

GASES IN STEAM FROM CERRO PRIETO GEOTHERMAL WELLS

N. L. Nehring

U. S. Geological Survey, Menlo Park, California, USA

J. J. Fausto L.

Comisión Federal de Electricidad,
Mexicali, Baja California, México

Introduction

As part of a joint USGS-CFE geochemical study of Cerro Prieto, steam samples were collected for gas analyses in April, 1977. Steam was tapped from the central steam outlets of production separators and led through a stainless steel condensing coil held at 30°C into evacuated 300-ml bottles containing 100 ml of 4N NaOH.^{1,2} The total flow from the condenser was collected in the bottle.

Major Gases

Analysis of major gas components in the steam was made by wet chemistry (H₂O, CO₂, H₂S, and NH₃) and by gas chromatography (He, H₂, CH₄, Ar, O₂, and N₂). The major components in steam from four wells are shown in table 1.

N₂/Ar ratios are close to that of water saturated with air at 20°C (N₂/Ar = 33) suggesting that both these gases are atmospheric in origin. The small N₂ excess in three of the four samples (N₂/Ar = 36 to 41) may be due to N₂ addition from decomposition of organic matter.

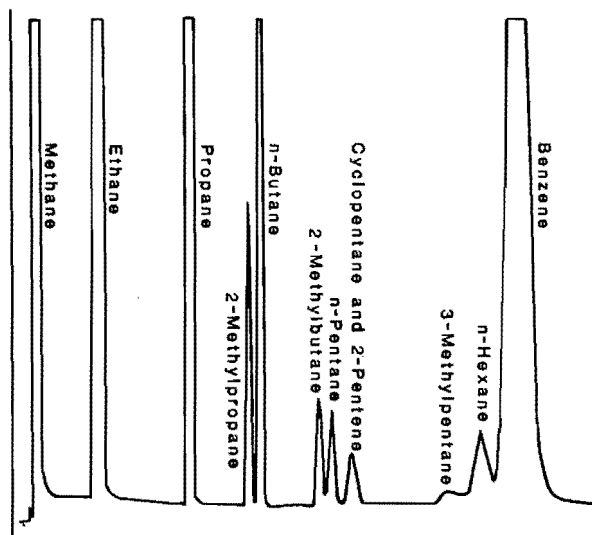


Figure 1. Hydrocarbon gases in Cerro Prieto steam.

Table 1. Major gaseous components of separated steam from wells at Cerro Prieto, Mexico (in mole % unless otherwise noted)

Well	M-8	M-20	M-27	M-35
Separator pressure (bars abs.)	7.27	6.90	7.72	8.03
Steam/gas (mole)	103	106	106	133
CO ₂	92.4	91.9	86.6	91.6
H ₂ S	2.5	2.3	3.7	2.3
NH ₃	1.4	2.0	1.7	1.6
He	0	0	0	0
H ₂	2.2	1.9	4.3	2.1
Ar	0.004	0.006	0.012	0.009
O ₂	0	0	0	0
N ₂	0.15	0.23	0.43	0.28
CH ₄	1.5	1.7	3.4	2.0
N ₂ /Ar (mole)	41	39	36	33

Hydrocarbon Gases

In addition to major gases, the C₁-6 hydrocarbon gases were analyzed using a gas chromatograph with flame ionization detector. Ethane ranged from 0.1 to 0.2 mole % of the gases other than water. Other hydrocarbon gases detected, and their relative proportions can be seen in the chromatogram from the M-35 well (figure). Identifications were confirmed by GC-mass spectrographic analyses.

The hydrocarbon gases in Cerro Prieto steam closely resemble hydrocarbons in steam from Larderello, Italy, and The Geysers, California. These two, although vapor-dominated rather than hot-water geothermal systems, also have sedimentary aquifer rocks. Hydrocarbons from sedimentary geothermal aquifers are characterized by the presence of branched C₄-6 compounds and a lack of unsaturated compounds other than benzene. Relatively large amounts of benzene may be characteristic of high-temperature geothermal systems. All hydrocarbons in these gases other

than methane most probably originate from the thermal metamorphosis of organic matter contained in the sediments. Methane probably originates predominantly from the reaction of hydrogen and CO₂ in the presence of liquid water³.

Steam/Gas Measurements

Two methods were compared in determining steam/gas ratios. The laboratory (or total flow) method was discussed above. Each component can be determined independently from other components and without loss during collection, making this an exact method; but it is time consuming and requires proper equipment and technique.

A field method employed a 500-ml bottle with a tube at each end. Alternate displacement of gas by condensate and vice versa was timed with a stopwatch. The mechanical problems of this and other field measurements of steam/gas ratios have been discussed by Nehring and Truesdell¹, but there are chemical problems as well. The field methods do not measure the quantity of gas dissolved in the condensate, which can amount to 50% of the gas in some instances. The separation of gas and condensed steam into discrete phases occurs in the condenser at some pressure between atmospheric and that of the production separator. Calculations in Table 2, based on these two pressure extremes, show that agreement with the laboratory method is only obtained by assuming that condensed steam and gas were in equilibrium at some intermediate pressure.

Used without corrections, the field method seriously underestimates the amount of gas in the steam only, and corrections are at best approximate. We strongly recommend the collection of total flow samples with determination of steam/gas ratios in the laboratory.

Work partially supported by U.S. Department of Energy.

