

## Simulación numérica de la red de vaporductos del campo geotérmico de Cerro Prieto, B.C.

*A. García<sup>1</sup>, J.I. Martínez<sup>1</sup>, A.F. Hernández<sup>1</sup>, M. Ceceñas<sup>1</sup>, R. Ovando<sup>1</sup>, E. Salaices<sup>1</sup>, I. Canchola<sup>2</sup>, O. Mora<sup>2</sup>, S. Gutiérrez<sup>2</sup>, C. Miranda<sup>2</sup>, M. Hernández<sup>2</sup> y S. López<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Eléctricas, Gerencia de Geotermia, Av. Reforma 113, Palmira, Cuernavaca, Mor. 62490 México. <sup>2</sup>Comisión Federal de Electricidad, Carretera Pascualitos-Pescaderos km 26.5, Mexicali, B.C. México. Correo: [aggarcia@iie.org.mx](mailto:aggarcia@iie.org.mx)

---

### Resumen

Se presentan los resultados de la simulación de la red de vaporductos del campo geotérmico de Cerro Prieto, B.C. (CGCP). La red está compuesta por dos redes paralelas de Alta y Baja Presión debido a que en el campo existe separación primaria y secundaria de vapor, excepto en Cerro Prieto Uno (CPU), donde sólo hay separación primaria de vapor. A su vez, la red de Alta Presión se dividió en dos partes: el Bloque Norte, formado por los Ramales 1 y 2 de Cerro Prieto Tres (CPT), el campo de Cerro Prieto Cuatro (CPC), los pozos de Cerro Prieto Dos (CPD) que envían vapor a la Interconexión CPD-CPT (Cerro Prieto Tres), y las Interconexiones B y C hacia CPU; y el Bloque Sur formado por los Ramales 1 y 2 de CPD y el resto de los pozos de CPU. Por su parte, la red de Baja Presión se subdividió en tres bloques: el Bloque 1 que incluye 16 pozos de CPC y el Ramal 2 de CPT; el Bloque 2 que incluye 17 pozos de CPC, el Ramal 1 de CPT y la Interconexión CPD-CPT, y el Bloque 3 que incluye 44 pozos de CPD. Se encontró que las diferencias relativas promedio de las presiones y flujos medidos y simulados son menores para la red de Alta Presión que para la red de Baja Presión. Para el Bloque Norte de la red de Alta Presión, la diferencia relativa promedio entre presiones medidas y simuladas de los pozos varía entre -3.8% y +6.6%, con valores medios de 1.2 a 4.3%, mientras que para los puntos de entrega-recepción de vapor en las plantas las diferencias entre presiones y gastos medidos y simulados son menores de 5.2% y 1%, respectivamente, y la calidad es mayor de 98.5%. Para el Bloque Sur de la red de Alta Presión, la diferencia relativa promedio entre presiones medidas y simuladas de los pozos varía entre -8.2% y +4.2%, con valores medios de -3.7 a 2.3%, mientras que para los puntos de entrega-recepción de vapor en las plantas las diferencias entre presiones y gastos medidos y simulados son menores de  $\pm 6.4\%$  y  $\pm 9.0\%$ , respectivamente, y la calidad es mayor de 96.5%. Para la red de Baja Presión, las diferencias relativas promedio son de 21.2% para el Bloque 1, y de 8.0% y -2.8% para los Bloques 2 y 3, si se consideran las válvulas de la Interconexión CPD-CPT Sur y del Ramal 1 de CPT al Ramal 2 de CPC totalmente cerradas. La simulación de diversos escenarios con el flujo de vapor de la Interconexión CPD-CPT Sur hacia el Ramal 1 de CPT y al Ramal 2 de CPD, y con ajustes de las presiones de llegada a las plantas, indican que las diferencias relativas entre presiones medidas y simuladas pueden alcanzar valores de -1.6% a +8.0%, mientras que las diferencias entre gastos medidos y simulados a la llegada de plantas son de -8-3% a +28.2%, en promedio, y la calidad del vapor es mayor de 96%.

