

DISEÑO DE UN GASIFICADOR DE PEQUEÑA POTENCIA ELÉCTRICA

ANEXO A. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Autor: David Martín Pérez
Director: Antoni Sudrià Andreu
Convocatòria: Octubre de 2014



Màster Interuniversitari UB-UPC
d'Enginyeria en Energia





ANEXO A. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En este anexo se pretende dar a conocer las condiciones de operación del sistema de gasificación. Comenzando por una serie de medidas de seguridad necesarias a la hora de operar para evitar accidentes, pasando por los pasos que se han de realizar previamente, durante la operación y a posteriori. Además se darán a conocer los hábitos de mantenimiento del sistema para su mayor durabilidad, y una enumeración de los posibles problemas y soluciones más comunes.

1. ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD

a. Monóxido de carbono

Hay que tener en cuenta que el gas que produce el gasificador contiene monóxido de carbono, por lo que existe siempre riesgo de exposición, sobre todo cuando cualquiera de los accesos o válvulas se encuentran abiertos, y también en el proceso de apagado. Cuando se abra el reactor o cualquier parte del circuito de gas, es recomendable encender la bomba que se encuentra justo debajo de la chimenea para así disipar el CO. Es también recomendable disponer de un detector de CO cerca de la máquina para advertirnos en caso de la presencia de dicho gas en altas concentraciones.

En este manual, cada vez que haya alguna actividad que pueda derivar algún riesgo referente al monóxido de carbono, se utilizará la siguiente señal de seguridad:



b. Riesgo de explosiones

El gas generado por el gasificador, mezclado con el aire, podría generar explosiones en caso de ignición. El sistema de gasificación nunca debería funcionar cuando:

- El filtro se encuentre vacío: Si existe aire residual dentro del filtro, podría mezclarse con el gas y producir una explosión en el interior del filtro en caso de chispa.
- Depósito de biomasa vacío: el depósito de biomasa nunca debería estar totalmente vacío, como mínimo debería estar a $\frac{1}{4}$ de su capacidad. Si existe un gran espacio vacío en el depósito que puede estar ocupado por aire, es posible que algunos de los gases producidos en el reactor asciendan hasta la tolva, así como una llama, produciéndose una explosión.



- Sistema hermético: Es muy importante asegurarse que todas las conexiones están selladas perfectamente de forma que el aire no pueda entrar dentro del sistema, creando mezclas de combustible/aire que podrían derivar en explosión.

c. Riesgo de daños en los equipos

- No encender la llama de la chimenea si la bomba de circulación no se encuentra encendida, ya que hay peligros de dañar la bomba.
- No encender el motor de combustión hasta que la temperatura indicada por el termopar sea la adecuada y la llama de la chimenea adquiere un tono azulado.

d. Precauciones al operar el gasificador

- Llevar protección visual y sonora.
- No utilizar ropa que pueda desprenderse por si se engancha a cualquier componente móvil de la máquina
- Cuidado al tocar diferentes componentes, ya que pueden estar muy calientes y producir quemaduras, por lo que es recomendable utilizar guantes.
- Mantener cualquier objeto pequeño lejos de cualquier parte rotativa o móvil como el generador.
- Mantener cerca el detector de CO.

e. Riesgo eléctrico

- El cableado eléctrico que pueda existir a la hora de operar con el grupo electrógeno debe realizarse con cuidado y preferiblemente por personas cualificadas y con las medidas de protección adecuadas.



2. COMPROBACIÓN DE FUGAS EN EL CIRCUITO DE GAS

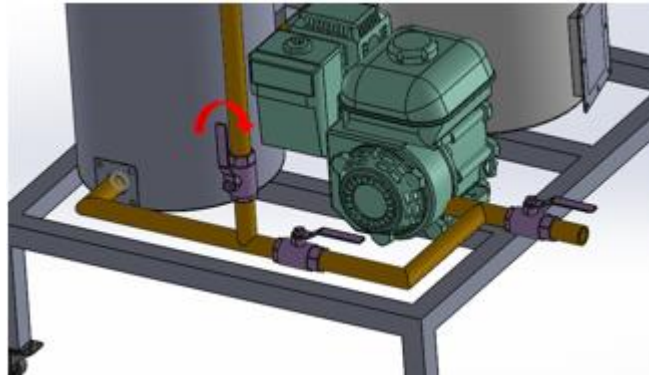
En el capítulo anterior, se remarcó la importancia que tiene disponer de un sistema hermético que reduzca a cero el riesgo de explosión. Para evitar esto, antes de operar el gasificador por primera vez, es necesario realizar un test que será concluyente a la hora de saber si existen fugas por donde pueda entrar el aire. En el caso de superar este test, entonces el



