

Sincronización del Plan de Drenaje con el Plan de Minado.

David Manuel Rios Herrera¹

¹ Minera Yanacocha SRL, Km37 Carretera a Bambamarca, Cajamarca, Peru (David.Rios@newmont.com)

RESUMEN:

Debido a que Yanacocha está presente en una zona lluviosa, cerca al Ecuador, en promedio 1500 mm de lluvia al año, con 9 meses de lluvia al año, el drenaje es una parte importante de las operaciones mineras.

El agua está presente en la superficie del terreno, proveniente de las lluvias y al interior de las rocas, debido a la infiltración de esta. En ambos casos es importante drenar el agua para garantizar condiciones de minado seguras, en condiciones secas, para evitar accidentes y estabilizar los taludes y demás facilidades mineras como depósitos de desmonte, relaveras o pilas de lixiviación.

En Minera Yanacocha, adicional al bombeo de agua de escorrentía captada en pozos superficiales, para realizar el drenaje del agua subterránea del tajo usamos pozos para bajar los niveles freáticos y poder tener condiciones de minado sin la presencia de agua. Estos pozos están construidos dentro de la zona de minado del tajo abierto, y para cumplir con el plan de minado, tenemos que primero cumplir con el plan de descenso de la napa freática, por lo que hay que sincronizar ambos planes, el de minado y el de drenaje de tajos, sin que uno afecte al otro (Figura 1).

Sincronizar ambos planes nos permite ahorrar dinero en recursos, materiales y cumplir con los planes de minado sin tener retrasos por la presencia de agua en las operaciones.

1. Introducción

Actualmente, Newmont es propietaria de Minera Yanacocha, la cual está ubicada en Sudamérica, Peru, en el departamento de Cajamarca, al norte de la ciudad de Cajamarca.

Inició sus operaciones en 1992, produjo su primera barra de dore en 1993 y alcanzó su pico de producción en 2005, con más de 3 millones de onzas.

El área total de Minera Yanacocha es de 60 kms² y en ello hay 10 tajos abiertos, de los cuales 8 han requerido drenaje de agua subterránea y en todos se tiene drenaje de agua superficial.

Al ser el drenaje una parte importante de las operaciones mineras, (ver referencias bibliográficas), al inicio, cuando no había una sincronización de planes de drenaje con el plan de minado, el agua era un gran obstáculo que impedía cumplir con los objetivos de minado.

A medida que se profundizaba el minado de los tajos, apareció un problema adicional al agua de lluvia, el cual es el agua subterránea, el cual se solucionó realizando el drenaje del tajo mediante el uso de pozos cuyas profundidades varían entre 200 y 450 mts de profundidad dependiendo de la profundidad del tajo.

Debido a que el agua drenada se encuentra en la misma roca en la que está el mineral económico, es necesario construir los pozos de drenaje dentro del cono de minado del tajo, es por ello que habrá mucha interacción entre el sistema de drenaje (pozos, tuberías y cables de energía) con las perforadoras, palas y camiones de operaciones mina.

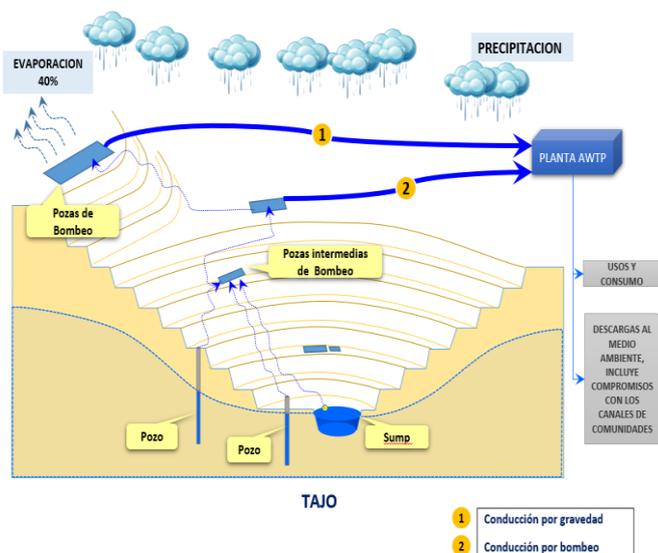
Si es que se prioriza el minado de mineral sobre el drenaje, el avance vertical de minado se encontraría en condiciones húmedas, siendo imposible ser ejecutado. Si se prioriza el drenaje, para descender el nivel de agua, no se ejecutaría el minado del mineral, no sería una operación rentable.

Se debe tener en cuenta que no es un solo pozo en el tajo, hay entre 5 y 9 pozos, por lo que hay bastante interacción.

