



Evaluación del impacto ambiental de sistemas colectores térmicos a
través de la normativa ISO 14040
apoyado por el software OPENLCA

Deivyd Jhanpool Umbariba Gaitán

Universidad Antonio Nariño

Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

Año 2020

Evaluación del impacto ambiental de sistemas colectores térmicos a través de
la normativa ISO 14040
apoyado en el software OPENLCA.

Deivyd Jhanpool Umbariba Gaitán

Trabajo de grado presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Ambiental.

Director(a):

Ingeniero Ambiental

David Aperador Rodríguez.

Línea de Investigación:

Evaluación del ciclo de vida y energías renovables

Universidad Antonio Nariño de Colombia

Ingeniería Ambiental

Bogotá D.C, Colombia

Año 2020

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	3
1. LISTA DE FIGURAS	6
2. LISTA DE TABLAS	8
3. INTRODUCCIÓN	9
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
5. JUSTIFICACIÓN	12
6. OBJETIVOS	13
6.1. OBJETIVO GENERAL	13
6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
7. MARCO TEÓRICO	14
7.1. Funcionamiento de sistemas colectores solares térmicos.	16
7.1.1 Selectividad Transmisiva	16
7.1.2 Selectividad absorción – emisión	17
7.2. Descripción del sistema colector térmico de placa plana.	18
7.3. Fases del ciclo de vida de los sistemas colectores térmicos	19
7.3.1 Fase obtención de materiales.	20
7.3.2 Fase de fabricación.	21
7.3.3 Fase de montaje.	28

7.3.4.	Fase de operación.	30
7.3.4.1.	Prueba de estanqueidad	30
7.3.4.2.	Prueba de dilatación libre	31
7.3.5.	Fase de mantenimiento.	32
7.3.6.	Fase de retiro y descarte.	33
8.	ESTADO DEL ARTE	34
8.1.	Colectores solares térmicos como disyuntiva para obtención de agua caliente sanitaria.	34
8.2.	Análisis del ciclo de vida como instrumento para la sostenibilidad	37
9.	METODOLOGIA	40
9.1.	Delimitación del objetivo y alcance del análisis	41
9.1.1.	Definición de objetivo	41
9.1.2.	Alcance del sistema	42
9.1.3.	Limitaciones del análisis	42
9.2.	Análisis de inventario	43
9.3.	Evaluación de Impactos	44
10.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	47
10.1.	Inventario del ciclo de Vida	47
10.2.	Análisis de inventario del ciclo de vida	49
10.2.1.	Análisis de inventario mediante el Software Open LCA	50
10.3.	Evaluación de impacto por elemento del sistema colector.	53

10.3.1.	Cambio climático	53
10.3.2.	Agotamiento de recurso hídrico.	54
10.3.3.	Agotamiento de recursos fósiles	55
10.3.4.	Toxicidad Humana	56
10.3.5	Comparativa de aportes por elemento del sistema	58
10.3.6	Punto final elemento de impacto	59
10.4.	Mitigación de impactos	60
10.4.1.	Emisiones generadas por tecnologías con el mismo fin de los colectores térmicos.	60
10.4.2.	Comparativa de consumos energéticos directos proyectados.	63
10.4.3.	Costes económicos mitigados.	65
11.	CONCLUSIONES	69
12.	RECOMENDACIONES	71
13.	REFERENCIAS	72
14.	ANEXOS	79

1. LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Efecto invernadero al interior de un colector térmico .	21
Figura 2 Esquema Sistema colector térmico,	23
Figura 3 Partes del colector de placa plana	25
Figura 4 Producción del vidrio.	26
Figura 5 Juntas de estanqueidad	27
Figura 6 Espuma de poliuretano.	28
Figura 7 Diseño patentado de una placa absorbadora de un colector solar térmico.	30
Figura 8 Tubos de vacío de los colectores térmicos.	31
Figura 9 Colector Solar de Placa Plana.	32
Figura 10 Asociación de Impactos ReCipe 2016 midpoint,	41
Figura 11 Impactos ambientales por categoría.	47
Figura 12 Kg de CO2 Eq. emitidos por elemento	48
Figura 13 Agua consumida Litros.	49
Figura 14 Agotamiento de recursos fósiles.	50
Figura 15 Aportes a la toxicidad humana.	51
Figura 16 Agotamiento de Metales.	52
Figura 17 Aportes contaminantes por elemento del colector.	53

Figura 18 Ponderación de impacto elemento ambiental.	54
Figura 19 Producción de CO2 en distintos periodos de tiempo por diversas tecnologías.	57
Figura 20 Consumo Energético Proyectado.	59
Figura 21 Coste económico mitigado.	62

2. LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Lista de chequeo para mantenimiento	32
Tabla 2 Elementos del sistema colector y asociación con materiales	46
Tabla 3 Inventario de Materiales para un sistema colector	48
Tabla 4 Determinación de impactos ambientales dado por el ciclo de vida de los colectores solares térmicos,	49
Tabla 5 Eficiencia Térmica por sistemas.....	58
Tabla 6 Consumo Energéticos y producción de CO2 en Kg mes	58
Tabla 7 Producción de CO2 por distintas tecnologías par producción de agua caliente en distintos periodos de tiempo	59
Tabla 8 Consumos energéticos proyectados para la generación de agua caliente sanitaria. 61	
Tabla 9 Costos económicos por la generación de agua caliente sanitaria.	63

3. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como fin determinar la viabilidad ambiental de los colectores solares térmicos basados en el análisis del ciclo de vida según el inventario de materiales utilizados para su construcción y los procesos productivos asociados al mismo, teniendo como base el software *Open LCA* y la metodología de estandarización para el análisis del ciclo de vida *ReCipe 2016 Midpoint* la cual divide los impactos ambientales en 18 ítems distintos.

Además, buscó determinar la viabilidad ambiental de dicha tecnología en comparativa con las distintas alternativas para la producción de agua caliente sanitaria, comparando las emisiones de CO₂ producidas durante el tiempo de vida proyectado para los sistemas colectores solares térmicos, asociando los consumos energéticos y los costes económicos de la utilización de fuentes de energía como calefactores los cuales funcionan a base de gas, los sistemas de inducción de energía e incluso las duchas eléctricas.

Por último, con los datos obtenidos se determinará la viabilidad técnico económica de los sistemas colectores como alternativa para la obtención de agua caliente para uso sanitario a nivel residencial mostrando la proyección a 15 años de los costos, consumos energéticos e impactos mitigados.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La búsqueda de nuevas fuentes de energía con diferentes fines es un reto al cual la humanidad se ve enfrentada en la actualidad (Ministerio & Energía, 2017), esta búsqueda ha conllevado desarrollo de tecnologías “ambientalmente sostenibles” las cuales se diferencian de las tecnologías convencionales por su baja contaminación, dado que pueden generar menos emisiones de gases de efecto invernadero o llegan a ser menos perjudiciales para los ecosistemas y por consiguiente su comportamiento con el medio ambiente es más estable (Haghighat, Avella, Najafi, Shirazi & Rinaldi, 2016). Sin embargo en muchas tecnologías esto no es del todo cierto, debido a que en muchos de los casos en su fase de funcionamiento los impactos si son menores que otras tecnologías, al no analizar el ciclo de vida en su totalidad dado que este está compuesto desde la obtención de las materias primas y finalizando la fase de disposición final se omiten muchas actividades que generan impactos ambientales y por ende no se podría afirmar con veracidad la sostenibilidad ambiental de estas tecnologías sin analizar su ciclo de vida (Jimenez, Garcia, Gomez, & Zarza, 2004)

El caso de los colectores térmicos los cuales son una alternativa a las duchas eléctricas, calefactores por inducción de energía o calefactores a base de gas para la producción de agua caliente para uso sanitario en distintas escalas, se presenta como una tecnología ambientalmente sustentable por sus bajos niveles de gases de efecto invernadero y por su muy baja producción de residuos sólidos además de contar con un alto nivel de durabilidad que se encuentra en un rango de 15 a 20 años con funcionamiento constante (Raluy et al., 2013). A pesar de ello al requerir materiales obtenidos de actividades económicas con altos

impactos ambientales como la minería es imprescindible evaluar en su totalidad las fases del ciclo de vida para determinar los impactos ambientales con el fin de garantizar que los beneficios generados por el funcionamiento de esta tecnología son mayores que los impactos generados para su creación garantizando así que en términos ambientales y económicos esta tecnología si es ambientalmente sostenible y económicamente sustentable(Haya, 2016).

5. JUSTIFICACIÓN

El análisis del ciclo de vida se plantea cómo un instrumento para la determinación de la viabilidad de una tecnología, mostrando de forma cuantitativa los impactos ambientales ocasionados en diferentes aspectos de la producción fabricación y funcionamiento de un producto o servicio.

Por consiguiente, permite tener un panorama sobre el impacto ambiental generado por esta tecnología, también permite evaluar la factibilidad de la construcción de estos sistemas dado que si los impactos para su construcción son más altos que los beneficios económico-ambientales que llegan a proporcionar en su vida útil no tendría un sentido la elaboración de estos. Igualmente, es necesario mirar la factibilidad para la implementación de este tipo de tecnologías en industrias o viviendas en el territorio colombiano y si este llegaría a tener un impacto positivo o negativo en términos de mitigación y uso de energías renovables en diferentes escalas.

6. OBJETIVOS

6.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar los impactos generados por el ciclo de vida de los sistemas colectores térmicos, comparando los impactos producidos con los impactos mitigados por la utilización de otras tecnologías con el mismo fin.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los componentes para la elaboración de los colectores solares térmicos.
- Analizar los impactos ambientales generados por el ciclo de vida de los componentes colectores solares térmicos mediante el software OPEN LCA bajo la metodología ReCipe 2016 midpoint.
- Determinar los impactos ambientales mitigados por la utilización de los sistemas colectores en comparativa con otras tecnologías que cumplen el mismo objetivo.

7. MARCO TEÓRICO

Actualmente uno de los retos más importantes a los que se ve enfrentada la raza humana es poder garantizar el suministro energético para las presentes y futuras generaciones.

Por lo cual, la pesquisa de nuevas fuentes de energía es fundamental para la elaboración de un modelo energético sustentable a mediano y largo plazo lo que conlleva a la investigación constante en busca de opciones para el aprovechamiento de los recursos como el viento, la luz solar o las corrientes oceánicas para la producción de energía lo cual a sido uno de los enfoques mas importantes en las últimas 2 décadas (Zárate & Vidal, 2016).

De la misma manera, la innovación en esta área ha avanzado al punto de poder utilizar los recursos naturales renovables para la producción energética por medio de distintas tecnologías como es el caso de las turbinas eólicas impulsadas por la fuerza de las corrientes de viento o los paneles solares que son un medio por el cual los fotones libres de la luz golpean electrones libres generando corriente eléctrica (Haghighat et al., 2016).

Igualmente, bajo el principio de investigación se buscó la manera de aprovechar los recursos naturales renovables planteando tecnologías amigables con el medio ambiente lo cual produjo la creación de los colectores térmicos (Fauroux, Diaz, Blanco & Degaetani, 2016). Los sistemas basados en el aprovechamiento de energía calórica generada por el sol, con el fin de producir agua caliente sanitaria (Raluy Rivera et al., 2013), planteando una alternativa a los calentadores y/o duchas que tienen un funcionamiento bajo electricidad o la quema de algún gas , siendo una fuente contaminante constante en materia de emisiones

en el caso de los calentadores a gas por la quema regular del mismo o en el caso de las duchas por el elevado consumo eléctrico que estas representan.

Por lo siguiente, los sistemas de colectores térmicos se presentan, así como una alternativa ambientalmente sostenible, puesto que su funcionamiento no tiene una gran cuantía de emisiones de gases de efecto invernadero, además de que su consumo de energía eléctrica es intrascendente (Castellanos Ruiz, 2016). Si bien los consumos energéticos de este sistema son mínimos comparados con otras tecnologías con el mismo fin (Mart, Noceto, & Su, 2013).

Por otro lado, no es del todo correcto argumentar que son ambientalmente amigables con el medio ambiente (Otanicar, Phelan, Taylor, & Tyagi, 2011), dado que para que este argumento sea del todo válido es necesario analizar no solo el funcionamiento del sistema en sí, sino que es imperativo analizar el ciclo de vida de dicha tecnología para garantizar que sus beneficios ambientales sean superiores a los impactos generados por su fabricación, funcionamiento y posterior desuso (Haya, 2016).

Por lo tanto, el análisis del ciclo de vida es un estándar internacional determinante de la viabilidad técnica, económica y ambiental del tipo de tecnología, producto o servicio (Norma, 2007), fragmentando el desarrollo del mismo en diferentes fases empezando por la elaboración de un inventario, que se compone por la cuantificación de recursos naturales necesarios para la elaboración de las partes que componen el sistema total, proyectando el tiempo estimado de uso de la tecnología, los impactos generados y los impactos mitigados, así mismo el impacto generado por la disposición del mismo cuando el ciclo de vida está culminado, brindando un marco de referencia, mediante el cual es posible definir si los

impactos ambientales del ciclo de vida ocasionados por proyectos con este tipo de tecnología son viables en términos ambientales o si por el contrario los impactos generados superan los impactos mitigados, durante el tiempo de funcionamiento del sistema en caso de utilizar alguna de las tecnologías previamente mencionadas.

7.1. Funcionamiento de sistemas colectores solares térmicos.

Los colectores térmicos tienen como objetivo principal la obtención de agua caliente sanitaria, debido a que está se describe como agua que cumple con los criterios para el consumo humano que ha sido sometida a un proceso de elevación de temperatura (Rodríguez Artalejo et al., 2018), y la cual será utilizada ya sea para usos domésticos o para usos industriales, a su vez estos sistemas funcionan bajo principios físicos que serán descritos para entender el funcionamiento del colector.

7.1.1 Selectividad Transmisiva

La selección de la transmisividad en los colectores térmicos consiste en la elección de materiales con una alta tasa de transmitancia de onda corta ($0.2-3 \mu\text{m}$), y a su vez una baja transmitancia en longitudes de onda larga ($10-14 \mu\text{m}$), las cuales son emitidas por los elementos al interior de la placa absorbadora (Placa de material metálico)para de esta manera generar el efecto invernadero al interior del sistema lo que ocasiona la elevación de la temperatura al interior de la placa, elevando la temperatura del agua que se encuentra en la misma (Mart, Noceto, & Su, 2013).

7.1.2 Selectividad absorción – emisión

Se basa en el principio de absorción y emisión, para que el funcionamiento del colector sea correcto, se espera que la capa externa tenga una alta capacidad de absorbancia de las longitudes de onda corta que se obtiene de luz solar absorbida por el captador solar, así mismo que este material posea un valor bajo de emisividad de las ondas largas (Castellanos, 2016).

Con este fin un colector con un diseño que satisface los criterios mínimos para su funcionamiento debe aceptar el máximo de la radiación solar relacionado a una alta transmitancia, absorber la mayor parte de la radiación relacionada a la absorbancia y a la vez tener una emisividad y transmitancia baja para evitar la pérdida de energía como se muestra en la figura.

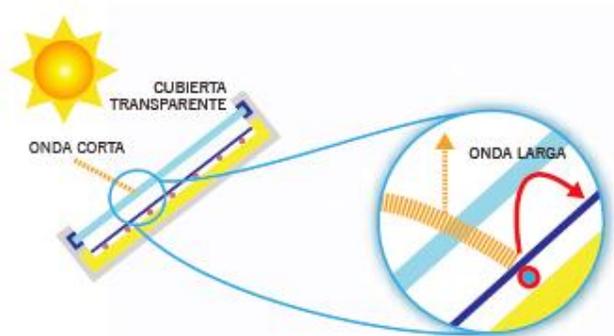


Figura 1 Efecto invernadero al interior de un colector térmico .

