
BOLETIN ENERGETICO



201 / Organización Latinoamericana
de Energía

MAYO/JUNIO/1981

PROGRAMA REGIONAL DE GEOTERMIA DE LA OLADE **olade** I
COLOQUIO SOBRE EL CAMPO GEOTERMICO DE MOMOTOMBO (NI-
CARAGUA) **olade** ESTUDIOS GEOTERMICOS DE LA REPUBLICA
DE NICARAGUA **olade** EXPLORACION GEOTERMICA EN GUATE-
MALA **olade** PROYECTO DE EXPLORACION GEOTERMICA **olade**
GEOTERMIA Y MEDIO AMBIENTE **olade** CURSOS DE ESPECIALIZA-
CION EN GEOTERMIA **olade** INTERPRETACION GEOQUIMICA DE
ZONAS DE ALTERACION HIDROTERMAL DE ECUADOR, PERU, REPU-
BLICA DOMINICANA Y HAITI **olade** BAJA Y MEDIA ENTALPIA **olade**
EL PROYECTO GEOTERMICO TUFINO **olade** REGISTROS GEOFISICOS
EN POZOS GEOTERMICOS **olade** OLADE INFORMA **olade**

REGISTROS GEOFISICOS EN POZOS GEOTERMICOS

LUIS ZUÑIGA A.*

La introducción de nuevas técnicas de exploración a fin de optimizar las fases de factibilidad, desarrollo y explotación de áreas geotérmicas, desempeña un papel muy importante, dado el alto costo que estas fases implican.

Los registros corridos en pozos geotérmicos fueron limitados normalmente a mediciones de presión y temperatura, hasta épocas recientemente cuando técnicas aplicadas a la industria del petróleo están siendo adaptadas también a estos propósitos.

Dado el diferente ambiente geológico de los campos geotérmicos y de petróleo, muchos conceptos deben ser modificados para el uso adecuado de estos métodos, ya que la respuesta de rocas volcánicas, donde los campos geotérmicos están normalmente situados, es bastante diferente de los ambientes sedimentarios de los campos de petróleo.

La información obtenida sobre características físicas de las estructuras atravesadas por las perforaciones vienen a complementar los estudios litológicos comunmente efectuados mediante inspección de muestras de canal y núcleos obtenidos durante el proceso de perforación.

Características tales como condiciones del pozo, (Caliper), radiación natural (Rayos gamma), porosidad (Neutron - Neutron), densidad (gamma - gamma) resistividad eléctrica y auto potencial de las formaciones, son obtenidas mediante estos métodos, e

información adicional sobre el completamiento del pozo se obtiene con los registros de cementación (CBL) y localizador de juntas en la tubería (C.C.L.), además registros continuos de temperatura absoluta y temperatura diferencial.

IMPLEMENTACION DE LAS TECNICAS

La medición consiste en introducir una sonda dentro del pozo, la cual es bajada a una velocidad determinada mediante un cable multiconductor conectado a un equipo electrónico en la superficie, el cual recibe la señal detectada en el interior del pozo en forma de pulsos y la registra en forma gráfica.

Al correr estos registros, es necesario tener en forma clara el objetivo del registro, es decir si es un registro de reconocimiento o de detalle. Al correr un registro, especialmente los nucleares (rayos gamma, neutron - neutron, gamma - gamma), es de mucha importancia acomodar la velocidad y la constante de tiempo (intervalo de tiempo en la cual los pulsos del detector, situado en la sonda, son registrados) de lo cual dependerá la exactitud de la información obtenida.

Es factible detectar cambios en la formación, zonas de permeabilidad, tipos de formación, espesor de capas, densidad y porosidad de formaciones, resistividad de la formación y condiciones generales del estado del pozo.

* Jefe del Proyecto de Geotermia de la OLADE.

Breves descripciones de las técnicas son dadas a continuación:

CALIPER (CALIBRACION)

Este registro tiene por objeto obtener información del estado general de completamiento del pozo.

