

Diseño de un prototipo experimental de torrefacción solar para producción de biocombustibles sólidos.

Luz María Santacruz Granados¹ Sergio Antonio Martínez Paz², Aaron Josué Sierra Delgado³, Miriam Pamela Velázquez Contreras⁴, Maricela Yadira Parkins Ortega⁵, David Aarón Rodríguez Alejandro⁶.

^{1,2,3,4,5,6} División de Ingenierías. Universidad de Guanajuato

lm.santacruzgranados@ugto.mx¹

sa.martinezpaz@ugto.mx²

aj.sierra.delgado@ugto.mx³

mp.velazquezcontreras@ugto.mx⁴

my.parkinsortega@ugto.mx⁵

da.rodriguez@ugto.mx⁶

Resumen

Se realizaron tres diseños de un concentrador solar, se modelaron en un programa en CAD y se exportaron a un programa para simular los haces de sol que chocan con la superficie y reflejan en el tubo de vacío, para así elegir el más eficaz. Se maquina un reactor convencional de pirólisis para en un futuro realizar pruebas experimentales en él.

El concentrador parabólico cilíndrico fue el diseño que obtuvo los mejores resultados en cuanto a temperaturas y distribución de las mismas.

Palabras clave: Pirólisis; concentrador solar; torrefacción.

Introducción

La generación de energía mediante energías renovables toma cada vez un mayor interés a nivel global. Los sistemas de gasificación/combustión de residuos sólidos de origen forestal, agrícola o urbanos están dentro del desarrollo sostenible, tanto en los países desarrollados como en los emergentes, ya que se integran con planes de manejo integral de residuos sólidos que disminuyen la dependencia energética de combustibles derivados del petróleo y reduciendo las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.

Antecedentes históricos

La primera aplicación de un proceso relacionado con la gasificación fue el proceso de la pirólisis de biomasa para producir carbón vegetal, cuando la madera escaseó a principios del siglo XVII. El gas obtenido a partir del carbón se utilizaba principalmente para el alumbrado de viviendas, calles y para la calefacción.

Para el año de 1975 se vio la gasificación entrar en dos campos de aplicación como combustibles sintéticos: combustión interna y síntesis química en petróleo. Una gran cantidad de automóviles y camiones en Europa funcionaban con carbón o biomasa gasificada se construyeron más de un millón de pequeños gasificadores si embargo vista la disponibilidad abundante del petróleo se eliminó la necesidad de gasificación para el transporte y la producción química.

En el año de 1973 los miembros de la Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo (OPEP) prohibieron las exportaciones de petróleo a los Estados Unidos y otros países occidentales, lo que dio un fuerte impulso al desarrollo de tecnologías alternativas como la gasificación para reducir la dependencia del petróleo.

Para el año 2000 el calentamiento global y la inestabilidad política en algunos países productores de petróleo dieron un nuevo impulso a la gasificación. La amenaza del cambio climático destacó la necesidad de alejarse de los combustibles fósiles ricos en carbono. La gasificación surgió como una opción natural para la conversión de biomasa¹.

Biomasa

Biomasa es un tipo de energía renovable que puede reemplazar el uso de algunos combustibles fósiles como el carbón mineral y el gas natural.

La biomasa esta principalmente compuesta de carbón, oxígeno, hidrógeno y pequeñas fracciones de elementos minerales como potasio, fósforo, sulfuro y otros. Los componentes principales son normalmente conocidos como celulosa y hemicelulosa. Cuando la biomasa es quemada, el carbono reacciona con el oxígeno produciendo dióxido de carbono, agua y calor.

Agua y dióxido de carbono en la atmósfera más energía solar y algunos compuestos inorgánicos, son absorbidos por las plantas verdes procesándolos, produciendo carbohidratos que posteriormente son convertidos en madera y tejido vegetal; en otras palabras; nueva biomasa es creada².

Se entiende por biocombustible a aquellos combustibles que se obtienen de biomasa, es decir, de organismos recientemente vivos o sus desechos metabólicos. Pueden reemplazar parcialmente a los combustibles fósiles.

