

LOS REGISTROS GEOFISICOS DE POZO DENSIDAD Y GAMMA RAY COMO INDICADORES DE ENRIQUECIMIENTO AURÍFERO EN YACIMIENTOS EPITERMALES

Juan Tito Mendoza Aranda

Weatherford del Perú, Av Canaval y Moreyra 380-Piso 20, Lima 27, Perú
juan.mendoza@la.weatherford.com

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

La prospección geofísica de pozo consiste en la adquisición de valores físicos mediante sondas electrónicas (“Slimline”) que se introducen en los taladros de perforación diamantina. La herramienta Densidad tiene una fuente radioactiva que emite rayos gamma a alta energía que al colisionar con los electrones produce una atenuación de la energía (Fig. 1). Los rayos gamma que retornan son una función del número de electrones contenidos en la formación –su densidad electrónica (electrones/cm³)- promediados cada centímetro, y son transformados en densidad real (en g/cm³) por la relación estrecha que existe entre ellas. Por otro lado, la herramienta Gamma ray (GR) mide la radioactividad natural contenida en las rocas la que es emitida espontáneamente por los elementos de la familia torio, uranio y por el isótopo radioactivo de potasio.

La densidad es una propiedad intrínseca de los minerales y en las zonas mineralizadas y alteradas, la densidad promedio se ve afectada por la introducción de un metal generalmente más denso y por la creación de zoneamiento que afecta la densidad promedio debido a los ensambles de minerales que se forma. La actividad hidrotermal causa un incremento en la porosidad secundaria produciendo una caída en la densidad.

El objetivo del presente estudio es la identificación por medio del uso del registro de Densidad de intervalos densos afectados por los pulsos de mineralización. En el área estudiada destacan los intervalos enriquecidos con diseminados de oro distribuidos en la matriz y oquedades al paso de las soluciones mineralizantes. Para caracterizar los intervalos afectados se presenta una propuesta de definiciones originales como la Densidad background y se utiliza los conceptos de electrofacies desarrollados en disciplinas de la interpretación geológica de registros de pozos (Serra, 1972; Rider, 2002).

Además, el registro de Gamma Ray es empleada en la identificación de las superficies estratigráficas claves para los fines de construir secciones estratigráficas, correlación y la distribución de intervalos de enriquecimiento aurífero.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS

En ambientes lacustres, se asume que las causas de los cambios en la sedimentación son controladas principalmente por las variaciones de nivel del lago y por el clima. Típicamente la radioactividad natural más común en rocas sedimentarias se encuentra en las arcillas ya que provienen de elementos radioactivos de los minerales de arcilla. Por esto el GR como indicador de arcillosidad es usado en la identificación de las superficies estratigráficas claves (Baum y Vail, 1988). En las rocas y los registros se distinguen tres superficies significativas: 1) la Superficie de Erosión (SE) que es un contacto abrupto en la base que pasa de lutita a arenisca y en el GR pasa de valores altos a valores muy bajos;

2) la Superficie Transgresiva (ST), inicia en el tope del relleno sedimentario y registra el punto de inflexión hacia valores más altos debido al aumento de arcillosidad. La litología limosa va haciéndose más arcillosa conforme se inunda la costa hasta llegar a un máximo cuando la orilla se encuentra en su posición más hacia tierra adentro, que es la Superficie de Inundación Máxima (SIM). El aumento de la arcillosidad y la precipitación de minerales exóticos da el valor máximo de radiactividad en el GR. (Fig. 2). La SIM por ser línea de tiempo, sub-horizontal y de gran extensión es la que sirve como Datum en la construcción de la sección estratigráfica.

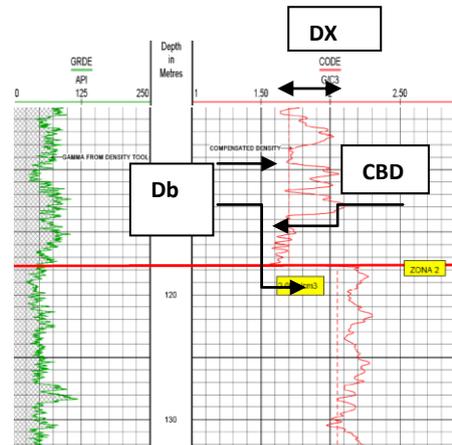
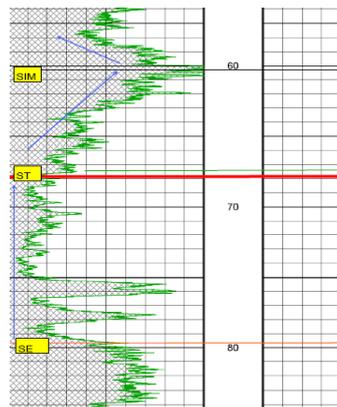