Table 2. Comparison of steam/gas (molar) ratio measurements

Well	M-8	M-20	M-27	M-35
Separator pressure (bars absolute)	7.27	6.90	7.72	8.03
Laboratory steam/gas	103	106	106	133
Field steam/gas	210	187	124	277
Field steam/gas corrected to separator pressure and 30°C	88	89	67	106
Field steam/gas corrected to 1 atm and 30°C	145	135	98	175

References

1. Nehring, N. L., and Truesdell, A. H., 1978, Collection of chemical, isotope and gas samples from geothermal wells: Proceedings of the Second Workshop on Sampling Geothermal Effluents, Las Vegas, February, 1977, United States Environmental Protection Agency Report EPA-600/7-78-121, pp. 130-140.
2. Giggenbach, W. F., 1975, A simple method for collection and analysis of volcanic gas samples: Bull. Volcanol., v. 39, pp. 132-145.
3. Ellis, A. J., 1957, Chemical equilibrium in magmatic gases, Am. J. Sci., v. 255, pp. 416-431.

LOS GASES EN EL VAPOR DE POZOS GEOTERMICOS DE CERRO PRIETO

Introducción

Como parte de un estudio geoquímico de Cerro Prieto, llevado a cabo conjuntamente entre USGS y CFE, en abril de 1977, se recolectaron muestras de vapor para hacer análisis de gases. Las muestras fueron tomadas de las salidas de vapor centrales de los separadores de producción y conducidas a través de una bobina condensadora de acero inoxidable mantenida a 30°C hasta frascos evacuados de 300 ml que contenían 100 ml de NaOH 4N^{1,2}. Se recolectó en el frasco el flujo total del condensador.

Gases Principales

Se analizaron los principales componentes de gas en el vapor por medio de química húmeda (H₂O, CO₂, H₂S, y NH₃) y por cromatografía de gas (He, H₂, CH₄, Ar, O₂ y N₂). En la tabla 1 aparecen los principales componentes del vapor correspondiente a cuatro pozos.

Las razones N₂/Ar se aproximan a la del agua saturada con aire a 20°C (N₂/Ar = 33), lo que sugiere que ambos gases son de origen atmosférico. El pequeño exceso de N₂ en tres de las cuatro

muestras ($N_2/Ar = 36$ a 41) puede deberse a una adición de N_2 proveniente de la descomposición de materia orgánica.

Hidrocarburos Gaseosos

Además de los gases principales se analizaron los hidrocarburos gaseosos C_{1-6} , por medio de un cromatógrafo de gas con detector de ionización de llama. En etano osciló de 0.1 a 0.2 moles % de los gases excluyendo el agua. Se pueden apreciar otros hidrocarburos gaseosos detectados y sus proporciones relativas en la cromatografía del pozo M-35 (Figura). Se confirmaron las identificaciones por medio de análisis espectrográficos de cromatografía gaseosa de masa.

Los hidrocarburos gaseosos en el vapor de Cerro Prieto se asemejan mucho a los hidrocarburos presentes en el vapor de Larderello, Italia y The Geysers, California. Estos últimos, aunque son sistemas dominados por vapor en vez de sistemas geotérmicos de agua caliente, también tienen rocas de acuífero sedimentarias. Los hidrocarburos de acuíferos geotérmicos sedimentarios se caracterizan por la presencia de compuestos C_{4-6} ramificados y por la falta de compuestos no saturados, con la excepción del benceno. Las cantidades relativamente grandes de benceno pueden ser características de sistemas geotérmicos de alta temperatura. Todos los hidrocarburos contenidos en estos gases, con excepción del metano, se originan probablemente en la metamorfosis térmica de la materia orgánica contenida en los sedimentos. Es probable que el metano provenga predominantemente de la reacción entre hidrógeno y CO_2 en presencia de agua líquida³.

Medidas Gas/Vapor

Se compararon dos métodos en la determinación de las razones vapor/gas. El método de laboratorio (o de flujo total) se discutió anteriormente.

Cada componente puede determinarse independientemente de los otros componentes y sin pérdida durante la recolección, lo que lo hace un método exacto; pero es muy laborioso y requiere disponer de equipo y técnica apropiados.

En el método de campo se empleó un frasco de 500 ml con un tubo en cada extremo. Se midió con un cronómetro el desplazamiento alternativo del gas por condensado y vice versa. Los problemas mecánicos de ésta y otras medidas de campo de las razones vapor/gas han sido discutidos por Nehring y Truesdell¹, pero existen también problemas químicos. Los métodos de campo no miden la cantidad de gas disuelto en el condensado, que puede ser de hasta 50% del gas en algunos casos. La separación del gas y vapor condensado en fases discretas tiene lugar en el condensador a cierta presión intermedia entre la atmosférica y la del separador de producción. Los cálculos de la Tabla 2, basados en dichos extremos de presión demuestran que para obtener acuerdo con el método de laboratorio es necesario suponer que el gas y el vapor condensado alcanzan equilibrio a alguna presión intermedia.

Utilizado sin correcciones, el método de campo subestima seriamente la cantidad de gas presente en el vapor únicamente, y las correcciones son, en el mejor de los casos, aproximadas. Recomendamos particularmente la recolección de muestras de flujo total y la determinación de razones vapor/gas en el laboratorio.

Título de Figura

Figura 1. Hidrocarburos gaseosos en vapor de Cerro Prieto.

Título de Tabla

Tabla 1. Componentes gaseosos principales de vapor separado de pozos en Cerro Prieto, México (en % de mol a menos que se indique otra cosa).