



Los registros geofísicos 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)

1. Introducción

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 promediado por cada centímetro cúbico — su densidad electrónica (electrones/cm³) —, 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, que es emitida espontáneamente por los elementos 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 existen.

El objetivo del presente estudio es la identificación por medio del uso del registro de Densidad de intervalos densos afectados por 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 empleado en la identificación de las superficies estratigráficas claves para la construcción de secciones estratigráficas, su correlación, y la distribución de intervalos de enriquecimiento aurífero.

2. Conceptos fundamentales de estratigrafía de secuencias

En ambientes ácuos, se asume que las causas de los cambios en la sedimentación son controladas principalmente por las variaciones de nivel del mar o lago. Típicamente la radioactividad natural más común en rocas sedimentarias se encuentra en las arcillas, puesto que elementos radioactivos ocurren en estos minerales. Por esto el GR como indicador de arcillosidad es usado en la identificación de las superficies estratigráficas claves (Baum y Vail, 1988).

En rocas y registros se distinguen tres superficies significativas:

1) Las superficies de erosión (SE) muestran un contacto abrupto que generalmente separa una lutita infrayacente de una arenisca suprayacente: en GR, se observa un pase de valores altos a valores muy bajos.

2) Las superficies transgresivas (ST) sobreyacen a un relleno anterior y se registran por un punto de inflexión hacia valores más altos debido al aumento de la arcillosidad.

3) Una litología limosa se hace más arcillosa conforme se inunda la costa, hasta llegar a un máximo cuando la orilla se encuentra en su posición más hacia tierra adentro, conformando una superficie de inundación máxima (SIM). El aumento de la arcillosidad y la precipitación de minerales exóticos da el valor máximo de radioactividad en 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.

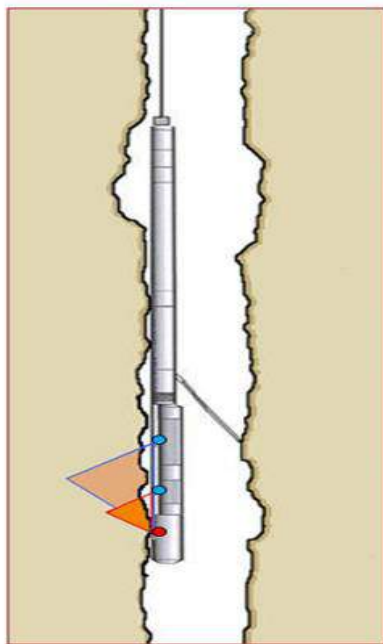


Figura 1. Herramienta de Densidad y Gamma ray.

3. Marco geológico, mineralización, electrosecuencia y electrofacies

Durante el Cretáceo inferior, en lo que es hoy la sierra de La Libertad y Cajamarca, existieron ambientes continentales a marinos someros, incluyendo localmente zonas lacustres, donde se depositaron las arenas, limos y

arcillas de las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz, y Farrat (Lagos et al., 2006). Posteriormente, entre el Oligoceno y el Mioceno, se sucedieron eventos intrusivos de tipo pórfido, de composición félsica a intermedia, facilitando la formación de depósitos epitermales diseminados de oro y plata, en relación con 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 este 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, p. 305).

La disminución de Db de 2.05 a 1.70 g/cm³ es el reflejo de la transformación sistemática de la roca de caja por los fluidos hidrotermales desde las partes más profundas. 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).

