

NOTICE CONCERNING COPYRIGHT RESTRICTIONS

This document may contain copyrighted materials. These materials have been made available for use in research, teaching, and private study, but may not be used for any commercial purpose. Users may not otherwise copy, reproduce, retransmit, distribute, publish, commercially exploit or otherwise transfer any material.

The copyright law of the United States (Title 17, United States Code) governs the making of photocopies or other reproductions of copyrighted material.

Under certain conditions specified in the law, libraries and archives are authorized to furnish a photocopy or other reproduction. One of these specific conditions is that the photocopy or reproduction is not to be "used for any purpose other than private study, scholarship, or research." If a user makes a request for, or later uses, a photocopy or reproduction for purposes in excess of "fair use," that user may be liable for copyright infringement.

This institution reserves the right to refuse to accept a copying order if, in its judgment, fulfillment of the order would involve violation of copyright law.

Cerro Prieto Geothermoelectric Project: Pollution and Basic Protection

SERGIO MERCADO G.

Comisión Federal de Electricidad, Ródano, 14-5° p., México 5, D.F., México

ABSTRACT

The geothermal fluids extracted from the Cerro Prieto field have a variety of pollutants which need to be disposed of in order to protect the power plant and the equipment. The main pollutants are: (1) waste water with NaCl, KCl, SiO₂, and other salts which discharge into the silencers and drainage lines; (2) steam containing H₂S, CO₂, and other gases discharging at the flow regulating system and the cooling tower; (3) H₂S and CO₂ gases discharging at the plant stacks; (4) condensate in the circulation water system which is discharged into the plant drainage; (5) noise; and (6) heat.

INTRODUCTION

The Cerro Prieto geothermal project has a 75-MW plant in operation. There are 26 completed producing wells. The well diameters vary between 7 $\frac{5}{8}$ and 11 $\frac{3}{4}$ in., and the average depth is 1300 m. M-3 is the deepest well, 2630 m. The highest bottom well temperature measured is 370°C in Well M-10. The maximum wellhead pressure measured in the field is 1350 psi in Well M-15, under slight flow conditions. The 75-MW plant is supplied by 18 of these wells. Each of the wells is provided with a separator 54 inches in diameter and a water discharge line to the evaporation pond. The steam reaches a collector through 12- to 34-in.-diameter lines and a moisture separator before entering the turbines. The turbogenerators are of double flow type; each has a 37.5-MW capacity and operates at 75 psi and 3600 rpm. The steam discharged by the turbine goes to a condenser and a cooling tower from which the condensed water is recovered.

POLLUTION AND PROTECTION

The following paragraphs describe the various measures that have been or will be implemented to protect the equipment and environment at the Cerro Prieto project. These are general protective measures; we will not refer to those special materials or coatings required by any conventional geothermal system, such as the stainless steel turbine blades or the condenser coatings. These materials were selected after more than 1000 tests on different types of alloys and products.

Separated Waste Water

This water is centrifugally separated from the geothermal fluid. It is highly saline and must therefore be disposed of adequately (Table 1).

Evaporation and sedimentation pond. (Figs. 1 and 2.) The purposes of the 8-km² evaporation and sedimentation pond are: (1) to store the separated water during construction of a canal to Laguna Salada or to the Sea of Cortez; (2) to precipitate silica to avoid plugging the waste canal; and (3) to evaporate water and reduce the amount of effluent spillage. So far, the pond has performed very well during the two-year operation. Runoff has been minimal.

Waste canal. As Table 2 and Figure 3 show, the water flowing from the sedimentation pond is highly saline. It must therefore be disposed of properly. Two schemes have been proposed: a canal discharging into the Sea of Cortez, or a lined canal to the Laguna Salada. There are two routes, one to the north and one to the south. The route to the north has the following advantages:

1. The length is shorter.
2. Waste water could be carried away from the Tulichec geothermal field, 10 km north of Cerro Prieto, which will be developed in the future.
3. The lake formed by the water would provide opportunities for tourism.
4. The dissolved salts, in particular KCl and LiCl, may possibly be extracted in the future.

Injection wells. Another solution for waste water disposal is to drill injection wells west of the fields where there is a high-permeability area. This solution would have the added advantage of recharging the aquifer.

Deposits of Silica and Other Incrustant Salts

Separated water drains. The deposition of salts in the drainage canals has been minimized by discharging the separated waste at each well through pipes of adequate diameter. After two years of operation there have been no serious incrustation problems even in those wells located far from the pond, discharging through drains.

Table 1. Chemical composition of the fluids flowing from the Cerro Prieto wells.

Well No.	Sampling Date	Pressure (psig)	Chemical composition in ppm									Ratios	
			Na	K	Li	Ca	Cl	B	CO ₃	HCO ₃	SiO ₂	Na/K	Na/Ca
*M-1A	12/72	3	4175	575	11	212	7470	8	0	62	235	12.3	34
*M-3	8/72	200	5875	1312	15	331	11261	11	13	64	507	7.6	31
M-5	6/73	300	8300	2210	27	521	16431	15	6	44	864	6.4	28
*M-6	10/72	10	4375	475	17	552	8141	6	0	836	162	15.6	14
*M-7	11/72	71	5800	1175	16	316	10258	14	8	197	530	8.4	32
M-8	6/73	232	7999	2125	24	427	15884	18	5	74	1218	6.4	32
M-9	6/73	100	6331	1067	17	447	11459	11	8	65	495	10.1	25
*M-10	12/72	197	5500	1487	17	232	9910	14	13	179	675	6.3	41
M-11	6/73	578	8281	1987	18	494	15965	17	0	59	870	7.1	29
M-13	6/72	148	8775	2200	26	448	16254	11	27	27	880	6.7	34
*M-15	3/69	315	5375	1587	-	260	9604	7	0	19	1231	5.7	36
M-15A	1/75	212	6000	1125	15	321	11500	9	24	19	678	9.1	32.1
M-19A	2/75	415	8540	2124	20	547	16750	-	-	-	967	6.8	26.8
M-20	1/74	120	7100	1620	15	510	12800	13	5	58	800	7.4	25
*M-21	10/72	610	5525	1725	18	304	11437	10	13	106	675	5.4	32
*M-21A	4/74	280	5803	1628	14	318	10301	-	-	-	804	6.0	34
M-25	1/74	105	8650	2000	23	585	16900	-	-	44	900	7.3	28
M-26	1/74	92	9050	2200	20	840	16800	-	-	40	1000	7.0	22
M-29	2/74	90	6450	1200	15	480	12100	13	16	55	500	9.1	23
M-30	1/74	116	8500	1980	22	585	16400	-	-	36	950	7.3	25
M-31	1/74	274	7700	1930	20	500	15400	14	11	48	850	6.7	26
M-34	2/74	86	7100	1200	18	645	13100	11	0	48	600	10.0	19
M-35	3/74	290	9459	2557	20	545	17064	-	-	-	-	6.3	30
M-38	10/72	540	7050	1900	23	360	13984	15	8	58	755	6.3	34
M-39	2/74	90	6100	1080	14	455	11300	15	30	60	650	9.6	23
*M-51	4/74	340	6180	1905	16	302	11184	-	-	-	785	5.5	35
*M-53	11/74	1088	7843	2742	-	341	16483	-	-	-	1441	4.8	39.5

*Samples were obtained by bleeding the well through a small drainage line.

Table 2. Main chemical components in the evaporation pond brine (July 9, 1974).

Component	ppm
Sodium	20 412
Potassium	4 950
Calcium	2 169
Lithium	68
Chlorides	47 462

Separated water discharge lines. There has been some evidence of only slight incrustation in discharge lines carrying separated water to the pond. It is possible that discharge lines of some new wells may deposit silica, sulfides, or carbonates more rapidly, as occurred in short lines of some wells after being in operation for a long time. This has been taken into account in the selection of the proper discharge pipe diameter for each well. Very good results have been obtained with these discharge lines (Figs. 4 and 5).

Vertical silencers. It was decided to provide each well with its own vertical silencer, in addition to its drainage line. In this way, the operation of the silencer is not interrupted during line cleaning, maintenance, or other operations. The silencers are built of concrete and are provided with a wooden stack. They have given satisfactory results.

Deposits in the well production casings. As in other fields, the wells of Cerro Prieto have shown incrustations in their production casings (see analyses, Table 3). In order to best protect the production casings, the results of different cleaning methods are being evaluated: cold, hot, and chemical cleaning.

Table 3. Chemical analyses of well casing incrustations (% weight).