*Palabras Clave:* Red de vaporductos, simulación numérica, modelo hidráulico, campo geotérmico, Cerro Prieto

### Numerical simulation of steam pipelines in Cerro Prieto geothermal field, B.C.

## Abstract

Results are presented of the numerical simulation of the steam-pipeline network in Cerro Prieto geothermal field. The network is composed of two parallel nets of High- and Low-Pressure pipelines, as both the primary and secondary separation of steam occurs in the field, except for the Cerro Prieto Uno (CPU) sector with only primary steam separation. The High-Pressure net was divided into two parts. The North Block is integrated by Branches 1 and 2 of Cerro Prieto Tres (CPT), Cerro Prieto Cuatro (CPC), the wells of Cerro Prieto Dos (CPD) that send steam to Interconnection CPD-CPT, and Interconnections B and C to CPU. The South Block is composed of CPD Branches 1 and 2 and the remaining CPU wells. The Low-Pressure net was divided into three blocks: Block 1 includes 16 wells of CPC and Branch 2 of CPT; Block 2 has 17 wells from CPC, Branch 1 of CPT, and Interconnection CPD-CPT; and Block 3 includes 44 wells from CPD. The relative average differences of the measured and simulated pressures and flows for the High-Pressure net are lower than those of the Low-Pressure net. The average relative difference between measured and simulated well pressures for the High-Pressure net in the North Block varies between -3.8% and +6.6%, with average values ranging from 1.2 to 4.3%. The differences between measured and simulated pressures and flows at the delivery-reception points are under 5.2% and 1%, respectively, and the quality is over 98.5%. The average relative difference between measured and simulated well pressures for the High-Pressure net in the South Block varies between -8.2% and +4.2%, with average values between -3.7 to 2.3%. The difference between measured and simulated pressures and flows at the delivery-reception points are below  $\pm 6.4\%$  and  $\pm 9.0\%$ , respectively, with the quality above 96.5%. The average relative differences for the Low-Pressure net are 21.2% for Block 1, 8.0% for Block 2, and -2.8% for Block 3, if the valves of the Interconnection CPD-CPT South—and of Branch 1 of CPT to Branch 2 of CPC—are considered completely closed. Simulation of distinct scenarios with the steam flow of Interconnection CPD-CPT South to Branch 1 of CPT and to Branch 2 of CPD, adjusting the arriving pressure to the power units, indicates that relative differences between measured and simulated pressures can reach values from -1.6% to +8.0%. Differences between measured and simulated flows at the power-unit reception range from -8.3% to +28.2% in average and the steam quality is over than 96%.

*Keywords:* Steam-pipes net, numeric simulation, hydraulic model, geothermal field, Cerro Prieto.

---

---

## 1. Introducción

En un trabajo previo (Salaices *et al.*, 2006) se describió la primera parte de un estudio relativo a la creación de un modelo hidráulico de la red de vaporductos del CGCP. Dicho modelo fue desarrollado y completado recientemente y se efectuaron simulaciones de flujo de vapor que permitieron entender el comportamiento de la red mediante la cuantificación de las caídas de presión, flujos y pérdidas de calor a través de cada uno de los componentes del sistema relacionados con el transporte de vapor de los pozos productores a las 13 plantas generadoras de electricidad. El modelo permite, además, el análisis del impacto de cambios en las condiciones de operación, variaciones en la producción de vapor, actividades de mantenimiento y cambios en el diseño, como la integración de nuevos pozos. Aunque el modelo no toma ninguna decisión sobre cómo operar la red o sus componentes, sus resultados permiten determinar qué medidas pueden tomarse para mejorar su operación.

En otro trabajo (García *et al.*, 2006a) se describió también el estado del arte sobre simulación de flujo en redes de vaporductos geotérmicos, el CGCP, la metodología empleada para recopilar, clasificar y documentar a detalle la información que define a la red del CGCP, el simulador *Pipephase* que se seleccionó para

efectuar las simulaciones de flujo en la red y se mencionó la existencia de algunos simuladores de flujo que pudieran aplicarse en estudios similares al presente caso.

