

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bryam Jhoel Altamirano Mariños

Vanesa Elizabeth Coba Sanchez

Asesor:

Mg. Ing. Jonathan Giancarlo Cucho Paredes.

Trujillo - Perú

2021



“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación lo dedicamos en primer lugar a Dios nuestro **creador, por su infinito amor y permitirnos alcanzar nuestras metas.**

A nuestros padres por todo el amor, sacrificio, confianza y por su invaluable apoyo incondicional a lo largo de nuestras vidas y sobre todo en nuestra carrera.

## **AGRADECIMIENTO**

De manera especial al ingeniero Jonathan Cucho por su apoyo y orientaciones oportunas para la realización del presente trabajo de investigación.

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada del Norte que nos han acompañado a lo largo de la carrera, por sus conocimientos y consejos profesionales.

Nuestro reconocimiento y gratitud.

**TABLA DE CONTENIDOS**

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>30</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resultados de la medición realizada en el sondaje Sha-D20-278M. ....	33
Tabla 2: Medición de la desviación del sondaje SHA-R20-369 .....	34
Tabla 5: LeftRight del sondaje SHA-D20-278M. ....	36
Tabla 6: Variación en el LeftRight del sondaje SHA-R20-369.....	36
Tabla 7: Medición sondaje SHA-D20-290M. ....	38
Tabla 8: Medición del sondaje SHA-D20-279P .....	39
Tabla 9: Medición del sondaje SHA-R20-380 de RC .....	42
Tabla 3: Lista de sondajes desviados en un Proyecto Minero de Cajabamba 2020. ....	44
Tabla 10: Reducción de costos de perforación al minimizar la desviación de sondajes diamantina y aire reverso.....	46
Tabla 11: Geología Regional en un Proyecto Minero de Cajabamba 2020. ....	66
Tabla 17: Tabla de frecuencias para el diagrama de Pareto. ....	69
Tabla 12: Lista de sondajes medidos con Gyro Reflex en un Proyecto Minero de Cajabamba 2020 .....	71
Tabla 13: Límites de desviación de sondajes .....	72
Tabla 14: Costos de Perforación Diamantina, según el diámetro y la profundidad en (US\$/m). ....	73
Tabla 15: Costos unitarios de perforación Aire Reverso (US\$/m).....	74
Tabla 16: Costos particulares de la operación. ....	74
Tabla 18: Inversión en el proyecto para controlar la desviación de los sondajes.....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de Perforación Diamantina.....	17
Figura 2: Diámetro de los tubos de perforación DDH.....	18
Figura 3: Sistema de perforación Aire Reverso (RC).....	19
Figura 4: Extracción de muestra de chips, después de su paso por el ciclón. ....	19
Figura 5: Desviación de Taladros.....	22
Figura 6: Equipo Gyro Reflex. ....	24
Figura 7: Composición del equipo Gyro Reflex.....	25
Figura 8: Proceso de armado, instalación y configuración del equipo Gyro Reflex. ....	25
Figura 9 : Guardado de datos después de culminar con la medición. ....	26
Figura 10: Flujograma del procedimiento. Ver Anexo 8.....	32
Figura 11: Gráfico de desviación del Azimut.....	34
Figura 12: Gráfica de la desviación del azimut del sondaje SHA-R20-369.....	35
Figura 13: Grafica de diferencia entre sondajes desviados y no desviados.....	45
Figura 14: Gráfica del azimut del sondaje SHA-D20-290M.....	39
Figura 15: Gráfica de la variación del azimut del sondaje SHA-D20-279P. ....	41
Figura 16: Diagrama del azimut del sondaje SHA-R20-380.....	43
Figura 17: Representación gráfica del total de costos por desviación de los sondajes. ....	47
Figura 18: Columna Estratigráfica de Cajamarca.....	67
Figura 19: Misclose de desviación. ....	72
Figura 20: Diagrama de Pareto de los parámetros de perforación. ....	69

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS  
TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE  
REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR  
DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO  
MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

**RESUMEN**

Esta investigación se basó en la influencia de los parámetros técnicos de la perforación diamantina (DDH) y aire reverso (RC), para disminuir costos operativos por desviación de sondajes en un proyecto minero. Durante el desarrollo del proyecto fue de suma importancia verificar la trayectoria que seguían los sondajes ya que de esta manera se lograría llegar al objetivo planteado por el área de geología. Los objetivos específicos de esta investigación fueron: medir la desviación de la trayectoria de los sondajes y calcular los costos perdidos, verificar los parámetros de perforación y controlar los parámetros técnicos de perforación para reducir los costos operativos. Los parámetros que se tomaron en cuenta fueron: revoluciones por minuto (rpm), presión de la corona y empuje. Esta investigación tomó como muestra tres sondajes correspondientes a perforación diamantina y dos de aire reverso. Los datos se tomaron de los reportes diarios de avance de perforación y para datos de la trayectoria se empleó el equipo Gyro Reflex. Se concluye que, al controlar los parámetros técnicos de perforación, se minimizó las desviaciones de los sondajes y se logró reducir los costos operativos en un total de 32% del costo total.

**Palabras clave:** diamantina, aire reverso, desviación, parámetros, costos operativos.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, la minería a nivel global se enfrenta a diversos retos para asegurar la sostenibilidad de sus operaciones a largo plazo. Cada proyecto minero busca soluciones para enfrentar estos retos. Una de las estrategias para impulsar la sostenibilidad reside en las tecnologías de bajo impacto que reducen los costos y paralelamente aumentan la productividad. Por lo tanto, un aspecto clave en todos los proyectos mineros sostenibles y sustentables es la capacidad de mejorar el uso de recursos disponibles y de esta forma optimizar procesos de exploración y explotación. (Couceiro, 2019).

En América latina, la gran demanda de minerales y metales ocasionó un mayor gasto en exploraciones mineras y ampliación de la cartera de proyectos de explotación. Las nuevas tecnologías y optimización del proceso de exploración desempeñan un papel clave en la mejora de la productividad. (Kuramoto, Glave, 2002).

La exploración minera, se considera pieza fundamental en la vida de un proyecto, debido a que, gracias a los resultados obtenidos de la campaña de exploración, se determina la existencia de un cuerpo mineralizado, así como también, se obtiene una idea de la cantidad de reservas que se encuentran en el subsuelo. En el proyecto minero se planea realizar una campaña de exploración con perforaciones Diamantina (Diamond Drill Hole) y Aire Reverso (Reverse Circulation) con la intención de evaluar los materiales existentes en el “Life of Mine” del proyecto, también obtener información para explorar la etapa de sulfuros ligado a las estructuras principales como la formación Carhuaz, Santa y Chimú, es por ello que se requiere exactitud y precisión en la perforación.

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

Sin embargo, existen diversos factores que pueden hacer inútiles las labores de exploración, así como también pueden afectar seriamente el lado económico de la empresa contratista, estos factores son propios de la perforación, tanto en diamantina como aire reverso, un claro ejemplo sería la desviación de los sondeos o taladros. La trayectoria en los pozos exploratorios agrega calidad y consistencia a la información obtenida en el proceso de perforación y extracción de muestras (Arrieta, 2010).

En un proyecto minero de Cajabamba 2020, según el contrato pactado con la empresa encargada de realizar las perforaciones programadas, se acordó la buena calidad de los taladros tanto para DDH y RC, en donde se consideró que los sondeos no deben presentar desviaciones de azimut, ya que esto llevaría a la anulación del trabajo realizado y por ende no pasaría a formar parte de la valorización mensual, siendo una pérdida de materiales, equipos, mano de obra, accesorios, aditivos, horas operativas, etc.

En la tarea de perforar existen diversos parámetros, los cuales se debe considerar para que el trabajo se realice de manera eficiente, estos parámetros van de la mano con la calidad del terreno, velocidad de rotación (rpm), presión de avance o empuje y presión sobre la corona de la máquina perforadora. Para que un pozo se desvíe existen diversos motivos, uno de ellos y la más importante, la estructura del suelo, cuando este se conforma por un macizo rocoso de dureza elevada, la perforadora consigue una dirección estable, de este modo la desviación es mínima, por otro lado, si el terreno tiene composición muy suave, la perforadora puede tomar una dirección errónea, debido a que la resistencia del suelo es nula comparado con la fuerza que ejerce la máquina, por lo que la desviación tiende a elevarse fácilmente. (López, 2002).

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

En el proyecto minero, el terreno que encontramos es muy variado, desde suave, arcilloso, fracturado hasta altamente fracturado, por lo que, si no se maneja correctamente los parámetros y sobre todo la técnica adecuada de perforación, es probable que se presenten muchas desviaciones en los sondeos.

En este caso, para que la perforación sea exitosa en todo sentido, es necesario antes de iniciar con el trabajo, tener en cuenta la estructura del terreno, el tipo de suelo en el que vamos a realizar el trabajo, la inclinación, el tipo de broca, el diámetro y, sobre todo, la profundidad, ya que depende de ello se podrá perforar teniendo en cuenta los parámetros en conjunto con la técnica y experiencia del perforista, la desviación será mínima. (López, 2002).

Las bases teóricas relacionadas a la perforación diamantina y de aire reverso, son adoptadas en el Perú, debido a falta de bases teóricas relacionadas a la ingeniería de minas con especialización en perforación diamantina y de aire reverso, la ingeniería de minas está presente en el Perú desde 1876, por primera vez aplicada en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

La exploración minera como una actividad tendente a demostrar las dimensiones, posición, características mineralógicas, reservas y valores de los yacimientos minerales. Esta actividad no genera una renta que pueda ser gravada por el estado, de lo contrario, lo que abunda durante el desarrollo de un proyecto de exploración minera es el gasto económico del inversionista, el cual solo se verá recompensado con el hallazgo de un yacimiento mineral que justifique técnica y económicamente el desarrollo y operación de una mina. (Pachas, 2014)

Existen diversos métodos de exploración minera, sin embargo, la elección del método a usar en un proyecto, dependen de la importancia de la obra o proyecto a

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

ejecutar sobre determinada área. Es importante considerar que cuantos más datos se obtienen del terreno, es más seguro el éxito del proyecto. Esto depende de la magnitud y alcance de la obra, del presupuesto, del tipo de subsuelo, de estudios anteriores en la zona, del acceso al proyecto y otras consideraciones que pudieran dificultar o facilitar la exploración. (Arana, 2014).

Los costos operativos, son aquellos en dónde incurre una empresa para el desarrollo de sus actividades u operaciones, en estos se tiene en cuenta el salario del personal, equipos, alquiler de máquina, compra de suministros, etc. En perforación ya sea diamantina o aire reverso, los costos se encuentran en dólares por metro perforado, en dónde se tiene en cuenta la profundidad y diámetro a perforar. (Aguirre, Cleyde, 2015)

### **Perforación Diamantina**

La exploración minera mediante el método de perforación diamantina es un método de perforación rotatorio que se utiliza para extraer muestras de núcleo de rocas y suelos. Se aplica principalmente en exploraciones mineras, geológicas o con fines de cimentación profunda en obras de ingeniería. (Salas, 2016)

También la diamantina es un tipo de perforación que permite recuperar el testigo o muestra en forma completa dónde es posible observar características intactas de la roca, como es dureza, peso específico, fracturamiento, textura, etc. Con tal información estas muestras resultan de más y mejor información para el geólogo. (Bejarano, 2017)

### **Perforación con Aire Reverso RC**

La perforación de aire reverso, fue desarrollada a comienzos de la década de 1970, los pioneros de la perforación RC usaron brocas cilíndricas tricónicas, obteniendo muestras con una precisión nunca vista. Este sistema se caracteriza también por utilizar

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

tuberías de doble pared y aire como fluido de barrido, en dónde el diámetro interior marcará el tamaño y volumen del detrito. (Talledo, 2015).

La perforación con aire reverso, es fundamentalmente diferente de la diamantina, tanto en términos de equipo, toma de muestras e información que nos entrega. La principal diferencia es que la perforación de aire reverso crea un polvillo de roca en lugar de testigo sólido. Otras diferencias importantes son en la velocidad de penetración y el costo por metro perforado. (Arias, 2015)

Este método se utiliza cada vez con mayor extensión en el campo de la investigación minera ya que permite alcanzar elevadas velocidades de perforación en formaciones medias a muy duras. (Talledo, 2015)

Un proyecto minero se genera debido a la existencia de un mercado que demandará metales, así mismo la existencia geológica de minerales en la tierra. Refieren que, desde el punto de vista económico, se tiene características especiales, no comparables con la economía tradicional, debido al ambiente geológico de los depósitos minerales. (Barrick, 2008)

Proyecto minero es un conjunto de estudios técnico-económico-legales, con la finalidad de determinar la rentabilidad de determinados servicios y/o bienes, estableciendo dos criterios para su elaboración y aplicación. (Ruiz, 2016)

Control de operaciones como una herramienta fundamental que se aplica en las Unidades de Producción de Empresas Mineras, para lograr el cumplimiento de los estimados de producción o producir para cubrir la capacidad de la planta

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

concentradora, detectar oportunamente las áreas y actividades críticas, para dar solución inmediata y reducción de costos. (Vega, 2018)

Control de operaciones es un proceso que se utiliza para asegurarse de que las actividades reales correspondan a las actividades proyectadas, estableciendo parámetros y métodos para medir el rendimiento, así mismo medir el desempeño, determinar su rendimiento es adecuado al estándar y tomar medidas correctivas. (López, 2017)

En la revisión de trabajos que sustenten este trabajo encontramos los siguientes antecedentes. Los cuales están divididos según las dos variables de esta investigación: variable independiente y dependiente.

Mantilla (2019) en la tesis “Control de la trayectoria de taladros variando el tipo de broca y parámetros de perforación con sistema diamantina” concluye que los parámetros de perforación: Profundidad del taladro (m), velocidad de rotación de la corona (RPM), caudal del fluido (gal/min) y pulldown (psi) influyen de manera significativa en la inclinación (dip) del taladro. Al evaluar la influencia del tipo de broca se concluye que hay una contribución significativa en la trayectoria del taladro.

Arana (2014) en su tesis “Medición de la trayectoria de pozos de prospección geológica” concluye que después de haber obtenido los datos de medición, se verificaron los resultados y calidad de muestreo se presenta una desviación de 25.70 m con respecto al punto de referencia. La longitud que se tenía como objetivo era de 900 m, logrando solo perforar 839.96 m. La inclinación final fue de 70 44° con

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

respecto a la horizontal, para una inclinación esperada de 65°. Por lo tanto, todos los pozos presentan desviación.

En la investigación realizada por Portilla et al., (2012) que tiene por título “Metodología para la optimización de parámetros de perforación a partir de propiedades geomecánicas” plantea la evaluación de la relación de la energía que se suministra al momento de realizarse la perforación de cada pozo con respecto a las propiedades geomecánicas. Esta investigación concluye que al realizar un análisis de los parámetros de perforación se logra estimar la eficiencia del proceso y de esta manera se identifica zonas críticas y se aplica medidas para optimizar la perforación en futuros pozos.

Según Ayala et al., (2017) en su investigación “Optimización de la tasa de penetración mediante análisis de las vibraciones al perforar, casa de estudio Ecuador” concluye que al tener una mayor adaptación de forma continua de los parámetros de perforación como RPM y WOB contribuye a reducir en un 51% los niveles de vibración torsional, demostrando que utilizar un motor de fondo es la manera más eficiente para resolver problemas de vibración.