A partir de biomasa podemos obtener tres tipos de combustibles: biocombustibles sólidos, biogás y biocarburantes.

Biocombustibles sólidos

Los principales biocombustibles sólidos obtenidos a partir de la biomasa son pellets, astillas de madera y hueso de aceituna. También son biocombustibles otros menos abundantes como las cáscaras de frutos secos, o menos homogéneos y tecnificados como la leña, pero igual de importantes.

- Pellets de madera; El pellet es el biocombustible más elaborado. Son pequeños cilindros de 6 a 8 mm de diámetro y de 10 a 40 mm de longitud que se obtienen prensando serrín de madera. Gracias a la lignina, componente natural de la madera que hace las veces de pegamento se consigue formar pequeños cilindros sin utilizar ningún aditivo. Tienen un alto poder calorífico por lo que ofrece rendimientos energéticos muy elevados. Las estufas de pellets se han convertido hoy en día en uno de los sistemas de calefacción más utilizados en los hogares.
- Hueso de aceituna y cáscaras de frutos secos; Su oferta depende de la cosecha anual, y se usan de forma normal por tener un tamaño que permite automatizar perfectamente la combustión. Además de poseer un elevado poder calorífico, otra ventaja destacable es que tienen un precio menor que el pellet.
- Leña; se define como “madera cortada y troceada”. Es el biocombustible menos elaborado y controlado y su almacenaje presenta mayores dificultades.

Se habrá de tener en cuenta que, la certificación de los biocombustibles sólidos garantiza unos factores mínimos de calidad necesarios para el correcto funcionamiento de los equipos. Este tipo de combustible puede deteriorarse durante su manipulación y transporte, por tanto, la gestión de la calidad debe cubrir toda la cadena de suministro, desde la selección de la materia prima hasta la entrega definitiva al usuario final.

Biogás

El biogás es un gas combustible cuyos principales componentes son metano (CH₄, entre 50 a 70% vol.), dióxido de carbono (CO₂ entre 30 a 50% vol.) y otros componentes en menores proporciones. El metano, principal componente del biogás, es el que le confiere su característica combustible y, por tanto, el valor energético del biogás estará determinado por la concentración de metano.

El biogás se genera mediante la descomposición microbiana de materia orgánica biodegradable en condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno). Se define como “biogás agroindustrial” aquel biogás generado a partir de sustratos agroindustriales, por ejemplo, las deyecciones ganaderas, lodos de industrias agroalimentarias, restos de cosechas, cultivos energéticos, etc.

Biocarburantes

Un biocombustible es una mezcla de sustancias orgánicas que se utiliza como combustible en los motores de combustión interna. Los biocarburantes presentes hoy en día en el mercado se utilizan principalmente en el transporte por carretera. Sin embargo, cabe destacar su creciente uso en el sector de la aviación, en cuyo caso se emplea la denominación de bioqueroseno.

Los principales biocarburantes tanto a escala global como nacional, atendiendo a su desarrollo comercial, son actualmente los siguientes:

1. Bioetanol, definido como alcohol etílico producido a partir de productos agrícolas o de origen vegetal, ya se utilice como tal o previa modificación o transformación química.
2. Biodiésel, esto es, éster metílico o etílico producido a partir de grasas de origen vegetal o animal.
3. Hidrobiodiésel (también denominado HVO por sus siglas en inglés, de Hydrotreated Vegetable Oil), un hidrocarburo resultante del tratamiento de aceites vegetales o grasas animales con hidrógeno, bien en unidades dedicadas a ello, o bien mediante tecnologías de co-procesado en refinerías.³

Los combustibles de biomasa sólida se caracterizan por su naturaleza higroscópica y alto contenido de humedad, baja densidad aparente y densidad de energía (o valor calorífico), mala triturabilidad, baja homogeneidad de composición y menor resistencia a la degradación. Por lo tanto, la biomasa sólida no es un combustible popular para su aplicación en la industria. Para superar las desventajas antes mencionadas, el desarrollo de la torrefacción ha recibido mucha atención en la última década, ya que esta tecnología de conversión termoquímica puede mejorar de manera efectiva la biomasa y mejorar la calidad del combustible derivado de biomasa sólida (biocarbón).