Consiste en introducir una sonda en la cual están colocados unos brazos móviles, los cuales pueden ser abiertos o cerrados accionando un pequeño motor situado en la sonda misma, el tipo más generalizado consta de tres brazos, los cuales son abiertos en el fondo del pozo dejándolos hacer contacto contra las paredes. A medida que la sonda es recuperada y los trazos hacen contacto con las formaciones, se obtiene un promedio del diámetro del agujero para cada punto a lo largo de él. Este registro se efectúa también en pozos entubados a fin de conocer el estado general de la tubería de revestimiento.

La calibración se efectúa colocando la sonda en una platina que consta de diversos agujeros a diferentes distancias, cada uno de los cuales corresponde a un diámetro determinado, en donde son colocados los brazos, a fin de tener una referencia de la respuesta en el equipo de superficie. Esta calibración se efectúa antes y después de corrido el registro dado las diferencias en respuesta que podrían existir a causa de interferencias por temperatura y así tener una información más confiable.

RESISTIVIDAD ELECTRICA

Existen diversos métodos de medición de resistividad eléctrica, los cuales pueden ser aplicados dependiendo de características propias de medición y ambientes; uno de ellos el registro normal de resistividad, ha producido buenos resultados en ambientes volcánicos.

En los registros normales un arreglo de 4 electrodos es usado, 2 electrodos de corriente y 2 de potencial; un electrodo de corriente y uno de potencial, son situados en la sonda, la cual es colocada

dentro del pozo conectada al cable multiconductor, los 2 electrodos restantes son colocados bastante lejos del conjunto de electrodos de la sonda, el de potencial en la superficie y el de corriente en el cable. La corriente es enviada entre un electrodo A situado en la sonda y electrodo B colocado en el cable aproximadamente 30 M. sobre la sonda. Los electrodos de potencial ubicados en la sonda y en la superficie registran la diferencia de potencial causada por la resistencia de las formaciones al paso de la corriente. Las dos clases de registros normales: el corto normal y el largo normal difieren en la separación de los electrodos ubicados en la sonda, la que es llamada A M, en el corto normal esta separación es de 16" y en el largo normal de 64".

Dado que la resistividad dependerá de temperatura, salinidad, contenido de agua, etc., estos registros son aplicados a fin de conocer propiedades de las formaciones tales como porosidad de la formación, grado de contenido de agua, correlaciones estratigráficas, resistividad del fluido y formación.

AUTO POTENCIAL

Este método consiste en registrar las fuerzas electro-motrices entre la superficie y diferentes puntos a lo largo del pozo.

Esta técnica registra pequeñas diferencias de voltaje, medidas en milivoltios, las cuales son asociadas con propiedades de las formaciones y están dadas por la migración de iones de una solución de mayor concentración a otra de menor concentración separadas por una pared permeable o por el paso de un electrolito a través de un medio permeable. En los pozos, este potencial puede darse cuando hay circulación de fluido a través de medios permeables debido a presión diferencial.

La información obtenida puede ser usada para:

a) Correlación estratigráfica.

- b) Determinación del espesor de capas permeables.
- c) Determinación de salinidad del agua.

La curva del auto potencial es registrada mediante la introducción de una sonda con un electrodo dentro del agujero y otro electrodo en la superficie; normalmente se efectúa junto con el registro de resistividad eléctrica usando el electrodo de potencial de 16" para la respuesta de Auto Potencial, el cual registra la caída de potencial causada por la corriente fluyendo a través de las formaciones o desde el pozo hacia las formaciones.

REGISTRO DE RAYOS GAMMA NATURALES

El registro de rayos gamma es una medida de la radioactividad natural de las rocas penetradas por el pozo. Esta radiación es emitida por isótopos radiactivos presentes en la formación, principalmente potasio, uranio y torio. Aunque la presencia de estos elementos no es muy conocida en formaciones no sedimentarias, ellos siguen el grado de diferenciación de las rocas. Un estudio ejecutado en rocas de Islandia por Stefansson y Emerman (1980) muestra una relación entre el contenido de SiO_2 y la intensidad de rayos gamma.