En el presente trabajo se dan a conocer los resultados de la simulación efectuada con relación a las operaciones de transporte de vapor del día 17 de septiembre de 2005. Como se mencionó anteriormente, existen dos redes paralelas de transporte de vapor sin interconexión: Alta y Baja Presión, y para las condiciones operativas del 17/09/2005 la red de Alta Presión se dividió en dos partes: el Bloque Norte, formado por los Ramales 1 y 2 de CPT, el campo de CPC, los pozos de CPD que envían vapor a la Interconexión CPD-CPT y las Interconexiones B y C hacia CPU; y el Bloque Sur, formado por los Ramales 1 y 2 de CPD y el resto de los pozos de CPU. Por su parte la red de Baja Presión se subdividió en 3 bloques: el Bloque 1 que incluye 16 pozos de CPC y el Ramal 2 de CPT; el Bloque 2 que incluye 17 pozos de CPC, el Ramal 1 de CPT y la Interconexión CPD-CPT; y el Bloque 3 que incluye 44 pozos de CPD.

Los resultados que se presentan en este trabajo se limitan por razones de espacio al Bloque Norte de la red de Alta Presión del CGCP. Más detalles sobre la red y los resultados obtenidos se encuentran en Salaices *et al.* (2006) y García *et al.* (2006a y 2006b).

### Resultados y Discusión -Red de Alta Presión

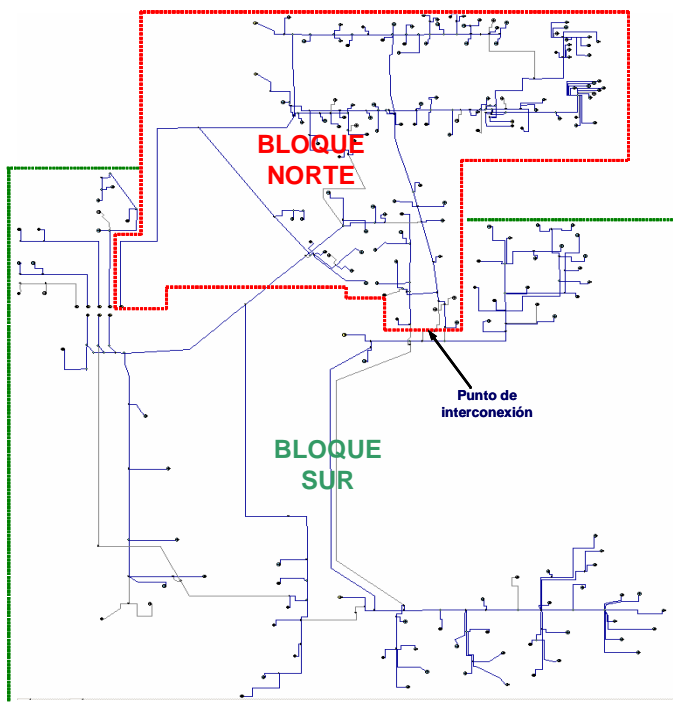


Fig. 1. Diagrama de la red de Alta Presión del CGCP mostrando los bloques Norte y Sur

existen dos puntos donde los perfiles se cruzan y corresponden a las conexiones de estos ramales con las interconexiones CPD-CPT y la Interconexión B que va hacia CPU.

La Fig. 4 muestra la distribución de flujos en el Bloque Norte de la red de Alta Presión.

### Conclusiones

La Fig. 1 muestra un esquema de la red de Alta Presión y los Bloques Norte y Sur en que se dividió la red.

