

MODELAMIENTO DE LAGUNAS Y ACUÍFEROS CON DATAMINE

Alfonso Romero Baylón*

RESUMEN

El presente trabajo tiene por finalidad mostrar que es posible modelar los distintos recursos que nos ofrece la tierra (georrecursos) mediante las herramientas informáticas que en la actualidad tiene al alcance la ingeniería, con el propósito de coadyuvar a la industria extractiva primaria en forma sostenible.

El Datamine es un software de ingeniería orientado a las ciencias de la Tierra que hasta ahora se ha utilizado en el sector minero en el modelamiento de yacimientos mineros de tipo metálico y no metálico. Este artículo muestra que las mismas herramientas utilizadas para el modelamiento de cuerpos mineralizados se pueden utilizar en aguas superficiales y/o subterráneas en sus aspectos de lagunas y acuíferos, respectivamente.

Este trabajo propone la aplicación del uso de los taladros de sondaje, pero esta vez realizado para cuerpos de agua en superficie y/o subterránea, con las mismas técnicas de testificación y logueo; pero con la diferencia de las técnicas usadas, las mismas que se detallan líneas más adelante.

Palabras clave: Modelamiento hidrogeológico, cuantificación volumétrica, valoración *in situ* del agua, calidad de agua.

LAKES AND WATER-BEARERS MODELLING WITH DATAMINE

ABSTRACT

The present work has for purpose to show that it is possible to model the different resources that offer us the earth, is it to say the GEORECURSOS, by means of the computer tools that at the present time one has within reach of the engineering, with the purpose of cooperating to the primary extractive industry in sustainable form.

The Datamine is an engineering software guided to the sciences of the earth that up to now has been used in the mining sector in the modelamiento of metallic and not metallic mining locations of type, this article shows that the same tools used for the modelamiento of mineralized bodies, in the same way one can make the modelamiento of superficial waters and/or undergrounds in its aspects of lagoons and aquifer respectively.

This work proposes the application of the use of the drills, but this time carried out for bodies of water in surface and/or underground with the same testificación techniques and logueo, but with the difference of the used techniques, the same ones that are detailed article presently.

Keywords: Hydro-geologic modelling, volumetric quantification, valuation of the water resource, quality of water.

1. INTRODUCCIÓN

Según la UNESCO, el agua se hará cada vez más escasa en los próximos 60 años; su costo será

tan elevado que será prioridad en todos los países, dejándose en segundo plano a los elementos prioritarios de la actualidad.

* Departamento Académico de Ingeniería Geológica-Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica-Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú.
E-mail: aromerob@unmsm.edu.pe

Actualmente, existen técnicas y lineamientos de valoración del agua en lagos y acuíferos. Solamente en Lima, el agua de consumo humano de mala calidad llega a tener un costo de 70 centavos de soles el metro cúbico, luego de haber pasado por un tratamiento con cloro, el elemento más importante para desinfectar el agua.

El objeto de modelar este recurso en su estado original es cuantificar, cubicar y realizar las métricas de cantidad, calidad y contenido, para luego realizar su valoración y saber el costo aproximado en su estado natural, con la finalidad de protegerla de posibles contaminaciones que disminuyan la calidad natural, haciéndolo más costoso al tratar para el consumo humano.

El Datamine es un software que durante varios años se viene utilizando en el modelamiento, de recursos geológicos con valor económico, es decir, hasta ahora se ha hecho modelamiento, cubicación, cálculo de reservas y valorización económica de recursos geológicos entre metales y no metales, recursos que al poseer un valor económico explotable se convierten en yacimientos metálicos y no metálicos que el sector minero extrae.

En este artículo, demostramos que el Datamine es una herramienta informática útil porque permite modelar el recurso hídrico *in situ* entre lagos y acuíferos, para el cual se aplican metodologías de sondeos, perfiles, cubicación, entre otros, con la misma lógica que para los georrecursos tradicionales que extrae la minería; bien podemos decir entonces que ahora podemos valorar el recurso agua con el Datamine.

II. PARÁMETROS DE MODELAMIENTO

1. Sonda calibre.
2. Sondeo temperatura.
3. Sonda eléctrica.
4. Sonda gamma natural.
5. Sonda gamma-gamma.
6. Sonda neutrón-neutrón.
7. Sonda conductividad.
8. Piezómetros.
9. Ph metros.