Cansaya B. (2019) en su tesis titulada “Selección y empleo de coronas impregnadas en la perforación Diamantina”, argumenta que las condiciones en las que se realiza los trabajos de perforación, muchas veces presentan dificultades, debido al cambio tan repentino de formaciones en el sub suelo y en un lapso de tiempo muy pequeño. Tomando en cuenta lo anterior, se recomienda elegir de la manera correcta la broca a usar para realizar el trabajo ya que es muy probable que una corona de una serie no adecuada para las características del terreno, sea susceptible de provocar un desvío en

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

la trayectoria del sondaje ya que no puede soportar las velocidades de penetración, ni el empuje provocado por la máquina para cortar la roca.

Mahasneh (2018) en su investigación titulada “Optimización de los parámetros de perforación durante la perforación de pozos de gas” concluyen que los resultados de la optimización muestran que la determinación del peso óptimo en la broca es muy importante en la operación de perforación ya que este parámetro puede cambiar durante la operación. La optimización del peso de la broca con velocidad de rotación por minuto optimizará toda la operación en conjunto. De esta manera reducirá el tiempo necesario para perforar, lo que por consecuencia reducirá el costo para la perforación.

Celis H. (2016), en su tesis titulada “Reducción de la desviación de taladros largos implementando menores longitudes de perforación de taladros para bancos de producción de 20 metros de altura en Sublevel Stopping con Simbas H1254, en el cuerpo Casapalca 4 en el nivel 11- 11 A”, Concluye que debido a los estudios realizados sobre desviación en la trayectoria de los taladros perforados en la unidad Casapalca, la desviación de los taladros es directamente proporcional a la longitud a perforar, es decir, mientras la longitud sea mayor, la trayectoria se alterará de una manera extensa y si la longitud es corta, la trayectoria desviada será mínima, así mismo se recomienda implementar un plan de supervisión en las operaciones de perforación, para de esta manera tener en cuenta el control de las operaciones.

Portocarrero (2019) en la tesis “Reducción de los costos operativos al aumentar la velocidad de rotación en la perforación de terrenos duros, fracturados y abrasivos” concluye que, al utilizar más de 90 rpm en terreno duro, se obtiene más velocidad de

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

penetración y por consecuencia se obtiene mejoras significativas en los costos totales de perforación.

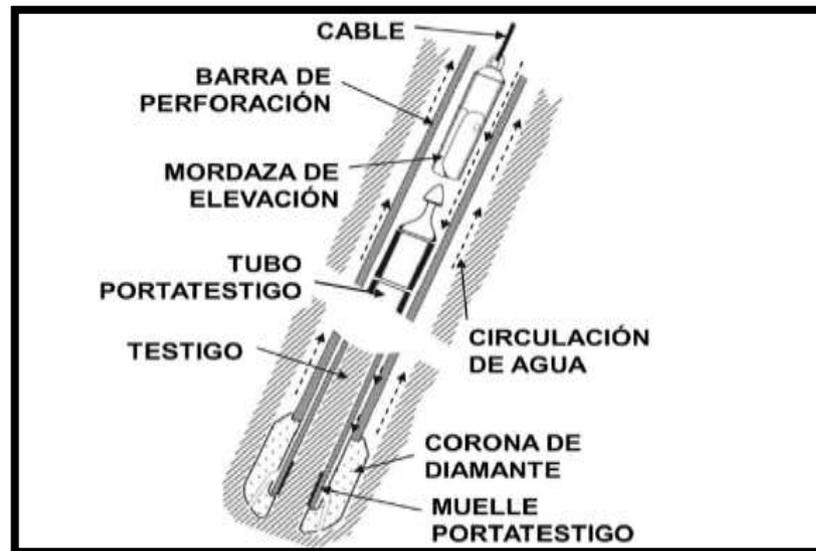
Swarz M. (2013), en su tesis “Perforación diamantina de proyectos mineros”, menciona que los costos de perforación diamantina han variado mucho con el tiempo, en el Perú al 2012 los precios variaron entre 12.5 US\$/m y 14.35 US\$/m, incrementándose según la profundidad de perforación.

Cuno M. (2018) en su investigación titulada “Implementación de un sistema de gestión de seguridad basada en el comportamiento y evaluación de costos en perforación diamantina de explodring Perú, en la unidad operativa Chucapaca, Moquegua”, afirma que, dada la importancia de las campañas de exploración, se redujo los costos en los que se incurre, teniendo en cuenta las variaciones y control de cada uno de los parámetros que intervienen, teniendo en cuenta las condiciones de trabajo y la recuperación de testigos.

En la revisión de bases teóricas que se enfoquen en nuestra investigación, encontramos la siguiente información.

### **Perforación con Sistema Diamantina (DDH)**

Se basa en que un elemento de corte anular, con diamantes industriales incrustados colocado de una barra de perforación, “corta” la roca obteniendo un cilindro de roca que se aloja en el interior de la barra, a medida que el elemento de corte avanza. El elemento de corte se denomina corona de diamante. (Castilla y Herrera, 2012).



*Figura 1: Esquema de Perforación Diamantina*

Fuente: Geological Métodos in Mineral Exploración and Mining. (2010).

La perforación diamantina es relativamente costosa y lenta, pero este tipo de perforación permite realizar sofisticados estudios geológicos, e incluso se pueden obtener gran volumen de muestra para evaluaciones geoquímicas. El testigo puede ser orientado permitiendo la medida de estructuras geológicas, reproduciendo la posición del testigo en el macizo rocoso.

### **Diámetros estándar de perforación en Minería**

Los diámetros de perforación más utilizados en la industria minera son los denominados NQ y HQ. En la tabla N. se describe todos los diámetros estándar que se manejan con su respectiva denominación. (Fernández et al., 2015)

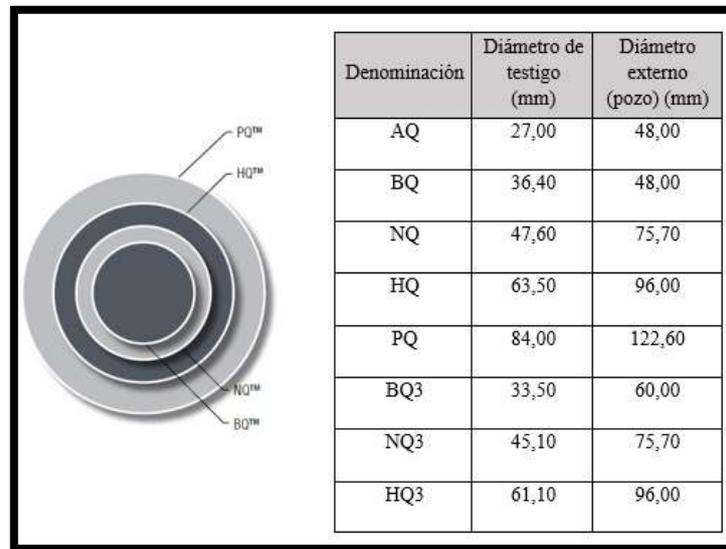


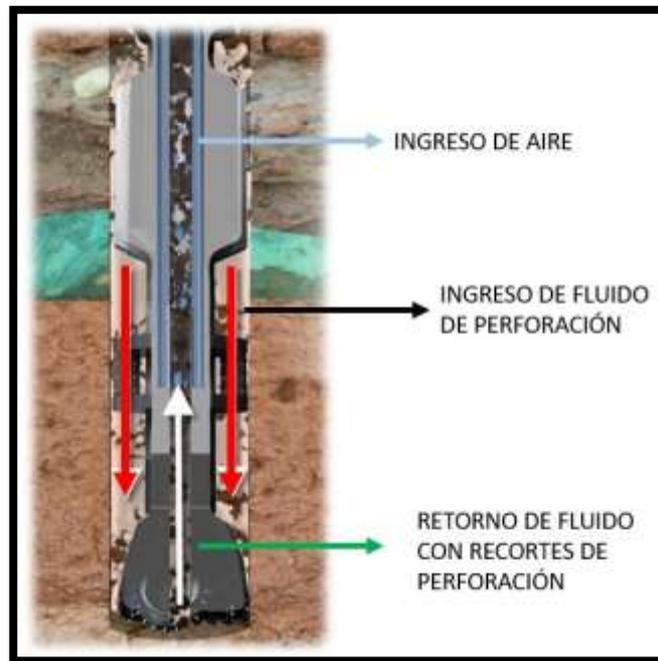
Figura 2: Diámetro de los tubos de perforación DDH

Fuente: Revista Diamantina Boar Longyear 2016

### Perforación con Sistema Aire Reverso (RC)

La perforación con aire reverso es completamente diferente a la de diamantina, tanto en términos de equipo, como de muestras e información que nos entrega. La primordial diferencia es que la perforación de aire reverso crea un polvillo de roca en lugar de un testigo sólido. Otras diferencias importantes son en la velocidad de penetración y el costo por metro perforado. El aire reverso es mucho más rápido que la perforación diamantina y también mucho menos costosa y más rápida que la perforación diamantina. Cabe decir que este método nos entrega solo información de minerales y leyes presentes. (Arias, 2015).

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.



*Figura 3: Sistema de perforación Aire Reverso (RC).*

Fuente: Altamirano B. (2020).



*Figura 4: Extracción de muestra de chips, después de su paso por el ciclón.*

Fuente: Altamirano B. (2002).

### **Desviación de sondajes**

La medición de trayectoria en los pozos exploratorios sea estos por perforación diamantina o por circulación inversa (aire reverso), agregan materialidad y consistencia a la información geológica adquirida, y debido a la importancia de la verificabilidad de la información proporcionada y la característica de control de

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

calidad de los datos adquiridos a través de estas trayectorias, se requiere últimamente, que se ponga mayor atención a estos departamentos de geología. Por ello, se explica que actualmente, existe un mayor interés por la adquisición de equipos electrónicos que ofrezcan contraste en sus mediciones o registros inalterables que no permitan la adulteración de los datos. Asimismo, la inversión que se realiza en busca de información geológica es muy elevada, y no sólo por la perforación en sí, sino también por los trabajos previos de acceso que son costosos. (Arrieta, 2010).

Las desviaciones son muy importantes y valiosa materia de estudio hoy, esto es principalmente en pozos perforados con sistemas de rotación, esto no implica que pozos perforados con otros sistemas no se desvíen, todas las perforaciones son susceptibles de desviarse. La importancia de estudiar y determinar la desviación de un pozo de prospección, depende de la finalidad de la perforación y de la profundidad, en este sentido es muy importante indicar que las desviaciones son de pozos de prospección geológica de profundidades mayores a los 50 metros. Cuando se va a perforar un pozo, se tiene una dirección de perforación elegida, este dato depende del estudio, y de manera general, lo indica el equipo de geólogos o ingenieros a cargo de la prospección, sobre este dato es que se mide la desviación de un pozo (López, 2002).

### **Causas de desviación en un pozo de perforación**

Para que se produzca una desviación en un pozo, existen varias causas o motivos, y estas pueden ser según Carbajal (2009).

Una causa puede ser por las propiedades estructurales del suelo: Cuando el suelo está constituido por un macizo rocoso de alta dureza, la herramienta de perforación consigue una dirección más estable, es decir la desviación es menor.

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

Otra causa puede ser cuando la estructura del suelo es muy suave, la herramienta de corte es susceptible de tomar una dirección errónea, esto debido a que las fuerzas de resistencia del suelo son prácticamente nulas frente a la presión ejercida por la corona, por lo que la herramienta puede tomar cualquier camino fácilmente.

Otra causa es cuando el suelo cambia de duro a blando o viceversa, o cuando se encuentra un macizo con un buzamiento que corta la trayectoria de la perforación, la herramienta "busca" un camino menos pesado para continuar, produciéndose la desviación. Los pozos no verticales son muy susceptibles de desviarse, si el perforista no tiene la experiencia o técnica adecuada.

También otra causa es la elección del diámetro de perforación: Si el diámetro elegido es muy grande comparado con el diámetro del varillaje (tubería de perforación) se produce una desviación por falta de resistencia de la sarta de perforación al pandeo, además del desgaste prematuro de ésta.

Demasiado empuje (pull down): Ocurre cuando el operador del equipo de perforación o perforadora, por falta de experiencia o exceso de confianza, excede en la aplicación de la presión o empuje de la sarta de perforación, generando una desviación positiva hacia arriba (Silva, 2008).

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

Finalmente, el mal alineamiento y emboque es también otra causa de desviación:

Esto sucede cuando al momento de instalar los equipos no se le da la orientación adecuada, es decir se realiza un error de operación o maniobra (emboque) desviándose el pozo de su trayectoria de diseño. Este error es muy común (Carbajal, 2009).

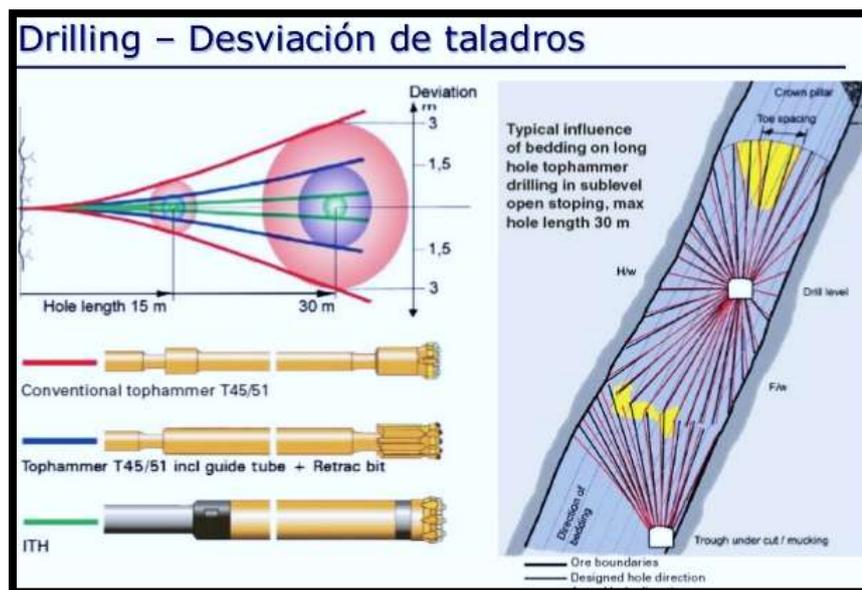


Figura 5: Desviación de Taladros.

Fuente: Castillo B. (2015).

**Factores típicos que influyen en las desviaciones**

Factores originarios fuera del taladro: Error de posicionamiento del equipo, error de selección y lectura de ángulos, error en la fijación de viga de avance. (Ojeda, 2010)

**Factores relacionados durante la perforación**

Fuerza de avance, rotación, barrido de detritus, percusión.

**Factores dentro del taladro**

Tipo de roca, tamaño de grano, fracturamiento, plegamiento.

**Factores relacionados con el equipo**

Condición mecánica de la perforadora, regulación de la perforadora, selección adecuada del varillaje de perforación, afilador correcto de perforación, de las rocas.

### **La importancia de medir un pozo de perforación**

La medición de pozos perforados tiene por finalidad lograr establecer el inicio y fin de la trayectoria de los pozos perforados. Partiendo de la premisa real de que todos los pozos se desvían, es muy importante verificar la desviación e inclinación del pozo, esto nos permite saber un punto de origen (coordenada inicial) hasta llegar al fondo de verifica la longitud real del pozo, es decir la profundidad o metros perforados (Silva, 2008).

Es muy importante medir la trayectoria de estos pozos, ya que el sondaje se realiza en diferentes puntos de un área determinada. Los resultados obtenidos a diferentes profundidades en un pozo 1, son relacionados con los resultados a las mismas profundidades con un pozo 2, y así sucesivamente en todos los pozos abiertos, ya sean estos de prospección geológica o hidrogeológica. Estos puntos perforados forman una malla de perforación de gran escala, ya que se encuentran a distancias considerables, por lo que la desviación de cada pozo es muy importante al momento de realizar la correlación y análisis de los testigos y formar un volumen de mantos importantes a considerar. En la prospección para dimensionar depósitos minerales, estos volúmenes pueden ser extremadamente diferentes si los datos de medición no son los correctos, este es un problema grave, ya que las decisiones, que se toman en base a esa información, pueden determinar la viabilidad del proyecto (Camberfort, 1962).