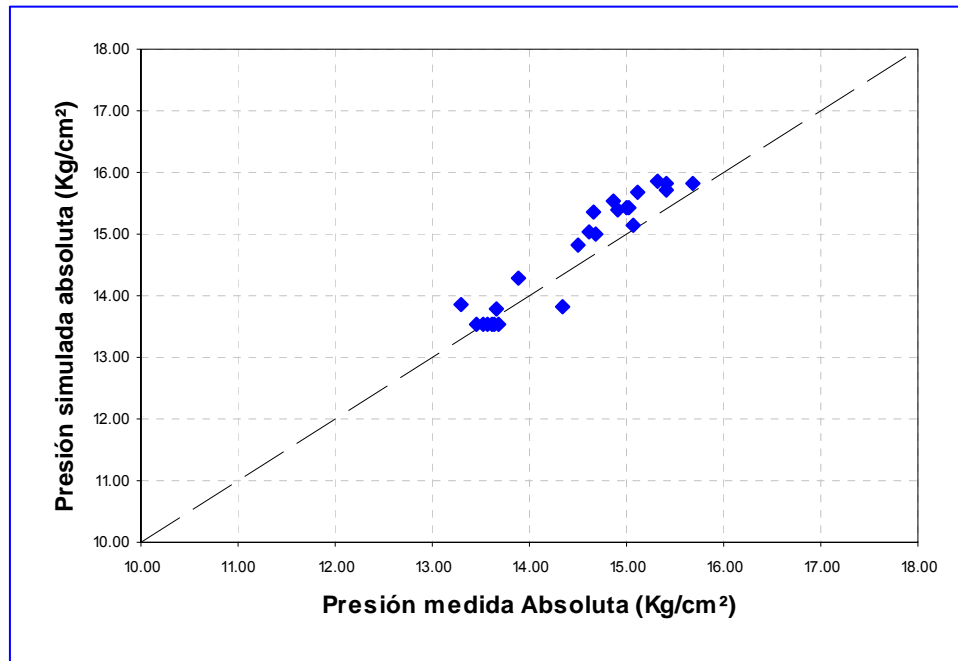
Esta división se hizo ya que ambos bloques se interconectan en el extremo sur de la Interconexión CPD-CPT únicamente a través de una tubería (*bypass*) de 16" de diámetro, la cual tiene una válvula de mariposa de 12" estrangulada a un 5% de apertura, por lo cual para la simulación se aproxima inicialmente como totalmente cerrada para separar el modelo en dos partes.

#### • Resultados - Bloque Norte de Alta Presión

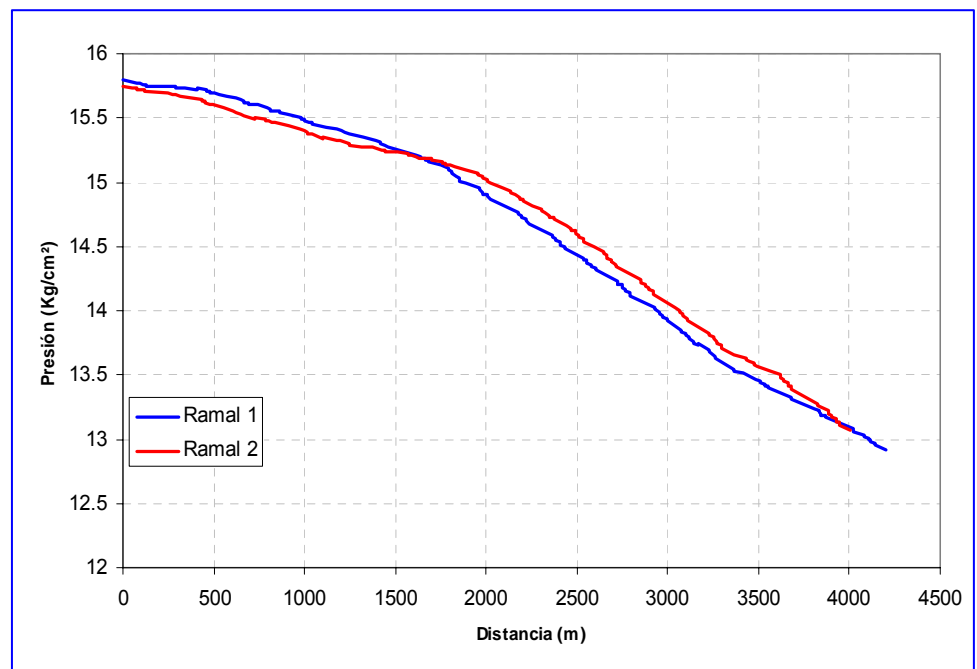
La Fig. 2 muestra una comparación de las presiones medidas y simuladas para los pozos conectados al Ramal 1 de CPT. Los resultados concuerdan con los datos con una diferencia relativa promedio de 1.74%, con máximo de 4.8% y mínimo de -3.5%

