

## **ANEXO I: GENERADOR DE VAPOR.**

### **1. FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR DE VAPOR**

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL GENERADOR**

#### **1.2. FUNCIONAMIENTO**

#### **1.3. PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN**

#### **1.4. ERRORES Y MALFUNCIONAMIENTOS**

### **2. MANTENIMIENTO**

#### **2.1. LLENADO DE BORBOTEADORES**

## **ANEXO I: GENERADOR DE VAPOR.**

### **1. FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR DE VAPOR**

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL GENERADOR**

El generador de vapor, ver esquema adjunto (Figura 1), se compone de:

- 1) Baño termostático de acero inoxidable.
- 2) Cabezal de calentamiento del baño termostático.
- 3) Matraz Erlenmeyer.
- 4) Seis borbotadores en serie con difusor.
- 5) Un último borbotador vacío.
- 6) Válvulas de vidrio manuales. Entrada V – 1, salida V – 2.
- 7) Rotámetro.
- 8) Conducciones de silicona y cobre.
- 9) Cinta calefactora.

Como puede verse en el esquema adjunto (Figura 3.2), en el interior del baño termostático están situados los siete borbotadores y el matraz, encontrándose el conjunto en el interior de un cajón que lo aísla térmicamente del medio.

El cabezal del baño termostático aporta la energía calorífica necesaria para el calentamiento del agua en él contenido a través de una resistencia. Así mismo, dispone de un sistema de agitación que permite el calentamiento uniforme del conjunto del agua contenida en el baño.

La conducción que une la salida del generador de vapor con la TGA se encuentra calefactada a fin de evitar la condensación del vapor que por ella circula. Del mismo modo, también se encuentra calefactada la conducción que une una de las salidas de la válvula V1 con la TGA. En concreto, une la conducción que se dirige hacia la TGA sin pasar por el generador de vapor y que conforma el circuito durante todos los procesos del ensayo salvo el de gasificación. Dichas conducciones son de cobre.