Fuente (Rodríguez Artalejo et al., 2018)

Los colectores térmicos son construidos por demanda de agua caliente sanitaria, por ende un modelo de dimensiones estándar para una unidad residencial como los de países de Europa del occidente o a nivel Latinoamericano como los establecidos en Chile y Argentina

puede contar con un área de 1.9 m² y con un termo tanque de almacenamiento de agua que puede oscilar los 100 a los 300 Litros dependiendo de la necesidad del sistema que se va a abastecer (Castellanos Ruiz, 2016).

Aunque según lo establecido en el manual de diseños para el calentamiento del agua de la cámara chilena de la construcción y lo establecido según el estudio de la Universidad Nacional de Río Cuarto en Argentina (Placa et al., 2011) los materiales utilizados y las proporciones de los mismos en la construcción de los colectores térmicos no son muy variables, dado que en casos de uso industrial se opta por reproducción de parque colectores en vez de una sola unidad funcional, esto con el fin de tener capacidad de regulación de la demanda y tiempos de mantenimiento del sistema (Ardente, Beccali, Cellura & Lo Brano, 2005).

7.2. Descripción del sistema colector térmico de placa plana.

Los sistemas de colección térmica se fragmentan en cuatro etapas (figura 2), la primera corresponde al sistema de captación en el cual el panel de placa plana utiliza la energía térmica utilizándose para generar el efecto invernadero al interior del sistema, el paso dos del sistema es el intercambio en el cual por medio de tubería ingresa agua a temperatura ambiente al interior de la placa plana por la parte inferior y por la parte superior se extrae el agua caliente sanitaria, la cual pasa a la tercera etapa en la cual se acumula el agua caliente sanitaria para realizar su aprovechamiento en el momento en que se requiera, es imperativo para el sistema que el acumulador cuente con características especiales en cuanto al material para evitar la pérdida de calor y por último el sistema en lo posible debe

contar con un sistema de apoyo, con el fin de garantizar que el sistema mantendrá su funcionamiento bajo condiciones climatológicas adversas.

En cuanto a temas hidráulicos el sistema se encuentra regido por condiciones de ubicación, y distanciamiento al sistema principal de abastecimiento de agua sanitaria, dado que puede ser ubicado en techos, fachadas o también es opcional y dependiendo del área disponible ubicarlo fuera del lugar a abastecer según lo establecido los requerimientos del usuario (CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO CÁMARA CHILENA, 2018).

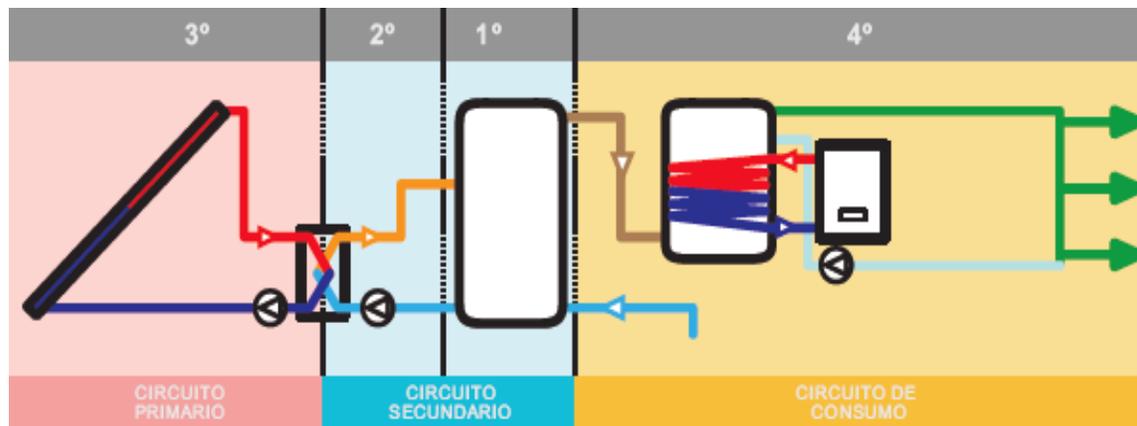


Figura 2 Esquema Sistema colector térmico

Fuente: (Rodríguez Artalejo et al., 2018)

7.3. Fases del ciclo de vida de los sistemas colectores térmicos

Las fases del ciclo de vida se definen a partir de la obtención de materias primas según lo establecido en la Norma ISO 14040 (Organización Internacional de Normalización, 2007) hasta la disposición final del producto, sin tomar en cuenta etapas como transporte o reciclaje del mismo, dado que en estas fases se establecen acciones de tercera fuente que no están directamente relacionadas con los colectores en este caso (Haya, 2016).

Por ende y bajo las excepciones ya mencionadas, el análisis del ciclo de vida que se llevará a cabo en el estudio de los colectores térmicos se tendrá en cuenta las fases de obtención de la materia prima, fabricación del sistema, montaje, operación, mantenimiento, y por último etapa de retiro y descarte. Se buscó caracterizar en cada etapa los materiales y/o procesos utilizados para poder determinar las afectaciones ambientales que se ocasionan, con el fin de determinar si los beneficios ambientales superan los impactos.

7.3.1. Fase obtención de materiales.

La fase inicial del ciclo de vida de cualquier producto o servicio, se describe como la obtención de materias primas(Haya, 2016), fase en la cual se determinan los tipos de materiales que son imprescindibles para la construcción del mismo, a su vez en esta fase se caracterizan los procesos industriales a los cuales están asociados dichos materiales, con el fin de analizar los impactos ambientales resultantes de la extracción o producción de las materias primas(Raluy et al., 2013). En el caso de los sistemas colectores materiales como el aluminio, el cobre, el vidrio y el polietileno son analizados bajo factores económicos y productivos, para garantizar una alta tasa de rentabilidad en el sistema.

Materiales como el cobre, el aluminio y el hierro los cuales son obtenidos por procesos de minería y transformación metalúrgica para su posterior uso o como el polietileno de alta densidad, siendo un derivado del petróleo, tienen cargas ambientales directas, pero a su vez no se les puede asociar toda la carga ambiental resultante de estas actividades económicas (Mart et al., 2013), dado que éstos procesos son de necesidad imperativa para distintos sectores industriales y de estos procesos se obtienen múltiples derivados fundamentales para la vida moderna, bajo esta premisa lo más importante es determinar cuál es el impacto

de los materiales imprescindibles para la elaboración de los colectores térmicos, analizando el volumen de materiales necesarios para la construcción de estos, y entablando una asociación de los impactos ambientales como emisiones de gases de efecto invernadero o contaminación de suelos.

7.3.2. Fase de fabricación.

En la fase de fabricación se llevan a cabo las transformaciones de materia prima a partes funcionales de los colectores lo que en el proceso posterior conlleva al funcionamiento de los colectores.

En la fabricación, aquellas materias primas obtenidas con anterioridad son modificadas por procesos industriales, para luego ser ensambladas en un sistema funcional que da como resultado los colectores térmicos, esta fase de fabricación ésta directamente afectada por el área y volumen de ocupación del colector, además de las preferencias del fabricante por materiales específicos con el fin de garantizar la durabilidad el producto, dadas estas variaciones de preferencias del diseñador se llegaron a criterios internacionales para la fabricación de los mismos en Europa y Latinoamérica con el fin de estandarizar los sistemas colectores, (CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO CÁMARA CHILENA, 2018; Mart et al., 2013; Raluy Rivera et al., 2013).

Esta estandarización dio como resultado que los colectores se puedan dividir en seis fases de fabricación de partes del sistema (figura 3) además de una parte de ensamblado para su posterior montaje en la zona de funcionamiento.

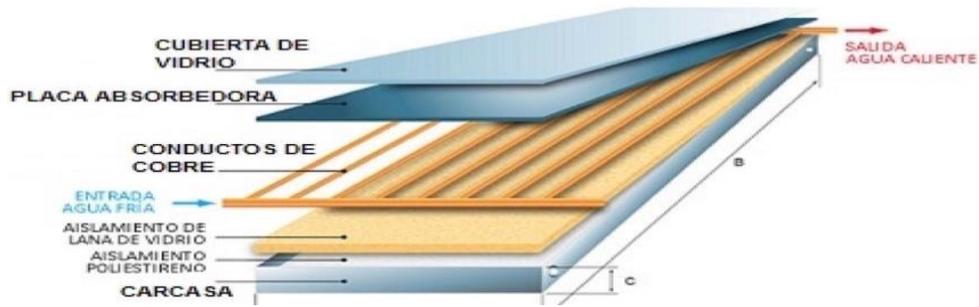


Figura 3 Partes del colector de placa plana

Fuente (Rodríguez Artalejo et al., 2018)

La primera parte del proceso es la elaboración del vidrio, que cuenta con una alta capacidad de absorción y una baja capacidad de transmisividad con el fin de garantizar que las longitudes de onda larga se mantengan al interior del sistema para así producir el efecto invernadero al interior del sistema. La elaboración de este elemento (figura 3) es llevado a cabo utilizando materiales como arena de sílice, carbonato de sodio y/o caliza en sus componentes básicos, no obstante en el proceso de los colectores se genera una purificación del vidrio con cobre con el fin de garantizar las propiedades ópticas óptimas, estos materiales son transformados elevando la temperatura a 680°C transformando los elementos en una masa semilíquida que luego será sometida a un choque térmico mediante un caudal y presión de aire para ocasionar que su temperatura disminuya de manera súbita lo que le confiere resistencia superficial para luego atravesar un “baño” de estaño fundido para darle una planimetría adecuada, luego vuelve a ser deformado para garantizar su resistencia y capacidad óptica y por último es cortado para su posterior ensamblado(Cano, 2014).

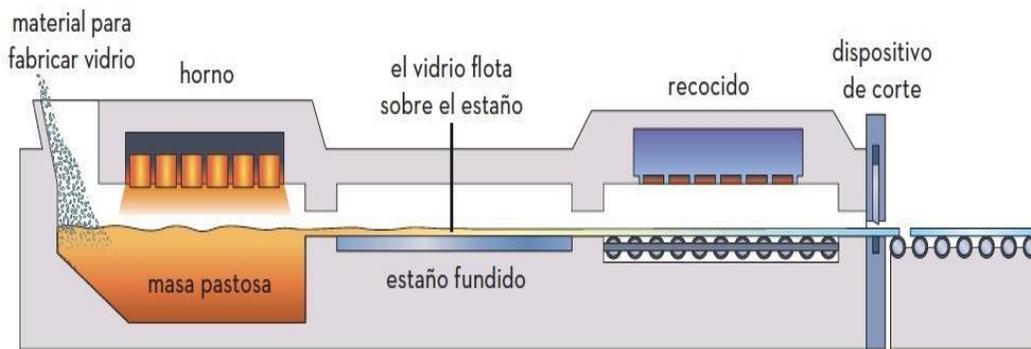


Figura 4 Producción del vidrio.

Fuente : <https://guia-ventana.com.ar/kalciyan-seminario-del-vidrio/>

La segunda parte a fabricar son las juntas de estanqueidad (Figura 5), las cuales su función principal es impedir fugas o entradas de aguas externas del sistema, estas deben contar con la capacidad de soportar altas temperaturas sin deformarse y a su vez tener una alta durabilidad, por ende el material más común para la fabricación de las mismas es poliuretano L-93 el cual es un termoplástico obtenido de bases hidroxílicas combinadas con disocianatos según lo establecido en diversos manuales técnicos de diseño de los colectores (Castellanos, 2016; Mart et al., 2013).



Figura 5 Juntas de estanqueidad

Fuente : <https://www.incoperfil.com/junta-estanca-cms-1-50-32/>

La tercera parte del proceso de fabricación del sistema es el material aislante, el cual puede ser de distintos tipos según lo establecido en los manuales Latinoamericanos y Europeos. (Mart et al., 2013) para la fabricación de colectores térmicos y sistemas térmicos en

general, aunque también los mismo tienen una preferencia a la espuma de poliuretano (Figura 6) dado que este material cuenta con una alta capacidad de resistencia al aumento de temperaturas y tener un precio en el mercado inferior lo que beneficia el coste económico del sistema.

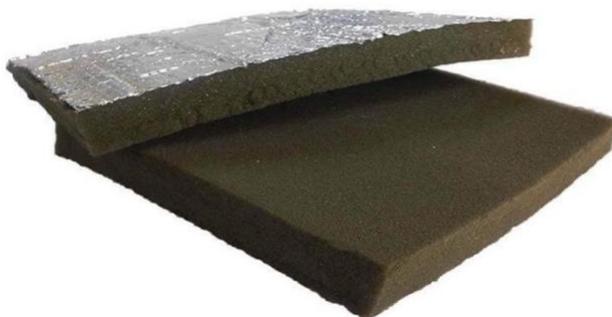


Figura 6 Espuma de poliuretano.

Fuente: <https://12pulgadas.net/equipo-de-estudio/aislante-acustico/espuma-poliuretano/>

Cuarta fase diseño de la “caja contenedor”, al igual que en el material aislante se cuenta con una amplia gama de materiales a utilizar en esta fase siempre contando con especificaciones técnicas las cuales se determinan por materiales con una capacidad de soportar altas temperaturas, alta rigidez y a su vez estable, en la coyuntura de los sistemas colectores térmicos los materiales por defecto para esta fase son el polietileno de alta densidad o materiales metálicos como el acero, siendo predominante el polietileno de alta densidad para evitar que la capa externa del material aumente su temperatura evitando de esta manera la deformación de material (Otanicar et al., 2011)

De la misma manera, las condiciones que el acero no permite dado que tiene alta capacidad de absorción de energía térmica lo que ocasiona que el material aumente su temperatura. A su vez son predominantes los materiales plásticos por su facilidad de moldeado, su menor

relación de peso por volumen (Mart et al., 2013) y su drástica diferencia en términos monetarios.

La Quinta fase del diseño de los colectores térmicos y a su vez una de las más sensibles es la placa absorbedora, según lo establecido en la patente de la misma (ENERGIA ERCAM, S.A., 2009) está diseñada bajo una aleación de aluminio y acero, materiales con un alto poder de absorción de energía calórica, apoyada por la alta absorbancia del vidrio lo que genera un sistema con condiciones idóneas para el efecto invernadero al interior del colector, esta placa llega a tener grosores entre 10 mm a 15 mm con el fin de garantizar que su temperatura se eleve en un tiempo corto, además es necesario que la placa posea la capacidad de transmitir la energía calórica obtenida a los tubos de vacío del interior del sistema con el fin de elevar la temperatura del agua sanitaria que atravesará los mismos. La obtención de la placa se produce por el proceso de fundición de materiales, refinado de la pieza hasta obtener el grosor óptimo y por último se le genera una serie de perforaciones que tienen como funcionalidad ser soportes de los medios de unión para tener una separación no mayor de 10 cm entre cada placa y los tubos con el fin de disminuir las pérdidas de energía por transmisión (ENERGIA ERCAM, S.A., 2009)

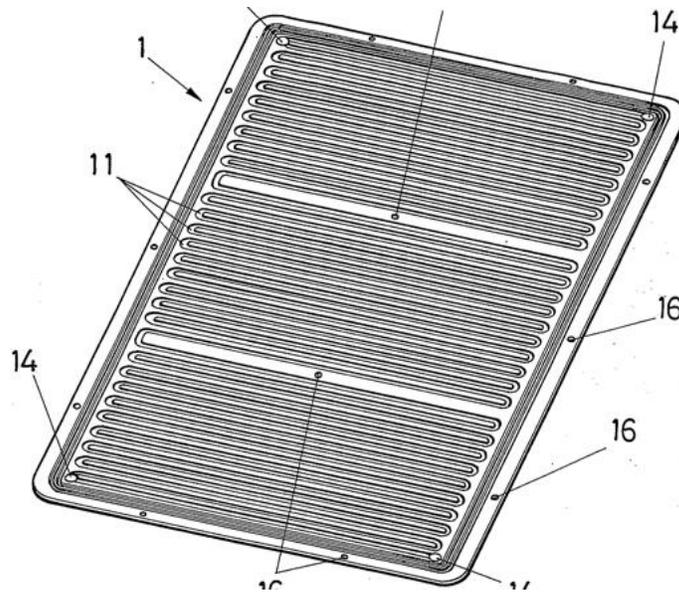


Figura 7 Diseño patentado de una placa absorbadora de un colector solar térmico.

