

Viento, sol y tecnologías sostenibles para la producción de alimentos agrícolas.
Wind, solar and sustainable technologies for agricultural food production.

Dr C.T Julio Ernesto Díaz Díaz

Profesor Titular. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Grupo OTEC.
Matanzas. Cuba

julioe.diaz@umcc.cu

Ing. Benito Yuniel Zamora Galbán

Grupo OTEC. ECOAI # 9. Brigada de Construcción y Montaje. MICONS.
Matanzas. Cuba.

yuniel.zamora@gmail.com

Resumen

La producción de alimentos agrícolas presenta diferentes barreras desde la necesidad de suelos fértiles, cantidad de agua, laboreo, condiciones climáticas adecuadas, rudeza de las condiciones laborales, secado de los productos para su conservación hasta la posibilidad de la fuerza de trabajo disponible. Actualmente, el hombre, mediante el uso de las tecnologías ha podido crear condiciones naturales modificadas para manipular los factores adversos para el desarrollo adecuado, el presente artículo, constituye una propuesta de la anterior afirmación. Se parte de propuestas de tecnologías conocidas internacionalmente, como torre solar eólica, el secado solar y el cultivo en invernadero, las dos primeras no tan bien conocidas como el cultivo intensivo y controlado usado tanto en países cálidos como en templados, dichas tecnologías unidas a la existencia de chimeneas abandonadas de los centrales azucareros cubanos y fuerza de trabajo disponible alrededor de la antigua industria, permiten la posibilidad de una segura y estable producción agrícola, incluido el secado de sus productos.

El antecedente investigativo del presente artículo es la tesis de diploma del ingeniero Zamora Galbán, e inclusive constituye una continuación a su primera recomendación de implementación del secado solar de productos agrícolas, alrededor de las chimeneas abandonadas.

Se desarrollan ideas tecnológicas de producción en el invernadero acoplado a una torre solar eólica, lo cual en la situación actual en Cuba de los centros dedicados con anterioridad a la producción de azúcar que mantengan chimeneas pudiera ser un uso productivo con su adaptación como torre solar eólica con invernadero.

Palabras clave: torre solar eólica, efecto solar convectivo, secadores convectivos

Abstract

Agricultural food production has different barriers from the need for fertile soil, amount of water, tillage, appropriate climatic conditions, harshness of working conditions, drying of products for preservation to the possibility of the available

workforce. Currently, the individual, through the use of technology to create natural conditions has been modified to handle the adverse conditions for the proper development, this article is a proposal for the above statement.

Proposals are part of internationally known technologies such as solar tower wind, solar drying and greenhouse cultivation, the first two not so well known as intensive farming and controlled used in both warm and in temperate countries, these technologies together to existence of abandoned chimneys of Cuban sugar mills and labor available around the old industry, allow the possibility of a secure and stable agricultural production, including the drying of their products.

The background research of this paper is the diploma of engineer Galbán Zamora, and even is a sequel to his first recommendation for implementation of solar drying of agricultural products around chimneys abandoned.

Technological ideas are developed in the greenhouse production coupled to a solar wind tower, which in the current situation in Cuba dedicated centers prior to the production of sugar to keep chimneys could be a productive use with its adaptation as solar wind tower with gases.

Keywords: solar convective tower, energy tower, solar tower wind, solar effect convective, convective dryers.

Introducción

En setiembre del año 2010 el Co Fidel Castro (Castro Ruz, 2010), Comandante en Jefe, expresó, en su discurso ante los estudiantes universitarios, “Nuestra Madre Naturaleza es como un fumador pasivo que aunque no tiene vicio, la enfermamos indiscriminadamente.”... “No podemos estar de espaldas a la naturaleza. Todo lo contrario, debemos permanecer siempre abrazados a ella. Porque nosotros mismos somos naturaleza, formamos parte de ese abanico de colores, de sonidos, equilibrio y armonía. La naturaleza es perfecta”...“Si no hacemos nada. Nadie se salvará, no habrá lugar seguro sobre la tierra, ni en el aire, ni en el cosmos. La gran energía que diariamente se acumula por el efecto invernadero, ya que los rayos solares quedan atrapados y descargan más energía cada día sobre la superficie terrestre, provocará que se produzcan desastres naturales de consecuencias impredecibles”. Los tres planteamientos anteriores sirven de pauta inspiradora para la propuesta desarrollada mediante el conocimiento adquirido en aulas e investigaciones universitarias.