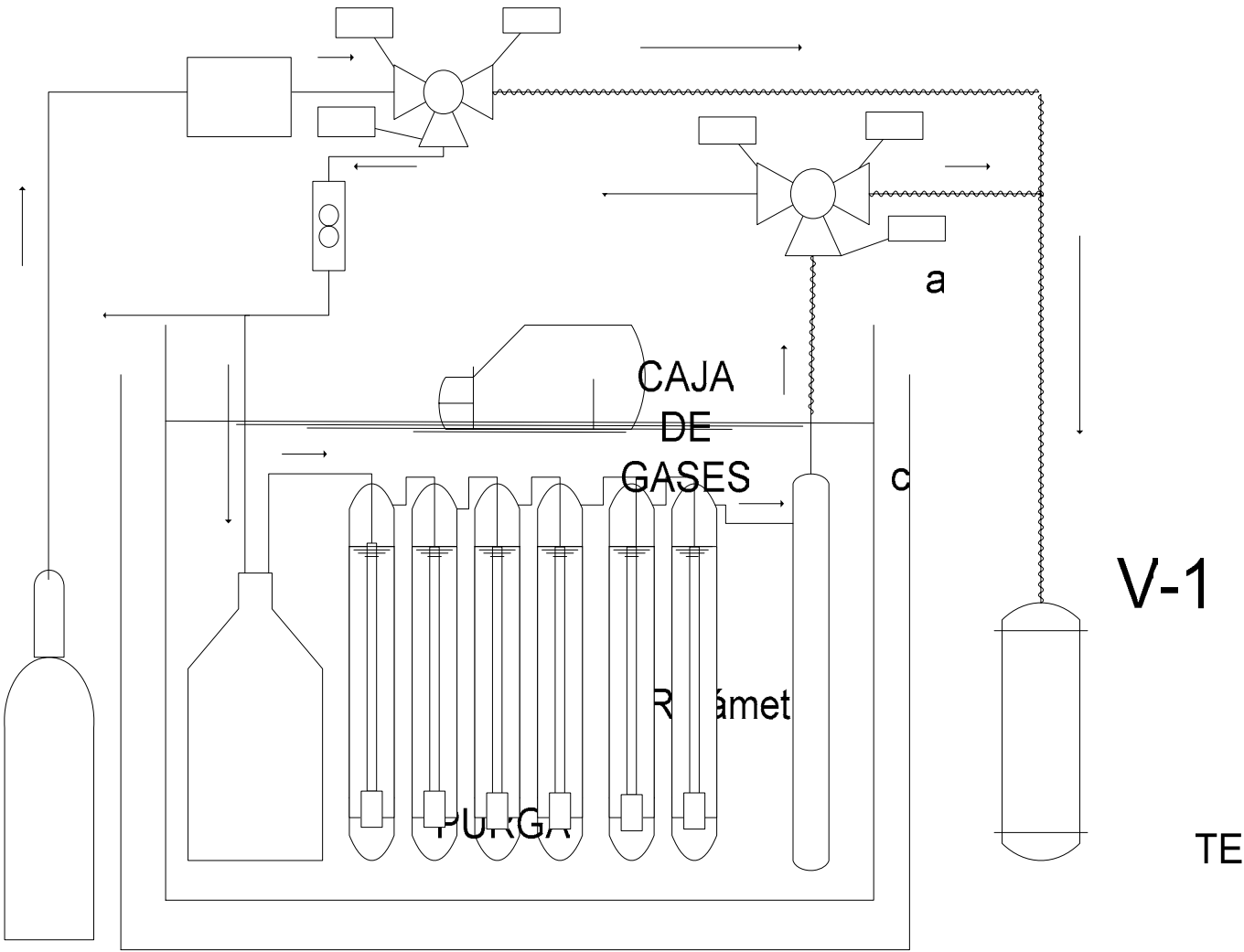


Figura1. Esquema del Generador de Vapor.

B1      B2      B3

N2      Matraz Erlenmeyer

## 1.2. FUNCIONAMIENTO

El agua contenida en el baño es calentada empleando el cabezal del baño termostático y sirve para mantener calefactados de forma uniforme los borboteadores que se encuentran sumergidos en él. Es necesario una hora de calentamiento para alcanzar una temperatura de 70°C desde la ambiente.

Los borboteadores ponen en contacto íntimo agua y  $N_2$  en condiciones estables y con una temperatura conocida. El agua en ellos contenidos será la fuente de vapor que se empleará en la gasificación.

El matraz y los 6 primeros borboteadores están llenos de agua. Todo este sistema está sumergido en el agua del baño, por lo que la temperatura de este sistema es la del agua del baño.

El agua contenida en el matraz y en los borboteadores alcanzará la temperatura deseada para el ensayo por transferencia de calor desde el agua del baño.

Los seis primeros borboteadores, aquellos que están llenos de agua, que recorre la corriente de  $N_2$  en su paso por el generador de vapor disponen de difusores para mejorar la transferencia de masa. En el esquema adjunto están marcados desde B1 a B6.

La disposición de un séptimo borboteador vacío es para retener las nieblas que circulen con la corriente de vapor –  $N_2$  que se dirige a la TGA. En el esquema adjunto se encuentra marcado como B7.

Desde el inicio del ensayo deben estar encendidas las cintas calefactoras que rodean los conductos por los que se introducen los gases en la TGA. La finalidad de dichas cintas es evitar la condensación de gotas de agua y que por tanto, la composición de la corriente de vapor varíe.

Una vez es requerido el vapor en el ensayo de gasificación deben conmutarse las dos válvulas de 3 vías, marcadas como V – 1 y V – 2 en el esquema que se adjunta, de las que se dispone en el equipo de tal forma que la corriente de  $N_2$  se introduzca en el generador y pueda llegar a la TGA. Para ello se han de disponer tal que el paso de la corriente de gas a través de ellas sea: a – c para la V – 1, y c – b para la V – 2.

La regulación del caudal de gas reactivo (vapor –  $N_2$ ) que se introduce en la TGA se realiza mediante la caja de gases, permitiéndose seleccionar el caudal seleccionado. Se ha de ajustar al diseñado en el método ya que el generador aporta una mayor pérdida de carga que la TGA y el flujo introducido disminuye.

La corriente de  $N_2$  pasa primero por el matraz y posteriormente por los borboteadores. Tras pasar por el borboteador vacío, cuyo cometido es la captación de la niebla que circule en la corriente de gaseosa, se introduce en TGA.

El recorrido que sigue la corriente de  $N_2$  a través del generador de vapor es (ver esquema adjunto):

- 1) Entrada a través del matraz.
- 2) Circulación a través de los seis borboteadores con difusores.
- 3) Paso por el borboteador vacío.
- 4) Salida hacia la TGA a través del conducto calefactado.

Una vez terminado el ensayo de gasificación se deben situar las válvulas de tal forma que el flujo de nitrógeno pase por la TGA directamente: la válvula V – 1 ha de situarse de tal forma que el flujo de gas sea a – b, y V – 2 se ha de disponer en la posición a – c para evitar el recorrido inverso del flujo de  $N_2$  a través del generador de vapor. Se ha de volver a ajustar el caudal de  $N_2$  acorde a lo especificado por el método. Esta conmutación de las válvulas es para limpiar la TGA de posibles partículas arrastradas por la corriente de vapor.

### 1.3. PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN

La realización de un experimento de gasificación empleándose el generador de vapor descrito es como sigue:

1. Comprobación de los distintos niveles de agua: borboteadores y baño termostático. Es conveniente realizarlo el día antes del ensayo ya que la temperatura del baño será la ambiente y es más fácil el llenado de los borboteadores si es necesario.

El día del ensayo:

2. Puesta en marcha del cabezal termostático del baño hasta alcanzar la temperatura deseada. Este paso se realiza de forma automática gracias al temporizador del que dispone el cabezal termostático.
3. Arranque de la TGA y autocalibrado de la misma.
4. Inicio del ensayo de TGA, con los gases correspondientes.
5. Puesta en marcha de los elementos calefactores de las diferentes conducciones.

