetro D1
4. Cálculo del parámetro D2
5. Determinación de la gráfica f .
5. Valoración de la cobertura solar mensual.
6. Valoración de la cobertura solar anual y formación de tablas

Las cargas caloríficas determinan la cantidad de calor necesaria mensual para calentar el agua destinada al consumo doméstico, calculándose mediante la siguiente expresión:

$$Q_a = C_e C N (t_{ac} - t_r) \quad (6)$$

Dónde:

Q_a = Carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S. (J/mes)

C_e = Calor específico. Para agua: 4187 J/(kgA°C)

C = Consumo diario de A.C.S. (l/día)

t_{ac} = Temperatura del agua caliente de acumulación (°C)

t_r = Temperatura del agua de red (°C)

N = Número de días del mes

El parámetro D1 expresa la relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes:

$$D1 = E_{ba}/C_{cm} \quad (7)$$

Donde;

E_{ba} = Energía absorbida por el captador

C_{cm} = Carga Calorífica mensual

La energía absorbida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_a = S_c * Fr' * (\pi\alpha) R_1 * N \quad (8)$$

Donde:

S_c = Superficie del captador (m²)

R_1 = Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (kJ/m²)

N = Número de días del mes

$Fr'(\tau\alpha)$ = Factor adimensional, que viene dado por la siguiente expresión:

$$Fr'(\pi\alpha) = Fr(\pi\alpha)_n \left[\frac{(\pi\alpha)}{(\pi\alpha)_n} \right] \left(\frac{Fr'}{Fr} \right) \quad (9)$$

Donde:

$Fr(\tau\alpha)_n$ = Factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.

$(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ = Modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) o 0,94 (superficie transparente doble).

Fr'/Fr = Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.

El parámetro D2 expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura, y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

$$D2 = E_{pc}/CCM \quad (10)$$

Donde:

E_{pc} = Energía perdida por el captador

CCM = Carga calorífica mensual

La energía perdida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_p = S_c Fr UL (100 - t_a) \Delta t \quad (11)$$

Donde:

S_c = Superficie del captador (m²)

$$Fr UL = Fr UL (Fr'/Fr) \quad (12)$$

Dónde:

FrUL = Pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador)

ta = Temperatura media mensual del ambiente)

Δt = Período de tiempo considerado en segundos (s)

K1 = Factor de corrección por almacenamiento que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$K1 = [Kg \text{ acumulacion} / (75 Sc)]^{-0.25} \quad (13)$$

$$37,5 < (kg \text{ acumulación}) / (m^2 \text{ captador}) < 300$$

K2 = Factor de corrección, para A.C.S., que relaciona la temperatura mínima de A.C.S., la del agua de red y la media mensual ambiente, dado por la siguiente expresión:

$$K2 = 11,6 + 1,18t_{ac} + 3,86t_r - 2,32t_a / (100 - t_a) \quad (14)$$

Donde:

tac = Temperatura mínima del A.C.S.

tr = Temperatura del agua de red

ta = Temperatura media mensual del ambiente

Una vez obtenido D1 y D2, aplicando la ecuación inicial se calcula la fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema de energía solar.

De esta forma, la energía útil captada cada mes, Qu, tiene el valor:

$$Q_u = f Q_a \quad (15)$$

Donde:

Qa = Carga calorífica mensual de A.C.S.

Mediante igual proceso operativo que el desarrollado para un mes, se operará para todos los meses del año. La relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas caloríficas, o necesidades mensuales de calor, determinará la cobertura anual del sistema:

$$\text{Cobertura solar anual} = \frac{\sum_{u=1}^{12} Q_{necesaria}}{\sum_{a=1}^{12} Q_{necesaria}} \quad (16)$$

Para que el método de cálculo arroje resultados coherentes los parámetros D1 y D2 deben estar comprendidos entre:

D1: el parámetro D1 del método debe estar comprendido entre 0 y 3

D2: el parámetro D2 del método debe estar comprendido entre 0 y 18

2.2.3 Método de Análisis por ACSOL

El motor de cálculo de ACSOL es el conocido software de simulación TRNSYS de acceso libre, de la Universidad de Wisconsin-Madison (Suelo Solar, 2020), ACSOL contiene un modelo matemático detallado para cada esquema de principio y una base de datos de condiciones meteorológicas, acumuladores, perfiles de consumo, etc. través de menús de entrada el usuario aporta información adicional sobre el sistema que dese estudiar; área de captación, tipo de captador, volúmenes, consumos, perfiles de uso, configuración de los obstáculos, método de control, etc.


Una vez definido el caso a simular el ordenador resuelve el modelo matemático y genera un informe de resultados.

2.3 Materiales

2.3.1 Equipo de consumo ACS

Los laboratorios de Ingeniería Ambiental cuentan con 3 destiladores con las mismas características técnicas descritas en la Tabla 1. los cuales alcanzan una temperatura de 97 °C para efectuar el proceso de destilación.

