

# Regulación del vapor en caso de falla a unidades a contrapresión de 5 MW en el campo de Los Humeros, Pue., México

*César Rosales López*

Comisión Federal de Electricidad, Carretera Perote-Los Humeros, Campamento Maztaloya, Puebla. E-mail: [césar.rosales@cfe.gob.mx](mailto:césar.rosales@cfe.gob.mx)

---

## Resumen

Cuatro de las siete unidades de 5 MW a contrapresión que operan en el campo geotérmico de Los Humeros, Pue., son alimentadas por un solo vaporducto que reúne el vapor de nueve pozos productores. Cuando ocurría una falla en alguna de estas unidades y se abría por completo la válvula de excedencia para desviar el vapor, se observaba una reducción en el flujo de vapor que llegaba a las otras tres unidades, lo que a su vez ocasionaba que la generación de electricidad se redujera notoriamente. En este trabajo se analiza y explica la causa de ello, mediante la comparación de este sistema interconectado de suministro de vapor con un circuito eléctrico, y se explica la solución que se encontró e implementó en el campo de Los Humeros para regular el suministro continuo y uniforme de vapor, con resultados satisfactorios a varios meses de su implementación en las cuatro unidades interconectadas.

*Palabras clave:* Suministro de vapor, unidades a contrapresión, falla, válvula de excedencia, circuitos eléctricos.

## Steam regulation for 5 MW back-pressure units when a failure occurs in the Los Humeros, Pue., field, Mexico

### Abstract

Four out of the seven back-pressure power units of 5 MW operating in the Los Humeros geothermal field, State of Puebla, Mexico, are fed by one steam pipe gathering the steam produced by nine wells. When a failure occurred in any of the units and the excedence valve had to be open to deviate the steam, a decrease in the steam flow for the remaining units was noted, along with lower electrical generation. The cause for that is analyzed and explained in this paper by comparing the interconnected steam supply system to an electric circuit. A way to maintain a uniform and continuous supply of steam in the Los Humeros field has been found. It was implemented several months ago and the problem has not reoccurred.

*Keywords:* Steam supply, back-pressure units, failure, excedence valve, electric circuits.

---

## 1. Introducción

El campo geotérmico de Los Humeros, localizado en los límites de los estados Puebla y Veracruz, es uno de los cuatro campos geotérmicos en operación en México. Operan en él siete unidades a contrapresión de 5 MW de capacidad, cuatro de las cuales (las números 1, 4, 5 y 7), ubicadas en la zona norte, se encuentran interconectadas por medio de un vaporducto conocido localmente como vaporducto anillo. El vapor requerido por estas cuatro unidades es suministrado por nueve pozos productores que se encuentran en su periferia.

Aunque el personal que opera los pozos y vaporductos del campo y el que opera las unidades turbogeneradoras es de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), pertenece a áreas diferentes de la misma. El campo es operado por la Residencia de Los Humeros, que es parte de la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos (GPG), mientras que las unidades están bajo la responsabilidad de la Superintendencia de la Central Los Humeros, que es parte de la Gerencia Regional de Producción Sureste. Para efectos del sistema integral de gestión que se aplica en ambas áreas, la Superintendencia de la Central se considera como el cliente de la Residencia en el subproceso de suministro de vapor.

Cuando existía una falla en la operación de alguna de esas unidades, que ameritara la apertura total de la válvula de excedencia, en las unidades restantes se presentaba un decremento en su generación que incluso llegaba a ocasionar el disparo de la unidad por baja presión en la línea principal de vapor.

En este trabajo se presenta el análisis realizado en el sistema de suministro de vapor para explicar por qué ocurría ese evento en las demás unidades cuando alguna fallaba, y se explica la solución encontrada. Así mismo, se informan los resultados alcanzados en la práctica después de implementar esa solución, a lo largo de los casi diez meses que han transcurrido desde entonces.

## 2. Antecedentes

Cuando la Superintendencia de la Central de Los Humeros (el cliente) instaló un sistema Delta V en las unidades interconectadas, a fin de registrar en tiempo real las variables de control del proceso de generación y enviarlas por fibra óptica, tuvo que realizar una serie de pruebas que llevaron a disparos de las unidades interconectadas por calibración de sensores o falsas alarmas, que terminaron en la apertura de la válvula de excedencia en alguna de las unidades.