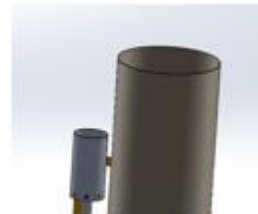
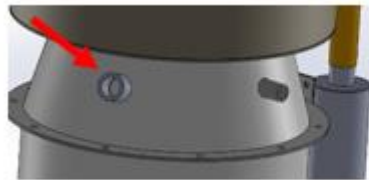
gasificador es apto para operar, en caso contrario, se han de detectar los puntos donde podría estar entrando el aire y solucionarlo.

Las instrucciones para realizar dicho test siguen la siguiente secuencia.

- a. Abrir la válvula de la chimenea o quemador y cerrar la que va al motor:



- b. Cerrar el conducto de entrada de aire situado en el cuello poniéndole el tapón al racor, así como la tapa del depósito, dotada del cierre tipo ballesta.



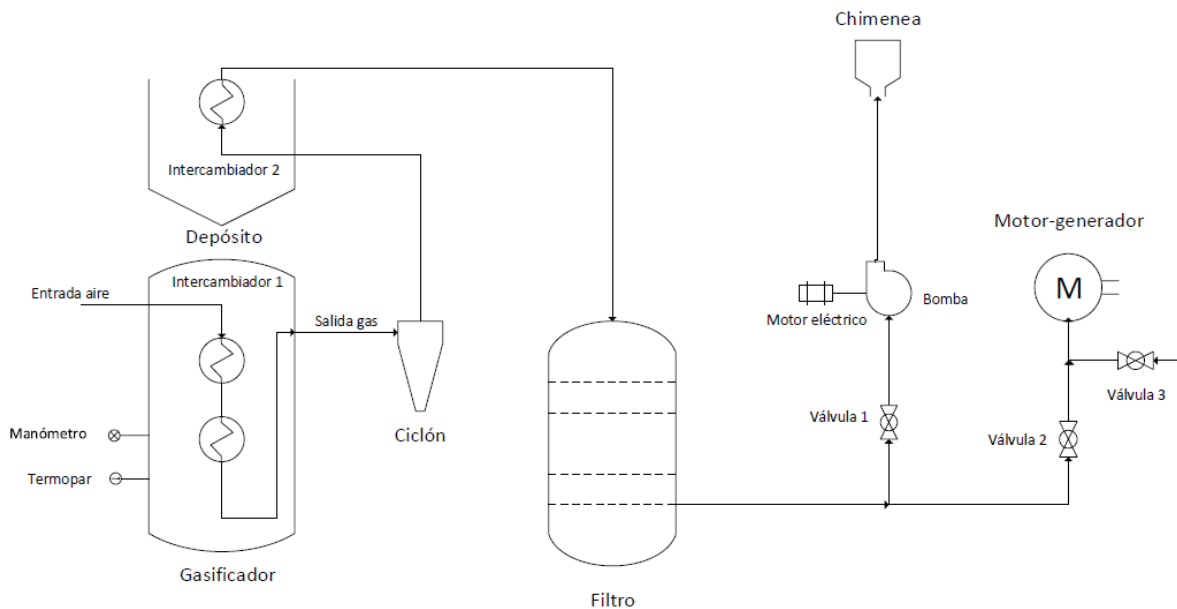
- c. Encender la bomba de aire situada justo debajo de la chimenea. Esto creara una presión de vacío dentro del circuito de gas.
- d. Cerrar la válvula de entrada a la chimenea para mantener la presión de vacío y apagar la bomba
- e. Realizar la lectura en el manómetro para ver cuánto tiempo tarda el sistema de gas en recuperar la presión atmosférica. El criterio es el siguiente:

- Si $T > 60s$, valor normal para sistemas de aire nuevos y bien sellados, entonces el gasificador pasa el test de fugas.

