

TRATAMIENTO DE SALMUERAS PARA REINYECCION Y PRUEBAS DE REINYECCION SIN TRATAMIENTO

R. Hurtado, R. Díaz y S. Mercado
Instituto de Investigaciones Eléctricas
Mexicali, Baja California Norte

F. Garibaldi, C. Cortez y J. J. Fausto
Comisión Federal de Electricidad
Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto
Mexicali, Baja California Norte

INTRODUCCION

GENERALIDADES

El campo geotérmico de Cerro Prieto es un sistema con predominio de agua, razón por la cual en la cabeza de los pozos se obtiene una mezcla de agua y vapor.

El equilibrio termodinámico entre el fluido geotérmico y los materiales del yacimiento es tal que el contenido de vapor separado a la presión de trabajo de 8.06 kg/cm² a. representa el 30-40% (en peso) aproximadamente de la mezcla extraída.

La planta geotermoeléctrica de Cerro Prieto, con una generación actual de 150 MWe, descarga aproximadamente 3000 ton/h de agua separada. Este desecho no representa un problema serio de contaminación; sin embargo, podría llegar a serlo en un futuro próximo dados los planes de la Comisión Federal de Electricidad de incrementar considerablemente la generación de electricidad en los próximos años.

ALTERNATIVAS DE DESECHO DE LA SALMUERA

Algunas de las alternativas que se contemplan actualmente para el desecho de la salmuera son: 1) reinyección de la misma al yacimiento; 2) evaporación solar para recuperación de productos químicos tales como el cloruro de potasio; 3) desecho de la salmuera a través de un canal hacia el mar de Cortés, y 4) combinación de las alternativas anteriores.

Es obvio que las dos primeras son las más atractivas. En este trabajo sólo se tratará el caso de la reinyección.

INTERES DE LA REINYECCION

El atractivo principal de la reinyección es que, además de resolver el problema del desecho de la salmuera, puede contribuir significativamente a la prolongación de la vida útil del yacimiento a través de la recarga hidráulica y térmica que implica dicho proceso.

COMITE DE REINYECCION

La Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto ha integrado

un comité para el estudio de la reinyección de la salmuera de Cerro Prieto. Dicho comité está constituido por técnicos y científicos de la Comisión Federal de Electricidad, del Instituto de Investigaciones Eléctricas y del Lawrence Berkeley Laboratory.

El comité de reinyección está formado por los siguientes grupos de trabajo:

Programación: programar las actividades del comité y elaborar los informes de avances.

Ingeniería de Yacimientos y Geología: localización del pozo de reinyección; profundidad, zona de inyección; terminación del pozo; gasto requerido; presión de cabeza; etcétera.

Ingeniería Química: selección del proceso de eliminación de la sílice en caliente; localización de la planta de tratamiento; análisis económico del proceso; etcétera.

Geoquímica: efecto de la interacción de la salmuera reinyectada con la existente en el yacimiento; monitoreo químico de los pozos más cercanos; etcétera.

Ingeniería Mecánica, Civil y Petrolera: diseño del pozo, del sistema de conducción de la salmuera hacia la planta de tratamiento, de los equipos; especificación de las bombas de reinyección; etcétera.

Monitoreo: medición de las variables durante el experimento de la reinyección.

PROGRAMA DE REINYECCION

El programa de reinyección incluye las siguientes pruebas:

Sin tratamiento: reinyección de agua separada descargada por los separadores primarios a temperaturas cercanas a los 170°C, sin eliminación de la sílice.

Con tratamiento previo: reinyección de agua separada a la presión atmosférica después de eliminar el exceso de sílice. En este caso la temperatura de la salmuera a

reinyectar sería del orden de los 90°C.

PRUEBAS DE ELIMINACION DE SILICE

ANTECEDENTES

La planta geotermoeléctrica Cerro Prieto I genera actualmente 150 MWe por medio de cuatro unidades de 37.5 MW cada una.

En la cabeza de los pozos se obtiene una mezcla de agua y vapor que se separa en separadores centrífugos produciendo vapor de 8.06 kg/cm² a. y salmuera saturada a una temperatura de 170°C aproximadamente. El vapor se envía a la planta de generación, mientras que el agua se descarga a una laguna de evaporación solar. Esta salmuera se aprovechará próximamente para generar 17.5 MW adicionales por medio de una quinta unidad que operará con vapor de baja presión, el cual se obtendrá en una planta de evaporación instantánea que se encuentra actualmente en construcción. La figura 1 muestra un esquema del proceso empleado en la planta Cerro Prieto I.

La planta de evaporación desechará salmuera saturada a una temperatura de 120°C aproximadamente. Cuando dicha salmuera se descarga a la presión atmosférica tiene un contenido medio de sílice de 1000 ppm aproximadamente. En vista de que la solubilidad de la sílice a estas condiciones (100°C aprox.) es inferior a las 400 ppm se ha considerado que para reinyectar dicha salmuera al yacimiento es indispensable eliminar el exceso de sílice para evitar que ésta se deposite tanto en el pozo de reinyección como en el yacimiento mismo.

Es importante hacer notar que el proceso de eliminación de sílice que se desea llevar a cabo en Cerro Prieto es único hasta la fecha, debido al elevado porcentaje de sílice que se requiere remover y a la temperatura a la que se efectuará la remoción.

Anteriormente se han efectuado experimentos de eliminación de sílice en Nueva Zelanda, por H. P. Rothbaum *et al.*,¹ cuyos resultados han sido de mucha utilidad para el presente trabajo. También las pruebas llevadas a cabo en Niland por J. L. Featherstone *et al.*,² han sido de gran utilidad no obstante que las características físico-químicas de las salmueras empleadas son muy diferentes que las de Cerro Prieto.

En este trabajo se describen los resultados preliminares obtenidos en las pruebas de eliminación de sílice.

OBJETIVOS

Los objetivos fundamentales de las pruebas de eliminación de sílice son los siguientes:

1. Evaluar la factibilidad técnica de eliminación de la sílice en caliente

2. Si la eliminación de la sílice es factible, establecer el proceso adecuado para una operación industrial
3. Evaluar los parámetros de diseño de cada una de las etapas del proceso
4. Análisis económico del proceso a escala industrial.

PRUEBAS DE LABORATORIO

Cinética de la sílice. La sílice disuelta en la salmuera del yacimiento de Cerro Prieto se encuentra en forma de ácido monosilícico que comúnmente se le llama sílice monomérica. Cuando la salmuera alcanza la presión atmosférica se obtiene un elevado grado de sobresaturación con respecto a la sílice amorfa, de tal manera que en pocos minutos la sílice monomérica se polimeriza hasta alcanzar tamaño coloidal. Esto se debe no sólo a la sobresaturación sino también a la modificación del pH asociada al proceso de flasheo por liberación de H₂S y CO₂. A pH cercanos a 8.0 la polimerización de la sílice monomérica es muy rápida. Sin embargo, la sedimentación de la sílice coloidal es muy lenta por lo que se requiere usar coagulantes o floculantes para aumentar el tamaño de las partículas y acelerar el proceso.

Las figuras 2 y 3 muestran la velocidad de polimerización de la sílice monomérica con y sin modificación del pH de los pozos M-14 (bajo en sílice) y M-53 (alto en sílice).

Floculación de la sílice. Se llevó a cabo experimentación de laboratorio para analizar el comportamiento de un grupo de floculantes comerciales comúnmente usados en plantas de tratamiento de aguas.

La tabla 1 y la figura 4 muestran en forma comparativa el poder floculante de algunos productos comerciales en función de la dosificación empleada.