Measurement	As	M-5	M-6	M-7	M-10
Silicon	SiO ₂	15.1	T	1.8	19.5
Iron	FeS	83.4	T	1.2	1.6
Calcium	CaCO ₃	1.5	97.5	93.0	75.5
Magnesium	MgCO ₃	T	2.5	4.0	2.2
Depth (m)		604	-	200	-

T = trace

Turbine deposits. After one year of operation it was found that the deposits within the turbine are minimal. Most of them are soft and easy to remove by sand blasting. A few deposits, located below the band of the first and second wheels and on the convex part of the first-stage nozzles, were relatively hard (see analyses, Table 4 and Fig. 6).

Cooling Water System

Hot well. To avoid steam and sulfide contamination of the hot well, it was protected with an epoxy-lined aluminum sheet cover. Good results were obtained.

Protection of reinforced concrete. The reinforced concrete which is in contact with the recycled cooling water was protected with a 0.020-in.-thick coal tar epoxy coating. The steel used in the tower and in equipment in contact with the cooling water was protected with similar coatings. This protection has given excellent results.

Conditioning the cooling water. During the first months of operation there was a serious problem of excessive corrosive bacteria proliferation, with a lowering in pH and an increase in sulfates (analyses, Table 5 and Fig. 7). At

Table 4. Chemical analyses of turbine deposits.

	1st wheel	5th wheel	Nozzles (1st stage)	Nozzles (6th stage)
Silicon (SiO ₂)	0.9	0.6	3.6	0.4
Iron (FeS)	78.7	50.5	8.1	31.4
Calcium (CaCO ₃)	0.0	0.0	35.9	0.0
Magnesium (MgCO ₃)	0.1	0.1	5.4	0.0
Sodium (NaCl)	T	T	12.8	T
Sulfur (S)	0.3	—	—	55.5

T = trace

Table 5. Chemical analyses of the cooling water (Unit 2).

Measurement	First months of operation (730530)	Presently (750331)
pH	5.1	7.3
Calcium hardness (CaCO ₃)	212	0
Alkalinity F. (CaCO ₃)	0	0
Alkalinity M. (CaCO ₃)	8	92
Chlorides (Cl)	34	9
Sulfates (SO ₄)	2256	360
Silicon (SiO ₂)	16	1
Sulfides (H ₂ S)	85	4
Conductivity (mmhos)	5500	1075

Bacteriological analyses of the cooling water (Unit 2).

Species	(750521)	(750331)
<i>Acromobacter</i>	20 × 10 ⁴	—
<i>Aerobacter</i>	30 × 10 ⁴	—
<i>Bacillus</i>	15 × 10 ⁴	—
<i>Proteus</i>	10 × 10 ⁴	—
Total bacteria count	75 × 10 ⁴	5 × 10 ⁴

Disulfur bacteria +, Pseudomonas +, Flavobacteria +.

the present time this problem is controlled using biocides containing organotin, bithiocyanite, polychlorophenol, and dispersants, and by periodic hand removal of the deposits.

Hydrogen and oil cooling. Some geothermal plants use aluminum piping in these systems without any problems. This was not the case in our system. The aluminum pipes had to be replaced by stainless steel and/or titanium piping, due to the corrosion of the aluminum. Titanium pipes have given the best results.

Piping for cooling water. The main piping in the cooling system is made of stainless steel and has performed well. However, in future designs the use of fiberglass tubing in certain places is being considered.

Effluent water. The effluent water, which is condensed steam, contains biocides, sulfur, suspended organic matter, and various salts. This water is being discharged into the evaporation pond. Since it is a relatively small flow, it does not affect the characteristics of the pond water.

Water for General Use in the Plant

At the beginning, water from the cooling system was employed for general use in the plant. It was found, however, that the bacterial contamination was too high, requiring the

use of biocides. It was then necessary to use water from outside sources (water from the valley irrigation system).

Salt Aspersions

Initial development and cleaning. During the initial flow and development of wells, fluids are discharged vertically into the atmosphere. This causes salt pollution which sometimes reaches the power plant and nearby agricultural fields. Presently, the horizontal development of wells is being considered, as some tests have given good results without problems of wellhead erosion. In these tests no regulating orifices were used since the sand would erode the side of the outlet. Therefore initially the discharge will be regulated using small-diameter pipes.

Cleaning of producing wells. After a well has been closed for cleaning or repairs, it has been discharged vertically during a period as short as possible. At the present time, the method described in the above section is being considered for use in cleaning wells of sand and debris before putting them back into operation. It is considered that the wells could be discharged through 8-in.-diameter lines with horizontal silencers at their ends.

Protection of Casings and Wellheads

Cathodic protection. The external walls of the well casings are affected by the high salinity of the surrounding formations and by the variations of salt concentration between the various sand, shale, and clay layers. The magnitude and extent of this attack is not yet well known. However, it certainly could be the cause of some unexplained well casing failures. The cathodic protection of the casings, at least where they are in contact with the formations, is being considered as a solution to these problems. However, the opinion of experts in this field is needed before going ahead with this method.

Protection against parasitic currents. To avoid the conduction and/or formation of parasitic currents between wells or between wells and the power plant, which could increase galvanic corrosion, each well is electrically insulated from its corresponding steam-collecting branch. This is achieved by using steam lines in each well with electrically insulated flanged joints.

Wellhead and Christmas tree. The stuffing boxes at the wellhead were removed and the metal-to-metal contact with the anchoring casings at the well cellar was reduced as far as possible. This was done by pouring cement in the annulus between casings, after applying an adequate coating.

Protection of the Electric Systems

Equipment within closed areas. Electrical equipment within closed areas was protected by installing air conditioning with special filtration systems which retain or eliminate the various contaminants. There is an air conditioning system in the lower switchboard room. The area is isolated, using doors which close automatically; cable inlets and outlets are sealed. The air-conditioning system is provided with

filters of activated carbon and/or potassium permanganate in alumina, primarily to eliminate H_2S .

Protection of switchboards and cabinets. To protect individual switchboards and cabinets holding standard electrical equipment, small fans and recirculation equipment with H_2S absorbing filters are used.

Protection of the substation. The compressors' air systems were protected by installing alumina-permanganate filters. The copper air pipes in the system were replaced by stainless steel piping. The switchboards on the outside were protected by placing bags with potassium permanganate in alumina and properly sealing the doors and cable outlets. The electrical contacts and the exposed copper wiring are tin or cadmium plated. The high voltage contacts were gold plated (Fig. 8). The ground connector was made of copper (underground) or aluminum (above ground). Good results have been obtained.

Protection of connections. Standard screw connections are used; clamp connections were eliminated, mainly in the switches.

Protection of wiring. At the cooling tower and outside the power plant, outside wiring was protected with aluminum sheets and by sealing the trenches.

Control of Noncondensable Gas Discharge

Stacks. Stacks were installed to a higher elevation than originally planned (Fig. 9). The discharge at greater heights helped to control considerably the problem of H_2S pollution. Winds are usually from the northwest or the southeast, carrying away the discharged H_2S . However, since this gas is heavier than air it tends to settle, causing major pollution problems around the plant on windless days (Table 6). The stacks were built with 18-in.-diameter fiberglass pipes, discharging gases 40 m above the ground. This reduced pollution around the power plant.

Gas duct to the evaporation pond. (Figs. 10 to 12.) A 23-in. diameter, 1250-m-long duct was connected to the base of the stacks, extending all the way to the evaporation

pond. The duct is equipped with large-diameter extractors which drive the gases toward the pond. Thus, the gases were carried away from the area around the plant, especially the H_2S discharged from the stacks, effectively reducing the pollution. However, it is impossible to eliminate entirely the H_2S from around the plant since it is partially dissolved by the cooling water in the condensers and ejector coolers, and later released at the cooling tower.

Turbine Protection During Standby

Blowing with hot air. The danger of corrosion is eliminated by a system which blows hot air removing condensed steam and gases from the turbine during shutdown periods.

Use of chemical compounds. An ejector is used to spray the turbine with 2-methyl piperazine or other special anticorrosive compounds.

Lighting System of the Field

The protection of this lighting system is rather difficult, since the H_2S attacks copper and the salt spray attacks aluminum. However, it is easier to protect the latter. The use of aluminum wiring and sealed contacts was recommended. Ideally, the wiring for this system should be underground, which also would make the handling of well-repairing equipment easier.

Elimination of Noise and Pollution

Flow-regulating system. Since there is an almost constant steam discharge to the atmosphere through the flow-regulating system (Fig. 13), it was installed as far as possible from the plant. Though this system is provided with silencers which reduce the noise, it produces air pollution, causing corrosion problems. The system was placed about 200 m away from the plant. Good results have been obtained.

