

## **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.

# Power Generation at Cerro Prieto Geothermal Field

JORGE GUIZA L.

Comisión Federal de Electricidad, Ródano No. 14, 5o. piso, México 5, D.F., México

## ABSTRACT

The Cerro Prieto geothermal field is of the water-dominated type. Wells drilled to an average depth of 1300 m produce a water-steam mixture in a weight ratio which varies from well to well from 0.5:1 to 4:1. Wells are cased with 298-mm and 196-mm diameter piping, with slotted casing at the bottom.

Separated steam is utilized in a 75 000-kW power station, which has operated for about two years. Construction of a similar power station is underway to duplicate its capacity. Separation of the water-steam mixture is performed in cyclone Webre-type separators, which have demonstrated high efficiency as shown by the slight amount of deposits found on the turbine blades during inspection after one year of operation. Scaling of the wells has been experienced. Three low-output wells are now out of the line and about to undergo cleaning.

Separated water is now being disposed of in an evaporation pond. Problems encountered have not been insurmountable. The operation of the plant is a great success. The total potential of the Cerro Prieto field is yet to be known.

A new well drilled 1.5 km northwest of the area under exploitation to a depth of 2000 m has shown a bottom-hole temperature of 344°C and a maximum wellhead discharge pressure of 77 kg/cm<sup>2</sup> (g).

## INTRODUCTION

The Cerro Prieto geothermal field is located in the Mexicali Valley in the Colorado River delta, approximately 30 km south of the border of Mexico and the United States; and its existence is closely related to the San Jacinto fault.

This field is of the water-dominated type. The wells drilled in the area tap hot water from permeable strata located at an average depth of 1300 m. This water is at or below boiling point. It has been observed that the highest temperature at which this water can be found is the saturation temperature corresponding to the pressure exerted by a hydrostatic column of a height equal to the depth of the producing strata, taking into account the density modified by the salinity and temperature of the geothermal fluid. Thus the enthalpy of this water tends to increase with the depth of the producing strata, averaging 320 kcal/kg. This geothermal fluid flows to the surface through the producing wells.

## WELL DRILLING

To date, 32 deep wells have been drilled. Two of them turned out to be cold. The wells are drilled to a depth

of about 1300 m or until hot permeable strata are found, as indicated by the temperature elevation of the drilling mud, in some cases with circulation losses. The producing strata show a dip to the southeast.

These strata are formed at alternate beds of shale and sandstone, saturated with hot water. Overlying these strata there is a cap rock of impermeable clays about 700 m thick, and underlying the producing strata the granite basement has been localized.

Well drilling is accomplished with drilling rigs rated for 2200 m with a 290 000-lb derrick with 500-hp draw works powered by two 250-hp engines. Mud pumps are driven by 700 hp engines. The drilling string is FH 114-mm (4 1/2-inch) drill pipe and 165-mm (6 1/2-inch) drill collars. The mud system is of the bentonitic type, emulsified with 4 to 9% of diesel oil, with density from 1.09 to 1.24 g/cm<sup>3</sup>, and funnel viscosity of 39 to 44 sec Marsh. Solids content is kept between 8 to 15% and pH, from 7.5 to 10.5.

Normally a 660-mm (26-in.) diameter well is drilled to a depth of about 10 m, and 550-mm (22-in.) casing pipe is run and cemented. The drilling continues with a 508-mm (20-in.) well to a depth of 150 m and a surface casing of 406 mm (16 in.) is run. Then the drilling proceeds in a diameter of 381 mm (21 in.) to a depth of about 900 m or to the bottom of the clay cap rock. A 298-mm (11 3/4-in.) casing pipe is run and cemented. The drilling proceeds with a 270-mm (10 5/8-in.) diameter down to the producing area. A 194-mm (7 5/8-in.) production casing is run all the way from the surface. The casing string is designed to accommodate a slotted liner section of about 150 m at the lower end, to permit the geothermal fluid to flow into the well. The casing that has been used up to now has been J-55 with American Petroleum Institute (API) standard weight and buttress couplings, but casing failures have occurred.