Por tanto, el propósito de estas perforaciones es “adquirir la máxima información posible del taladro”, y, sobre todo, tener la seguridad en dónde se ubica esta

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

información. En conclusión, conocer la trayectoria aplicada y obtener la información requerida a través de ella, es fundamental.

### **Instrumento para la medición de la desviación de sondajes**

En el ámbito de las mediciones de sondajes existen diversos equipos, algunos más modernos que otros, más precisos y más sofisticados. En el proyecto minero de Cajabamba 2020, especialmente para la campaña de perforación diamantina y aire reverso, se utilizó el equipo Gyro Reflex, el cual es un equipo electrónico muy sofisticado, el cual cuenta con sensores de localización, baterías y GPS.



*Figura 6: Equipo Gyro Reflex.*

*Fuente: Reflex (2018).*

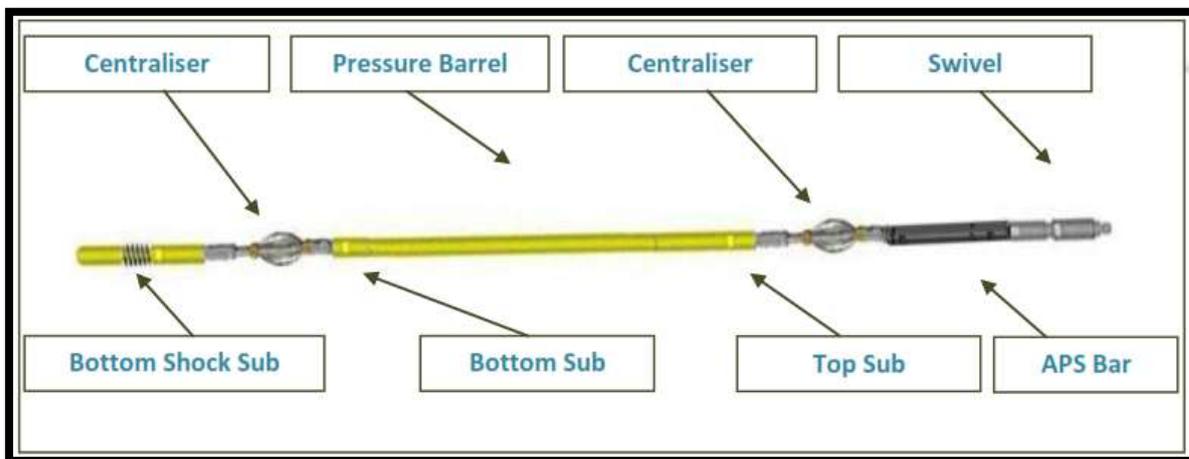


Figura 7: Composición del equipo Gyro Reflex.

Fuente: Manual técnico de Reflex (2018)

### Funcionamiento del Equipo Gyro Reflex

Inicialmente se debe armar el equipo de la manera correcta para que luego pueda ser sincronizado y configurado de tal forma que la medición sea perfecta.



Figura 8: Proceso de armado, instalación y configuración del equipo Gyro Reflex.

Fuente: Manual Técnico Reflex (2018).

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

Una vez que el equipo fue instalado, este se coloca en el pescador de la máquina para luego ser descendido por el tubo de perforación hasta el final del sondaje, en dónde tomará datos cada 5 metros, las mediciones se realiza tanto de entrada (in hole) cómo de salida (out hole), luego de esto se guarda la información obtenida para luego ser procesada e interpretada.



*Figura 9 : Guardado de datos después de culminar con la medición.*

Fuente: Manual Técnico Reflex (2018).

### **Parámetros de Perforación**

Los parámetros de perforación se detallan a continuación:

La presión del torque es la resistencia que se presenta al interior del pozo, las cuales vincula el corte de la roca, ángulo de perforación, fricción de la sarta de perforación con las paredes del pozo, deflexión del pozo, retorno del fluido de perforación y otros factores. A mayor profundidad, la fricción ira aumentando, por lo cual torque aumentara en forma proporcional. Un rango nominal del trabajo se encuentra entre 1500 a 4000 PSI (depende de la capacidad de los equipos de perforación). En terrenos complicados se suelen presentar torque elevados, por el fenómeno de atrapamiento que se puede ir presentando, aquí se debe tener más cuidado con respecto a los valores de

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

torques registrados o sonidos típicos del equipo de perforación. Para así evitar posibles atrapamientos de tubería o la rotura de estas. Para equipos hidráulicos de interior mina, los torques nominales deben estar entre 1500 a 3200 PSI. Para equipos hidráulicos de superficie, los toques nominales pueden estar entre 2000 a 4000 PSI. Los valores más altos se deben encontrar mayores profundidades, de ser muy elevados se deberá realizar un cambio de línea.

La presión de avance define el empuje necesario para la perforación y dependerá en mayor medida, de la profundidad del pozo (peso de tubería), ángulo de perforación y la dureza de la roca. El rango de trabajo se sitúa entre los 3000 hasta 2500 PSI, dependiendo de la capacidad del equipo de perforación. Por lo general es un valor estacionario que se regula en forma estacionaria. En pozos negativos, la presión de avance deberá ir disminuyendo a medida que aumenta la profundidad del pozo, para así compensar el peso aportado de las tuberías. Todo lo contrario, a los pozos positivos donde la presión de avance deberá ir aumentando para compensar el peso en contra de la columna de perforación.

Dentro de los parámetros de perforación, el más importante y menos conocido es el peso sobre la corona. Comúnmente lo relacionan con la presión de avance, lo cierto es que los equipos mecánicos e hidráulicos no registran el valor real del peso en la corona, el cual viene registrando en unidades de presión (PSI). El valor real del peso en la corona se establece por los fabricantes de equipos de toneladas (Ton) y/o libras (lb.). Este valor se registra como la variación de presión al momento que la columna de perforación hace contacto y empieza a cortar la roca. El peso sobre la corona se relaciona con la presión de avance fino y su variación durante la perforación. Lo que se debe medir durante la perforación, viene a ser la variación del manómetro de avance

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

fino. En el caso de los equipos LMTM 30/55/75/90, el manómetro de retención, en los equipos LY38/44/50, LFTM 70/90/230 y DB520/525 el manómetro de avance fino.

En todos estos casos, la variación de presión desde el primer contacto hasta el inicio de los primeros centímetros de corte, no indica el valor real del peso sobre la corona, en unidades de presión (PSI). Para obtener el valor en unidades de peso (toneladas o libras), se deberá utilizar la “Tabla de Peso en la Corona de la Broca”

### **Costos en Perforaciones de Exploración Shahuindo**

En el proyecto minero de Cajabamba 2020, el contrato que se realizó con la empresa encargada de hacer las perforaciones diamantinas y aire reverso contaba con instrucciones específicas las cuales tenían que cumplir los sondeos, así como también en las operaciones, uno de los varios requisitos que se debía presentar a fin de mes como parte del acuerdo con minera, era el “Respaldo de avance de obra o servicios entregado firmado” en donde se incluía un informe detallado del avance de cada máquina que había en el proyecto, los metros perforados, los sondeos terminados, las mediciones realizadas, información con la que se podía dar fe de que la operación no presentaba inconvenientes tanto en avance como en desviación de los taladros.

El ciclo de valorización en el proyecto era desde la fecha 20 de cada mes, durante este tiempo se tenía que cumplir con los objetivos programados por geología, llegar al metraje indicado, avanzar con las perforaciones en las zonas indicadas, ya que al haber algún retraso esto podía traer inconvenientes en las operaciones de la minera, debido a que se había puntos de perforación RC programados en el tajo, por lo cual si había alguna demora, la minera también presentaba pérdidas, tanto de equipos parados, retraso de voladura, mano de obra, etc.

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

Finalmente, esta investigación se justificó por qué, al controlar los parámetros técnicos de perforación, se logró disminuir los costos operativos producto de las desviaciones de los sondeos en un proyecto minero de Cajabamba 2020, resultados que respondieron a la resolución de una problemática planteada por los investigadores.

“¿En qué medida el control de los parámetros técnicos de perforación diamantina y aire reverso, pueden disminuir los costos por desviación de sondeos en un proyecto minero de Cajabamba 2020?”

Esta investigación tiene como objetivo general, controlar los parámetros técnicos de perforación diamantina y aire reverso, para disminuir costos por desviación de sondeos en un proyecto minero de Cajabamba 2020.

Así mismo los objetivos a corto plazo realizados para poder alcanzar el objetivo general, fueron:

- Medir la trayectoria de los sondeos iniciales.
- Verificar los parámetros técnicos de perforación.
- Controlar los parámetros técnicos de perforación y reducir los costos.

Una vez cumplidos todos los objetivos se pudo comprobar que, al controlar los parámetros técnicos de perforación, se logró reducir la desviación de sondeos diamantinos y de aire reverso en un proyecto minero de Cajabamba 2020.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

La investigación será aplicada experimental donde se observarán aspectos de la trayectoria de taladros, aplicados a un proyecto minero, en su proceso de operación de perforación diamantina y aire reverso, para así poder controlar los parámetros técnicos y de esta manera disminuir los costos por desviación de sondeos.

### **2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)**

#### **Población**

La población de la presente investigación estará conformada por 32 sondeos tanto del sistema diamantina y de aire reverso realizados durante una campaña de perforación que corresponde a los meses enero, febrero y marzo en un proyecto minero de Cajabamba.

#### **Muestra**

La muestra se fue tomando de acuerdo al avance del proyecto, por ende, los primeros sondeos muestreados fueron desviados, seguidamente se tomó los sondeos a los cuales se les iba aplicando progresivamente el control de parámetros técnicos planteado líneas más abajo de esta investigación, hasta tener toda la muestra pertinente para realizar la investigación, la cual es representativa debido a que aborda los dos tipos de perforación, así como también se realizaron con todas las máquinas presentes en el proyecto y de diversas profundidades, haciendo un total de cinco (5), 3 taladros del tipo diamantina y 2 del sistema de aire reverso.

### **Sondeo con el sistema DIAMANTINA**

CS14

- SHA-D20-278M con profundidad de 100.00m.

- SHA-D20-290M con profundidad de 130.00m.

LF90

- SHA-D20-279P con profundidad de 350.00m.

### **Sondaje con el sistema AIRE REVERSO**

GEMEX

- SHA-R20-369 con profundidad de 115.00m.
- SHA-R20-380 con profundidad de 145.00m.

### **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

La recolección de datos se realizó revisando los reportes diarios de perforación, facilitado por el perforista y sus ayudantes, así como también la constante supervisión a las plataformas, para los datos de la trayectoria de los sondeos se hizo uso del equipo Gyro – Réflex (instrumento) y se aplicó la técnica de la observación e interpretación de datos. Luego se llevó a cabo el levantamiento de información de las características del terreno, observando el tipo de roca y condiciones existentes.

## 2.4. Procedimiento

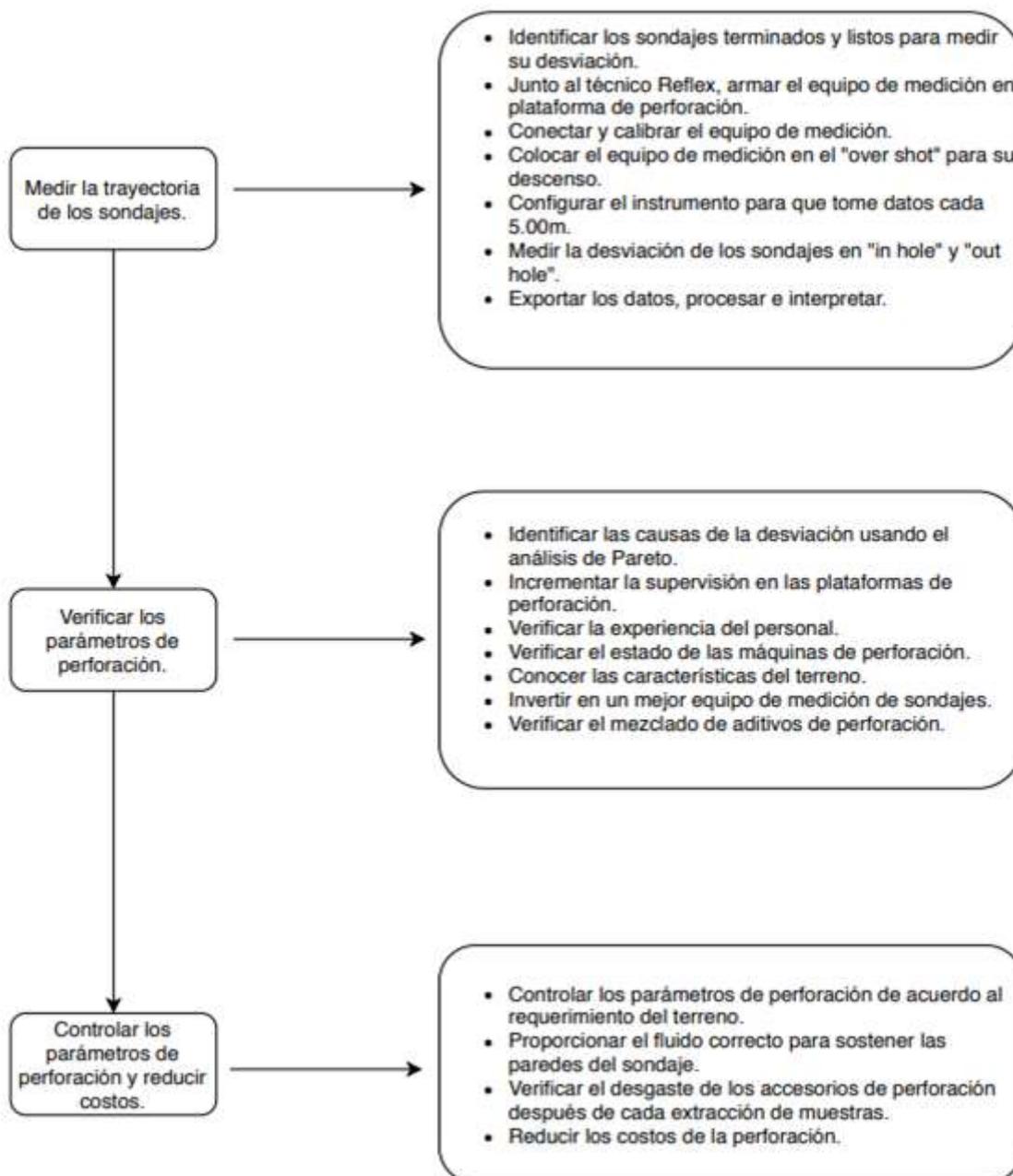


Figura 10: Flujograma del procedimiento. Ver Anexo 8

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

#### RESULTADO DE LA MEDICION DE LA TRAYECTORIA DE LOS SONDAJES INICIALES

##### PERFORACIÓN DIAMANTINA DDH

##### SONDAJE SHA-D20-278M

Este sondaje se realizó con la máquina CS14 con línea PQ, tuvo una profundidad de 100 metros, una inclinación de  $-74,53^\circ$  y azimut de  $36.63^\circ$ , este sondaje presentó una desviación de 3.64%, lo cual significa que del metraje total se desvió 3.64 metros.