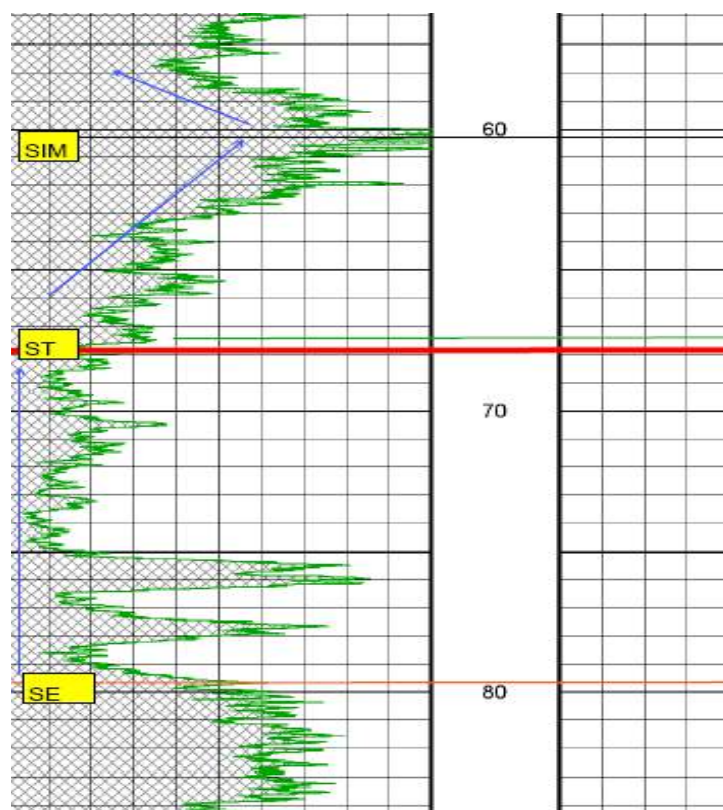


Figura 2. Pozo1: Ejemplo de superficies estratigráficas claves: superficie de erosión (SE), superficie transgresiva (ST), y superficie de inundación máxima (SIM).

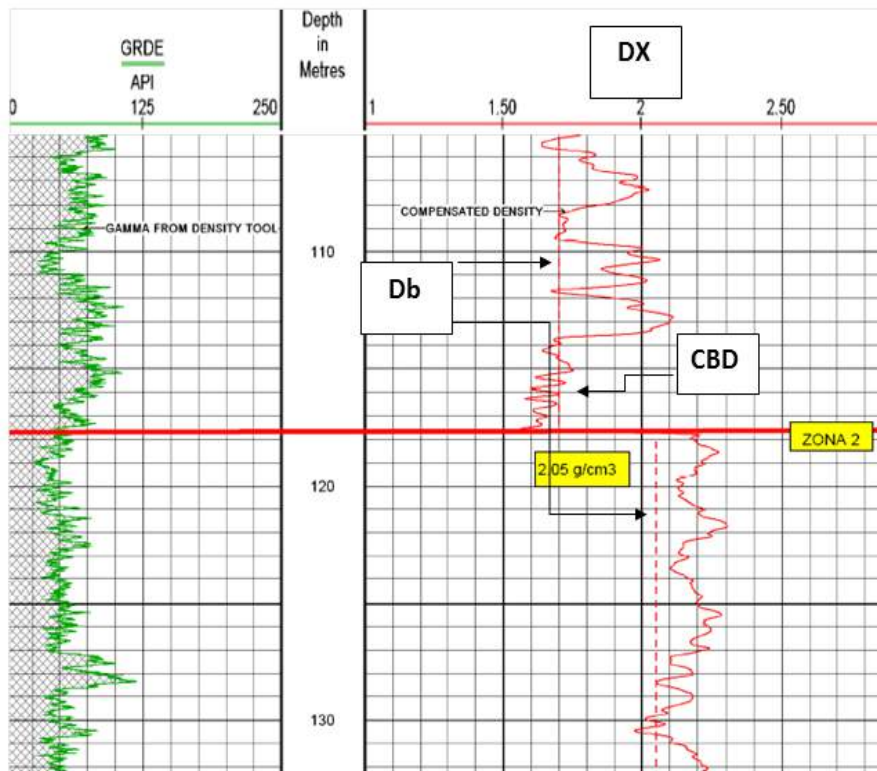


Figura 3. Pozo 2: “Densidad *background*” (Db), “cambio brusco de Densidad” (CBD), y “exceso desde la Densidad *background*” (DX).

4. El enriquecimiento aurífero y la electrofacies

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

Sector Oeste. La Zona 2 es una sucesión de limolita y arenisca gris con Db de 1.80 a 2.05 g/cm³, de oeste a este, mientras que la Zona 3 es más arenosa y tiene Db casi constante, de 1.70 a 1.65 g/cm³.

El Pozo 1 a pesar de tener buen contenido de oro (0.286 ppm), su electrofacies no está bien desarrollada debido a que también tiene una excelente ley de plata (44.058 ppm).

El Pozo 2 tiene una ley promedio de oro de 0.258 g/cm³, que se refleja en elementos de electrofacies bien desarrollados, y con exceso de Db (DX) de 0.4 g/cm³ puesto 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 Db varía de 2.10 a 1.70 g/cm³, de oeste a este.