Para lograr el avance vertical de minado en condiciones secas, logrando un descenso del nivel de agua que permita tener condiciones secas para que las palas, perforadoras y camiones trabajen sin problemas, es necesario sincronizar ambos planes, que trabajen sin que uno afecte al otro. Esta sincronización consiste en:

1. Que exista comunicación asertiva en ambas direcciones entre las áreas de Planeamiento mina, Servicios Mina y Operaciones Mina.
2. Compartir los planes de minado a mediano, largo y corto plazo, para que Servicios mina pueda programar con anticipación los movimientos de facilidades, esta programación consiste en la obtención de los recursos necesarios (gente, materiales, equipos) y considerarlo en el presupuesto anual. Si se hacen las compras con anticipación se obtienen ahorros por evitar compras por emergencia y ahorros por compras por cantidad.
3. El uso de redundancias, es decir el uso de dos líneas de tuberías y cables, para que los movimientos de estos puedan darse con la menor cantidad de tiempo de paradas de los pozos.

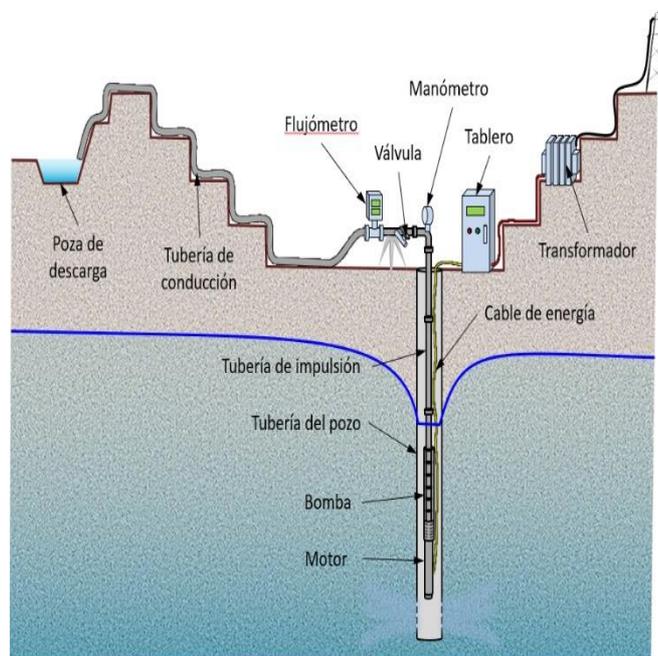
Figura 1: Drenaje típico de un tajo en Minera Yanacocha. Incluye el drenaje de escorrentías de lluvias captadas en pozas, y el drenaje de los tajos con los pozos.



Un pozo de drenaje subterráneo usado en Minera Yanacocha consiste en una perforación de 22 pulgadas de diámetro dentro del cual se ha colocado una tubería ranurada de acero inoxidable 304, la cual sirve de sostenimiento para que el pozo no colapse. En el espacio anular que esta entre la tubería ranurada y la

roca perforada hay un filtro de grava, el cual filtra los sedimentos que vienen cuando el agua pasa de la roca hacia el interior del pozo debido al bombeo. Dentro de esta tubería ranurada se instala el motor y bomba sumergibles, el cual bombea el agua subterránea hacia el exterior, generando el descenso del nivel freático para tener condiciones secas de minado. En la Figura 2 se observa cómo es un pozo y todos los componentes que están asociados a este para que pueda drenar el agua subterránea del tajo abierto.

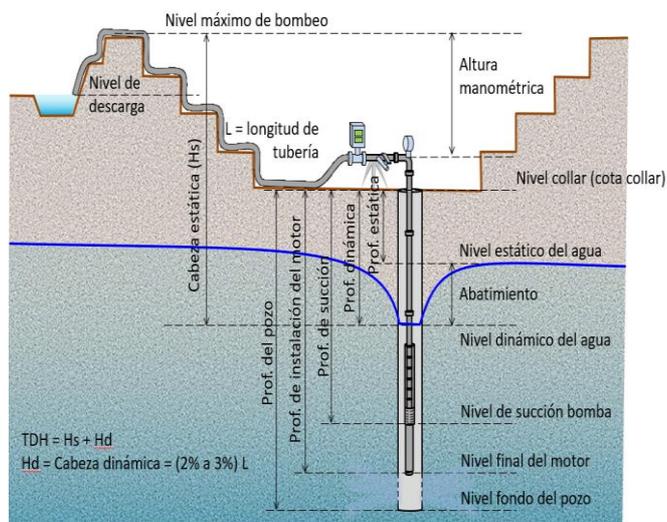
Figura 2: Pozo de drenaje y componentes asociado a este para que pueda cumplir con el trabajo de drenaje del agua subterránea.



El manejo de un pozo de drenaje subterráneo implica realizar monitoreos de flujo y niveles de agua, tanto en el mismo pozo como en piezómetros localizados en el área del tajo de minado.