**Tabla 1: Resultados de la medición realizada en el sondaje Sha-D20-278M.**

<i>Profundidad [m]</i>	<i>Ángulo In hole</i>	<i>Ángulo Out hole</i>	<i>Ángulo Comparación</i>	<i>Azimut In hole</i>	<i>Azimut Out hole</i>	<i>Azimut Comparación</i>	<i>Promedio Desviación [m]</i>
0	-74,22	-74,29	-0,07	36,63	36,63	0,00	0,00
5	-74,06	-74,12	-0,06	35,89	37,18	-1,29	0,02
10	-74,41	-74,46	-0,05	35,37	37,83	-2,46	0,06
15	-74,49	-74,56	-0,07	35,64	39,10	-3,46	0,13
20	-74,49	-74,52	-0,03	35,46	39,53	-4,08	0,22
25	-74,66	-74,70	-0,03	35,72	40,88	-5,16	0,32
30	-74,71	-74,75	-0,04	35,45	41,39	-5,94	0,45
35	-74,85	-74,85	-0,01	36,02	42,89	-6,87	0,60
40	-74,73	-74,77	-0,04	36,37	44,05	-7,67	0,76
45	-74,86	-74,90	-0,05	36,82	45,31	-8,49	0,95
50	-74,88	-74,92	-0,04	37,35	46,34	-8,99	1,15
55	-74,86	-74,92	-0,06	37,82	47,32	-9,50	1,36
60	-75,03	-75,06	-0,03	38,09	48,13	-10,04	1,58
65	-75,04	-75,07	-0,02	38,35	48,99	-10,64	1,81
70	-75,16	-75,17	-0,01	38,50	49,64	-11,13	2,05
75	-75,14	-75,14	-0,01	38,75	50,45	-11,70	2,31
80	-75,23	-75,24	-0,01	39,41	51,23	-11,83	2,57
85	-75,26	-75,25	-0,01	39,77	51,58	-11,81	2,83
90	-75,26	-75,25	-0,01	40,34	52,29	-11,95	3,10
95	-75,27	-75,31	-0,04	40,62	53,23	-12,61	3,37
100	-75,44	-75,44	0,00	40,02	52,46	-12,45	3,64

GRÁFICO DE LA DESVIACIÓN DEL AZIMUT SONDAJE SHA-D20-278M

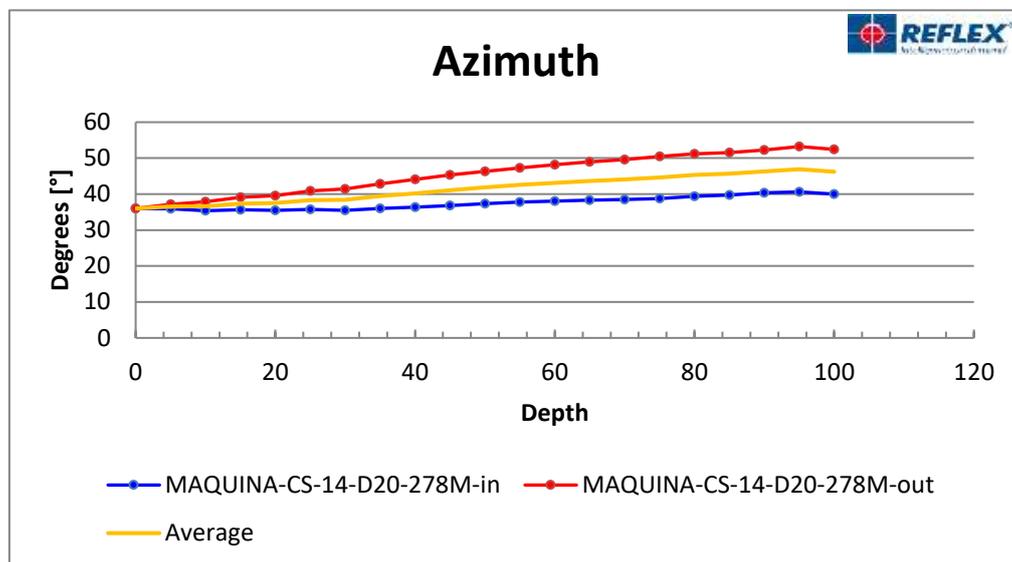


Figura 11: Gráfico de desviación del Azimut

Fuente: Reflex Software

PERFORACIÓN AIRE REVERSO RC

Este sondaje se perforó con la máquina GEMEX RC, tuvo una profundidad de 115 metros, se usó un BIT de 5 ½”, contó con un ángulo de  $-55.05^\circ$  y un azimut de 115.97, una vez realizada la medición se obtuvo los siguientes datos, en dónde se determinó una desviación de 2.60%, lo que significa que, de la profundidad total, el desvío fue de 2.99 metros.

Tabla 2: Medición de la desviación del sondaje SHA-R20-369

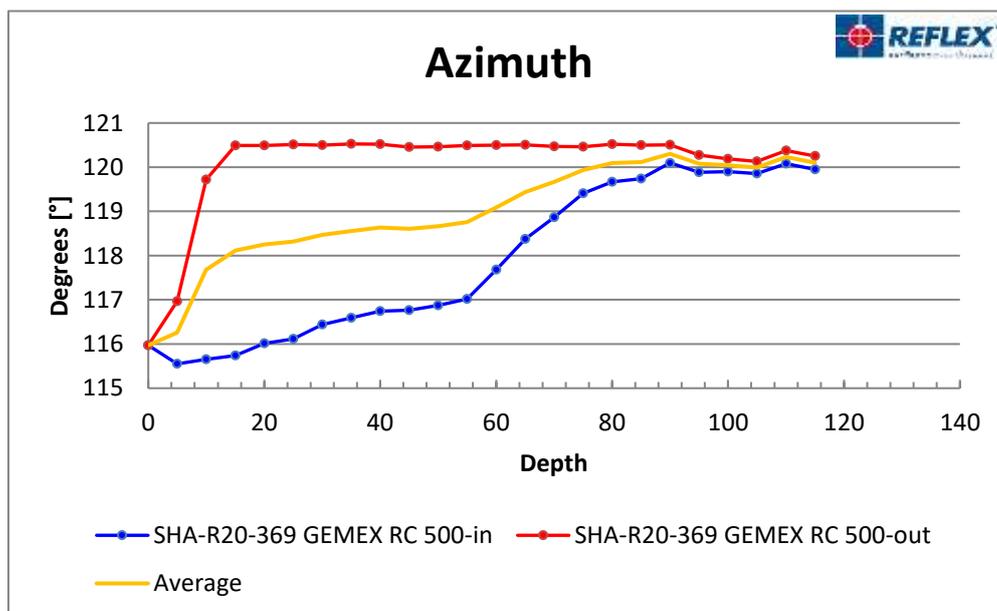
Profundidad [m]	Ángulo In hole	Ángulo Out hole	Ángulo Comparación	Azimut In hole	Azimut Out hole	Azimut Comparación	Promedio Desviación [m]
0	-55,05	-55,17	-0,17	115,97	115,97	0,00	0,00
5	-54,92	-54,94	-0,02	115,55	116,97	-1,42	0,04
10	-55,14	-55,60	-0,46	115,65	119,72	-4,07	0,17
15	-55,11	-56,12	-1,01	115,74	120,49	-4,76	0,40
20	-54,80	-56,13	-1,33	116,01	120,49	-4,48	0,65
25	-54,63	-56,13	-1,49	116,11	120,52	-4,40	0,90
30	-54,67	-56,13	-1,47	116,44	120,50	-4,06	1,14
35	-54,73	-56,12	-1,39	116,59	120,53	-3,94	1,37

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

40	-54,90	-56,13	-1,23	116,75	120,52	-3,78	1,59
45	-55,03	-56,14	-1,11	116,76	120,45	-3,69	1,80
50	-54,53	-56,13	-1,60	116,87	120,46	-3,59	2,01
55	-54,57	-56,14	-1,57	117,02	120,49	-3,47	2,23
60	-54,92	-56,12	-1,21	117,68	120,50	-2,82	2,43
65	-55,15	-56,13	-0,98	118,37	120,50	-2,13	2,58
70	-55,38	-56,13	-0,75	118,87	120,47	-1,60	2,70
75	-55,61	-56,14	-0,52	119,41	120,46	-1,06	2,78
80	-55,85	-56,14	-0,29	119,67	120,52	-0,85	2,84
85	-55,69	-56,13	-0,44	119,74	120,50	-0,76	2,89
90	-56,16	-56,11	-0,05	120,10	120,51	-0,41	2,92
95	-56,71	-56,68	-0,03	119,88	120,27	-0,39	2,94
100	-57,04	-57,03	-0,01	119,90	120,19	-0,29	2,95
105	-57,36	-57,37	0,00	119,86	120,13	-0,27	2,96
110	-57,50	-57,66	-0,16	120,08	120,38	-0,30	2,98
115	-57,30	-57,30	0,00	119,95	120,25	-0,30	2,99

GRÁFICA DE DESVIACIÓN DE AZIMUT SHA-R20-369

Figura 12: Gráfica de la desviación del azimut del sondaje SHA-R20-369



Fuente: Software Reflex

**RESULTADO DE LA VERIFICACION DE LOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN.**

SONDAJE DIAMANTINA SHA-D20-278M

*Tabla 3: LeftRight del sondaje SHA-D20-278M.*

<b>Profundidad</b>	<b>Ángulo</b>	<b>Azimut</b>	<b>LeftRight</b>
m	deg	deg	m
0	-74,22173	36	0
5	-74,06059	35,89458	-0,00126
10	-74,40556	35,37103	-0,0099
15	-74,49344	35,64361	-0,02144
20	-74,49176	35,45844	-0,03191
25	-74,66258	35,72091	-0,04145
30	-74,71494	35,45377	-0,05096
35	-74,85457	36,02036	-0,05701
40	-74,73489	36,37447	-0,05247
45	-74,85563	36,81821	-0,03885
50	-74,88468	37,3476	-0,01419
55	-74,8604	37,8163	0,02184
60	-75,03369	38,08987	0,06608
65	-75,04432	38,35005	0,11608
70	-75,15743	38,50471	0,17052
75	-75,13667	38,75408	0,22932
80	-75,22607	39,40622	0,29801
85	-75,25964	39,77434	0,37776
90	-75,25986	40,33997	0,46777
95	-75,26912	40,61685	0,56707
100	-75,43744	40,01541	0,66226

SONDAJE DE AIRE REVERSO SHA-R20-369

*Tabla 4: Variación en el LeftRight del sondaje SHA-R20-369.*

<b>Profundidad</b>	<b>Ángulo</b>	<b>Azimut</b>	<b>LeftRight</b>
<b>m</b>	deg	deg	m
<b>0</b>	-54,99774	115,97	0
<b>5</b>	-54,92055	115,55103	-0,01051
<b>10</b>	-55,13962	115,64997	-0,02899
<b>15</b>	-55,11122	115,73569	-0,04282
<b>20</b>	-54,80246	116,01132	-0,04763

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

25	-54,63171	116,11166	-0,04301
30	-54,66767	116,44013	-0,02757
35	-54,73358	116,58852	-0,00013
40	-54,89727	116,74524	0,0349
45	-55,03348	116,76287	0,07418
50	-54,5329	116,87212	0,11685
55	-54,56544	117,02045	0,16626
60	-54,9162	117,68202	0,23576
65	-55,15215	118,37154	0,33855
70	-55,37739	118,86679	0,47019
75	-55,61444	119,40842	0,62665
80	-55,84591	119,66737	0,80184
85	-55,68823	119,73906	0,98499
90	-56,15662	120,09744	1,17784
95	-56,71064	119,88118	1,37164
100	-57,03752	119,8989	1,55844
105	-57,36288	119,85756	1,74305
110	-57,49927	120,08168	1,93078
115	-57,30434	119,94895	2,1208

Fuente: Software Gyro Reflex.

## RESULTADO DEL CONTROL DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN Y LA REDUCCION DE COSTOS OPERATIVOS

Una vez identificado el problema y la causa de la desviación de los sondeos que fue la mala aplicación de los parámetros de perforación, se procedió a controlar estos, para este trabajo se contó con la ayuda de la supervisión y con el área de geología del proyecto minero de Cajabamba 2020.

Los parámetros que se relacionan directamente con el proceso de perforación, son:

- Velocidad de rotación (rpm)
- Empuje
- Presión de avance

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

En los parámetros mencionados anteriormente, el perforista tiene el control total de acuerdo a las características del equipo y del terreno.

MEDICIÓN DEL SONDAJE SHA-D20-290M.

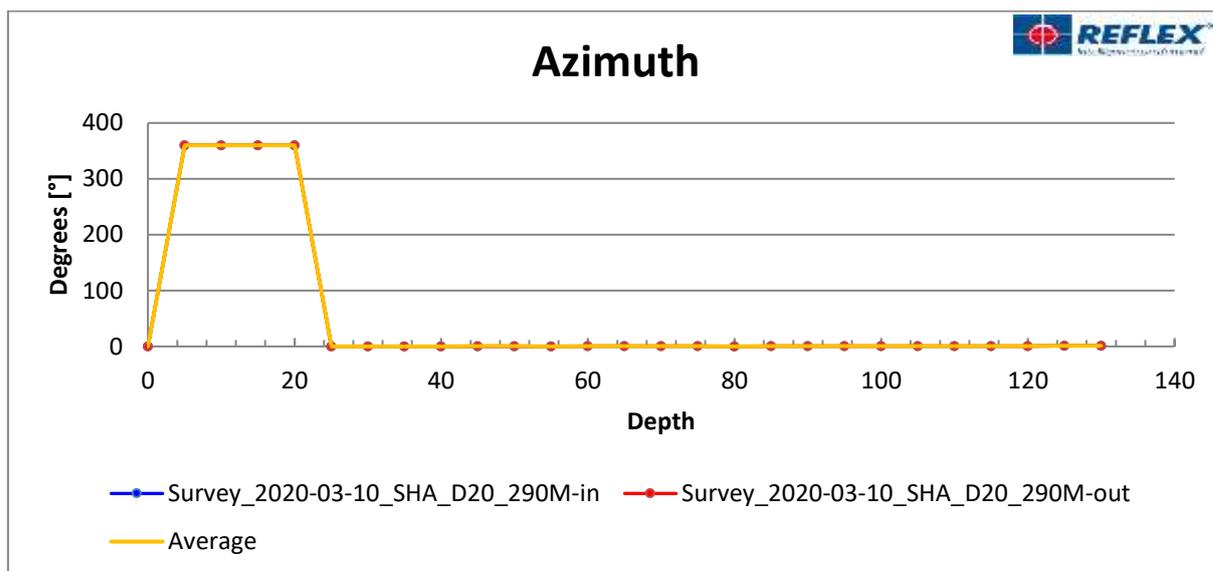
Sondaje de 130 metros de profundidad perforado por la máquina CS14, con un ángulo de inclinación de 54.92° y un azimut de 360°, según la medición realizada tuvo una desviación de 0.22%, es decir, de 130 metros se desvió un total de 0.28 metros.