Fuente (ENERGIA ERCAM, S.A., 2009).

Sexta fase del proceso de fabricación de los colectores Tubos de vacío, este es el elemento más sensible en cuanto a la construcción del sistema dado que del correcto diseño de los mismos es dependiente la eficiencia de todo el sistema, por ende es fundamental para los mismos garantizar una alta capacidad de transferencia de calor, dado estas condiciones y como se muestra en la figura 9, cuentan con una variación de materiales y de configuraciones específicas como el espaciamiento entre los tubos de vidrio interno y externo o el *Heat pipe* de cobre que tiene como función aumentar la transferencia de calor al interior del sistema, el proceso de fabricación de estos elementos cuenta con distintas fases como lo son el modelamiento del vidrio, un proceso similar al que se encuentra en la cobertura externa de vidrio(Cano, 2014) o también el recubrimiento de la lámina de cobre para garantizar las condiciones físicas para la transferencia interna de calor para elevar la temperatura del agua sanitaria.(Castellanos, 2016)

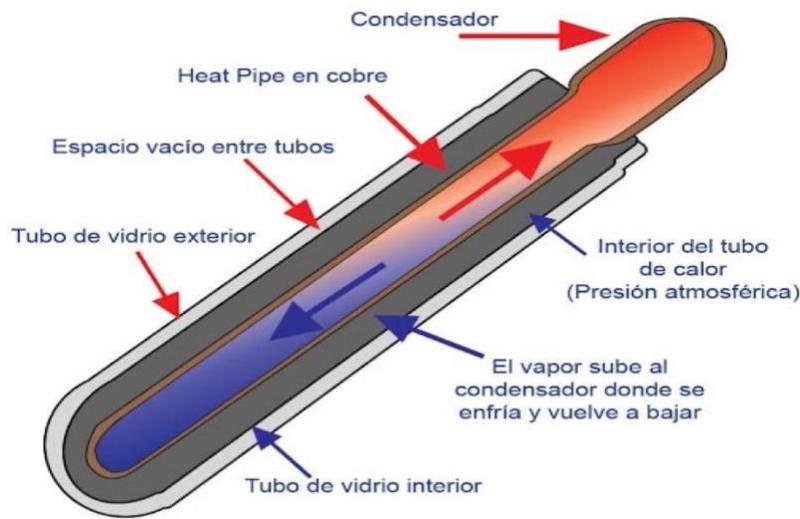


Figura 8 Tubos de vacío de los colectores térmicos.

Fuente (Albizzati, 2016)

Por último en el proceso de fabricación del sistema se realiza el ensamblado, fase en la cual se realiza la unión de todos los elementos previamente fabricados, con el propósito de garantizar un sistema funcional (CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO CÁMARA CHILENA, 2018) en esta fase en múltiples casos se utilizan aditivos como pegamentos resistentes a altas temperaturas a fin de que el sistema no presente fuga estableciendo la máxima durabilidad del colector (Fauroux, Diaz, Blanco, & Degaetani, 2016). El ensamblaje del colector se puede subdividir en tres partes, el primero es la unión de la placa absorbidora y los tubos de vacío, esto para establecer el espaciamiento entre cada tubo que no debe superar los 10 cm y a su vez que el distanciamiento entre la placa y los tubos no supere los 5 cm (Mart et al., 2013) para disminuir las pérdidas de energía, la segunda parte es la unión entre la caja contenedora, el material aislante y su unión con la parte uno, esto dado a que se debe garantizar que el material aislante no ejerza una presión exagerada en los tubos de vacío de manera que tampoco genere interferencia en la traspasó

de energía, por último la parte final del ensamblado es la unión del resultado de la fase 2 con la cubierta de vidrio utilizando las juntas de estanqueidad, en esta parte del proceso se realiza un adición de un pegamento resistente que soporte cambios abruptos de temperatura para obtener como resultado el colector solar de placa plana (Figura 10).



Figura 9 Colector Solar de Placa Plana.

Fuente(Rodríguez Artalejo et al., 2018)

7.3.3. Fase de montaje.

En esta fase se analizan los accesorios necesarios en el montaje final y arranque del sistema (Rodríguez Artalejo et al., 2018) a su vez se deben tener en cuenta las condiciones estructurales de resistencia con soporte de 100 kg por metro cuadrado para la instalación de la placa del colector junto con el sistema acumulador que según lo establecido en los estatutos latinoamericanos para energía solar térmica, deben ser de 45 litros por habitante (Rodríguez Artalejo et al., 2018), este criterio es variable y dependiente de la actividad

económica en la cual se va a establecer el sistema además del número de personas a abastecer .

Para el montaje del sistema y posterior puesta en marcha se debe garantizar que el colector cuente con un mínimo de 6 horas de exposición solar para su correcto funcionamiento (Vargas, Juan Pablo; Yampasi, Pablo; Tirado y Patzi, 2016), a su vez es necesario que el punto de instalación cuente con la capacidad de alimentar a la tubería de agua caliente por gravedad, evitando el bombeo en medida de lo posible, dado que esto sería contraproducente tanto a nivel ambiental por el uso constante de electricidad como por el factor económico por el aumento del servicio eléctrico por consumo de la misma, la entrada de agua fría al sistema se realiza por la presión de descarga de la tubería madre del acueducto que surte a la estructura con el fin de evitar también el bombeo de alimentación. El sistema de descarga de agua caliente saliente del colector en medida de lo posible debe estar recubierto con una capa de poliuretano de al menos $\frac{1}{2}$ " con el fin de evitar pérdidas térmicas en por estancamiento en la descarga del sistema hasta el paso a la tubería principal de agua caliente (Mart et al., 2013).

Igualmente, al garantizar los criterios técnicos para el montaje del sistema se realiza la instalación de la base soporte del sistema (Illanes Ortega & Travieso Ganaza, 2016), generalmente construida en acero con el fin de dar resistencia y durabilidad a la misma, se realiza la instalación de la tubería de agua fría proveniente de la instalación sanitaria existente en la estructura a la parte inferior del colector, un acople entre el colector y el acumulador para el almacenamiento por tubería ya sea de PVC o cobre según la preferencia del instalador, por último se realiza el empalme del sistema acumulador con la tubería de

agua caliente sanitaria para garantizar la distribución a la estructura, se deben garantizar las válvulas, empaques, medidores de nivel y registros necesarios para garantizar que el sistema pueda ser desarmado en caso de presentar algún tipo de falla o de ser necesario cortar el suministro del acumulador a la tubería principal, a su vez es necesario tener en consideración que la tubería y distintos accesorios necesarios para el sistema son dependientes de cada proyecto, por ende no hay una estandarización de los mismos puesto que la ubicación, distanciamiento y accesorios son a solicitud y necesidad expresa de cada sistema (Rodríguez Artalejo et al., 2018).

7.3.4. Fase de operación.

Terminado el proceso de instalación del sistema colector se debe realizar una limpieza de los circuitos hidráulicos y dos pruebas de funcionamiento con el fin de garantizar la operación bajo los criterios de diseño del sistema.

La limpieza se realizará bajo el paso constante de agua en el sistema con el fin de remover restos de materiales al interior de la cañería, este proceso se realiza bajo presión para garantizar la remoción interna de los residuos o utilizando un detergente el cual debe ser compatible con la tubería utilizada para evitar daños a la misma, este ejercicio es implementado hasta el punto en el cual el agua saliente del sistema no presente ninguna variación en color, olor o visualización de partículas en el agua (Mart et al., 2013).

7.3.4.1. *Prueba de estanqueidad*

Se realiza con el fin de garantizar que todos los elementos involucrados en el sistema cuenten con la capacidad de soportar la presión del paso del agua en el sistema sin sufrir

daños considerables que afecten el correcto funcionamiento del mismo, se ponen a prueba los elementos hidráulicos del sistema como tuberías, uniones, válvulas y el mismo sistema colector (Illanes Ortega & Travieso Ganaza, 2016), esta prueba se realiza de manera imperativa dado que es pieza fundamental para dar garantía a que el tiempo de vida establecido para el sistema se cumpla y funcione de manera correcta, en caso de encontrar alguna falla en el sistema se debe realizar el desarme de la estructura y el cambio del elemento en falla para realizar de nuevo el procedimiento hasta el punto en donde no se detecta ninguna fuga, la prueba de presión se realiza a 1.5 veces la presión máxima que llegará a soportar el sistema, esto con el fin de tener un rango de aceptación en caso de cambios abruptos de presión en el sistema (Rodríguez Artalejo et al., 2018).

7.3.4.2. Prueba de dilatación libre

Con el fin de garantizar la mínima deformación del sistema por elevación de temperatura se realiza la prueba de dilatación libre, consistente en elevar la temperatura del sistema a su máxima capacidad según lo establecido en diseño, realizar el paso de agua por un tiempo determinado según lo considere el instalador del proyecto (Ferrer, 2015), verificar si el sistema presenta alguna fuga y realizar de nuevo la prueba, se recomienda realizar mínimo tres veces la prueba con el fin de garantizar que el sistema no presenta deformaciones ni fugas garantizando una temperatura máxima de soporte (Carlos & Quevedo-Lora Raúl, 2007; Mart et al, 2013; Rodríguez Artalejo et al., 2018).

7.3.5. Fase de mantenimiento.

La fase de mantenimiento se plantea debido a que en medida del funcionamiento del sistema se genera un desgaste ya sea por el aumento de temperatura, por la presión ejercida por el agua o algún otro parámetro aleatorio que afecte el funcionamiento, por ende es necesario mantener el sistema en operación bajo los criterios mínimos para garantizar el correcto desempeño (Illanes Ortega & Travieso Ganaza, 2016; (Rodríguez Artalejo et al., 2018), por este motivo y dependiendo del uso que se le da al mismo el colector puede requerir múltiples mantenimientos en su ciclo de vida, esto es variable dependiendo de cada sistema, aunque en una alta frecuencia de los mismos requieren una constante de mantenimiento preventivo en temáticas hidráulicas para evitar problemáticas como fugas o pérdidas de presión al interior del sistema (Mart et al., 2013),

También se podrían presentar pérdidas de energía calórica por ruptura de alguno de los tubos de vacío internos (Ferrer, 2015), por ende bajo criterios de instalación estimados por el fabricante se genera una lista de chequeo en la cual se muestran los sistemas del colector, los plazos de monitoreo de los mismo además de la descripción de la actividad a realizar para garantizar un eficiente mantenimiento (Tabla 1) según la variación de sistemas integrados.

Tabla 1 Lista de chequeo para mantenimiento,

<i>Equipo</i>	<i>Periodo de Mantenimiento Preventivo</i>	<i>Descripción del Mantenimiento</i>
<i>Colector</i>	<i>6 Meses</i>	<i>Inspección visual sobre el estado a nivel estético del colector, verificando que no tenga grietas o fugas.</i>
<i>Juntas</i>	<i>6 Meses</i>	<i>Inspección visual de agrietamientos humedad o fugas.</i>
<i>Absorbedor</i>	<i>6 Meses</i>	<i>inspección visual de deformación, corrosión o oxidación.</i>
<i>Carcasa</i>	<i>6 Meses</i>	<i>Inspección de oscilaciones, deformaciones o ventanas de viento.</i>
<i>Conexiones</i>	<i>6 Meses</i>	<i>Inspección visual para determinar aparición de fugas.</i>
<i>Aislamiento Externo</i>	<i>6 Meses</i>	<i>Verificación de las protecciones de uniones, degradación y ausencia de humedad</i>
<i>Sistema de llenado</i>	<i>6 Meses</i>	<i>Control de funcionamiento efectivo.</i>
<i>Retraimiento del Acumulador</i>	<i>6 Meses</i>	<i>Comprobar la no presencia de humedad o fugas..</i>
<i>Estanqueidad</i>	<i>6 Meses</i>	<i>Efectuar presión de prueba.</i>
<i>Intercambio de Calor</i>	<i>6 Meses</i>	<i>Limpieza y verificación de temperatura al interior del acumulador.</i>
<i>Tuberías</i>	<i>12 Meses</i>	<i>Control de funcionamiento e inspección visual de aparición de fugas o humedad</i>

Fuente (Rodríguez Artalejo et al., 2018)

7.3.6. Fase de retiro y descarte.

La fase final del ciclo de vida correspondiente al retiro y descarte del sistema se da luego del cumplimiento del ciclo de vida planteado en diseño según lo establecido, dando claridad que a su vez se puede dar de forma abrupta por accidentes o daños irreparables que dejen al sistema completamente inutilizable, inservible o obsoleto.

La fase de descarte para los colectores inicia con el desacoplo de los sistemas anexados al mismo como lo son el sistema acumulador, las tuberías ya sea de agua caliente sanitaria o de agua proveniente del acueducto, posteriormente se realiza la desinstalación del panel colector de la base metálica, con el fin de que el sistema se vuelva lo más sencillo posible al momento de trasladarlo al lugar de disposición final, en continuación se realiza el retiro del soporte metálico al cual se encontraba unido el colector de placa y por último este es transportado al lugar en donde se realizará la disposición final ya sea para descarte en relleno sanitario o si es el caso para su reciclaje dependiendo de lo establecido por el usuario del sistema.

8. ESTADO DEL ARTE

8.1. Colectores solares térmicos como disyuntiva para obtención de agua caliente sanitaria.

Los colectores térmicos han sido una fuente de investigación en los últimos 15 años buscando una alternativa rentable a nivel económico y productivo para la uso de la energía solar, con el fin de elevar la temperatura de un líquido en grandes volúmenes, en este caso en específico la investigación se direcciona a aprovechar los principios físicos de absorbanca y transmisividad con el fin de utilizar la energía solar como fuente térmica para generar agua caliente sanitaria sin necesidad de utilizar sistemas calefactores los cuales tienen un consumo energético ya sea por utilización directa de electricidad o por la quema de gases (Albizzati, 2016),

A su vez los colectores se presentan como una alternativa “Ambientalmente Sostenible” dado que no generan emisiones directas de gases de efecto invernadero, además de generar un número muy insignificante de residuos sólidos en la fase de operación, siendo de esta manera una tecnología que no tiene afecciones directas a nivel ambiental (Jimenez et al., 2004).

Por otro lado, a nivel de Latinoamérica, Argentina y Chile han sido los pioneros en la implementación de los colectores solares térmicos para usos residenciales, comunales o de grandes infraestructuras como hospitales regionales e instituciones públicas, dando como resultado de este enfoque el “Manual de diseño para el calentamiento del agua” enfocado a sistemas sanitarios de agua caliente a partir de colectores, estableciendo en este documento distintos factores técnicos, económicos y normativos para el diseño, elaboración e instalación de estos sistemas, a su vez este documento también cuenta con un esquema de datos climáticos y solares con el fin de garantizar que la implementación de estos brindará un alto desempeño para la maximización de la rentabilidad del proyecto, no solo centrándose en la materia de mitigación ambiental sino que a su vez se plantea como alternativa económicamente conveniente (CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO CÁMARA CHILENA, 2018).

Con el fin de determinar los conceptos de viabilidad ambiental y sobre todo viabilidad económica la Universidad de La Matanza en Argentina en el artículo “Modelado, y análisis económico de colectores solares planos” (Fauroux et al., 2016) describen la variación en los materiales, la diferencia de procesos de fabricación, establece criterios para la determinación de la factibilidad ambiental y económica de los sistemas colectores,

mostrándolos como una alternativa a los calentadores de agua tradicionales que utilizan ya sea algún gas inflamable o energía eléctrica en la obtención de agua caliente con fines sanitaria.

