



Oportunidades para la implementación de sistemas solares térmicos en calor de procesos industriales en Durango y estados cercanos

Eduardo Venegas-Reyes

Cátedras CONACYT, Departamento de Ingeniería Sustentable, Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Calle CIMAV 110, Durango, Durango, 34147, México,
(614) 439 4898, eduardo.venegas@cimav.edu.mx.

Ignacio R. Martín-Domínguez

Departamento de Ingeniería Sustentable, Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Calle CIMAV 110, Durango, Durango, 34147, México,
(614) 439 4898, Ignacio.martin@cimav.edu.mx.

Ali Bassam

Posgrado en Energías Renovables, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Av. Industrias no Contaminantes por Periférico Norte, Apdo. Postal 150 Cordemex. Mérida, Yucatán, México
Tel.930 0550; Fax. 930 05 59, baali@correo.uady.mx.

RESUMEN

En este trabajo se presenta un estudio sobre el número de unidades económicas (empresas e instituciones) de los diferentes sectores industrial, comercial y de servicios que pueden demandar calor solar de proceso de media temperatura en los estados de Durango, Chihuahua, Monterrey, Sinaloa, Zacatecas, Coahuila y Jalisco. Dicho calor puede ser suministrado por colectores solares de media temperatura, como son: tubos evacuados, colectores parabólicos compuestos (CPCs), canal parabólico (CCP) y Fresnel lineal. El calor también puede ser utilizado en sistemas de refrigeración por absorción para generar frío. El estudio está basado en datos recopilados de las perspectivas estadísticas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y se llevó a cabo de acuerdo al tipo de industria y a su tamaño (pequeña, mediana y grande). Los resultados muestran que los estados con mayor potencial para la implementación de calor solar de proceso de media temperatura son: Jalisco, Nuevo León, Chihuahua, Coahuila y Sinaloa.

ABSTRACT

This work presents a study on the number of economic units (companies and institutions) of the different industrial, commercial and service sectors that can demand medium temperature solar heat in the states of Durango, Chihuahua, Monterrey, Sinaloa, Zacatecas, Coahuila and Jalisco. This heat can be supplied by medium temperature solar collectors, such as: evacuated tubes, compose parabolic collectors (CPCs), parabolic trough collectors (PTCs) and linear Fresnel. Heat can also be used in absorption refrigeration systems for cooling. The study is based on data compiled from the statistical perspectives of the National Institute of Statistics and Geography (INEGI) and was carried out according to the type of industry and its size (small, medium and large). The results show that the states with the greatest potential for the implementation of medium temperature solar process heat are: Jalisco, Nuevo León, Chihuahua, Coahuila and Sinaloa.

Palabras claves: Calor solar de proceso, potencial solar térmico, media temperatura.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de su historia la humanidad ha necesitado energía para poder transformar los productos de la naturaleza para satisfacer sus necesidades. Actualmente las formas de energía más utilizadas son la eléctrica y el calor, la primera puede ser generada mediante ciclos de potencia que usan calor a alta temperatura. La segunda es usada en diversos rangos de temperatura; que se puede clasificar en baja, media y alta temperatura. El sector industrial es de manera natural el principal usuario de calor de media temperatura, ya que muchos de sus procesos están dentro del rango entre 60 y 250 °C. Existen diversos procesos que consumen calor dentro del rango de media temperatura; en la Tabla 1 se pueden ver algunos de estos procesos (Kalogirou, 2009). Adicionalmente los sistemas de aire acondicionado y refrigeración por absorción representan un nicho de oportunidad para la aplicación de sistemas solares térmicos de media temperatura; por ejemplo: Los sistemas de refrigeración por absorción de simple efecto tienen requerimientos de temperatura en el rango de 70 a 90°C y los de doble efecto de 140 a 180°C (<http://bibing.us.es>).

Este estudio consiste en recopilar y manejar datos de unidades económicas del INEGI (<http://www.inegi.org.mx/>) que tienen potencial para la aplicación de calor solar de proceso y se enfoca a los estados de Durango, Chihuahua, Nuevo León, Jalisco, Coahuila, Zacatecas y Sinaloa.



Tabla 1. Rangos de temperatura para diferentes procesos industriales, (Kalogirou, 2009).