**Tabla 5: Medición sondaje SHA-D20-290M.**

<b>Profundidad [m]</b>	<b>Ángulo In hole</b>	<b>Ángulo Out hole</b>	<b>Ángulo Comparison</b>	<b>Azimut In hole</b>	<b>Azimut Out hole</b>	<b>Azimut Comparison</b>
0	54,92	54,74	-0,19	0,00	0,00	0,00
5	55,07	54,89	-0,18	359,82	359,79	0,03
10	55,25	55,01	-0,24	359,95	359,91	0,04
15	55,33	55,14	-0,19	359,91	359,87	0,04
20	55,44	55,26	-0,18	359,95	359,79	0,16
25	55,60	55,42	-0,18	0,08	0,02	0,07
30	55,70	55,51	-0,19	0,18	0,07	0,11
35	55,76	55,63	-0,13	0,04	0,09	-0,05
40	55,98	55,84	-0,14	0,02	0,04	-0,03
45	55,84	55,68	-0,16	0,26	0,38	-0,12
50	55,93	55,81	-0,12	0,25	0,43	-0,18
55	55,94	55,84	-0,10	0,18	0,26	-0,08
60	56,14	56,01	-0,13	0,42	0,54	-0,12
65	56,48	56,38	-0,10	0,59	0,75	-0,15
70	56,26	56,12	-0,13	0,49	0,64	-0,14
75	56,00	55,87	-0,14	0,44	0,54	-0,11
80	55,98	55,85	-0,13	0,14	0,19	-0,06
85	56,27	56,16	-0,10	0,50	0,46	0,03
90	56,37	56,24	-0,13	0,53	0,49	0,03
95	56,44	56,30	-0,14	0,56	0,55	0,01
100	56,43	56,30	-0,13	0,70	0,63	0,06
105	56,43	56,36	-0,06	0,58	0,56	0,02
110	56,44	56,40	-0,04	0,62	0,72	-0,09
115	56,50	56,50	0,00	0,46	0,53	-0,06
120	56,51	56,53	-0,02	0,67	0,73	-0,06
125	56,48	56,44	-0,04	0,87	1,00	-0,13
130	56,34	56,34	-0,01	1,07	1,24	-0,17

Fuente: Software Reflex Gyro

### GRÁFICA DE LA DESVIACIÓN DEL AZIMUT DEL SONDAJE SHA-D20-290M



**Figura 13: Gráfica del azimut del sondaje SHA-D20-290M**

Fuente: Software Reflex.

### MEDICIÓN DEL SONDAJE SHA-D20-279P

Sondaje perforado por la máquina LF90, con 350 metros de profundidad, un ángulo inicial de  $-73.32^\circ$  y azimut de  $90^\circ$ , finalmente se obtuvo una desviación de 0.63%, lo que corresponde a 2.2 metros del total.

**Tabla 6: Medición del sondaje SHA-D20-279P**

Profundidad [m]	Ángulo In hole	Ángulo Out hole	Ángulo Comparison	Azimut In hole	Azimut Out hole	Azimut Comparison
0	-73,32	-73,28	-0,04	90,00	90,00	0,00
5	-73,11	-73,10	-0,01	89,81	90,51	-0,70
10	-73,08	-73,14	-0,06	89,60	90,19	-0,58
15	-73,11	-73,12	-0,01	89,47	89,80	-0,32
20	-73,05	-73,13	-0,08	89,67	90,26	-0,59
25	-73,12	-73,13	-0,01	89,21	89,62	-0,41
30	-73,14	-73,12	-0,03	89,52	90,22	-0,70

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS  
TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE  
REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR  
DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO  
MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

35	-73,30	-73,38	-0,08	89,95	90,80	-0,85
40	-73,34	-73,39	-0,05	89,23	90,28	-1,05
45	-73,25	-73,35	-0,09	89,49	90,59	-1,10
50	-73,31	-73,39	-0,08	89,84	90,75	-0,90
55	-73,42	-73,39	-0,03	89,69	90,73	-1,04
60	-73,38	-73,38	0,00	89,83	91,17	-1,34
65	-73,49	-73,53	-0,03	89,85	91,24	-1,39
70	-73,55	-73,55	-0,01	89,91	91,54	-1,63
75	-73,52	-73,49	-0,03	89,99	91,79	-1,80
80	-73,51	-73,51	0,00	90,24	92,05	-1,81
85	-73,61	-73,59	-0,01	90,48	92,10	-1,61
90	-73,65	-73,59	-0,06	90,24	91,97	-1,73
95	-73,77	-73,74	-0,04	90,40	92,37	-1,97
100	-73,70	-73,64	-0,06	90,47	92,54	-2,06
105	-73,86	-73,83	-0,02	90,77	92,96	-2,19
110	-73,77	-73,74	-0,03	91,11	93,08	-1,97
115	-73,72	-73,70	-0,02	90,99	92,95	-1,96
120	-73,78	-73,75	-0,03	91,02	93,25	-2,22
125	-73,83	-73,81	-0,03	91,27	93,24	-1,97
130	-74,20	-74,15	-0,05	91,34	93,20	-1,85
135	-74,15	-74,14	-0,02	90,65	93,00	-2,34
140	-73,90	-73,86	-0,04	91,42	93,31	-1,89
145	-73,79	-73,72	-0,07	91,58	93,20	-1,62
150	-73,84	-73,78	-0,05	91,90	93,31	-1,42
155	-73,87	-73,82	-0,06	91,95	93,56	-1,61
160	-74,10	-74,03	-0,07	91,97	93,26	-1,28
165	-74,31	-74,22	-0,09	92,06	93,23	-1,17
170	-74,35	-74,38	-0,03	92,18	93,42	-1,24
175	-74,15	-74,13	-0,02	92,11	93,52	-1,41
180	-74,26	-74,23	-0,03	92,59	93,86	-1,27
185	-74,30	-74,31	-0,01	92,18	93,62	-1,44
190	-74,35	-74,33	-0,02	92,72	93,87	-1,16
195	-74,32	-74,31	-0,01	92,65	94,02	-1,36
200	-74,38	-74,37	-0,01	92,98	94,17	-1,20
205	-74,31	-74,32	-0,01	93,12	94,45	-1,32
210	-74,33	-74,34	-0,01	93,42	94,72	-1,30
215	-74,37	-74,35	-0,01	93,51	94,70	-1,19
220	-74,47	-74,47	0,00	93,88	95,46	-1,59
225	-74,58	-74,58	0,00	94,61	95,99	-1,38
230	-74,59	-74,58	-0,01	94,74	96,09	-1,35
235	-74,61	-74,62	-0,01	94,97	96,55	-1,58
240	-74,63	-74,62	-0,01	95,15	96,63	-1,48
245	-74,64	-74,64	0,00	95,21	96,46	-1,25
250	-74,81	-74,80	0,00	95,07	96,56	-1,49

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

255	-74,63	-74,68	-0,05	95,64	97,31	-1,67
260	-74,36	-74,36	0,00	95,98	97,48	-1,50
265	-74,43	-74,41	-0,02	96,29	97,79	-1,50
270	-74,39	-74,37	-0,02	95,90	97,60	-1,71
275	-74,40	-74,41	-0,01	96,35	97,98	-1,63
280	-74,32	-74,31	-0,01	96,15	97,75	-1,60
285	-74,42	-74,41	-0,01	96,75	98,37	-1,61
290	-74,46	-74,45	-0,01	97,07	98,73	-1,65
295	-74,55	-74,52	-0,03	97,09	98,46	-1,37
300	-74,53	-74,54	-0,01	97,42	98,68	-1,26
305	-74,50	-74,48	-0,02	97,54	98,72	-1,18
310	-74,60	-74,58	-0,02	98,11	99,07	-0,96
315	-74,61	-74,61	0,00	98,43	99,49	-1,06
320	-74,65	-74,65	-0,01	98,93	100,00	-1,06
325	-74,73	-74,75	-0,02	99,43	100,59	-1,16
330	-74,93	-74,93	0,00	100,27	100,82	-0,56
335	-75,01	-75,01	-0,01	100,82	101,08	-0,26
340	-75,06	-75,10	-0,04	101,50	101,55	-0,05
345	-75,04	-75,10	-0,06	101,49	101,54	-0,05
350	-75,03	-75,08	-0,05	101,50	101,53	-0,03

Fuente: Software Reflex.

GRÁFICA DE LA DESVIACIÓN DEL AZIMUT DEL SONDAJE SHA-D20-279P

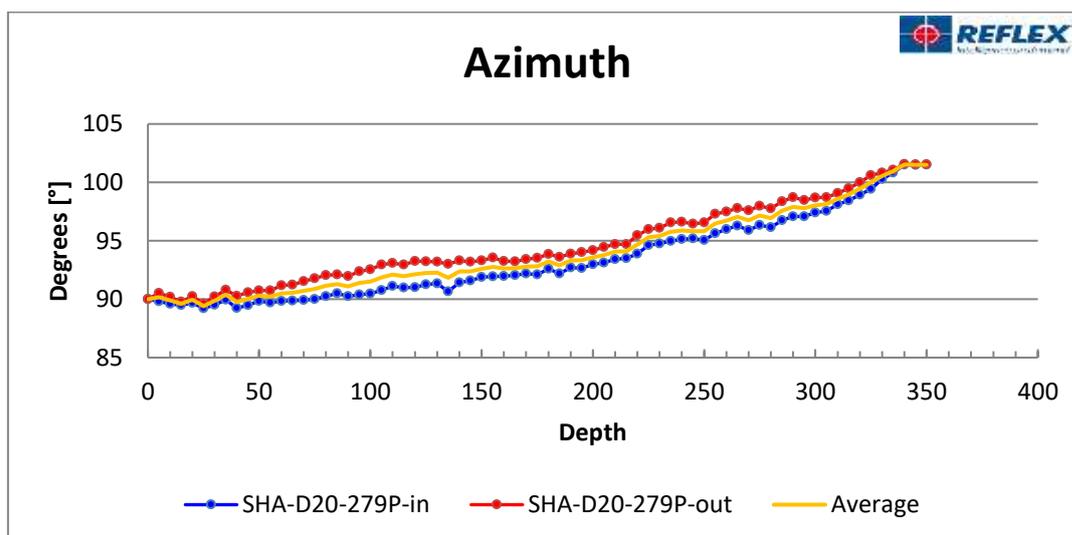


Figura 14: Gráfica de la variación del azimut del sondeo SHA-D20-279P.

Fuente: Software Reflex.

MEDICIÓN DEL SONDAJE DE AIRE REVERSO SHA-R20-380

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

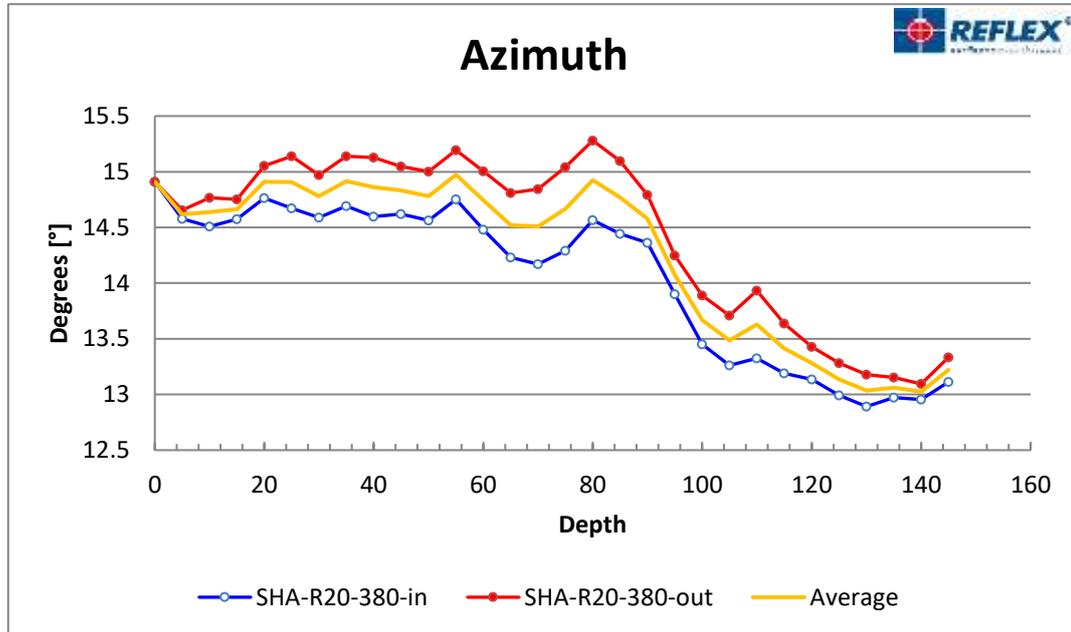
Sondaje perforado por la máquina GEMEX RC, con una profundidad de 145 metros, un ángulo inicial de  $-50.30^\circ$  y un azimut de  $14.91^\circ$ , el cual tuvo una desviación de 0.45%, equivalente a 0.65 metros del total.

**Tabla 7: Medición del sondaje SHA-R20-380 de RC**

Profundidad [m]	Ángulo In hole	Ángulo Out hole	Ángulo Comparison	Azimut In hole	Azimut Out hole	Azimut Comparison
0	-50,30	-50,32	-0,02	14,91	14,91	0,00
5	-50,33	-50,30	-0,02	14,58	14,66	-0,08
10	-50,25	-50,25	0,00	14,51	14,77	-0,26
15	-50,14	-50,14	0,00	14,57	14,75	-0,18
20	-50,55	-50,52	-0,03	14,76	15,05	-0,29
25	-50,69	-50,71	-0,01	14,67	15,14	-0,47
30	-50,57	-50,54	-0,03	14,59	14,97	-0,38
35	-50,82	-50,76	-0,06	14,69	15,14	-0,45
40	-51,49	-51,46	-0,02	14,60	15,13	-0,53
45	-51,30	-51,29	-0,01	14,62	15,05	-0,43
50	-51,04	-51,01	-0,02	14,56	15,00	-0,44
55	-51,25	-51,20	-0,04	14,75	15,19	-0,44
60	-51,25	-51,24	-0,01	14,48	15,00	-0,52
65	-50,92	-50,90	-0,02	14,23	14,81	-0,58
70	-50,67	-50,65	-0,02	14,17	14,85	-0,67
75	-50,85	-50,83	-0,02	14,29	15,04	-0,75
80	-51,15	-51,15	-0,01	14,57	15,28	-0,71
85	-51,33	-51,33	0,00	14,44	15,10	-0,65
90	-51,68	-51,70	-0,03	14,36	14,79	-0,43
95	-51,85	-51,85	-0,01	13,90	14,25	-0,35
100	-52,05	-52,04	-0,01	13,45	13,89	-0,44
105	-52,09	-52,09	0,00	13,26	13,71	-0,45
110	-52,07	-52,07	0,00	13,32	13,93	-0,61
115	-52,21	-52,24	-0,03	13,19	13,64	-0,45
120	-52,51	-52,53	-0,01	13,14	13,43	-0,29
125	-52,60	-52,59	-0,01	12,99	13,28	-0,29
130	-52,62	-52,59	-0,03	12,89	13,18	-0,29
135	-52,58	-52,60	-0,02	12,97	13,15	-0,18
140	-52,64	-52,64	-0,01	12,96	13,09	-0,14
145	-52,59	-52,52	-0,07	13,11	13,33	-0,22

Fuente: Software Reflex Gyro.

GRÁFICA DEL DESVIO DEL AZIMUT DEL SONDAJE SHA-R20-380



**Figura 15: Diagrama del azimuth del sondaje SHA-R20-380**

Fuente: Software Reflex Gyro.

