

ANEXO C

ESTIMACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN

C1 - INTRODUCCIÓN

C2 - PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

C1 - INTRODUCCIÓN

El prototipo ha sido concebido con la idea de utilizar el mínimo posible de instrumentación con el fin de facilitar, en caso de éxito, su posterior comercialización. Así pues, en dicho equipo, no se han instalado ni transmisores de caudal ni ningún otro tipo de sensor a partir del cual se pueda obtener las composiciones de los flujos que intervienen en el ciclo.

No obstante, dicha información es absolutamente necesaria para poder analizar las prestaciones tanto de todo el conjunto del prototipo, así como, de cada uno de los componentes del ciclo. Por este motivo, se ha desarrollado una metodología de cálculo que permitiera la estimación de los caudales, composiciones y potencias térmicas que intervienen en cada uno de los intercambiadores de calor, bajo condiciones de régimen estacionario.

La metodología desarrollada se basa en:

- a) *Variables medibles*. Las variables medibles del prototipo son únicamente los cuatro niveles de presión (evaporador, absorbedor, generador de baja y generador de alta), y los termopares de contacto que se hallan en los diferentes conductos que unen los diversos componentes del equipo.
- b) *Propiedades termofísicas*. Los procedimientos descritos en el Anexo B para el cálculo de las propiedades termofísicas de la mezcla fueron compilados en forma de DLL (**D**ynamic **L**ink **L**ibrary) con el fin de poder tener acceso a ellos, en otras aplicaciones que permitan la incorporación de funciones externas.
- c) *Comunicación DDE*. La comunicación DDE (**D**ynamic **D**ata **E**xchange) es una de formas de enlazar aplicaciones dentro de Windows a nivel de comunicaciones. Su principal característica es que las aplicaciones que comunican lo realizan de manera constante, es decir, cualquier modificación de una variable en una de las aplicaciones repercute inmediatamente en la otra aplicación. En nuestro caso en particular, se ha establecido un enlace entre el programa WinCC y una hoja de EXCEL.

De esta forma, una vez el equipo operaba en régimen estacionario, las variables que se generaban en campo eran accesibles por la hoja de cálculo de EXCEL que contenía la DLL con las propiedades termofísicas de la mezcla. En dicha hoja, se introdujeron los balances energéticos, de materia y de especie para cada uno de los intercambiadores de calor instalados en el prototipo.

Llegados en este punto, la solución todavía no era unívoca y se requería incorporar un conjunto de hipótesis de cálculo, las cuales debían ser lo más razonables y próximas a la realidad.

Las hipótesis de trabajo que se han considerado son:

- a) Equilibrio líquido-vapor a la salida tanto del generador de alta temperatura como el generador de baja temperatura.
- b) Líquido saturado a la salida de cada uno de los condensadores.
- c) Vapor saturado a la salida del evaporador.

Aún introduciendo estas hipótesis, el problema precisaba de una potencia térmica para obtener una solución única. Evidentemente este dato debía ser proporcionado por el banco de ensayos, pero la cuestión era que flujo térmico se escogía.

En el evaporador, se producía además de una evaporación, una purga de forma continua de líquido, con el fin de evitar la acumulación de absorbente en su interior. Aunque se podía estimar el caudal de purga debido a que se conocía la velocidad de rotación de la bomba y ésta era de engranajes, se consideró que dicho valor no era lo suficiente preciso para ser introducido como punto de partida de la estimación de los flujos en el interior del prototipo.

La consideración de utilizar el flujo térmico en el absorbedor como punto de partida para el cálculo se descartó de un principio por el número de incógnitas que se introducían. Como en el caso del evaporador, no se conocía con precisión el flujo de purga de éste hacia el absorbedor. Además, el vapor de refrigerante a la entrada del absorbedor se encontraba altamente recalentado debido a la etapa de compresión y finalmente se desconocía la composición de la solución rica a la salida del absorbedor.

De forma similar se descartó iniciar la estimación de los flujos internos del prototipo a partir del aporte de térmico en el generador de alta. Dicho rechazo se basaba en el funcionamiento todo-nada de la caldera, apareciendo oscilaciones de la presión del vapor de agua entre parada y arrancada alrededor de 0.5 kg/cm^2 . Además, tampoco se disponía de un sistema fiable de medición del caudal de vapor condensado. Por lo tanto, el flujo de calor intercambiado en el generador de alta había que establecerlo a partir del consumo de gas natural en el quemador de la caldera e incorporando el rendimiento de la combustión y una estimación de las pérdidas de calor en los conductos de conexión caldera y generador de alta.

Finalmente se eligió como punto de partida para la estimación de los flujos internos del prototipo el calor del condensador de baja temperatura. Por una parte, dicho flujo térmico puede ser evaluado por el banco de ensayos con cierta precisión. Esto es debido a que las sondas de temperaturas estaban directamente en contacto con el agua de refrigeración que circulaba por el condensador, y por la otra parte, la lectura del caudalímetro del agua instalado en dicho circuito había mostrado ser muy fiable durante el ensayo del equipo de absorción Yazaki WFC-10. Asimismo, los posibles errores de las lecturas de los termopares situados en las superficies de los conductos de entrada y salida de dicho condensador, no repercutían significativamente al balance térmico, debido a la elevada relación entre el calor latente de cambio de fase y el calor sensible tanto en fase líquida o en fase vapor.