El procedimiento experimental fue el siguiente:

1. Se tomó una muestra de un litro de salmuera separada a la presión atmosférica y se colocó en un recipiente plástico dentro de un baño de temperatura constante
2. Se dejó que la muestra se añejara durante un periodo de 30 minutos
3. Se agregó el floculante y se agitó durante un periodo de 30 segundos, al final del cual se homogeneizó la solución
4. Se permitió que la sílice se sedimentara durante un periodo de 20 minutos
5. Se tomó una alícuota de la solución en una sección cercana a la superficie y se determinó el contenido de sólidos suspendidos, el pH y la temperatura.

PRUEBAS PILOTO

Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio han justificado la programación de pruebas a escala piloto, las cuales se han planeado de tal manera que respondan a los objetivos previamente estipulados.

El uso de reactivos químicos, tales como floculantes, debe ser el mínimo posible, en vista de que los gastos de salmuera a tratar son considerables. Es por eso que se ha programado llevar a cabo pruebas con y sin el uso de productos químicos.

La figura 5 muestra el diagrama del arreglo para las pruebas en que no se usa aditivos y la figura 6 el diagrama de flujo de la planta piloto, en el caso en que se adicionan floculantes.

Al momento de presentar este trabajo ya se tenían instalados los equipos de prueba, pero éstas no se habían iniciado, razón por la cual los resultados se publicarán próximamente.

Diseño experimental. Se requiere conocer los parámetros de diseño de cada una de las etapas del proceso con el fin de optimizar el tamaño de los equipos requeridos para una operación a escala industrial.

Para las pruebas sin dosificación de reactivos químicos se usará un Reactor-clarificador fabricado por la compañía Envirotech, y la información a obtener es la siguiente:

1. Gasto de agua clarificada vs. sólidos suspendidos (%)
2. Tiempo de residencia en la zona de reacción
3. Concentración de sólidos suspendidos en la zona de reacción
4. Caídas de temperatura.

Para las pruebas con adición de floculantes los equipos se diseñaron y fabricaron en los Laboratorios del Instituto de Investigaciones Eléctricas. Los datos a obtener son los siguientes:

1. Tiempo de retención en tanque polimerizador vs. grado de polimerización de la sílice
2. Tiempo de retención en tanque mezclador
3. Número de revoluciones del agitador y tipo de propelas en el tanque mezclador
4. Dosificación de floculantes comerciales vs. sólidos suspendidos (%) en la descarga
5. Gasto de agua clarificada vs. sólidos suspendidos (%) en la misma
6. Concentración de lodos vs. sólidos suspendidos (%) en el agua clarificada
7. Caídas de temperatura a través del sistema.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en las pruebas preliminares indican que la eliminación de la sílice de la salmuera de Cerro Prieto es factible de efectuarse a temperaturas cercanas a los 100°C. Los resultados que se obtengan en las pruebas piloto permitirán obtener datos definitivos para hacer una estimación económica del proceso de eliminación de la sílice.

PRUEBAS DE REINYECCION SIN TRATAMIENTO

GENERALIDADES

Las pruebas de reinyección sin eliminación de sílice se iniciaron, en Cerro Prieto, el día 8 de agosto de 1979, inyectando el agua separada del pozo M-29 en el pozo M-9. La figura 7 muestra la localización de dichos pozos dentro del campo geotérmico.

En este trabajo se presentan los objetivos de las pruebas, así como también los medios y procedimientos empleados y los resultados obtenidos hasta el día 15 de octubre de 1979, fecha en que se llevó a cabo la primera evaluación del experimento.

OBJETIVOS

Los objetivos principales del experimento de reinyección son:

1. Determinar la factibilidad de reinyectar agua separada de pozos integrados al sistema planta geotermoeléctrica, a las condiciones de separación y sin tratamiento previo
2. Observar el comportamiento del sistema hidromecánico en función tiempo
3. Desarrollar la tecnología para la reinyección del agua separada a las condiciones de operación del campo
4. Observar si se manifiesta recarga hidráulica al yacimiento.

MEDIOS (SISTEMA HIDROMECHANICO)

El sistema empleado para las pruebas de reinyección consta de las siguientes partes:

1. El pozo receptor o de reinyección que es el M-9
2. El pozo transmisor, que es el M-29, se encuentra integrado a la planta de generación y consta de los siguientes equipos: el pozo mismo, un separador vertical centrífugo, un silenciador vertical y vertedor
3. Tuberías conductoras del agua separada
4. La instrumentación que consta de: indicadores y registradores de presión manométrica y presión diferencial. Además, instrumentos para registros de fondo de presión y temperatura.

La figura 8 muestra el diagrama del arreglo de los

equipos y en la figura 9 se muestra el perfil tubular del pozo de reinyección, M-9.

PROCEDIMIENTOS

El pozo M-29 produce una mezcla de agua y vapor que se separa en un separador centrífugo: el vapor se conduce a la planta de generación; una fracción del agua separada se conduce al cabezal del pozo M-9 para su reinyección mientras que el excedente se envía al silenciador vertical instalado en la plataforma del pozo M-29.

Periódicamente se suspende la reinyección para cuantificar el gasto total que produce el pozo M-29, al mismo tiempo que se determina, por diferenciación, el gasto que se está reinyectando.

Continuamente se registran las presiones de reinyección y separación. Periódicamente se efectúan registros de presión y temperatura de fondo en el pozo M-9, los cuales se comparan con los registros que se efectuaron antes de iniciar el experimento. La figura 10 muestra uno de los casos más significativos de dichos registros.

RESULTADOS

Hasta el momento se ha encontrado que sí es factible reinyectar agua separada, a 160°C aproximadamente, de algunos pozos de Cerro Prieto en condiciones de operación y sin tratamiento previo.

Se ha observado, a la fecha, un abatimiento del 39% aproximadamente en el gasto aceptado por el pozo M-9. El gasto inicial fue de 40 ton/h.

No se ha observado, interferencia con los pozos periféricos más cercanos al M-9.

Este experimento representa, en Cerro Prieto, el comienzo del desarrollo de la tecnología requerida para la reinyección de agua separada. Los resultados obtenidos se consideran satisfactorios en términos generales.

La figura 11 muestra las gráficas de presión y gasto de reinyección en función del tiempo. La 12 muestra, en forma comparativa, el volumen de la salmuera reinyectada con relación a los volúmenes manejados en el campo geotérmico de Cerro Prieto.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo con el patrocinio de la Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto de la CFE y el Instituto de Investigaciones Eléctricas. Los autores agradecen en forma especial a las Superintendencias de Estudios, Mantenimiento y Producción de dicha Coordinadora por el valioso apoyo brindado.

También dan las gracias a Oleh Weres³ de LBL y John Featherstone de Imperial Magma por sus interesantes comentarios y recomendaciones.

REFERENCIAS

1. Rothbaum, H. P. y B. H. Anderton, "Removal of silica and arsenic from geothermal discharge waters by precipitation of useful calcium silicates", *2nd United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources*, San Francisco, Paper IV:13: 1417-25, 1975.
2. Featherstone, J. L., R. H. Van Note, B. S. Pawlowski, "A cost-effective treatment system for the stabilization of spent geothermal brines", *Transactions of the Geothermal Resource Council Annual Meeting*; vol. 3, 1979, pp. 201-204.
3. Weres, O. y L. Tsao, *Laboratory study of silica removal from Cerro Prieto brine*, comunicación personal, enero de 1979.