Cuba, similar a otros países, no solamente sufre por el efecto invernadero sino atraviesa las enormes crisis energética y alimentaria. Además, producto de las condiciones internacionales impuestas ha visto decrecer a niveles muy bajos su principal renglón exportador, el azúcar de caña, obligando a cerrar la mayoría de

sus centrales azucareros. Por tanto el problema es: la utilidad que pueden aportar las chimeneas sin uso de los antiguos centrales azucareros.

Los antecedentes para la hipótesis de aportar una utilidad a las chimeneas mencionadas, surgen de las torres solares eólicas/colectores solares; los invernaderos o veraneos en Cuba, y el secado solar. La investigación vincula las técnicas anteriores para entregar una propuesta que recobrar el valor de uso de las chimeneas de los centrales azucareros.

Materiales y métodos

Son reseñadas a continuación las técnicas o tecnologías a vincular en la investigación.

1- Torre solar eólica con colector solar

La tecnología de las torres solares eólicas, combinadas con colectores solares provoca atrapar y dominar, según las necesidades, esos mismos rayos solares para vivir en armonía con la naturaleza. La siguiente figura 1 es explicativa del funcionamiento en la mencionada unificación.

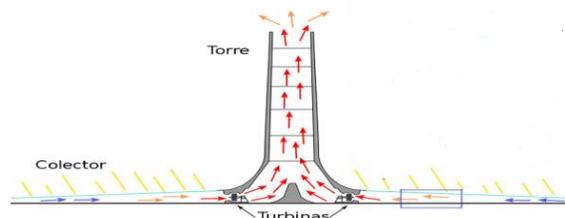


Figura 1 Esquema torre eólica-colector

Se señalan las tres partes principales en la figura 1, torre, colector solar y turbinas. La torre provoca el ascenso del aire húmedo con una velocidad tal que es capaz de mover las aspas de las turbinas colocadas en la base de la torre, motivado por cierta caída de presión entre el aire inferior y la parte más alta de la torre. El movimiento proporciona la generación de corriente directa, útil para su almacenamiento en acumuladores, consumo directo o su inversión inmediata a corriente alterna. La función del colector es atrapar parte de la energía de los rayos solares para elevar la temperatura del aire y facilitar el movimiento de ascenso a través de la torre. La descripción anterior contiene el objetivo primario de las torres solares eólicas, como lo enunció en su diseño en el año 1903 el Coronel de artillería Isidoro Cabanyes (Cabanyes, 1903), producir corriente eléctrica. La evolución de la tecnología tuvo su prueba de mayor relevancia en Manzanares, España, cuando en colaboración con el Ministerio Alemán de Investigación construyeron la primera torre solar eólica de 50 kW y 500 m de altura, ver figura 2.

La generación de electricidad barata y en cantidades apreciables pero con una inversión millonaria mediante la torre solar eólica sigue siendo la principal proposición de los investigadores y empresarios internacionales empeñados en esta tecnología. Por ejemplo, los investigadores del Instituto Científico Technion, Israel, están convencidos que su torre de energía es una solución al problema energético del planeta. Vienen trabajando en esta idea de la torre de energía desde 1983, y la llaman Energy Tower., su fundador e impulsor del proyecto es Dan Zaslavsky, según Palazzesi, argumentando que el funcionamiento de la torre de energía es sencillo, utiliza el principio básico de la convección: el aire caliente asciende y el aire frío ocupa su lugar, añadiendo el posible uso como desalinizador. (Palazzesi, 2007)



Figura 2 Torre solar eólica de Manzanares, España

fuelle: <http://www.iccc.es/wp-content/themes/skystudio/favicon.ico>

Según la experiencia recogida por Zamora (Zamora Galbán, 2010), en su tesis, los investigadores han desarrollado programas de computación para analizar las mejores condiciones con el objeto de alcanzar una máxima eficiencia para la generación de electricidad. Así se establecieron el tamaño ideal de la planta total y el tamaño del colector, que debía tener 3,5 kilómetros de diámetro, y una chimenea sobre mil metros de altura para generar 200 MW, a un costo de 500 millones de dólares. Si esta inversión se plantea pagarse en 20 años, Schlaich calcula que la electricidad costaría aproximadamente 7,6 peniques por kW/h, lo que es algo más caro que una planta que use carbón, estimada en 6 peniques. (Schlaich, 2003). Sin embargo, después de 20 años, el costo caería a 3,9 peniques por kW/h porque ya después de haber recuperado la inversión, contando que ya no se utilizaría combustible solamente debería gastarse dinero en los pocos mantenimientos de la planta y los obreros que trabajarían en ella.