Al analizar los datos previos y posteriores a la apertura de la válvula en una unidad, el cliente encontró una baja en la generación de las otras unidades interconectadas. Por ejemplo, al dispararse la Unidad 1 la generación horaria de las unidades 4, 5 y 7 resultaba afectada. Al continuar la realización de las pruebas de

disparo automático del sistema Delta V en otras unidades, las demás continuaron siendo afectadas.

Eso obligó a la Residencia a analizar qué estaba pasando, puesto que no había ningún decremento en la producción de los pozos ni salidas de sistema de alguno de ellos que pudiera explicar por qué no llegaba suficiente vapor a las otras unidades interconectadas con la que se disparaba.

Para explicar mejor el problema, en la Figura 1 se presenta la distribución de pozos y unidades

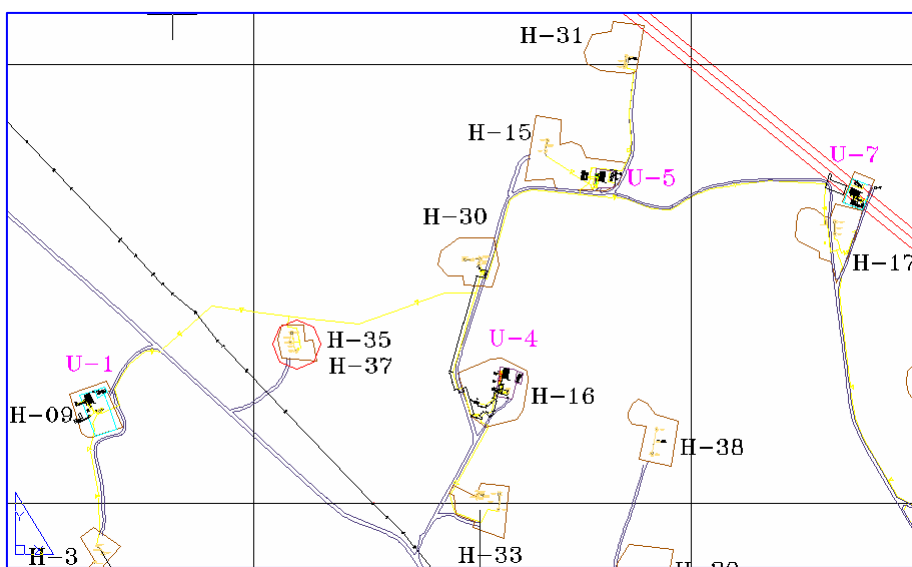


Fig. 1. Pozos y unidades en la zona norte del campo de Los Humeros (vaporducto anillo en color amarillo)

en la zona norte del campo de Los Humeros, incluyendo el vaporducto, en color amarillo, que une a las unidades 1, 4, 5 y 7 y que se conoce como vaporducto anillo, con 16 pulgadas de diámetro.

La válvula de excedencia, por su parte, se ubica a la entrada de la turbina y tiene como función regular la cantidad de vapor que le llega. Está calibrada para dejar pasar el vapor necesario para generar 5 MW y para abrir parcialmente en caso de que llegue una cantidad mayor. Se controla por medio de una señal que registra la presión en la línea principal, aunque su apertura no es instantánea. También se acciona automáticamente a su apertura total en caso de falla en la unidad turbogeneradora, ya que se cierra la válvula de paro, y entonces desvía todo el vapor al silenciador de excedencia (Fig. 2)

Los pozos productores que alimentan al vaporducto anillo, así como su producción de agua y vapor y algunos otros datos, se presentan en la Tabla 1. Puede verse que la producción total de vapor promedio es de 300 toneladas por hora (t/h). En la Tabla 2 se incluye el vapor que llega a cada una de las unidades interconectadas, observándose que el total promedio es de poco más de 286 t/h, lo que implica una eficiencia en el suministro de vapor del orden del 95%. Es decir, en promedio el 95% del vapor producido se entrega a la central en este sistema interconectado.