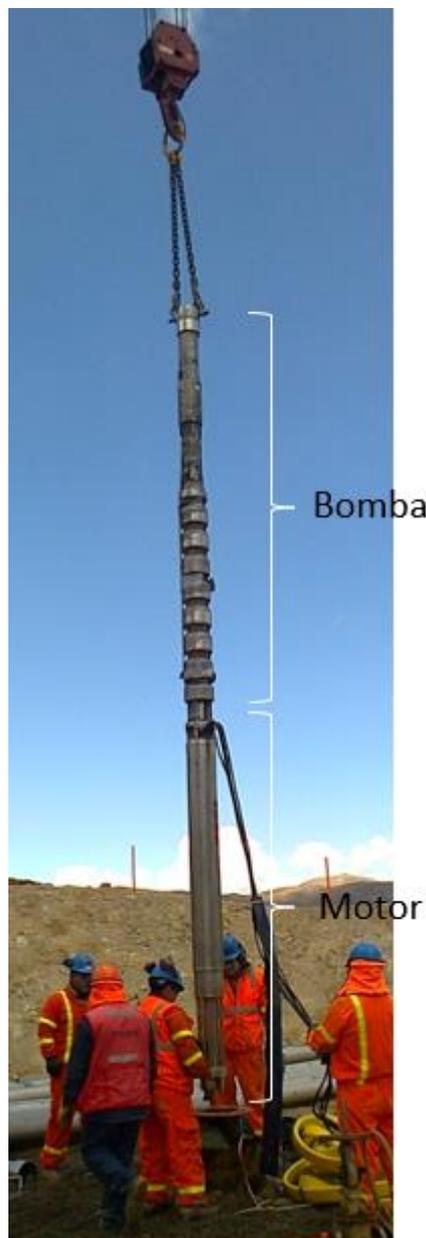
Los datos obtenidos con las mediciones se muestran en la figura 3, los cuales nos permiten saber si es que el pozo tienen un buen comportamiento operativo o es requerido algún cambio adicional, el cual se planifica en la siguiente parada operativa, en coordinación con los planes de minado.

Figura 3: Términos de las mediciones que se realizan en un pozo de drenaje para determinar el ratio de avance en el descenso de la napa freática.



Los motores y bombas instalados dentro de los pozos son sumergibles. Estos motores y bombas son de diámetro menor al diámetro de la tubería de acero del pozo, de tal manera que para que puedan cumplir con la potencia y flujo requerido son largos en comparación con otras bombas y motores usados en el drenaje superficial, tal como se observa en la figura 4.

Figura 4: Motor y Bomba usados en los pozos de drenaje de agua. Estos son instalados al interior del pozo de bombeo. Nótese el tamaño del motor y bomba en comparación con las personas que trabajan en la instalación.



2. Metodología de la sincronización [rango 1]

2.1. Ubicación de pozos de drenaje [rango 2]

En Minera Yanacocha, tenemos Pozos de drenaje perforados dentro de las zonas de operaciones de minado en el tajo abierto.

Para tener condiciones de minado sin la presencia de agua, y garantizar temas de seguridad, estabilidad de taludes y evitar retrasos en los planes de producción, es necesario cumplir con el plan de descenso de napa

freática y que este sincronizado con el plan de minado y su avance vertical.

En las figuras 5 y 6, podemos ver el plan para bajar el nivel freático y el plan de avance vertical de minado. Para cumplir con estos planes, se ha calculado un flujo de bombeo que permita descender los niveles freáticos por delante del avance vertical de minado.

Para cumplir con estos planes, los pozos se han perforado en el interior del tajo, en las zonas de minado del tajo abierto ya que la roca que contiene el mineral también contiene el agua subterránea que se tiene que drenar. Esta roca es una alteración sílicea porosa (conocida como Vuggy silica) cuya permeabilidad es principalmente primaria, dejando de lado la permeabilidad secundaria (las fracturas o fallas). Este cuerpo de sílice está rodeado de alteraciones que contienen arcillas, si perforamos en zonas fuera del tajo, estaríamos teniendo pozos en las zonas de arcilla que no lograrían el objetivo de drenaje en la zona de minado.

Como los pozos están dentro de la zona de minado, estos no bombean cuando la pala está minando alrededor del pozo, por lo que para evitar tener muchos pozos parados sin bombear, se sincronizo el plan de minado con el plan de bombeo.

Siempre hay que considerar la redundancia, esto es, que si para lograr el flujo de bombeo objetivo yo necesito 3 pozos, se perfora 4, para poder tener siempre 3 operativos en caso pare uno

2.2. Metodología de la sincronización de planes [rango 2]

2.2.1. Primer paso [rango 3]

Obtener todos los planes de minado, a corto, mediano y largo plazo, de tal manera que en un plano podamos ver las áreas de minado de manera mensual o anual.

2.2.2. Segundo paso [rango 3]

En un plano mostrar la ubicación de los pozos junto con la áreas de minado según el plan mensual o anual.

De ahí se planifica la cantidad máxima de pozos que se puede parar, y el número de días que pararan, de tal manera que el flujo de bombeo no baje de tal manera

que los niveles freáticos empiecen a subir. Se siempre de bombear por encima del ratio de bombeo de equilibrio (en donde la napa freática no sube ni baja).