La torrefacción, que consiste en tostar lentamente el material de biomasa para mejorar su contenido energético, se ha presentado como uno de los elementos constituyentes de la solución para la implantación de la bioenergía a gran escala. Desde este sector industrial se asegura que la tecnología de torrefacción está disponible y funciona, pero su adopción no ha sido tan rápida como se esperaba.

La biomasa se torrefica en condiciones secas o húmedas, que se denominan torrefacción seca y torrefacción húmeda, respectivamente. En la torrefacción seca, la biomasa se puede torreficar en atmósferas secas y no oxidantes (inertes) u oxidativas donde la temperatura normalmente está entre 200°C y 300°C. Por el contrario, en la torrefacción húmeda, la biomasa se mejora con agua y soluciones ácidas diluidas a temperaturas de 180-260°C. También se puede tratar con vapor para mejorar sus propiedades.

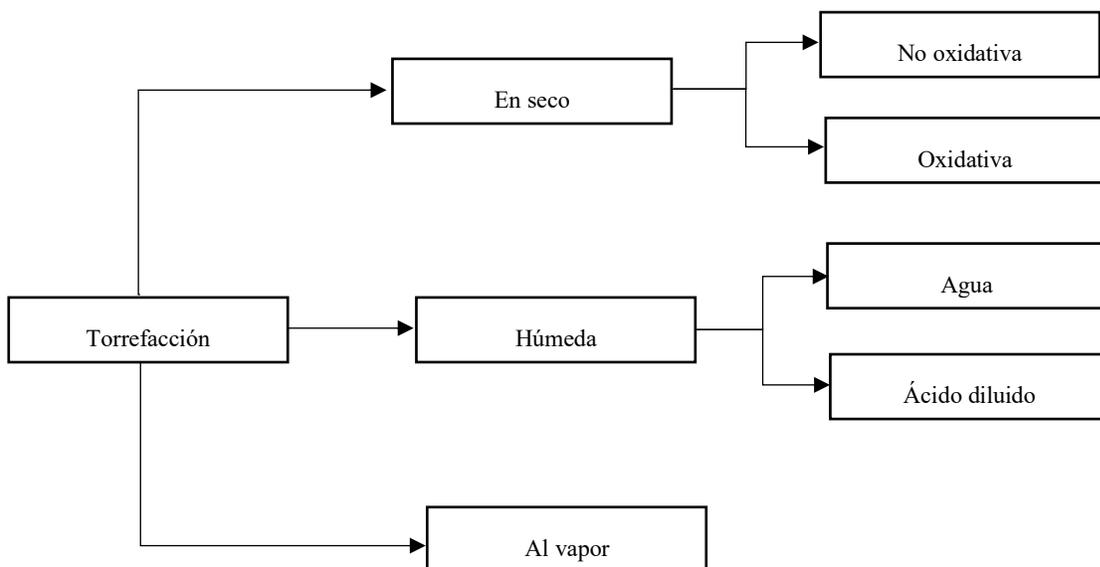


Figura 1. Clasificación de la torrefacción.

La torrefacción no oxidativa es el principal método utilizado para el pretratamiento de biomasa sólida y tiene un alto potencial para su aplicación en la industria.

Para la torrefacción no oxidativa, todo el proceso de torrefacción de biomasa se divide en cinco etapas: (1) calentamiento inicial; (2) secado; (3) posecado y calentamiento intermedio; (4) torrefacción; y (5) enfriamiento.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los tipos de torrefacción.