- Si $T < 30s$, el sistema falla y es necesario averiguar donde se producen las fugas hasta eliminarlas

3. OPERACIÓN DEL SISTEMA

A continuación se describen los pasos necesarios para operar el gasificador. Para identificar los componentes del sistema a la hora de referenciarlos, se ha desarrollado el diagrama de flujo del gas en su paso por todos los equipos en la siguiente figura:



a. Encendido del gasificador

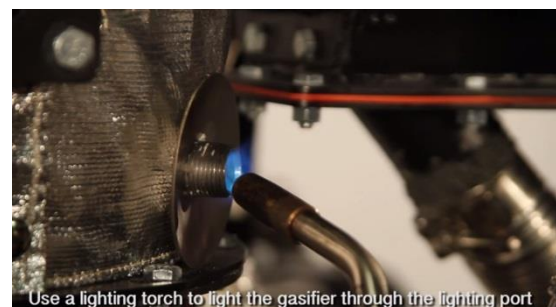
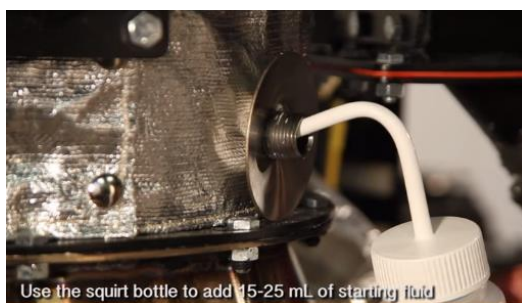
- Llenado del depósito: El primero de los pasos, una vez se ha procedido realizando el test de hermeticidad descrito previamente, se abrirá el depósito por su parte superior y se llenará de los trozos de mazorca de maíz. Hay que tener en cuenta que la primera vez que se ponga en funcionamiento, se ha de introducir un par de bolsas de carbón vegetal para favorecer el comienzo del proceso. Una vez hecho esto, las próximas veces sólo hará falta biomasa ya que habrá muy cerca del reactor biomasa pirolizada, es decir, el gasificador habrá producido su propio carbón vegetal.



- Apertura y cierre de válvulas: A continuación se cierra el depósito y se abre la válvula que conduce a la chimenea (válvula 1 en el esquema superior) y se cierra la que va al motor (válvula 2).



- Encender la bomba de aire durante unos segundos para eliminar restos residuales de gases dentro de los conductos.
- Introducir dentro del puerto de encendido alrededor de 15-25 ml de algún combustible como queroseno, gasolina o gasoil y posteriormente utilizar el soplete para realizar el encendido del sistema:





- Cuando el termopar indica que la temperatura dentro del reactor es de 80°C, poner el tapón al puerto de encendido para evitar la entrada adicional de aire.



- b. Incrementar ligeramente la velocidad de la bomba

Llegados a este punto, el gasificador comienza a calentarse, saliendo por la chimenea un gas cuyo contenido en monóxido de carbono e hidrógeno va aumentando. Hay que tener en cuenta que el humo inicial puede contener altas cantidades de vapor de agua, lo que puede retrasar el encendido.



- c. Una vez el humo que sale comienza a ser visible, comprobar la temperatura del termopar. Si esta temperatura supera los 900°C, entonces coger el soplete e introducir la llama por los agujeros inferiores de la chimenea para intentar combustionar el gas saliente.





NOTAS EN CUANTO AL ENCENDIDO

Relleno del depósito

A la hora de rellenar el depósito, se debe hacer rápidamente y no tardar más de 1 minuto, ya que la apertura provoca la entrada de aire, y esto produce un gas de baja calidad y la posibilidad que exista combustión en el depósito. Si el reactor está muy caliente, rellenar el depósito sólo cuando esté funcionando la bomba de aire y no el motor. **NO abrir el depósito si este se encuentra totalmente vacío**, ya que puede generar una mezcla explosiva con los gases restantes. Asegurarse de que como mínimo el depósito se encuentra al 25%. Por último, tener cuidado a la hora de abrir la tapa ya que el vapor acumulado podría ascender rápidamente pudiendo producir leves quemaduras