Around the plant, the intermittent and continuously operating bleeders were provided with adequate collectors to avoid spraying of condensed water, corrosion problems, and to reduce noise level.

Protection of Pipe Bends

Sand erosion of pipe bends at well outlets and separator bottoms does not constitute a serious problem. It has been observed in other geothermal fields and in some of our wells. The abrasion at the bends has been eliminated by installing the pipes in a T connection. The sand erosion at the bottom of the separators is avoided by purging them periodically.

Protection of Personnel

Detectors of H_2S which automatically trigger the alarms in the control and turbine rooms were installed. In addition, there are portable detectors for field use and gas masks.

CONCLUSIONS

The pollution problems which could be caused by the separated water with its high salt content will be eliminated

Table 6. Gases discharged by the stack of Unit 2 of the geothermoelectric plant at Cerro Prieto.

Measurement	% weight	kg/hr
CO_2	62.5	3440
H_2S	6.5	355
Air and various gases	6.7	365
H_2O (condensate)	24.3	1340
TOTAL	100.0	5500

Sampling date:	July 9, 1973
Power output:	32 MW
Steam discharge:	300 tons/hr
Gas discharge at the ejector outlets:	5500 kg/hr

Properties of the cooling water

pH:	5.4
Temperature of the cold water:	32°C
Temperature of the warm water:	47°C

by disposing of the water in the Sea of Cortez or in Laguna Salada, which have large storage capacities and high evaporation potential. Therefore, there does not seem to be any problem related to this pollutant for the future expansion of the plant. There will be no pollution of the agricultural fields adjacent to the canal by saline waters because it will be lined with concrete.

The evaporation pond covers about 16 km² of an area which had clayey saline soils showing thermal manifestations. It is considered that the creation of the pond produced no ecological deterioration of the environment. On the contrary, the pond now offers new recreational facilities, especially for those interested in water-related sports and in hunting.

The steam and other gases are discharged directly into the atmosphere during well development and through the regulating valves. There is, of course, a certain degree of pollution. However, there are no towns close by, and the plant is located so that the wind direction carries the steam away from the plant.

The steam and gases released from the cooling tower do cause the largest amount of pollution around the plant. To reduce the impact, the cooling tower was built 100 m away from the plant, and in the direction of the prevailing winds.

The gases which are discharged from the stacks, coming from the ejectors, are released at a considerable height (40 m), which tends to reduce pollution at ground level. Furthermore, the gas duct carries the pollutants about 1 km away from the plant.

The air pollution caused by H₂S made necessary the protection measures described above, especially to protect the electrical equipment. They ranged from gold plating high voltage contacts to isolating areas and providing them with air conditioning and special filters to avoid corrosive gases.

The installation of H₂S detectors connected to an alarm system was considered to be very important to protect the personnel in or around the powerhouse and the electrical equipment in closed areas. This is especially true during windless days when the pollution reaches dangerous levels in certain areas and corners.

Undoubtedly, the heat and moisture liberated around the field affects the ecological equilibrium of the area. However, since the Mexicali Valley is open and vast, the impact on

the environment is considered to be minor.

The noise produced by the steam directly discharging into the atmosphere is reduced by means of silencers. The direct discharge of separated water at the evaporation pond produces some noise which is only slightly heard at the power plant, more than 1 km away.

Finally, and according to what was described above, we can state that the pollution produced by the geothermal fluids at the Cerro Prieto field can be reduced so that it has no significant ecological impact. However, because of the characteristics of the field, special materials and protection procedures have to be used for the equipment of the power plant and auxiliary systems.

Following are the captions for the illustrations referred to in this paper. The illustrations may be found in the Spanish version which immediately precedes this translation.

Figure 1. Cerro Prieto geothermal field.

Figure 2. Evaporation and sedimentation pond.

Figure 3. Evaporation pond, Cerro Prieto: Chloride concentration and changes in level.

Figure 4. Discharge lines.

Figure 5. Discharge lines.

Figure 6. Cerro Prieto geothermal plant, Unit 2: Turbine conditions after one year of operation. (a) Unit 2, Cerro Prieto geothermal plant. (b) Removal of turbine. (c) Blades of the first wheel. (d) Blades of the second wheel. (e) Blades of the third wheel. (f) Blades of the fourth wheel. (g) Blades of the fifth wheel. (h) Blades of the sixth wheel.

Figure 7. Cooling water, Unit 2, Cerro Prieto: Variation in sulfate content and in pH.

Figure 8. High voltage contacts.

Figure 9. Installation of higher chimneys than planned to avoid the problem of pollution.

Figure 10. Gas duct to the evaporation pond.

Figure 11. Gas duct to the evaporation pond.

Figure 12. Layout of the gas duct extending from the plant to the evaporation pond.

Figure 13. Flow-regulating system.

Proyecto Geotermoeléctrico de Cerro Prieto: Contaminación y Protección Básica

SERGIO MERCADO G.

Comisión Federal de Electricidad, Ródano, 14-5° p., México 5, D.F., México

RESUMEN

En Cerro Prieto los diversos contaminantes extraídos por el fluido geotérmico dan un toque particular al sistema, siendo necesario disponer de dichos contaminantes en la forma más adecuada y proteger la planta de generación y equipo en general contra el ataque de los mismos. Los principales son: (1) agua separada de desecho caliente conteniendo NaCl, KCl, SiO₂ y otras sales descargadas en los silenciadores y en líneas de drenaje; (2) vapor conteniendo gases H₂S, CO₂, y otros descargado en el sistema de regulación de flujo y en torre de enfriamiento; (3) gases H₂S y CO₂ desalojados en las "chimeneas" de la planta; (4) condensado en sistema de agua de circulación descargado al drenaje de la planta (agua de derrame); (5) ruido; y (6) calor.

GENERALIDADES

En el proyecto geotérmico de Cerro Prieto se tiene en operación una planta de 75 MW, se cuenta actualmente con 26 pozos productores perforados y terminados en diámetros de 11 $\frac{3}{4}$ pulg. y 7 $\frac{5}{8}$ pulg., con profundidad media de 1300 m, teniendo 2630 m el pozo M-3 que es el más profundo. La temperatura máxima medida de fondo fue de 370°C en el pozo M-10. La presión máxima registrada en el campo en la cabeza del pozo M-15 descargando un pequeño flujo, fue de 1350 psi. Diez y ocho de estos pozos son usados para la planta de 75 MW, equipados cada uno con un separador centrífugo de 54 pulg. diámetro y una descarga de agua a la laguna. El vapor llega a un colector a través de tuberías de 12 a 34 pulg. diámetro y un separador de humedad antes de entrar a las turbinas. Los turbogeneradores son de 37.5 MW cada uno con turbinas de doble flujo, de 75 psi y 3600 rpm. El vapor a la descarga de la turbina pasa a un condensador y a la torre de enfriamiento, utilizándose como agua de repuesto una vez condensado.

CONTAMINACIÓN Y PROTECCIÓN

A continuación se tiene una relación de diversas disposiciones, así como trabajos efectuados o por efectuarse para la protección del sistema en el proyecto de Cerro Prieto. Esto como protección general, ya que no se trata sobre los materiales especiales o recubrimientos que requiere todo sistema geotérmico convencional como, por ejemplo, los álabes de la turbina (de acero inoxidable) o el recubrimiento

de los condensadores. Estos materiales entre muchos otros se seleccionaron después de efectuar pruebas exhaustivas en más de 1000 especímenes de prueba de diversos materiales.

Agua Separada de Desecho

Esta agua proviene de la separación centrífuga del fluido geotérmico y contiene un elevado grado de salinidad por lo cual es necesario disponer de ella adecuadamente (Tabla 1).

Laguna de evaporación y sedimentación. (Figs. 1 y 2.) Se cuenta con una laguna de sedimentación y evaporación de 8 km² de superficie que tiene las siguientes finalidades: (1) alojar el agua separada durante la construcción de un canal a la Laguna Salada o al Mar de Cortés; (2) asentamiento de la sílice para evitar la incrustación del canal de desecho y; (3) evaporar agua y disminuir el flujo de derrame. Se tienen dos años de generación y la laguna de evaporación funciona adecuadamente, teniéndose un derrame mínimo.