	Torrefacción en seco	Torrefacción húmeda	Torrefacción al vapor
Condiciones de operación	200 – 300°C	180- 260°C	200- 400°C
	10-240 min	5-240 min	5-120 min
	1 atm	1-200 atm	1-40 atm
Ventajas	Operación más fácil	Temperatura de reacción más baja	Apto para biomasa húmeda sin secado previo
	Sin secado posterior	Adecuado para biomasa húmeda sin presecado	Productos sólidos de mayor peletización
	Producción continua	Subproductos en líquidos Menor contenido de cenizas en hidrocarburos	
Desventajas	Pre- secado	Post- secado	Mayor consumo de energía
	Mayor contenido de cenizas en biocarbón	Operación en alta presión corrosión del reactor por sales inorgánicas desafío en producción continua.	Funcionamiento a alta presión

En la etapa de calentamiento inicial, la biomasa se calienta hasta alcanzar la temperatura deseada de la etapa de secado. Mientras tanto, la humedad dentro de la biomasa se evapora gradualmente al final de esta etapa. En la etapa de secado, la temperatura se mantiene constante hasta alcanzar el contenido crítico de humedad, mientras que el agua libre de la biomasa se evapora a un ritmo constante. La tasa de evaporación del agua comienza a disminuir cuando se alcanza el contenido crítico de humedad.⁴

Materiales

Para desarrollar el prototipo del reactor convencional de pirolisis se utilizó un tubo de acero al carbón con diámetro de 4.5 in y largo de 11 in, con espesor de 0.5 in, dos solidos de acero inoxidable 1018, uno de 1 in de diámetro y 15 cm de largo y el otro de ¾ in de diámetro de 21 cm. Soldadura electrodo 7018 y un tubo de ½ in de 2 metros de largo. Tres placas de acero inoxidable 1018 de 6x6 in. con largo de 1 in. Dos termopares tipo K de 3/16 in de diámetro por 1.25 de largo, con un cable de 2 metros.

Metodología

El diseño del concentrador solar se desarrolla mediante modelos matemáticos. Para los diseños de este se tomaron tres geometrías, parabólica, parabólica cilíndrica y cónica.

Concentrador solar parabólico

Ecuación de la parábola considerando el vértice en las coordenadas (0,0) y el foco (0, p):

$$x^2 = 4fy$$

El diámetro de la apertura del concentrador se puede determinar reemplazando coordenadas (x,y) por (a/2,h) mediante la relación.

$$\left(\frac{a}{2}\right)^2 = 4fh$$

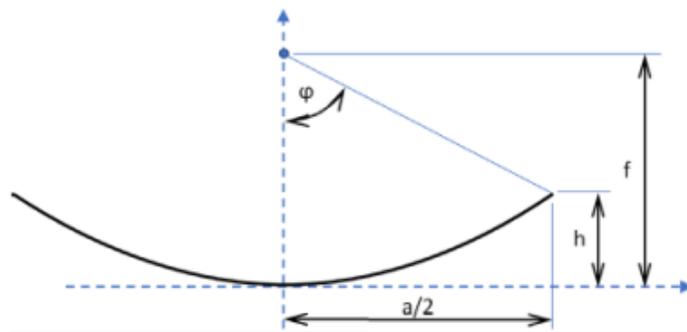


Figura 2. Representación de una parábola

Considerando las medidas del tubo del vacío para calentador solar que serán utilizados para este diseño:

$$L = 500 \text{ mm}$$

$$D = 58 \text{ mm}$$

En este caso, la distancia focal (f) será la medida de la longitud del tubo de vacío. Además, se considera que la altura (h) de la parábola será igual a la medida de la distancia focal. Por lo tanto, la apertura (a) de la parábola es:

$$a = 4f$$

$$a = 4(500 \text{ mm}) = 2000 \text{ mm} = 2 \text{ m}$$

De acuerdo con estos datos se traza el perfil de la parábola:

Tabla 2. Coordenadas cartesianas del perfil parabólico.

