

Los acuíferos que abastecen de agua a centrales térmicas de la CFE. Acciones para su mantenimiento y conservación

Mancera Salazar José María Departamento de evaluación y comportamiento de acuíferos. Comisión Federal de Electricidad Ciudad de México, jose.mancera@cfe.mx

Gama Martínez Francisco Javier Subgerencia de Estudios Geohidrológicos Comisión Federal de Electricidad. Ciudad de México. fgamamartinez@gmail.com

Resumen— La generación de energía eléctrica requiere de la transformación de energía, pasando por distintos estados hasta lograr la conversión a energía eléctrica. En una central generadora de energía térmica, se utiliza como fuente de energía calórica, combustible que calienta y convierte agua en vapor con un alto contenido en energía potencial, la cual al pasar por un generador eléctrico convierte la energía mecánica en eléctrica. Como se puede observar los principales insumos son el combustible y el agua, esta última obtenida en la mayoría de las centrales de los acuíferos presentes en los sitios. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) dentro de su Código de Ética, determina como parte de su responsabilidad social: “Identificar el impacto social y ambiental de las actividades que realizamos y, en su caso, controlar y mitigar el impacto de la misma”. En este documento se describen las acciones que realiza CFE para controlar y mantener la sustentabilidad de los acuíferos que abastecen de agua a las centrales térmicas.

Palabras clave: acuífero, piezometría, climatología, hidrología subterránea, hidrogeoquímica.

I. INTRODUCCIÓN

Para proporcionar el abastecimiento de agua a las centrales de generación termoeléctrica de la CFE, desde el año 1976, creó el Departamento de Geohidrología, hoy dependiente de la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil y de la Dirección Corporativa de Ingeniería y Proyectos de Infraestructura, realizó estudios enfocados a determinar la factibilidad de explotar acuíferos, así como la construcción de pozos para abastecer de agua a las centrales en construcción, de este modo se proporcionó el abastecimiento a centrales principalmente ubicadas en el altiplano y centro norte del país, que es donde se ubican los principales centros de desarrollo económicos e industriales del país entre las que se cuentan Samalayuca Chihuahua, Valle de México Edo. de México, Salamanca en Guanajuato, Villa de Reyes en San Luis Potosí, Francisco Villa Durango, Carbón I y II en Coahuila y Mérida II en Yucatán, entre otras.

Dada la importancia que el agua tiene en el proceso de generación de energía eléctrica y que el recurso es cada vez más requerido para satisfacer otras necesidades como la agrícola y de consumo a la población, el Departamento de Geohidrología implementó en 1986 un programa denominado seguimiento geohidrológico, el cual, permite conocer las

condiciones de los acuíferos y de la infraestructura con que CFE los explota, con objeto de prever cambios en el volumen y/o en la calidad química del agua abastecida.

II. USO DEL AGUA EN UNA CENTRAL TÉRMICA

En este tipo de centrales, el agua se utiliza en dos sistemas: el primer sistema denominado ciclo de vapor que es un sistema cerrado, el cual inicia con la entrada del agua con temperatura inicial T° a una caldera, en donde se transforma en vapor con alta energía cinética, para pasar a través de las turbinas; una vez que sale de las turbinas se circula por un condensador, en donde el vapor vuelve a su estado líquido y se enfría a la temperatura inicial para reiniciar el ciclo. En este sistema no se tiene pérdida de agua ya que es un sistema cerrado; sin embargo, eventualmente cuando se da mantenimiento se debe reponer. Cabe aclarar que esta parte del proceso requiere de agua de muy alta calidad, con un mínimo o nulo contenido de minerales para evitar incrustación o corrosión en la caldera y en el sistema de circulación del vapor.

El segundo sistema es denominado de enfriamiento y se utiliza para condensar y enfriar el agua del ciclo de vapor. Este sistema puede, a su vez ser de tipos: torres de enfriamiento y sistema abierto. En el primero, el agua tiene un ciclo similar al ciclo de vapor, aunque su enfriamiento se realiza por aire atmosférico al hacer circular el agua en cascada a través de un arreglo de paneles colocados en forma vertical, aquí sí se tiene un consumo, ya que, al circular el agua caliente en la torre de enfriamiento, una parte se transfiere a la atmósfera en forma de vapor. El volumen consumido depende de la cantidad de energía generada y de la calidad del agua de entrada, ya que en cada ciclo existe un incremento en la concentración de sales, por lo que se requiere compensar con agua de buena calidad, además de completar el agua evaporada.