Industria	Proceso	Temperatura [°C]
Lechera	Pasteurización	60-80
	Esterilización	100-120
	Secado	120-180
	Concentrados	60-80
	Agua de alimentación de caldera	60-80
Comida enlatada	Esterilización	110-120
	Pasteurización	60-80
	Cocimiento	60-90
	Blanqueo	60-90
Textil	Blanqueo, teñido	60-90
	Secado, desengrasado	100-130
	Teñido	70-90
	Fijación	160-180
	Estampado	80-100
Papel	Cocción, secado	60-80
	Agua de alimentación de caldera	60-90
	Blanqueo	130-150
Química	Jabones	200-260
	Hule sintético	150-200
	Tratamiento térmico	120-180
	Pre calentamiento de agua	60-90
Carne	Lavado, esterilización	60-90
	Cocción	90-100
Bebidas	Lavado, esterilización	60-80
	Pasteurización	60-70
Harinas y subproductos	Esterilización	60-80
Subproductos de la madera	Termoformado de vigas	80-100
	Secado	60-100
	Pre calentado de agua	60-90
	Preparación de pulpa	120-170
Ladrillos y bloques	Curado	60-140
Plásticos	Preparación	120-140
	Destilación	140-150
	Separación	200-220
	Extensión	140-160
	Secado	180-200
	Mezclado	120-140

En la figura 1 se pueden ver la distribución de uso de calor de proceso para tres rangos de temperatura: bajo < 100°C, Medio de 100 a 400°C y alto > 400°C para diferentes industrias en algunos países Europeos (Vannoni et al, 2008). De la figura 1 se deduce que las industrias de interés para SHIP son: minas y canteras, Alimentos y tabaco, pulpa y papel, química, maquinaria y equipo de transporte, donde un buen porcentaje del uso de calor está entre baja y media temperatura.

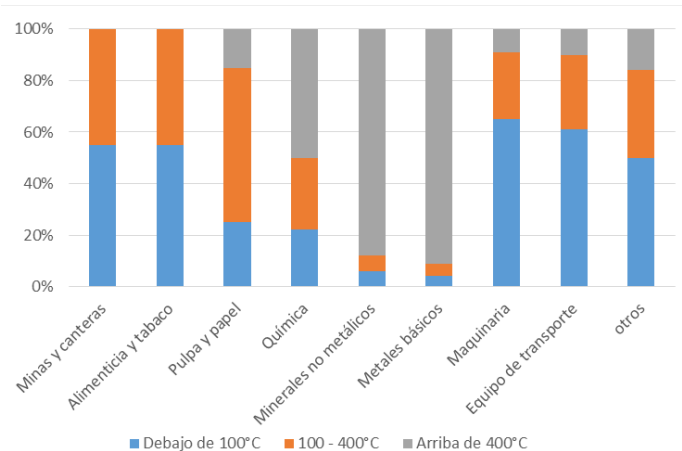


Fig. 1. Porcentajes de uso de calor en diferentes rangos de temperatura para diferentes industrias (Vannoni et al, 2008).

2. METODOLOGÍA

La metodología consiste en la recopilación, agrupamiento y análisis de datos disponibles en el INEGI de acuerdo a las unidades económicas relacionadas con las industrias descritas en la tabla 1 o alguna otra donde sea aplicable el calor solar de proceso de media temperatura. Primero se determinaron los estados sujetos de análisis bajo la consideración de ser cercanos a Durango o tener un nivel de desarrollo industrial alto. Se tomaron en cuenta unidades económicas en tres principales categorías que pueden verse en la Tabla 2.

Tabla 2. Unidades económicas objeto de estudio

Categoría	Requerimientos compatibles con calor solar
Industrias manufactureras: - Bebidas y tabaco - Industria alimentaria - Productos metálicos - Productos a base de minerales no metálicos - Plástico y hule - Química	Calor de media temperatura para sus procesos, frío para conservación de productos y acondicionamiento de naves industriales.
Hoteles	Calentamiento de agua y acondicionamiento de aire.
Comercios	Refrigeración y acondicionamiento de aire.

En el caso de industrias manufactureras se identificaron los tipos de industrias de interés y se recopiló el número de unidades económicas para cada estado. Adicionalmente se recopiló el número de unidades económicas de acuerdo a su tamaño: pequeña (1-10 personas), chica (11-50 personas), mediana (51-250 personas) y grande (251 y más personas). En la estimación del número de unidades económicas de interés de acuerdo a su tamaño se toma en cuenta la probabilidad de los dos casos, la probabilidad del número de unidades económicas de interés está dada por (Spiegel, 2009)

$$P\{N_1\} = \frac{N_{ui}}{N_T} \quad (1)$$



Donde N_{ui} es el número de unidades económicas de interés y N_T es el número total de unidades económicas de cada estado. El porcentaje de cada tamaño de unidad económica sobre el total se toma como la probabilidad de que las unidades económicas analizadas pertenezcan a alguno de esos grupos, permitiendo contabilizar el posible número de proyectos de acuerdo al tamaño de la unidad económica.