y(cm)	x(cm)
50	-100
32	-80
18	-60
8	-40
2	-20
0	0
2	20
8	40
18	60
32	80
50	100

El ángulo de borde es de 90°

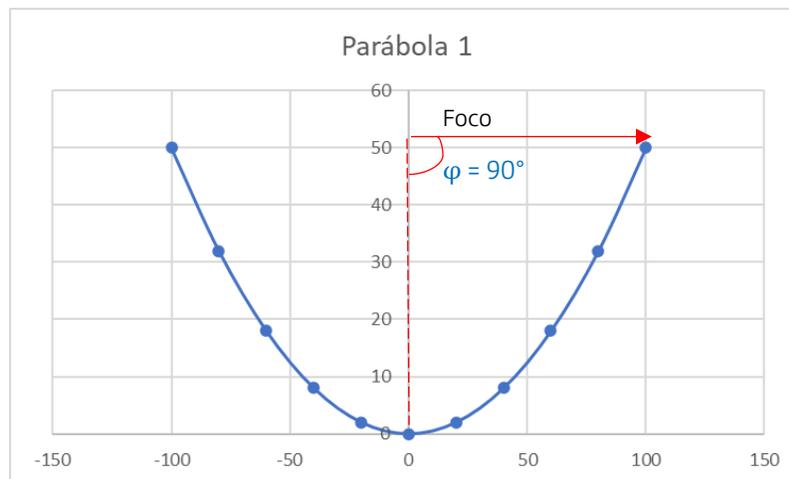


Figura 3. Perfil parabólico

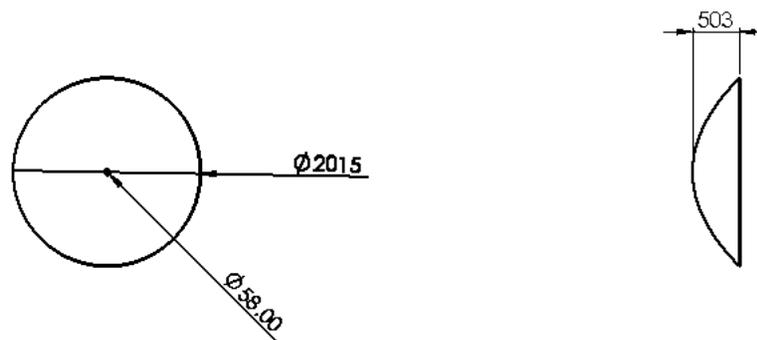


Figura 4. Dimensiones del diseño parabólico

Concentrador solar parabólico cilíndrico

Ecuación de la parábola cilíndrica considerando el vértice en las coordenadas (0,0).

$$x = z^2$$

De acuerdo a la ecuación se traza el perfil con las siguientes coordenadas:

Tabla 3. *Coordenadas cartesianas del perfil parabólico cilíndrico.*

y(cm)	x(cm)	z(cm)
50	-100	50
32	-80	50
18	-60	50
8	-40	50
2	-20	50
0	0	50
2	20	50
8	40	50
18	60	50
32	80	50
50	100	50

Concentrador solar cónico

Ecuación del cono considerando el vértice en las coordenadas (0,0).

$$x^2 + y^2 = z^2$$

$$1/\sqrt{2} \leq z \leq 2/\sqrt{2}$$

Con los datos del tubo de vacío, se dibuja la parábola con las siguientes coordenadas polares.

Tabla 4. Coordenadas polares del perfil cónico.

$\rho(\text{cm})$	$\theta(^{\circ})$	$\phi(^{\circ})$
10	90	45
10	180	45
10	270	45
10	0	45
20	90	45
20	180	45
20	270	45
20	0	45

Reactor convencional de pirolisis

Para el maquinado de este se usaron varios procesos llevados a cabo en el torno.