*Tabla 1. Ficha Técnica Destilador BOECO 4L.
Elaboración propia a partir del catálogo
BOECO (COTECNO, 2020)*

BOECO DEST 4L		
Caudal	Aproximado	
Destilado	4l/h	
Potencia	3kw	
Elemento	Calentador	
Calentador	de sílice	
Material de	Vidrio de	
pieza de	borosilicato	
vidrio	3.3	
Consumo	Aprox	
de agua	60l/hr	
Peso	Aprox	
	4.5KG	

2.3.2 Componentes de un Sistema ACS

Las instalaciones térmicas de baja temperatura, son empleadas para la generación de Agua caliente Sanitaria o para Calefacción, los principales componentes son un factor primordial para su simulación e instalación, por tal motivo a continuación se describen estos componentes con el fin de tener una visión clara del proceso real:

Intercambiadores: Con el fin de conservar las características sanitarias deben existir elementos que separen el agua de las calderas del agua de

consumo; estos son los intercambiadores. Los intercambiadores son de dos tipos: tubulares y de placas.

Intercambiadores tubulares: Constan de un haz tubular por el interior del cual discurre el agua caliente primaria (calentada mediante calderas), colocado en el interior de una carcasa cilíndrica, por la que circula el agua a calentar (secundario ACS), el volumen de este cilindro es muy pequeños.

Intercambiadores de Placas: En la Figura 2, se refleja un intercambiador por placas, el cual compuestos por un conjunto de placas y juntas, placa fija, placa móvil y guía de alimentación.

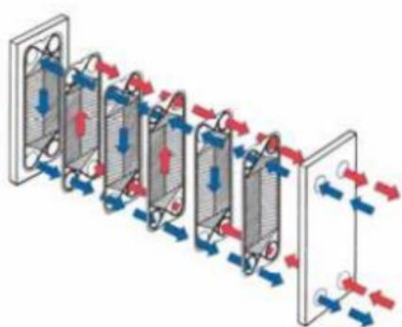


Figura 2. Intercambiador por placas (Alfa Laval, 2020)

La placa representa la superficie de intercambio térmico y es la esencia de este tipo de intercambiadores; la misma se obtiene por estampación en frío de una chapa metálica de espesor homogéneo.

Los fluidos son conducidos a través del intercambiador mediante las juntas. Cada placa posee una junta principal que rodea la periferia y dos juntas anulares que rodean los orificios de entrada y conducen alternativamente a los fluidos primario y secundario hacia las dos caras de la placa.

Deposito: Los depósitos de acumulación de ACS pueden ser Inter acumuladores o acumuladores, según contengan o no en su interior al intercambiador.

La característica más importante para su selección es el material con el que están fabricados, existiendo tres tipos fundamentales: Acero Inoxidable, acero con tratamiento especial y acero con esmalte vitrificado. Otros aspectos básicos para su elección son su presión y temperatura de trabajo.

Para el almacenamiento de ACS, existen los acumuladores lo cuales requieren un intercambiador exterior y una bomba que circula

el agua a calentar entre el depósito y el intercambiador.

Válvulas de regulación: para la regulación de las temperaturas de ACS se emplean dos tipos de válvulas: Motorizadas y termostáticas.

Válvulas Motorizadas: Son válvulas de tres vías (acumulación, agua fría, distribución de ACS) que actúan mediante servomotores proporcionales comandados por reguladores que reciben las señales de las sondas de temperatura. Considerando las variaciones tan importantes que se producen en las demandas de ACS, deben ser de respuesta muy rápida.

Válvulas Termostáticas: Funcionan directamente mediante un elemento sensible a la temperatura que las posiciona de manera continuada.

Bombas de circulación: En las instalaciones de ACS se emplean bombas en el circuito primario para transferir el calor desde el circuito de calderas hasta el de agua de consumo; bombas de secundario cuando la producción se realiza por acumulación con intercambiadores externos, y bombas de recirculación para la circulación del agua por todo el edificio.

El circuito primario es un circuito cerrado en el cual el agua tiene muy poca agresividad, ya que tras las primeras purgas se le elimina el oxígeno disuelto y habitualmente es un circuito que solo recibe agua nueva en las reparaciones o reposiciones de fugas.

Sin embargo, los circuitos secundarios y de recirculación son circuitos abiertos, en los que se está recibiendo de manera continua gran consumo, la cual es mucho más agresiva con los materiales constitutivos de las instalaciones, además los materiales en contacto con agua no deben modificar su potabilidad. Estos aspectos se tendrán en cuenta a la hora de seleccionar los equipos, todos los fabricantes de bombas en sus catálogos especifican las apropiadas para estos servicios, siendo las más adecuadas las de bronce o acero inoxidable.

Contadores: En las instalaciones centrales de ACS se requieren contadores en la entrada general de agua fría, para control del consumo general y contadores individuales de ACS en los edificios en los que haya diferentes usuarios, como los de viviendas.

Tuberías: Al seleccionar las tuberías apropiadas para una determinada aplicación hay que tener en cuenta que realmente se trata de sistemas compuestos por: Tuberías, Uniones y Accesorios (IDEAM, 2016).