La Universidad Nacional de Litoral ubicada en Argentina desarrolló en el año 2015 un estudio sobre los colectores térmicos de placa plana y de tubos evacuados, haciendo un énfasis significativo en la evaluación de su sustentabilidad en la instalación y funcionamiento, generando una comparativa entre los colectores térmicos, calefactores eléctricos y calefactores que funcionan a base de gas licuado, comparando los valores de descuento bruto a servicios públicos entre el tiempo previo a la instalación y posterior a la instalación a causa de la puesta en marcha de los colectores, además de un análisis de emisiones mitigadas por la instalación de esta tecnología (Albizzati, 2016).

Por otra parte, en México se han llevado a cabo investigaciones sobre el uso de sistemas colectores térmicos y su implementación en residencias unifamiliares, dando como resultado en una investigación conjunta con investigadores Alemanes una guía sobre las claves para la planeación de sistemas térmicos como los colectores o sistemas eléctricos como paneles solares, la instalación de los mismos según las condiciones estructurales, geológicas y climatológicas del terreno, el uso monitoreo y mantenimiento de cada sistema según especificaciones técnicas para garantizar la máxima durabilidad, siendo así una alternativa que ha tomado una fortaleza importante en nuevas edificaciones buscando un equilibrio ambiental y económico (Mart et al., 2013).

Así mismo en España en la Universidad de Zaragoza se planteó el análisis del ciclo de vida de colectores térmicos para una comunidad constituida por 500 viviendas, con el fin de

establecer la viabilidad técnica y económica de los parques colectores para satisfacer altas demandas de agua caliente sanitaria o calefacción dependiendo de las necesidades de la comunidad establecidas por la época del año, junto con esto se analizó el impacto ambiental generado por la construcción, instalación y funcionamiento de los mismos, al igual se genera el estudio de las emisiones mitigadas promedio por uso de calefactores, con funcionamiento a gas natural o con energía eléctrica, con el fin de determinar el beneficio ambiental de utilizar colectores en lugar de otros sistemas para aumentar la temperatura del agua en sistemas sanitarios, el estudio también plantea una alternancia entre el uso de colectores con un sistema auxiliar de calefacción (Raluy Rivera et al, 2013).

8.2. Análisis del ciclo de vida como instrumento para la sostenibilidad

La norma ISO 14040 nace dentro de las normativas ISO 14000 para la gestión ambiental con el fin de ser una herramienta para determinar los impactos ambientales asociados a la fabricación ya sea de un producto o un servicio, con este principio fundamental la norma ISO 14040 establece un marco normativo para el estudio del ciclo de vida teniendo en cuenta fases de extracción de materias primas, fabricación, transporte, montaje, operación, descarte y reciclado en las cuales se relacionan los impactos ambientales ocasionados por las mismas y las áreas ambientales afectadas como lo son emisiones de gases de efecto de invernadero, vertimientos de residuos en fuentes hídricas, contaminación en suelos, pérdidas de biodiversidad entre muchos otros factores (Organización Internacional de Normalización, 2007).

Dada la complejidad para asociar los impactos de cada producto o servicio específico con las actividades productivas necesarias para su construcción, múltiples universidades alrededor del mundo desarrollaron investigaciones enfocadas a la asociación de impactos con posibles procesos industriales, de esta investigación nacieron bases de datos como la base ELCD (base de datos de referencia europea para el análisis de ciclo de vida) (Cebrián-Tarrasón, Garraín, Vidal, & París, 2009),

Del mismo modo, la base de datos Ecoinvent (Base de datos internacional mas utilizada en el mundo con mas de 2000 conjuntos de datos) para el estudio del ciclo de vida, a su vez también surgieron bases de datos como ARVI la cual contiene un modelo de cadena de valor para el análisis de productos de compuestos de madera o polímeros. Las bases de datos son instrumentos para asociar el inventario de materias primas establecidos en la norma ISO 14040 con los posibles impactos ambientales a los que pueden aportar, adicionalmente dado que para la correcta aplicación de las bases de datos es necesario tener un flujo de entrada, un flujo de salida y en medida de lo posible la mayor especificidad del ciclo de vida de las fases mencionadas con anterioridad es necesario tener en cuenta una minuciosa investigación del producto o servicio al cual se le realizará el análisis del ciclo de vida.

Según los flujos de entrada y salida, además del inventario de materias primas fue necesario crear una metodología para asociar los valores del inventario específicos con un valor específico de impacto según la categoría, de esto nacieron distintas metodologías internacionales para poder generar datos cuantificables de impacto según los datos de ingreso y las especificaciones de salida (Huijbregts et al., 2016), entre las múltiples

metodologías generadas a nivel internacional *Eco-indicator99*, *ReCipe midpoint*, *TRACI*, *USETox*, *ILCD*, *CML* y *Cumulative Energy Demand* son las más utilizadas, cada una con una asociación específica ya sea a agotamiento de recursos como *CML*, balances de consumo energético como *Cumulative Energy Demand* o un enfoque múltiple como *Eco-indicator 99* y *ReCipe Mindpoint*(Huijbregts et al., 2016), cada metodología aplicable a distintas áreas, e incluso a procesos productivos completos si se cuenta con la información pertinente.

Los softwares para el Cálculo de análisis del ciclo de vida se desarrollaron para utilizar las bases de datos descritas con anterioridad, distintos métodos de asocio y utilizarlas de una manera práctica para poder determinar el análisis y evaluación del ciclo de vida de cualquier producto o servicio siempre y cuando conozcan sus componentes fundamentales y la delimitación de la investigación. Existe gran variedad de Software en el mercado actual, como son *Eco-It*, *SimaPro*, *Air.e LCA*, *Open LCA*, *TEAM* o *UMBERTO*, cada software diseñado con el fin de utilizar bases de datos específicas para asociar los impactos ambientales, planteando interfaces de correlación de bases mediante el asocio de los métodos descritos con las bases de datos, dando como resultado datos cuantificables de aportes a los impactos ambientales catalogados según el método utilizado ya sea en Kg, M3 o M2 según la categoría de impacto (Huijbregts et al., 2016).

En la actualidad los análisis del ciclo de vida son fundamentales al establecer la sostenibilidad ambiental de un producto o servicio, ya sea mejorando los procesos internos para la fabricación del mismo, comparándolo con productos similares que cumplan el mismo objetivo o utilizándolo como una herramienta para la autogestión ambiental de una

industria(Haya, 2016), en Colombia la investigación sobre el ciclo de vida se ha enfocado en gran medida para la optimización de procesos industriales o investigación de aportes de impacto en sectores como las energías renovables(Lorena, Torres, Milena & Delgadillo, 2019), la agroindustria o la reutilización sostenible de productos derivados del petróleo como plásticos o aceites(Torres Ulloa, 2019) con el fin de generar un enfoque sostenible para las presentes y futuras generaciones dando un máximo aprovechamiento de los recursos disponible y un mínimo aporte de efectos nocivos garantizando la disponibilidad de recursos.

9. METODOLOGIA



Figura Esquema Metodología.

Fuente Elaboración Propia

La metodología utilizada en el estudio se realizó bajo lo establecido por la Norma ISO 14040 para análisis del ciclo de vida de sistemas colectores solares térmicos, contando con

tres fases en el área metodológica y una fase final de resultados de interpretación según los datos obtenidos; cada fase estuvo desarrollada según lo establecido para el análisis del ciclo de vida incluyendo el apoyo del Software Open LCA para análisis del inventario.

Las fases del área metodológica son:

- Objetivo y Alcance
- Análisis de Inventario
- Evaluación de Impactos ambientales

9.1. Delimitación del objetivo y alcance del análisis

9.1.1. Definición de objetivo

El estudio tiene como objetivo analizar el ciclo de vida en los colectores solares térmicos con el fin de determinar el impacto ambiental ocasionado por el sistema colector de placa plana para una vivienda unifamiliar de 4 personas con una demanda diaria de 120 litros de agua caliente sanitaria, analizando los impactos ambientales ocasionados por cada componente del sistema según la metodología ReCipe 2016 midpoint mediante el análisis del inventario de materiales utilizados para su construcción, describiendo los impactos más importantes y los elementos del sistema que más implicaciones ambientales llegan a tener, a su vez se realizará una comparativa entre emisiones de CO₂ en un margen de tiempo de 15 años, consumos energéticos y costes económicos mitigados en el mismo tiempo por el uso de colectores en comparativa con tecnologías que cumplen el mismo fin esto para garantizar si los colectores se pueden catalogar como una fuente ambientalmente sostenible de producción de agua caliente sanitaria utilizando energía geotérmica en comparativa con

sistemas que cumplen la misma función pero utilizan otras fuentes de energía como gas o electricidad.

9.1.2. Alcance del sistema

Para el análisis del ciclo de vida de colectores solares térmicos se consideraron las fases de obtención de materias primas, fabricación, montaje, operación y mantenimiento, limitando las fases de transporte y descarte dado que cuentan con variables que generarían errores al momento de realizar la evaluación de impactos.

9.1.3. Limitaciones del análisis

- El presente estudio no tendrá en cuenta la fase de transporte, dado que para esta se debe establecer el lugar de ensamblado y el lugar en el cual se instalará el sistema con el fin de conocer el número de kilómetros que serán recorridos y asociarlos con las emisiones generadas por el vehículo transportador.
- La fase de reciclaje de los sistemas colectores solares de placa plana tampoco se tendrá en cuenta en el presente estudio, dado que cuenta con dos variables de incertidumbre como lo son en primera instancia el transporte del colector desde el lugar de desmonte hasta el lugar de disposición para reciclado los cuales no se establecen, además de esto el proceso de reciclaje es variable dependiendo del lugar en el cual se realice y el estado en el cual se encuentra el sistema colector para poder realizar el aprovechamiento de las partes del mismo.

9.2. Análisis de inventario

El análisis de inventario es una herramienta fundamental establecida en el análisis del ciclo de vida basado en la Norma ISO 14040 (Organización Internacional de Normalización, 2007), dado que de esta se organizan los flujos de entrada y salida en los cuales se determinaron los impactos generados y asociados a la construcción de un producto o servicio, en este caso direccionado a los sistemas colectores térmicos de placa plana como alternativa en la obtención de agua caliente con fines sanitarios, es necesario recalcar que el flujo está directamente relacionado con el inventario de materiales, el cual se realiza analizando los volúmenes por elemento del colector según lo establecido por el fabricante en casos específicos como el presente modelo analizado y el cual es una referencia estándar para una vivienda unifamiliar de 4 personas (Lema, Pontin, Morsetto, & Ruetsch, 2011), el fabricante presenta los kilogramos por componente y el peso total del sistema con el fin de garantizar que la estructura soporte será adecuada lo cual representó una ventaja importante al momento del análisis del ciclo de vida.

Los datos necesarios para el análisis del flujo de datos e impactos asociados serán los materiales utilizados para la elaboración del sistema colector solar térmico, en este caso en específico al utilizar la herramienta Open LCA el programa solicitará el peso de cada elemento del sistema colector para asociarlo al flujo de salida, como se mencionó con anterioridad el sistema colector se dividirá en tres secciones, la primera será el sistema colector de placa plana, la segunda parte es el sistema acumulador y por último la red hidráulica.

El análisis del inventario se realizará en el software *Open LCA* como se estableció con anterioridad bajo el método *ReCipe 2016 Midpoint (H)* con la base de datos ELCD (base de datos con referencia europea para el análisis del ciclo de vida) la cual comprende datos de asociaciones comerciales a nivel europeo, a su vez comprende datos vectoriales sobre transporte, flujos de energía, flujos productivos residuos sólidos y emisiones atmosféricas, dados por distintas aglomeraciones industriales (Huijbregts et al., 2016).

9.3. Evaluación de Impactos

La evaluación de impactos estará catalogada por la metodología *ReCipe 2016 midpoint*, la cual presenta una lista de 18 impactos concomitantes al ciclo de vida de los cuales se encuentran desde el aporte al cambio climático hasta toxicidad humana, estos impactos se correlacionan en 9 vías de daño lo que quiere decir que son ejes de contaminación afectando ya sea elementos de la salud humana como daño al sistema respiratorio o elementos ambientales como la calidad del aire y por último las vías de daño se establecen en tres áreas de afección final las cuales son: daños en la salud humana, daños a ecosistemas y daños a recursos naturales (figura 11).

La evaluación de impactos utilizando la herramienta *Open LCA* permite a su vez asociar los resultados del proceso productivo como sustancias tóxicas que se pueden llegar a producir y el aporte de las mismas (Huijbregts et al., 2016)

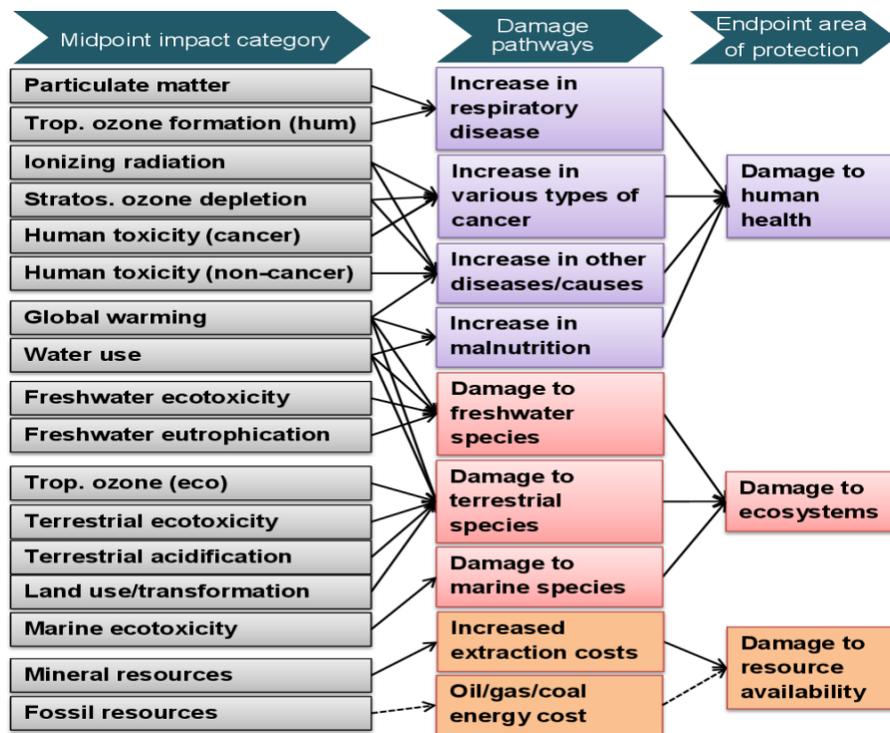


Figura 10 Asociación de Impactos ReCipe 2016 midpoint,

Fuente (Huijbregts et al., 2016)

Las categorías mencionadas con anterioridad se tuvieron como ejes principales en el análisis del ciclo de vida, puesto que por materiales utilizados y los procesos industriales a los que pertenecen se espera que sean los de mayor implicación ambiental, a su vez se utilizó una de las categorías para generar la comparativa de emisiones atmosféricas de otras tecnologías que cumplen la misma función(Huijbregts et al., 2016), estas categorías son:

- **Cambio climático (Climate Change) :** Se determina con base a la masa equivalente de Kg de CO₂ producidos en el ciclo de vida, según el método ReCipe 2016 se considera la producción de dióxido de carbono (CO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), metano (CH₄), entre otros elementos emitidos a la atmósfera, la unidad de medida determinada es Kg de CO₂. Esta categoría se tuvo en cuenta en el momento

de generarla comparativa de emisiones con tecnologías que cumplen el mismo fin, pero utilizan ya sea gases o electricidad para su funcionamiento.