El sistema de enfriamiento abierto, como su nombre lo indica, no forma ciclo y la condensación y enfriamiento del ciclo de vapor se lleva a cabo al fluir por el condensador agua en gran volumen proveniente de un río, una laguna o el mar. Una vez que el agua sale del condensador vuelve al mismo cuerpo de agua de donde se obtuvo; al río se descarga aguas

abajo y a la laguna o el mar, dependiendo de la dirección de las corrientes. En este sistema el consumo de agua es prácticamente nulo, ya que debido al volumen de agua que circula por el condensador la pérdida por evaporación que se genera es mínima. Este sistema se aplica en aquellas centrales cercanas a cuerpos de agua extensos como en costas como CT Manzanillo o en ríos como la CC Dos Bocas.

Con base en la explicación anterior, el consumo y uso del agua subterránea se requiere en primer término, en centrales termoeléctricas con sistema de torres de enfriamiento, en segundo lugar, en centrales termoeléctricas con sistema de enfriamiento abierto.

Desafortunadamente las primeras son las que de acuerdo con las necesidades del país se ubican en zonas áridas, en donde el recurso agua es escaso. De aquí surge la necesidad de la CFE de realizar estudios geohidrológicos para evaluar sistemas acuíferos y una vez en explotación dar un seguimiento para coadyuvar a preservar en lo posible su vida útil.

III. ESTUDIOS GEOHIDROLOGICOS

Los estudios geohidrológicos que se realizan para el abastecimiento de agua subterránea a proyectos, centrales de generación y otras instalaciones relacionadas con la generación o distribución de energía eléctrica, se desarrollan en tres etapas. En estricto orden de ejecución son: Identificación, Prefactibilidad y Factibilidad. Sin embargo, dependiendo de la cantidad y calidad de la información existente en el área que se pretende estudiar, esta secuencia de estudios puede iniciar en cualquiera de las etapas.

A. Estudios geohidrológicos en etapa de Identificación

Es la primera fase de un estudio geohidrológico de abastecimiento, se realiza fundamentalmente a nivel de cuenca o subcuenca hidrológica. Su objetivo es seleccionar áreas de interés geohidrológico, las cuales se analizan con más detalle en siguientes etapas. El tiempo de desarrollo de este tipo de estudio es de cuatro a seis meses, dependiendo principalmente de la complejidad del marco hidrogeológico, cantidad y calidad de información existente y/o de la extensión de la cuenca o subcuenca a evaluar, la Tabla 1 muestra las actividades que se desarrollan y su alcance.

Tabla 1.- Actividades y sus alcances en etapa de identificación

ACTIVIDAD	ALCANCE
Recopilación de información:	Recuperación, depuración y análisis de: cartografía, datos climatológicos, geología superficial y de subsuelo (sondeos eléctricos verticales, registros geofísicos de pozos, sismología y magnetometría), hidrología superficial y subterránea (censo de pozos, aforo de corrientes y niveles piezométricos), hidrogeoquímica (resultados de análisis físico químicos y bacteriológicos de agua), así como información socioeconómica.

Tabla 1.- Actividades y sus alcances en etapa de identificación (Continúa).