6. Conmutación de las válvulas de tres vías en el instante en el que debe dar comienzo la gasificación.

7. Al finalizar la gasificación, se sitúan las válvulas de 3 vías como al inicio del ensayo, desacoplándose el sistema generador de vapor, y sometándose a un proceso de limpieza el horno al hacer pasar  $N_2$  puro.

#### 1.4. ERRORES Y MALFUNCIONAMIENTOS

- Debido a que el cambio de gases se realiza de forma manual en los ensayos con vapor que emplean el presente equipo, los errores que más fácilmente pueden cometerse son los debidos a las válvulas:
  - 1) La disposición de las válvulas tras un ensayo puede ser errónea y malograr el próximo ensayo.
  - 2) Conmutación con retraso de las válvulas. Dicho error se subsana aumentándose la concentración en lo que se está haciendo.
- Un mal funcionamiento del equipo puede deberse a que el baño no tenga un nivel tal que los borboteadores estén cubiertos en su totalidad. Esto llevaría aparejado una concentración menor de la deseada en vapor. En este caso se debe abortar el ensayo. Para subsanar el error la instalación dispone de una tubería para suministrar  $H_2O$  al baño.
- El nivel de los borboteadores debe ser el mismo para todos los ensayos. No se han de llenar completamente, evitando así que el agua en ellos contenidos sea arrastrada por los conductos que los comunican.
- Es conveniente controlar que el último borboteador se encuentre sin agua para de esta manera captar las nieblas que a él puedan llegar.
- El baño termostático dispone de un sistema de arranque automático de fácil programación que permite alcanzar la temperatura deseada antes del inicio del ensayo. es posible que por diversas causas (temperatura deseada muy alta, vaciado del nivel del baño) no se llegue a la temperatura deseada para la gasificación. en esta caso no es posible subsanar el error. El resultado del ensayo es erróneo.
- El caudal de  $N_2$  que se introduce en el generador es controlado a través de la caja de gases de la termobalanza. Dicho caudal en ningún momento podría ser constante debido a la pérdida de carga en los borboteadores. La pérdida de carga fluctúa ya que la formación de las burbujas en el interior de los mismos nunca es constante y por tanto el nivel en los borboteadores nunca es el mismo. Este efecto llevaría aparejado que el flujo de vapor

introducido en la termobalanza fluctuaría obteniéndose un ensayo en condiciones variables. Este efecto se mitiga incluyéndose un rotámetro, ver esquema del equipo, entre la válvula de tres vías de entrada y el matraz. Con él se consigue que la pérdida de carga aumente y que las fluctuaciones de flujo sean menores, pudiéndose establecer un flujo constante.

- Un error del que no se ha evaluado su efecto en los ensayos es el relativo al empleo de conducciones de cobre en el montaje. Al usarse este material calefactado se presentan deposiciones de hollín. Una posible mejora sería la utilización de conductos de acero inoxidable donde no se presentaría dicho problema.

## **2. MANTENIMIENTO**

El mantenimiento del equipo es sencillo. Se han de controlar exclusivamente dos parámetros:

- Pruebas de fugas.
- Niveles de agua en los borboteadores y en el baño.

La existencia de fugas en el presente generador de vapor se realizan de forma sencilla ya que el conjunto de elementos que conforman el equipo se encuentran bajo agua. La existencia de fugas se reflejaría en la formación de burbujas en el agua del baño. Sólo hay que prestar atención a dos puntos conflictivos, desde el punto de vista de las fugas, que son las válvulas de tres vías marcadas en el esquema como V1 y V2 y situadas fuera del baño. Dichas válvulas se han de testar periódicamente para la comprobación de falta de fugas.

En cuanto al control de los niveles de agua:

- El baño se llena directamente a través de una tubería dispuesta para tal fin.
- El borboteador vacío que se destina a la captación de las nieblas suele recibir algo de agua proveniente del último borboteador. Esto hace que hace que en algunas ocasiones se haya de vaciar.
- El matraz nunca cambia de nivel y no es necesario reponer el agua que contiene.

El llenado de borboteadores, por ser más conflictivo, se aborda en el apartado siguiente.

## **2.1. LLENADO DE BORBOTEADORES**

El correcto llenado de los borboteadores se ha citado anteriormente como uno de las posibles fuentes de error asociadas al generador de vapor.

Para el llenado se aconseja emplear agua destilada a fin de evitar la formación de precipitados así como la introducción de sulfatos y sulfuros en la termobalanza.

El llenado se realiza de forma manual, extrayéndose el borboteador del baño y llenándose de tal forma que la zona superior del mismo, la ocupada por el cabezal, quede vacía. Con esta forma de llenado se evita que la corriente de nitrógeno introducida haga circular agua de un borboteador al siguiente.