En el Pozo 5 la mineralización ha hecho que se formaran 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).

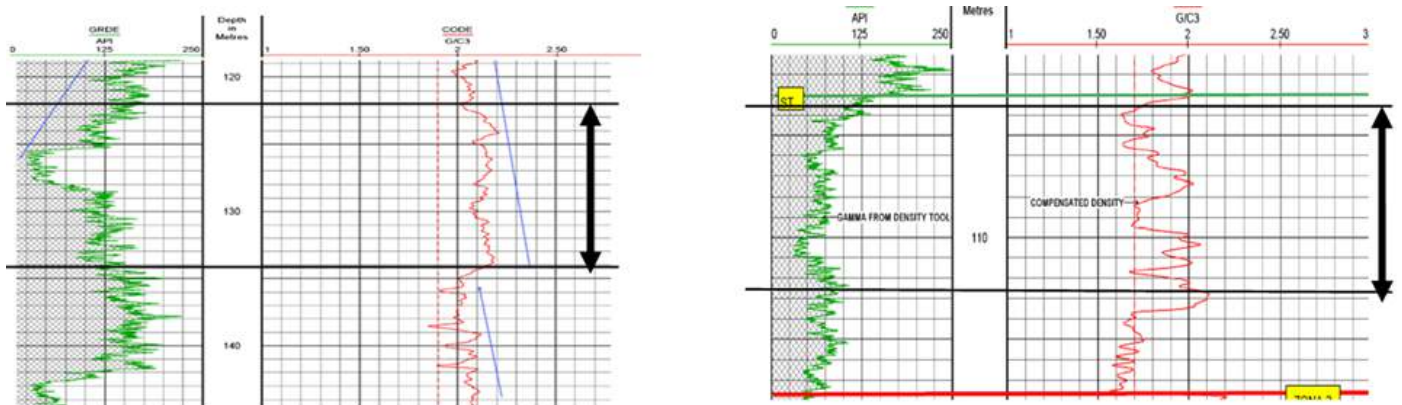


Figura 4. Los pozos 1 y 2 tienen leyes de oro comparables pero el pozo 2 tiene mejores elementos de electrofacies. Las excepcionales leyes de plata del pozo 1 evitan el desarrollo de contactos abruptos y DX.

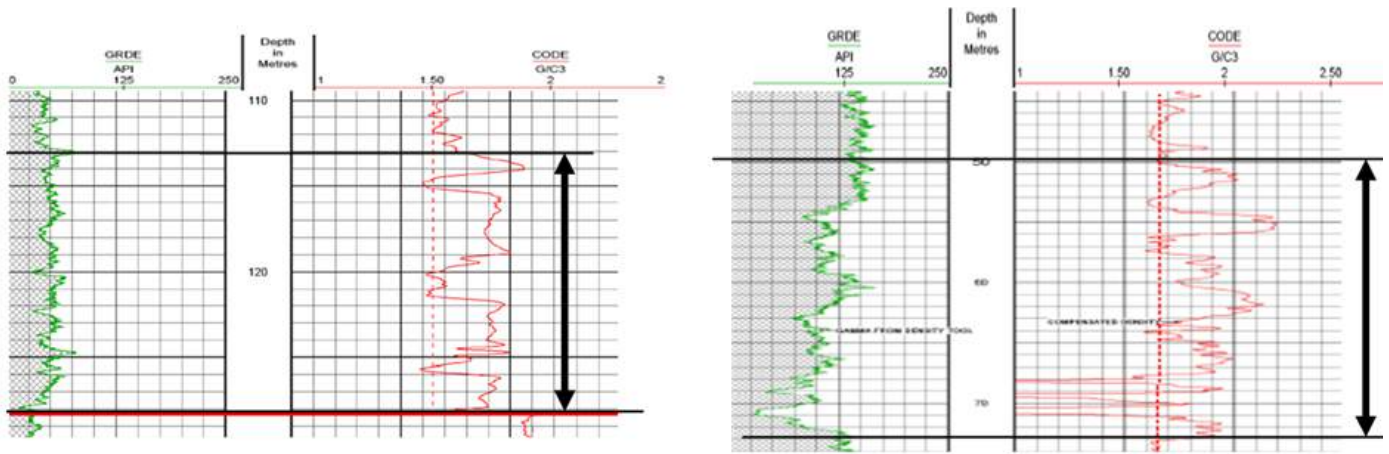


Figura 5. La mayor separación de la Densidad *background* (DX) del pozo 5 respecto al pozo 4 se debe a su mejor ley de oro (0.558 ppm vs. 0.287 ppm).