2.1. Sonda calibre

Permite obtener un registro continuo del diámetro del sondeo. Tiene las siguientes características:

Diámetro de sonda 30 mm.

Rango de medida 30-145 mm.

Grado de sensibilidad 1 mm.

Longitud de la sonda 800 mm.

Su funcionamiento está basado en dos brazos retráctiles situados en la parte inferior de la sonda, una vez en el fondo del sondeo, los brazos se despliegan para cumplir su propósito.

2.2. Sonda temperatura

Registra la temperatura del fluido del sondeo en función de la profundidad. Facilita la información de los puntos o zonas por las que penetra el agua al taladro, dando un perfil aproximado del comportamiento del acuífero en base a la porosidad y permeabilidad de la roca.

Características:

Diámetro 30 mm.

Longitud 318 mm.

Rango de medida 0-100 grados celsius.

Grado de sensibilidad 1 grado celsius.

Sensor de diodo de silicón.

Se utiliza con una velocidad de desplazamiento de 10 m/minuto.

2.3. Sonda eléctrica

Los registros obtenidos son de tipo SP, es decir, el potencial espontáneo y el registro de resistividad normal. El registro SP es una medida pasiva de la diferencia de potencial eléctrico de un electrodo M, introducido en el sondeo y otro N situado en la superficie del taladro, donde se atribuye a causas naturales la existencia de dichos potenciales.

Por otro lado, la resistividad normal es una medida activa de la resistencia del macizo rocoso al paso de una corriente creada artificialmente entre un electrodo A introducido en el sondeo y otro B situado en la superficie del taladro.

La obtención de estos dos registros es útil para la interpretación cualitativa de secuencias litológicas y para la correlación estratigráfica entre los sondeos, el mismo que se aprovechará en el futuro para establecer los *wireframes* mediante «linkeo» con el Datamine.

2.4. Sonda gamma natural

Los rayos gamma son ondas electromagnéticas con frecuencias superiores a los 10E10 Mhz, emitidas espontáneamente por algunos elementos radioactivos. Casi todas las radiaciones gamma que se producen espontáneamente en el campo se deben a un isótopo radioactivo del potasio, cuyo peso atómico es 40 (K.e40), y a isótopos de uranio y torio. Debido a que el potasio entra a formar parte de la estructura cristalina de las micas, illitas, montmorillonitas y otros minerales arcillosos, los registros de rayos gamma natural se utilizan en la ingeniería como indicadores cualitativos del contenido de arcilla y lutitas de las distintas formaciones atravesadas por el taladro de perforación. Desde este punto de vista forman parte de una herramienta muy útil para que el Datamine correlacione los distintos taladros y obtener el modelo en 3D.

2.5. Sonda gamma-gamma

La aplicación más importante de este tipo de registros reside en su utilidad para estimar la densidad del macizo rocoso o la estratigrafía del estrato permeable donde se aloja el agua.

Consiste en utilizar una fuente artificial de isótopos radioactivos que emitan rayos gamma. Las fuentes normalmente utilizadas son radio-226, cesio-137 y cobalto-60. Como elemento detector se utiliza el mismo dispositivo explicado en la sonda gamma natural.

Los rayos gamma emitidos por la fuente colisionan con los electrones del estrato rocoso, pierden parte de su energía y se dispersan en todas las direcciones. Tras múltiples colisiones, alcanzan el detector de la sonda con un nivel de energía todavía suficiente como para diferenciarlos de otro tipo de radiaciones. De esta manera, la pérdida de energía que experimentan en el estrato rocoso aumenta con el número de electrones en él existentes y las cuentas por segundo registradas serán inversamente proporcionales a su densidad electrónica.

2.6. Sonda neutrón-neutrón

El registro de neutrones se utiliza fundamentalmente para determinar la cantidad de agua existente en el estrato rocoso donde se encuentra el acuífero. Si éste se encuentra saturado, los registros de neutrones proporcionan una medida directa de su porosidad.

Los neutrones son partículas eléctricamente neutras cuya masa es casi igual a la del átomo de hidrógeno. Si se utilizan fuentes de neutrones que los generan con alta energía, éstos colisionarán con los núcleos de los átomos del estrato rocoso, de la misma manera que una bola de ping-pong choca contra una bola de billar, produciéndose pérdida de energía en los distintos choques, pudiendo –en sucesivas colisiones– quedar reducida la energía del neutrón por debajo de 0.025 eV (neutrones termales). Estos últimos pueden ser así captados fácilmente por los átomos de hidrógeno existentes en el medio.

