

# Condensadores para medir la calidad del vapor a la entrada de las turbinas a contrapresión del campo geotérmico de Los Azufres, Mich.

*Fernando Sandoval Medina, Rubí González González, Lisette Reyes Delgado y Moisés Medina Martínez*

Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Residencia de Los Azufres.  
Correo: [fernando.sandoval@cfe.gob.mx](mailto:fernando.sandoval@cfe.gob.mx)

---

---

## Resumen

La conductividad eléctrica es una medida indirecta de la calidad del vapor que se suministra a las unidades turbogeneradoras. En el campo geotérmico de Los Azufres, Mich., la conductividad eléctrica se medía en forma puntual y periódica, condensando muestras de vapor por medio de un serpentín enfriado con agua. Después, ante la necesidad de medirla en forma continua, se instalaron conductivímetros en las descargas de las unidades, pero los valores resultaron muy inestables y poco representativos. Considerando, además, que la calidad del vapor debe medirse en el punto de entrega-recepción, se diseñaron y probaron equipos para condensar vapor de manera continua, lográndose construir un condensador enfriado por aire que logra condensar un flujo de 500 mililitros por minuto, cantidad suficiente para tener un flujo representativo del vapor que alimenta a las turbinas y medirle su conductividad eléctrica. Se instalaron estos equipos en las siete unidades turbogeneradoras a contrapresión que funcionan en el campo, y a la fecha operan en óptimas condiciones.

*Palabras clave:* Condensadores de vapor, conductividad eléctrica, calidad de vapor, Los Azufres.

## Condensers for measuring steam quality at the inlet of back-pressure units of the Los Azufres, Mich., geothermal field

### Abstract

Electrical conductivity is an indirect measurement of the quality of the steam supplied to power units. In the Los Azufres, Mich., geothermal field, the electrical conductivity once was measured in a discrete and periodic way by condensing steam samples through a water-cooled condenser. In an attempt to continuously measure conductivity, conductivity meters were installed where the units discharged, but the values proved unstable and unrepresentative. Thereafter, taking into account that steam quality should be measured at the steam delivery-reception point, equipment was designed and tested for continuously condensing steam. Finally it was possible to get an air-cooled condenser able to condense 500 mililiters per minute, enough to collect a representative flow of the steam and to measure its electrical conductivity. The equipment was installed in all seven back-pressure units operating in the field and to date has been operating in an optimal manner.

*Keywords:* Steam condensers, electric conductivity, steam quality, Los Azufres.

---

---

## 1. Introducción

La conductividad eléctrica (CE) de un fluido mide su capacidad para conducir una corriente eléctrica, y depende básicamente de su contenido de sales inorgánicas en solución (electrolitos). Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida depende del número y movilidad de los iones presentes. Es decir, en términos generales a mayor cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad. En el Sistema Internacional de Unidades de Medida la CE se expresa en microSiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

En el proceso de suministro de vapor, la CE es un parámetro indicativo de la humedad o cantidad de agua que contiene el vapor que se entrega a las unidades turbogeneradores. Las unidades no pueden seguir operando si la humedad del vapor rebasa cierto límite máximo definido desde el diseño de la misma. Por lo tanto, medir esta humedad antes de la entrada a la turbina es una actividad muy importante para asegurar la calidad del vapor y la continuidad de la operación de los turbogeneradores.

La separación de las fases de agua y vapor del fluido geotérmico que se obtiene de los pozos se realiza por medios mecánicos en los separadores, lográndose generalmente una buena calidad de vapor. Si embargo, eventualmente puede haber arrastre de agua o condensación, lo cual aumenta la humedad y reduce así la calidad del vapor. Sabiendo que la CE típica de la salmuera geotérmica producida en el campo de Los Azufres es del orden de 10 mil  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en promedio, tales variaciones de humedad en el vapor pueden ser fácilmente detectadas midiendo la CE.



*Fig. 1. Equipo de medición de conductividad eléctrica  
A la izquierda, analizador y registrador, y a la derecha  
celda de conductividad fabricada en grafito.*

Por lo tanto, de tiempo atrás en el campo de Los Azufres se habían instalado medidores de la CE en los sitios donde existía un flujo continuo de vapor condensado. La CE se medía de forma puntual y periódica, condensando vapor por medio de un serpentín enfriado con agua antes de la entrada a la turbina. Después, ante la necesidad de medir la CE en forma continua, se instalaron equipos que constaban de un analizador de conductividad eléctrica, un registrador y una celda de grafito (Fig. 1). Estos equipos se instalaron en las descargas de las turbinas ya que era la única fuente existente de vapor condensado continuo, y la medición se hacía a condiciones atmosféricas.

Una vez en operación estos equipos, se observó que la celda de grafito se incrustaba continuamente, registrando valores de conductividad eléctrica erróneos. Además, su mantenimiento era ineficiente debido a que no se conseguía rehabilitarlas al 100 %, y se utilizaban soluciones ácidas para lavarlas por lo que las celdas de grafito eran prácticamente desechables.

Por ello, se decidió reemplazar los equipos por unos sensores cuyo uso resultara más idóneo al proceso de suministro de vapor. Estos fueron sensores de tipo toroide, fabricados en teflón, que resultaron mucho más eficientes ya que su limpieza es relativamente sencilla por requerirse sólo agua y jabón (Fig. 2).

Sin embargo, era necesario revisar diariamente los valores registrados en campo, ya que con frecuencia el registro se salía de la escala de la gráfica debido a que el sensor se iba incrustando con sólidos suspendidos que llevaba el vapor condensado. Estos sólidos eran principalmente material del silenciador (acero al carbón)

arrancado por la velocidad del vapor a la entrada, pero además productos del lavado de turbina en las unidades a contrapresión. Por lo tanto, se requería un mantenimiento continuo a los sensores, además de que el vapor debía condensarse en un serpentín enfriado con agua antes de entrar a la turbina, y no había suficiente disponibilidad de agua.