5. 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 fluidos magmáticos a medida que fueron ascendiendo y enfriando (Smirnov, 1982, p. 307).

Las secciones estratigráficas permiten visualizar el enriquecimiento mineral.

La Zona 2 parece discontinua, periférica y a manera de

aureola (pozos 1, 2 y 6) (Figs. 6 y 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.

El oro ha migrado por las brechas craqueladas a manera de pulsos, hasta alojarse en intervalos de las zonas, aumentando abruptamente la densidad promedio para ser detectado por la herramienta geofísica de Densidad.

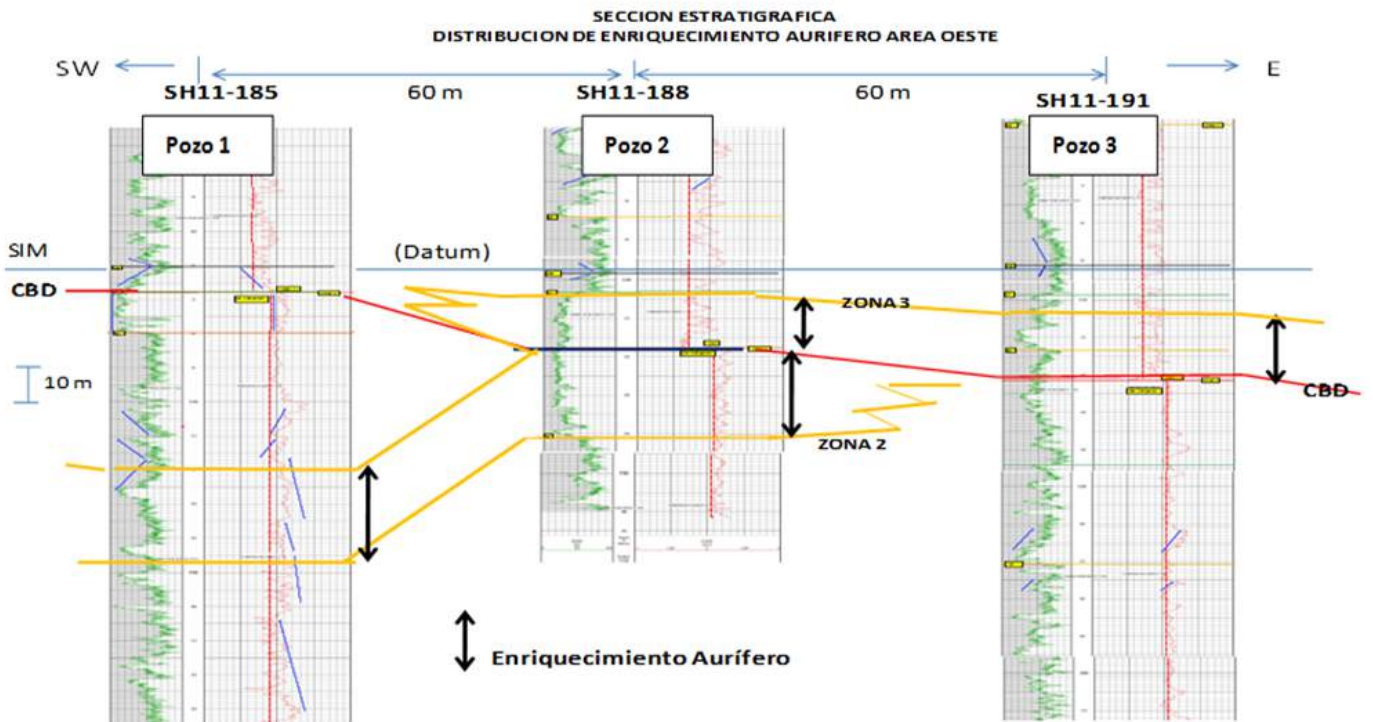


Figura 6. Secciones estratigráficas del sector Oeste.