TABLA 1. COMPARACION DEL PODER FLOCULANTE DE ALGUNOS COMPUESTOS COMERCIALES EN FUNCION DE LA DOSIFICACION ADICIONADA.

Floculante	Sólidos suspendidos (ppm)							
Dosis (ppm)	2	5	10	20	40	60	80	100
Cyanamid # 330)	238	68	8	16	96	334	396	456
Nalco (# 7144)	484	360	202	60	48	52	64	66
Nalco (# 7134)	486	332	166	162	42	16	24	72
Betz (# 1180)	428	396	258	76	18	12	4	10
Betz (Alúmina)	536	560	490	498	398	148	24	28
Cal (CaO)	496	442	358	252	186	58	46	46

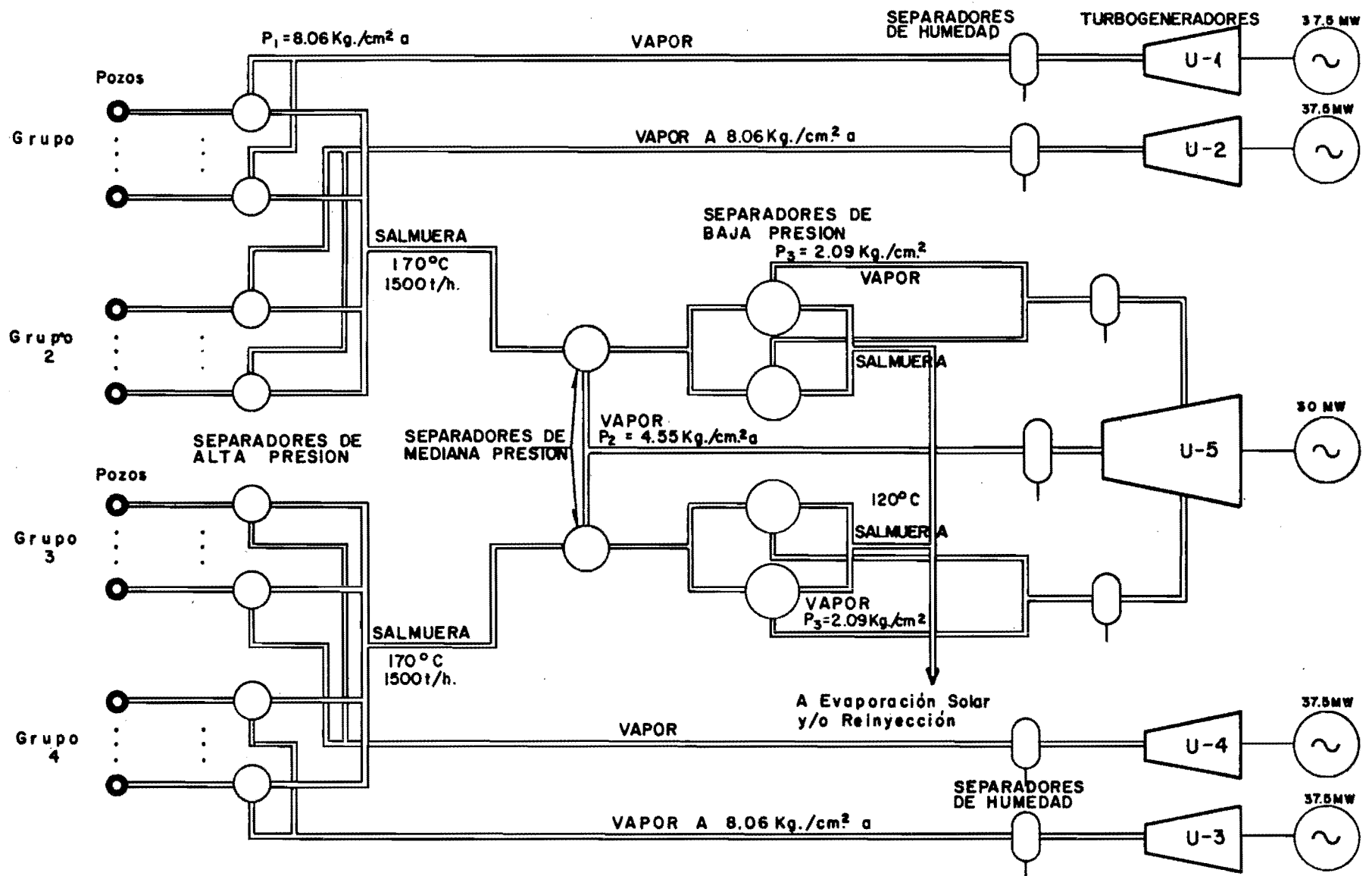


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de la planta geotermoelectrica Cerro Prieto I.

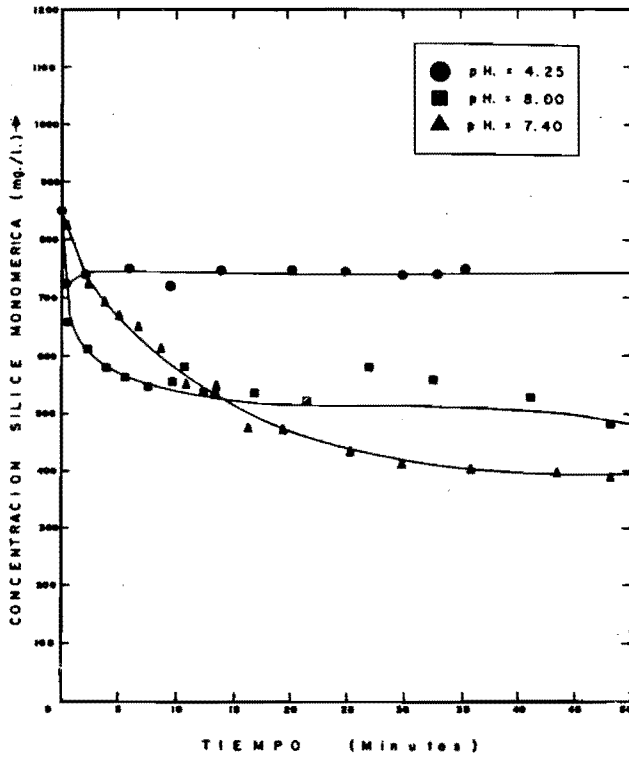


Figura 2. Efecto del pH sobre la velocidad de polimerización de la sílice en la salmuera del pozo M-14 a 96 °C.

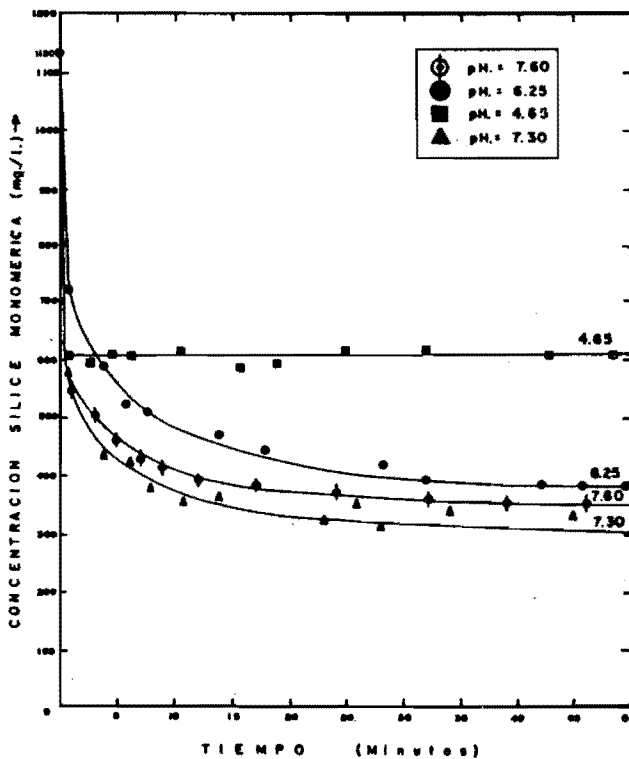


Figura 3. Efecto del pH sobre la velocidad de polimerización de la sílice en la salmuera del pozo M-53 a 93 °C.