Tabla 5. Proceso de maquinado del reactor convencional de pirolisis

PROCESO	EXPLICACIÓN
Careado y cilindrado	Se careo una parte del tubo hasta 10.5 in. y se realizo un cilindrado pequeño en el tubo, para que no se resbalara al momento de colocarlo en las mordazas.
Tapas	Con las placas de acero inoxidable 1018 de 6x6 in. se crearon dos tapas redondas con diámetro de 5.5 in. a las cuales se les agrego unos barrenos de 0.5 de diámetro a lo largo de estas. A una de estas tapas aparte se le agrego un barreno de 2 in. y la otra placa solo se le hizo un agujero de diámetro de 4.5 in. y de largo de 0.5 in.
Soldar	Se soldó la placa en la parte inferior del cilindro y la otra tapa se soldó en la parte superior. También se agregó soldadura a una tapa para unir el tubo de 2 metros de largo al barreno de 2 in.
Termo pozos	Con los solidos se realizaron dos termo pozos para poder colocar los termopares en estos y así poder medir la temperatura de los gases y de la biomasa.

Resultados

Se modelaron los diseños en un programa CAD y se exportaron a un programa para realizar análisis y simular los rayos del sol durante todo el día, y ver como reflejaban en los en los concentradores.

La figura 5 muestra la simulación de los rayos del sol, estos chocan en el diseño cónico y reflejan en el tubo de vacío. Debido a la orientación de este se observa que los rayos reflejan muy poco en el tubo.

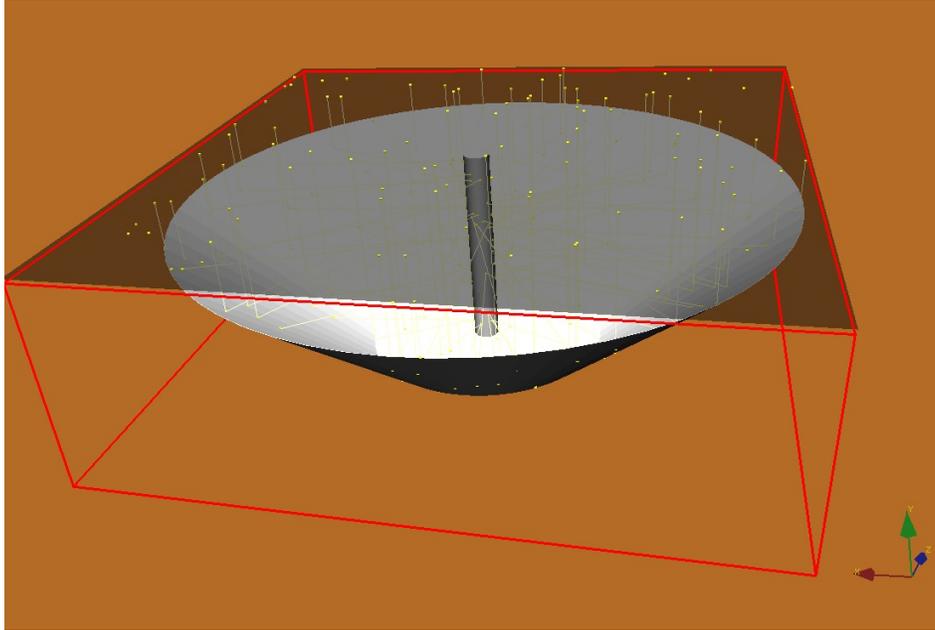


Figura 5. Simulación del concentrador cónico

La figura 6 muestra el concentrador solar parabólico el cual tiene un punto focal a la mitad del tubo de vacío, -los rayos reflejan en el diseño parabólico y reflejan en el punto focal.