ACTIVIDAD	ALCANCE
Geología:	Establece el marco geológico regional a través de la integración en un mapa base escala 1:250,000 o 1:100,000; de la información recopilada y cartografiada. Se realiza una verificación de campo, haciendo énfasis en la porosidad y permeabilidad de las unidades litológicas de la zona. Esta información se procesa y se presenta en planta y se construyen secciones geológicas que muestren las características hidrogeológicas prevaletientes.
Climatología e hidrología superficial:	Se define la forma y distribución de la red de drenaje, cantidad de escurrimiento, ubicación de manantiales y cuerpos de agua superficiales. Se elabora un plano hidrológico, el cual aunado a la geología de la región, permite establecer un modelo conceptual hidrogeológico regional. Estimación de los parámetros que intervienen en el balance hidrometeorológico de la cuenca o subcuenca, con lo cual se evalúa el volumen de recarga a nivel regional.
Hidrología subterránea:	Establece el marco hidrogeológico conceptual, definiendo número y tipo de acuíferos existentes en la cuenca o subcuenca de estudio. Para ello se revisa toda la información hidrológica. Además, se realiza un censo de aprovechamientos hidráulicos para definir la(s) red(es) de pozos de observación necesarios. La información bibliográfica recopilada de niveles del agua subterránea y la obtenida en campo, se analizan y plasman en planos de profundidad y elevación del nivel estático, así como en hidrogramas de variación del nivel vs precipitación pluvial.
Hidrogeoquímica:	Caracterización de la calidad de las aguas de la región, para ello se realizan dos etapas de muestreo de agua superficial y subterránea, en ellas se miden en campo, los parámetros de conductividad eléctrica, temperatura y potencial hidrógeno, en tanto que en laboratorio se hacen las determinaciones más comunes del agua (aniones, cationes y sólidos disueltos), información que se analiza principalmente con métodos gráficos.
Selección de áreas de interés:	Se seleccionan los sitios candidatos, que por sus características hidrogeológicas presentan las mejores condiciones de constituir un acuífero potencial y con la calidad química requerida para ser evaluados con mayor detalle en una etapa posterior.

B. Estudios geohidrológicos en etapa de prefactibilidad

Esta fase de estudio, se lleva a cabo en las áreas que de acuerdo a la fase de Identificación fueron jerarquizadas. Su objetivo es definir la mejor alternativa técnica factible de proveer el agua subterránea en la cantidad y calidad requerida por el proyecto o central de generación. El tiempo de elaboración de este estudio es de seis a 12 meses, dependiendo básicamente del número de áreas por estudiar y de la complejidad geohidrológica de las mismas, así como del caudal y calidad del agua solicitada, la Tabla 2 muestra las actividades que se desarrollan.

Tabla 2.- Actividades y sus alcances en etapa de prefactibilidad

ACTIVIDAD	ALCANCE
Geología a semidetalle:	Se enfoca a definir las estructuras geológicas que modifican o alteran el movimiento del agua subterránea; se define la columna estratigráfica de cada sitio y las relaciones entre cada unidad litológica, atendiendo el grado de permeabilidad.

Tabla 2.- Actividades y sus alcances en etapa de prefactibilidad. (Continua)

ACTIVIDAD	ALCANCE
Geofísica:	Apoyar en la integración del marco geológico del área. Se aplican metodos geofisicos para la interpretación de la posición de los materiales en el subsuelo, así como su posible grado de saturación.
Climatología e hidrología superficial	En cada acuífero en estudiado, se integra un balance hidrológico, que contemple la cuantificación de los volúmenes de precipitación, evapotranspiración y escorrentía superficial, así como su disposición espacial y temporal. De ser necesario, en sitios específicos sobre los ríos, se analizan datos hidrométricos para definir la relación entre el agua superficial y subterránea.
Hidrología subterránea	Caracterizar el acuífero que se pretende explotar. Se realiza un censo de aprovechamientos complementario; se elaboran mapas a detalle de profundidad y elevación del agua subterránea. En sitios previamente seleccionados se realizan pruebas de bombeo de corta duración para conocer los parámetros hidráulicos del acuífero.
Topografía	Esta actividad da apoyo a todos los estudios.
Hidrogeoquímica	Caracterizar mediante la colección y análisis de muestras de agua, la calidad del agua superficial y subterránea, además de determinar la relación agua/roca.
Perforación	Apoyo en el conocimiento de la geología del subsuelo Se construyen barrenos exploratorios en sitios específicos. Al finalizar la perforación se corre un conjunto de registros geofísicos de pozo (de ser necesario se toman muestras de roca en horizontes de interés geohidrológico). Estos pozos son terminados para ser utilizados como pozos de observación.
Geofísica:	Apoyar la integración del marco geológico del área, se realizan principalmente sondeos eléctricos verticales que permiten apoyar la interpretación de la posición de los materiales en el subsuelo, así como su posible grado de saturación.

De este modo se cuenta con la caracterización del acuífero y del agua que contiene.

C. Estudios geohidrológicos en etapa de factibilidad

Es la tercera fase de un estudio de evaluación geohidrológica. En esta etapa se integran los resultados obtenidos en todas las etapas previas, con la finalidad de establecer el potencial real del acuífero a explotar. El objetivo de este análisis es seleccionar el o los sitios dentro de esta área, para construir los pozos necesarios para proporcionar el abastecimiento requerido El tiempo de ejecución varía de cuatro a seis meses dependiendo del tipo de materiales existentes en el subsuelo y de la profundidad de los pozos de exploración-cuantificación que se han de perforar.