En caso de que el plan de minado implique parar muchos pozos que perjudicarían el descenso freático, se modifica el plan de minado.

Para evitar esto, se estimó que podemos parar un pozo a la vez por un plazo máximo de 6 días, en esos 6 días, alrededor del pozo, se debe perforar la malla de voladura, volar y minar, incluyendo la instalación y desinstalación de motor y bomba dentro del pozo.

2.2.3. Tercer paso [rango 3]

En el plano también se muestra la ubicación de los cables de energía, tableros, transformadores y tuberías. Esto para planificar la ubicación de tuberías matrices, cables matrices de acuerdo a los planes de minado a largo plazo para que estas facilidades se reubiquen lo menos posible. También para planificar los movimientos de tuberías, tableros y cables de cada pozo de manera individual o en conjunto, permitiendo planificar los recursos (materiales, equipos, personal) de manera anticipada, para que llegado el momento de la reubicación se cuente con todo lo necesario minimizando así el tiempo de parada de los pozos.

Para evitar parar los pozos por movimiento de tuberías y cables que están dentro de la zona de minado, se puede instalar por adelantado los cables y tuberías de reemplazo (redundancia) fuera de la zona de minado para ese mes, de tal manera que se pueda hacer un cambio rápido conectando los pozos a las nuevas tuberías y cables.

Los cables y tuberías que estaban en la zona e minado se recuperan para ser usados en el próximo cambio necesario de acuerdo a los planes de minado.

3. Ejemplos gráficos de Metodología de la sincronización aplicada en Minera Yanacocha.

Las figuras mostradas a continuación son ejemplos de la aplicación de la sincronización de los planes de minado y de drenaje del agua subterránea.

Figura 5: Plan a largo plazo del drenaje de tajo, elaborado en el 2012. En ese año, para cumplir con el avance de minado vertical (línea marrón p12c pit plan)

fue necesario perforar pozos adicionales en la zona de minado del tajo El Tapado Oeste, con esto se incrementaría el flujo bombeado (línea gris discontinua) a 560 litros por segundo. Se estimo el descenso de la napa freática (línea roja discontinua) usando datos colectados de ratios de descensos históricos comparados con sus correspondientes flujos bombeados. (Autor de la figura: David Rios).

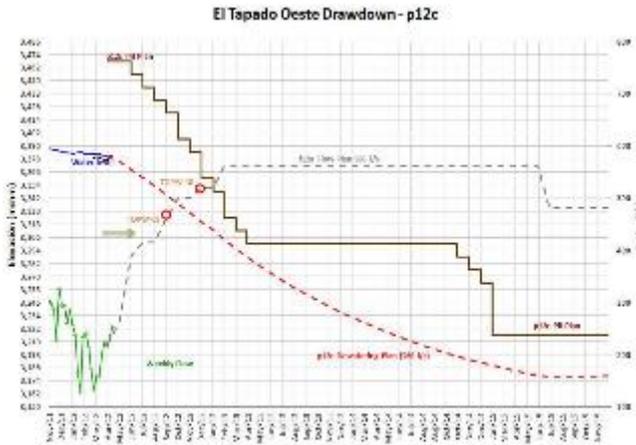


Figura 6: El año 2017 del mismo tajo de la figura 1, se logro alcanzar los 560 litros por segundo en promedio y se logro el descenso freatico planeado en el 2012. Pero el plan de minado cambio, se decidió profundizar 48 metros más el tajo. Como los pozos eran lo suficientemente profundos, no fue necesario nuevos pozos, pero si instalar mas estaciones de rebombeo para reducir la cabeza a los pozos y garantizar un flujo de bombeo de entre 500 y 600 litros por segundo. De esta manera se logro deprimir la napa y cumplir con el avance vertical de minado. (Autor de la figura: David Rios).

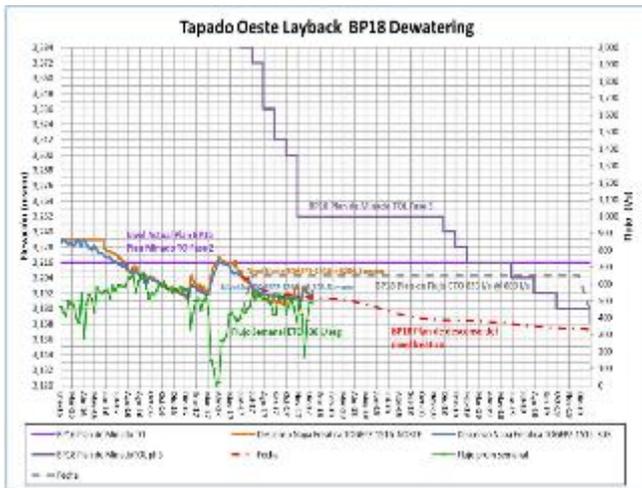


Figura 7: Plan de ubicación de tuberías de pozos en el Tajo La Quinua del mes de marzo 2006. Los puntos negros son los pozos (12 pozos). Las áreas que se van a

minar son las áreas achuradas en rojo. El objetivo es que las tuberías (líneas de colores) estén fuera de las zonas de minado. Las líneas de colores representan a las tuberías de HDPE con diferentes SDR (cada color es un tipo de SDR). La tubería que esta dentro del circulo celeste ha sido ubicada en esa zona ya que estará fuera de zonas de minado hasta diciembre del 2006 (Ver figura 5). Además se observa dos pozos (puntos negros) están en zonas de minado, con lo que se planifica que pare un pozo a la vez, cada pozo pararía por 6 días máximo (Autor de la figura: David Rios).