Si subestimar la valoración de la generación limpia de cientos de MW con las torres solares eólicas, resulta indiscutible, por los resultados de Zaslavsky, Palazzesi, Zamora, Schlaich y otros; la necesidad de torres por encima de los

500 metros y colectores de diámetros nunca inferiores a un kilómetro de diámetro. Tales condiciones no se ajustan al objetivo de recuperación de productiva de las chimeneas de los antiguos centrales azucareros cubanos. Aunque no se rechaza la idea de la producción de electricidad a pequeña escala para su insumo en las propias actividades agrícolas del entorno.

Una valoración de la relación colector y la altura de la chimenea, lo ejemplifica Jörg Schlaich en la siguiente grafica, ver figura N° 3, donde se ilustra que la generación de electricidad por año depende mucho del diámetro del colector y el tamaño de la chimenea. (Sclaich, 2003)

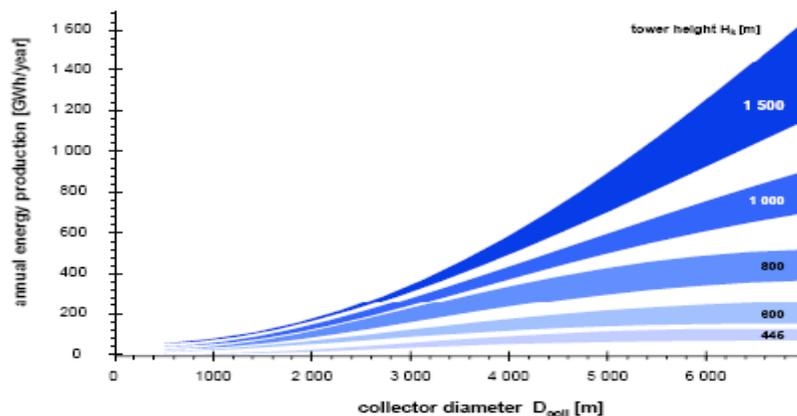


Figura N° 3 Torre solar eólica de Manzanares, España
 fuente: <http://www.creces.cl>

2- Colectores solares como invernaderos

La producción de cultivos bajo invernadero, quizás más acertado nómbralos como “veraneo” en el Trópico, es una de las técnicas más modernas que se utilizan actualmente en la producción agrícola. La ventaja del sistema de invernadero sobre el método tradicional a cielo abierto, es que, bajo su volumen, se establece una barrera entre el medio ambiente externo y el cultivo. Esta barrera limita un microclima que permite proteger el cultivo del viento, lluvia, plagas, enfermedades, hierbas y animales. Igualmente, esta protección permite al agricultor controlar la temperatura, la cantidad de luz y aplicar efectivamente control químico y biológico para proteger el cultivo. La utilización de invernaderos para el incremento de producciones agrícolas se reporta ampliamente en la literatura, según Rico García, citando a Domínguez, (Rico García, 2005), es posible pasar en jitomate (tomate), por ejemplo, de 7 kg/m² en las mejores condiciones de cielo abierto y buena tecnología de riego a 15 kg/m² en invernaderos manuales o 50 kg/m² con tecnología automatizada, ver tabla N°1.

Sistema	Consumo de agua l/m ²	Rendimiento kg/m ²	Rendimiento l de agua/kg producto
Campo abierto	624	7	89
Invernadero con sistema hidropónico abierto	1200	25	48
Invernadero con sistema hidropónico cerrado	1000	50	20

Tabla N° 1 Fuente: Domínguez et al. 1999

Como se puede observar en la tabla anterior, una de las soluciones a la problemática del agua puede ser la producción bajo invernadero cerrado, ya que proporciona un ahorro de más de 400% de agua.

Además, añade (Rico García, 2005), citando a LEI-DLO, “en el año de 1995 México produjo en 80,000 hectáreas dedicadas a jitomate 1.5 millones de toneladas, cifra igual a la de Holanda pero en 2,000 hectáreas”. Lo anterior significa cuarenta veces menos área.