Captador solar plano: El captador solar es el elemento encargado de transformar la radiación solar (radiación electromagnética) en energía térmica (agua caliente, aire caliente, etc.) en definitiva un fluido a una temperatura superior a la del ambiente.

2.3.3 Captador Solar

Se selecciona un captador solar plano TS25 el cual se muestra su eficiencia instantánea en la Figura 3, debido al respaldo que ofrece la empresa Termocol, a su eficiencia, disponibilidad, costo y facilidad de compra online.

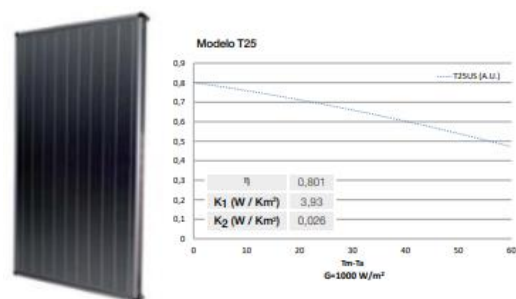


Figura 3. Solar TS25 (Termicol, 2019)

3. RESULTADOS Y ANALISIS

3.1 Emplazamiento

Las unidades Tecnológicas de Santander son una Institución de Educación superior constituida como establecimiento público del Orden Departamento, de carácter tecnológico, creada por la Asamblea departamental (Unidades Tecnológicas de Santander, 2019). La cual cuenta con dos Bloques de edificio y un tercero en construcción, para albergar su comunidad académica.

En la Figura 4 se ve reflejada la cubierta del edificio A, zona en la cual quedan ubicados los laboratorios de Ingeniería Ambiental y están instalados los tres destiladores de agua, equipos a los cuales se les va a suministrar agua caliente y con los cuales se realiza el dimensionamiento del sistema.



Figura 4. Emplazamiento UTS (Google Maps, 2018)

En la Figura 5 se observa de manera detallada el edificio A de las Unidades tecnológicas de Santander, el cual cuenta con 4 plantas y un Sótano, los laboratorios de Ingeniería Ambiental están Ubicados en el Piso 4. En la figura se observa una demarcación en color rojo de la delimitación de los laboratorios.



Figura 5. Ubicación cubierta Laboratorio Ambiental UTS, edificio A (Google Maps, 2018)

El plano de distribución de espacios de los laboratorios se realizó y se presenta en la Figura 6. Los destiladores están ubicados en los laboratorios de recurso, química y biología, en un mesón cercano a un suministro de agua de red y una toma de alimentación de energía eléctrica para su funcionamiento

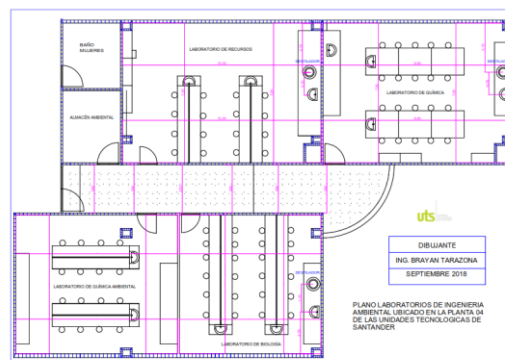


Figura 6. Planos Laboratorio Ambiental, UTS

3.3 Consumo de Agua Destilada

El consumo de agua destilada a cubrir en los tres laboratorios de Ingeniería Ambiental de las Unidades Tecnológicas de Santander es de 12 Galos Diarios, 4 por cada laboratorio; a esto se le deben agregar 3 Galones diarios que consume el laboratorio de Petróleo y Gas, que se suplen de los destiladores existentes en Ambiental, para un total de 15 Galones Diarios.

3.4 Calculo-Método Instantáneo

El cálculo de la demanda de A.C.S diaria se refleja en la **Tabla 2**, ahí se presenta el consumo de agua caliente en litros por día, la densidad del agua, el calor específico del agua, la temperatura del agua caliente y la temperatura del agua fría, para estas dos últimas la primera se toma a 60 °C que es el valor al cual se desea entregar el agua al destilador y luego se toma a 97 °C que es el valor de ebullición del agua para determinar tanto la demanda actual del sistema, como el valor de demanda que tendría en 60 °C para determinar el % de ahorro que se tendría en su implementación, la temperatura fría se toma a 20 °C. Cabe resaltar, que el destilador opera 6,67 horas diario, de lunes a sábado durante el mes.