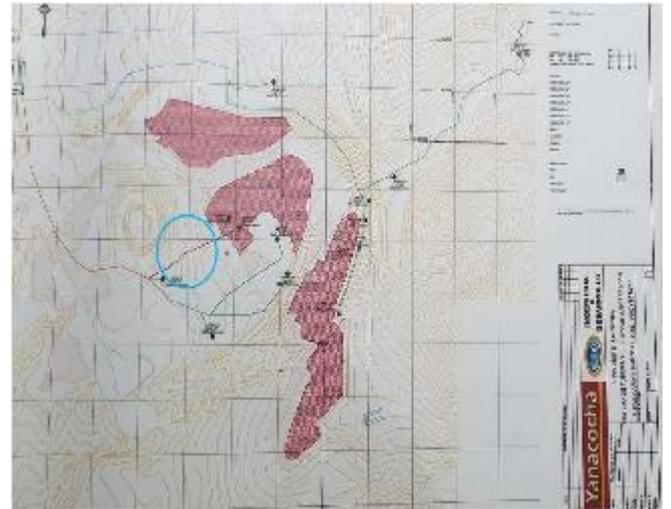


Figura 8: Plan de ubicación de tuberías de pozos en el Tajo La Quinua del mes de setiembre 2006. Si comparamos esta figura con la figura3, podemos observar cómo es que se está planeando el movimiento de tuberías dentro del circulo amarillo, esto permite disminuir el tiempo de parada del pozo. Además se observa un pozo (punto negro) en zona de minado, con lo que se planifica que pare por 6 días máximo. (Autor de la figura: David Rios).

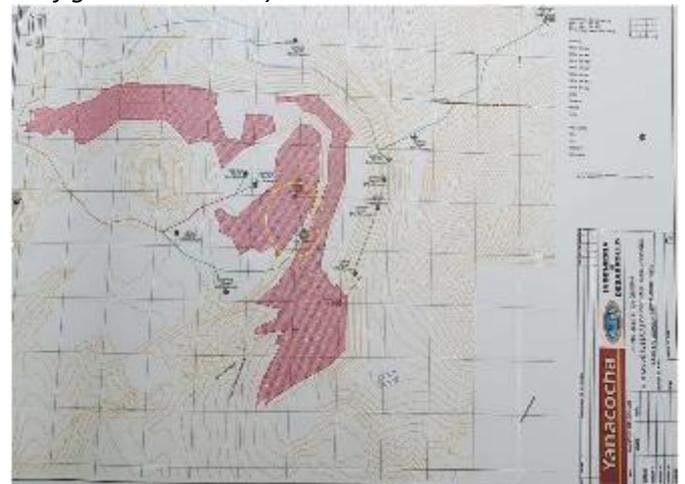


Figura 9: Plan de ubicación de tuberías de pozos en el Tajo La Quinua del mes de diciembre 2006. Se ve en el

circulo celeste, como la tubería esta fuera de plan de minado, esta tubería se colocó en ese lugar según lo planificado en marzo del 2006 (figura 3).

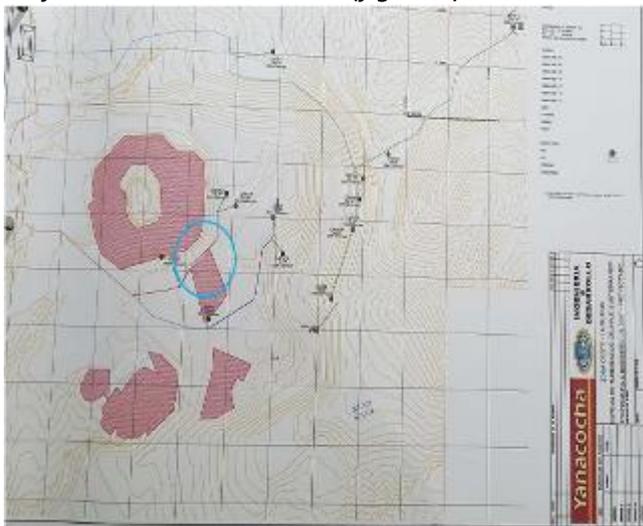


Figura 10: Planes de minado a largo plazo para el 2008 mostrado por las áreas achuradas en rojo. Se planea la ubicación de las tuberías matrices, para evitar que estén dentro de las áreas de minado. Si es que hay que reubicar alguna tubería matriz, se planifica los recursos y la fecha de movimiento por adelantado para reducir el tiempo de parada de los pozos y optimizar el presupuesto.