## Sondajes desviados durante el periodo enero, febrero y marzo

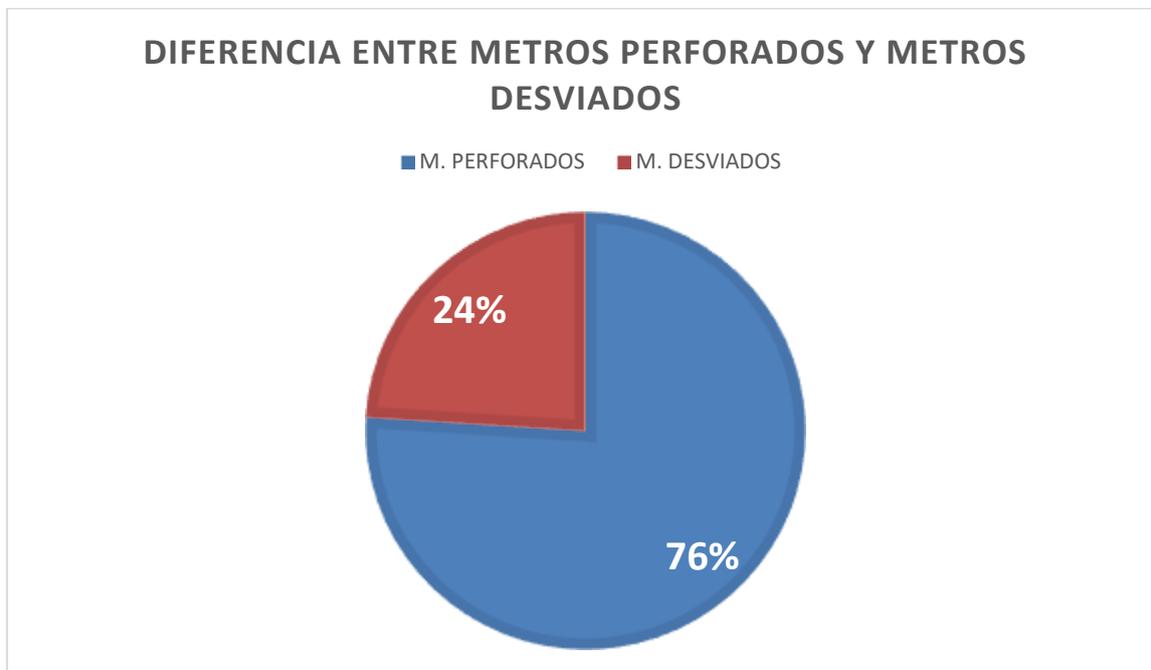
**Tabla 8: Lista de sondajes desviados en un Proyecto Minero de Cajabamba 2020.**

SONDAJE	METROS (m)	MAQUINA	ESTE	NORTE	COTA	AZIMUT	DIP	% DE DESVIACIÓN	MISCLOSE (m)
SHA-D20-275P	370	LF90	807178,35	9157570,20	2962,84	90,59	-73,36	1,51%	5,58
SHA-D20-277M	105	CS14	807385,26	9157594,87	2906,52	36,62	-70,84	4,76%	5,23
SHA-D20-278M	100	CS14	807387,50	9157422,45	2937,50	36,63	-74,53	11,52%	11,52
SHA-R20-369	115	GEMEX RC	807989,16	9158144,79	2830,93	115,97	-55,05	2,60%	2,99
SHA-R20-370	115	GEMEX RC	807989,00	9158105,00	2830,00	140,00	-60,00	4,82%	5,54
SHA-R20-377	80	GEMEX RC	807972,81	9156821,98	2868,01	33,76	-76,52	5,12%	4,1
SHA-R20-381	90	GEMEX RC	807991,20	9156803,80	2868,04	36,54	-69,61	5,56%	5,01
SHA-R20-382	100	GEMEX RC	807896,38	9156864,60	2868,01	20,35	-60,25	5,22%	5,22
SHA-R20-384	120	GEMEX RC	807792,64	9157000,87	2876,06	33,56	-57,30	4,62%	5,55
SHA-D20-286M	160	CS14	807593,82	9157544,13	2899,27	223,24	-88,52	7,11%	11,37
SHA-D20-287M	95	CS14	807224,76	9157190,93	3009,32	35,41	-57,69	25,85%	24,56
SHA-D20-288M	70	CS14	807137,75	9157241,45	3019,16	217,02	-67,04	7,15%	5,01

Fuente: B. Altamirano y V. Coba (2020)

## Metros perforados y metros desviados

Se perforó un total de 4740 metros, de los cuales 1520 se desviaron y 3075 se encontraban con la trayectoria correcta.



*Figura 16: Grafica de diferencia entre sondajes desviados y no desviados*

Fuente: Reporte de Perforación en un Proyecto Minero de Cajabamba 2020.

## Costos de sondajes desviados en el primer mes del proyecto

Teniendo en cuenta la tabla de costos ubicada en el anexo 7, se calculó que los costos de los sondajes desviados generan pérdidas de \$191.130 dólares.

**Reducción de los costos operativos como respuesta del control de la desviación de los sondajes.**

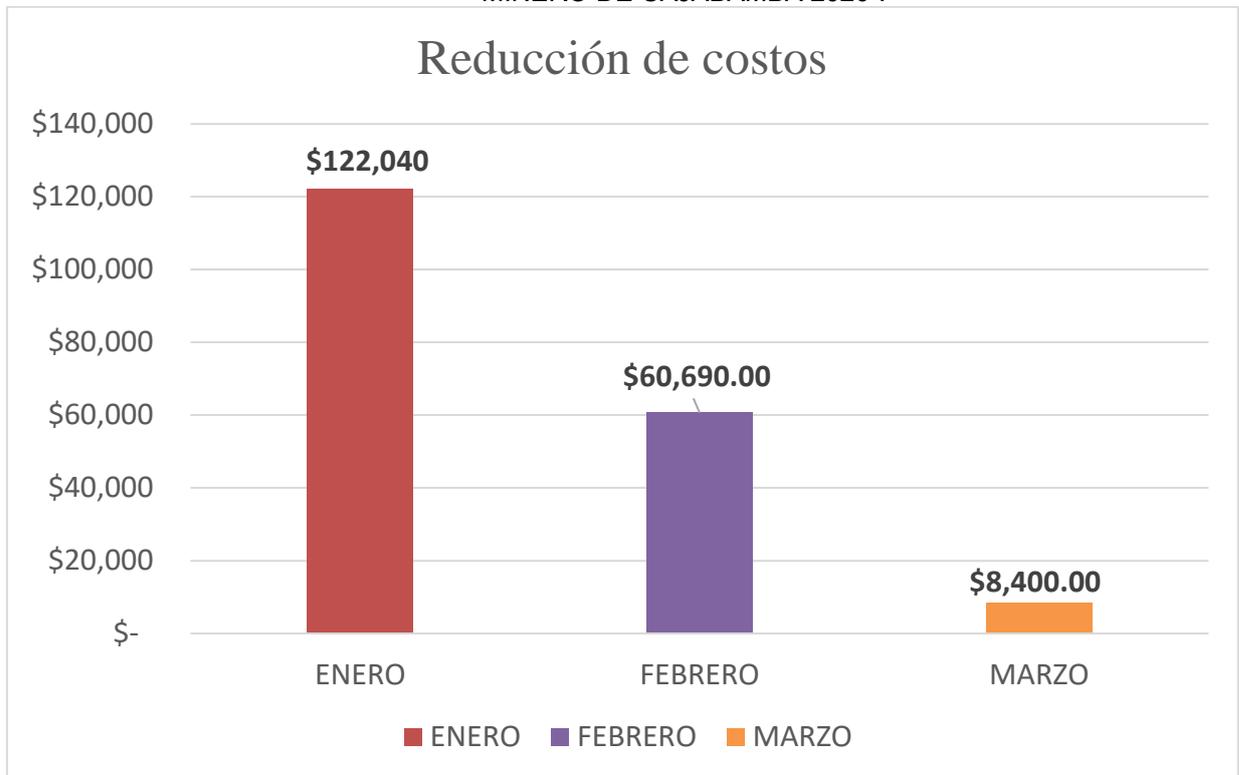
“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

Al controlar los parámetros de perforación, disminuimos la pérdida económica para la empresa encargada del proyecto, esto se evidencia en los sondeos realizados durante los siguientes meses en los cuales disminuye la cantidad de desviaciones, por ende, los costos o pérdidas también se minimizan.

**Tabla 9: Reducción de costos de perforación al minimizar la desviación de sondeos diamantina y aire reverso.**

MES	SONDAJES	METROS	COSTO	TOTAL
ENERO	SHA-D20-275P	370	\$ 49.500,00	\$ 122.040,00
	SHA-D20-277	105	\$ 12.650,00	
	SHA-R20-369	115	\$ 14.410,00	
	SHA-D20-278M	100	\$ 12.000,00	
	SHA-R20-377	80	\$ 9.920,00	
	SHA-R20-381	90	\$ 11.160,00	
	SHA-R20-382	100	\$ 12.400,00	
	SHA-R20-370	115	\$ 14.410,00	
FEBRERO	SHA-D20-286M	160	\$ 19.800,00	\$ 60.690,00
	SHA-R20-384	120	\$ 15.080,00	
MARZO	SHA-D20-287M	95	\$ 11.400,00	\$ 8.400,00
	SHA-D20-288M	70	\$ 8.400,00	

Fuente: Altamirano B, Coba V. (2021)



***Figura 17: Representación gráfica del total de costos por desviación de los sondajes.***

Fuente: Altamirano B. y Coba V.(2021)

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

En la tabla número 01, luego de procesar los datos, teniendo en cuenta los límites máximos permisibles de desviación los cuales se encuentran en el anexo 5. Se observó que el azimut presentó una desviación que sobrepasa los límites mencionados, en este caso es una desviación hasta de  $-12^\circ$ . Con respecto a la desviación promedio, se obtuvo un porcentaje de 3.64% de desviación, esto significa que, al ser un sondaje de 100 metros, se desvió 3.64m. Posteriormente en la figura número 11 se observó que a medida que se profundizó, la desviación fue aumentando, el azimut inicial fue  $36.63^\circ$  y finalizó con  $40.02^\circ$  in hole y  $56.46^\circ$  out hole, este fenómeno se presenta también en la investigación de Arana (2014), en dónde tuvo una perforación de prospección geológica con un azimut inicial de  $65^\circ$ , el cual varió debido a la profundidad y rotación del equipo, finalizando en un azimut de  $70.44^\circ$ , con una desviación de 25.7 metros. Seguidamente en la perforación de aire reverso, exactamente en la tabla 2 tenemos los resultados de la medición realizada al sondaje SHA-R20-369 en dónde se concluyó que la desviación fue de 2.60%, lo que significa que, al ser un sondaje de 115 metros, su desviación fue de 2.99 metros. En la gráfica de la figura 12 tenemos la representación de la trayectoria del azimut durante la perforación del sondaje de aire reverso, se observó que el azimut sufrió una caída y no se mantiene en los  $115^\circ$  grados iniciales, seguidamente a 91 metros de profundidad, tendió a elevarse hasta llegar a un pico de  $120.10^\circ$  para luego mantenerse un tanto constante hasta el metro 115. Por otro lado, la línea de color rojo que representa la medición de salida del sondaje, se observó que al inicio el azimut se elevaba considerablemente los primeros metros, para luego mantenerse constante hasta el final del sondaje. Esto nos lleva a la investigación realizada por Mantilla (2019) en Cajamarca, dónde concluye que los parámetros de perforación, así como también

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

la profundidad del taladro, velocidad de rotación, caudal de flujo y empuje influyen de manera significativa en la inclinación o desviación del taladro. Al momento de recolectar los datos para esta investigación, una de las limitaciones fue que solo se contaba con un equipo Gyro Reflex lo cual retrasaba las labores de medición de los sondeos, debido a que se perdía tiempo trasladando el equipo de una máquina a otra y cargando las baterías del instrumento, también se tenía que realizar la medición usando una llave inglesa para poder sujetar el cable wire line, debido a que si el instrumento detectaba algún movimiento durante el descenso o ascenso por el sondeo, esto podía invalidar los datos tomados durante la medición. Finalmente, para una futura investigación acerca de la trayectoria de los sondeos, se recomienda contar con un equipo de medición no magnético, ya que esto permite que el equipo no falle en caso haya presencia de minerales magnéticos en el sub suelo. En la tabla 3 se presentan los sondeos desviados en la etapa inicial del proyecto Shahuindo, tenemos dos sondeos de la etapa metalúrgicos realizados con la máquina CS14, tenemos un sondeo de la etapa de sulfuros realizados con la máquina LF90 y dos sondeos de aire reverso, realizados con la máquina Gemex RC, haciendo un total de 12 sondeos. En este punto tenemos que citar a Cansaya B. (2019), quien en su investigación afirma que los trabajos de perforación muchas veces presentan dificultades, debido al cambio tan repentino de formaciones en el sub suelo y en un lapso de tiempo muy pequeño, así mismo hace referencia a los parámetros de perforación quienes tienen un cambio repentino conforme se profundiza más, esto nos da una idea del porque las desviaciones son comunes en los trabajos de perforación. Por otro lado, esta cantidad de metros desviados generó una pérdida para la empresa contratista, debido que se tuvo que emplear materiales, aditivos, accesorios de perforación, personal capacitado, entre otras cosas, gastos los cuales fueron descontados en la valorización total del proyecto.

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

Es de conocimiento de todos los perforistas contratados en el proyecto minero Shahuindo, que los parámetros de perforación se deben registrar, controlar y modificar según el avance del taladro, en las siguientes tablas se puede observar el cambio que tuvieron los parámetros durante los trabajos lo cual trajo consigo diversos problemas, como atrapamiento de tubería, torque alto y desviación de los sondajes. Como se puede observar en la tabla 5, nos muestra la profundidad del sondaje, el ángulo y el azimut, pero también tenemos el LeftRight, que vendría a ser el movimiento de izquierda a derecha que realiza el sondaje, como es de conocimiento, las tuberías de perforación giran en sentido horario, teniendo en cuenta este dato y sumando a ello el control de los parámetros de perforación, tanto del peso de la corona como de los RPM, tendremos un sondaje recto o con una desviación mínima o por debajo de los estándares, sin embargo como se puede observar en la tabla anterior, el leftright varió, de negativos a positivos, eso sucede cuándo al aumentar los RPM, el caudal del fluido de perforación, el empuje y sin tener en cuenta que el terreno es arcilloso, como resultado tendremos nuestra perforación desviada hacia la izquierda. Esto se evidencia claramente en la tabla 6, desde los 5 metros vemos como se desvió el sondaje a la izquierda para luego en el metro 55 regresar a la derecha. Seguidamente en la tabla 7, podemos observar la variación del LeftRight en la medición de salida del sondaje (out hole) SHA-R20-369, aquí podemos ver el mismo fenómeno, pero teniendo en cuenta que este sondaje es de aire reverso, la diferencia es que la perforación aquí se realizó con un martillo bit, el cual tiene una fuerza mucho más grande en comparación a una máquina diamantina, esto sumado a la formación del terreno el cual no tiene mucha dureza, hizo que fácilmente se desvíe el taladro a la izquierda, este fenómeno es similar a la investigación realizada por Portilla (2012), en dónde planteó que se debe evaluar la energía suministrada al momento de realizar la perforación, haciendo alusión a los parámetros, teniendo en cuenta las propiedades

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS  
TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE  
REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR  
DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO  
MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

mecánicas del terreno, de esta manera se determina los parámetros óptimos con los que se debe trabajar y aumentar la eficacia de perforación y penetración, así como disminuir los problemas de desviación. Algo similar experimentó Ayala (2017), en su investigación en dónde llevó un correcto control de las revoluciones por minuto (RPM) y empuje, lo que le llevó a reducir en un 51% los niveles de vibración torsional, evitando así los atrapamientos de tubería y las desviaciones del sondaje. Durante el desarrollo de esta etapa de la investigación se presentaron las siguientes limitaciones, se tenía que contar con una persona a cargo de realizar las mediciones debido a que no todos los trabajadores (perforistas, ayudantes y supervisores), conocía el funcionamiento del equipo, por ende se contrató un técnico de medición para que realicé esa función, lo cual representó un gasto para la empresa contratista, así mismo, el clima fue un limitante ya que, al realizar la medición se tenía que cuidar la Tablet en dónde se registraban los datos, las baterías y otros componentes del equipo para evitar el contacto con la lluvia. Finalmente se recomienda tener personal ya sea perforista, ayudante o supervisor, capacitado para poder realizar las mediciones de los sondajes, que cuenten con el conocimiento sobre el ensamblado del equipo, la configuración y procesamiento de datos obtenidos en el software.