Por otro lado la probabilidad para el número de unidades económicas por tamaño está dada por

$$P\{N_2\} = \frac{N_{ut}}{N_T} \quad (2)$$

Donde N_{ut} es el número de unidades económicas de acuerdo a su tamaño para el número de total de unidades económicas. Para obtener la probabilidad del número de empresas de interés de acuerdo a su tamaño se tiene

$$P\{N_t\} = P\{N_1\}P\{N_2\} \quad (3)$$

Una vez obtenida la probabilidad de la ecuación (3) para cada caso de acuerdo al tamaño se multiplica por el número de unidades económicas de interés para obtener el número de unidades de interés de acuerdo a su tamaño.

3. RESULTADOS

En los datos recopilados del INEGI se identificaron 9 tipos de industrias de interés donde se puede aplicar calor de proceso, ya sea de baja o media temperatura. En la tabla 3 se puede ver el número de unidades económicas (micros, pequeñas, medianas y grandes) correspondientes a los sectores con potencial de calor solar de proceso, donde los estados con el mayor número de industrias fueron Jalisco, Nuevo León, Sinaloa y Coahuila. Así mismo destacaron las industrias alimentaria y la de productos metálicos.

Tabla 3. Numero de industrias de interés para los diferentes estados.

No. de industrias	Durango	Chihuahua	Nuevo León	Jalisco	Coahuila	Zacatecas	Sinaloa	Total
Bebidas y tabaco	141	-	240	990	-	144	801	2,315
Industria alimentaria	1,404	2,460	2,653	8,248	2,469	1,590	2,844	21,668
Equipo de transporte	24	152	189	180	110	10	41	707
Productos metálicos	918	-	3,347	4,979	1,870	1,118	1,724	13,956
Maquinaria y equipo	34	64	291	-	79	15	335	817
Industria del plástico y del hule	-	120	-	660	-	-	-	780
Industrias metálicas básicas	-	32	126	-	55	-	-	214
Química	-	-	-	480	-	-	-	480
Industria del papel	-	-	-	-	150	-	-	150
Total	2,521	2,829	6,847	15,535	4,733	2,878	5,744	41,087

Usando los totales de la tabla 3 para cada estado y la ecuación (1) se obtiene la probabilidad del número de unidades económicas de interés.

Tabla 4. Probabilidad del número de unidades económicas de interés

	Durango	Chihuahua	Nuevo León	Jalisco	Coahuila	Zacatecas	Sinaloa
Probabilidad de industrias de interés	0.519	0.353	0.542	0.518	0.6	0.579	0.703

En la tabla 5 se puede ver la probabilidad sobre el total de industrias manufactureras de acuerdo a su tamaño para cada estado (este dato se obtuvo directamente de los datos de INEGI).



Tabla 5. Porcentaje de industrias por tamaño.

Tamaño	Durango	Chihuahua	Nuevo León	Jalisco	Coahuila	Zacatecas	Sinaloa
Micro	0.896	0.853	0.779	0.876	0.875	0.968	0.939
Pequeña	0.069	0.076	0.144	0.094	0.078	0.025	0.047
Mediana	0.024	0.035	0.055	0.023	0.024	0.004	0.011
Grande	0.010	0.036	0.023	0.007	0.023	0.002	0.004

El número total de industrias de interés de la tabla 3 se multiplica por las probabilidades de las tablas 4 y 5. En la tabla 6 se pueden ver el posible número de industrias de interés de calor solar de proceso de acuerdo a su tamaño, lo que podría definir el número potencial de proyectos de calor solar de procesos. Los estados con mayor número de industrias susceptibles de implementar calor solar de proceso son: Jalisco, Nuevo León, Sinaloa y Coahuila.

El número de micro-industrias de interés, donde estos pueden representar un número de posibles proyectos pequeños de calor solar de proceso. Los estados que destacan por el número de microindustrias son Jalisco, Nuevo León, Sinaloa, Coahuila y Chihuahua.

El número de pequeñas y medianas industrias pueden representar el número de posibles proyectos de calor solar de proceso que abarcarían un tamaño pequeño y mediano. En el caso de las industrias grandes su número puede representar el número de posibles proyectos de una envergadura grande. Destacan en el número de industrias grandes los estados de Jalisco, Nuevo León, Coahuila y Chihuahua. Sinaloa y Durango tienen un número Menor, sin embargo no son números despreciables. También puede verse en la tabla 6 el número total de industrias de interés de acuerdo a su tamaño, lo que puede representar un número de posibles proyectos solares térmicos.

Tabla 6. Industrias de interés de acuerdo a su tamaño (posibles proyectos de calor solar de proceso).