EDA, Entrenamiento y Desarrollo de Agricultores, un programa de la Cuenta del Desafío del Milenio de Honduras, refiere que “La meta principal de EDA es aumentar los ingresos netos anuales de por lo menos 8,255 agricultores pequeños y medianos en un mínimo de \$2,000 por año por hectárea” (EDA, 2006), además cita al agricultor Contreras que menciona “...hemos utilizado muy pocos insecticidas, el control de plagas y enfermedades ha sido fácil, el desarrollo de las plantas ha mejorado y los costos son más bajos. Ha sido lo mejor”. Por lo tanto, son casi nueve veces superiores y con menores gastos.

Basurto en el año 2004 señala que hace más de 15 años en la realización de cultivos bajo invernaderos, los productores de países como Holanda, Israel, Italia, España y otros, lograron rendimientos que duplican y hasta triplican a los obtenidos por productores ecuatorianos. Destacando el mismo autor, 2004, que en el mundo existían aproximadamente existen 480,000 hectáreas de invernaderos, de las cuales 20,000 hectáreas se encuentran en América y 2,200 hectáreas en Ecuador. (Basurto Gustines, Basurto Gustines, & Mejía Coronel, 2004).

Aporta Basurto, sobre una institución como AGRIPAC, la cual través del Ing. Mario Lapo, demuestra que una hectárea bajo invernadero significa 5 hectáreas a campo abierto, ejemplificando con que una hectárea de cultivo de melón bajo



invernadero, se puede obtener entre 100 y 110 tm, mientras que al aire libre rinde de 20 a 30 tm. (Basurto Gustines, Basurto Gustines, & Mejía Coronel, 2004).

3- Secado de materiales en torres en desuso.

El secado solar de materiales ha sido una técnica usada por el hombre desde tiempos remotos para alargar su conservación, porque observó que al colocarlas al Sol y perder el agua en exceso, su tendencia era no permitir comenzar su descomposición. Posteriormente, comenzó a desarrollar artefactos capaces de acelerar con los rayos solares dicho secado, experiencias agrícolas existen desde la madera, diferentes granos, minerales hasta con fertilizantes y otros.

En la investigación realizada por Zamora y Díaz (Zamora Galbán, 2010), se analizan las ventajas en la transformación de la chimenea abandonada en un sistema productivo de producción agrícola y electricidad para el propio proceso productivo. La pregunta siguiente fue, ¿podría aportar algo más útil el sistema?, y la respuesta fue “secar los productos cercanos a la propia torre para extraerle la humedad y conservarlos en mejor estado. Tal operación no se encuentra reportada en la literatura consultada y la dificultad era la demostración de su eficacia y eficiencia porque no estaba construido el sistema y las plantas agrícolas requieren un ciclo determinado; por tanto, se decide ejecutar un prototipo para evaluar el secado en el material laterítico de Moa. Tal decisión presenta la lógica de la mayor dificultad de extraer el agua con alto contenido en el mineral, lo cual es menor en los productos agrícolas, por lo que servirá de un aceptable patrón de comparación y demostración.

Resultados y discusión

Del propio gráfico de la figura N° 3 y considerando las alturas entre 60 a 80 metros de las chimeneas de los centrales azucareros, se comprende que la generación sería pequeña. Zamora evaluó y tomó como referencia el antiguo Central Azucarero “Esteban Hernández, Municipio Martí, Matanzas; obteniendo un resultado estimado en 8 kW, (Zamora Galbán, 2010) con una metodología similar a la ejecutada en Manzanares (Fenosa., 2006), la cual puede incrementarse con algunas modificaciones, como por ejemplo el uso de colectores concentradores y piscinas en el piso o el cultivo de plantas que proporcionan beneficios en la cantidad y estabilidad de generación de electricidad. La figura 4 muestra la comparación entre la instalación en Manzanares y la chimenea de un Central Azucarero.