Humo blanco en el quemador

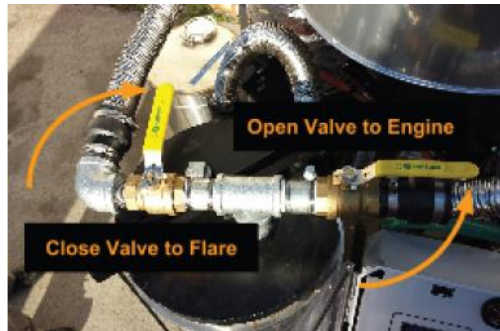
Nada más poner en marcha el gasificador, lo primero que saldrá por la chimenea será un humo blanco que es una mezcla de gases alquitranados y vapor de agua. El soplete debería producir el encendido de la mezcla una vez la concentración de los gases combustibles es lo suficientemente alta para producir una llama. Si la biomasa posee demasiada humedad, el quemador puede tener dificultades para encender el humo.

Temperatura y velocidad de succión

La temperatura dentro del gasificador depende de la velocidad de combustión, que a su vez depende de la velocidad que aplica la bomba al circuito del gas. Si se incrementa la velocidad de la bomba aumenta el calentamiento del gasificador.

d. Encendido del motor y generación de electricidad

- Una vez existe llama constante en el quemador, entonces cerrar la válvula 1 y abrir la número 2, que va al motor, abrir la válvula de aire (nº3), apagar el soplador de gas y encender el motor.



- Cuando el motor se estabilice, entonces se pueden conectar las cargas al generador.

NOTAS EN CUANTO A LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

Cargas eléctricas

A menores cargas colocadas en el generador, hará que el gasificador consuma menos cantidad de gas, lo que disminuye el flujo de aire a través del gasificador y por tanto reduciendo la temperatura en el interior de la máquina. Si colocamos grandes cargas, más consumo, mayor temperaturas, o lo que es lo mismo, una mejor calidad del gas. Por tanto si el gasificador ha sido dimensionado según el motor, éste debería funcionar a plena carga.

Alcanzar la temperatura de operación

Si utilizando el soplador, no se alcanzan las temperaturas deseadas (alrededor de 800-900°C) después de 20 minutos, cambiar las válvulas para desviar el flujo hacia el motor e intentar arrancar el sistema, el mayor volumen de aire desplazado por el motor debería ayudar al gasificador a alcanzar la temperatura deseada.

e. Apagado del sistema

- Desconectar las cargas eléctricas del generador
- Cambiar las válvulas de forma que al gas pase a la chimenea.
- Encender la bomba a bajas revoluciones para ir disminuyendo la temperatura del gasificador durante al menos 5 minutos. Esto es debido a que el gasificador contiene aún suficiente temperatura en su interior como para seguir produciendo gas incluso después de parar el motor.



NOTAS EN CUANTO AL APAGADO DEL SISTEMA

Enfriamiento del sistema

Es importante ejecutar el último paso ya que al apagar el motor, el gasificador posee aún suficiente temperatura en su interior como para continuar produciendo gases. Si este proceso de enfriamiento no se realiza, los gases producidos por el calor residual podrían condensarse en la zona de pirolisis en el propio combustible, pudiendo atascarse el flujo descendente de biomasa.

4. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

PELIGROS RELACIONADOS CON EL MANTENIMIENTO

El circuito de gas se encuentra bajo presión de vacío, por lo que abrir cualquiera de los componentes del gasificador mientras éste se encuentra funcionando a alta temperatura, provocaría la entrada de aire y la posibilidad de que se produzcan explosiones, fuegos internos o liberación de monóxido de carbono. Por tanto mientras el gasificador esté caliente (parada o en funcionamiento) nunca:

- *Abrir el puerto de limpieza*
- *Quitar el bote de cenizas del ciclón*
- *Abrir el depósito durante más de 1 minuto*

MONÓXIDO DE CARBONO

Una vez el gasificador esté frío y se puedan ejecutar las operaciones de mantenimiento, es necesario primero encender la bomba de circulación de gas para disipar la presencia de monóxido de carbono en los conductos y alejarlos de la zona de trabajo. A su vez es muy importante disponer del detector de CO cerca, para que nos alerte en caso de concentraciones peligrosas.