Tabla 2. Demanda ACS del sistema

Demanda ACS	
DACS diaria = Cac	553080
$\cdot \rho \cdot Cp \cdot (T_{ac} - T_{af})$	KJ/día
$Cac =$ Consumo de agua caliente (l/día)	3300
$\rho =$ Densidad del agua (1 kg/l)	1
$Cp =$ Calor específico del agua (4.190 J/kg °C)	4190
$T_{ac} =$ Temperatura del agua caliente (°C)	60
$T_{af} =$ Temperatura del agua fría (°C)	20
DACS diaria = Cac	1064679
$\cdot \rho \cdot Cp \cdot (T_{ac} - T_{af})$	KJ/día
$Cac =$ Consumo de agua caliente (l/día)	3300
$\rho =$ Densidad del agua (1 kg/l)	1
$Cp =$ Calor específico del agua (4.190 J/kg °C)	4190
$T_{ac} =$ Temperatura del agua caliente (°C)	97
$T_{af} =$ Temperatura del agua fría (°C)	20

Una vez definida la carga de consumo ACS presentada anterior mente y teniendo los datos de rendimiento del captador solar, el cual presenta una eficiencia del 63,23 % se calcula la producción de energía por unidad de superficie para las 6.67 horas de funcionamiento dando como resultado 3.37258667 kWh/m². Una vez obtenida la producción energética por unidad de superficie se determina la superficie necesaria para producir la demanda como se presenta en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Producción de Energía por unidad de Superficie

Producción de energía	
S	45.5535613 m ²
D	153.6333333 kWh/día
P	3.37258667 kWh/m ²

Por último, en función de la superficie de apertura de cada captador se determina la cantidad de unidades solares que se requieren para cubrir la demanda. El resultado final es una superficie de captación de 45,6 m² equivalentes a 19 captadores para satisfacer la demanda necesaria durante las 8 horas diarias de funcionamiento de los equipos. Adicionalmente, se realiza el cálculo del aprovechamiento de energía solar el cual da como resultado un ahorro 51,95 % con el suministro de agua a la temperatura deseada a los equipos.

3.5 Calculo-Método Curvas F-chart

Tomando la misma demanda que en el método instantáneo, las mismas condiciones ambientales y geográficas se desarrolla el método de cálculo f-chart, este método requirió los datos promedio de las temperaturas mensuales durante el año para la ciudad de ubicación del emplazamiento, el número de días mensuales durante el año (Ver Figura 7), así como la valoración promedio mensual de la radiación difusa horizontal incidente en la superficie de captación la cual fue tomada de la página web de la NASA.

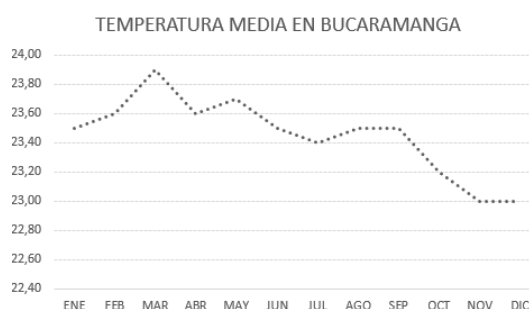


Figura 7. Temperatura Promedio mensual (Clima Colombia, 2018)

El método consta de la realización de 7 pasos para calcular unas variables mensuales, en el proceso se calcula la carga calorífica para cada mes, parámetro D1, que debe estar en el rango de 0 a 3, el cálculo del parámetro D2, que debe estar en el rango de 0 a 18, el cálculo del parámetro f que es la fracción energética mensual aportada por el sistema de captación solar la cual debe estar por encima del 60 % para cada mes y que ningún mes puede superar el 110% tomando

en cuenta el código técnico HE 4 de España, como guía para el dimensionamiento en Colombia. El paso a seguir fue el cálculo de la energía útil mensual, en la figura 7 se encuentra el valor obtenido para cada mes del año de f en % y de energía útil. Ningún mes del año supera el 60 %.

Tabla 4. Energía útil mensual y f mensual

Energía útil		Qa	f	d1	d2
Mes	J/mes	J/mes			
Ene	1801082896	17133204000	0,11	0,343	0,414
Feb	2040079917	15475152000	0,13	3,784	3,178
Mar	3319476482	17133204000	0,19	0,398	0,417
Abr	3967179926	16580520000	0,24	4,184	3,173
May	3858362397	17133204000	0,23	0,447	0,451
Jun	3354222251	16580520000	0,2	3,764	3,279
Jul	3384722936	17133204000	0,2	0,471	0,429
Ago	3422499522	17133204000	0,2	3,275	3,186
Sep	3688274158	16580520000	0,22	0,447	0,386
Oct	3580298476	17133204000	0,21	3,165	3,301
Nov	2769038334	16580520000	0,17	0,427	0,351
Dic	2451406826	17133204000	0,14	3,279	3,194

Para la realización del método f-chart la evaluación se hace mes a mes, se despreciaron las pérdidas por sombra debido a que el emplazamiento no presenta a su alrededor ninguna obstrucción. Colombia al estar ubicado cerca de la línea del ecuador, no se tiene mayor inconveniente con el Ángulo de inclinación. Para efectos del cálculo f-chart e instantáneo la inclinación fue tomada fue de 0° . De igual manera se realizó el cálculo del Beta óptimo arrojando un Ángulo de 8.6° , pero no fue tomado en cuenta.