To avoid failure of the production casing, the well is not permitted to heat up rapidly. This is controlled as follows: once the well is completed and the drilling mud is substituted for water, the water column begins to get hot gradually and the pressure at the wellhead begins to rise. At this point, the gases and steam produced are vented to the air through a small valve (half an inch) regulating it in order to permit the water column to reach its highest temperature in a period of not less than 15 days. This allows the well and its surroundings to attain a uniform temperature, eliminating large temperature differentials between the casing and the formation, and allowing a simultaneous expansion of the cement and the casing. A new casing program contemplates the use of extra-heavy wall casing pipe (beyond API standards) and Hydril joints.

## CEMENTING

The slurry used for cementing contains API type G cement, silica flour, perlite, and retarders. The cementing operation of the production casing is performed in two stages utilizing a type J cementing collar. While the cementing operation proceeds, care is taken to vary the proportions of the components in order to produce a more dense cement, so as to anchor the lower part of the casing. A lighter cementing mixture is also utilized to produce a packing effect at upper levels to permit, to a certain extent, expansion of the production casing. Because of the rapid increase of temperature at the well bottom when circulation is not maintained, it is necessary to cool down the well bottom and the surrounding strata before the cementing operation is performed. This is done by adding ice to the circulating mud, if the temperature is very high.

## WELLHEADS

At the wellhead allowance is made for the production casing to expand. For this purpose an expansion spool is connected to the surface casing and over it is connected the entire valve tree. The production casing expands inside the expansion spool. This arrangement permits an easier connection to the platform equipment, and the expansion of the outer casing is absorbed by an expansion joint at the top of the valve tree. The separator is connected by means of a prefabricated curve to the expansion joint. Lateral discharges are installed to connect the silencer.

## STEAM PRODUCTION

The geothermal fluid is flashed into steam as the hydrostatic column is reduced to the sustained wellhead pressure. This steam-water mixture is separated at about 7.58 kg/cm<sup>2</sup> in Webre-type separators, installed at the well platform.

The steam is sent via a water trap (ball valve) to the main steam lines which take it to the power station. Before entering the steam turbines the steam goes through secondary separators to remove any condensate that might have formed in the steam lines. The turbines are two 37 500-kW impulse double-flow type, 3600 rpm, and similar in every respect to a conventional steam turbine. These turbines are coupled to hydrogen-cooled electric generators of 37 500 kW at 13.8 kV, self-excited with static exciters.

The exhaust steam from the turbines is sent to barometric condensers. The noncondensable gases are extracted by means of steam jet air ejectors with inter and after condensers of the barometric type. The steam inlet pressure is 5.27 kg/cm<sup>2</sup> and the exhaust pressure is 89 mm of mercury (absolute). The condensed steam mixes with the circulating water which is cooled in an induced-draft cooling tower.

The separated water is sent either to a vertical twin-tower silencer or piped directly from the separator to an evaporating pond. This latter method of handling the separated water has solved the problem of scaling in the culverts, caused by the high chemical content of this water. Silica is the primary chemical which produces the scale; however, other more water-soluble chemicals, such as chlorides of sodium, potassium, and lithium, may also contribute to the scaling. At Cerro Prieto, the chemical content of the separated water is as follows: sodium chloride, 20 600 ppm; potassium chloride, 3700 ppm; lithium chloride, 150 ppm; silica, 900

ppm; calcium chloride, 1200 ppm; and others, 250 ppm. The possibility of recovering these chemicals is now being studied.

## ELECTRICITY GENERATION

Mexico's power generation is primarily based on thermal stations, which constitute 57.3% of the total installed capacity. The balance is generated by hydro stations constituting 42.7%.

The total generating capacity of Mexico as of March, 1974, was 7938 MW. The geothermoelectric power plant of Cerro Prieto is included in the thermal stations figure, and with its 75 MW it constitutes only 1% of the total installed capacity. Cerro Prieto is the only geothermal power station in commercial operation in Mexico. The first unit was inaugurated 4 April 1973, and the second unit on 1 September 1973.