C2 - PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

Partiendo de la potencia térmica del condensador de baja, es factible evaluar los flujos másicos, composiciones y flujos térmicos en cada uno de los componentes del ciclo. En la Fig. C-1, se muestra esquemáticamente la asignación de variables en cada uno de los componentes que intervienen en el ciclo.

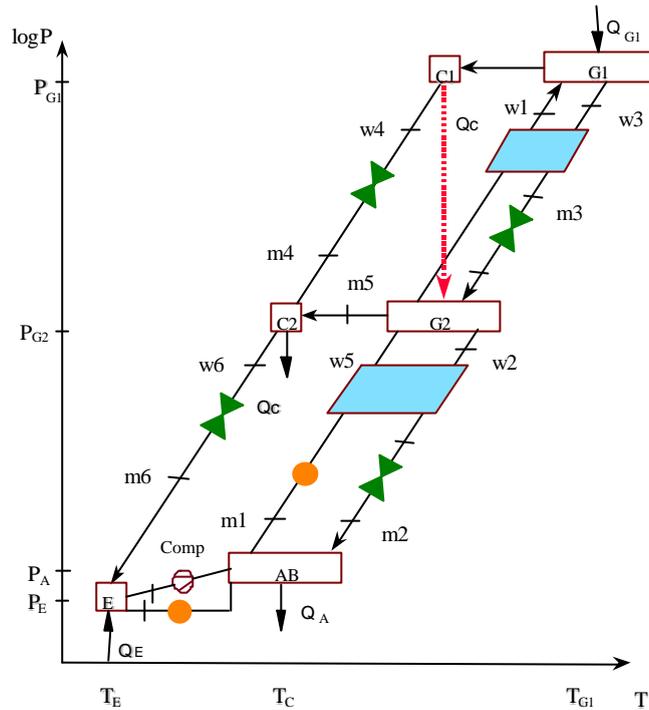


Fig .C - 1 Esquema de base para el cálculo de flujos en el interior del prototipo

A partir del diagrama indicado en la Fig. C-1, se pueden establecer los siguientes balances de materia:

$$\text{Generador de alta : } m_4 = m_1 - m_3 \quad (\text{C -1})$$

$$\text{Generador de baja : } m_5 = m_3 - m_2 \quad (\text{C -2})$$

$$\text{Condensador de baja : } m_6 = m_4 + m_5 \quad (\text{C -3})$$

De forma análoga se pueden realizar los balances de especie, que en nuestro se realizan por el lado del refrigerante:

$$\text{Generador de alta : } m_4 * w_4 = m_1 * w_1 - m_3 * w_3 \quad (\text{C -4})$$

$$\text{Generador de baja : } m_5 * w_5 = m_3 * w_3 - m_2 * w_2 \quad (\text{C -5})$$

$$\text{Condensador de baja : } m_6 * w_6 = m_4 * w_4 + m_5 * w_5 \quad (\text{C -6})$$

En estas ecuaciones anteriores (C-4, C-5, y C-6), los valores de w_2 , w_3 , w_4 y w_5 pueden evaluarse a partir de las condiciones de equilibrio líquido-vapor de la mezcla MeOH-TEGDME, dadas las presiones y temperaturas de salida en cada uno de los generadores. Por consiguiente, se dispone de seis ecuaciones, pero se desconocen 8 variables, las seis másicas y las composiciones w_1 y w_6 .

Las ecuaciones restantes que se aplican para la resolución del problema son los balances de energía en cada uno de los condensadores. Por una parte el calor transferido por el condensador de alta debe ser igual al calor absorbido por el generador de baja, mientras que el calor transferido en el condensador de baja es el evaluado directamente por el banco de ensayos.

Condensador de alta / Generador de baja:

$$m_5 \cdot h_5 + m_2 \cdot h_2 - m_3 \cdot h_3 = m_4 \cdot \Delta H_v = m_5 \cdot h_5 + m_2 \cdot h_2 - m_3 \cdot h_3 \quad (\text{C -7})$$

$$\text{Condensador de baja : } Q_c = m_5 \cdot \Delta H_v + m_4 \cdot \Delta H_l \quad (\text{C -8})$$

En las ecuaciones anteriores, todos los valores de entalpía pueden ser evaluados debido a que se conocen las composiciones en cada una de las corrientes y su temperatura, con lo cual la entalpía queda totalmente definida. Por otra parte, el calor del condensador es evaluado por el banco de ensayos, y por consiguiente es un valor conocido.

Así pues, en este punto se dispone de las ocho ecuaciones necesarias para el cálculo de los flujos tanto de materia y de energía en cada uno de los componentes del ciclo. Hay que resaltar que la solución es directa y no precisa de ningún tipo de iteración para su resolución, resultando un sistema muy apropiado para ser aplicado en una hoja de cálculo tipo EXCEL.