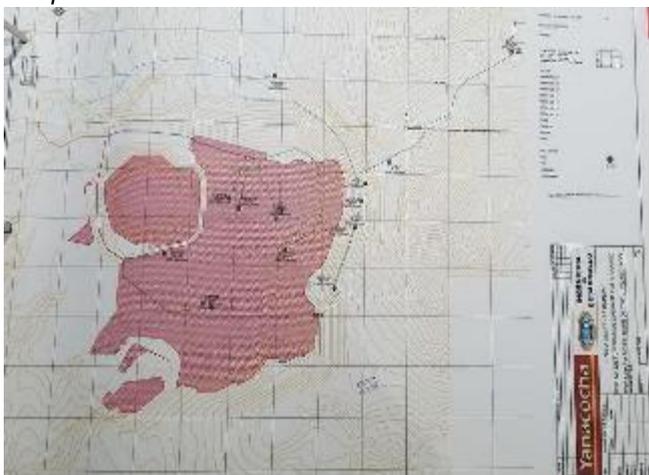


Figura 11: Plan de ubicación del sistema de energía eléctrica en el Tajo La Quinua del mes de marzo 2006. Se tienen las áreas de minado achuradas en rojo, los cables eléctricos en magenta, los triángulos azules representan las subestaciones eléctricas y transformadores, cuyas ubicaciones están planificadas según las zonas de minado. La mayoría de los cables están fuera de las zonas de minado y normalmente se colocan junto a las tuberías de drenaje de los pozos. Dentro del círculo amarillo sabemos que un cable estará en la zona de minado en ese mes, y que necesitaremos moverlo cuando la pala este minando

cerca, como el minado es de sur a norte, se instaló un cable adicional en el lado sur, fuera de la zona de minado, de tal manera que cuando la pala se acercó al cable activo, se conectaría el cable adicional y se retiraría el cable original, minimizando el tiempo de parada de los pozos. Dentro del círculo verde se observa un transformador eléctrico que será movido fuera de esa zona para setiembre del 2006 (figura 8), en donde habrá minado ahí. El círculo celeste, al igual que en la figura 3, muestra la ubicación del cable junto a la tubería, zona fuera de minado hasta diciembre del 2006.

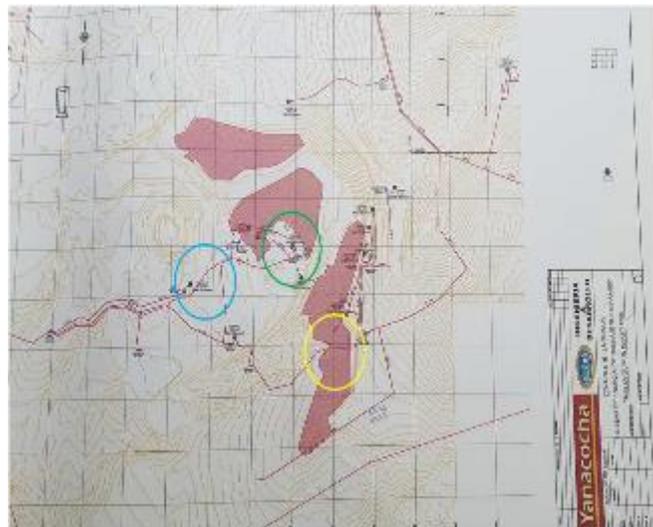


Figura 12: Plan de ubicación del sistema de energía eléctrica en el Tajo La Quinua del mes de setiembre 2006. Dentro del círculo verde se ve el transformador eléctrico (figura 7) ya reubicado fuera de la zona de minado. Como este trabajo se planifico con anticipación, se logró minimizar la parada de los pozos y se logró ahorros en el presupuesto al optimizar las sinergias.

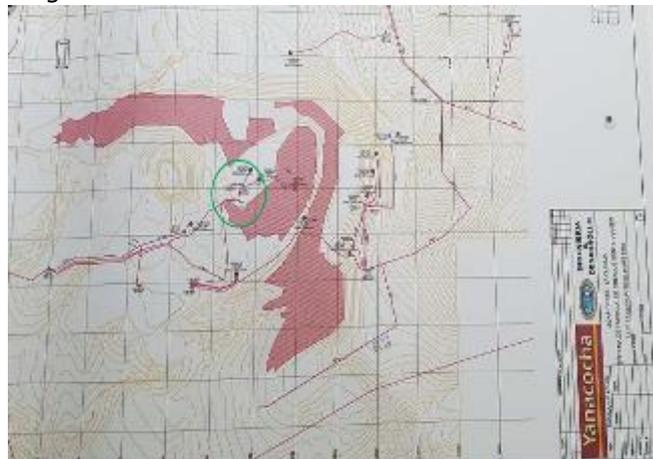


Figura 13: Plan de ubicación del sistema de energía eléctrica en el Tajo La Quinua del mes de junio 2007. Dentro del círculo verde se observa el transformador

reubicado en setiembre del 2006, casi un año después será necesario reubicarlo (plan a mediano plazo), como estos transformadores son reubicados con cierta periodicidad, se considera dentro del planeamiento de trabajos rescatar y reusar materiales de aterramiento como barras de cobre, o cables de cobre desnudo si es posible.