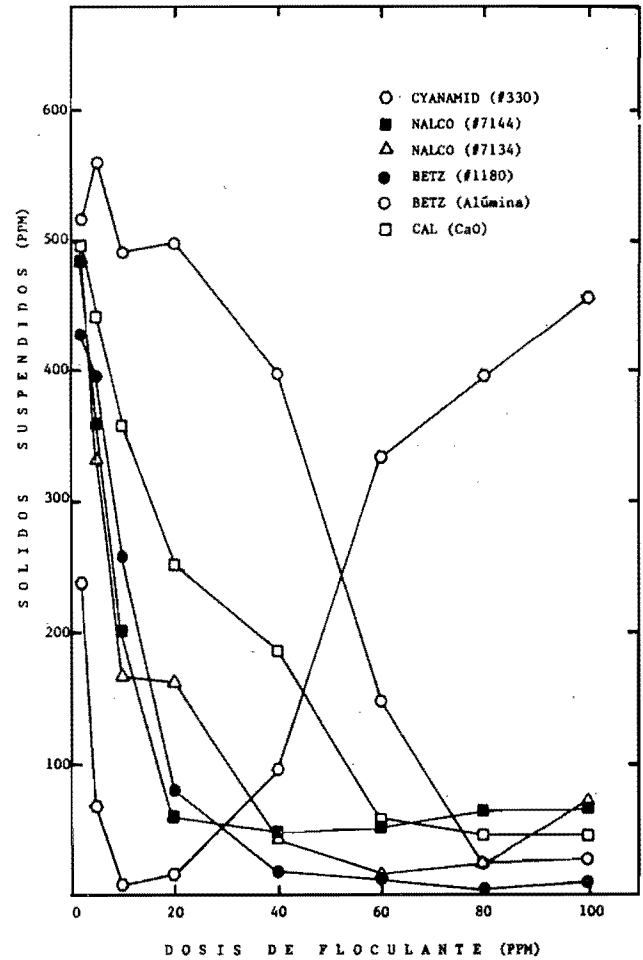


Figura 4. Efecto de la dosificación de floculantes sobre el contenido de sólidos suspendidos, después de un periodo de sedimentación de 30 minutos, a 94 °C ± 2 °C.

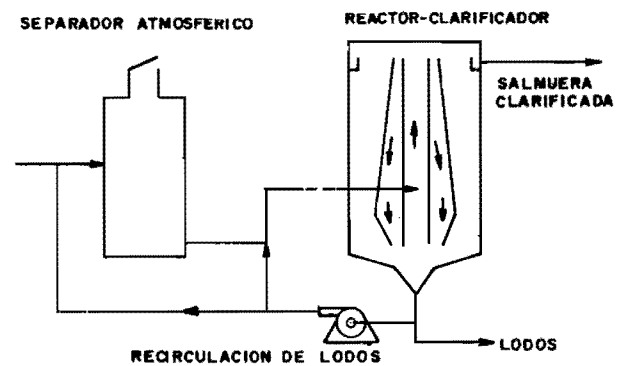


Figura 5. Diagrama de flujo de un arreglo piloto para eliminación de sílice sin uso de floculantes.

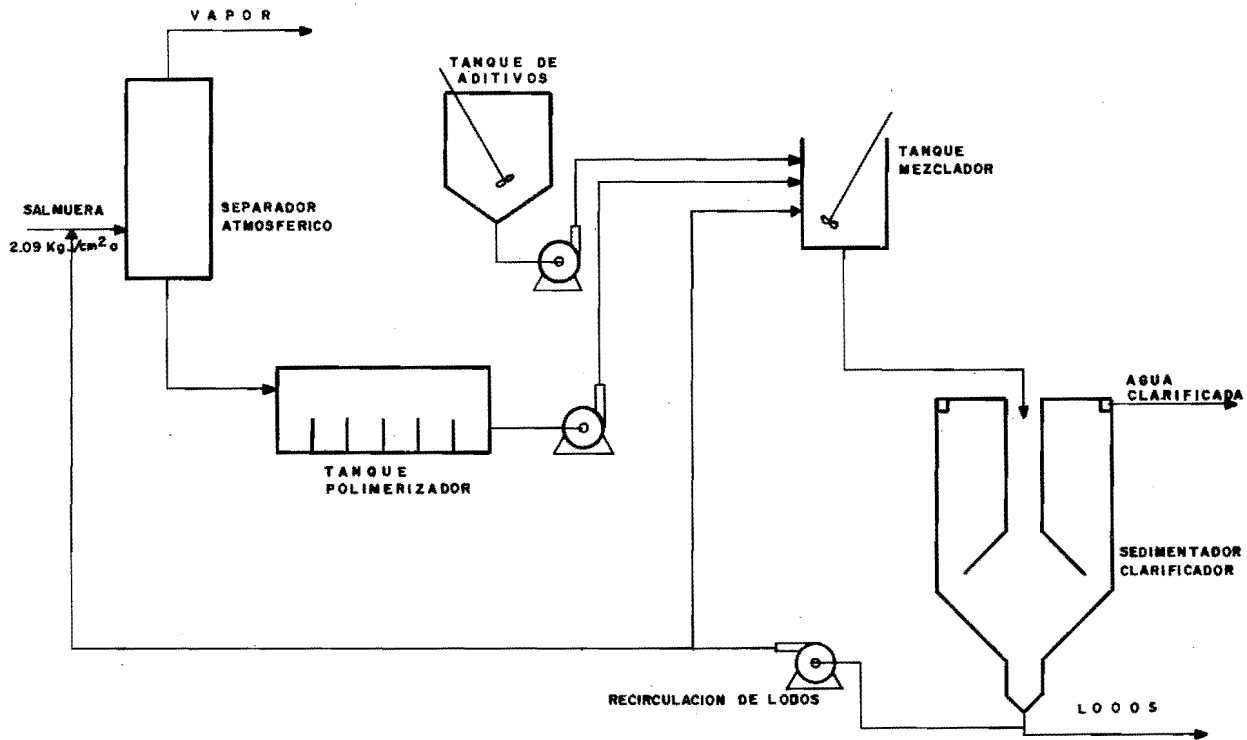


Figura 6. Diagrama de flujo de la planta piloto de eliminación de sílice de la salmuera de Cerro Prieto para reinyección.