Tabla 3. Actividades y sus alcances en etapa de factibilidad

ACTIVIDAD	ALCANCE
Geología a detalle	Afinación del modelo geológico conceptual, así como de las características de hidrogeológicas de las formaciones que constituyen el sistema acuífero. Esto se apoya con análisis de información de cortes litológicos de pozos existentes en el área y/o con métodos geofísicos.

Tabla 3. Actividades y sus alcances en etapa de factibilidad. (Continua).

Hidrología subterránea	Cuantificación del volumen de explotación y diseño del pozo de los pozos de exploración-explotación, así como la ubicación de la(s) baterías. Se realizan aforos y pruebas de bombeo individuales y conjuntas en todos y cada uno de los pozos de exploración-explotación con lo que se define el gasto óptimo de explotación.
Hidrogeoquímica	Se realiza una campaña más de toma y análisis de muestras de agua, lo que permite junto con la información de etapas previas realizar un análisis de la evolución química del agua y la relación agua/roca
Perforación	Se construyen pozos de exploración-cuantificación con la profundidad y espaciamento definido en los estudios, en ellos se corren registros geofísicos de pozo, cuyos resultados se relacionan con los cortes litológicos del pozo, lo que permite definir el diseño final del pozo.

Los pozos de exploración-cuantificación construidos en esta etapa, de ser óptimos en gasto, calidad química del agua serán utilizados para el abasto de agua de la central.

D. Control y Seguimiento geohidrológico

El control y seguimiento geohidrológico dentro de la CFE surge como una necesidad producto de los fuertes abatimientos e incluso el deterioro en la calidad química del agua extraída en algunos acuíferos que se explotan para abastecimiento de las centrales de generación. Inicialmente a estos problemas se les daba solución mediante un aumento en la tubería de succión, la reperfusión de pozos o en el peor de los casos abandonando la obra y construcción de otra. Sin embargo, estas soluciones eran parciales, ya que se carecía de información que permitiera conocer los motivos del deterioro del acuífero y su comportamiento a futuro. Aunado a lo anterior ha existido un constante incremento poblacional y en la planta industrial que requieren de servicios, entre los que destacan el abastecimiento de agua, por lo que se ha requerido intensificar y permitir a particulares extraer agua subterránea.

Ante este panorama y con el objeto de mantener el abastecimiento seguro de agua subterránea en la cantidad y calidad requerida por sus instalaciones, la Comisión Federal de Electricidad implementó desde 1985, para formar experiencia, y desde 1990 de modo formal, un programa continuo de recolección y análisis de información geohidrológica para conocer la tendencia de evolución de las características de los acuíferos que son explotados por la CFE, así como de las condiciones físicas de los equipos de bombeo.

Esto ha permitido apoyar a las áreas operativas en la determinación de políticas de extracción que permiten optimizar el uso del recurso. Actualmente el control y seguimiento se lleva a cabo desde el inicio de la construcción de la central térmica y se mantiene durante toda la etapa de operación de la misma.

La recopilación, proceso y análisis de información se realiza en forma constante y los resultados se presentan en informes ejecutivos mensuales o trimestrales , así como en memorias

anuales. Las actividades que se desarrollan se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4.- Actividades y sus alcances en etapa de control y seguimiento geohidrologico

ACTIVIDADES	ALCANCES
Piezometría	Definir la tendencia y magnitud de la fluctuación en la posición del nivel del agua subterránea identificando las posibles causas. Esto se obtiene a través de los hidrogramas de los niveles correlacionados con los volúmenes de extracción y la precipitación pluvial. Se realizan campañas mensuales de medición de niveles del agua subterránea y se analiza la variación temporal y espacial, haciendo énfasis en la presencia de modificaciones en las direcciones de flujo regional.
Control de la explotación del sistema acuífero	Analizar el efecto de la extracción de agua subterránea sobre los niveles del acuífero. Ello se lleva a cabo mediante un control mensual de la cantidad de agua subterránea extraída por CFE y su uso (generación, enfriamiento y servicios).
Calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua	Control en la evolución de la calidad del agua subterránea. De manera trimestral se toma muestras de agua para su análisis fisicoquímico y de ser necesario bacteriológico, esto se vacía en gráficas de evolución de los parámetros de mayor interés.
Condiciones de la infraestructura hidráulica de CFE para explotar el acuífero	Prevenir el desabasto de agua a la central por falla en el equipo de bombeo o línea de conducción. Esto se realiza mediante la inspección visual de las condiciones físicas del equipo de bombeo y línea de conducción; medición de niveles estáticos y dinámicos, caudal de explotación y detección de fugas.