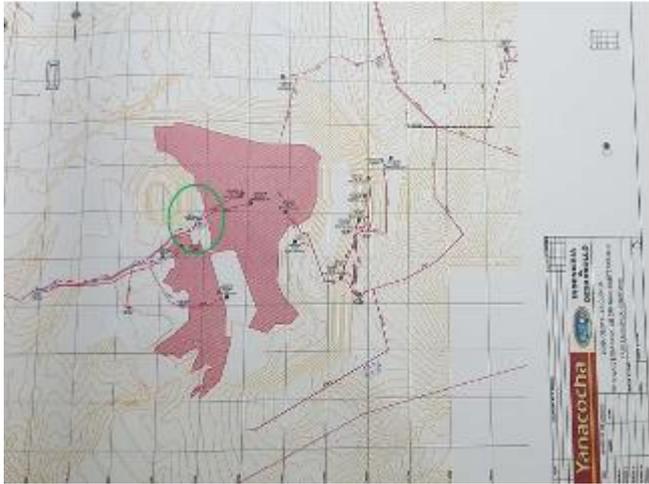


Figura 14: Plan de ubicación del sistema de energía eléctrica en el Tajo La Quinua del mes de noviembre 2007. En setiembre y octubre, se planean los trabajos requeridos ser ejecutados para noviembre, se prepara recursos humanos, grúas, contratistas, y material como tuberías o cable eléctrico. En los círculos en negro se han identificado las zonas en donde se requerirán planificar y ejecutar trabajos como movimiento de cables.

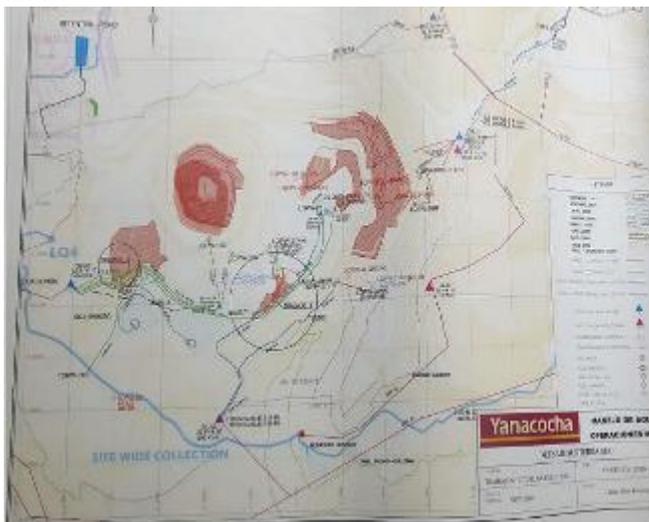


Figura 15: Planes de minado en largo plazo del Tajo Yanacocha. Cada mes es un color diferente y se observan las ubicaciones de las tuberías y pozos, de esta manera podemos planificar el movimiento de las tuberías y ubicación de los tanques de rebombeo, ya que a medida que el tajo profundiza, la cabeza de

bombeo aumenta, lo cual también significa que debemos de diseñar y comprar por anticipado tuberías HDPE con un SDR que se adecue a este cambio.

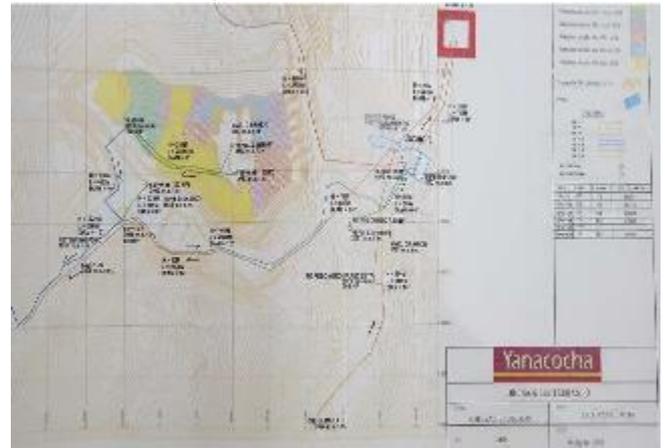
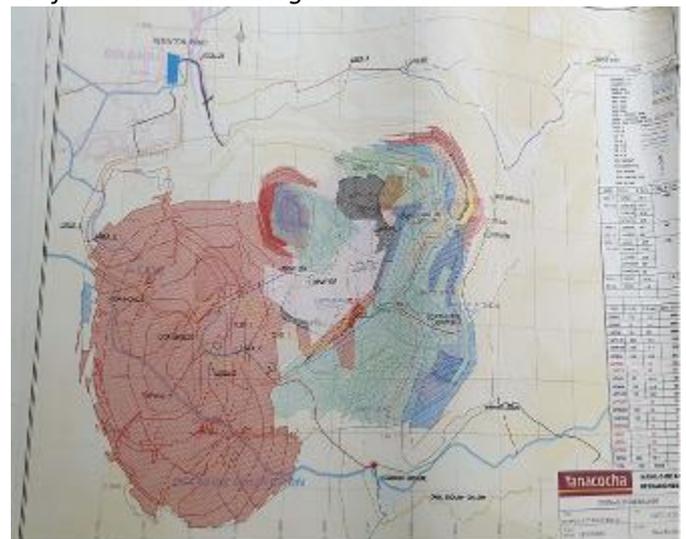