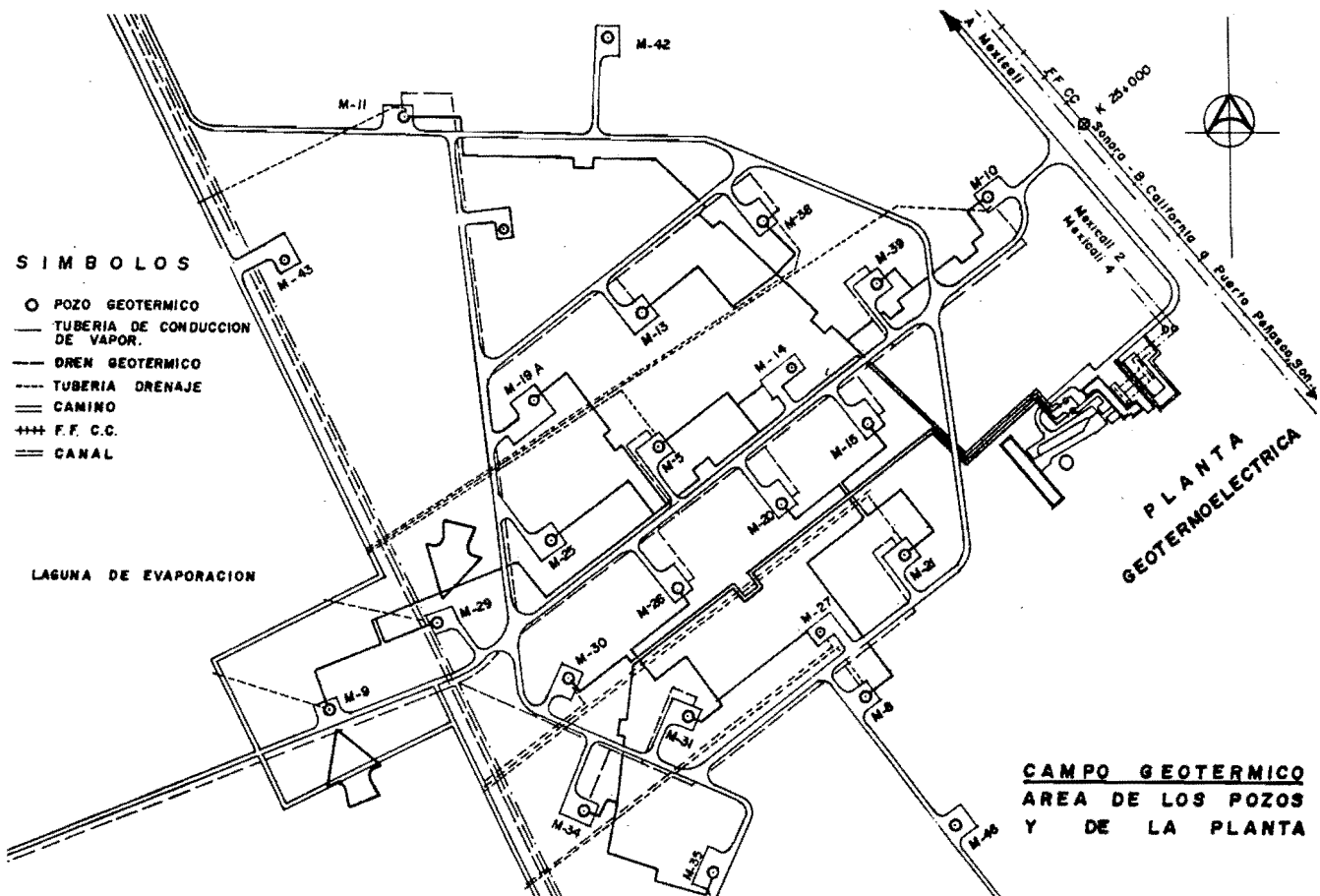


Figura 7. Localización, dentro del campo geotérmico de Cerro Prieto, de los pozos M-9 y M-29 empleados para el experimento de reinyección.

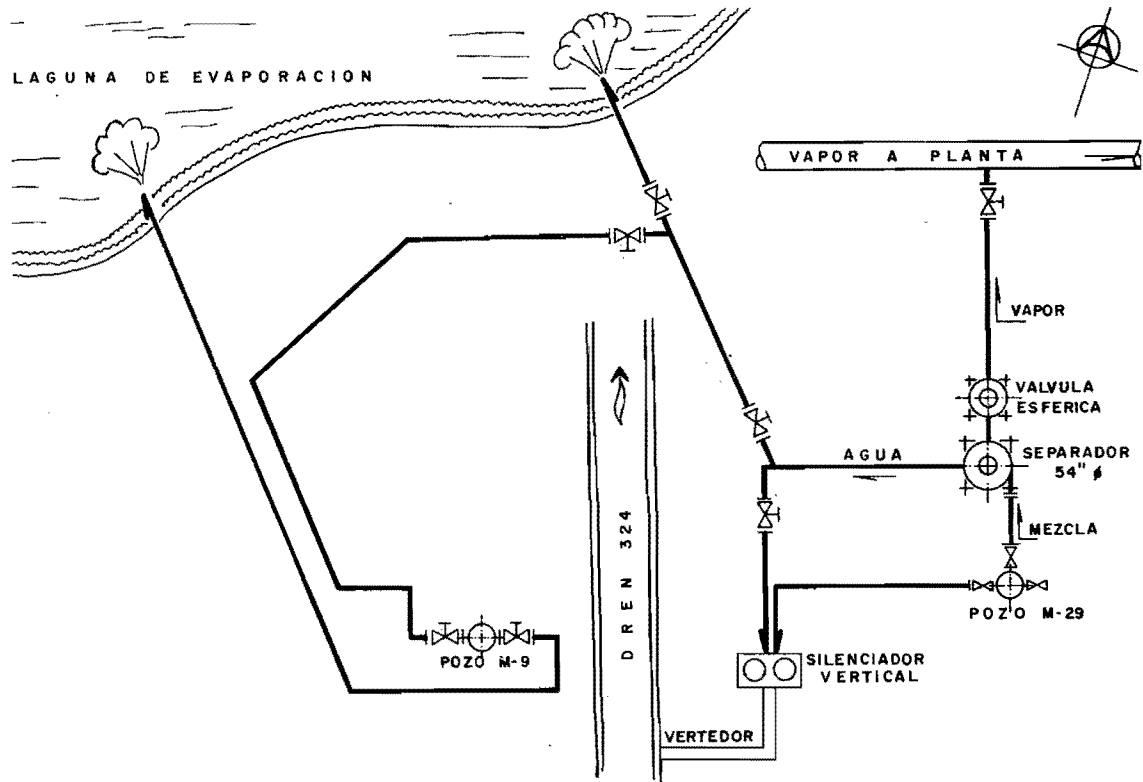


Figura 8. Diagrama general del arreglo de los equipos involucrados en las pruebas de reinyección efectuadas en el pozo M-9.