Tamaño	Durango	Chihuahua	Nuevo León	Jalisco	Coahuila	Zacatecas	Sinaloa	Total
Micro	1,172	852	2,891	7,049	2,485	1,613	3,792	19,854
Pequeña	90	76	534	756	222	42	190	1,910
Mediana	31	35	204	185	68	7	44	575
Grande	13	36	85	56	65	3	16	276

En el caso de Hoteles se pudo recopilar su número por entidad, adicionalmente se recopiló el número de cuartos y considerando un consumo diario aproximado de agua caliente de 50 L/día por cuarto, se estimó el consumo de agua caliente en m³/día. En la tabla 7 se pueden ver el número de hoteles por entidad con sus respectivos números de cuartos y la demanda estimada de agua caliente, donde se observa que destacan los estados de Jalisco, Chihuahua, Sinaloa y Nuevo León.

Tabla 7. Número de hoteles, cuartos y consumo diario de agua caliente estimado.

	Durango	Chihuahua	Nuevo León	Jalisco	Coahuila	Zacatecas	Sinaloa	Total
Hoteles	242	685	232	1,583	270	257	448	3,717
Cuartos	5,259	20,623	14,402	61,358	10,871	6,874	19,914	139,301
M ³	262.95	1,031.15	720.10	3,067.90	543.55	343.70	995.70	6,965

En el caso de comercios al por menor se consideraron los pequeños (11-50 personas) y medianos (51-250 personas) ya que estos son los susceptibles a la implementación de refrigeración y acondicionamiento de aire solar. En la tabla 8 se puede ver el número de comercios donde se puede implementar frío solar. Destacan en el número de comercios los estados Jalisco, Nuevo León, Chihuahua, Sinaloa y Coahuila.



Tabla 8. Número de comercios susceptibles de implementación de frío solar.

Tamaño	Durango	Chihuahua	Nuevo León	Jalisco	Coahuila	Zacatecas	Sinaloa	Total
Pequeña: de 11 a 50 personas	538	1,321	1,958	2,604	1,115	370	1,142	9,048
Mediana: de 51 a 250 personas	62	206	336	372	186	23	202	1,387

Los hoteles tienen requerimientos de agua caliente y acondicionamiento de aire y los comercios principalmente de acondicionamiento de aire y refrigeración que pueden ser cubiertos con sistemas solares térmicos.

4. CONCLUSIONES

A partir de los datos recopilados del INEGI, se logró determinar el tipo y número de industrias susceptibles de implementación de calor solar de proceso en las entidades estudiadas, donde se pudieron clasificar de acuerdo al tamaño para estimar el posible número y tamaño de proyectos de calor solar para procesos industriales. El número de posibles proyectos es de 19,854 para las micro industrias, 1,910 para industrias pequeñas, 575 para industrias medianas y 276 para industrias grandes. Si bien estos datos no nos dan el potencial en cuanto a requerimientos de energía y temperaturas, si permiten estimar cuantos posibles proyectos de calor solar para procesos industriales se pueden desarrollar. Así también se determinó el número de hoteles y un estimado del consumo diario de agua caliente en estos, el cual es de 6,965 m³/día. En el caso de comercios también se determinó el número de comercios susceptibles a la implementación de frío solar, para comercios pequeños fue de 9,048 y para comercios medianos fue de 1,387 en todos los estados estudiados. Por otro lado, a partir de proyectos que ya se hayan llevado a cabo, se podría hacer un promedio de requerimientos de calor y temperaturas para diferentes industrias, y hacer una proyección de cuanta energía se está requiriendo típicamente para determinar el tamaño de los proyectos y el potencial económico de estos.

AGRADECIMIENTOS

A los técnicos académicos del área de Energía del CIMAV unidad Durango M.C. Jorge A. Escobedo-Bretado y al M.C. Mario Nájera Trejo por el apoyo brindado en la recopilación de datos. Se agradece el apoyo económico recibido por parte del: Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CeMIE-Sol), A través del Proyecto: P13 "Laboratorios de pruebas para baja y media temperatura, laboratorio para el diseño e integración de sistemas termo solares asistido por computadora" Perteneciente a la Convocatoria 2013-02, del: FONDO SECTORIAL CONACYT - SENER - SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA. Para el desarrollo y presentación de éste trabajo.

REFERENCIAS

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4701/fichero/Memoria%252F2.+Estado+del+arte+de+las+maquinas+de+absorcion.pdf>

<http://www.inegi.org.mx/>

Kalogirou, S. A., (2009). Solar Energy Engineering: processes and systems, p. 392, 1st Ed., Academic Press, U.S.A.

Spiegel M. R., Stephens L. J. (2009). Estadística, p. 139-140. , 4a. Ed. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES.

Vannoni C., Battisti R., Drigo S. (2008). Task 33/IV – Potential for Solar Heat in Industrial Processes. CIEMAT, Madrid.