Fig.1. Herramienta Densidad/GR

Fig.2. Pozo1. Superficies estratigráficas claves SE, ST y SIM

Fig.3. Pozo 2. Db, CBD y DX

MARCO GEOLÓGICO, MINERALIZACIÓN, ELECTROSECUENCIA Y ELECTROFACIES

En el Cretáceo inferior, la sierra de La Libertad y Cajamarca fue testigo de la formación de ambientes lacustres (Lagos, et al, 2006) en la que se depositaron arenas, limos y arcillas de las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat. Posteriormente desde el Oligoceno al Mioceno se sucedieron eventos intrusivos tipo pórfido de composición félsica a intermedia, facilitando el ascenso de diseminados de oro y plata epitermal a través de fracturas (Amireault, 2009).

Para identificar las relaciones entre la mineralización y los registros geofísicos de pozo se utiliza el concepto de electrosecuencia que es un intervalo de los registros en el que las características son consistentes o varían consistentemente (Rider, 2002). En el registro Densidad, los valores mínimos son unidas por una línea promedio denominada operacionalmente **Densidad background (Db)** (ejemplo 2.05 g/cm³, Pozo 2, Zona 2) (Fig.3). Al salto donde se observa una disminución abrupta de densidad se le llama **Cambio Brusco de Densidad (CBD)**. El siguiente intervalo tiene densidad mínima con un valor menor que es la nueva Db (ejemplo 1.70 g/cm³, Pozo 2, Zona 3). Aparentemente El CBD está asociado a la estructura zonal del yacimiento, y la nueva zona se caracteriza por nuevos ensambles regulares de la alteración que ha afectado la composición mineral y la química relacionada con ella (Smirnov, 1982). La disminución de Db de 2.05 a 1.70 g/cm³ es el reflejo de la interacción de los fluidos hidrotermales con la roca. El análisis de electrofacies consiste en la identificación de los elementos del registro Densidad resaltando el **exceso desde la Densidad background (DX)** (Fig.3), e incluye además los tipos de contactos de la base y el tope (abrupta, gradual) y la forma de las terminaciones de la curva (redondeada, aserrada).

EL ENRIQUECIMIENTO AURIFERO Y LA ELECTROFACIES

Seis pozos distanciados 60 m fueron registrados con las herramientas Densidad y GR en dos sectores, Sector Oeste con los pozos 1, 2, 3, y Sector Este con los pozos 4, 5 y 6.

El Sector Oeste. La Zona 2 es una sucesión de limolita y arenisca gris con D_b de 1.80 a 2.05 g/cm^3 , de oeste a este, mientras que la Zona 3 es más arenosa y tiene D_b constante 1.70 a 1.65 g/cm^3 . El Pozo 1 a pesar de tener buen contenido de oro 0.286 ppm, su electrofacies no está bien desarrollada debido a que tiene excelente ley de plata (44.058 ppm). Como la densidad de la plata, 10-11 g/cm^3 , es baja comparado con la densidad del oro, 19.3 g/cm^3 , este no va a crear suficiente exceso desde D_b (DX) para mostrar el contraste. El Pozo 2 tiene ley promedio de oro 0.258 ppm la que se refleja en elementos de electrofacies bien desarrollados y con DX de 0.4 g/cm^3 , ya que la ley de plata (14.420 ppm) no es suficiente para enmascarar el oro (Fig 4, doble flecha).

Sector Este. La Zona 2 es un cuerpo arenoso gris con pirita diseminada, la D_b varía de 2.10 a 1.70 g/cm^3 , de oeste a este. En el Pozo 5 la mineralización por pulsos ha hecho que se formen intervalos con leyes de oro altas (0.558 ppm) respecto al Pozo 4 (0.287 ppm). Esta diferenciación se verifica en el mejor desarrollo de electrofacies en el Pozo 5 (Fig. 5).