La Fig. 3 muestra el perfil de presiones a lo largo de los Ramales 1 y 2 de CPT. Como se puede ver,

Se ha desarrollado un modelo hidráulico de la red de vaporductos del CGCP el cual fue documentado en detalle de manera gráfica, tabular y numérica. El modelo incluye las cuatro áreas del campo y abarca 183 pozos, de los cuales 162 son pozos integrados. Se efectuaron simulaciones con datos operativos del 17 de septiembre de 2005, las cuales permitieron entender el comportamiento de la red mediante la cuantificación de las caídas de presión, flujos y pérdidas de calor a través de cada uno de los componentes del sistema relacionados con el transporte de vapor de los pozos productores a las 13 plantas generadoras.



*Fig. 2. Comparación entre presiones medidas y simuladas para el Ramal 1 de CPT*



*Fig. 3. Perfiles de presión de los Ramales 1 y 2 de CPT*

El modelo permite, además, el análisis del impacto de cambios en las condiciones de operación, variaciones en la producción de vapor, actividades de mantenimiento y cambios en el diseño, así como la integración de nuevos pozos. Aunque el modelo no toma ninguna decisión sobre cómo operar la red o sus componentes, sus

resultados permiten determinar qué medidas pueden tomarse para mejorar su operación y proporcionan al personal a cargo de su operación mayores elementos de información y toma de decisiones.