La unidad estandarizada para medir la radiación gamma natural es la unidad Gamma API (American Petroleum Institute), esta es definida como el 5% de diferencia entre el rango de conteo de altas y bajas zonas radioactivas en un agujero de calibración en la Universidad de Texas.

Dada la respuesta, al diferente tipo de roca esta técnica es usada principalmente para correlación estratigráfica e identificación de litología en los pozos.

REGISTRO DE NEUTRON - NEUTRON

Este registro es sensitivo a la porosidad de las formaciones atravezadas por el pozo, al igual que los otros registros nucleares puede ser corrido en pozos libres o entubados. Una sonda conteniendo

una fuente y un detector es introducido dentro del pozo.

Al introducir esta sonda, neutrones de alta energía son emitidos por la fuente; estos neutrones colisionan con núcleos del material en las formaciones, perdiendo alguna energía en cada colisión, la mayor pérdida de energía es causada cuando colisionan con núcleos de aproximadamente igual masa, como lo es el núcleo de hidrógeno, estas colisiones llevan a los neutrones a alcanzar bajos niveles de energía y alcanzar equilibrio térmico con el ambiente para ser absorbidos por los núcleos de elementos en los alrededores, excitarlos y causar emisión de radiación gamma, que es detectada y enviada al registrador.

La calibración de los registros de neutron - neutron es normalmente hecha en unidades Neutron de la A.P.I. y es definida como 1/100 de la respuesta del equipo al 19% de porosidad de las calizas de Indiana de acuerdo a la Universidad de Texas.

REGISTRO GAMMA - GAMMA

El registro de gamma-gamma consiste en enviar fotones de una fuente, situada en la sonda, hacia las formaciones, en donde radiación gamma es generada.

Por esta técnica se mide la densidad total de la formación a partir del registro de la intensidad de la radiación gamma dispersada por las formaciones dependiendo de los fotones absorbidos, ya que la radiación absorbida es proporcional al número de electrones y la densidad de electrones es proporcional a la densidad total del material que se está estudiando.

La calibración del equipo es hecha usando agujeros especiales con diferentes densidades en donde se introduce el equipo y el conteo de los pulsos se relaciona con la densidad a que se obtienen.

A la par de estos registros, mediciones complementarias son efectuadas a finde conocer características que si bien no son determinantes en la explota-

ción, sin embargo son importantes en el proceso de la perforación.

El registro sónico de cementación da información del estado de adherencia de la tubería a las formaciones después de cementada y servirá de referencia para futuras operaciones en el pozo; con el localizador de collares de la tubería, se obtiene la localización exacta de las juntas de cada tubo, y la temperatura diferencial informa de los cambios en temperatura que se dan a lo largo de las formaciones, ayudando así en la interpretación y localización de diferentes capas encontradas.

No obstante la restricción de operación de este equipo a temperaturas mayores a 180°C, su uso es factible en las etapas de perforación cuando el pozo está frío, y se puede obtener, con su aplicación, información que, complementada con los estudios litológicos y petrológicos, efectuados con técnicas geológicas, sea más objetiva a fin de minimizar riesgos en etapas subsiguientes.

J. Orenz

ENERGY BULLETIN



Latin American Energy Organization

May-June/1981

THE REGIONAL GEOTHERMAL PROGRAM OF OLADE **olade** FIRST COLLOQUIUM ON THE GEOTHERMAL FIELD OF MOMOTOMBO (NICARAGUA) **olade** GEOTHERMAL STUDIES IN THE REPUBLIC OF NICARAGUA **olade** GEOTHERMAL EXPLORATION IN GUATEMALA **olade** GEOTHERMAL EXPLORATION PROJECT: THE RECONNAISSANCE PHASE IN THE ANDEAN AND CARIBBEAN SUB-REGIONS **olade** GEOTHERMICS AND ENVIRONMENT **olade** SPECIALIZED COURSES IN GEOTHERMICS **olade** GEOCHEMICAL INTERPRETATION OF AREAS WITH HYDROTHERMAL ALTERATIONS IN ECUADOR, PERU, THE DOMINICAN REPUBLIC, AND HAITI **olade** LOW AND MEDIUM ENTHALPY **olade** THE TUFINO GEOTHERMAL PROJECT (ECUADOR) **olade** GEOPHYSICAL LOGS IN GEOTHERMAL WELLS **olade** OLADE REPORTS