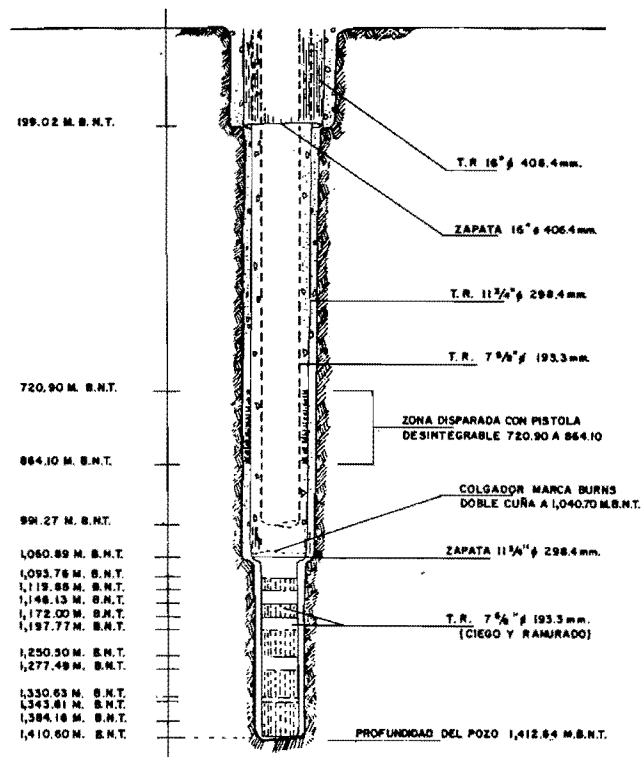
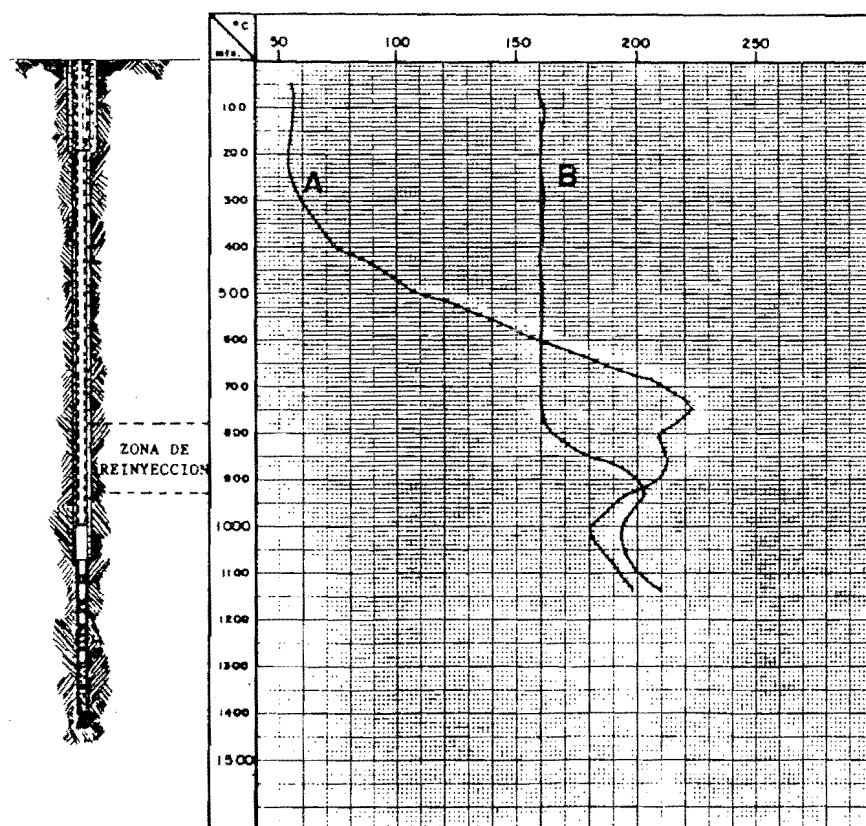


Figura 9. Perfil tubular del pozo M-9 empleado como receptor en la prueba de reinyección.

REGISTRO DE TEMPERATURA DE FONDO



REGISTRO DE PRESION DE FONDO

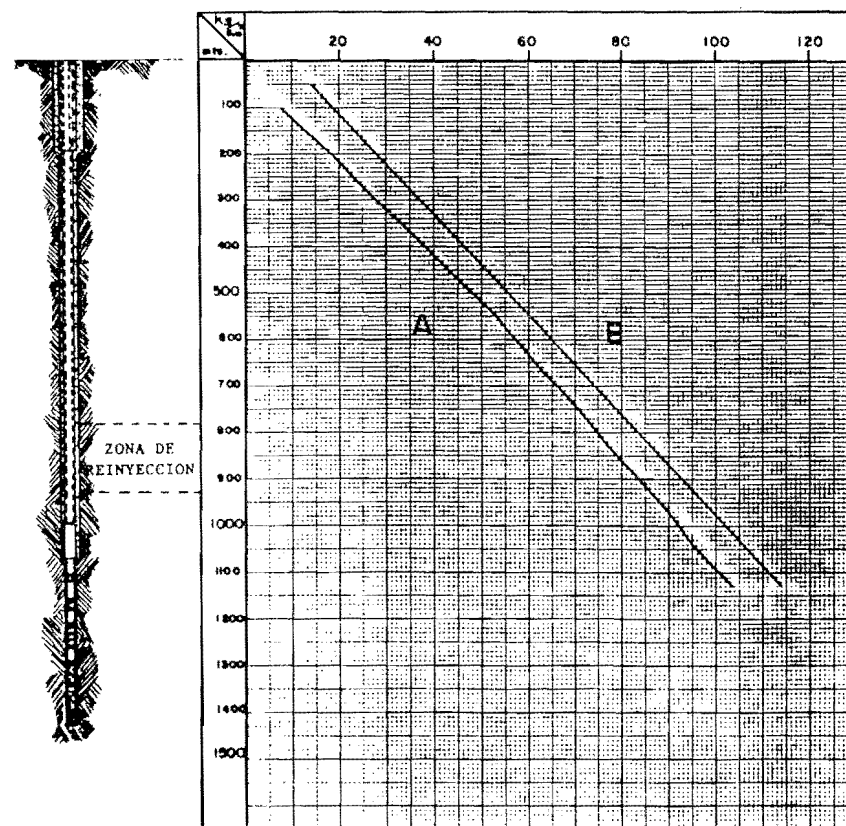


Figura 10. Registros de fondo de presión y temperatura corridos en el pozo M-9. A: estático con espejo de agua de 21.5 m (3 de agosto de 1979). B: durante la prueba de reinyección (10 de agosto de 1979).

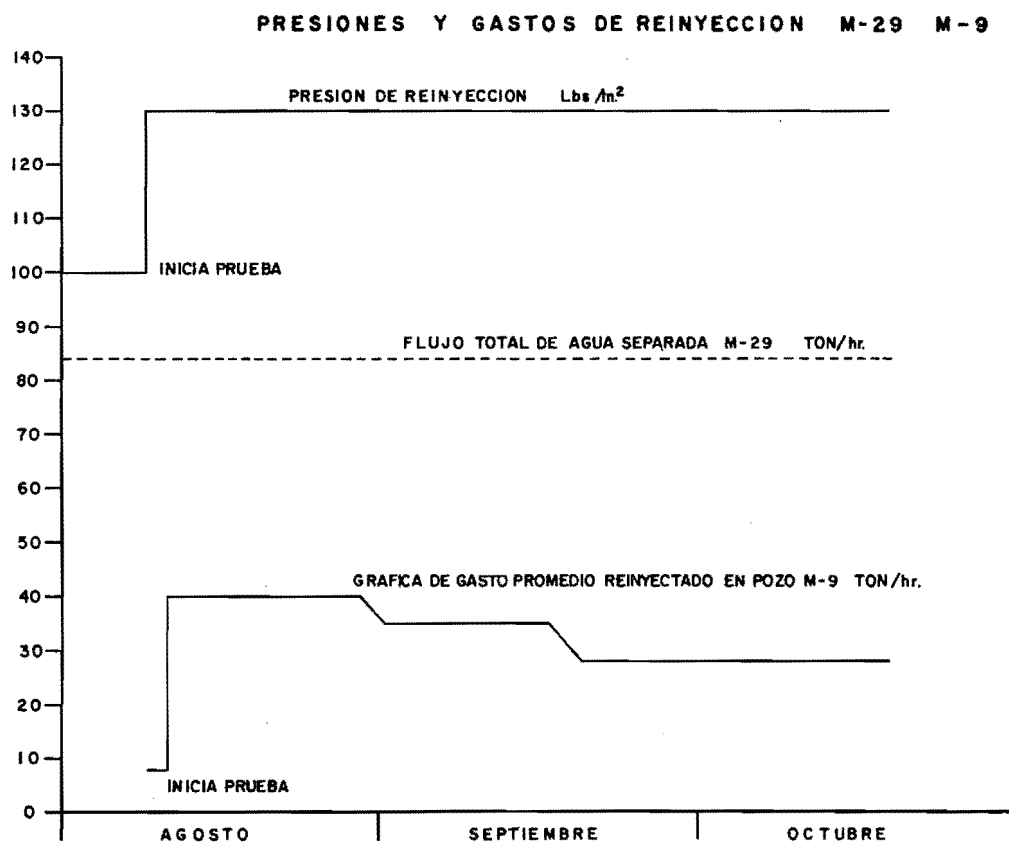


Figura 11. Valores promedio de los gastos y presiones de reinyección en el pozo M-9.