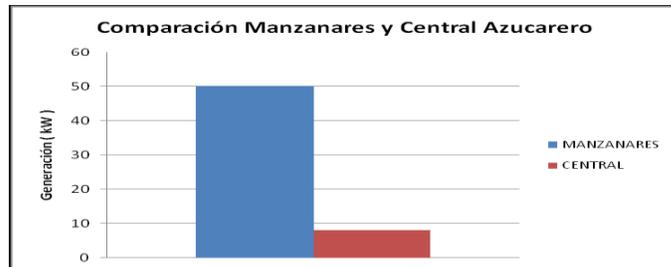
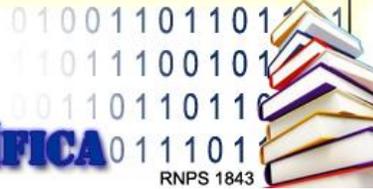


Figura N° 4 Torre solar eólica de Manzanares, España fuente: (Zamora Galbán, 2010)

El uso combinado de la torre solar eólica para la agricultura se encuentra referenciado por otros investigadores como plantea el ingeniero Tom Bosschaert (Bosschaert, 2008), el efecto secundario importante de la colocación de una membrana transparente grande sobre una superficie de tierra, es la captura de agua subterránea evaporada y su vuelta de nuevo a la capa superior del suelo. Este aumento en la humedad de la tierra localizada puede hacer que el suelo debajo del colector sea apropiado para el uso agrícola, a través de la creación efectiva de un invernadero parcial. En ciertos casos la tierra bajo el colector no habría sido viable la agricultura sin la presencia de membrana. Esto significa que ciertas tierras estériles podrían ser recuperadas para usos productivos, haciendo de esta estrategia de generación de energía más económica y favorable al mismo tiempo, la formación del capital agrícola.

La altura libre por debajo del colector puede acomodar fácilmente maquinaria agrícola, y los apoyos para el colector pueden ser lo suficientemente separados para permitir el trabajo de la tierra. Diferentes tipos de cultivos pueden plantarse en función de la tierra y las condiciones de humedad, teniendo en cuenta que la zona cercana al centro contará con flujo de aire demasiado fuerte para permitir el crecimiento de plantas. Si la vegetación es muy considerable, puede afectar la salida de la torre por el viento que se arrastra. Sin embargo, aumentar la distancia de la membrana de la tierra puede mitigar este. La figura N° 5 ilustra lo anterior.

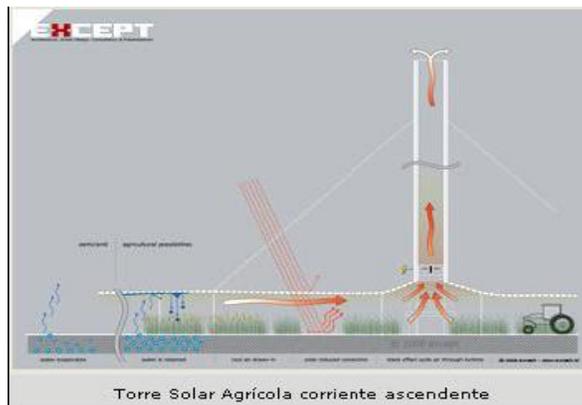


Figura N° 5 Torre solar eólica para el uso agrícola

Fuente:

<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2008/10/solar-updraft-towers- variations-and-research-53742>

En la valoración del secado en el sistema torre eólica adaptada, se construyó un prototipo para secar el material laterítico de la Empresa Niquelífera “Ernesto Che Guevara” (ECECG), lugar donde se recibe el mineral de la mina con una humedad inicial promedio de 37% y durante la aplicación del secado solar al aire libre lo rebaja entre un 33 al 34%, en un periodo de tiempo promedio de 26 días. En el secado térmico industrial final se secan 10000 t de material al día, quemando 31.5 kg/t de petróleo.

Con las humedades extraídas durante las corridas experimentales del prototipo se puede hacer un estimado del combustible ahorrado en el proceso del secado térmico. La humedad eliminada promedio en el prototipo fue de un 13 % en un solo día, superior en tres veces al secado solar al aire libre en Moa. Se realiza en la tabla N° 2, una comparación del ahorro en petróleo contra el sistema existente, extrapolando los resultados obtenidos en el prototipo a un equipo a escala industrial.

Humedad extraída %	<u>Kgcomb / día</u> Sin quemar	<u>Kgcomb / año</u> Sin quemar	S/día	S/año
4	34 054	12 429 729	16 493,4	6 020 091
13	120 442	43 961 029	58 333	21 291 645

Tabla Nº 2 Comparación en el secado solar en el terreno contra los resultados en un prototipo torre solar eólica/concentrador solar. **Fuente:** (Zamora Galbán, 2010)

El resultado alcanzado justifica el secado de materiales agrícolas, por ejemplo arroz dentro de la chimenea adaptada con colectores solares. El material laterítico es hidrocópico con dificultades probadas en la propia ECECG cuando solamente disminuye su humedad en un 4 % en 26 días, sin embargo el arroz y el café por ejemplo es costumbre colocarlo a secar al sol y se seca en dos o tres días hasta la humedad necesaria para su conservación, aunque la cantidad de días tiene una relación directa con el grosor de la capa del material que se seca.