Se realizan dos cálculos estimados para cumplir con lo indicado por la HE 4, en el primero se requiere una superficie de captación equivalentes a 81 captadores, la cobertura solar anual sería del 61 % como se evidencia en figura 7, los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre no cumple con la normativa a pesar de que la cobertura anual supera el valor deseado, sabe resaltar que los valores de D1 para todos los meses están en el rango adecuado de 0 a 3 y el valor de D2 corresponde para todos los meses al rango de 0 a 18

Tabla 5. Calculo F-chart con 81 captadores

Energía útil		Qa	f	d1	d2
Mes	J/mes	J/mes			
Ene	8027946033	17133204000	0,47	1,464	16,13
Feb	8654335285	15475152000	0,56	1,698	17,835
Mar	1,0972E+10	17133204000	0,64	1,905	16,046
Abr	1,1544E+10	16580520000	0,7	2,009	13,961
May	1,1489E+10	17133204000	0,67	1,905	13,493
Jun	1,0505E+10	16580520000	0,63	1,819	13,98
Jul	1,0651E+10	17133204000	0,62	1,767	13,546
Ago	1,0719E+10	17133204000	0,63	1,777	13,529
Sep	1,1087E+10	16580520000	0,67	1,923	13,98
Oct	1,1012E+10	17133204000	0,64	1,828	13,582
Nov	9408706950	16580520000	0,57	1,646	14,071
Dic	8785179498	17133204000	0,51	1,498	13,617

En el segundo calculo, se requiere una superficie de captación equivalentes a 99 captadores, la cobertura solar anual sería del 71 % como se evidencia en la figura 8, todos los meses cumple con la condición de que el porcentaje del valor f sea superior a 60 % pero a pesar de que los los valores de D1 para todos los meses están en el rango adecuado de 0 a 3 y los valores de D2 en enero, febrero y marzo no corresponden al rango adecuado de 0 a 18

Tabla 6. Calculo F-chart con 99 captadores

Energía útil		Qa	f	d1	d2
Mes	J/mes	J/mes			
Ene	1,0246E+10	17133204000	0,6	1,789	19,715
Feb	1,0999E+10	15475152000	0,71	2,075	21,799
Mar	1,2965E+10	17133204000	0,76	2,329	19,612
Abr	1,298E+10	16580520000	0,78	2,456	17,064
May	1,2966E+10	17133204000	0,76	2,329	16,492
Jun	1,2068E+10	16580520000	0,73	2,223	17,086
Jul	1,2222E+10	17133204000	0,71	2,16	16,557
Ago	1,2281E+10	17133204000	0,72	2,172	16,535
Sep	1,2586E+10	16580520000	0,76	2,35	17,086
Oct	1,2553E+10	17133204000	0,73	2,234	16,6
Nov	1,1075E+10	16580520000	0,67	2,011	17,198
Dic	1,0479E+10	17133204000	0,61	1,831	16,643

3.6 Simulación ACSOL

Para la simulación TRNSYS se empleó un software llamada ACSOL 2.5 de la Agencia Andaluza de la Energía Basado en TRYSYS 15, este programa fue diseñado por Fernando Domínguez Muños, José Manuel Cejudo López y Antonio Carillo de la Universidad de Málaga. Las condiciones ambientales tomadas fueron las mismas utilizadas en el desarrollo de los métodos instantáneo y f-chart. Latitud 7.11° referente a la ciudad de Bucaramanga, Colombia. Los datos de radiación, fueron suministrados por el autor al software ya que este no cuenta con los valores de radiación, temperatura ambiente y temperatura media de red para localidades fuera de España, estos valores corresponder a los mismos tomados en los métodos anteriores.

La instalación simulada conto con las siguientes características; 19 captadores manejados en los métodos anteriores para un total de 45.4 m^2 , inclinación de 0° , características del captador, liquido calo portador Agua 100 % tanto en el primario como en el secundario, temperatura máxima en el captador de 80°C , temperatura de salida de 60°C , entre otras. Cabe resaltar, que como en el cálculo de los métodos anteriores no se tenía en cuenta tramos de tuberías ni pérdidas en acumulador, en este caso fueron omitidas para hacer la simulación en términos de igualdad con las metodologías anteriores. Con esta cantidad de información, el simulador calcula el porcentaje de fracción solar, porcentaje de rendimiento del primario, pérdidas de radiación totales, pérdidas por inclinación y por obstáculos durante cada mes

Posteriormente el software calcula la fracción solar para cada tipo de usuario durante cada mes la cual refleja un valor inferior a los calculados en la figura 6 del método f-chart. Adicionalmente, determina el consumo eléctrico de las bombas y las emisiones de CO₂ evitadas con las instalaciones solares. En la figura 9 se refleja el esquema de lo que sería la instalación ACS.