Pozo 1 y Pozo 2

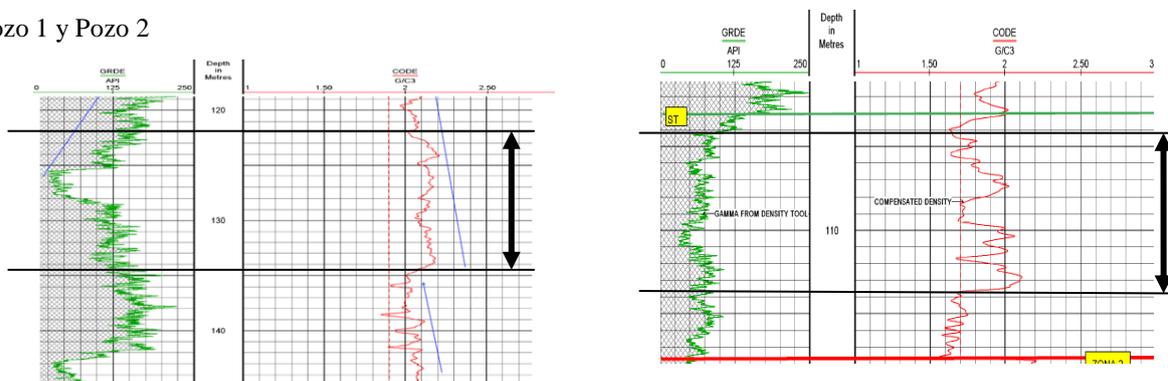


Fig.4. Pozo 1 y 2 tienen leyes de oro comparables pero el Pozo 2 tiene mejores elementos de electrofacies. Las excepcionales leyes de plata del Pozo 1 evita el desarrollo de contactos abruptos y DX.

Pozo 4 y Pozo 5

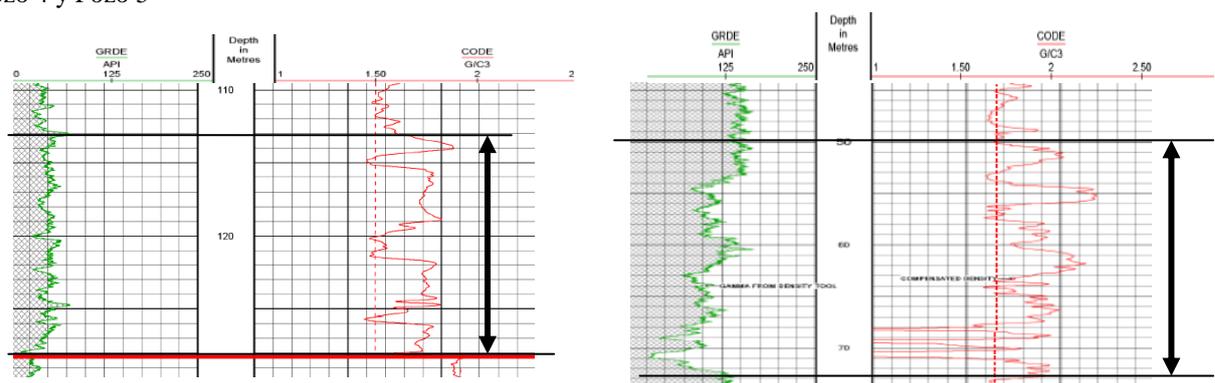


Fig. 5. La mayor separación de la Densidad background (DX) del Pozo 5 respecto al Pozo 4 se debe a su mejor ley de oro, 0.558 ppm contra 0.287 ppm.

DISCUSIÓN

La capacidad del registro de Densidad para identificar los intervalos con enriquecimiento de oro se debe a la formación de pulsos discretos de los fundidos magmáticos a medida que van ascendiendo y enfriando (Smirnov, 1982). Las secciones estratigráficas han visualizado el enriquecimiento mineral. La Zona 2 parece discontinua, periférica y a manera de aureola (Pozos 1, 2 y 6) (Fig. 6 y Fig. 7), pero la Zona 3 tiene buena continuidad y se desarrolla en la parte central (Pozos 2, 3, 5 y 6) donde el enriquecimiento es mayor.