Turbine No. 2, the first one in operation, was opened after completing one year on the line, and the inspection showed the turbine's internal parts to be in very good condition. Only slight deposits were found on the blades: corrosion was absent, and erosion of the last stages could be considered normal, as it was evident only in the last row, beyond the zone protected by the stellite on the leading edges of the blades. This proves that the separating and purifying equipment have been performing well, that the selection of construction materials was appropriate for corrosion resistance, and that the turbine was well designed.

Turbine No. 1 was also opened for inspection after completing one year of operation and it was found in a condition similar to that of Turbine No. 2. A second inspection of Turbine 2 was made in April 1975, after the second year of operation; this time more deposits were found on the blades of the first stage. Initial investigations of the cause of this phenomenon show that the build-up of scale in the separators might have diminished their efficiency and that the water droplets carried with the steam deposited their dissolved salts on the turbine blades. A program of periodical cleaning of the separators' internal parts has been initiated.

It has also become evident that the central pipes of the separators have to be extended in order to increase their efficiency.

## SUBSIDENCE

A low-range, high-precision level survey in coordination with a U.S. survey has been carried out since exploitation of the geothermal wells was initiated. To date, no subsidence of the land in the area under exploitation has been detected.

## FUTURE PLANS

The project for the extension of the Cerro Prieto power plant has been initiated to double its capacity by August 1977. A long-range program contemplates the following extensions: a low-pressure turbine of 30 MW to utilize steam from a second flashing by May 1978; Unit No. 6, 55 MW by June 1979; Unit No. 7, 55 MW by June 1980; Unit No. 8, 55 MW by June 1981; and Unit No. 9, 55 MW by June 1982.

The total installed capacity of geothermal power stations will be 400 MW by June 1982. This program is regulated by the demand of the Tijuana-Mexicali system, but may

be changed according to the operation experience that is being obtained.

## DISPOSAL TECHNIQUES

In order to properly dispose of the separated water and not to cause agricultural land or river contamination, an evaporating pond was built, and it has been utilized since the inauguration of the plant. This evaporating pond is calculated to have enough capacity for the disposal of the separated water up to an installed capacity of 180 MW. Once this capacity has been reached a channel must be built to discharge the overflow of this pond to the Laguna Salada, a dried-up lake.

The noncondensable gases contained in the separated steam, in an average concentration by weight of 1.23% with 80% of CO<sub>2</sub>, 19% of H<sub>2</sub>S, and minor quantities of ammonia, are discharged into the atmosphere by means of stacks 40 m high made out of fiberglass. These stacks provide a fair dispersion of the H<sub>2</sub>S. In order to improve this condition a resin-lined steel gas duct has been built and the noncondensable gases are discharged over the water at the evaporation pond. The H<sub>2</sub>S in the power station area is barely noticeable.

## SPECIAL PROBLEMS ENCOUNTERED

As previously mentioned, casing failures have been experienced; one in well M-13 permitted the geothermal fluid to travel below ground about 150 m and to produce a crater 10 m in diameter. It was necessary to inject heavy mud and cement slurry by means of tubing run through snubbers

inside the well down to the bottom in order to "kill" it. This well has now been redrilled and repaired and is about to be put in operation.

Another casing failure occurred in well M-8, where the entire valve tree was blown up when the expansion of the production casing knocked down the casing head and produced a blowup that had to be controlled by installing a new casing head and a blowout preventer to shut the well down.

One of the earliest problems during the initial operation of the power plant was caused by sulfur bacteria that heavily polluted the cooling tower and the circulating cooling water system, promoting the corrosion of the generator hydrogen coolers and of the turbine lubricating oil coolers, which are made out of aluminum tubes. The problem has been overcome by the use of biocides and by replacing the aluminum cooler tubes with titanium or stainless steel tubes.

## GEOOTHERMAL POTENTIAL

The total geothermal potential of Cerro Prieto is yet to be known. With the data collected to date, the proven potential is 150 MW for 33 years, considering the reservoir as an isolated system, without recharge.