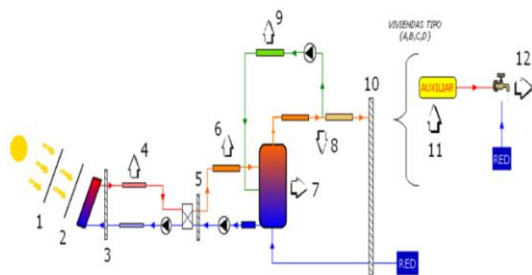


Figura 9. Diseño del sistema de ACS

En la tabla 4 se muestra el balance de energía global del sistema y como se distribuyen las ganancias (Aportes solar y auxiliar) entre la demanda y las diferentes pérdidas. Las dos primeras casillas de la tabla antes mencionadas reflejan un 23,59 % de energía cedida por los captadores al fluido primario y un 76,41 % de energía térmica cedida por los sistemas auxiliares. La demanda térmica de ACS tendría un valor de 97,55 % debido a que las únicas pérdidas que tendría el sistema serían las del acumulador que no se pudieron omitir en el programa.

Tabla 7. Balance de energía global del sistema

	Flujo	Energía [kwh]	Reparto[%]
Ganancias	(3) energía cedida por los captadores al fluido primario	1566,85	25,52%
	(11) Energía térmica cedida por los sistemas auxiliares	41008,65	75,48%
Demanda	(12) Demanda Térmica de A.C.S	55932,52	95,02%
	(4) Pérdidas en las tuberías del campo	0,00	0,00%
	(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	0,00	0,00%
Pérdidas	(7) pérdidas del acumulador solar	555,06	0,98%
	(8) pérdidas en la distribución (montantes y derivaciones)	0,00	0,00%
	(9) pérdidas en la tubería de recirculación	0,00	0,00%

Finalmente, en la tabla 5 se tiene el porcentaje de descuadre el cual debería ser inferior al 5 % durante cada mes, en nuestro sistema no cumpliría ningún mes por lo cual el software recomienda mejorarlo utilizando tolerancias más estrictas. El descuadre anual es del 0,062% valor inferior al recomendado, por lo que la instalación

es adecuada según los parámetros introducidos en la simulación.

Tabla 8. Balance de energía global del sistema

DEMANDA DE A.C.S MENSUAL			
DACS MENSUAL = CAP.P.CP.(TAC-TAF).N	17145480 KJ/mes		
CAC=CONSUMO DE AGUA CALIENTE (L/DIA)	3300		
P= DENSIDAD DEL AGUA (1 KG/L)	1		
CP= CALOR ESPECIFICO DEL AGUA (5,190 J/KG°C)	4190		
TAC= TEMPERATURA DEL AGUA CALIENTE (°C)	60		
TAF= TEMPERATURA DEL AGUA FRIA (°C)	20		
N)NUMERO DE DIAS DEL MES (DIA/MES)	31		
PORCENTAJE DE AHORRO MENSUAL (31 DIAS)			
33005049	KJ/mes	=	100,00%
17145480	KJ/mes	=	51,95%

4. CONCLUSIONES

El método instantáneo al ser un cálculo estático es poco fiable para el dimensionamiento del suministro de agua a 60 °C para los destiladores de agua de los laboratorios de ingeniería ambiental de las Unidades Tecnológicas de Santander. El fluido en el proceso real está en movimiento por lo cual es hidrodinámico y no hidrostático como lo supone el modelo matemático para su desarrollo, lo que lo convierte el cálculo en un dimensionamiento de un sistema ideal despreciando las pérdidas no solo en el sistema de captación, sino también en el de intercambio, acumulación y transporte. Serviría como estimación inicial para realizar un cálculo básico del sistema de captación requerido debido a la sencillez en sus cálculos matemáticos, fue tomado como punto de inicio para el desarrollo de los dos siguientes métodos de cálculo, con base a la superficie de captación calcula y al número de captadores, así como las temperaturas que intervienen en el proceso y el consumo diario, en la tabla 5 se puede observar un resumen de los resultados del método los cuales son muy optimista al tomar un porcentaje de ahorro mensual constante de 51,95 % con respecto al porcentaje actual.

Para el método de cálculo de las curvas f-chart, el dimensionamiento del sistema de colectores solares para el suministro de agua a 60 °C para los destiladores del laboratorio de Ingeniería Ambiental de las Unidades Tecnológicas de Santander no cumple para un uso de 19 captadores solares correspondientes a 45.5 m²

de superficie (Ver tabla 5), debido que el cálculo del parámetro f que determina la fracción energética mensual aportada por el sistema de captación solar la cual debe estar por encima del 60 % para cada mes y adicionalmente ningún mes puede superar el 110% tomando en cuenta el código técnico HE 4 de España, como guía para el dimensionamiento en Colombia. El promedio anual de la fracción energética aportada por el sistema de 19 captadores es de 19 %, luego se procedió determinar la cantidad de captadores a emplear para satisfacer los requerimientos del código técnico HE4 de España dando dos resultados diferentes: el primero es 81 captadores captadores y observando la tabla 33 para los 81 captadores el porcentaje es de 61 %, hay meses que no llegan a ese porcentaje por lo que no es del todo exacto y los parámetros de D1 Y D2 corresponden a los rangos. En el segundo caso se emplean 99 captadores, en el cual el porcentaje es del 71 %, todos los meses están por encima del 60 %, el parámetro D1 están dentro del rango, pero hay meses en los cuales el parámetro D2 no cumple, lo que hace el método incierto.