Figura 16: Plan de minado a largo plazo del Tajo La Quinua. Con este plan a largo plazo se planifica el movimiento de tuberías matrices a largo plazo, así como la ubicación de los tanques de rebombeo y transformadores de energía eléctrica.



4. Conclusiones

- 1) Tener un plan de movimientos de cables eléctricos y tuberías nos permite obtener los recursos por adelantado (comprar de materiales, herramientas, equipo y personal). Con esto lograr ahorros y se evita la compra de materiales por emergencia, lo que significa un incremento en los costos.
- 2) Al tener un plan de parada de pozos de manera mensual, podemos planificar el mantenimiento de los motores y bombas, evitando así parada por fallas de estos equipos.

- 3) También se puede planificar el mantenimiento y reemplazo de tableros y subestaciones para evitar paradas por fallas de estos equipos.

Agradecimientos

Se agradece a la empresa Minera Yanacocha SRL por permitirme presentar este artículo.

Referencias [apellidos en minúsculas]

Newmont Yanacocha (2022). Página de internet de Newmont Yanacocha (<https://yanacocha.com/nosotros/#:~:text=lixiviaci%C3%B3n%20en%20pilas.-,Yanacocha%20fue%20constituida%20legalmente%20en%201992%20y%20actualmente%20Newmont%20es,7%20de%20agosto%20de%201993>).

Rios, D; Herrera, J & Oliveros, C. (2017). Presentación Manejo de Aguas en Minera Yanacocha para la Universidad Privada del Norte y la Universidad Nacional de Cajamarca.

Sari Uly Sibarani, Mukiat, M Akib Abro (2016). Analysis Technical Mine Dewatering Based on three years mining plan until 2016 in west block pit PT Muara Alam Sejahtera Lahat Regency.

Beale, Geoff & Read, John (2013). Evaluating Water in Pit Slope Stability, pages 1 – 600.

Caldwell, Jack. (2010). Aguas Subterráneas en Minería, Edumine.

Bise, Christopher. (2010). Pumping and Drainage. SME Mining Engineering Analysis, 2nd Edition. Chapter 5, pages 121 – 144.

Peurifoy, R.; Schexnayder, C. & Shapira, A. (2006). Equipment for Pumping Water. Construction Planning, Equipment, and Methods, 7th Edition. Chapter 20 – 20.1, pages 655 – 674.

Abramson Lee W. (2002). Slope Stabilization Methods – Drainage. Slope Stability and Stabilization Methods, 2nd Edition. Chapter 7 – Drainage 7.4, pages 482 – 497.

Warner, Richard C. (1992). Design and Management of Water and Sediment Control Systems. SME Mining Engineering Handbook, 2nd Edition Volume 1, Senior Editor Howard L Hartman. Chapter 12.1, pages 1158 – 1169.

Meek, F. A. (1989). Water Management. SME Surface Mining, 2nd Edition, Senior Editor Kennedy B.A. Chapter 6.7.1, pages 819 – 840.

Sanchez, Luis Enrique. (Brasil 1984). Drenaje de minas a cielo abierto. II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental Innovation, Capítulo 16, páginas 251 – 264. (http://www.edsonplasencia.com/minas/drenaje_cieloabierto.pdf).

Las Figuras 5 a 16 son de elaboración propia del autor.

Ilustraciones

Las figuras que se presentan en este artículo sirven para explicar de una manera sencilla la manera en que se logró sincronizar el plan de drenaje y los planes de minado.

Perfil profesional

Ingeniero de Minas, con experiencia en Hidrogeología, Diseño de sistemas de tuberías y energía para el drenaje de tajos, mejora continua y optimización de costos.

Nombre del autor: David Manuel Rios Herrera

Cargo: Supervisor Hidrogeología

Empresa: Minera Yanacocha SRL.

Correo electrónico: David.Rios@newmont.com

Teléfono / Celular: 976226056

Dirección: Oficinas Minera Yanacocha Km37 Camino a Bambamarca / Cajamarca