Así, se decidió escoger un equipo que resolviera de manera definitiva la problemática y que se pudiera instalar en el punto de entrega-recepción de vapor.

## 2. Selección de equipo

Se realizó una investigación de equipos existentes en el mercado capaces de condensar vapor con un flujo superior a los 450 ml/min. Se investigaron equipos enfriados con agua, equipos con refrigeración y equipos enfriados con aire.

Los equipos enfriados con agua se descartaron rápidamente debido a que el agua no es un recurso disponible en los sitios de medición. Los de refrigeración también se descartaron por su alto consumo de energía eléctrica y sus dimensiones no apropiadas a los lugares donde deberían instalarse.

Así, los equipos enfriados con aire son los presentaron características más adecuadas a las condiciones del lugar y resultaron ser la opción más factible. Además, las condiciones climáticas de Los Azufres son favorables para estos equipos, ya la temperatura ambiente media es de 11° C. Por lo tanto, lo único que se requería era encontrar la relación de intercambio entre el flujo de aire con respecto al área de la tubería necesaria para condensar el vapor requerido.

Se contactó a una compañía especializada en el diseño de condensadores enfriados con aire y se mandó diseñar un equipo bajo las especificaciones requeridas. Una vez fabricado el prototipo se pasó a la etapa de pruebas de campo.

## 3. Pruebas de campo

Se seleccionó a la Unidad 10, de 5 MW, para realizar las pruebas con el prototipo del equipo adquirido, ya que en esta unidad resultó más fácil adecuar las instalaciones. Sin embargo, al realizar diversas pruebas para encontrar las condiciones de presión y entrada de vapor para obtener el flujo requerido, se encontró que no se lograba el flujo si se operaba el equipo a las condiciones de diseño. Se modificaron las condiciones de presión y entrada de vapor, pero no se alcanzó el flujo necesario, por lo que se resolvió revisar el diseño.

Por otra parte, se contactó a otra empresa que realizó pruebas en campo para mejorar el diseño anterior en cuanto a dimensiones, material de la carcasa que cubre al serpentín, motor del ventilador y su eficiencia.

Después de afinar los detalles de diseño e instalación, se logró condensar vapor en forma continua y con un flujo superior a los 500 mililitros por minuto, cantidad suficiente para resultar representativa del vapor que



*Fig. 2. Sensor de conductividad eléctrica tipo toroide, fabricado en teflón*



alimenta a la turbina y para llevar un control continuo de su calidad o contenido de humedad mediante la medición de su CE.

El equipo (Fig. 3) está compuesto de un serpentín de tubería de acero inoxidable aletado (para evitar contaminación del vapor que se condensa), enfriado por medio de un ventilador-motor, un recipiente de acero inoxidable posterior al condensador, para homogenizar el flujo de vapor condensado, un manómetro para llevar un control del flujo de vapor que se está condensando, y la tubería de acero inoxidable que conduce el vapor hasta el lugar donde se ubica el sensor de CE (Fig. 4).



Fig. 3. Condensador de vapor enfriado por aire.

Actualmente se tienen instalados condensadores de este tipo en los puntos de entrega-recepción de las siete unidades turbogeneradoras a contrapresión y todos operan en óptimas condiciones. A más de un año de su operación continua no han requerido mantenimiento, y los registros de CE obtenidos son muy confiables para determinar la calidad del vapor que se entrega.

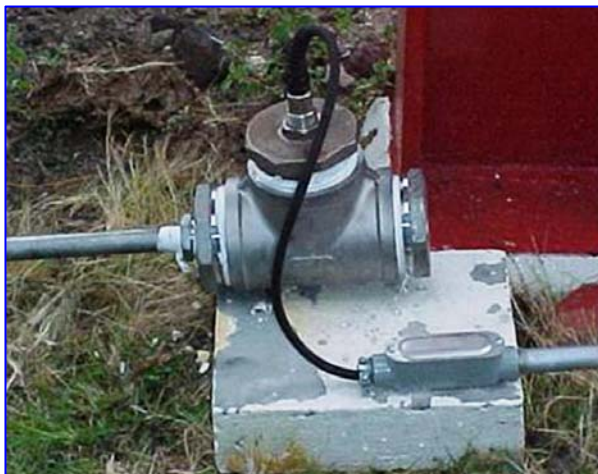


Fig. 4. Sensor de conductividad eléctrica

#### 4. Conclusiones

- Los condensadores de vapor enfriados con aire resultaron ser los más eficientes.
  - Con ellos se logró obtener un flujo de vapor condensado en forma continua superior al mínimo requerido de 450 ml/min.
  - Las mediciones de conductividad eléctrica son más confiables y representativas de la calidad del vapor que se entrega a las unidades.
  - Se disminuye el tiempo destinado al monitoreo de esta variable.
- Se obtiene un registro continuo y constante de la conductividad eléctrica.
  - Al momento de escribir este artículo, el equipo finalmente fabricado llevaba operando un año continuo sin necesidad de mantenimiento.

- De esta manera se garantiza el cumplimiento de uno de los más importantes requisitos de calidad del vapor establecidos por el cliente.

### **Bibliografía consultada**

ASTM (1996). *Standard Practice for Sampling Steam*. D:1066.

Sandoval Medina, F. (2000) Reportes bimestrales de conductividad eléctrica del vapor. Reportes internos de la Residencia de Los Azufres, CFE, varias fechas. Inédito.