- **Toxicidad Humana (Human Toxicity):** Impacto medido por las emisiones totales de elementos tóxicos en agua, aire y suelo. Se basa en el método de persistencia de sustancias tóxicas en un tiempo indefinido y su unidad de medida según el método ReCipe 2016 es kg de 1,4-diclorobenceno equivalente (DCB).
- **Agotamiento de metales (depletion metal):** Respecto al agotamiento de los metales utilizados para la elaboración de los colectores, se asocia al agotamiento de los recursos y materiales que pueden ser encontrados en la naturaleza, aplicando el principio de cuantos más metales son extraídos menos estarán disponibles para futuras tecnologías y por ende los escasez ocasionará que el costo del mismo sea superior, su unidad de medida para el método ReCipe 2016 es Kg de Fe eq.
- **Agotamiento fósil (Fossil depletion):** Relaciona el uso de combustibles y el impacto a nivel de disponibilidad del mismo, siendo objetivo que mientras mayor extracción del combustible fósil menor será su disponibilidad y por ende se tendrían que generar procesos más costosos para la extracción de los mismo lo que aumentaría su costo global, este ítem de impacto tiene su unidad de medida en el método ReCipe 2016 como Kg Oil eq.
- **Uso o agotamiento del agua (Water Use):** Todos aquellos impactos que se relacionan con el uso del agua se encuentran catalogados en este ítem de impacto, se tienen en cuenta si el agua se convierte en vapor de agua, o esta es utilizada en

algún proceso productivo, se transfiere a cuencas o se desecha al mar según lo establecido en el método ReCipe 2016, unidad de medida m^3 .

10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

10.1. Inventario de materiales en el ciclo de Vida

En concordancia la información sobre el sistema de colectores térmicos se plantea un inventario de cada material utilizado en la elaboración del sistema colector, incluyendo el acumulador la base soporte y a su vez la tubería que se utilizará para el funcionamiento, esto con el fin de poder generar un correcto análisis del ciclo de vida el cual deben estar los impactos ocasionados para la obtención de cada materia prima (Organización Internacional de Normalización, 2007).

El inventario mostrado en la tabla 2 corresponde a un sistema colector para una vivienda unifamiliar de 4 personas, bajo las especificaciones técnicas según lo establece la guía para sistemas colectores térmicos (Rodríguez Artalejo et al., 2018) se da una relación de un promedio de 40 litros de agua por persona, por ende el termotanque acumulador cuenta con una capacidad de 200 Litros en caso de que el consumo sea más elevado.

Tabla 2 Elementos del sistema colector y asociación con materiales

SISTEMA	PIEZA	MATERIALES
CAPTACIÓN	Cubierta de Vidrio	<ul style="list-style-type: none"> ● Vidrio ● Cobre ● Estaño
	Caja contenedora	<ul style="list-style-type: none"> ● Polietileno de alta densidad
	Juntas de Estanqueidad	<ul style="list-style-type: none"> ● Poliuretano L-93 de alta resistencia
	Tubos de Vacío	<ul style="list-style-type: none"> ● Vidrio ● Acero ● Cobre
	Sistema Aislante	<ul style="list-style-type: none"> ● Espuma de poliuretano
	Placa absorbedora	<ul style="list-style-type: none"> ● Aleación Aluminio-Cobre
	Soporte	<ul style="list-style-type: none"> ● Aleación de Acero-Aluminio
ACUMULACIÓN	Termotanque	<ul style="list-style-type: none"> ● Acero inoxidable, ● Poliuretano, ● Espuma elastomerica
	Placa soporte	<ul style="list-style-type: none"> ● Acero inoxidable
	Tornillería	<ul style="list-style-type: none"> ● Acero inoxidable
RED HIDRÁULICA	Tubería en P.V.C	<ul style="list-style-type: none"> ● Policloruro de Vinilo
	Válvula de alimentación y control	<ul style="list-style-type: none"> ● Policloruro de Vinilo, ● Aleación de aluminio-acero
	Purgador de Aire	<ul style="list-style-type: none"> ● Cobre
	Medidor de Presión	<ul style="list-style-type: none"> ● Aluminio-acero, ● Policloruro de Vinilo

	Medidor de Caudal	<ul style="list-style-type: none"> ● Aluminio-acero ● Policloruro de Vinilo
--	-------------------	---

Fuente (Mart et al., 2013)

10.2. Análisis de inventario en el ciclo de vida

El inventario de materiales es fundamental en el análisis del ciclo de vida, dado que está asociada directamente con los impactos ambientales que generará el producto en cuestión, el Software Open LCA funciona con un algoritmo de asociación de impactos según lo establecido en la normativa Europea de análisis en ciclo de vida con el método ReCipe 2016 midpoint, las variables indispensables solicitadas por el programa para generar la asociación de impactos es la cantidad de materiales utilizados para la fabricación de los colectores y la especificación de los materiales, por ende se desarrollo una tabla contenido con la asociación de los materiales necesarios por sistema, como lo son el colector de placa, el acumulador y el sistema hidráulico, el sistema planteado para el análisis es un sistema de colector sencillo para una vivienda unifamiliar.

Tabla 3 Inventario de Materiales para un sistema colector

MATERIALES UTILIZADOS POR SISTEMA EN KG	SISTEMA COLECTOR	SISTEMA DE ACUMLACION	RED HIDRAULICA
ACERO		18,009	
ALEACIÓN DE NÍQUEL HIERRO Y CROMO			1,08
ALUMINIO	4,86		

ANTICONGELANTES			0,42	
CEMENTO		5		
COBRE	3,685			
PINTURA	0,01	0,02	0,002	
POLICLORURO DE VINILO			0,4	
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	16,587			
POLIURETANO PROYECTADO	2,808		0,2	
SOLDADURA DE PVC			0,2	
VIDRIO	17,784			
PESO POR SISTEMA	45,73366954	23,029	2,302	
PESO TOTAL DEL SISTEMA	71,064			

Fuente (Formoso Fernandez; Amador, 2011; Hernández, 2012)

10.2.1. Análisis de inventario mediante el Software Open LCA

Mediante la modelación por el software Open LCA en el cual basados en el inventario de materiales utilizados en el proceso de elaboración en colectores se determinan los procesos de elaboración de cada material generando una relación entre posibilidades de proceso internas y determinando una asociación de impacto ambiental que se pueden catalogar

desde ocupación de tierra para agricultura, Toxicidad humana o agotamiento del agua como se referencia en la tabla 4, el programa utiliza una caracterización estándar establecida por el marco europeo para la elaboración de análisis de ciclo de vida, en este caso llamada ReCipe Midpoint (H).

Tabla 4 Determinación de impactos ambientales dado por el ciclo de vida de los colectores solares térmicos,

CATEGORÍA DE IMPACTO	UNIDAD DE REFERENCIA	RESULTADO DE IMPACTO
OCUPACIÓN DE TIERRAS AGRÍCOLAS	m2*a	0
CAMBIO CLIMATICO	kg CO2 eq	141,3210583
AGOTAMIENTO COMBUSTIBLES FÓSILES	kg oil eq	51,78424355
ECO TOXICIDAD DE AGUA DULCE	kg 1,4-DB eq	0,02670494
EUTROFICACIÓN DE AGUA DULCE	kg P eq	0,002095324
TOXICIDAD EN LA SALUD HUMANA	kg 1,4-DB eq	25,38098474
RADIACIÓN IONIZANTE	kg U235 eq	10,22671068
ECOTOXICIDAD MARINA	kg 1,4-DB eq	0,031883417
EUTROFICACIÓN MARINA	kg N eq	0,024511151
AGOTAMIENTO DE METALES	kg Fe eq	26,37593383
TRANSFORMACIÓN DE TIERRAS NATURALES	m2	0
AGOTAMIENTO DE OZONO	kg CFC-11 eq	8,46716E-06
FORMACIÓN DE PARTÍCULAS	kg PM10 eq	0,167730955
FORMACIÓN FOTOQUÍMICA OXIDANTE	kg NMVOC	0,521186382
ACIDIFICACIÓN TERRESTRE	kg SO2 eq	0,520925748
ECOTOXICIDAD TERRESTRE	kg 1,4-DB eq	0,01218751
OCUPACIÓN DE TERRENO URBANO	m2*a	0
AGOTAMIENTO DE AGUA	Liters	141,0876253

Fuente (Mart et al., 2013)

La tabla 4 nos presenta la información obtenida por el análisis del ciclo de vida a través del software OPEN LCA utilizando como flujos de entrada el inventario de materiales por peso referenciado en la tabla número 3, a su vez la figura 12 presenta los resultados en un gráfico que permite determinar de forma visual los aportes de los impactos ambientales por categoría.

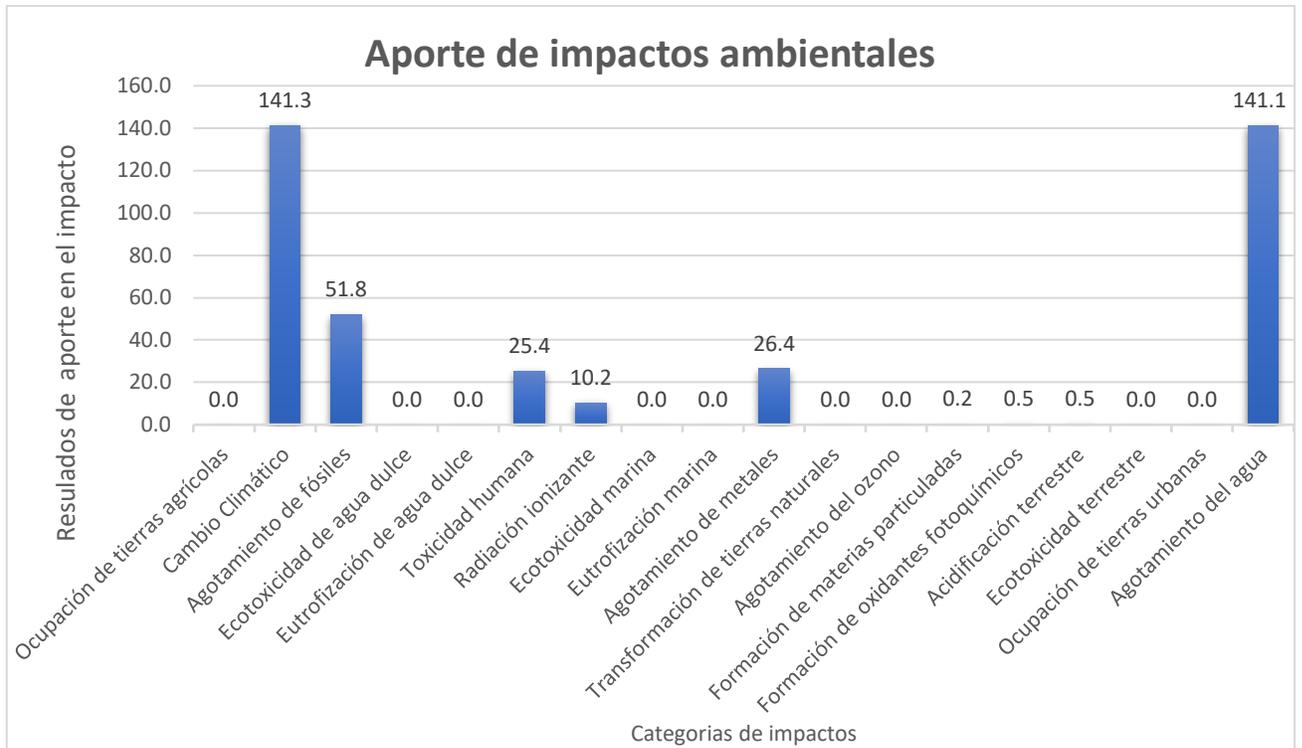


Figura 11 Impactos ambientales por categoría.

Fuente: OpenLCA

Como se presenta en la figura 11, se determina que los impactos más significativos relacionados con el ciclo de vida de los colectores térmicos son en primer lugar aportes al cambio climático referente a emisión de gases de efecto invernadero, seguido de agotamiento de agua en el proceso productivo y en tercera posición agotamiento de recursos fósiles relacionado con derivados del petróleo.

Respecto a los impactos generados por cada material necesario para la elaboración y funcionamiento del sistema colector (acero, cobre, polietileno, etc.) se logró categorizar el aporte generado de manera individual, con el fin de mostrar aquellos elementos que generan mayores impactos por categoría.

10.3. Evaluación de impacto por elemento del sistema colector.

10.3.1. Cambio climático

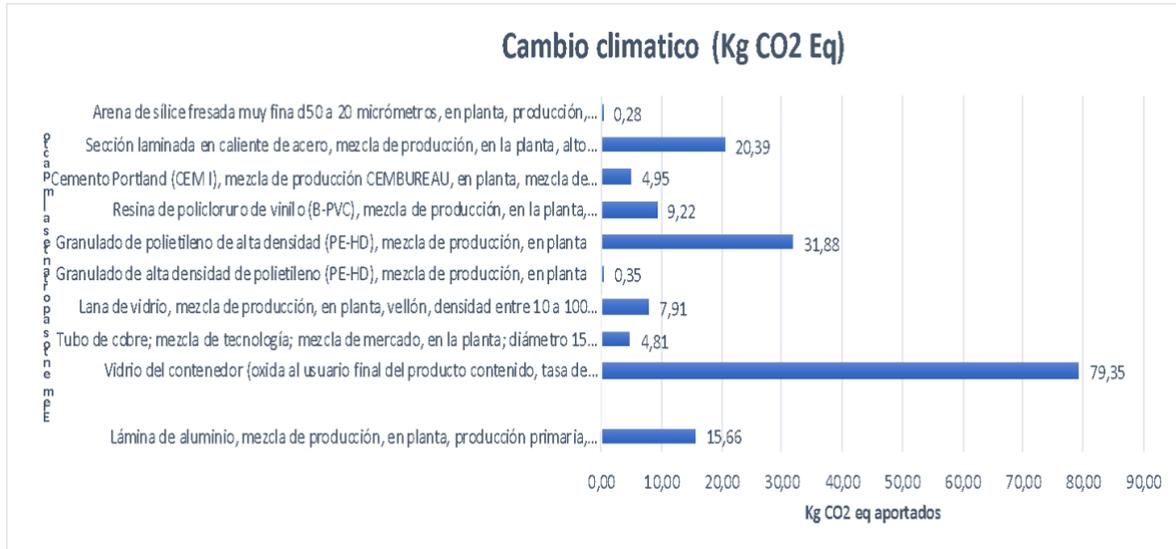


Figura 12 Kg de CO2 Eq. emitidos por elemento

Fuente Open LCA

En la figura 12 se muestra el aporte individual de cada material relacionado con el cambio climático, el cual maneja como unidad de medida Kg de CO₂, mostrando que el material con mayores implicaciones de emisiones atmosféricas generadas es el vidrio del colector, esto es debido a que para la fundición y posterior refinamiento es necesaria una alta tasa de energía térmica, con el fin de obtener una temperatura de 680°C, adicionalmente la gráfica muestra que los materiales imprescindibles para la producción de los colectores generan un valor de emisión de Kg de CO₂.