Canal de desecho. Debido a que el agua que se derrama de la laguna de sedimentación es de elevada salinidad (ver análisis, Tabla 2 y Fig. 3) es necesario disponer de ella adecuadamente, por lo cual se tiene un proyecto de canal que desfoga en el Mar de Cortés; siendo otra solución la construcción de un canal revestido a la Laguna Salada. Pudiendo seguirse dos rutas—la sur y la norte. La ruta norte tiene las siguientes ventajas:

1. Recorrido un poco más corto.
2. Desalojo del agua de desecho de la zona geotérmica de Tulichec, programada para explotarse en el futuro y situada a 10 km al norte de Cerro Prieto.
3. Atractivo turístico de la laguna formada en el punto de descarga.
4. Posibilidad futura de explotar las sales disueltas en el flujo, principalmente el KCl y el LiCl.

Pozos de absorción. Otra solución para deshacerse del agua separada es la de construir pozos de absorción en un lugar estratégico al oeste del campo, que es la zona con mayor permeabilidad, teniéndose además con esto la ventaja de recargar el acuífero.

Tabla 1. Composición Química del Flujo de los Pozos de Cerro Prieto.

Pozo No.	Fecha muestreo	Presión (psig)	Composición química en ppm										Proporciones	
			Na	K	Li	Ca	Cl	B	CO ₃	HCO ₃	SiO ₂	Na/K	Na/Ca	
*M-1A	12/72	3	4175	575	11	212	7470	8	0	62	235	12.3	34	
*M-3	8/72	200	5875	1312	15	331	11261	11	13	64	507	7.6	31	
M-5	6/73	300	8300	2210	27	521	16431	15	6	44	864	6.4	28	
*M-6	10/72	10	4375	475	17	552	8141	6	0	836	162	15.6	14	
*M-7	11/72	71	5800	1175	16	316	10258	14	8	197	530	8.4	32	
M-8	6/73	232	7999	2125	24	427	15884	18	5	74	1218	6.4	32	
M-9	6/73	100	6331	1067	17	447	11459	11	8	65	495	10.1	25	
*M-10	12/72	197	5500	1487	17	232	9910	14	13	179	675	6.3	41	
M-11	6/73	578	8281	1987	18	494	15965	17	0	59	870	7.1	29	
M-13	6/72	148	8775	2200	26	448	16254	11	27	27	880	6.7	34	
*M-15	3/69	315	5375	1587	-	260	9604	7	0	19	1231	5.7	36	
M-15A	1/75	212	6000	1125	15	321	11500	9	24	19	678	9.1	32.1	
M-19A	2/75	415	8540	2124	20	547	16750	-	-	-	967	6.8	26.8	
M-20	1/74	120	7100	1620	15	510	12800	13	5	58	800	7.4	25	
*M-21	10/72	610	5525	1725	18	304	11437	10	13	106	675	5.4	32	
*M-21A	4/74	280	5803	1628	14	318	10301	-	-	-	804	6.0	34	
M-25	1/74	105	8650	2000	23	585	16900	-	-	44	900	7.3	28	
M-26	1/74	92	9050	2200	20	840	16800	-	-	40	1000	7.0	22	
M-29	2/74	90	6450	1200	15	480	12100	13	16	55	500	9.1	23	
M-30	1/74	116	8500	1980	22	585	16400	-	-	36	950	7.3	25	
M-31	1/74	274	7700	1930	20	500	15400	14	11	48	850	6.7	26	
M-34	2/74	86	7100	1200	18	645	13100	11	0	48	600	10.0	19	
M-35	3/74	290	9459	2557	20	545	17064	-	-	-	-	6.3	30	
M-38	10/72	540	7050	1900	23	360	13984	15	8	58	755	6.3	34	
M-39	2/74	90	6100	1080	14	455	11300	15	30	60	650	9.6	23	
*M-51	4/74	340	6180	1905	16	302	11184	-	-	-	785	5.5	35	
*M-53	11/74	1088	7843	2742	-	341	16483	-	-	-	1441	4.8	39.5	

*Muestreo efectuado descargando por purga un pequeño flujo.



Figura 1. Campo geotérmico de Cerro Prieto.

Depósitos de Sílice y Otras Sales Incrustantes

Drenajes de agua separada. Con la descarga del agua separada mediante tuberías de diámetros adecuados para cada pozo, se reduce a un mínimo el problema de depósito de sales en los canales de drenaje. Aunque el agua de algunos pozos alejados de la laguna se tienen que descargar a través de drenes no se han tenido problemas graves de depósito en dos años de operación.

Tuberías de descarga de agua separada. Solo se ha tenido ligera evidencia de incrustación en las tuberías de descarga de agua separada a la laguna. Es posible que las tuberías de descarga de algunos pozos nuevos se incrusten más rápidamente con depósitos de sílice, sulfuros, o carbonatos, como ya ha ocurrido en ciertos pozos en líneas cortas, después de un largo tiempo de estar en operación,

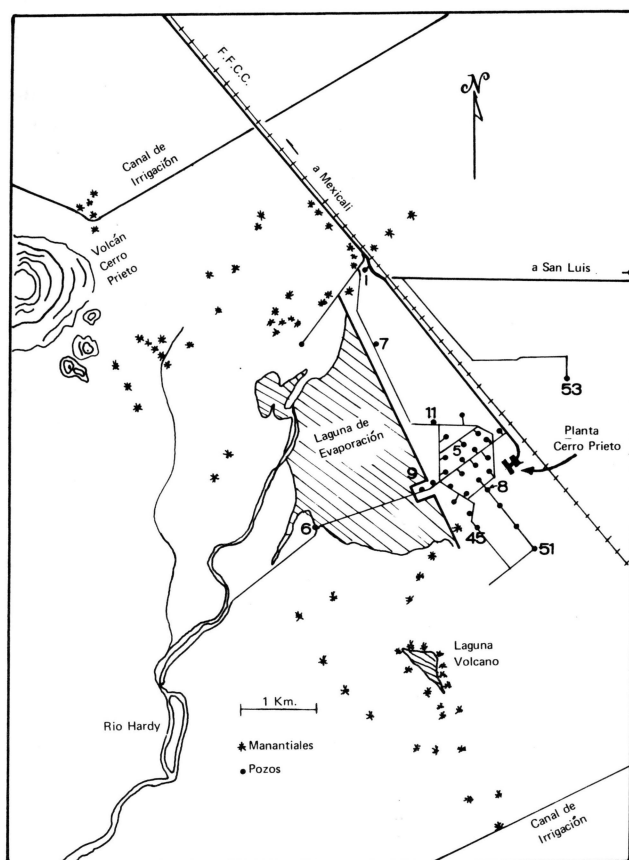


Figura 2. Laguna de evaporación y sedimentación.

por lo cual se tomó esto muy en cuenta para definir el diámetro de la tubería de descarga de cada pozo. Se han obtenido muy buenos resultados con dichas tuberías de descarga. (Figs. 4 y 5).