El método f-chart resulta ser incierto y poco fiable para nuestro caso, debido a que no se cumplen con todos los requisitos del código técnico HE 4, cabe resaltar que el rango de sistema simulador por f-chart está pensado para una demanda entre 140 y 560 l/día, siendo nuestra demanda de 3300 l/día, un valor bastante elevado. El método considera en la demanda un total tan solo del 20 % para ACS, por lo que la corrección aplicado por diferencias en la temperatura del agua de red no está considerada, adicionalmente no aplica factor de corrección por caudal o agrupación serie paralelo, no considera componente directa/difusa de la radiación y no considera pérdidas en el circuito primario.

El sistema de simulación TRNSYS realizado con el software ACSOL 2.5 realiza un cálculo semiautomático debido a que la radiación solar mensual, la temperatura promedio mensual y la temperatura de red fueron ingresadas al programa manualmente. El sistema simula de forma dinámica el proceso que realiza el sistema, para el caso analizado en el presente proyecto no se incluyeron los tramos de las tuberías ni en el primario, ni el secundario, las pérdidas por acumulación fueron tomadas por defecto en el software. La superficie de captación tomada en cuenta fue la misma para los dos métodos de comparación y los porcentajes de fracción solar dan un porcentaje inferior al del método de cálculo f-chart y el balance de energía es favorable debido a que los porcentajes de descuadre mensuales están por debajo del 5 % que es la tolerancia que sugiere el software, el descuadre anual es tan solo del 0,062 % (Ver

tabla 7), muy inferior a al valor admisible, al no tener en cuentas las pérdidas adicionales del sistema necesario realizar ajustes para mejorar el sistema. El sistema es muy optimista ya que cubre un 99,2 % la demanda térmica de ACS, teniendo en cuenta solos las pérdidas del acumulador (Se desprecian pérdidas en tuberías del primario y del secundario, pérdidas de distribución y en tuberías de recirculación)

Con base en las conclusiones extraídas en cada método, se descarta la utilización del cálculo f-chart para la instalación del laboratorio de Ingeniería Ambiental de las unidades Tecnológicas de Santander, debido a que la demanda supera considerablemente la capacidad de diseño del método, evidenciado en los modelos matemáticos desarrollados durante el proyecto, los cuales no arrojaron una superficie de captación que cumpliera con los requisitos del código técnico HE 4. El método instantáneo, es muy optimista al momento de realizar los cálculos, pero no deja de ser un desarrollo matemático hidrostático, lo que induce un margen de error muy alto en el diseño. Finalmente, es indispensable realizar el diseño total de lo que sería la instalación real del proceso para poder llegar a simular satisfactoria el software ACSOL 2.5 que trabaja como simulador TRNSYS, es un sistema hidrodinámico y que tiene en cuenta todas las pérdidas del sistema, siempre y cuando este estimado con detalle cada componente, para darle solución a nuestro diseño es necesario a futuro continuar con el dimensionamiento de todo el sistema, para poder realizar una simulación lo más real posible, con esto se aseguraría una alta precisión en los datos arrojados por el programa.

REFERENCIAS

- Acquatella, J. (2008). *Energía y cambio climático: Oportunidades para una política energética integrada en América Latina y el Caribe*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/3635>
- Alfa Laval. (2020). *Línea industrial*. <https://www.alfalaval.com.co/productos-y-soluciones/transfencia-de-calor/intercambiadores-de-calor-de-placas/intercambiadores-de-calor-de-placas-y-bastidor-con-juntas/linea-industrial/>
- Antonelli, M., Baccioli, A., Francesconi, M., Lensi, R., & Martorano, L. (2014). Analysis of a Low Concentration Solar Plant with Compound Parabolic Collectors and a Rotary Expander for Electricity Generation. *Energy Procedia*, 45, 170-179.