10.3.2. Agotamiento de recurso hídrico.

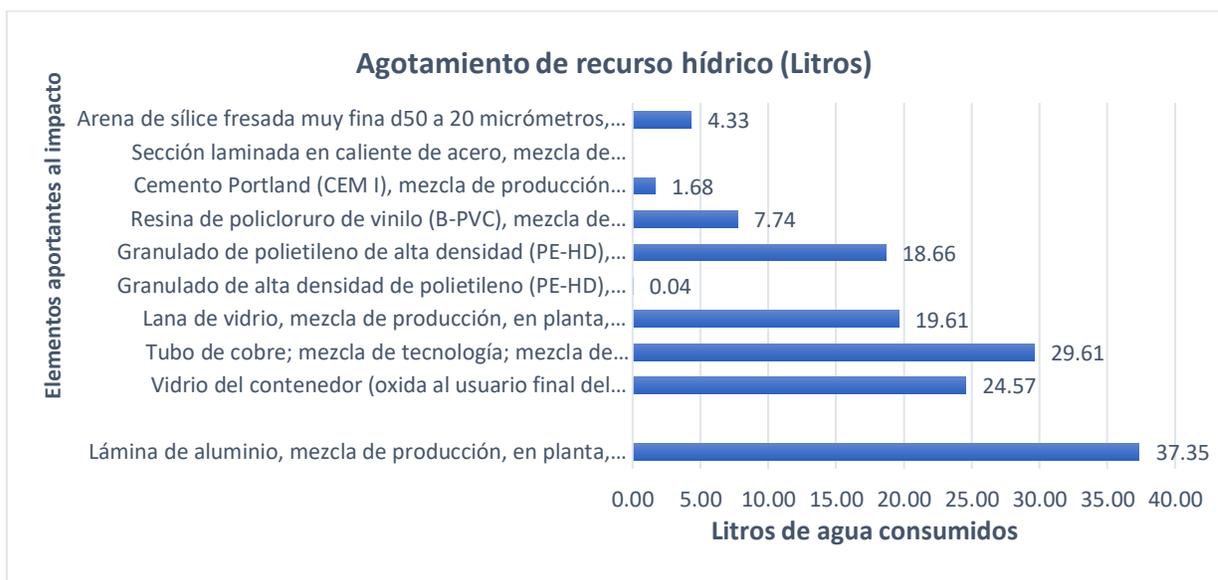


Figura 13 Agua consumida Litros.

fuelle: Open LCA

Según los resultados obtenidos en el presente documento para la elaboración de un solo colector térmico se utilizan más de 141 litros de agua, este agotamiento de recurso se encuentra distribuido en los distintos elementos del colector, pero se nota un consumo más elevado en relación a los distintos metales utilizados, como son la lámina de aluminio con un consumo de 37, 35 litros para la producción de una lámina de un peso de 4,86 Kg, lo que implica que por cada Kg de aluminio utilizado en el sistema en cuestión se utilizaron alrededor de 7,5 Litros de agua, o en el caso de los tubos de cobre utilizados para transportar el líquido al interior el colector y con el fin de ser un material para la transmisión de energía térmica se utilizaron 29,61 litros de agua para 8 tubos los cuales cada uno tuvo un peso de 0,45 Kg, mostrando así que para la elaboración de cada tubo de cobre se utilizaron alrededor de 3,7 litros de agua.

10.3.3. Agotamiento de recursos fósiles

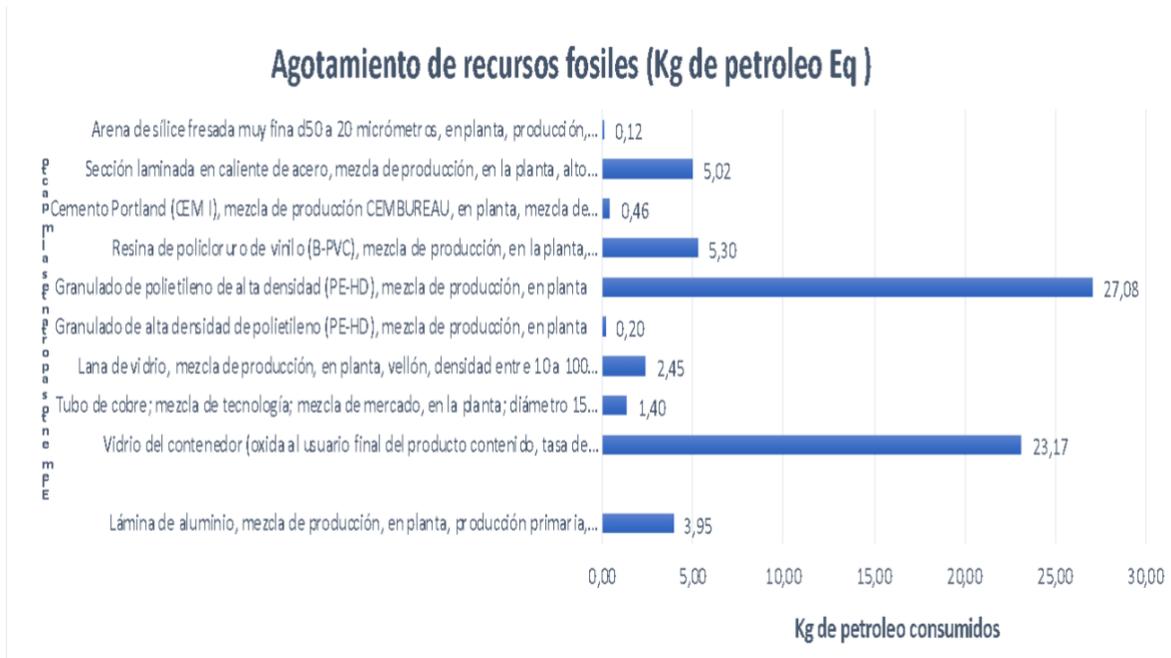


Figura 14 Agotamiento de recursos fósiles.

Fuente Open LCA

El agotamiento de recursos fósiles establece relación con impacto a la escasez, proyectando la extracción de los recursos fósiles actuales utilizados y futuros, dando como principio que los primeros recursos en extraer serán los de mayor facilidad de acceso y que a medida continúe su extracción estos empezarán a tener escasez, migrando a tecnologías poco convencionales (fracturación hidráulica, recuperación mejorada de petróleo o perforación en áreas de protección) para mantener la demanda actual y futura.

En la presentación de resultados mostrados en la figura 12 se determina que el elemento que mayores afecciones tiene en relación al agotamiento de este recurso es el polietileno de alta densidad, material obtenido como subproducto de la refinación del petróleo, seguido

por el vidrio, el cual relaciona su afección a las altas temperaturas que se deben alcanzar (680°C) para su elaboración.

10.3.4. Toxicidad Humana

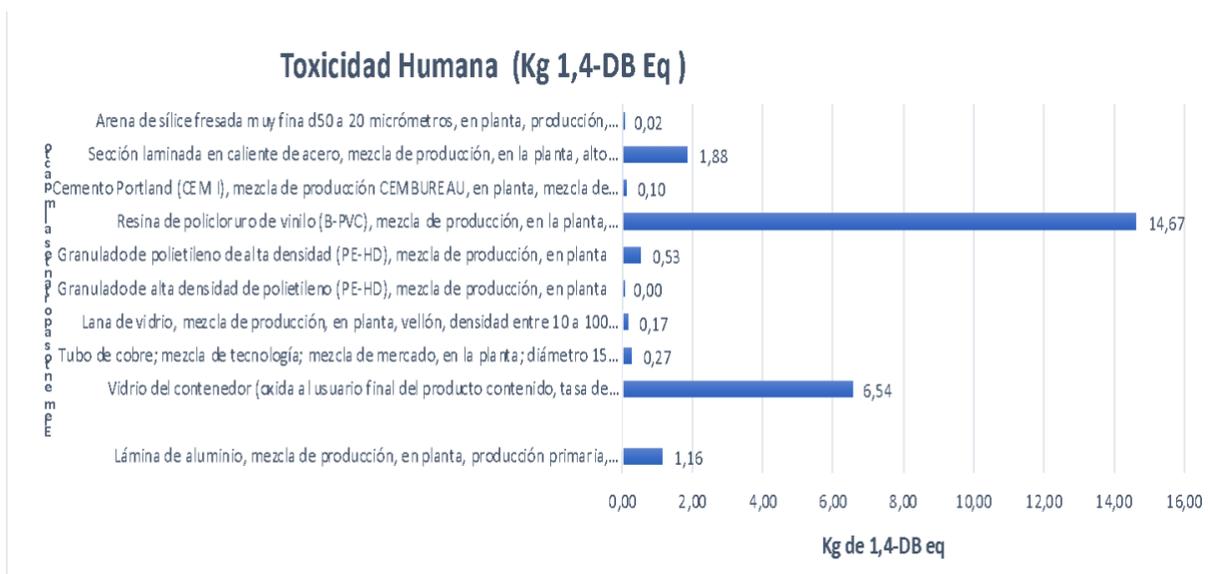


Figura 15 Aportes a la toxicidad humana.

Fuente: Open LCA

La relación con la toxicidad humana según la metodología ReCipe 2016 plantea sustancias que son nocivas para la salud humana, ya sean en un periodo largo o corto de exposición, por ende la unidad de medida se determina como 1,4-diclobenceno equivalente, sustancia catalogada según la OMS como cancerígena, según los resultados mostrados por el análisis formulado se muestra una alta tasa participativa en el resultado por parte de resinas con policloruro, sustancia presente tanto en la pintura utilizada en el sistema, como en las soldaduras de tubería e incluso como elemento con una baja participación en las juntas térmicas.

9.3.5. Agotamiento de metales.

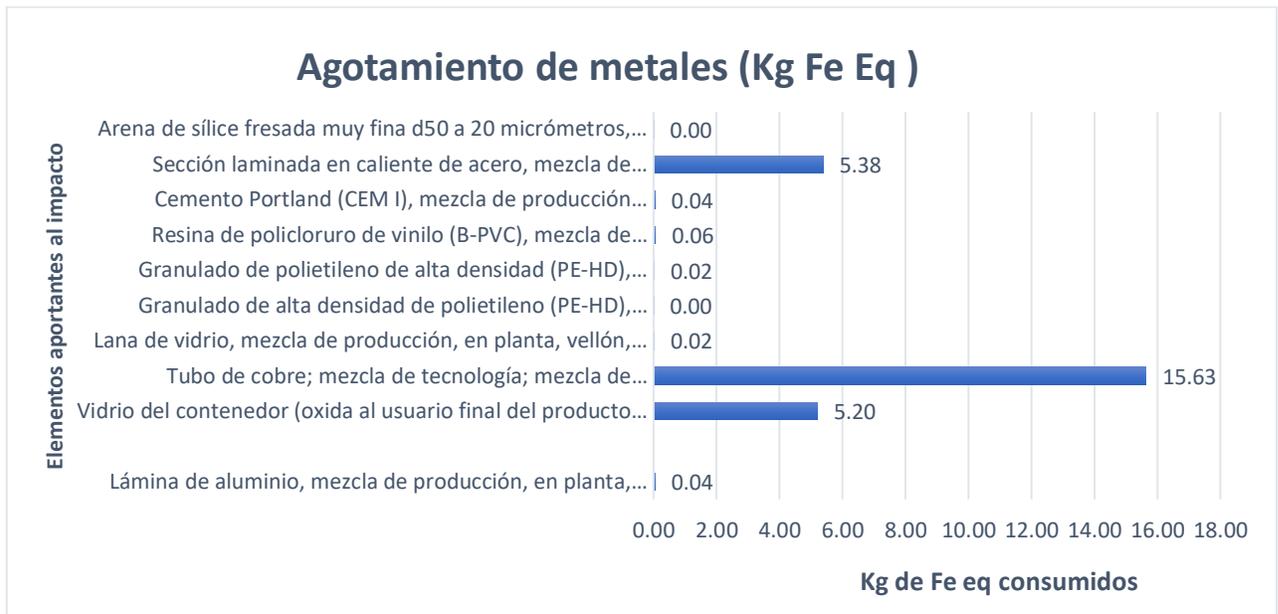


Figura 16 Agotamiento de Metales.

Fuente: OpenLCA

El agotamiento de metales como uno de los impactos medio ambientales relevantes dentro del estudio, dado su sistema productivo basado en la extracción de minerales, implicaciones paisajísticas del mismo y las proyecciones económicas y medioambientales por escasez, siendo este impacto un eje generador de otros impactos medioambientales.

En el estudio se logró mostrar el alto impacto que llega a tener la fabricación de tubos de cobre refinados, material indispensable para la elaboración de los colectores térmicos, adicionalmente muerta un aporte significativo por parte del vidrio, dado que para obtener las altas tasas de absorbancia y la baja tasa de transmisividad es necesario un refinamiento con cobre como se mencionó con anterioridad, siendo este un factor importante en el agotamiento de metales y minerales.

10.3.5 Comparativa de aportes por elemento del sistema

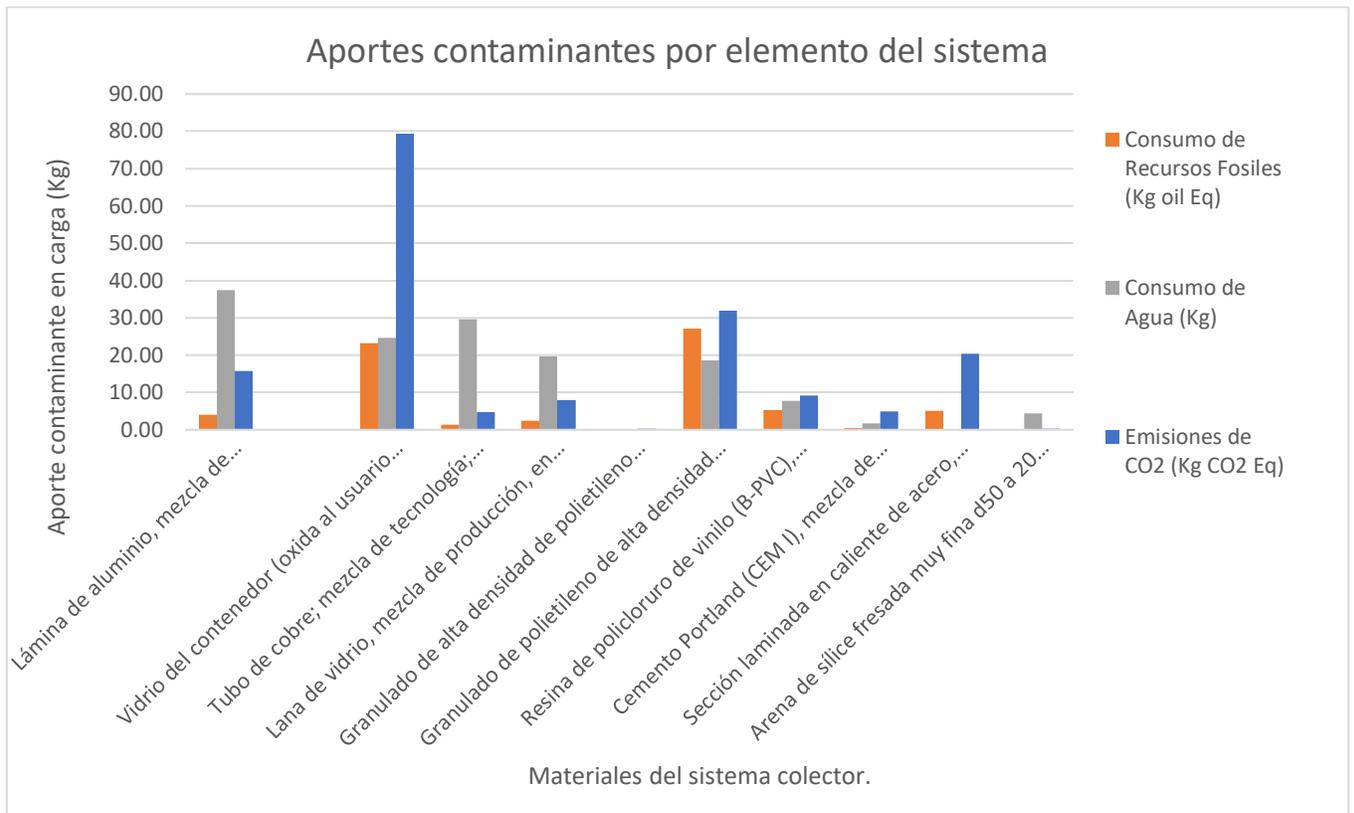


Figura 17 Aportes contaminantes por elemento del colector.