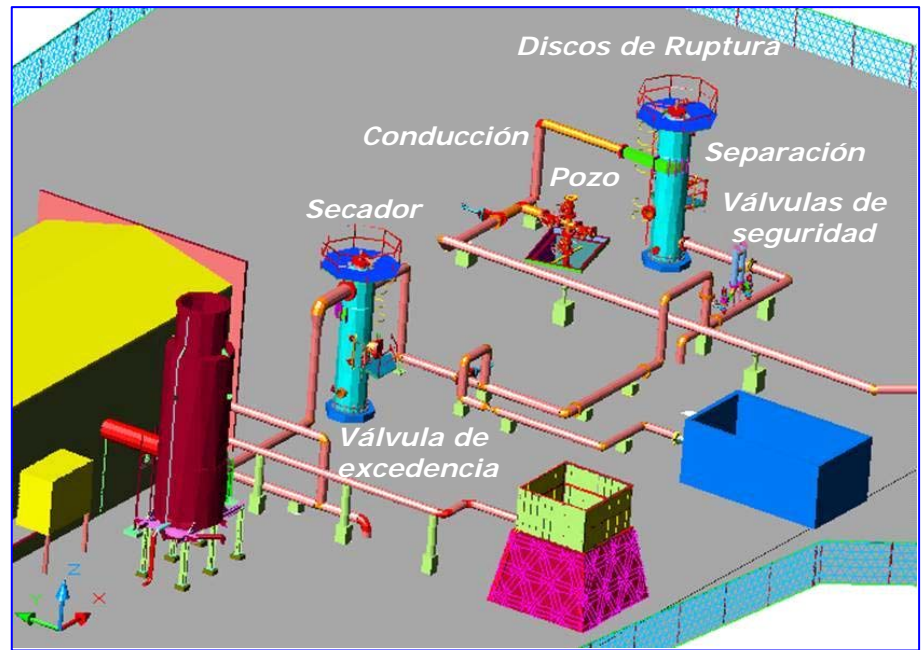


Fig. 2. Esquema con los elementos del sistema de suministro de vapor

Pozo	Diámetro de orificio (cm)	Presión de cabezal (MPa)	Producción (t/h)	
			Vapor	Salmuera
H-3	3.18	2.28	7.97	0.49
H-9	6.35	4.07	56.13	3.57
H-15	5.08	3.31	29.27	1.73
H-17	5.08	2.73	22.79	1.36
H-30	7.62	1.78	28.47	1.92
H-31	6.35	3.71	40.97	2.97
H-32	4.45	5.35	36.35	2.32
H-35	6.35	3.38	49.84	3.46
H-37	5.08	3.21	28.46	6.03
<b>Totales</b>			<b>300.25</b>	<b>23.85</b>

Tabla 1. Características de los pozos integrados al vaporducto anillo.

Unidad	Presión de admisión (MPa)	Vapor recibido (t/h)
1	0.800	72.59
4	0.800	71.65
5	0.800	73.30
7	0.800	68.92
<b>Total</b>		<b>286.46</b>

Tabla 2. Características de las unidades alimentadas por el vaporducto anillo.

## 2. Análisis del problema

Una manera de abordar el problema es hacer una analogía entre el sistema de suministro de vapor del vaporducto anillo y un sistema eléctrico interconectado. En éste hay unidades generadoras y cables que distribuyen la corriente eléctrica, voltajes, resistencia en los cables y carga para abastecer. Así, la unidad generadora podría compararse con el pozo geotérmico, la corriente eléctrica con el vapor, las líneas de conducción eléctrica con el vaporducto, el voltaje con la presión, la resistencia del cable con las pérdidas de conducción del vapor y la carga eléctrica con la contrapresión que ejerce la turbina para girar.

Los sistemas eléctricos se protegen de daños en las instalaciones debidos a altos y bajos voltajes con reguladores de potencial, y del corto circuito con interruptores. En el proceso de suministro de vapor las instalaciones se protegen de daños por alta presión con las válvulas de alivio o de seguridad y con los discos de ruptura; sin embargo, una baja presión en el vaporducto, que puede ser provocada por una ruptura del disco, actualmente no tiene protección. Una velocidad de transporte del vapor por encima de la normal, que puede compararse con la corriente de corto circuito, tampoco tiene protección en el sistema de suministro de vapor.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que tanto la corriente eléctrica como el vapor viajan hacia donde encuentren menos resistencia a su paso.