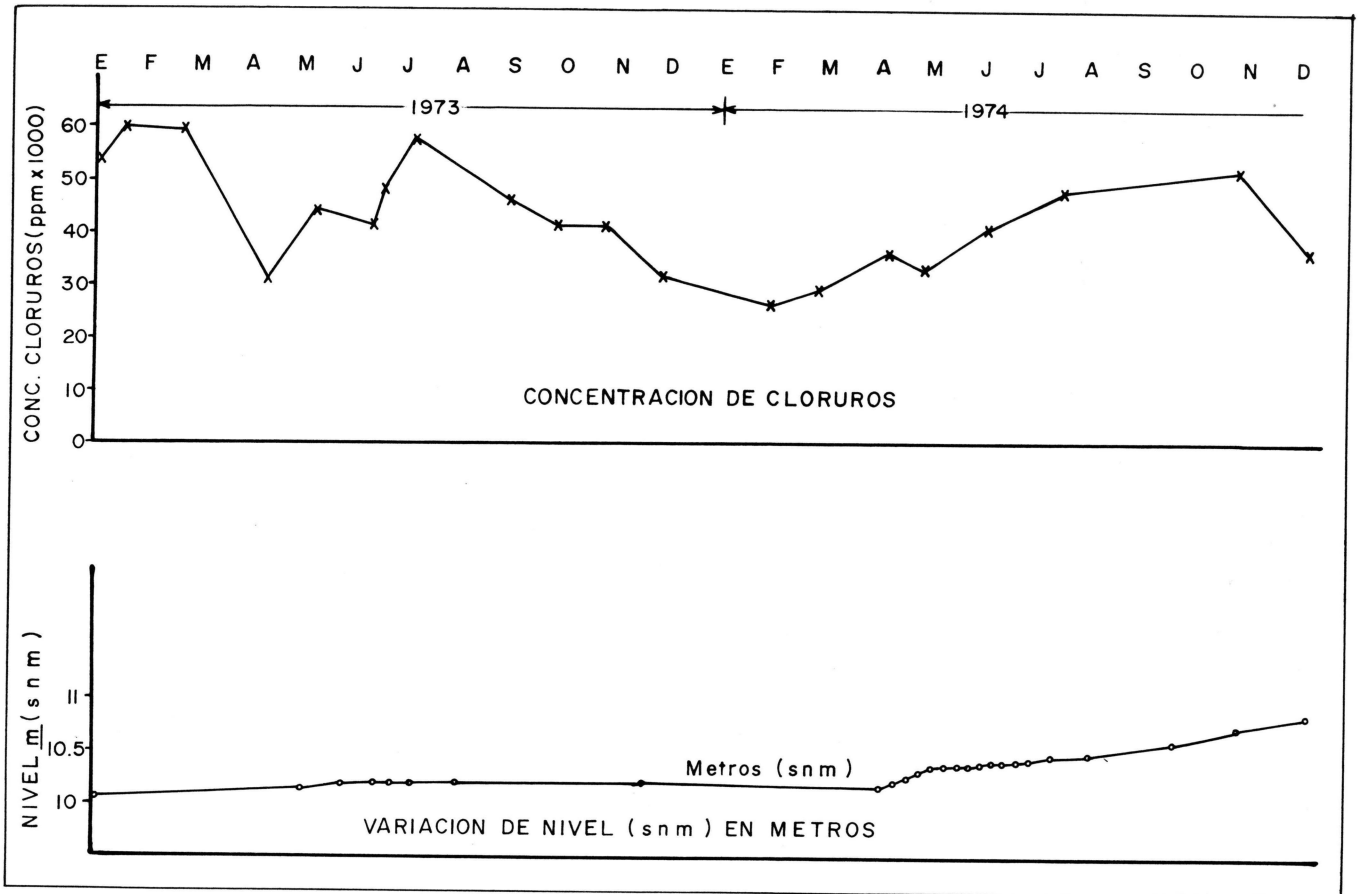


Figura 3. Laguna de evaporación, Cerro Prieto: Concentración de cloruros y variación de nivel.

Tabla 2. Principales componentes químicos de la salmuera de la laguna de evaporación (9 julio 1974).

Componente	ppm
Sodio	20 412
Potasio	4 950
Calcio	2 169
Litio	68
Cloruros	47 462



Figura 4. Tuberías de descarga.



Figura 5. Tuberías de descarga.

Silenciadores verticales. Se consideró conveniente que cada pozo tuviese además de la línea de drenaje, un silenciador vertical para no interrumpir su operación durante el mantenimiento o limpieza de la línea o cualquier otra

maniobra. Dichos silenciadores se construyeron de concreto en su parte principal y se equiparon con chimenea de madera. Han dado buen resultado.

Depósitos en las tuberías. Como en otros campos, en Cerro Prieto se han tenido depósitos de sales en las tuberías de producción de los pozos (ver análisis, Tabla 3). Con el fin de proteger al máximo las tuberías de producción, se están valorando los resultados de los diversos métodos de limpieza: en frío, en caliente, y por métodos químicos.

Depósitos en la turbina. Los depósitos en la turbina después de un año de operación resultaron ser mínimos,

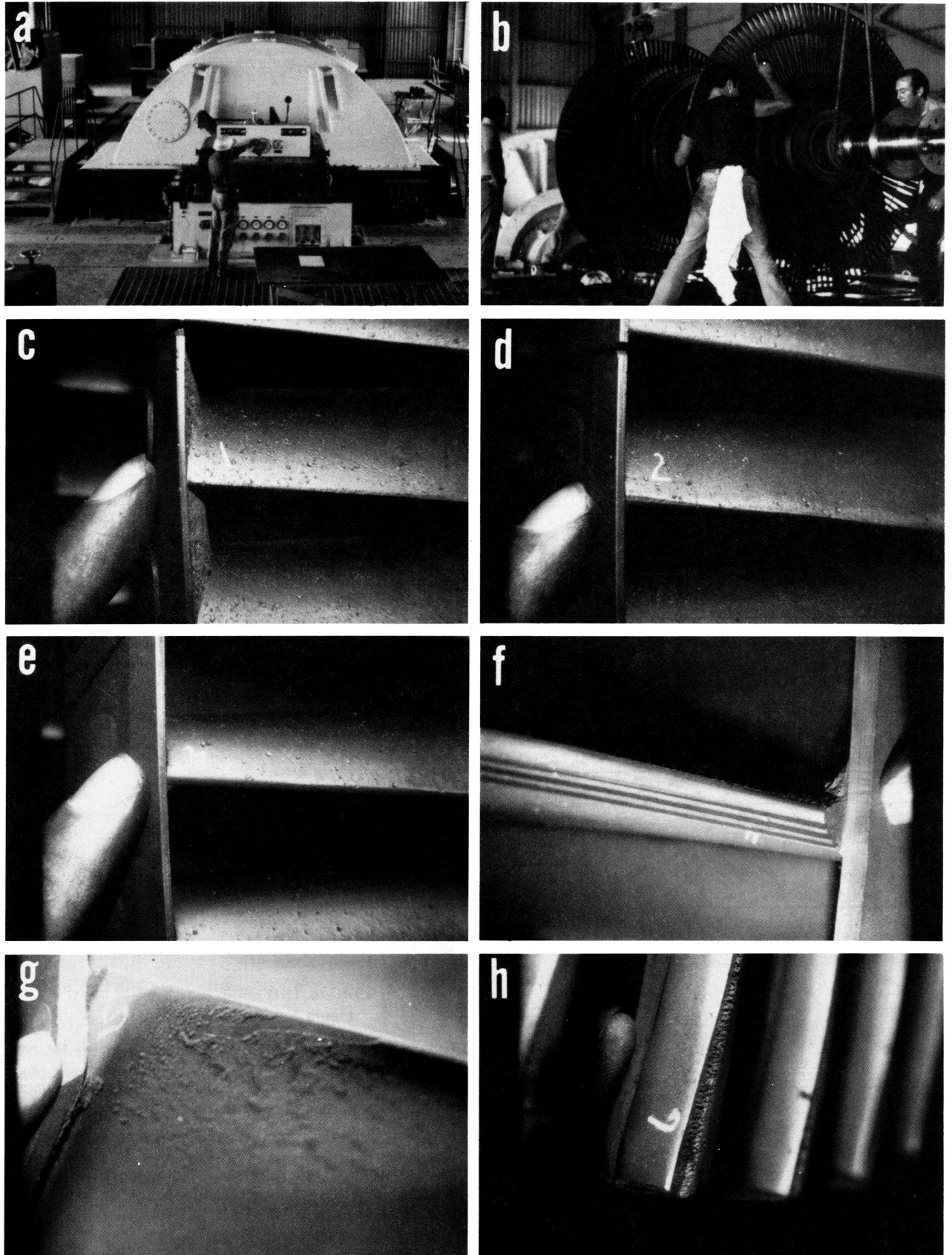


Figura 6. Planta geotérmica de Cerro Prieto, Unidad 2: Estado de la turbina después de un año de operación. (a) Planta geotérmica de Cerro Prieto, Unidad 2. (b) Extracción de la turbina. (c) Alabes de la primera rueda. (d) Alabes de la segunda rueda. (e) Alabes de la tercera rueda. (f) Alabes de la cuarta rueda. (g) Alabes de la quinta rueda. (h) Alabes de la sexta rueda.

Tabla 3. Análisis químico de incrustaciones en tuberías de pozos (% peso).

Determinación	Como	M-5	M-6	M-7	M-10
Sílice	SiO ₂	15.1	T	1.8	19.5
Hierro	FeS	83.4	T	1.2	1.6
Calcio	CaCO ₃	1.5	97.5	93.0	75.5
Magnesio	MgCO ₃	T	2.5	4.0	2.2
Profundidad (m)		604	-	200	-

T = trazas

Tabla 4. Análisis químico de depósitos en la turbina (% peso).

	1a Rueda	5a Rueda	Toberas (1er P.)	Toberas (6 to P.)
Sílice (SiO ₂)	0.9	0.6	3.6	0.4
Hierro (FeS)	78.7	50.5	8.1	31.4
Calcio (CaCO ₃)	0.0	0.0	35.9	0.0
Magnesio (MgCO ₃)	0.1	0.1	5.4	0.0
Sodio (NaCl)	T	T	12.8	T
Azufre (S)	0.3	-	-	55.5

T = trazas

la mayor parte muy suaves y fácil de desprender. Se eliminaron con chorro de arena fácilmente y solo bajo la banda de la primera y segunda rueda, así como en la parte convexa de las toberas del primer paso se tuvo un depósito relativamente duro (análisis, Tabla 4 y Fig. 6).