- <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.019>
- Bajpai, P. (2020). Chapter 3—Renewable energy versus fossil resources. En P. Bajpai (Ed.), *Biotechnology in the Chemical Industry* (pp. 23-30). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818402-8.00003-3>
- Barrera Gomez, C. B., & Rodriguez Gozales, E. (2016). *Energias renovables Estudio de viabilidad de una instalacion solar fotovoltaica conectado a red para autoconsumo en la isla de Tenerife*. [Pregrado, Universidad de la Laguna]. <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/2840/Energias%20renovables%20Estudio%20de%20viabilidad%20de%20una%20instalacion%20solar%20fotovoltaica%20conectado%20a%20red%20para%20autoconsumo%20en%20la%20isla%20de%20Tenerife.pdf;jsessionid=442AC76CC80E11EA5DC1CD7220F82C78?sequence=1>
- Clima Colombia. (2018). *El tiempo en Bucaramanga, Santander*. <https://www.clima.com/colombia/santander/bucaramanga/detalle>
- COTECNO. (2020). Boeco Destilador 4 L » COTECNO | Equipamiento Científico | Prospecciones, Auscultation, Geofísica, Ingeniería. *COTECNO | Equipamiento Científico | Prospecciones, auscultation, geofísica, ingeniería*. <https://www.cotecno.cl/nuestros-productos/boeco-destilador-dest-4/>
- Elamim, A., Hartiti, B., Haibaoui, A., Lfakir, A., & Thevenin, P. (2019). Comparative study of photovoltaic solar systems connected to the grid: Performance evaluation and economic analysis. *Energy Procedia*, 159, 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.006>
- Energias renovables Estudio de viabilidad de una instalacion solar fotovoltaica conectado a red para autoconsumo en la isla de Tenerife.pdf*. (s.f.). Recuperado 25 de agosto de 2020, de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/2840/Energias%20renovables%20Estudio%20de%20viabilidad%20de%20una%20instalacion%20solar%20fotovoltaica%20conectado%20a%20red%20para%20autoconsumo%20en%20la%20isla%20de%20Tenerife.pdf?sequence=1>
- Gómez-Calvet, R., Martínez-Duart, J. M., & Serrano-Calle, S. (2019). Current state and optimal development of the renewable electricity generation mix in Spain. *Renewable Energy*, 135, 1108-1120. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.12.072>
- Google Maps. (2018). *Google Maps-Unidades Tecnológicas de Santander*. Google Maps. <https://www.google.com/maps/place/Unidades+Tecnol%C3%B3gicas+de+Santander/@7.1057769,-73.1196858,17z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x5f50c91e41f0ac6e!8m2!3d7.105114!4d-73.1235999?hl=es>
- Herez, A., El Hage, H., Lemenand, T., Ramadan, M., & Khaled, M. (2020). Review on photovoltaic/thermal hybrid solar collectors: Classifications, applications and new systems. *Solar Energy*, 207, 1321-1347. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.062>
- IDEAM. (2016). *RADIACIÓN SOLAR - IDEAM*. Radiación Solar. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>
- Ise, M. A., Carrizo, S. C., & Forget, M. (2020). Chapter 8 - Challenges of South American energy transition: Energy efficiency and distributed generation. En L. Noura Guimarães (Ed.), *The Regulation and Policy of Latin American Energy Transitions* (pp. 133-151). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819521-5.00008-5>
- Morelos Gómez, J. (2016). Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina. *Estudios Gerenciales*, 32(139), 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2016.01.001>
- Noura Guimarães, L. (2020). Chapter 1 - Is there a Latin American electricity transition? A snapshot of intraregional differences. En L. Noura Guimarães (Ed.), *The Regulation and Policy of Latin American Energy Transitions* (pp. 3-20). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819521-5.00001-2>
- Obaco, F., & Jaramillo, J. (2010). *Sistemas solar-térmicos: Algoritmo operativo para aplicar el método F-Chart en la evaluación de colectores solares*. 3.
- Pearre, N., Adye, K., & Swan, L. (2019). Proportioning wind, solar, and in-stream tidal electricity generating capacity to co-optimize multiple grid integration metrics. *Applied Energy*, 242, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.073>

- Ruiz Gomez, A. (2010). Energia Solar Termica: Aplicaciones, cálculo y diseño. En *Energia Solar* (UDIMA; p. 75).
- Shao, M., Han, Z., Sun, J., Xiao, C., Zhang, S., & Zhao, Y. (2020). A review of multi-criteria decision making applications for renewable energy site selection. *Renewable Energy*, 157, 377-403. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.137>
- Sørensen, B. (2017). 3—Individual renewable energy sources. En B. Sørensen (Ed.), *Renewable Energy (Fifth Edition)* (pp. 219-353). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804567-1.00003-7>
- Suelo Solar. (2020, agosto 26). ACSOL 2.5—Simulador de instalaciones solares térmicas de baja temperatura. SueloSolar.com. <https://suelosolar.com/programas/acs/acsol-25-simulador-instalaciones-solares-termicas-baja-temperatura>
- Tarazona-Romero, B. E., Campos-Celador, Á., Muñoz-Maldonado, Y. A., Sandoval-Rodríguez, C. L., & Ascanio-Villabona, J. G. (2020). Prototype of lineal solar collector Fresnel: *Visión Electrónica*, 14(1), Article 1. <https://doi.org/10.14483/22484728.16013>
- Termicol. (2019). *Termicol-Catalogo General 2019*. <https://achedosol.com/descargas/termico/catalogo-tarifa-termicol-2019.pdf>
- Unidades Tecnológicas de Santander. (2019). *Estatuto General UTS*. https://www.uts.edu.co/sitio/wp-content/uploads/normatividad/estatuto_general.pdf
- Vakulchuk, R., Overland, I., & Scholten, D. (2020). Renewable energy and geopolitics: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 122, 109547. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109547>
- Yi, Y. K., & Kang, B. (2020). Integrating a wind turbine into a parking pavilion for generating electricity. *Journal of Building Engineering*, 32, 101471. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101471>