IV. COMENTARIOS FINALES

A la fecha la metodología se mantiene, salvo en los casos en que la nueva central se ubique en un acuífero conocido. Los programas de control y seguimiento geohidrologico se realizaron de manera continua hasta 2012 en un total de 15 centrales, sin poder continuar por las restricciones económicas financieras de la CFE.

Como resultado de la implementación del programa de control y seguimiento se encuentran:

Al conocer la evolución en la eficiencia del pozo se programa anticipadamente su rehabilitación física ante problemas de corrosión o incrustación del ademe.

Se identifican áreas con problemas de sobreexplotación lo que permite implementar políticas que permitan su recuperación mientras se explotan otras,

Se detecta y lleva un control y seguimiento del efecto ocasionado sobre el agua subterránea por la extracción de agua que realiza CFE o por la actividad de la planta, lo que permite en su caso, remediar la situación y en el caso de que la empresa es acusada por daños a terceros permite definir técnicamente su posición,

El conocer la evolución de la calidad química del agua da la posibilidad de detectar el motivo del cambio y tomar las medidas técnicas que contrarresten su efecto nocivo sobre las instalaciones y personal que labora en la empresa.

Los estudios geohidrologicos para abastecimiento de agua subterránea permiten conocer sólo en tiempo presente, el potencial y hidráulico y la calidad química del agua por lo que no son suficientes para garantizar a largo plazo (20 a 30 años), el abasto seguro en cantidad y calidad de agua a las centrales de generación.

Además, día a día se incrementa el número de usuarios de estos acuíferos con el consecuente deterioro en su potencial hidráulico y en la calidad química (producto de la contaminación externa). Todo ello hace necesario implementar programas de control y seguimiento geohidrologico no sólo por la CFE, sino por todos los usuarios o cuando menos, por aquellos que hacen el mayor uso de él. Esto permite definir e implementar políticas de explotación y en uso eficiente del recurso.

REFERENCIAS

La plantilla numerará las citas consecutivamente entre corchetes [1]. La puntuación de la frase sigue al corchete [2]. Consulte simplemente el número de referencia, como en [3]— no utilice "Ref. [3]" o "reference [3]" excepto al principio de una oración: "Referencia [3] fue la primera ..."

Número de notas al pie por separado en superíndices. Coloque la nota al pie real en la parte inferior de la columna en la que se citó. No ponga notas al pie en la lista abstracta o de referencia. Utilice letras para notas al pie de tabla.

A menos que haya seis autores o más dar a todos los autores' nombres; no utilice "et al.". Los documentos que no se han publicado, incluso si se han presentado para su publicación, deben citarse como "inéditos" [4]. Los documentos que han sido aceptados para su publicación deben citarse como "en prensa" [5]. Capitalice solo la primera palabra de un título de papel, excepto los sustantivos y los símbolos de elemento adecuados.

Para los artículos publicados en revistas de traducción, por favor entregue primero la cita en inglés, seguida de la cita original en idioma extranjero [6].

- [1] Custodio, E. y R. Llamas. Hidrología subterránea. Editorial Omega, 2 tomos. (1996)
- [2] Davis S.N. De Wiest R. – Hidrogeología, Editorial Ariel 1971
- [3] -Freeze. A. y J. Cherry. Groundwater. Editorial Prentice Hall, 1979
- [4] Lohman S. W)., Hidráulica subterránea, Editorial Ariel 1977.
- [5] Comisión Federal de Electricidad, Código de Ética de la Comisión Federal de Electricidad, sus Unidades de Negocio, Empresas Productivas Subsidiarias y Empresas Filiales. Abril 2019
- [6] NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, 17 Abril 2012. Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario oficial de la Federación
- [7] Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica. Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Volumen III Operación y mantenimiento; Volumen V, Mantenimiento y conservación, Volumen VI Geotecnia.