Sistema de Agua de Enfriamiento

Pozo caliente. El pozo caliente se tenía descubierto y se cubrió para evitar la contaminación por sulfhídrico y vapor en esa area de la planta. Se cubrió con lámina de aluminio protegida con recubrimiento epóxico. Se obtuvieron buenos resultados.

Protección de concreto armado. El concreto armado en contacto con el agua de enfriamiento recirculante se protegió con un recubrimiento del tipo alquitrán de hulla epóxico, con un espesor de 20 milésimas. El equipo de acero expuesto en la torre se protegió también con recubrimiento similar, igualmente todo equipo de acero en contacto con el agua de enfriamiento. Se han tenido excelentes resultados con esta protección.

Acondicionamiento de agua de enfriamiento. Durante los primeros meses de operación se tuvo un problema grave de proliferación excesiva de bacterias corrosivas, abatimiento de pH y aumento de sulfatos (análisis, Tabla 5 y Fig. 7). Actualmente se controla esto con el uso de biocidas contienen organotín, bisticianato, policlorofenol, y dispersantes y además removiendo los depósitos manualmente en forma periódica.

Enfriamiento de hidrógeno y aceite. En algunas plantas geotérmicas se usan tubos de aluminio para estos sistemas y no han tenido problemas. En nuestro sistema fue necesario cambiar los tubos a acero inoxidable y/o titanio debido a que se tuvieron problemas de picaduras en los tubos de aluminio. El titanio es el que ha dado los mejores resultados.

Tabla 5. Análisis químico del agua de enfriamiento (Unidad 2).

Determinaciones	Primeros meses de operación (730530)	Actualmente (750331)
pH	5.1	7.3
Dureza calcio (CaCO ₃)	212	0
Alc. F. (CaCO ₃)	0	0
Alc. M. (CaCO ₃)	8	92
Cloruros (Cl)	34	9
Sulfatos (SO ₄)	2256	360
Sílice (SiO ₂)	16	1
Sulfuros (H ₂ S)	85	4
Cond. (mmhos)	5500	1075

Análisis bacteriológico del agua de enfriamiento (Unidad 2)

Especies	(750521)	(750331)
<i>Acromobacter</i>	20 × 10 ⁴	-
<i>Aerobacter</i>	30 × 10 ⁴	-
<i>Bacilos</i>	15 × 10 ⁴	-
<i>Proteus</i>	10 × 10 ⁴	-
Conteo total de bacterias	75 × 10 ⁴	5 × 10 ⁴

Disulfuro-bacteria +, Pseudomonas +, Flavobacteria +.

Tuberías de agua de enfriamiento. Las tuberías principales del sistema de enfriamiento de acero inoxidable han dado buen resultado, sin embargo para un futuro diseño se ha pensado en instalar tuberías de fibra de vidrio en ciertas partes.

Agua de derrame. El agua de derrame, que es vapor condensado, conteniendo biocidas, azufre, materia orgánica en suspensión, y sales se está enviando a la laguna de evaporación; como es un flujo relativamente pequeño no afecta las características del agua en dicha laguna.

Agua para Servicios Generales de la Planta

Inicialmente se usó agua del sistema de enfriamiento para los servicios de la planta sin embargo se tuvo proliferación de bacterias que hizo necesario el uso de biocidas obligando a usar un suministro de agua exterior. Se usa el agua del sistema de riego del valle.

Aspersión Salina

Por limpieza inicial y desarrollo. Al descargar el flujo inicial y desarrollarse los pozos verticalmente se provoca contaminación salina que en ocasiones ha alcanzado incluso la planta y sembrados cercanos, por lo cual se piensa efectuar el desarrollo horizontalmente aprovechando algunas experiencias tenidas anteriormente y en las cuales no se tuvo ningún problema de erosión en el cabezal. En dicha experiencia se evitaron los orificios de regulación, pues con la arena se provoca erosión en el lado de la descarga y por lo tanto para regular la descarga se piensa usar tuberías de poco diámetro inicialmente.

Limpieza de los pozos en operación. Cuando ha sido necesario cerrar un pozo para desincrustarlo o repararlo, se ha descargado verticalmente el menor tiempo posible; sin embargo se estudia la forma de efectuar la misma maniobra expuesta más arriba, para desalojar los recortes

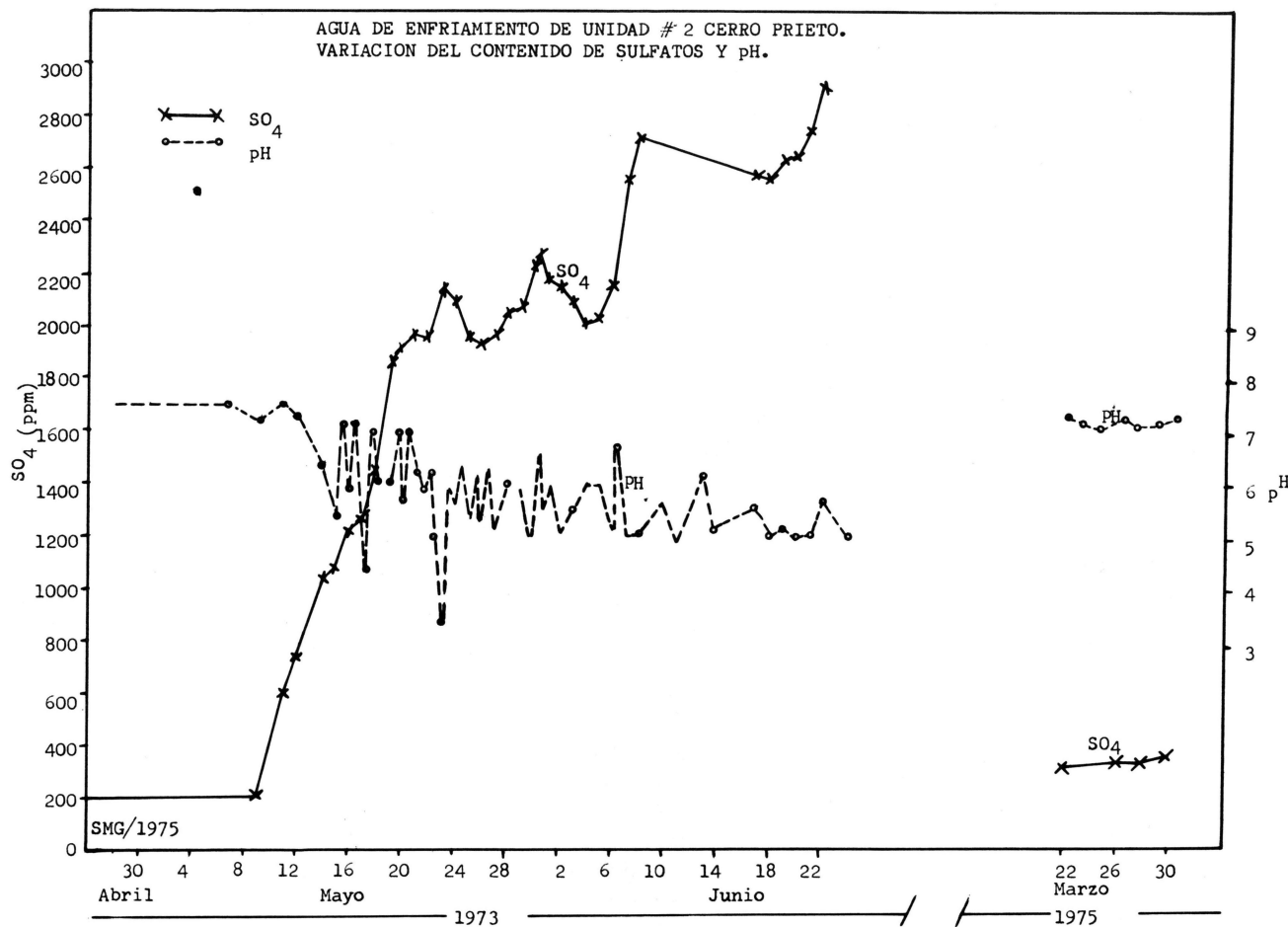


Figura 7. Agua de enfriamiento de Unidad 2, Cerro Prieto: Variación del contenido de sulfatos y pH.

o arena al ponerlo en producción nuevamente. Se considera suficiente descargar a través de una línea horizontal de 8 pulg. diámetro para este caso y usar el final de estas líneas de descarga un silenciador horizontal.