GEOPHYSICAL LOGS IN GEOHERMAL WELLS

Luis Zuniga A.*

The introduction of new exploratory techniques for the purpose of optimizing the feasibility, development, and exploitation phases of geothermal areas are especially important, given the high costs that these entail.

In the past, the logging done in geothermal wells was usually limited to pressure and temperature measurements, until recently, when techniques applied to the oil industry were adapted for geothermal purposes.

Due to the different geological environments in geothermal and oil fields, many concepts must be modified for the proper use of these methods. The responses of volcanic rocks, where geothermal fields are normally located, are quite different from those of the sedimentary environment of oil fields.

The information obtained on the physical properties of the rocks penetrated by drilling is useful as a complement to the lithological studies which are commonly done on the basis of an inspection of the cuttings and core samples obtained during the drilling process.

Characteristics such as the conditions of the well (caliper), natural radiation (gamma rays), porosity (neutron-neutron), density (gamma-gamma), electrical resistivity and self potential in the formations are obtained by means of these methods;

and additional information on the completion of the well is obtained with cementing bond logs (CBL), casing collar locators (CCL), and continuous logs for both the absolute and differential temperatures.

Implementation of Techniques

Measuring is done by introducing a probe into the well and lowering it at a predetermined speed by means of a multiconductor cable connected to electronic equipment at the surface; the latter receives the signals detected inside the well in the form of pulses which are registered graphically.

In taking these measurements, it is necessary to define clearly whether the objective is a reconnaissance or detail log. When logs are run, especially nuclear ones (gamma rays, neutron-neutron, gamma-gamma), it is very important to adjust the time constant (the time interval during which the pulses of the detector located in the probe are registered) given the fact that the accuracy of the information obtained depends on these factors.

It is feasible to detect changes in the formation; permeability zones; types of formation; thickness of beds; density, porosity, and resistivity of the formations; and the general condition of the well.

Brief descriptions of the techniques are presented below

Caliper

The objective of this log is to obtain information on the general condition of well completion.

It consists of introducing a probe with movable arms, which can be opened or closed so as to drive a small motor located within the probe itself. The most common type has three arms which are opened at the bottom of the well, so that they can make contact with the walls. As the probe is gradually recovered and the arms touch the formations, an average diameter is obtained for each point along the well. This log is also run in cased wells for the purpose of learning about the general condition of the casing.

The calibration is done by placing a probe in a hole of a board which several smaller holes at different distances from the probe, each one of which corresponds to a given diameter; the arms are placed so as to have a reference for the response in the surface equipment. This calibration is done before and after logs, due to the differences in response which could exist because of temperature effects. As a result, more reliable information is obtained.

ELECTRICAL RESISTIVITY

There are various methods for measuring electrical resistivity, and these are applied according to the characteristics proper to the measurement and to the environment. One method, normal resistivity logs, has had good results in volcanic environments.

For normal logs, a set of four electrodes is used: 2 current electrodes and 2 potential ones. One of each kind of electrode is located on the probe, which is placed into the well and connected to a multi-conductor cable. The other two electrodes are placed fairly far away from the set of probe electrodes, with the potential one on the surface and the current one on the cable. The current is sent between electrode A, located on the probe, and

electrode B, located on the cable, approximately 30 meters above the probe. The potential electrodes located on the probe and on the surface record the difference of potential caused by the resistance of the formations when the current passes through them. The two kinds of normal logs are: the short normal log and the long normal one. They differ in the degree of separation of the electrodes located on the probe; this dimension is called "A.M." In the short normal log, the separation is 16" and in the long one, 64".