En la tabla 8, se puede observar el resultado de la medición del sondaje SHA-D20-290M, este sondaje tuvo una profundidad de 130 metros, en la tabla podemos observar el ángulo inicial que fue de  $54.92^\circ$  y con un azimut inicial de  $360^\circ$ , la tabla nos muestra que no hubo una variación significativa en la dirección del sondaje, por lo tanto los valores no sobrepasaron los límites para ser considerados como desviación (ANEXO 5), es decir se mantuvieron por debajo de lo establecido lo cual muestra que se mejoró en el control de los parámetros de perforación, tanto en la velocidad de rotación, como en el empuje realizado por la máquina perforadora, también cabe recalcar que para este sondaje se redujeron los

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

problemas de torque, atrapamiento o derrumbe en el taladro. Este sondaje tuvo una desviación del 0.22% por 130 metros, es decir que solo se desvió 0.28m. Esto se reflejó claramente en la figura 14, en donde podemos observar la variación de azimut del sondaje, aquí se muestra claramente que tanto la medición de ingreso (in hole) y la de salida (out hole), tuvieron el mismo recorrido, está de más recordar que el azimut es de  $360^\circ$  por lo cual al presentar un ligero movimiento a la derecha esto hace que la máquina marque al azimut como 0, lo cual no es nada grave ya que es básicamente lo mismo. Esta gráfica demuestra que este sondaje fue realizado de la mejor manera, teniendo en cuenta los parámetros de perforación y que el equipo de medición muestra claramente los resultados sin ningún problema. En la tabla número 9 podemos observar los resultados de la medición realizada al sondaje SHA-D20-279P con un ángulo inicial de  $-73.32^\circ$  y un azimut de  $90^\circ$ , en la comparación podemos observar que los valores del azimut sobrepasan los límites del software, pero esto se debe a la profundidad del sondaje, ya que es de 350 metros, lo cual por motivos de fuerza, empuje, rotación tiende a presentar una ligera desviación, el objetivo para sondajes largos como estos es tratar que la desviación sea mínima, presentando una desviación de 0.63%, es decir de los 350 metros solo se desvió 2.2 metros, lo cual no fue tan relevante para el área de geología, ya que normalmente se suelen desviar 1 metro por cada 100 de profundidad, teniendo ese conocimiento, deducimos que el resultado fue óptimo. Seguidamente en la figura 15, se puede observar la gráfica de la variación del azimut en el sondaje SHA-D20-279P, en esta gráfica se puede ver el azimut inicial  $90^\circ$  y su variación conforme se va profundizando en el terreno, hasta los metros 180 varía entre  $90^\circ$  y  $92^\circ$ , para luego seguir creciendo, desde los metros 200 hasta 350 va aumentando, eso debido a la fuerza que ejerce la máquina, el cambio de línea de PQ a HQ, la rotación y el peso de la tubería influyeron en la desviación del sondaje, pero de manera mínima. Para este fenómeno

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

citamos a Celis H. (2016), quien en su investigación concluyó que la desviación de los taladros es directamente proporcional a la longitud a perforar, es decir, mientras mayor sea la profundidad, la desviación se alterará de una manera extensa. En la tabla 10 podemos observar los resultados de la medición del sondaje SHA-R20-380, el cual tuvo de ángulo inicial de inclinación  $50.30^\circ$  y de azimut  $14.91^\circ$ , presentando una mínima desviación debido a la fuerza ejercida por el martillo de fondo en el terreno, la rotación y el terreno, en la tabla nos muestra una desviación de 0.45%, es decir una desviación de 0.65m en todos los 145 metros perforados, mientras que en la figura 16, el azimut inicial del sondaje SHA-R20-380 de aire reverso es de  $14.91^\circ$ , conforme se va profundizando se presenta una ligera variación en el azimut, pero sin embargo la trayectoria de entrada (in hole), como de salida (out hole) son similares, lo cual indica que no hubo mucha desviación ni variación en la dirección. Hasta el metro 60 de profundidad el azimut se presenta poco constante, para luego decaer gradualmente hasta terminar entre  $13$  y  $13.5^\circ$ . En el gráfico mostrado en la figura 13, se puede apreciar la diferencia entre los metros perforados que presentan una desviación y los que no, tomando en cuenta los sondajes diamantina y aire reverso se aprecia la cantidad de metros perforados fueron de 4740 de los cuales el 24% se encontraban desviados, es decir 1520 metros no cumplían con los estándares indicados por el área de geología, mientras que el 76% sí. Finalmente en la tabla 11 se aprecia el costo de todos los sondajes desviados que hacen un total de \$191.130, durante el mes de enero se desviaron 07 sondajes los cuales, según la figura 33, hacen un total del 64% de los costos totales, es decir \$122.040, mientras que en el mes de enero se desviaron solo 4 sondajes, los cuales representan el 32% del costo total, esto se traduce a \$60.690, finalmente en el mes de marzo solo se tuvo un sondaje desviado, el cual es el 4% del costo total siendo un costo de \$8400. De esta manera es como se aprecia la reducción de costos al minimizar los problemas de desviación en los sondajes

del proyecto minero. Lo cual concuerda con la investigación realizada por Cuno (2018), en dónde afirma que para reducir los costos en los que se incurre en las campañas de exploración con perforación diamantina y aire reverso, es necesario tener en cuenta las variaciones y el control de cada uno de los parámetros que intervienen, así mismo Mahasneh (2018) en su investigación, indica que, el peso de la broca, así como también las revoluciones por minuto son cambiantes durante la operación, es por ello que, al controlar estos parámetros, se optimizara toda la operación en conjunto, de esta manera reducirá el tiempo necesario para perforar, lo que por consecuencia reducirá el costo para la perforación. Las limitaciones presentes en esta etapa de la investigación fue la disminución en el avance en las perforaciones debido a la avería de las máquinas perforadoras, lo cual retrasó los trabajos, es por ello que se recomienda realizar una revisión técnica semanal del estado de las máquinas, así como también contar con repuestos en el almacén para cualquier urgencia.

#### **4.2 Conclusiones**

- Se logró medir la desviación de los sondajes iniciales, específicamente del sondaje diamantino (DDH) SHA-D20-278M el cual se perforó con la máquina CS14, tuvo una profundidad de 100m, un ángulo inicial de  $74.22^\circ$  y un azimut de  $36.63^\circ$  otorgado por el área de geología, este sondaje presentó una desviación de 3.64%, es decir de los 100 metros de profundidad se desvió un total de 3.64m de su dirección inicial. Mientras tanto el sondaje de aire reverso (RC) SHA-R20-369 el cual se perforó con la máquina Gemex RC-500, tuvo una profundidad de 115m, ángulo inicial de  $55.05^\circ$  y azimut de  $115.99^\circ$ , presentó una desviación de 2.60%, es decir, de 115 metros, se desvió 2.99m de su objetivo inicial, se concluye que las desviaciones de los dos sondajes mencionados anteriormente son de una gran proporción, teniendo en cuenta la profundidad y la desviación final, debido a que los sondajes mencionados no

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

cumplían con las características deseadas por el área de geología, se registró una pérdida de US\$ 191.130.

- Se logró verificar que los principales factores de la desviación de los sondeos serían el mal manejo de los parámetros de perforación, ya que el personal no contaba con los conocimientos necesarios sobre el terreno y los primeros días de perforación aún se desconocía el comportamiento de este, sumado a esto se le suman los problemas de torque alto, atrapamiento de la tubería, derrumbe del terreno, debido al control negativo del RPM, presión de avance y empuje de la máquina perforadora, por lo que es recomendable supervisar el correcto uso de los parámetros de perforación al iniciar un proyecto de exploración.
  
- Se logró controlar los parámetros de perforación gracias a la supervisión y seguimiento de los sondeos realizados, con el conocimiento de las características del terreno y su comportamiento, se pudo reducir significativamente las desviaciones de los sondeos, tal es el caso que el sondeo diamantino SHA-D20-290M de 130m de profundidad con un ángulo inicial de  $54.92^\circ$  y un azimut de  $360^\circ$  presentó una desviación de 0.22%, es decir que de los 130m perforados, se desvió de su objetivo un total de 0.28m. El sondeo SHA-D20-279P del grupo de diamantina, con una profundidad de 350m, un ángulo inicial de  $73.32^\circ$  y un azimut de  $90^\circ$ , presentó una desviación de 0.63%, es decir que de los 350m se desvió de su objetivo un total de 2.2m, lo cual está entre los límites aceptables, teniendo en cuenta la gran profundidad y también el cambio de línea de PQ a HQ, lo cual genera una disminución del diámetro a perforar. Por otro lado, el sondeo de aire reverso SHA-R20-380 con una profundidad de 145m, ángulo inicial de  $50.30^\circ$  y azimut de  $14.91^\circ$ , presentó una

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS  
TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE  
REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR  
DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO  
MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

desviación de 0.45%, es decir que de los 145m se desvió un total de 0.65m, comparando con el sondaje medido al inicio del proyecto, se reduce significativamente la desviación de este, es por ello que conforme se van controlando y mejoran los parámetros de perforación, se reducen los costos de los sondajes, tanto así que el costo total del mes de enero es de 122.040 US\$, mientras que el costo del mes de febrero es tan solo de 60.690 US\$, presentando una reducción del 32% del costo total 191.130 US\$.

## REFERENCIAS

- Aguirre, P., Cleyde, M. (2015). Reducción de costos operativos en desarrollos mediante actualización de estándares en perforación y voladura, caso de la empresa especializada Mincotrall S.R.L. Universidad del Nacional del Centro del Perú. Huancayo. Perú.
- Akin, S., Karpuz, C. (2008). Estimación de los parámetros de perforación en operaciones de perforación diamantina usando redes neuronales artificiales. Revista Internacional de Geomecánica.
- Arana, J. (2014). Medición de la Trayectoria de pozos de Prospección Geológica. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú.
- Arias, J., González, P., Schoeler, C. (2015). Exploración por sondaje con diamantina y aire reverso. Informe de investigación. Universidad Tecnológica de Chile (INACAP). Sede – Renca. Chile.
- Arrieta, L. (2020). Medición de trayectoria de pozos de sondaje. Revista Nueva Minería & Energía. Santiago – Chile. Recuperado el 26 de febrero de 2020 de: [http://www.nuevamineria.com/numero10/informe\\_tec\\_001.php](http://www.nuevamineria.com/numero10/informe_tec_001.php).
- Ayala, D., Benitez, A., Valencia, R. (2017). Optimización de la tasa de penetración mediante el análisis de las vibraciones al perforar, caso de estudio Ecuador. Revista Fuentes. Colombia.
- Balboa, A., Yañez, M. (2018). Evaluación técnica – económico de parámetros de perforación Mina La Cuesta. Trabajo de titulación. Universidad de Atacama. Chile.

- Barrick (2009). Desarrollo de un proyecto minero. Curso de minería para periodistas. Santiago. Chile.
- Bejarano, V. (2017). Proceso de perforación diamantina y logueo geológico en el proyecto minero La Granja Río Tinto en Querocoto-Chota – Cajamarca. Informe de Grado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa – Arequipa.
- Camberfort, H. 1962. Perforaciones y sondeos. 2 ed. Editorial Omega. Madrid. España.
- Cansaya, B. (2019). Selección y empleo de coronas impregnadas en la perforación diamantina. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa. Perú.
- Carbajal, A. (2009). Manual de Perforación y Voladura de Rocas. Instituto Tecnológico Geominero de España. 250 p.
- Castilla, J. y Herrera, J. (2012). El proceso de Exploración Minera Mediante Sondeos. Laboratorio de Tecnologías Mineras. Madrid, España.
- Celis, H. (2016). Reducción de la desviación de taladros largos implementando menores longitudes de perforación de taladros para bancos de producción de 20 metros de altura en subnivel stoping con simbas h1254, en el cuerpo casapalca 4 en el nivel 11a, Mina Casapalca – Unidad Americana 2016. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú.
- Couceiro, P. (2018). Optimización energética de las operaciones mineras. Gerens Escuela de Postgrado. Lima. Perú.
- Fernández, R., De Barrio, R., & Tessone, M. (2015). Perforaciones en la exploración minera. Apuntes de geología de minas. Universidad Nacional de la Plata.
- Kuramoto, J., Glave, M. (2002). Minería, minerales y desarrollo sustentable en Perú. CIIPMA. Londres.

López, M. 2002. Geología Aplicada a la Ingeniería Civil. 2 ed. Editorial Dossat. Madrid. España. 158 p.

Mahasneh, M. (2017). Optimización del rendimiento de los parámetros de perforación durante la perforación en pozos de gas. Revista Internacional de ingeniería de carbon y gas de petróleo.

Mantilla Tafur, Víctor Hugo. Control de la trayectoria de taladros variando tipo de broca y parámetros de perforación con sistema diamantina. Tesis de Grado. Universidad Privada del Norte de Trujillo. Perú.

Pachas, D. (2014). La Exploración Minera en el Perú: Un Breve Alcance sobre las Principales Autorizaciones para el Desarrollo de un Proyecto de Exploración en el Perú. *Derecho & Sociedad*, (42), 321-328. Recuperado a partir de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechosociedad/article/view/12487>

Portilla, H., Suarez, D., Corzo, R. (2012). Metodología para la optimización de parámetros de perforación a partir de propiedades geomecánicas. Revista Fuentes. Colombia.

Portocarrero, M. (2019). Reducción de los costos operativos al aumentar la velocidad de rotación en la perforación de terrenos duros, fracturados y abrasivos. Tesis para optar el título profesional de ingeniero de minas. Universidad Privada del Norte. Cajamarca. Perú.

Talledo, L. (2015). Perforación RCD herramienta auxiliar para el reconocimiento e interpretación de controles geológicos de mineralización en el yacimiento epitermal de alta sulfuración – minas Pampa Huamachuco. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Piura. Perú.

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS  
TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE  
REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR  
DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO  
MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

Silva, A. 2008. Informe sobre la tarea de medir variaciones en la dimensión de pozos.

Ingetrol Chile.

Vega, J. (2018). Control de operaciones mineras. Universidad Nacional de Piura. Piura. Perú.

## ANEXOS

### ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.

**“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.**

PROBLEMA	HIPOTESIS GENERAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	METODOLOGIA
¿En qué medida el control de los parámetros técnicos de perforación diamantina y aire reverso pueden disminuir los costos por desviación de sondajes en un proyecto minero de Cajabamba 2020?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controlando los parámetros técnicos de perforación, se logró reducir los costos por desviación de sondajes diamantinos y aire reverso en un proyecto minero de Cajabamba 2020.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controlar los parámetros técnicos de perforación diamantina y aire reverso, para disminuir costos por desviación de sondajes en un proyecto minero de Cajabamba 2020.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Costos por desviación de sondajes</li> </ul>	Dónde VI= Control de los parámetros técnicos de perforación diamantina y aire reverso. VD= Costos por desviación de sondajes. X = Diseño de Investigación: Pre experimental
	HIPOTESIS ESPECÍFICAS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLE INDEPENDIENTE	POBLACIÓN
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tras la medición de la de trayectoria de los sondajes iniciales se pueden calcular los costos perdidos por sondajes desviados.</li> <li>Es posible realizar la verificación de los parámetros técnicos, supervisando constantemente el avance de perforación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medir la trayectoria de los sondajes iniciales.</li> <li>Verificar los parámetros técnicos de perforación.</li> <li>Controlar los parámetros técnicos de perforación y reducir los costos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Control de los parámetros de perforación diamantina y aire reverso.</li> </ul>	La población de la presente investigación estará conformada por 32 sondajes tanto del sistema diamantina y de aire diverso realizados durante una campaña de perforación que corresponde a los meses enero, febrero y marzo en un proyecto minero de Cajabamba.  <b>MUESTRA</b> La muestra se fue tomando de acuerdo al avance del proyecto, por ende, los primeros sondajes muestreados fueron desviados, seguidamente se tomó los sondajes a los cuales se les iba aplicando progresivamente el control de parámetros técnicos planteado líneas más abajo de esta

•Se demostró que controlando los parámetros de perforación es posible reducir el nivel de desviación de los sondajes diamantina y aire reverso, así como también los costos operativos.

investigación, hasta tener toda la muestra pertinente para realizar la investigación, la cual es representativa debido a que aborda los dos tipos de perforación, así como también se realizaron con todas las máquinas presentes en el proyecto y de diversas profundidades, haciendo un total de cinco (5), 3 taladros del tipo diamantina y 2 del sistema de aire reverso.