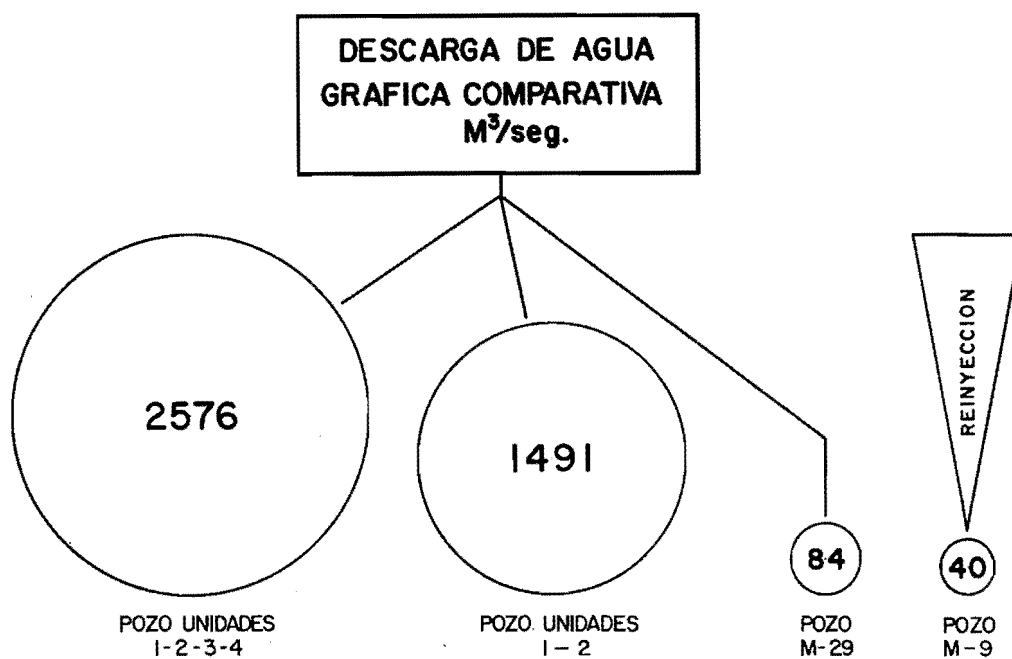


Figura 12. Gráfica comparativa del volumen de salmuera reinyectado en el pozo M-9 con respecto a los volúmenes manejados en el campo geotérmico de Cerro Prieto.

TREATMENT OF BRINES FOR REINJECTION AND REINJECTION TESTS WITHOUT TREATMENT

INTRODUCTION

GENERALITIES

The Cerro Prieto geothermal field is a water dominated system. For this reason a steam water mixture is obtained at the wellheads.

The thermodynamic equilibrium between the geothermal fluid and the reservoir materials is such that the fraction of steam separated at the working pressure 8.06 kg/cm² a.) is about 30-40% (by weight) of the produced mixture.

The Cerro Prieto power plant, which currently generates 150MWe, discharges approximately 3000 ton/h of separated water. Although this waste water currently does not pose a serious pollution problem, the situation may change in the near future because the Comisión Federal de Electricidad plans to significantly increment the power production during the next few years.

ALTERNATIVES TO DISPOSE OF THE BRINES

Alternatives currently considered to dispose of the brines include: 1) reinjection of the brines in the reservoir; 2) solar evaporation for recovery of chemicals such as potassium chloride; 3) dumping the brines into the Sea of Cortez through a channel; and 4) some combination of these alternatives.

Obviously, the most attractive alternatives are 1) and 2). In this work, only reinjection will be discussed.

REINJECTION RATIONALE

Reinjection is attractive mainly because, on top of solving the brine disposal problem, it may contribute significantly to enhance the useful reservoir lifetime through the thermal and hydraulic recharge implicit in the process.

REINJECTION COMMITTEE

A committee to study brine reinjection in the Cerro Prieto geothermal field has been set up by Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto. Technical and scientific personnel from Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones Eléctricas and Lawrence Berkeley Laboratory participate in this committee.

The reinjection committee is formed by the fol-

lowing task groups:

Programming: To program the committee's activities and to elaborate progress report.

Reservoir Engineering and Geology: Location of reinjection wells, depth, injection zone, well completion, injection rate, wellhead pressure, etc.

Chemical Engineering: Selection of a process for silica removal from hot brines, location of the treatment plant, economic analysis of the process, etc.

Geochemistry: Effects of the interaction between reinjected brines and reservoir brines, chemical monitoring of neighboring wells, etc.

Mechanic, Civil and Petroleum Engineering: Well design, design of a system to bring the brine to the treatment plant, design of the corresponding equipment, specifications of the reinjection pumps, etc.

Monitoring: Measurement of the variables during the reinjection experiment.

REINJECTION PROGRAM:

The reinjection program includes the following tests:

Without treatment: Reinjection of separated water discharged by the primary separators at temperatures of about 170°C, without silica removal.

With treatment: Reinjection of separated water after flashing to atmospheric pressure and excess silica removal. In this case, the temperature of the brine to be reinjected would be about 90°C.

TEST FOR SILICA REMOVAL

BACKGROUND

Currently, 150 MWe are generated by the Cerro Prieto I geothermal power plant via four 37.5 MW units.

A mixture of water and steam is obtained at the

wellheads. The mixture is separated in centrifugal separators which yield steam at approximately 8.06 kg/cm² a., and saturated brine at approximately 170°C. The steam is sent to the power plant, and the water is dumped in a solar evaporation pond. In the near future, this brine will be used to generate 27.5 MWe. This additional power will be produced by a fifth, low pressure steam unit. The steam will be obtained from a flashing plant currently in construction. Figure 1 is a flow chart of the process followed in the Cerro Prieto I power plant.

The flashing plant will dump saturated brine at a temperature of 120°C approximately. When that brine is discharged at atmospheric pressure its average silica content amounts to approximately 1000 ppm. Considering that at these conditions (100°C approximately) the silica solubility is less than 400 ppm, it has been concluded that the excess silica must be removed prior to brine reinjection in the reservoir, in order to avoid silica deposition both in the wellbore and in the reservoir.

It is important to note that the silica removal process intended for Cerro Prieto is unique due to the high percentage of silica to be removed, and to the temperature at which removal will be attempted.

Experiments on silica removal were carried out previously by H.P. Rothbaum et al, in New Zealand. Results of these experiments were very useful for the present work. Results of tests performed in Niland by J.C. Feathersome et al. were also very useful, despite the fact that the physicochemical characteristics of Niland's brines differ considerably from those of Cerro Prieto.

In this work preliminary results obtained in the tests for silica removal are described.