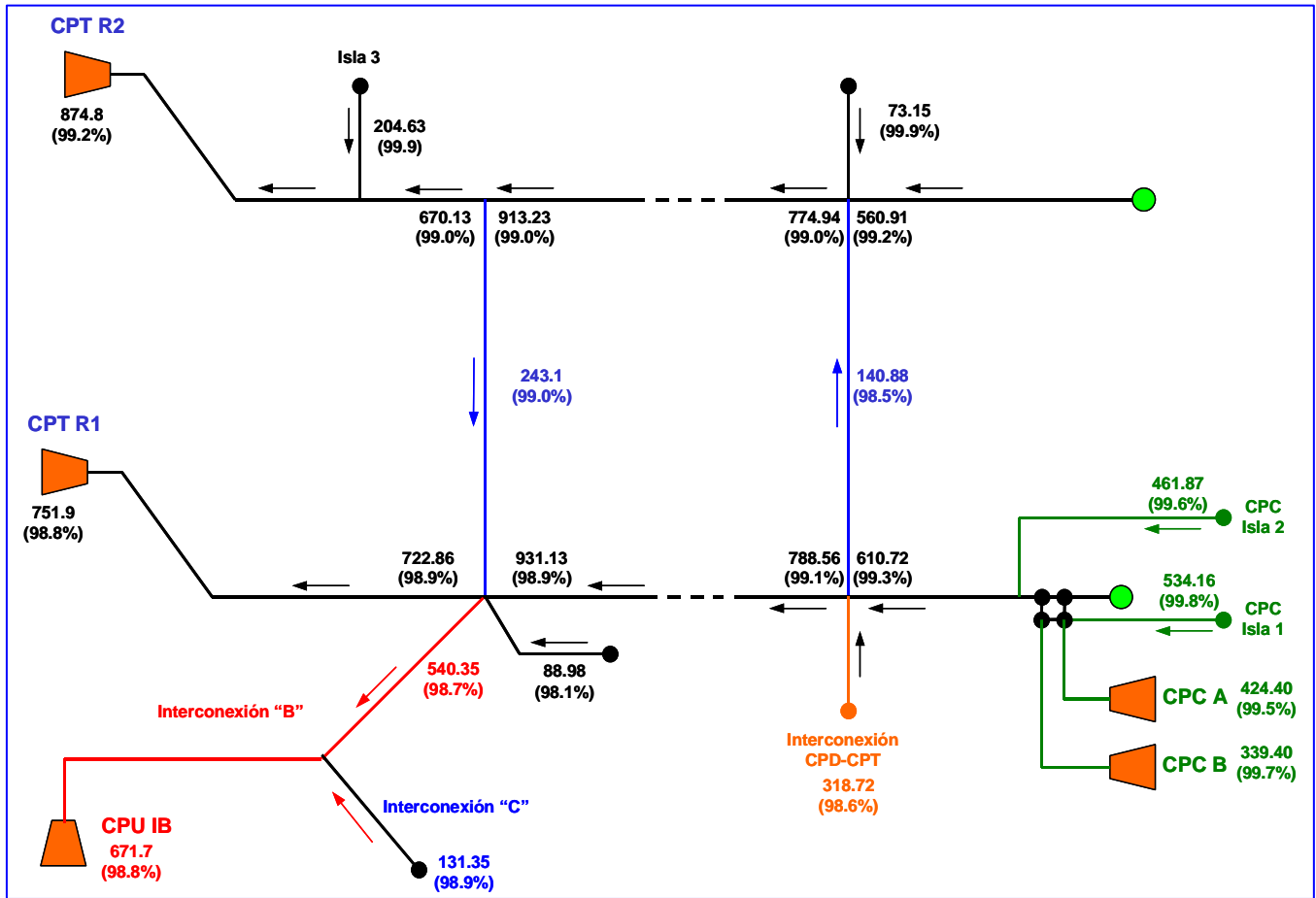


Fig. 4. Distribución de flujos en los principales ductos de CPT y CPC

En general, las diferencias relativas promedio de las presiones y flujos medidos y simulados son menores para la red de Alta Presión que para la red de Baja Presión. Para la primera, la diferencia relativa promedio entre presiones medidas y simuladas no exceden de  $\pm 9\%$  y la calidad del vapor entregado a plantas tiene calidades de 97.5% o mayores, mientras que para la red de Baja Presión las diferencias relativas promedio pueden ser mayores de 21% para el Bloque 1, y de 8 y 2.8% en promedio para los Bloques 2 y 3, si se consideran las válvulas de la Interconexión CPD-CPT Sur y del Ramal 1 de CPT al Ramal 2 de CPC totalmente cerradas.

La simulación de diversos escenarios con el flujo de vapor de la Interconexión CPD-CPT Sur hacia el Ramal 1 de CPT y al Ramal 2 de CPD, permiten reducir estas diferencias a valores entre -1.6% y +8.0%, mientras que las diferencias entre gastos medidos y simulados a la llegada de plantas pueden ser de -8-3% a +28.2%, en promedio y la calidad del vapor es de 96% o mayor.

### Referencias

García, A., J.I. Martínez, A.F. Hernández, M. Ceceñas, R. Ovando y E. Salaces (2006a). Desarrollo de un modelo hidráulico de la red de vaporductos del campo geotérmico de Cerro Prieto. Informe Final, Clave IIE/11/12885/I 04/F/DC, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Mor. Inédito.

- García, A., J.I. Martínez, A.F. Hernández, M. Ceceñas, R. Ovando y E. Salaices (2006b). Numerical simulation of the Cerro Prieto steam pipeline network. *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 30, pp. 19-23.
- Salaices, E., A. García, J.I. Martínez, R. Ovando, M. Ceceñas A.F. Hernández, I. Canchola, O. Mora, C. Miranda, M. Hernández, S. López, I. Murillo (2006). Modelo Hidráulico de la Red de Vaporductos del Campo Geotérmico de Cerro Prieto. *Geotermia*, Vol. 20, No. 1, pp. 2-10.