Fuente; Open LCA

Cada elemento para la construcción de los sistemas colectores tiene un aporte individual a los impactos ambientales, el cual está determinado por el tipo de proceso productivo para su obtención, en la figura 17 se utilizan los tres impactos con valor número más importante según los resultados obtenidos por el software Open LCA como base para mostrar el alto impacto que tiene la producción del vidrio de los sistemas colectores solares, debido a su alta tasa de generación de emisiones a la atmósfera, también se muestra el alto consumo que es requerido para la transformación y producción de elementos con partes metálicas, como se muestra en este caso en la lámina de aluminio y los tubos de cobre.

10.3.6 Punto final elemento de impacto

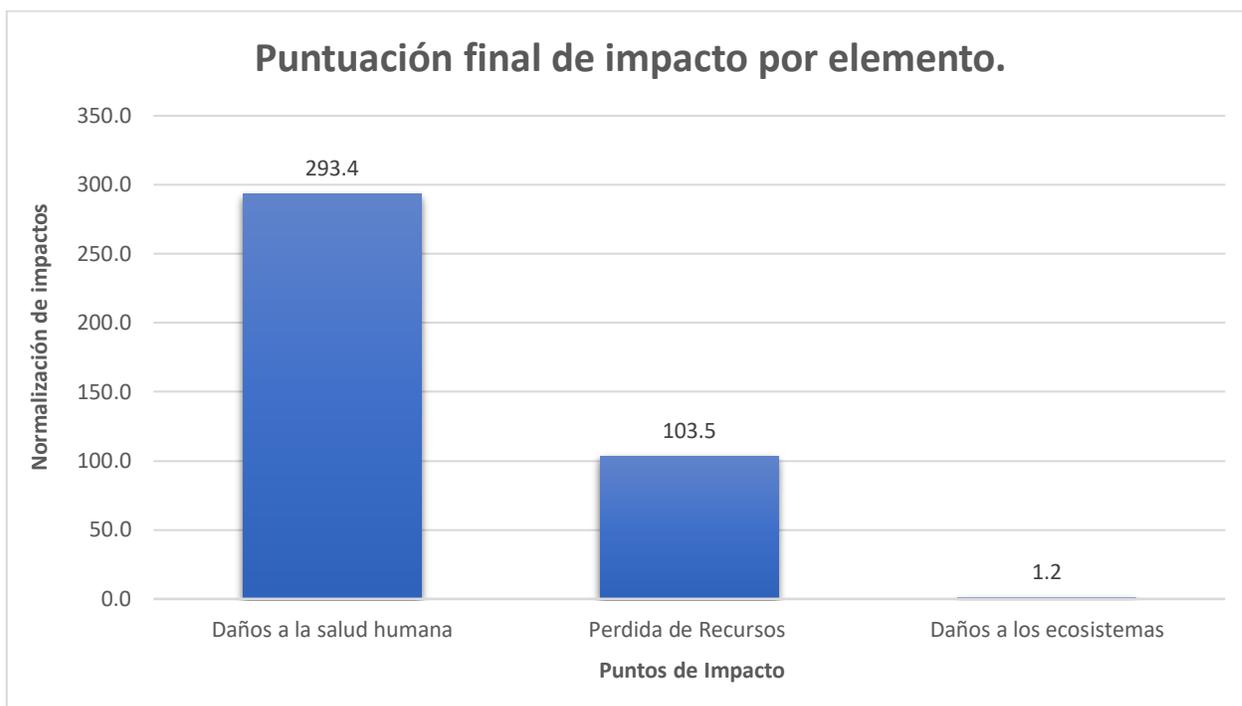


Figura 18 Ponderación de impacto elemento ambiental.

Fuente Open LCA

La categorización de impacto final según la metodología ReCipe 2016 son los tres ejes ambientales en los cuales se plantean los daños a ecosistemas, salud pública y recursos futuros disponibles, como se observar en la figura 15 el daño a la salud humana con un puntaje de 293,4 es el mayor impacto generado por el ciclo de vida de los sistemas colectores, mientras que los daños a ecosistemas es el puntaje más bajo con solo 1,2.

Este puntaje normalizado de impactos según los resultados obtenidos por el software Open LCA plantea que el elevado consumo de agua, las emisiones de Kg de CO₂ y a su vez las sustancias tóxicas resultantes como residuo del ciclo de vida no generarán un impacto importante a los ecosistemas sino que por el contrario será una problemática enfocada a

distintas enfermedades desarrolladas por la humanidad, a su vez la pérdida de recursos proyectada según lo establecida mostrará un aporte significativo a la escasez de recursos futuros, los cuales pueden ser mitigados en alguna medida si se plantea un reciclaje completo del sistema, lo cual es dependiente de la decisión propia del propietario del sistema y del proceso por el cual se realice el reciclado.

10.4. Mitigación de impactos

10.4.1. Emisiones generadas por tecnologías con el mismo fin de los colectores térmicos.

Tabla 5 Eficiencia Térmica por sistemas

Tecnología	Eficiencia %
Combustión	55
Resistencia Eléctrica	65
Solar	50
Inducción	95

Fuente (Guamán, García, Guevara, & Ríos, 2016)

Relación de eficiencias promedio en transmisión de energía para la producción de agua caliente con fines sanitarios, según la tecnología utilizada, basados en los estudios realizados por la universidad de Ambato en Ecuador para América Latina.

Tabla 6 Consumo Energéticos y producción de CO2 en Kg mes

Tipo de calentadores	Fuente de Energía	Consumo de Energía / Mensual	Producción Mensual de CO2
Calefactor a Gas	Combustión /Gas licuado de Petróleo	196 KWh	34,5 Kg

Ducha Eléctrica	Electricidad /Energía	55,6 KWh	16,68 Kg
Calentador de Agua por Inducción	Electricidad /Energía	45,5 KWh	13,71 Kg

Fuente (Guamán et al., 2016)

Según un estudio realizado por la universidad de Ambato para América Latina obtuvo valores promedio de consumo energético por hogares para la producción de agua caliente con fines sanitarios utilizando distintas tecnologías como son: calefactores, duchas eléctricas y calentadores de agua por inducción, de los cuales logró obtener datos mensuales de consumo energético y generación de CO2 utilizados en la comparativa de aporte al cambio climático por emisiones(Guamán et al., 2016).

Tabla 7 Producción de CO2 por distintas tecnologías de producción de agua caliente en distintos periodos de tiempo

Tipo de calentador	Fuente de Energía	Producción Mensual de CO2 en Kg	Producción Anual de CO2 en KG	Producción de CO2 en Kg (5 años)	Producción de CO2 en Kg. (10 años)	Producción de CO2 en Kg. (15 años)
Calefactor a Gas	Combustión /Gas licuado de Petróleo	34,5	414	2070	4140	6210
Ducha Eléctrica	Electricidad /Energía	16,68	200,16	1000,8	2001,6	3002,4
Calentador de Agua por Inducción	Electricidad /Energía	13,71	164,52	822,6	1645,2	2467,8
Sistemas colectores Solares Térmicos	Solar /Energía térmica	141,3	141,3	141,3	141,3	141,3

Fuente *Elaboración propia*

Se genera una proyección basados en el ciclo de vida de sistemas colectores, según lo establecido en diseño estos sistemas tienen una vida útil promedio de 15 años, el cual puede variar dependiendo de factores de mantenimiento. Este tiempo proyectado de vida útil se utilizó como base en la comparativa de emisiones generadas por procesos productivos en el ciclo de vida, en contraposición con las generadas por las demás tecnologías para su funcionamiento, teniendo en cuenta el tipo de fuente de energía utilizada.

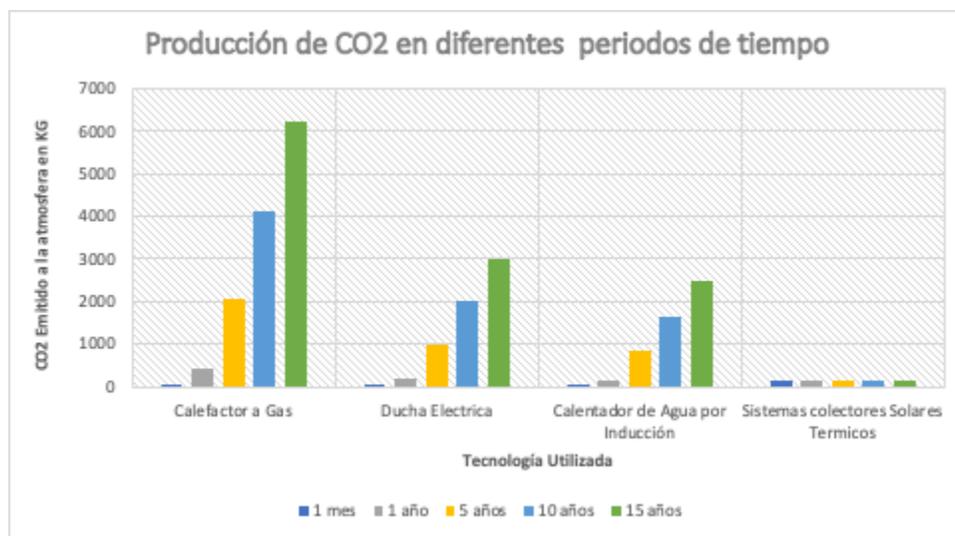


Figura 19 Producción de CO2 en distintos periodos de tiempo por diversas tecnologías.

Fuente (Guamán et al., 2016)

Los valores por tecnología son acumulativos dado que el CO2 puede permanecer en la atmósfera hasta 200 años, siendo este un impacto que no disminuye de manera considerable en el tiempo por ende los valores proyectados no tendrán una disminución importante durante ciclo de vida de sistemas colectores.

10.4.2. Comparativa de consumos energéticos directos proyectados.

Según lo establecido el sistema tendrá un funcionamiento a base de presión, la cual es dada por la tubería principal del acueducto de donde se tiene conexión a la vivienda, por ende, el sistema no necesita en este caso específico un sistema eléctrico ni calórico para la circulación del líquido, tampoco la producción de agua caliente sanitaria más que la energía térmica obtenida del sol.

Bajo estas condiciones de diseño se plantearon las proyecciones de los consumos energéticos que serán efectuados durante el ciclo de vida de sistemas colectores (15).

Tabla 8 Consumos energéticos proyectados en la generación de agua caliente sanitaria.

Tipo de calentador	Fuente de Energía	Consumo de Energía / Mensual KWh	Consumo de Energía / Anual KWh	Consumo de Energía / 5 años KWh	Consumo de Energía / 10 años KWh	Consumo de Energía / 15 años KWh
Calentador a Gas	Combustión / Gas licuado de Petróleo	196	2352	11760	23520	32287,08
Ducha Eléctrica	Electricidad / Energía	55,6	667,2	3336	6672	9158,988
Calentador de Agua por Inducción	Electricidad / Energía	45,5	546	2730	5460	7495,215

Sistemas colectores	Solar /Energía térmica	0	0	0	0	0
----------------------------	------------------------	---	---	---	---	---

Elaboración propia

La proyección de consumo energético se basó en un sistema de producción de agua caliente promedio para América Latina, a su vez la proyección se realizó con la tecnología disponible actualmente, con el fin de tener un resultado más aproximado a la realidad, se debe tener en cuenta que la modernización tecnológica y la innovación en materia productiva dado que se puede generar tecnología con menor consumo energético en un futuro y por ende variar los consumos mencionados en el presente estudio.

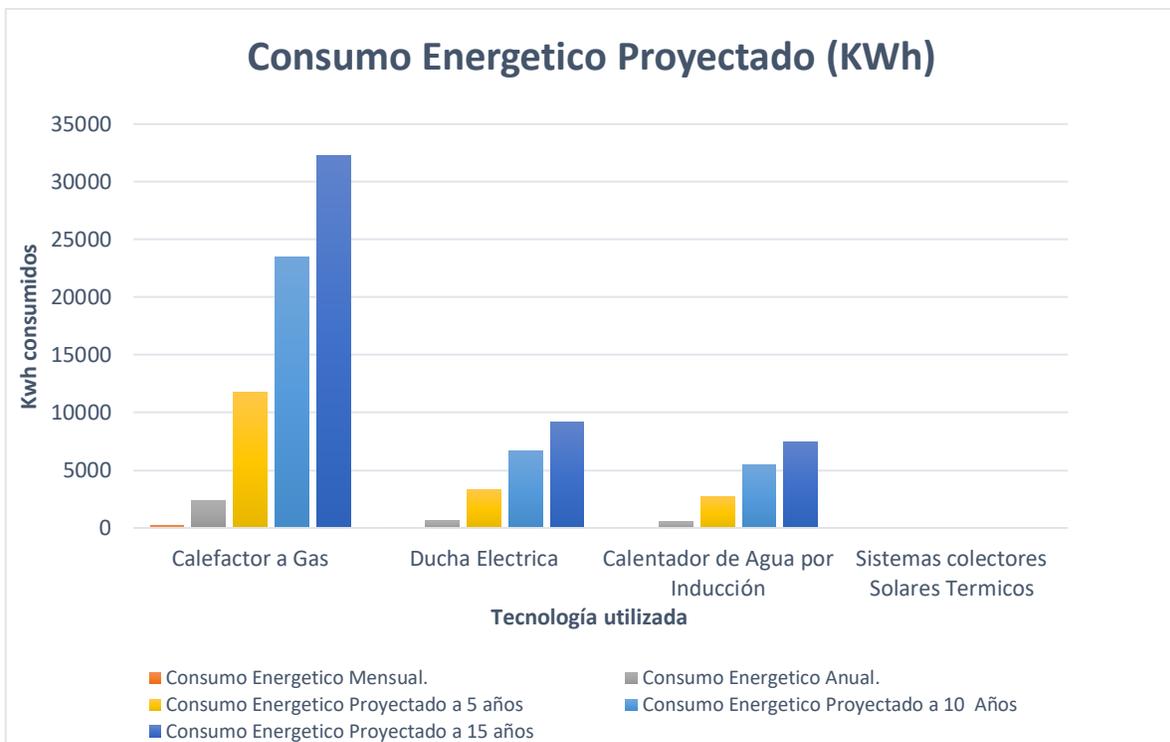


Figura 20 Consumo Energético Proyectado.

Fuente (Guamán et al., 2016)

Se logra mostrar gráficamente el consumo energético de los sistemas, mostrando el consumo de gas licuado de petróleo utilizado para el funcionamiento de los calefactores es el que más energía llega a consumir en los distintos periodos de tiempo, esto es debido a la eficiencia de transmisión térmica la cual según lo planteado en la tabla 5 es del 55% aproximadamente, a su vez muestra la mitigación de consumo energético que plantean los sistemas colectores, dado que al no necesitar un sistema a base de electricidad o combustión para la producción de agua caliente sanitaria de forma directa tiene alto índice de mitigación de consumo de consumo energético.

10.4.3. Costes económicos mitigados.

Tabla 9 Costos económicos por la generación de agua caliente sanitaria.