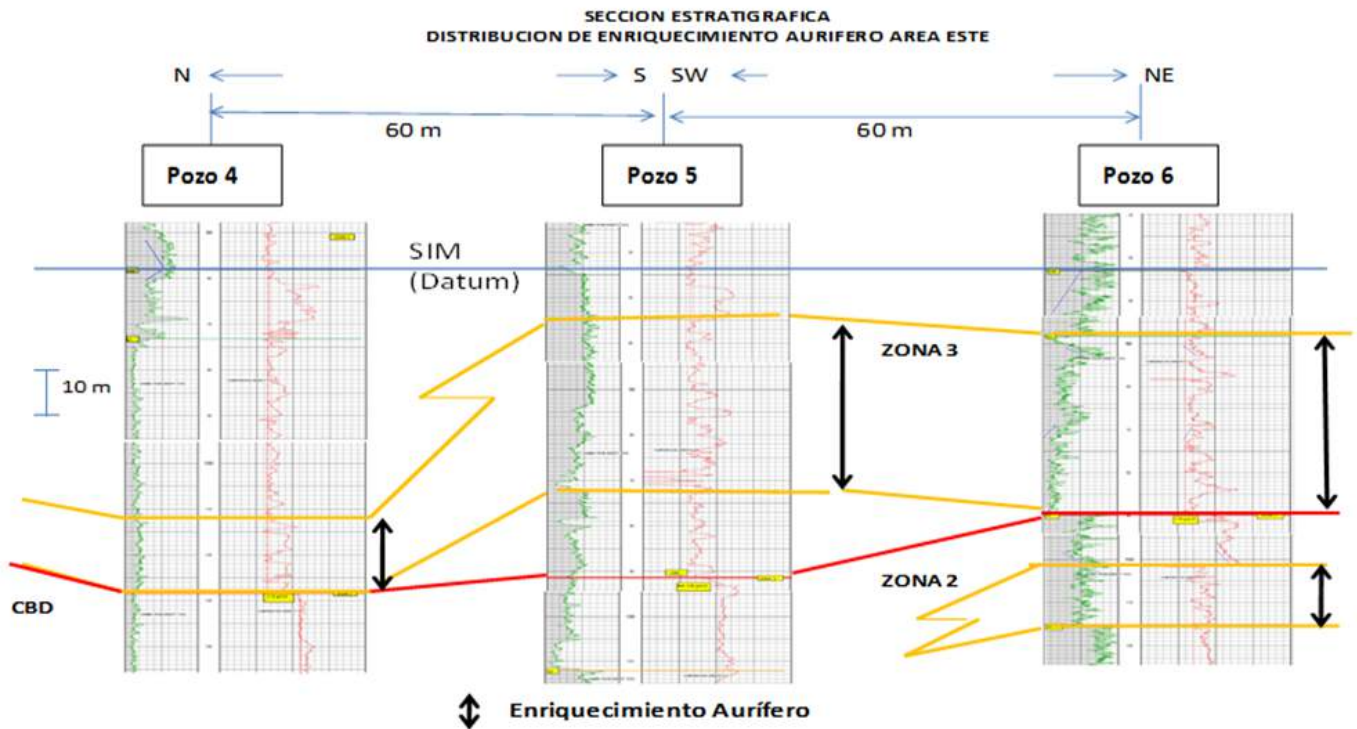


Figura 7. Secciones estratigráficas del sector Este.

Referencias

- Amireault, S. 2009. Shahuindo Project Geology Presentation. Unpublished internal Sulliden presentation.
- Baum, G.R., Vail, P.R. 1988 Sequence stratigraphic concepts applied to Paleogene outcrops, Gulf Atlantic basins. In: Wilgus et al. (eds.), Sea-level changes: An integrated approach, SEPM Special Publication 42, p. 309-327.
- Lagos, A.M., Sánchez, J., Quispe, Z., Palacios, O. 2006. Aportes al análisis de cuencas sedimentarias en los alrededores de las localidades de los baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, distrito de Cajamarca, Resúmenes extendidos, XIII Congreso Peruano de Geología.
- Rider, M. 2002, The geological interpretation of well logs. Progress Press, Malta, 2nd edition.
- Serra, O. 1972. Diagraphies et stratigraphie. Mémoire BRGM, France, v. 77, p. 775-832.
- Smirvov, V.I. 1982. Geología de yacimientos minerales. Editorial MIR, Moscú.