Well M-53, located 1.5 km northwest of the area under exploitation and drilled to a depth of 2000 m, showed a bottom-hole temperature of 344°C and a maximum wellhead discharge pressure of 77 kg/cm<sup>2</sup> (g). An output test of this well discharging under restricted conditions through two 50.8-mm (2-in.) lines gave a mass flow of 133 ton/hr, equivalent to 5 MW. This well has largely amplified the known reserves.

# Generación de Energía Eléctrica en el Campo Geotérmico de Cerro Prieto

JORGE GUIZA L.

Comisión Federal de Electricidad, Ródano No. 14, 5o. piso, México 5, D.F., México

## RESUMEN

El campo geotérmico de Cerro Prieto, es del tipo de producción con predominio de agua. Los pozos perforados a una profundidad promedio de 1300 m producen una mezcla de agua-vapor con una relación en peso que varía de pozo a pozo desde 0.5:1 hasta 4:1. Los pozos están ademados con tubería de 298 y 196 mm de diámetro, con ademe ranurado en la parte inferior.

El vapor separado se utiliza en una planta termoeléctrica de 75 000 kW, que está próxima a cumplir dos años de operación. La ampliación de la misma está en camino para duplicar su capacidad. La separación de la mezcla agua-vapor se lleva a cabo en separadores ciclónicos tipo Webre, que han demostrado alta eficiencia como ha quedado evidenciado por la ligera cantidad de depósitos encontrados en las paletas de las turbinas durante la inspección efectuada después de un año de operación. Se ha experimentado incrustación de los pozos. Tres pozos de baja producción están ahora fuera de servicio y próximos a ser limpiados.

El agua separada se desecha a una laguna de evaporación. La operación de la planta es un éxito. El potencial total del campo de Cerro Prieto está aún por conocerse.

Un nuevo pozo perforado a 1.5 km hacia el nordeste del área actualmente en explotación hasta una profundidad de 2000 m tuvo una temperatura de fondo de 344°C y una presión máxima de descarga de 77 kg/cm<sup>2</sup> en la cabeza.

## INTRODUCCIÓN

El campo geotérmico de Cerro Prieto, está localizado en el Valle de Mexicali, sobre el delta del Río Colorado, aproximadamente 30 km al sur de la frontera entre México y los Estados Unidos y su existencia está altamente relacionada con la falla de San Jacinto.

Este campo es del tipo de predominio de agua. Los pozos perforados en el área, extraen agua caliente de estratos permeables, localizados a una profundidad media de 1300 m. Esta agua se encuentra por debajo o en su punto de ebullición. Se ha observado que la temperatura más alta a la cual esta agua puede encontrarse, es la temperatura de saturación que corresponde a la presión ejercida por una columna hidrostática de una altura igual a la profundidad del estrato productor, tomando en cuenta la densidad del fluido geotérmico modificado por la salinidad y la temperatura. De esta forma, la entalpía del agua tiende a aumentar con la profundidad del estrato productor, promediando 320

kcal/kg. Este fluido geotérmico fluye a la superficie a través de los pozos productores.

## PERFORACIÓN DE POZOS

A la fecha, se han perforado 32 pozos. Dos de ellos resultaron fríos. Se perforan a una profundidad de alrededor de 1300 m o hasta que se encuentren los estratos calientes, permeables, como lo indica la elevación de temperatura de los lodos de perforación, en algunos casos con pérdidas de circulación. Los estratos productores muestran un echado hacia el sudeste.

Estos estratos están formados por capas alternadas de lutitas y areniscas, saturadas con agua caliente. Sobre los mismos existe una cubierta (cap rock) de arcillas impermeables de aproximadamente 700 m de espesor y debajo de los estratos productores se ha localizado el basamento granítico.

La perforación de los pozos se lleva a cabo con equipo de perforación con capacidad para 2200 m con mástil de 290 000 lb y malacate de 500 hp, movido por dos máquinas de 250 hp cada una. Las bombas de lodos están equipadas con motores de 700 hp. La tubería de perforación es FH de 114 mm, con lastra-barrenas de 165 mm. El sistema de lodos empleado, es del tipo bentonítico, emulsionado con 4 al 9% de aceite diesel, con densidad de 1.09 y 1.24 g/cm<sup>3</sup> y viscosidad de embudo de 39 a 44 segundos Marsh, manteniendo un contenido de sólidos de 8 a 15% y un pH de 7.5 a 10.5.