GOALS

The main goals of the silica removal tests are the following:

1. Evaluate the technical feasibility of silica removal at high temperature.
2. Should silica removal be feasible, find an adequate process for industrial operations.
3. Evaluate the design parameters for each stage of the process.
4. Economic analysis of the process in an industrial scale.

LABORATORY TESTS

Kinetics of silica: The silica dissolved in the brines of the Cerro Prieto reservoir is in the form of monosilicic acid, commonly known as monomeric silica. When the brine is flashed to atmospheric pressure a high degree of supersaturation with respect to amorphous silica is attained. Thus the monomeric silica polymerizes, at-

taining colloidal size in a few minutes. In addition to the supersaturation just mentioned, this effect is due to pH modification, associated to the flashing process, due to exsolution of H₂S and CO₂. Silica polymerization is very rapid at pH values near 8.0. However, colloidal silica settles slowly. For that reason use of coagulants or flocculants is required in order to increase the size of the particles and thus speed up the process.

Figures 2 and 3 show the rate of polymerization of monomeric silica with and without pH modification, for wells M-14 (low silica content) and M-53 (high silica content).

Silica flocculation: Laboratory experiments were performed to analyze the behaviour of a group of commercial flocculants commonly used in water treatment plants.

In Table 1 and Figure 4 the flocculating powers of several commercially available products are compared in terms of dosage.

1. A one liter sample of brine separated at atmospheric pressure in a plastic container was set in a constant temperature bath.
2. The sample was aged for 30 minutes.
3. Then flocculant was added, the sample was stirred for 30 seconds, and the solution was homogeneized.
4. Subsequently silica settling was permitted for 20 minutes.
5. Finally, an aliquot of the solution was taken from a section near the surface and the content of suspended solids, pH, and temperature were determined.

PILOT TESTS

The results obtained in the Laboratory tests justified planning of tests at pilot plant scale. These tests were planned so as to fulfill the previously stated goals.

Use of chemical reactants such as flocculants must be kept to a minimum because the amounts of brine to be treated are considerable. For that reason, tests both with use and without use of chemicals were programmed.

Figure 5 shows a schematic of the arrangement used in the tests where no additives were used. Figure 6 shows a flowchart of the pilot plant for the case in which flocculants are added.

At the time of the presentation of this work the equipment for the tests was already installed, but tests have not been run. For this reason, our results will be published in the near future.

Experimental design. In order to optimize the size of the required equipment for operation at the industrial scale, the design parameters for each stage of the process are required.

For the tests with addition of flocculants the equipment was designed and built in the laboratories of the Instituto de Investigaciones Eléctricas. The data to be obtained are the following:

1. Retention time in the polymerization tank vs. degree of polymerization of silica.
2. Retention time in mixing tank.
3. Number of revolutions of the stirrer and propeller type for the mixing tank.
4. Dosage of commercially available flocculants vs. percent of suspended solids in the discharge.
5. Clarified water flow rate vs. percentage of suspended solids in the clarified water.
6. Concentration of sludges vs. percentage of suspended solids in the clarified water.
7. Temperature gradients throughout the system.

CONCLUSIONS

Preliminary results indicate that silica removal from Cerro Prieto brines is feasible at temperatures near 100°C. The results to be obtained with the pilot tests will provide data for an economic assessment of the silica removal process.

REINJECTION TESTS WITHOUT TREATMENT

GENERALITIES

In Cerro Prieto, the reinjection tests without silica removal started on August 8, 1979. Water separated from well M-29 was injected in well M-9. Figure 7 shows the position of these wells in the geothermal field.

In this work the goals of these tests, the means and procedures employed, and the results obtained until October 15, 1979, (when the first evaluation of the experiment was carried out), are presented.

GOALS

The main goals of the reinjection experiment are:

1. To determine the feasibility of injecting separated water from wells integrated in the geothermal power plant system, at the conditions at which separation takes place, and without previous treatment.
2. Monitor the behavior of the hydromechanical system as a function of time.
3. Develop technology for reinjection of water separated at the operating conditions of the field.
4. Observe whether hydraulic recharge of the reser-

voir is manifested.

MEANS (HYDROMECHANICAL SYSTEM)

The system used for the reinjection tests consists of the following parts:

1. The reinjection well, M-9.
2. The feeding well, M-29. This well is integrated in the power plant system and consists of the following equipment: the well itself, a vertical centrifugal separator, a vertical silencer, and a drain (spill way).
3. Piping for separated water.
4. Instrumentation consists of: gages and recorders for manometric and differential pressures. Also, instruments for bottomhole pressure and temperature logs.

Figure 8 shows a schematic of the arrangement of the equipment. Figure 9 shows the tubular profile of the reinjection well M-9.

PROCEDURES

Well M-29 produces a mixture of water and steam which is separated in a centrifugal separator: the steam is piped to the power plant; a fraction of the separated water is conducted to the wellhead of M-3 for its reinjection, and the excess is sent to the vertical silencer installed in the platform of well M-29.

Reinjection is periodically suspended to quantify the total flow rate of well M-29. At the same time, the injected flow rate is determined by differentiation.

The reinjection and separation pressures are continually recorded. Periodically, determinations of the bottomhole pressure and temperature of M-9 are made. These results are compared with records obtained before starting the experiment. Figure 10 shows some significant examples of these logs.

RESULTS

Until the present time, it has been found that reinjection of water separated, at about 160°C from some Cerro Prieto wells at operating conditions, is feasible without previous treatment.

The injected flow rate has been observed to decrease by 33% from its initial value of 40 ton/h.

No interference with nearby wells has been observed so far.

This experiment represents, in Cerro Prieto, the beginning of the development of the technology required for reinjection of separated water. The results obtained are considered to be satisfactory in general terms.

Figure 11 shows plots of reinjection pressure and flow rate vs. time. Figure 12 shows the volume of brine reinjected, and compares it with the volumes dealt with in the Cerro Prieto geothermal field.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been sponsored by Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto of CFE, and by Instituto de Investigaciones Eléctricas. We thank especially the Superintendencias de Estudios, Mantenimiento and Producción of Coordinadora Ejecutiva for valuable help.

We also acknowledge Oleh Weres from LBL and John Featherstone from Imperial Magma for interesting comments and recommendations.

FIGURE AND TABLE CAPTIONS

- Figure 1. Flow chart of the process in the Cerro Prieto geothermal power plant.
- Figure 2. pH effect on the rate of silica polymerization for brine of well M-14 at 96°C.
- Figure 3. pH effect on the rate of silica polymerization for the brine of well M-53 at 93°C.
- Figure 4. Effect of flocculants on the content of suspended solids after a sedimentation period of 30 minutes, at $94^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Figure 5. Flow chart of a pilot arrangement for silica removal in which flocculants are not added.
- Figure 6. Flow chart of the pilot plant for silica removal from the Cerro Prieto brine for reinjection.
- Figure 7. Position, in the Cerro Prieto geothermal field, of the wells M-9 and M-29, used in the reinjection experiment.
- Figure 8. Schematic of the arrangement of the equipment used in the reinjection tests of well M-9.
- Figure 9. Tubular profile of the reinjection well M-9.
- Figure 10. Determinations of the bottomhole pressure and temperature of M-9 - A: static, with water surface at 21.5 m (3 August 1979). B: during reinjection test (10 August 1979).
- Figure 11. Average values of flow rate and reinjection pressures for well M-9.
- Figure 12. Graph of the volume of brine reinjected in well M-9 compared with the volumes dealt with in the Cerro Prieto geothermal field.
- Table 1. Comparison of the flocculating power of several commercial components in terms of dosage.