Por otro lado, se utiliza un receptor que sea capaz de detectar estos neutrones termales; el nivel de energía medido en cuentas por segundo constituye una medida indirecta del número de átomos de hidrógeno existentes en la formación. Cuanto menores sean los valores del registro, mayor será el contenido de agua de los materiales estudiados; y por tanto, mayor será la porosidad del estrato rocoso que atraviesa el taladro.

2.7. Sonda conductividad

Consiste en el uso de una sonda de inducción electromagnética que brinda como parámetro de medida un registro continuo de la conductividad aparente del estrato rocoso alrededor del taladro.

El campo magnético alterno que se produce induce corrientes secundarias alrededor del taladro que fluyen en el estrato rocoso en trayectorias circulares coaxiales. Estas corrientes crean, a su vez, campos magnéticos secundarios que originan cambios de voltaje en el sensor receptor. La magnitud de dichos voltajes depende directamente de la conductividad eléctrica del estrato rocoso a través de unos factores que incorporan las características específicas de la sonda.

Los instrumentos de medición del pH y el nivel de la napa freática se realizan en forma directa con el pH-metro y con el piezómetro.

III. SONDEOS Y PERFILES

Denominados también en el campo de la hidrogeología como sondajes y diagráfías. Para efectos de modelamiento tienen el mismo principio y lógica, de tal forma que es casi indiferente el hecho de utilizar la técnica de ambos para nuestro propósito de modelamiento con el Datamine.

Equipo:

- Testificador geofísico para sondeos de pequeño diámetro.
- Kit de sondas para la medida de diferentes propiedades físicas.
- Equipo de inducción.

Se llama testificación a la obtención en sondeos de registros (conocidos como logeos o diagrfías), los mismos que no son más que determinados parámetros físicos que sirven para caracterizar las formaciones del terreno perforados por los taladros.

TIPOS DE DIAGRAFÍAS:

Diagrafías diferidas: Se obtienen cuando el sondeo ha terminado.

Diagrafías no diferidas: Se obtienen durante el desarrollo del sondeo.

La testificación geofísica pertenece al grupo de las diagrfías diferidas. El desarrollo de estas testificaciones ha estado siempre ligado a la explotación de hidrocarburos.

A diferencia de las perforaciones diamantinas en la prospección de yacimientos mineros, para el caso de los acuíferos se obtienen propiedades de las rocas tales como densidad, porosidad, grado de saturación, permeabilidad, etc., y se utiliza la información proporcionada por registros eléctricos, nucleares y acústicos. Estos parámetros brindan información sobre la ubicación y calidad de las aguas subterráneas.

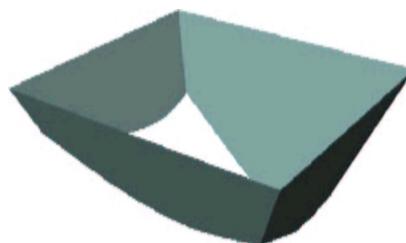
La testificación por medio de diagrfías –además de proporcionar información sobre la estratigrafía, litología, existencia de discontinuidades y niveles freáticos en las formaciones atravesadas– sirve también para identificar los parámetros mecánicos y el estado natural de los materiales afectados, al ser medidas las propiedades y propiedades físicas *in situ*.

Los equipos de testificación consisten fundamentalmente en un kit de sondas que contienen sensores para ejecutar las medidas, estos sensores reciben y procesan las señales de salida llevándolas a un sistema de telemetría digital [1, 2, 3, 4,5].

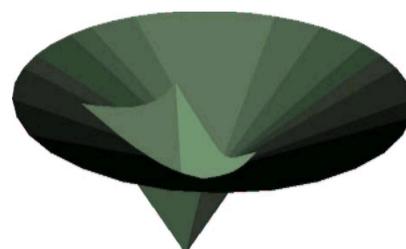
IV. MODELAMIENTO CON DATAMINE

El modelamiento de lagos, mediante la herramienta informática del Datamine, está funda-

mentado en las medidas de la tipografía de la superficie circundante, perfil de rocas yacentes que sirven de soporte natural al agua y las medidas que caracterizan la calidad del agua del lago o laguna. A través de los perfiles de las rocas yacentes y la topografía superficial se establecen las medidas cuantitativas del agua, para luego cubicarlas y calcular su reserva sobre la base de la carga y descarga de la misma, considerando el caudal ecológico estable. Esto nos permitirá encontrar el volumen estático y dinámico del mismo, así como el cálculo promedio de su vida útil y su valoración económica en su origen.