Aunque la interconexión real de los pozos en Los Humeros es mucho más compleja, en la Figura 3 se presenta un diagrama esquemático que la simplifica. En este diagrama se asume que hay tres pozos interconectados que producen exactamente la misma cantidad de vapor dando el mismo total que producen realmente los nueve pozos integrados al anillo (300.3 t/h, según la Tabla 1), y que alimentan a cuatro unidades con los flujos de vapor reales que recibe cada unidad, de acuerdo con la Tabla 2.

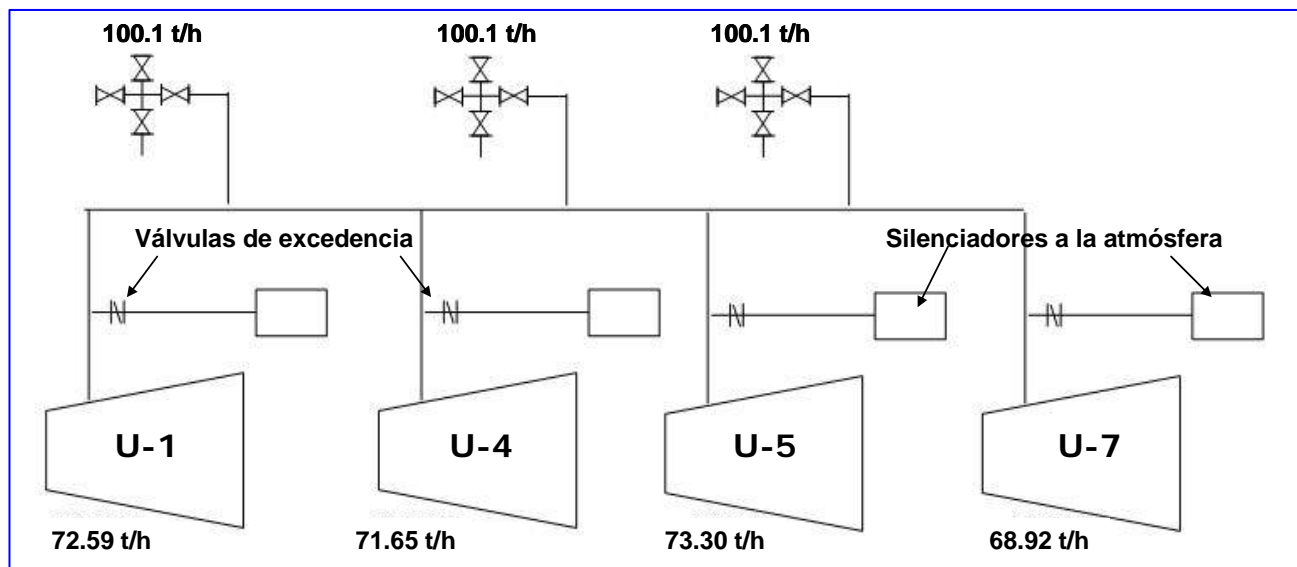


Fig. 3. Diagrama simplificado del suministro de vapor en el vaporducto anillo

Supóngase ahora que se cierra la válvula de paro de la Unidad 1 y, por tanto, se abre totalmente la válvula de excedencia. El vapor que se dirigía a la U-1, que trabajaba a una presión de admisión de 0.8 MPa, se dirige ahora hacia el silenciador que se encuentra a presión atmosférica. La presión en el interior del vaporducto tiende también a bajar hacia la presión atmosférica, ocasionando una despresurización en la toda la línea. Por lo tanto, el vapor que se dirigía antes a las otras tres unidades, que han seguido operando a la misma presión

de admisión de 0.8 MPa, también tenderá a dirigirse hacia la válvula de excedencia abierta en la U-1 y a salir a la atmósfera a través de ese silenciador. Es decir, el vapor tenderá a irse por donde menos presión encuentre. El resultado neto es que llegará cada vez menos vapor a las otras tres unidades mientras continúe abierta la válvula de excedencia de la U-1.