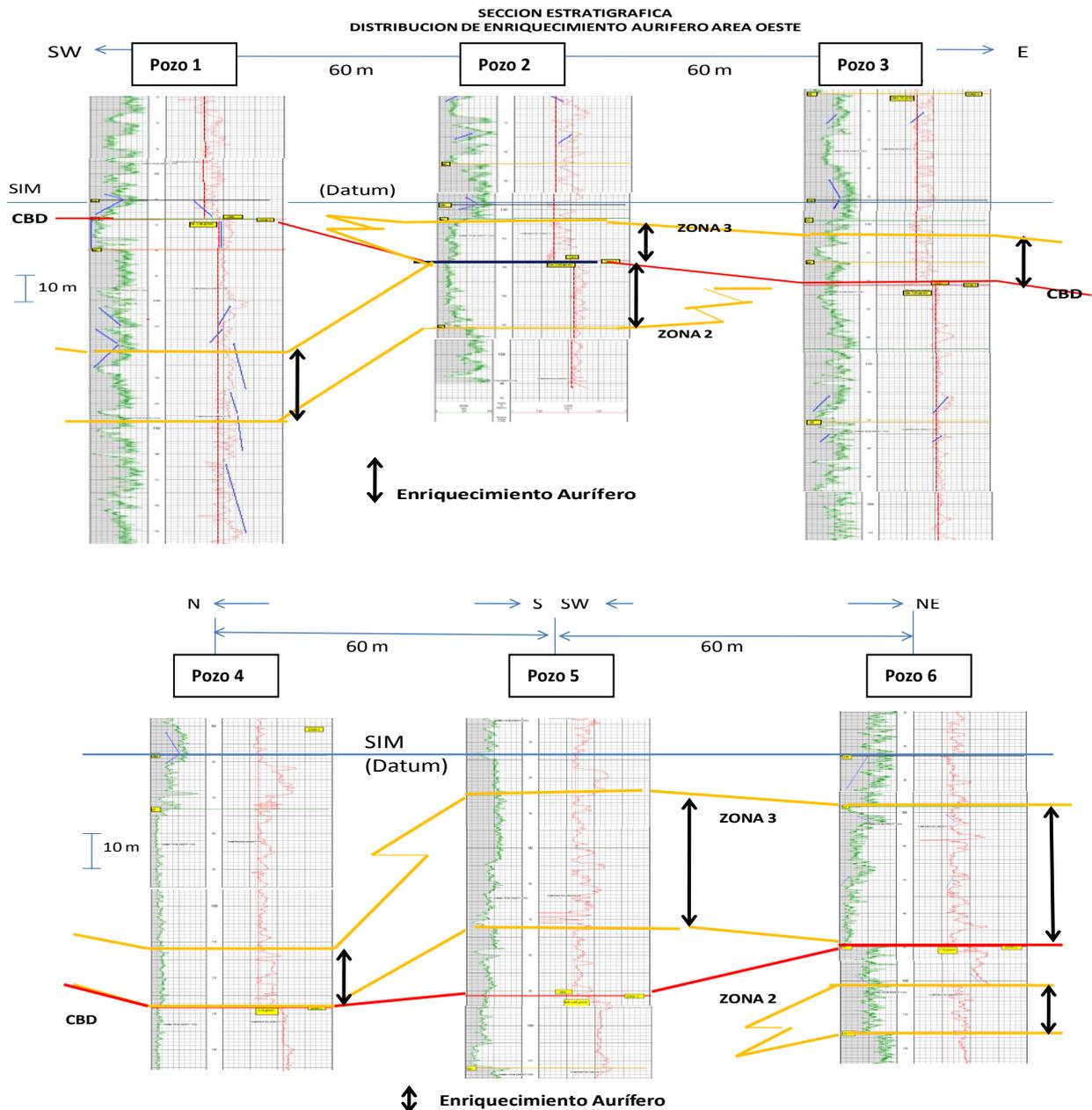


Fig 6 y Fig 7. Secciones estratigráficas Sector Oeste y Sector Este, respectivamente.

CONCLUSIONES

En yacimientos auríferos epitermales diseminados, el oro ha migrado por las brechas craqueladas a manera de pulsos hasta alojarse en intervalos de las zonas. La alta densidad del oro aumenta la densidad promedio abruptamente y crea un buen desarrollo de los elementos de electrofacies. La herramienta geofísica de pozo Densidad, es suficientemente sensible para detectar estos enriquecimientos auríferos de los intervalos.

REFERENCIAS

- AMIREAULT, S., 2009, Shahuindo Project Geology Presentation, Unpublished internal Sulliden Powerpoint presentation, November.
- BAUM, G.R., AND VAIL, P.R., 1988, Sequence stratigraphic concepts applied to Paleogene outcrops, Gulf Atlantic basins In: Sea-Level Changes: An Integrated Approach, eds. Wilgus, et al, SEPM Sp. Pub. 42, p.309-327.
- LAGOS, A.M., J. SÁNCHEZ, Z. QUISPE, O. PALACIOS, 2006, Aportes al análisis de cuencas sedimentarias en los alrededores de las localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, distrito de Cajamarca, En: XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos, Sociedad Geológica del Perú.
- RIDER, M., 2002, The Geological Interpretation of Well Logs, 2nd edition, Progress Press Co Ltd, Malta.
- SERRA, O., 1972, Diagraphies et stratigraphie, Mem. BRGM Fr., No. 77, 775-832.
- SMIRVOV, V.I., 1982, Geología de Yacimientos Minerales, Editorial MIR, Moscú.