Normalmente se perfura un pozo de 660 mm de diámetro hasta una profundidad de aproximadamente 10 m, y se corre y cementa una tubería de ademe de 550 mm. La perforación se continúa con un diámetro de 508 mm hasta una profundidad de 150 m y se corre una tubería superficial de 406 mm. Luego, se continúa con un diámetro de 381 mm hasta una profundidad de 900 m, o hasta la parte inferior de la cubierta de arcilla. Se corre y se cementa una tubería de 298 mm, continuándose con una perforación de 270 mm hacia el área productora. Se corre una tubería de producción de 194 mm desde la superficie hasta el fondo. Esta tubería de producción está diseñada para llevar en la parte inferior un sección ranurada a lo largo de 150 m, para permitir que el fluido geotérmico fluya al pozo. La tubería de ademe que se ha usado hasta la fecha, ha sido J-55 con peso de acuerdo con los standares API y coples buttress, pero han ocurrido fallas de estos ademes.

Para evitar las fallas del ademe de producción, no se

permite que el pozo se caliente repentinamente. Esto se lleva a cabo como sigue: una vez que el pozo ha sido terminado y que el lodo de perforación ha sido substituido por agua, la columna de agua empieza a calentarse gradualmente y la presión en la cabeza empieza a elevarse. En estas condiciones, los gases y el vapor producidos se dejan escapar a la atmósfera a través de una válvula pequeña de 13 mm regulando su apertura para permitir que la columna de agua alcance su más alta temperatura en un período no menor de 15 días. Esto permite que el pozo y sus alrededores alcancen una temperatura uniforme, eliminando fuertes diferencias de temperatura entre el ademe y la formación, permitiendo una expansión simultánea del cemento y del ademe. Un nuevo programa de ademe que se ha elaborado, considera el uso de tubería de ademe de pared extra gruesa (mayor que los de los estándares API) y juntas Hydril.

## CEMENTACIÓN

La lechada de cemento que se usa contiene cemento API tipo G, harina de sílice, perlita y retardadores de fraguado. La operación de cementación de la tubería de producción se lleva a cabo en dos etapas, utilizando una zapata de cementación tipo J. A medida que la operación de cementación se lleva a cabo, se tiene el cuidado de variar las proporciones de los componentes con el objeto de producir un cemento más denso en la parte inferior para anclar la tubería y una mezcla cementante más ligera para tener un efecto empacante en los niveles superiores y permitir, en cierto grado, la expansión de la tubería de producción. A causa del rápido aumento de temperatura, en el fondo del pozo, cuando no se mantiene la circulación, es necesario enfriarlo así como también los estratos que lo rodean, antes de llevar a cabo la operación de cementación. Esto se hace agregando hielo al lodo de circulación si la temperatura es muy elevada.

## CABEZALES DE LOS POZOS

En el cabezal de los pozos se permite que el ademe de producción se expanda. Para este objeto, se conecta un carrete de expansión al ademe de superficie y sobre éste todo el árbol de válvulas. El ademe de producción se expande dentro del carrete de expansión. Este arreglo permite una conexión más fácil al equipo de la plataforma y la expansión del ademe exterior se absorbe mediante una junta de expansión que se instala en la parte superior de árbol de válvulas. El separador se conecta a la junta de expansión mediante una curva prefabricada. Las descargas laterales se instalan para conectar el silenciador.

## PRODUCCIÓN DE VAPOR

El fluido geotérmico se convierte instantáneamente en vapor a medida que la presión disminuye por reducirse la columna hidrostática, hasta la presión que se mantiene en el cabezal. Esta mezcla de vapor-agua se separa a alrededor de 7.58 kg/cm<sup>2</sup>, en separadores tipo Webre instalados en la plataforma del pozo.