5. MANTENIMIENTO DEL GASIFICADOR

A continuación se puede observar en la tabla, una lista con las principales actuaciones de mantenimiento/supervisión e ejecutar en el gasificador y su periodicidad. Los símbolos de visto representan una actuación de mantenimiento y el punto, una supervisión.

Gasifier Subsystems	Time required									
	service Interval hours	daily	50	100	250	500	1k	2.5k	7.5k	(estimated)
Disconnect, drain gas lines after shutdown	✓									2 min
Empty ash vessel	✓									2 min
Empty cyclone ash can	✓									2 min
Drain condensate from gas filter	✓									2 min
Clean the cyclone, change the gas filter				✓						15 min
Purge grate basket	●			✓						30 min
Clean dual gas blowers				●	✓					30 min
Clean out drying bucket				●	✓					1 hr
Replace graphite seals ¹						●				1 hr

a. Desconectar y drenar las tuberías de gas

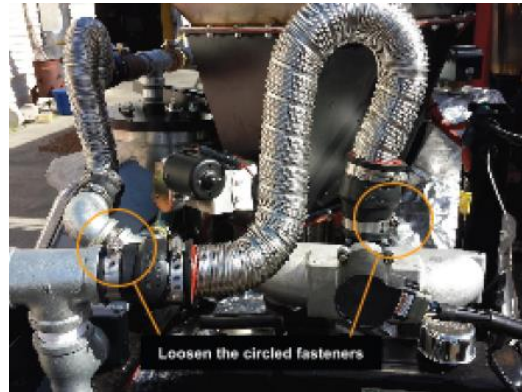
En el caso de que el sistema posea tuberías flexibles, es importante realizar la desconexión de las mismas para limpiarlas de condensados alquitranados. Los tubos a desconectar son:

- Del filtro al quemador



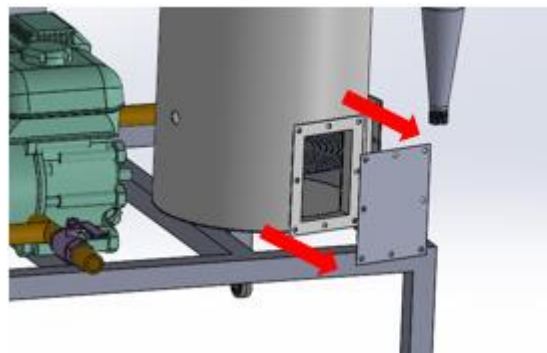
- Del filtro al motor
- Del depósito al filtro

Para ello, desenganchar las abrazaderas que se encuentran apretando las tuberías, y una vez sueltas, realizar la limpieza utilizando algún disolvente como alcohol. Es recomendable realizar la operación cuando el gasificador esté totalmente frío, como por ejemplo antes de ponerlo en funcionamiento.



b. Limpieza de cenizas en el fondo del reactor

Las cenizas caen a la parrilla, terminan en el fondo del gasificador debido al sistema de agitación instalado, por ello es necesario realizar una limpieza diaria para evitar grandes acumulaciones. Es recomendable realizar esta operación de mantenimiento antes del encendido. La limpieza se realiza desatornillando la tapa del puerto de limpieza para acceder a las cenizas. Una vez limpio, se vuelve a cerrar la tapa asegurándose que el cierre queda perfectamente sellado. Asegurarse de seguir las instrucciones de seguridad ante riesgo de CO.



c. Vaciar el bote de cenizas del ciclón

Este bote tiene como función recoger las partículas y el agua presentes en el gas. Se recomienda instalar uno que tenga capacidad de almacenaje de unas 24 horas, aunque todo depende del nº de horas de funcionamiento al día. Una vez se aprecia que el contenido aumenta hasta la mitad, desenroscar dicho bote y realizar el vaciado del mismo. Utilizar si es necesario disolventes para la limpieza completa.