Tipo de calentadores	Fuente de Energía	Coste de Consumo energético 1 mes	Coste de Consumo energético 1 año	Coste de Consumo energético 5 años	Coste de Consumo energético 10 años	Coste de Consumo energético 15 años
Calefactor a Gas	Combustión /Gas licuado de Petróleo	\$32.287	\$387.445	\$1.937.225	\$3.874.450	\$5.811.674
Ducha Eléctrica	Electricidad /Energía	\$29.809	\$357.710	\$1.788.552	\$3.577.103	\$5.365.655

Calentador de Agua por Inducción	Electricidad /Energía	\$24.394	\$292.731	\$1.463.653	\$2.927.306	\$4.018.459
<<Sistemas colectores	Solar /Energía térmica	\$2.053.900	\$2.053.900	\$2.053.900	\$2.053.900	\$2.053.900

Elaboración propia

La proyección de los consumos energéticos se plantean según la fuente de energía utilizada por sistema, en el caso de los calefactores al utilizar gas, el cual tiene un valor de \$164.73 pesos colombianos por Kwh para la ciudad de Bogotá según lo establecido por la empresa prestadora del servicio VANTI S.A, para los sistemas con funcionamiento eléctrico el costo económico según lo establecido por la empresa ENEL CODENSA prestadora de la red eléctrica de la ciudad de Bogotá el precio por Kwh es \$536.1366 pesos colombianos para estrato 3 sin tener en cuenta subsidios ni subvenciones económicas, el costo final del sistema colector según la inversión inicial se plantea en \$2.053.900 pesos colombianos, basados en precio promedio dados por los fabricantes e instaladores.

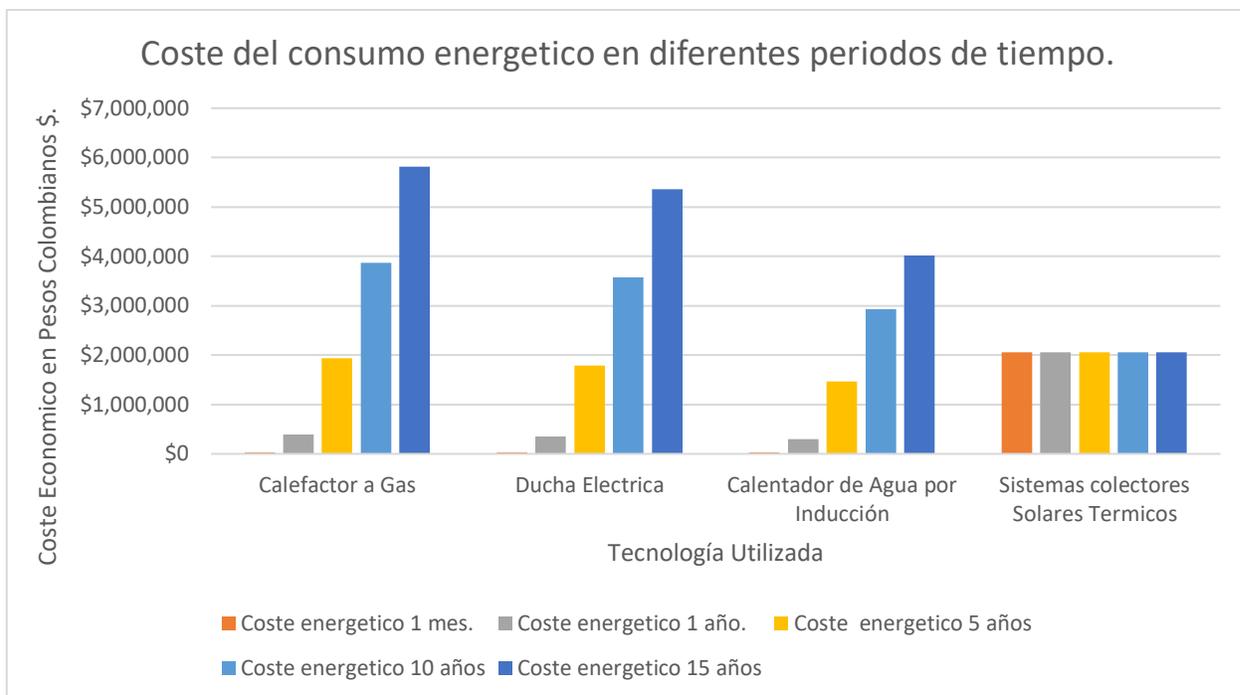


Figura 21 Coste económico mitigado.

Fuente (Guamán et al., 2016)

En la proyección de costos mitigados se muestra el punto de retorno en inversión de los colectores solares térmicos será en un punto medio entre los 5 y 10 años de uso del sistema colector. A su vez también se logra mostrar que la tecnología que mayores costos económicos llega a tener son los calefactores a base de gas, esto debido a que su índice de eficiencia es solo del 55% según lo establecido, utilizando una mayor cantidad de energía para la elevación de la temperatura de un mismo volumen de agua, a su vez es necesario recalcar que el costo económico está establecido bajo los precios actuales en el mercado y se deben tener en cuenta variables económicas que a mediano y largo plazo incrementaron los precios tanto de la energía eléctrica como del gas natural, lo que generará un incremento en el coste económico de esos sistemas, no se tuvo en cuenta la inversión inicial en cuanto al precio de los demás sistemas, dado que afectaría la proyección de los valores.

11. CONCLUSIONES

En respuesta al objetivo de la investigación se encontró:

Los principales impactos ambientales del ciclo de vida de los sistemas colectores están orientados al consumo de recursos hídricos, emisiones de CO₂ a la atmósfera y agotamiento en recursos fósiles, mostrando que estos impactos generan afecciones directas a la salud pública.

Según los datos obtenidos por el análisis del ciclo de vida mediante el Software Open LCA se encontró que la elaboración de vidrio con refinamientos de cobre es uno de los elementos que mayor impacto genera; teniendo un índice de emisión de 79 Kg de CO₂, igualmente los elementos metálicos del sistema tienen un alto consumo de agua y recursos fósiles como se evidencia en la figura 17. Este resultado tiene concordancia con lo descrito por Raluy Rivera et al., (2013), en cuanto al refinamiento y moldeo de los metales para la elaboración de los sistemas colectores y los procesos productivos que tienen injerencia directa en su diseño.

No obstante, los impactos ocasionados por el ciclo de vida de los colectores térmicos son menores que los impactos ocasionados por la utilización de otras tecnologías con el mismo fin en el tiempo de vida de los mismos, esto tiene alineación directa con lo encontrado por Guamán et al., (2016), en donde se muestra que las tecnologías que utilizan el sol como fuente principal de energía son ambientalmente sostenibles debido a sus bajos índices de emisiones de CO₂ a la atmósfera; de la misma forma se logra mostrar la mitigación de consumo energético por parte de los sistemas colectores al no requerir componentes

electrónicos para su funcionamiento y de esta manera reducción los costos económicos ocasionados por producción del agua caliente sanitaria.

De la misma forma se logró determinar que, aunque el costo de inversión de los sistemas colectores es elevado, en el tiempo del ciclo de vida la inversión será retornada, puesto que los consumos energéticos y económicos para la producción de agua caliente con fines sanitarios tanto en sistemas de calefacción a gas como en los sistemas eléctricos serán mucho mayores que el coste de inversión inicial.

En general se evidencia que si bien los colectores térmicos tienen impactos ambientales directos dado su ciclo de vida, los impactos mitigados son superiores puesto que las otras tecnologías con el mismo objetivo tienen altas tasas de emisiones a la atmósfera siendo los calefactores a base de gas los que mayores afecciones ambientales tienen en su funcionamiento; se logra exponer que los colectores térmicos si son una alternativa ambientalmente sostenible en comparativa con otros sistemas para la producción de agua caliente y que su escalabilidad es alta para la utilización de los mismos en procesos industriales o residenciales.

12. RECOMENDACIONES

- Implementar un sistema auxiliar en la producción de agua caliente con fines sanitarios en caso de condiciones climatológicas adversas extremas e incluirlo dentro del análisis del ciclo de vida por componentes.
- Tener en cuenta condiciones geomorfológicas y climatológicas de la zona en la cual se instalarán los sistemas colectores, con el fin de identificar la exposición solar a la cual tendrá acceso el colector.
- Analizar los consumos energéticos y costes económicos acorde a la modificación de los precios debido a la inflación o factores económicos para tener asertividad en cuanto a la mitigación económica.
- En caso de querer generar una implementación de esta tecnología en procesos industriales tener en cuenta la demanda de agua necesaria y la capacidad de los colectores, dado que se podrían utilizar sistemas con mayor capacidad de acumulación y circulado.

13. REFERENCIAS

Albizzati, E. (2016). Evaluación de la sustentabilidad de instalaciones solares con colectores de placa plana y tubos evacuados. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(3), 315-322.

<https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.06>

Ardente, F., Beccali, G., Cellura, M., & Lo Brano, V. (2005). Life cycle assessment of a solar thermal collector: Sensitivity analysis, energy and environmental balances. *Renewable Energy*, 30(2), 109-130.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.05.006>

Cano, V. G. (2014). Facultad de PROPIEDADES ÓPTICAS DE VIDRIOS DE ALTA TRANSMITANCIA IMPURIFICADOS CON COBRE : ESTADOS DE OXIDACIÓN Y PROCESOS REDOX . (Optical properties in high-transmission glasses doped with copper : oxidation states and redox processes) Agradecimientos. *Facultad de Ciencias*.

Carlos, T.-R. H., & Quevedo-Lora Raúl, F. (2007). ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE UN COLECTOR SOLAR DE POLIPROPILENO. *Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba*. Recuperado de

<https://www.redalyc.org/pdf/1813/181320170006.pdf>

Castellanos Ruiz, F. (2016). Sistemas Solares Térmicos. En *Proteste*.

<https://doi.org/10.1145/2505515.2507827>

Cebrián-Tarrasón, D., Garraín, D., Vidal, R., & París, A. (2009). ACV Libre:

La Utilización del ELCD en la Fase de Diseño. *Repositori UJI*.

Recuperado de

[http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/82488/ACV Libre_la](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/82488/ACV_Libre_la)

Utilizacion del ELCD en la Fase de

Diseno.pdf?sequence=1&isAllowed=yhttp://oa.upm.es/1941/

CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO CÁMARA

CHILENA. (2018). *Sistemas Solares Térmicos. Manual de diseño para el*

calentamiento de agua. Sistemas Solares Térmicos. Manual de diseño

para el calentamiento de agua.

https://ingemecanica.com/cursos_online/objetos/curso_ref014.pdf

Estadístico, B., Ministerio, D. E. L., & Energia, D. E. M. Y. (2017). *Boletín*

estadístico.

Fauroux, L. E., Diaz, D. O., Blanco, G. E., & Degaetani, O. J. (2016). “

Modelado , y análisis económico de colectores solares planos ” ”

Modeling , and economic analysis of flat solar collectors ”. *Universidad*

Nacional de la Matanza, Argentina, 1. Recuperado de

<https://repositoriocyt.unlam.edu.ar/bitstream/123456789/145/1/REDDI-1-1-5.pdf>

ENERGIA ERCAM, S.A. (2009). *SEGUIDOR*

SOLAR (PCT/ES2009/070125). Patentscope.

[https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf;jsessionid=C149F16ECA6](https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf;jsessionid=C149F16ECA6E4D95F123A57EF48D7CEB.wapp1nA?docId=WO2010125206&_cid=P10-KHY3W3-05940-96)

[E4D95F123A57EF48D7CEB.wapp1nA?docId=WO2010125206&_cid=P](https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf;jsessionid=C149F16ECA6E4D95F123A57EF48D7CEB.wapp1nA?docId=WO2010125206&_cid=P10-KHY3W3-05940-96)

[10-KHY3W3-05940-96](https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf;jsessionid=C149F16ECA6E4D95F123A57EF48D7CEB.wapp1nA?docId=WO2010125206&_cid=P10-KHY3W3-05940-96)

Ferrer, J. M. I. (2015). Dimensionado de un sistema térmico solar mediante

simulación y su validación energética; Sizing of a solar thermal system by

means of simulation and their energy validation. *Revista Científica de*

Ingeniería Energética, 34(1), 55-65.

Formoso Fernandez; Amador. (2011). *Captador Solar Plano*. 9.

Recuperado de

[https://es.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=ES&](https://es.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=ES&NR=1078956U&KC=U&FT=D&ND=5&date=20130408&DB=&locale=es_ES%5Cnhttps://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/original)

[NR=1078956U&KC=U&FT=D&ND=5&date=20130408&DB=&locale=](https://es.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=ES&NR=1078956U&KC=U&FT=D&ND=5&date=20130408&DB=&locale=es_ES%5Cnhttps://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/original)

[es_ES%5Cnhttps://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/original](https://es.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=ES&NR=1078956U&KC=U&FT=D&ND=5&date=20130408&DB=&locale=es_ES%5Cnhttps://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/original)

Document?CC=WO&NR=2011029978A2&KC=A2&FT=D&ND=&date
=20110317&DB=&loca

Guamán, J., García, M., Guevara, D., & Ríos, A. (2016). Evaluación del Impacto Económico en Diferentes Escenarios de Implementación de Tecnologías Eficientes de Calentamiento de Agua en el Ecuador. *Revista Técnica «Energía»*, 12(1), 270-283.

<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v12.n1.2016.52>

Haghighat Mamaghani, A., Avella Escandon, S. A., Najafi, B., Shirazi, A., & Rinaldi, F. (2016). Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia. *Renewable Energy*, 97, 293-305.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.086>

Haya, E. (2016). Análisis de Ciclo de Vida Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental. *Escuela de organización industrial*, 1, 43. Recuperado de https://static.eoi.es/savia/documents/teoria_acv_migma1.pdf

Huijbregts, M., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. D. M., ... van Zelm, R. (2016). ReCiPe 2016. *National Institute for Public Health and the Environment*, 194.

<https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>

Illanes Ortega, I., & Travieso Ganaza, M. (2016). Instalación de Sistemas Térmicos. *El mar. - Imágenes y escrituras*. <https://doi.org/10.3726/978-3-0351-0552-0/2>

Lema, A., Pontin, M., Morsetto, J., & Ruetsch, L. (2011). Diseño, desarrollo y análisis térmico de un colector solar de aire con placa plana. eficiencia y exergía perdida. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15, 15-23. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/101418/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lorena, Y., Torres, B., Milena, S., & Delgadillo, G. (2019). Ciencia Unisalle Análisis de los impactos ambientales y sociales de los aerogeneradores a través del análisis de ciclo de vida apoyado en el software Open LCA. *Universidad de la Salle*. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2163&context=ing_ambiental_sanitaria

Mart, J. C., Noceto, P. F., & Su, R. A. (2013). Manual Técnico de Energía Solar Térmica Volumen II : Aspectos Técnicos y Normativos. *Facultad*

de ingeniería, Universidad de la República, 282.

Organización Internacional de Normalización, I. 14040. (2007). *Colombiana Ntc-Iso 14040. (571).*

Otanicar, T. P., Phelan, P. E., Taylor, R. A., & Tyagi, H. (2011). Spatially varying extinction coefficient for direct absorption solar thermal collector optimization. *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME, 133(2)*, 1-15. <https://doi.org/10.1115/1.4003679>

Raluy Rivera, R. G., Serra de Renobales, L., Guadalfajara Pinilla, M., Lozano Serrano, M. A., RIVERA, R. R., Raluy Rivera, R. G., ... Serrano, L. (2013). Análisis de ciclo de vida de sistemas solares térmicos centralizados con acumulación estacional. *VIII Congreso Nacional de Ingeniería Termodinámica*, (1), 889-898. Recuperado de http://www.researchgate.net/publication/255949028_Analisis_de_ciclo_de_vida_de_sistemas_solares_trmicos_centralizados_con_acumulacin_estacional/file/3deec520e47e33167c.pdf

Torres Ulloa, P. A. (2019). *Análisis de ciclo de vida del proceso de aprovechamiento y valorización de aceite de cocina usado en Bogotá como materia prima oleoquímica.*

Recuperado de

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77282>

Vargas Bautista, Juan Pablo; Yampasi Espejo, Pablo; Tirado Villarroel Xerxes y Patzi, A. (2016). Implementation of a Solar Thermal Heating System : Energy and Economic. *Boliviana, Universidad Privada*, 1(16), 49-60.

Recuperado de

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312016000100005&lang=es

14. ANEXOS