El vapor se envía a través de una trampa de agua (válvula de bola), a las líneas principales de vapor que lo conducen a la planta de fuerza. Antes de entrar el vapor a las turbinas, se hace pasar a través de separadores secundarios para

eliminar cualquier condensado que se haya podido formar en las líneas de vapor. Las turbinas son dos unidades de 37 500 kW del tipo de impulso, doble flujo, de 3600 rpm y similares en todos aspectos a una turbina convencional de vapor. Estas turbinas están acopladas directamente a generadores enfriados por hidrógeno, de 37 500 kW a un voltaje de generación de 13.8 kV, auto-excitados con excitadores estáticos.

El vapor de escape de las turbinas se envía a condensadores barométricos. Los gases no condensables se extraen mediante eyectores de aire de vapor con condensadores intermedios y post-condensadores del tipo barométrico. La presión de entrada a las turbinas es de 5.27 kg/cm<sup>2</sup> con la presión de escape de 89 mm de mercurio (absoluto). El vapor condensado se mezcla con el agua de circulación, la cual es enfriada en una torre de enfriamiento de tiro inducido.

El agua separada, se envía ya sea a un silenciador de torres gemelas o mediante tuberías directamente del separador a una laguna de evaporación. Este último método de conducir el agua separada, ha resuelto el problema de incrustación de los canales, debido al alto contenido de substancias químicas de esta agua, principalmente sílice que es la que produce la incrustación, así como también de otras sales más solubles en agua, tales como cloruros de sodio, potasio y litio. En Cerro Prieto, el contenido de substancias químicas del agua separada, es como sigue: cloruro de sodio, 20 600 ppm; cloruro de potasio, 3700 ppm; cloruro de litio, 150 ppm; sílice, 900 ppm; cloruro de calcio, 1200 ppm; y otras sales, 250 ppm. Se estudia la posibilidad de recuperar estas sales.

## GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

La generación de energía eléctrica en México, está basada principalmente en plantas térmicas que constituyen el 57.3% de la capacidad total instalada. El resto es generado por plantas hidroeléctricas, constituyendo el 42.7%.

La capacidad total instalada en México en marzo de 1974, era de 7938 MW. La planta geotermeléctrica de Cerro Prieto está incluida en el dato de las plantas térmicas y con sus 75 MW constituye solamente el 1% de la capacidad total instalada. Cerro Prieto es la única planta geotérmica en operación comercial en México. La primera unidad fue inaugurada el 4 de abril de 1973 y la segunda unidad el 1ro. de septiembre del mismo año.

La turbina No. 2, que fue la primera que se puso en operación, se abrió después de cumplir un año en la línea y la inspección mostró las partes internas de la turbina en muy buen estado, puesto que solamente se encontraron ligeros depósitos sobre los álabes, no había corrosión y la erosión de las últimas etapas puede considerarse normal, ya que era evidente solamente en la última rueda en zonas más allá de la protección de stellite en los bordes de ataque de los álabes. Todo esto significa un buen comportamiento del equipo de separación y purificación, una buena selección de los materiales de construcción para resistencia a la corrosión y un buen diseño de turbina.

La turbina No. 1 también se abrió para inspección después de completar un año de operación y se encontró en condiciones similares a la turbina No. 2. En abril de 1975 se hizo una segunda inspección de la turbina No. 2, después del segundo año de operación, y en esta ocasión se encontraron más depósitos en los álabes de la primera etapa.

Las investigaciones iniciales de la causa de este fenómeno, indican que la formación de incrustación en los separadores, puede haber disminuido su eficiencia y las gotas de agua acarreadas con el vapor, depositado sus sales solubles sobre los álabes de la turbina. Se ha iniciado un programa de limpieza periódica de los separadores.

También se ha hecho evidente que el tubo central de los separadores, necesita ser prolongado con el objeto de aumentar su eficiencia.

## ASENTAMIENTO

Desde el inicio de la explotación del campo geotérmico, se ha efectuado una nivelación de largo alcance y alta precisión en coordinación con otra de los Estados Unidos. A la fecha, no se ha detectado ningún asentamiento del terreno en el área bajo explotación.