Given the fact that resistivity depends on temperature, salinity, water content, etc., these logs are applied for the purpose of learning about the properties of the formations, e.g., porosity, degree of water content, stratigraphic correlations, and resistivity of the fluids and formations.

SELF POTENTIAL LOG

This method consists of recording the electromotive forces between the surface and different points along the well; it registers small differences in voltage, measured in millivolts and associated with the properties of the formations. These differences result from the migration of ions from a more concentrated solution to another one which is less concentrated (where the two solutions are separated by a permeable wall) or else from the passage of an electrolyte through a permeable medium. In the wells, this potential can appear when there is fluid circulation through permeable mediums, due to differential pressure.

The information obtained can be used for:

- a. Stratigraphic correlations
- b. Determination of the thickness of permeable beds
- c. Determination of the salinity of the water

The self potential curve is logged by introducing a probe with an electrode into the well, with another electrode on the surface. Normally, this is done along with the electrical resistivity log, using

a 16-inch potential electrode for the self potential response; this registers the drop in potential caused by the current which flows through the formations or from the well towards them.

NATURAL GAMMA RAY LOG

The natural gamma ray log measures the natural radioactivity of the rocks penetrated by the well. This radiation is emitted by radioactive isotopes present in the formations, mainly potassium, uranium and thorium. Although the presence of these elements is not well-known in non-sedimentary formations, they follow the degree of differentiation of the rocks. A study done by Stefansson and Enerman (1980), for rocks in Iceland, shows a relationship between the SiO_2 content and the intensity of the gamma radiation.

The standard unit for measuring the natural gamma radiation is the API Gamma Ray Unit (from the American Petroleum Institute); it is defined as 5% of the difference between the range of high and low radioactive areas in a calibration pit at the University of Texas.

Given the response to different types of rock, this technique is mainly used for stratigraphic correlation and for the identification of the lithology of the wells.

NEUTRON-NEUTRON LOG

This log is sensitive to the porosity of the formations traversed by the well and like the other nuclear logs, it can be run in free or cased wells. A probe containing a source and a detector is introduced into the well.

When it is introduced, high-energy neutrons are emitted from the source; these neutrons collide with the nuclei from the material of the formations, losing some of their energy in each collision; the major energy loss is brought about when they collide with nuclei of approximately the same mass, as in the

case of hydrogen. Such collisions lead the neutrons to reach low energy levels and a thermal equilibrium with the environment, in order to be absorbed by the nuclei of the surrounding elements. The latter are excited and cause the emission of gamma radiation which is detected, with signals sent to the surface equipment.

The calibration of the neutron-neutron log is normally in API Neutron Units, and it is defined as 1/100 of the response of the equipment to 19% of the Indiana limestone porosity, according to the University of Texas.

GAMMA-GAMMA LOG

The gamma-gamma log consists of sending photons from a source located in the probe, in the direction of the formations, where gamma radiation is generated.

This technique is used to measure the bulk density of the formation on the basis of the record of the intensity of the gamma radiation dispersed by the formations. This depends on the number of photons absorbed, since the absorbed radiation is proportional to the number of electrons, and the density of the electrons is proportional to the bulk density of the material being studied.

The calibration of the equipment is done using special pits with different densities, where the probe is introduced. The counting rate is related to the density at which the pulses are obtained.

In addition to these logs, complementary measurements are taken for the purpose of discovering the characteristics of the formations. Although these are not determining factors in the exploration stage they are nevertheless important for the drilling process.

The cementing bond log provides information on the condition of the adhesion of the casings to the formations once they have been cemented, and

it serves as a reference for future operations in the well. With the casing collar locator, the exact location of each casing collar can be discerned, and the differential temperature provides information on the temperature changes which occur along the formations, thereby aiding in the interpretation and locating of the different kinds of formations encountered.

Despite the restrictions for the operation of this equipment at temperatures above 180°C, its use is feasible in the drilling stages, when the well is cold. When complemented by the lithological and petrological studies done with geological techniques, the information obtained on this basis will be more objective and will aid in minimizing risks in subsequent stages.