Otro aspecto importante planteado por Zamora son los cálculos realizados al comparar la posible generación de electricidad para el Central Esteban Hernández, al aplicarle los resultados del prototipo con la diferencia de temperatura lograda, se obtiene, manteniéndose la altura de la chimenea, una generación de 17 Kw (Zamora Galbán, 2010), o sea, más del doble de los 8 kW con la tecnología de Manzanares. La figura Nº 6 lo muestra gráficamente.

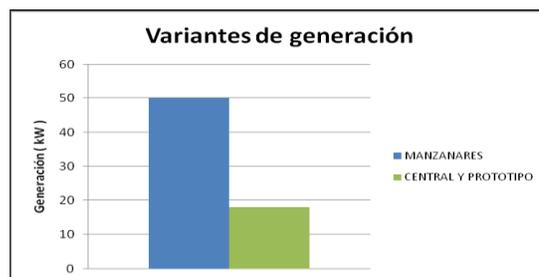


Figura Nº 6 Comparación Manzanares y variante desarrollada **Fuente:** (Zamora Galbán, 2010).

Conclusiones

Los resultados alcanzados estimulan la propuesta del uso de las chimeneas existentes en Centrales Azucareros desactivados, en un sistema de fuentes renovables capaz de producir productos agrícolas con altos rendimientos, generar una cierta cantidad de electricidad en el sitio y secar los productos para su conservación.

Referencias bibliográficas.

- Basurto Gustines, L. F., Basurto Gustines, L. M., & Mejía Coronel, M. T. (2004). Creación de una empresa para la elaboración y asesoramiento de invernaderos dirigido hacia agricultores de la Península de Santa Elena . Guayaquil: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL (ESPOL).
- Bosshaert, T. (2008). Torre solar de aire ascendente. Investigación y variaciones Recuperado el 25 de 5 de 2009, de www.renewableenergyworld.com. Disponible en: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2008/10/solar-updraft-towers-variations-and-research-53742>
- Cabanyes, I. (1903). Proyecto de motor solar. Recuperado el 24 de 9 del 2009 com. (R. G. Aplicaciones, Ed.). Disponible en : <http://rafaromerogarcia.blogspot.com> y en <http://rafaromerogarcia.blogspot.com/2009/05/isidoro-cabanyes-y-el-motor-solar.html>
- Castro Ruz, F. (3 de setiembre del 2010). Discurso a estudiantes universitarios. Periodico Granma, pág 1, Cuba.
- EDA. (2006). Cuenta del Desafío del Milenio de Honduras wwwRecuperado el 12 de 5 de 2010. Disponible en: http://www.mcahonduras.hn/mostrar_noticia.php?id=10091701%20%20&i=1
- Fenosa., C. E.. (2006). Torre solar de Fuente el Fresno. Ministerio Alemán de Investigación y Tecnología. Recuperado el 4 de 2009 (BMFT)). Disponible en : <http://www.iccc.es> y <http://www.iccc.es/wp-content/themes/skystudio/favicon.ico.en>
- Palazzesi, A. (2007). Torre de energía tendría poder para abastecer 15 planetas. Recuperado el 24 de 12 de 2009 www.neoteo.com. Disponiblwe en: <http://www.neoteo.com/torre-de-energia-tendria-poder-para-abastecer-15.neo>
- Rico García, E. (2005). Información General. Centro Universitario “Cerro de las Campanas. Disponible en: <http://www.uag.mx/ingenieria/especialidad>
- Sclaich, J. (2003). Design of commercial solar tower systems – utilization of solar induced convective flows for power generation. International Solar Energy Conference Hawaii. Disponible en: http://www.sbp.de/de/fla/contact/download/The_Solar_Updraft.pdf

Tesis: Zamora Galbán, B. Y. (2010). Aplicación de la tecnología de torre solar eólica en secado del mineral laterítico y en la generación eléctrica en chimeneas en desuso. Universidad de Matanzas, Ingeniería Mecánica. Matanzas: Universidad de Matanzas. Tesis de Pregrado, Facultad de Química Mecánica, MKqatanzas, Cuba.