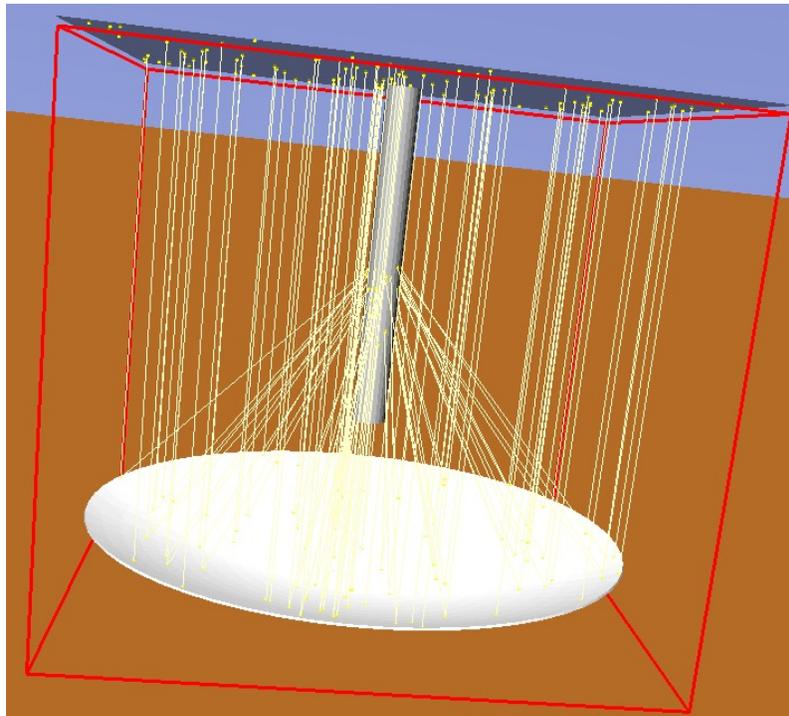


Figura 6. Simulación del concentrador parabólico

La figura 7 muestra el concentrador parabólico cilíndrico, como los rayos solares reflejan a lo largo del tubo, ya que se colocó horizontalmente para tener más puntos focales.

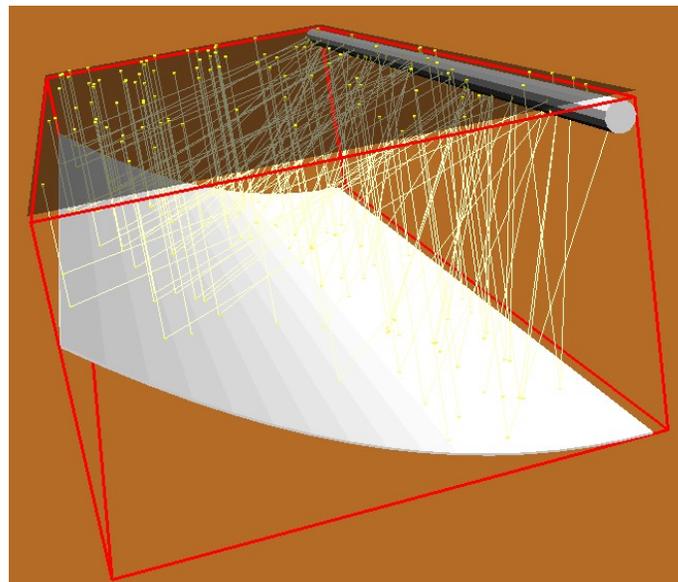


Figura 7. Simulación del concentrador parabólico cilíndrico

La figura 8 muestra el diseño final del reactor convencional de pirólisis.



Figura 8. Resultado final del reactor convencional de pirólisis.

Conclusiones

Es evidente al comparar las figuras de los diseños de concentradores solares, que la línea de acción del haz solar tiene un mayor contacto con el tubo de vacío en el diseño parabólico cilíndrico lo cual nos permite alcanzar temperaturas mayores y con una distribución de la misma más eficaz. Gracias a la geometría se logró una mayor capacidad de producto dentro del tubo de vacío.

Referencias

- Basu, P. (2010). Biomass gasification and pyrolysis : practical design and theory. Academic Press.
- C. Turare. Biomass gasification technology and utilisation. Institute university of Flensburg – Germany - <http://mitglied.lycos.de/cturare/bio.htm>
- ESTUDIO BÁSICO SOBRE DEL SECTOR DE LOS BIOCARBURANTES. (2011).
- Augusto, C., Profesor, E., Zapata, A., & Profesor Auxiliar, M. (n.d.). GASIFICACIÓN DE BIOMASA PARA PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES DE BAJO PODER CALORÍFICO Y SU UTILIZACIÓN EN GENERACIÓN DE POTENCIA Y CALOR.