Protección de Tuberías y Cabezales

Protección catódica. La elevada salinidad existente en el subsuelo en el área de los pozos, así como variaciones de la misma en las diversas capas de arcilla, arena, o lutitas, provocan necesariamente un ataque a la pared exterior de las tuberías de los pozos. La magnitud y efectos del mismo no se tiene valorada, sin embargo se han presentado fallas en tuberías de varios pozos cuyo origen se desconoce, pudiendo ser ésta una de las causas. Una solución sujeta a estudios actualmente, para proteger las tuberías o al menos la parte de éstas en contacto con el terreno, puede ser la protección catódica. Siendo necesaria la opinión de expertos en la materia antes de aprobar o desechar dicho método.

Protección contra corrientes parásitas. Se consideró conveniente tener aislado cada pozo del ramal correspondiente, para evitar la conducción y/o formación de corrientes parásitas, entre ellos mismos o entre ellos y la planta, lo cual podría aumentar la corrosión galvánica. Para tal efecto se utilizaron juntas bridadas aisladas eléctricamente en la línea de vapor de cada pozo.

Arbol de válvulas y cabezales. Se eliminaron los prensa-estopa existente en el cabezal y se evitó el contacto metálico en lo posible con las tuberías de anclaje en el contrapozo, rellenando con cemento el espacio anular entre tuberías después de aplicar el recubrimiento adecuado.

Protección de Sistemas Eléctricos

Aislamiento de áreas. Se instaló un sistema de aire acondicionado en la sala inferior de tableros de control, aislando el área con puertas de cierre automático y sellando las entradas y salidas de cables. Dicho sistema está equipado con filtros de carbón activado y/o de permanganato de potasio en alumina para eliminar el H₂S principalmente.

Protección de tableros y gabinetes. Para la protección individual de tableros y gabinetes con equipo eléctrico estandar, se utilizaron ventiladores pequeños y sistemas de recirculación a través de filtros absorbentes de H₂S.

Protección de la subestación. El sistema de aire de los compresores se protegió equipándolo con filtros de permanganato-alumina. Las tuberías de aire del sistema, que eran de cobre, se cambiaron por acero inoxidable. Los tableros exteriores se protegieron colocando bolsas conteniendo permanganato de potasio en alumina y sellando perfectamente las puertas y salidas de cables. Los contactos eléctricos y el alambrado de cobre expuesto son de cobre

estañado o cadminizado. Los contactos de alto voltaje se recubrieron con oro (Fig. 8). La línea de tierra se usó de cobre en el suelo y de aluminio en la superficie. Se ha obtenido buenos resultados.

Protección de las conexiones. Se utilizaron principalmente conexiones estándar de tornillo y se eliminaron las de abrazadera principalmente en los interruptores.

Protección de alambrado. En torre de enfriamiento y exterior de la planta, se protegió el alambrado exterior mediante lámina de aluminio, y sellando las trincheras.

Control de los Gases Incondensables de Escape

Instalación de chimeneas de gran altura. (Fig. 9.) La descarga a mayor altura ayudó grandemente a evitar el problema de la contaminación por el H₂S. Se tienen por lo regular vientos noroeste-sudeste o viceversa, que alejan el gas H₂S descargado. Sin embargo, debido a la mayor densidad de este gas comparado con el aire, tiende a asentarse y desafortunadamente algunos días sin viento causan mayor contaminación en el área de la planta (Tabla 6). Las chimeneas se construyeron de tubería de fibra de vidrio de 18 pulg. diámetro, quedando la descarga de gases a 40 m del piso, reduciéndose con ésto la contaminación en el área de la planta.

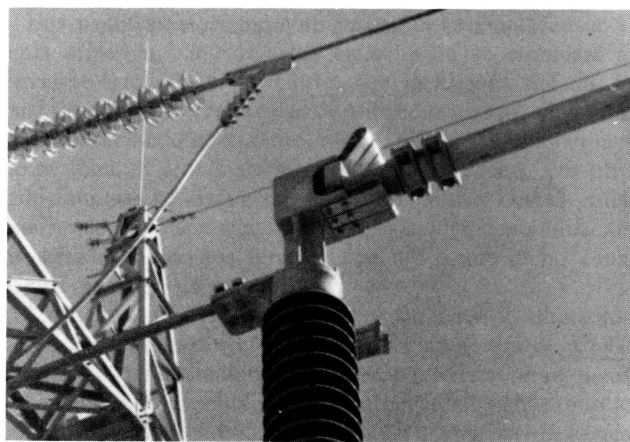


Figura 8. Contactos de alto voltaje.



Figura 9. Instalación de chimeneas de gran altura par a evitar el problema de contaminación.

Tabla 6. Gases descargados en la chimenea de la Unidad 2 de la planta geotermo eléctrica de Cerro Prieto.

Determinación	% Peso	kg/hr
CO ₂	62.5	3440
H ₂ S	6.5	355
Aire y Gases Diversos	6.7	365
H ₂ O (Condensado)	24.3	1340
Total	100.0	5500

Fecha de muestreo:	9 de julio de 1973
Generación:	32 MW
Flujo de vapor:	300 T/hr
Flujo de gases medido a la descarga de los eyectores:	5500 kg/hr

<i>Condiciones del agua de enfriamiento:</i>	
pH:	5.4
Temperatura del agua fría:	32°C
Temperatura del agua caliente:	47°C

Ducto de gases a la laguna de evaporación. (Figs. 10 a 12.) En la base de las chimeneas se conectó un ducto de 23 pulg. diámetro que va de la planta a la laguna de evaporación con un recorrido de 1250 m, está equipado con unos extractores de gran diámetro con el fin de impulsar los gases hasta la laguna. Se alejaron con esto los gases del área de la planta, principalmente el H₂S descargado por las chimeneas obteniéndose una disminución efectiva de la contaminación en dicha área. Sin embargo resulta imposible eliminar totalmente la contaminación ya que aún alejando esta porción de gas, existirá H₂S en el área de la planta, debido a que es parcialmente disuelto por el agua



Figura 10. Ducto de gases a la laguna de evaporación.

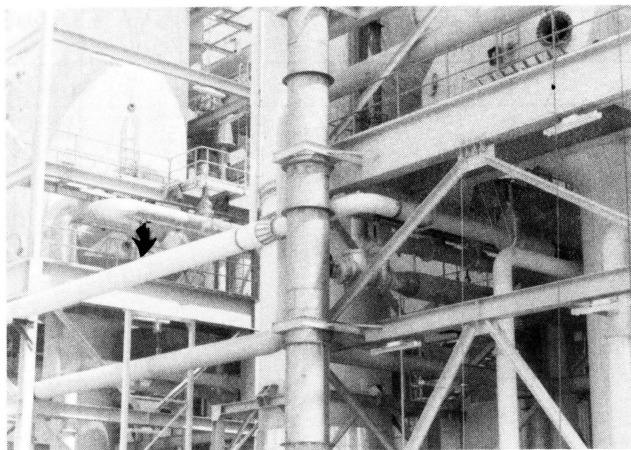


Figura 11. Ducto de gases a la laguna de evaporación.

de enfriamiento en el condensador y enfriadores de eyeectores, y liberado en la torre.

Protección de la Turbina Durante Paros

Sopleteo con aire caliente. Se ha utilizado un sistema de sopleteo con aire caliente, el cual elimina el vapor condensado y los gases de la turbina durante paros, eliminando el peligro de corrosión.

Uso de compuestos químicos. Nebulizando 2-metil piperazina mediante un eyector y/o ciertos compuestos anticorrosivos especiales existentes en el mercado.

Sistema de Alumbrado del Campo

La protección de este sistema resulta complicada debido a que además del H₂S existente en el aire que ataca el cobre, se tiene aspersión salina que ataca al aluminio, sin embargo se considera este último más fácil de proteger. Se recomendó este material para el alumbrado además del uso de contactos sellados. La solución ideal sería contar con un sistema subterráneo, lo cual además facilitaría las maniobras del equipo de reparación de pozos.

Eliminación de Ruido y Contaminación

Sistema de regulación de flujo. Debido a que se tiene una descarga casi constante de vapor a la atmósfera a través

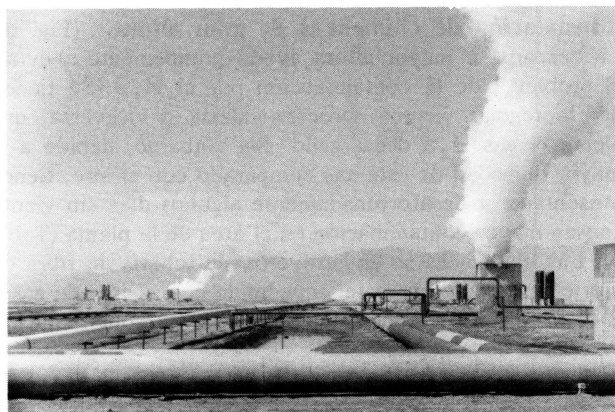


Figura 13. Sistema de regulación de flujo.