Encender la bomba de aire a bajas revoluciones para aplicar una pequeña succión que impida al monóxido de carbono salir cuando el bote de cenizas se desenrosca. Inspeccionar de vez en cuando la junta que existe entre el bote y el ciclón para asegurarse de que está en buen estado.



d. Limpieza del ciclón

Es recomendable realizar una limpieza del ciclón, ya que por su parte más estrecha existe tendencia a que se acumulen alquitranes y cenizas. Esto se puede solucionar fácilmente desenroscando el bote de cenizas, e introduciendo por abajo un cepillo que pueda eliminar cualquier acumulación.





e. Sustitución del filtro

El filtro es el encargado de limpiar el gas de las sustancias que han sobrevivido al cracking y al proceso de limpieza en el ciclón. Según el gas va atravesando el filtro, se va enfriando, lo que provoca la condensación de los alquitranes en las capas de biomasa usadas como filtro. Si esta biomasa adquiere un color negro y se vuelve pegajosa, entonces sabemos que debemos cambiar el medio de filtrado. Es normal también que la parrilla del filtro se atasque, por lo que habrá que cepillarla para eliminar todos los compuestos adheridos a ella. A continuación se observan una serie de imágenes donde se muestran ejemplos de biomasa que ha de cambiarse.



A la izquierda se observa la capa de suciedad adherida a la parrilla. Se ha de cepillar para eliminarla. A la derecha se observa la capa más fina de biomasa instalada en el filtro, que adquiere un color negro y de apariencia pegajosa que nos indican que debe cambiarse.



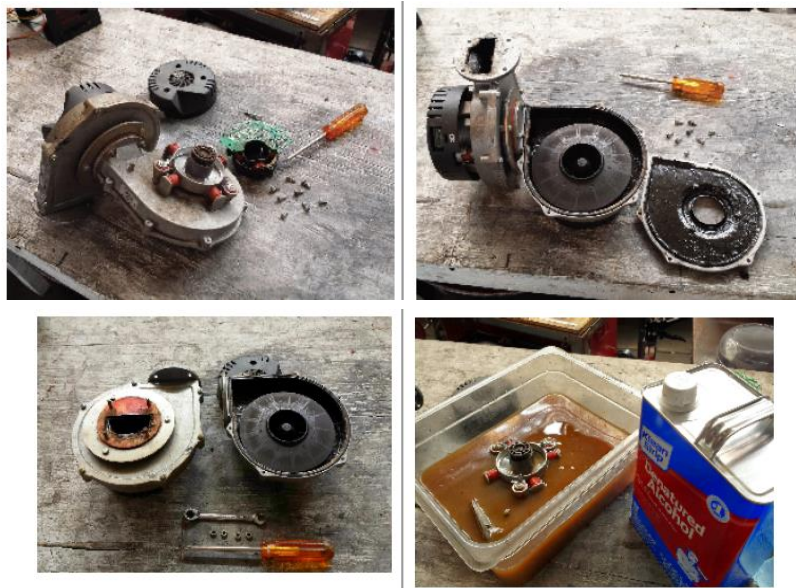
A la izquierda se puede apreciar que la biomasa empleada está en malas condiciones para seguir operando, ya que se ha pegado entre sí y esto podría producir el estrangulamiento del flujo de gases hacia el motor. A la derecha en cambio se observa que el medio se encuentra en condiciones de cambiarse pero no es tan grave porque parece que la biomasa aún está suelta y no se ha pegado entre ella misma.

Una vez vacío y limpio, el llenado del filtro con nueva biomasa debe realizarse pro capas, donde cada una de ellas tiene un tamaño de biomasa diferente, tal y como se muestra a continuación:



f. Limpieza de las bombas de aire

Si el sistema de circulación del gas es manual, no es necesario tener en cuenta esta operación de mantenimiento. En el caso de que se instalen bombas seguir las instrucciones a continuación.



- Desatornillar la cubierta trasera y limpiar cualquier resto de polvo o suciedad que puede estar acumulado en los componentes electrónicos, en el rotor o estator.
- Desatornillar la cubierta del ventilador



- Sacar el ventilador y poner en remojo en alguna sustancia disolvente. Si es necesario cepillar para eliminar restos de alquitrán que no se disuelvan.