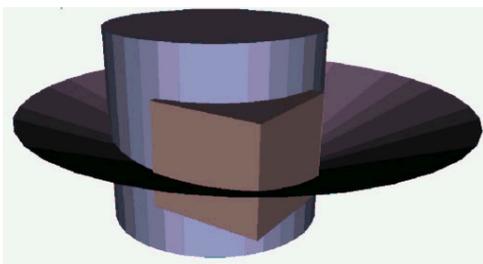


Modelamiento de lagos



Otro aspecto de modelamiento de lagos

Por otro lado, el modelamiento de acuíferos se realizará en función de los registros de diagrfías de los sondeos realizados con las distintas metodologías explicadas en la parte de parámetros de modelamiento; el mecanismo de diseño es el mismo, pues estos datos se pasarán a la hoja electrónica Excel con formato csv o txt, dependiendo del gusto del usuario, para luego obtener los límites del acuífero en el subsuelo; el análisis de la carga y descarga, en caso la haya, se hará de manera similar al modelamiento de lagos considerando el caudal ecológico estable.



Modelamiento de acuífero

V. MODALIDAD DE TRABAJO EN CAMPO

Al igual que las campañas de perforación diamantina, el trabajo en campo para acuíferos es similar, con la diferencia de la malla de perforación que se establece en relación a la zona de carga y descarga del acuífero la que se establecerá previamente. Luego, con los equipos estudiados en la parte inicial de este artículo, se tomarán los registros, ya sea en el momento de la perforación o posteriormente, para luego llevar estos datos a formatos csv, txt, u otros para empezar a modelarlo en el Datamine.

Para el caso de los lagos o lagunas de las aguas superficiales se hará uso de los piezómetros y los pH-metros con mayor prioridad, dejando de lado casi la totalidad de las demás técnicas arriba descritas, porque, en el caso de lagos, el agua a cubicar, cuantificar y valorar se encuentra al alcance del equipo de trabajo; sin embargo, los perfiles de la estructura yacente que soporta al lago se deben hacer con especial cuidado, pues se simularán una especie de calcatas en los distintos lugares del lago y, para las zonas más profundas se utilizarán el método gamma-gamma o sonda sónica.

VI. VALORACIÓN Y CALIDAD DE AGUA *IN SITU*

La calidad del agua estará en función a la toma de datos superficiales y a profundidades entre 0-40 metros, el resto se cuantificará por interpolación y ajuste de curva mediante el método Kriging. Esto nos permitirá elaborar isolíneas de partículas en suspensión, contenidos de elementos básicos de agua dulce, entre otros; por supuesto que en el ámbito de planta se hará muy rápidamente, sobre todo en la superficie; sin embargo, en las vistas verticales será necesario realizar interpolaciones más sofisticadas, pero el Datamine ya las tiene establecidas en su kit de herramientas de análisis estadístico.

Para los acuíferos, es necesario hacer las pruebas de los parámetros establecidos líneas arriba y además tener los registros de cada uno de los métodos vistos aquí, para luego establecer su composición y su pH [6, 7, 8, 9].

La valoración para ambos casos se hace mediante el modelo de bloques de Datamine aplicando las técnicas de suavización de contornos, entre otras herramientas del Datamine.

VII. EQUIPAMIENTO Y RECURSOS HUMANOS

- a) En el ámbito de equipos con kit de sondas, se requieren aquellas descritas en los items anteriores sobre todo para la técnica gamma-gamma y neutrón-neutrón, sin dejar de lado las otras que también son necesarias para la mejor cuantificación del recurso agua.
- b) Se requiere de personal especializado en modelamiento, sondajes y diagráfias e hidrogeología.