## PLANES FUTUROS

El proyecto para la ampliación de la planta de Cerro Prieto, ha sido iniciado para duplicar su capacidad en agosto de 1977. Un programa de largo alcance considera las siguientes ampliaciones: una turbina de baja presión de 30 MW para utilizar el vapor de una segunda evaporación del fluido geotérmico para mayo de 1978; Unidad No. 6, 55 MW para junio de 1979; Unidad No. 7, 55 MW para junio de 1980; Unidad No. 8, 55 MW para junio de 1981; y Unidad No. 9, 55 MW para junio de 1982.

Esto hace un total de 400 MW de capacidad instalada para junio de 1982. Este programa está regulado por la demanda del sistema Tijuana-Mexicali, pero podrá cambiarse, de acuerdo con la experiencia de operación que se está obteniendo.

## TÉCNICAS DE DESECHO

Con el objeto de desechar apropiadamente el agua separada sin causar contaminación de las tierras agrícolas o de los ríos, fue construida una laguna de evaporación, la cual ha sido utilizada desde la puesta en marcha de la planta. Esta laguna de evaporación, está calculada de suficiente capacidad para aceptar el agua separada hasta una capacidad instalada de 180 MW; de ahí en adelante, tendrá que construirse un canal para descargar el derrame de esta laguna en la Laguna Salada, que es un lago desecado.

Los gases no condensables contenidos en el vapor separado, en una concentración por peso promedio de 1.23%, con 80% de CO<sub>2</sub>, 19% de H<sub>2</sub>S, y pequeñas cantidades de amoníaco, se descargan a la atmósfera mediante chimeneas

de 40 m de altura fabricadas de fibra de vidrio. Estas chimeneas proporcionan una mediana dispersión del H<sub>2</sub>S. Con el objeto de mejorar estas condiciones, un ducto de acero recubierto interiormente con resinas ha sido instalado para descargar los gases no condensables sobre el agua de la laguna de evaporación. El H<sub>2</sub>S en el área de la planta, apenas puede notarse.

## PROBLEMAS ESPECIALES

Como se mencionaba previamente, han ocurrido fallas de las tuberías de ademe. Una de ellas en el pozo M-13, permitiendo que el flujo geotérmico migrara bajo tierra a una distancia de 150 m y produjera un cráter de 10 m de diámetro. Fue necesario inyectar lodos pesados y lechada de cemento, mediante una tubería que se corrió a través de estoperos en el interior del pozo hasta el fondo, para poderlo "matar." Este pozo ha sido reperforado y reparado y está próximo a ponerse en operación.

Otra falla de ademe, ocurrió en el pozo M-8, en donde el árbol de válvulas completo, voló por los aires cuando la expansión de la tubería de producción desconectó el cabezal y produjo una explosión que tuvo que ser controlada mediante la instalación de un nuevo cabezal y un preventor para poder cerrar el pozo.

Uno de los primeros problemas durante la operación inicial de la planta, fue causado por las bacterias de azufre que contaminaron intensamente la torre de enfriamiento y el sistema de circulación de agua de enfriamiento, provocando la corrosión de los enfriadores de hidrógeno del generador y de los enfriadores de aceite de la turbina, provista de tubos de aluminio. El problema ha sido eliminado con el uso de biocidas y con la sustitución de los tubos de los enfriadores por tubos de titanio, o de acero inoxidable.

## POTENCIAL GEOTÉRMICO

El potencial geotérmico total de Cerro Prieto, está aún por conocerse; con la información obtenida hasta la fecha, se ha estimado un potencial probado de 150 MW durante 33 años, considerando el acuífero como un sistema aislado, sin recarga. El pozo M-53, localizado a 1.5 km al nordeste del área en explotación y perforado hasta una profundidad de 2000 m, dió una temperatura de fondo de 344°C y una presión máxima de descarga de 77 kg/cm<sup>2</sup>. Una prueba de producción de este pozo descargando bajo condiciones restringidas a través de dos líneas de 50.8 mm, dió un flujo de 133 ton/hora, equivalente a 5 MW. Este pozo ha ampliado considerablemente las reservas conocidas.