En los sistemas eléctricos este fenómeno es equivalente justamente a un corto circuito, en el cual el voltaje tiende a cero y la corriente al infinito, lo que puede causar daños al sistema, a los aislamientos, al cableado y a los componentes auxiliares. Para evitar o reducir el efecto del corto circuito, se aíslan los sitios del corto o se colocan protecciones como fusibles, derivadores, switches o interruptores. En estos sistemas el total de corriente de corto circuito que puede producirse está determinado por la cantidad máxima de potencia que puede aportar el sistema y por la resistencia del conductor.

En el sistema de suministro de vapor el vapor de “corto circuito” está determinado por la cantidad de vapor que pueda aportar el sistema, y lo que pueda detenerlo tiene relación con la resistencia que ofrezcan los tubos y accesorios al paso del mismo. Asumiendo que tal resistencia resulte insignificante, el vapor que pasaría por la válvula de excedencia podría ser, en el peor de los casos, el total del vapor del sistema, es decir las 300.3 t/h.

En condiciones normales, la velocidad del vapor en el punto de excedencia es de unos 129 km/h, considerando la presión de admisión de 8 MPa y el diámetro del vapor ducto (16 pulgadas). Pero al abrirse totalmente la válvula de excedencia, que tiene 8 pulgadas de diámetro, la velocidad puede llegar hasta unos 3900 km/h, considerando que se está descargando a presión atmosférica. Los actuales silenciadores de excedencia no están diseñados para absorber los esfuerzos mecánicos que provoca el paso de 300 t/h de vapor a esa velocidad. Esta es la razón que explica por qué una falla que ocurrió en la Unidad 7 en marzo de 1997, ocasionó la destrucción del silenciador y de algunas tuberías.

#### 4. Solución del problema

Conociendo la causa del problema, el paso siguiente fue decidir qué hacer para que el sistema continúe entregando vapor a las demás unidades pese a que la válvula de excedencia de una de ellas esté completamente abierta. Es decir, si en los sistemas eléctricos existen protecciones de fusibles o interruptores, ¿cómo hacer una protección equivalente en el sistema de suministro de vapor?

Si se toma en cuenta que lo que limita la producción de vapor de un pozo es un orificio de restricción, entonces la protección necesaria para el sistema de suministro de vapor es evidentemente colocar un orificio similar **después** de la válvula de excedencia, a fin de lograr que la cantidad de vapor que pasa por esta válvula cuando esté completamente abierta sea la misma cantidad que recibía la unidad cuando estaba generando, pero no más. Esto es, el orificio de restricción debería poder reproducir los 0.8 Mpa de la presión de admisión de las unidades.

El problema, entonces, fue cuál debería ser el diámetro de ese orificio a colocar después de la válvula.

Como las pruebas del sistema Delta V se prolongaron por más de seis meses, fue posible probar tres diferentes diámetros de orificios de restricción, de manera semejante al desarrollo que se lleva a cabo para evaluar la producción de un pozo nuevo. Las pruebas se realizaron en la excedencia de la U-4, la cual ejerce una pequeña contrapresión, ligeramente mayor que la presión atmosférica. Se abrió totalmente la válvula de excedencia y se midió la presión manométrica en un punto antes de ella, obteniéndose una lectura de 21.5 psi (0.148 MPa). Después se cerró manualmente la válvula lentamente hasta llegar a la presión que había en ese punto antes de la apertura, que era de 116.0 psi (0.8 MPa). Se repitió el procedimiento más adelante, después

de colocar placas con orificios de restricción de 7 y 6 pulgadas de diámetro, obteniéndose las lecturas respectivas que resultaron ser de 48.5 (0.334 MPa) y 98.0 psi (0.676 MPa). Con esos tres datos se construyó una gráfica de tendencia (Fig. 4).