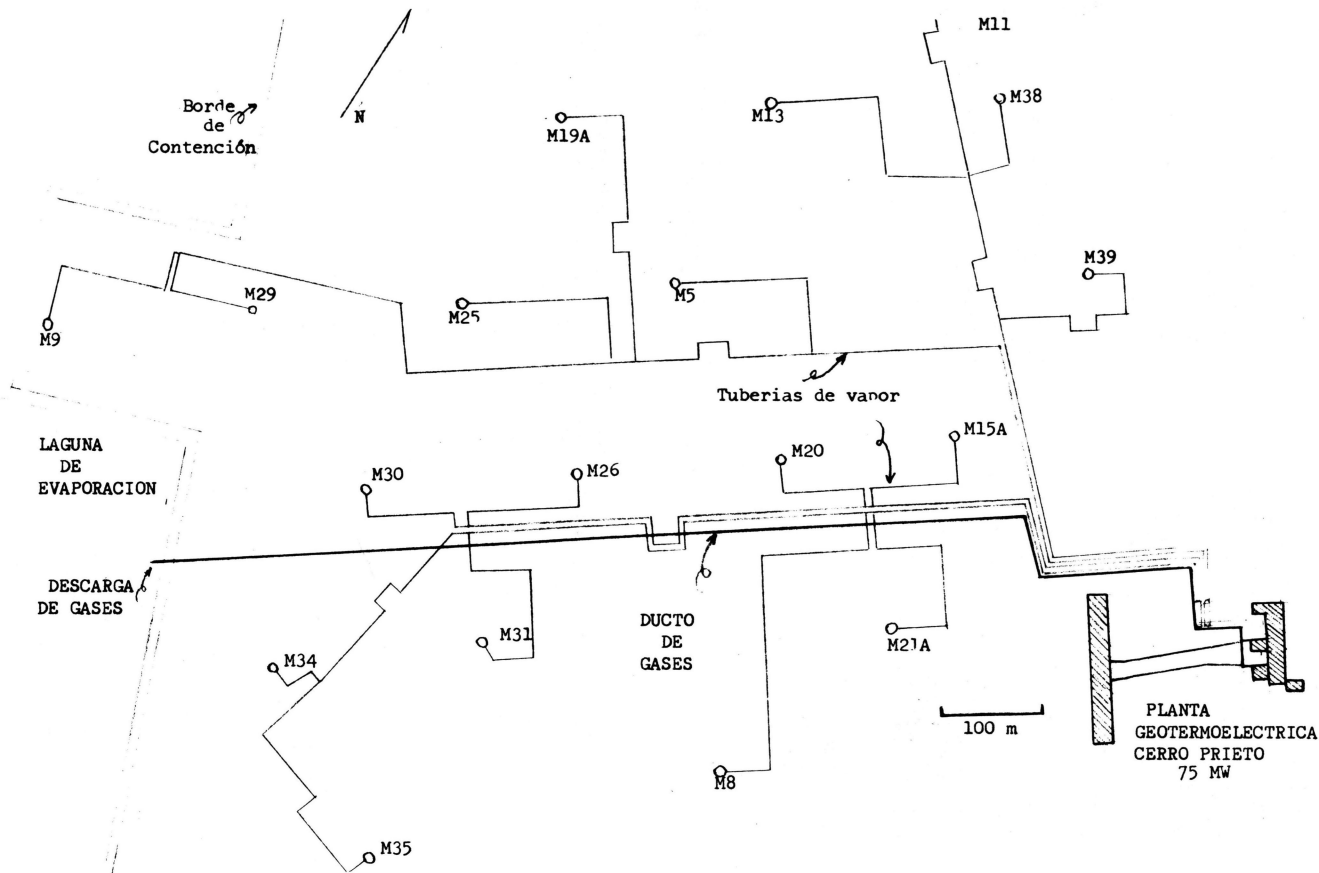


Figura 12. Trayectoria del ducto de gases de la planta a la laguna de evaporación.

del sistema de regulación de flujo (Fig. 13) se localizó éste lo más alejado de la planta que fue posible. Aunque se tiene equipado con silenciadores que eliminan el ruido, provocaría contaminación atmosférica fuera de control, con los consiguientes problemas de corrosión. Quedó situado este sistema a considerable distancia de la planta aproximadamente 200 m, obteniéndose buenos resultados.

Se dotó a las purgas continuas e intermitentes en el área de la planta de captadores adecuados para disminuir en lo posible el ruido, evitar la aspersion de condensado y corrosión.

Protección de las Curvas

La erosión por arena de las curvas a la descarga de los pozos y fondo de los separadores aunque no es problema grave, se ha presentado en operación en otros campos y en algunos de nuestros pozos. La erosión en las curvas se evitó instalando tubos a manera de una conexión T. La erosión por arena en el fondo de los separadores se evita purgándolos de tiempo en tiempo.

Protección del Personal

Para protección del personal en operación se instalaron equipos detectores de H_2S con alarma en la nave de control y en la casa de máquinas y se cuenta con un detector portátil para el campo así como máscaras antigas.

CONCLUSIONES

Los problemas de contaminación que pudiera causar el agua separada con sus sales en solución se eliminará al enviarse ésta al Mar de Cortés o a la Laguna Salada, la cual tiene una gran capacidad de almacenamiento, sin contar la evaporación. Por lo tanto, aún para futuras ampliciones no se tendrán problemas con este contaminante. Por otro lado, aunque se atraviezan zonas de cultivo con el canal que ha de conducir esta agua, no se tendrá contaminación de agua salina en los terrenos, debido a que dicho canal estará revestido de concreto.

La laguna de evaporación cubre un área de alrededor de 16 km², de un terreno que anteriormente era de arcilla salitrosa y manifestaciones termales, por lo cual no se puede considerar como cambio ecológico perjudicial sino todo lo contrario, ya que podrá utilizarse dicha laguna para deportes acuáticos y cinegéticos.

El vapor con sus gases descargando directamente a la atmósfera por pozos en desarrollo o a través de las válvulas

de regulación, provoca una ligera contaminación del área, sin embargo no se tienen poblados cercanos y la planta está en un sitio estratégicamente paralelo a la dirección de los vientos, lo cual disminuye la posibilidad de contaminación en la misma por esta causa.

El vapor y gases desalojados en la torre de enfriamiento provocan la mayor contaminación en el área de la planta; sin embargo, dicha torre está alejada de la casa de máquinas más de 100 m y en posición paralela a los vientos dominantes, lo cual disminuye el grado de contaminación.

Los gases descargados en la chimenea, a la descarga de los eyectores, se liberan a gran altura (40 m) lo cual disminuye grandemente la contaminación a nivel del piso. Además se cuenta con el ducto de gases que los aleja a un kilómetro de distancia de la planta.

La contaminación provocada por el H_2S en la atmósfera obligó a tomar las medidas de protección y enunciadas, principalmente para proteger los sistemas eléctricos, las cuales variaron desde recubrir con oro los contactos de alta tensión, hasta el aislamiento de áreas equipándolas con aire acondicionado y filtros especiales para mantenerlas libres de gases corrosivos.

El uso de detectores de H_2S con alarma se consideró indispensable para proteger los sistemas eléctricos en áreas cerradas, así como para protección del personal en la casa de máquinas y sus alrededores, especialmente durante los días sin viento en los cuales el nivel de contaminación por este gas en ciertas áreas o rincones puede alcanzar niveles peligrosos.

El calor desalojado en el área afecta indudablemente el equilibrio ecológico existente en el lugar, sin embargo, por la gran extensión del Valle de Mexicali y por ser un valle abierto esta alteración prácticamente es nula. Pudiendo decirse lo mismo sobre la humedad provocada por el vapor descargado a la atmósfera.

El ruido provocado por el vapor escapando directamente a la atmósfera es amortiguado con silenciadores y únicamente las descargas directas de agua separada a la laguna de evaporación, provocan un ruido sordo que llega muy apagado a la planta, situada a más de 1 km de distancia.

Finalmente, con lo sexpuesto antes, podemos ver que en Cerro Prieto la contaminación provocada por el uso de flúidos geotérmicos tiene soluciones que no provocan alteración ecológica significativa, debido a las características del área, sin embargo, obliga a utilizar materiales o protecciones especiales en la planta de generación y sus sistemas auxiliares.