VIII. RESULTADOS ESPERADOS

1. El modelamiento de aguas superficiales (lagos) y de aguas subterráneas (acuíferos) representa una herramienta estratégica que facilitará las labores subterráneas, tajo abierto o canteiras (minería no metálica), permitirá manejar óptimamente el recurso agua, requerida tanto para las operaciones de producción, como para las comunidades. En la mayoría de los casos, el elemento agua mal administrado es motivo de conflictos socioambientales, perjudicando a ambas partes por un mal manejo y uso. Del mismo modo, el tener caracterizado el recurso agua en sus aspectos cuantitativos y cualitativos hará que la hidrogeología de la zona sea conocida y flexible en su manejo, distribución y uso óptimo.
2. Además, el hecho de tener modelados los lagos y acuíferos permitirá a los sectores involucrados hacer un buen manejo de este recurso; es decir, le permitirá a SEDAPAL, al Ministerio de Agricultura, al INRENA, entre otros organismos, a administrar óptimamente y sobre todo saber de antemano la cantidad y establecer los caudales ecológicos de cada uno de ellos, para luego darles una explotación racional y óptima. Pero no sólo a esto contribuirá el modelamiento, sino que también permitirá controlar, establecer su vida útil y prevenir los riesgos de contaminación, desequilibrio geológico debido

a la estructura de yacencia entre otros permitiéndole establecer las políticas de protección y conservación con un costo viable.

3. Controlar y cuantificar el recurso agua en los acuíferos, permitiéndole establecer la prevención y protección de las mismas por contaminación subterránea y superficial, manteniéndola en equilibrio en relación a la carga y descarga de la misma y sobre todo aprovechar eficiente y óptimamente en casos específicos.

IX. CONCLUSIONES

1. Los modelos hidrogeológicos permiten controlar y supervisar la carga y descarga de este recurso manteniendo un modelamiento de tipo dinámico en relación a su caudal ecológico que discretizadamente se considera como estable.
2. La herramienta del Datamine es un software diseñado especialmente para modelamiento de georrecursos, por lo que su uso se puede hacer tanto para recursos metálicos y no metálicos (lo que hasta ahora se viene haciendo); sin embargo, esto no impide que por la similitud de principios lógicos de ingeniería se use para los recursos de los hidrocarburos y agua tal como estamos planteando en este artículo.
3. El modelamiento del recurso agua en particular, nos permite realizar la valoración del recurso en su estado natural, y esto, llevado a un inventario a nivel nacional permitiría visualizar escenarios futuros de este recurso, referente a su vida útil, ciclo de vida y, lo más importante, la prevención de contaminantes y preservación mediante el uso racional.
4. Finalmente, concluimos este trabajo indicando que el modelamiento hidrogeológico que aquí se ha propuesto es solamente una parte del modelamiento y valoración de los georrecursos, lo que en realidad se debe hacer en futuras investigaciones.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. Charlote, Harbord. *Estimated Economic Value of Resource*, 1998. USA.
2. Arthington, A. and B. Pusey. *Essential Flow Requirements of River Fish Communities*. AWWA Environmental Flows Seminar. Australia, 1994.
3. Bovee, K. A. *Comprehensive Overview of the Instream Flow Incremental Methodology (IFIM)*. United States Geological Survey. 1996.
4. Mathur, D., W. Bason, E. Purdy, and C. Silver. A «Critique of the Instream Flow Incremental Methodology». *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42: 825-831.
5. Alves, M. H. *Métodos de determinação do caudal ecológico*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. 1993, 162 pp.
6. Annear, T. C. & Conder, A. A. Relative bias of several fisheries instream flow methods. *North American Journal of Fisheries Management*, 4: 451-539, 1984.
7. Bain, M. B. & Boltz, J. M. *Regulated Stream Flow and armwater Fish: A General Hypothesis and Research Agenda*. Biological Report 89 (18). U. S. Fish and Wildlife Service. Washington, DC. 1989, 28 pp.
8. Bovee, K.D. *A Guide to Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology*. Instream Flow Information Paper N.º 12, FWS/OBS-82/26. U.S. Fish and Wildlife Service. Washington, DC., 1982, 248 pp.
9. Augusto Nobre. *Ecología das Bacias Hidrográficas e Recursos Geológicos*. Instituto de Zoologia e Estação de Zoologia Marítima. Faculdade de Ciências do Porto. Porto, 23-25 de Maio. pp. 73-79. *Review*, Winter 1985: 22-28.