De acuerdo con la tendencia, se obtuvo una ecuación de tipo logarítmico para la recta resultante, la cual también se incluye y se grafica en la Figura 4. Aplicando esta ecuación al valor de la presión de admisión buscado (0.8 MPa o 116 psi), se obtuvo que el diámetro óptimo del orificio de la placa a instalar después de la válvula de excedencia debería ser de 5.8 pulgadas.

La oportunidad de probar en la práctica la validez de la solución que se había encontrado se presentó poco después, cuando el cliente informó que realizaría una simulación de falla en la U-4, la cual culminaría con la apertura total de la válvula de excedencia. Por lo tanto, se instaló una placa con orificio de 5.8 pulgadas de diámetro después de la válvula de esa unidad. Al finalizar la prueba, el cliente informó que, de acuerdo con los registros obtenidos con el sistema Delta V, no se había registrado ningún decremento de vapor ni de generación de electricidad en las otras unidades interconectadas (U-1, U-5 y U-7). Por lo tanto, la solución funcionaba como se esperaba.

Habiéndose demostrado correcta la solución en la práctica, se procedió a implementarla en las unidades interconectadas restantes, instalándoles su respectiva placa con orificio de 5.8 pulgadas de diámetro después de la válvula de excedencia.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

La solución obtenida para el problema del decremento en la generación de las demás unidades interconectadas cuando alguna debía salir de servicio y se abría la válvula de excedencia, ha venido funcionando adecuadamente desde su implementación hasta la fecha de escribir este documento.

Los orificios de las placas colocadas después de las válvulas de excedencia deben ser excéntricos e instalados de tal manera que permitan el paso de los condensados que se forman por falta de sello en esas válvulas, que usualmente son de tipo mariposa.

El costo de implementar esta solución se reduce a la manufactura e instalación de las placas, siendo mucho menor que el de reparar posibles daños el silenciador y las tuberías de la excedencia. Adicionalmente, ya no deja de generarse energía eléctrica en las otras unidades.

## Bibliografía consultada

Dehlaye, J.M. (1984). *Two Phase Flow*, Ed. McGraw-Hill Book Co., New York.

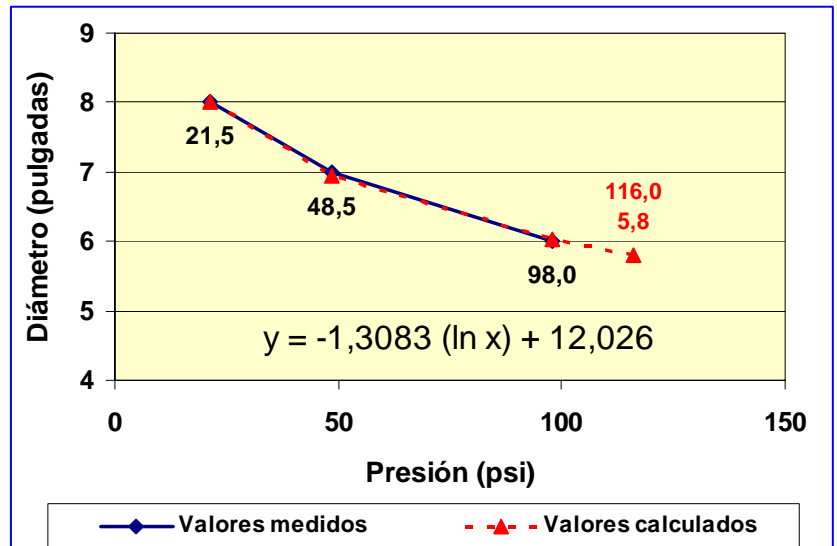


Fig. 4. Variación de la presión después de la válvula de excedencia con placas de diferente diámetro de orificio

Sánchez-Velasco, E. 1985. Conducción de flujo bifásico en el campo geotérmico Los Azufres, Mich. *Geotermia*, Vol. 1, No. 1, pp. 63-73.

Sánchez-Velasco, R.A. y E. Sánchez-Velasco (1995). Laboratorio de flujo en dos fases en el campo geotérmico de Los Azufres. *Geotermia*, Vol. 11, No. 2, pp. 115-122.

Streeter, Víctor L. (1992). *Mecánica de los Fluidos*, Ed. McGraw-Hill, México.