#### **Sondaje con el sistema DIAMANTINA**

##### CS14

- SHA-D20-278M con profundidad de 100.00m.
- SHA-D20-290M con profundidad de 130.00m.

##### LF90

- SHA-D20-279P con profundidad de 350.00m.
- 

#### **Sondaje con el sistema AIRE REVERSO**

##### GEMEX

- SHA-R20-369 con profundidad de 115.00m.
- SHA-R20-380 con profundidad de 145.00m.

## ANEXO 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Control de parámetros técnicos de perforación diamantina y aire reverso.</b></li> </ul>	Los parámetros de perforación son los factores que ayudan a tener un buen desempeño al momento de perforar, teniendo en cuenta las capacidades, fuerza y energía de la perforadora.	Al controlar los parámetros técnicos, teniendo en cuenta el terreno y la capacidad de la máquina se tiene una perforación más eficiente y se reduce problemas como la desviación, atrapamiento o torque alto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Terreno</li> <li>➤ Broca</li> <li>➤ Fuerza de empuje</li> <li>➤ RPM</li> <li>➤ Presión de la máquina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dureza del terreno.</li> <li>➤ Serie de broca a usar</li> <li>➤ Características geomecánicas del terreno.</li> </ul>	
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE
	Los costos operativos, son aquellos en dónde incurre una empresa para el	En perforación ya sea diamantina o aire reverso, los	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Metro perforado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Metros perforados</li> </ul>	

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN  
DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO  
DE CAJABAMBA 2020”.

- 
- |  |   |   |   |                                      |
|--|---|---|---|--------------------------------------|
| <p>➤ <b>Costos por desviación de sondajes.</b></p> | <p>desarrollo de sus actividades u operaciones.</p> | <p>costos se encuentran en dólares por metro perforado, en donde se tiene en cuenta la profundidad y diámetro a perforar.</p> | <p>➤ Diámetro de broca</p> <p>➤ Profundidad</p> | <p>➤ Uso de aditivos, accesorios</p> |
|--|---|---|---|--------------------------------------|
-

### **ANEXO 3:**

## **PROGRAMA DE PERFORACIÓN DDH Y RC EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2019-2020 – REDRILSA S.A.**

El programa de perforación se inició los primeros días del mes de diciembre del año 2019, la cual constó de tres (03) objetivos diferentes, por lo tanto, se desarrolló un tipo de perforación que se encuentre acorde con lo que el área de Geología Mina estaba sondeando.

### **1. Perforación Diamantina DDH – Geometalurgia con Línea PQ.**

Se proyectaron 06 taladros por mes, por lo cual se considera 06 plataformas estandarizadas correctamente. Se consideró que los taladros tienen una profundidad entre 120 y 200 metros, la cual debe ser exclusivamente con línea PQ. De esta manera se puede evaluar los materiales existentes en el “Life of mine (LOM)” en coordinación con Metalurgia.

### **2. Perforación Aire Reverso RC – Infill**

Se proyectaron 15 taladros por mes, considerando que las perforaciones tendrían una profundidad de 150 metros, información necesaria para reclasificar los bloques del proyecto.

### **3. Perforación Diamantina DDH – Sulfuros con Línea PQ, HQ, NQ.**

Se proyectaron tres taladros por mes, por lo cual se consideró que las perforaciones tendrían una profundidad de 400 metros, de esta manera se podría explorar la etapa de sulfuros ligado a las estructuras principales en profundidad, por lo cual se solicitó por parte del área de Geología Mina que se contara con las líneas de perforación adecuadas, de esta manera se consideró que los pozos iniciarán con línea PQ hasta un promedio de 200 metros de profundidad, luego se procedería al cambio de línea según el avance y necesidad de la operación.

#### ANEXO 4

#### Geología Regional en un Proyecto Minero de Cajabamba 2020.

En un proyecto minero de Cajabamba 2020, se presenta las siguientes características geológicas lo que influye en la desviación de taladros.

*Tabla 10: Geología Regional de un Proyecto Minero de Cajabamba 2020.*

<b>Geología Regional en un Proyecto Minero de Cajabamba 2020.</b>	
<b>Grupo Goyllarisquizga (ki – g)</b>	Constituida por estratos macizos de 20 a 80 cm. De grosor de areniscas cuarzosas bien clasificadas de grano medio a grueso, algunas capas son conglomerados con guijarros pequeños de cuarzo
<b>Formación Chimú (ki-chim)</b>	Consiste en una alternancia de areniscas cuarzosas y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de cuarcitas blancas, en bancos gruesos, en la parte superior. Las areniscas generalmente son de grano mediano a grueso.
<b>Formación Santa (Ki-sa)</b>	Consiste en la intercalación de lutitas y calizas margosas, y areniscas gris oscuras, con un grosor que oscila entre los 100 y 150 m.
<b>Formación Carhuaz</b>	Consiste en la intercalación de areniscas (rojizas, violetas y verdosas; características principales para diferenciarla en campo) con lutitas grises. Hacia la parte superior contiene bancos de areniscas cuarzosas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas.
<b>Formación Farrat (ki- f)</b>	Consiste de areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m. en algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje
<b>Formación Inca (ki – in)</b>	Consta de la intercalación de areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas dando en superficie un matiz amarillento.

Fuente: Reporte de un Proyecto Minero de Cajabamba 2020.

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

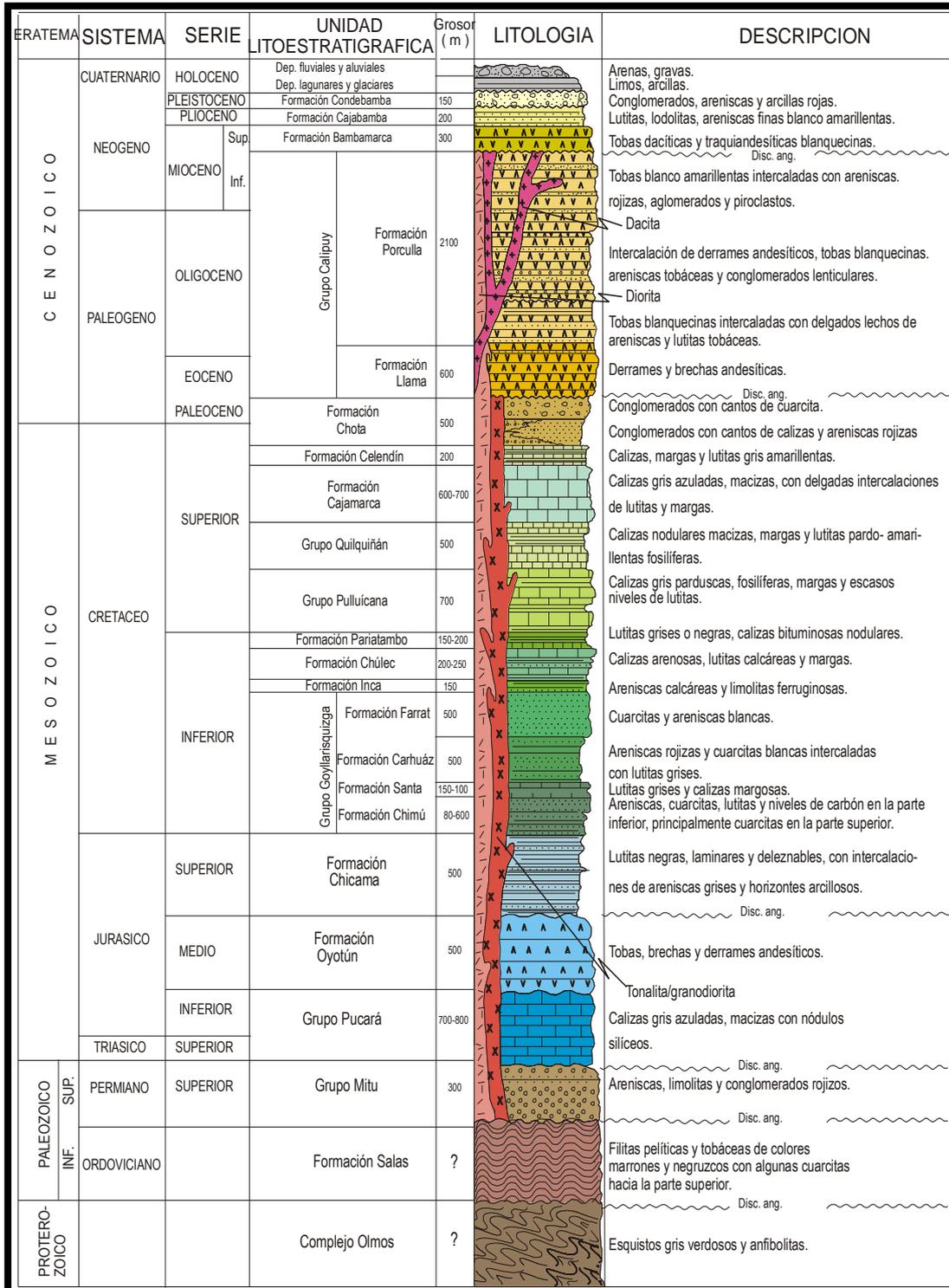


Figura 18: Columna Estratigráfica de Cajamarca

Fuente: Reporte en un Proyecto Minero de Cajabamba 2020..

## ANEXO 5

### Cálculos para diagrama de Pareto.

Matriz de priorización para realizar el diagrama de Pareto y determinar el factor más influyente en la desviación de sondajes.

Cargo	Nombre	FACTORES DE DESVIACIÓN DE SONDAJES							TOTAL
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	
		Profundidad	Estado de la máquina y accesorios	Equipo de medición de sondajes.	Empuje	Presion de avance	Expenencia del perforista	Revoluciones por minuto (RPM)	
		Puntuación							
Residente de Proyecto	Celso Salazar Becerra	5	5	5	10	10	5	10	50
Supervisro de Operaciones	Misael Solis Rios	1	1	1	5	5	1	10	24
Supervisor de Operaciones	Segundo Malca Chavez	1	1	5	10	10	1	10	38
Supervisor de Operaciones	Jair Carpio	1	1	1	10	5	1	10	29
Perforista DDH	Rodriguez Mendoza Eder	5	1	1	5	5	1	10	28
Perforista DDH	Hurtado Santos Jesus	5	5	5	10	10	1	10	46
Perforista DDH	Villafuerte Villa Cesar	1	1	1	5	10	1	10	29
Perforista DDH	Rengifo Ushinahu Aner	5	5	5	10	5	1	5	36
Perforista DDH	Yarlequé Sandoval Paul	5	1	1	10	10	1	10	38
<b>TOTAL</b>		<b>29</b>	<b>21</b>	<b>25</b>	<b>75</b>	<b>70</b>	<b>13</b>	<b>85</b>	<b>318</b>

### Confiabilidad

$$K = 9$$

$$S_p^2 = 67,33333$$

$$\Sigma S_p^2 = 27,23$$

$$\frac{K}{K-1} = 1,125$$

$$\left[1 - \frac{\Sigma S_p^2}{S^2}\right] = 0,595526$$

$$\alpha = 0,67$$

### COEFICIENTE ALFA DE CRONBACH

<b>Puntuación Total</b>	<b>29</b>	<b>21</b>	<b>25</b>	<b>75</b>	<b>70</b>	<b>13</b>	<b>85</b>	318
<b>Promedio</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	35,33
<b>Varianza</b>	<b>3,95</b>	<b>3,56</b>	<b>3,95</b>	<b>5,56</b>	<b>6,17</b>	<b>1,58</b>	<b>2,47</b>	27,23

## ANEXO 6

### Diagrama de Pareto de los parámetros de perforación

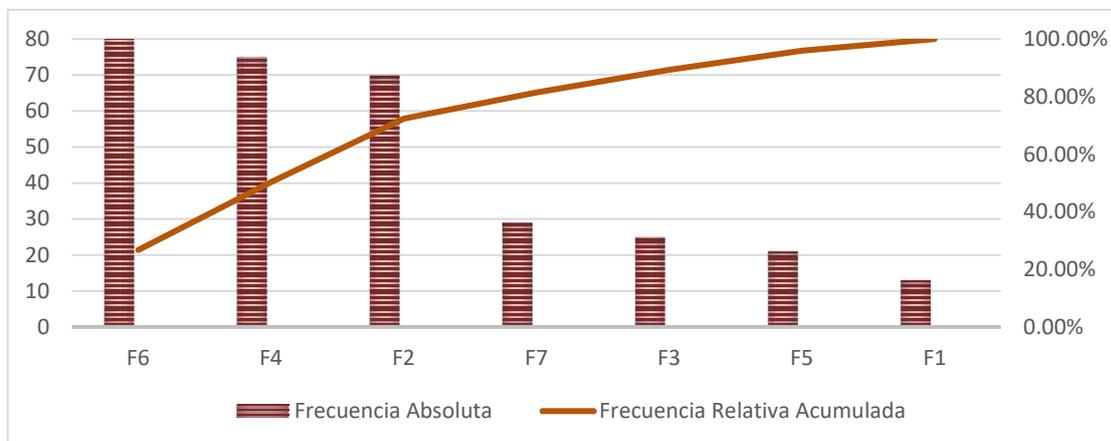


Figura 19: Diagrama de Pareto de los parámetros de perforación.

Fuente: Altamirano B. Coba V (2021).

Tabla 11: Tabla de frecuencias para el diagrama de Pareto.

Ítem	Causas	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	80-20
F6	Revoluciones por minuto (RPM)	85	26,73%	26,73%	80
F4	Empuje	75	23,58%	50,31%	80
F2	Presión de avance	70	22,01%	72,33%	80
F7	Profundidad	29	9,12%	81,45%	80
F3	Equipo de medición de sondajes.	25	7,86%	89,31%	80
F5	Estado de la máquina y accesorios	21	6,60%	95,91%	20
F1	Experiencia del perforista	13	4,09%	100,00%	20
TOTAL		318	100%		

Fuente: Altamirano B, Coba V. (2021).

Se utilizó el diagrama de Pareto para identificar los factores que más influyen en las desviaciones de los sondajes en el proyecto minero de Cajabamba 2020, como se puede apreciar en la figura 20 y la tabla 17, las principales causas que influye en la desviación de los sondajes son los parámetros de perforación, es decir, las revoluciones por minuto, el empuje y la presión de avance. Esto es porque de acuerdo a como se va perforando se tiene que saber controlar correctamente los parámetros para que el equipo avance de manera

eficiente y segura, sin presentar atrapamientos de tubería o torques altos y poder cortar la roca sin causar desviaciones.

- **RPM:** La velocidad de rotación varía en función de la resistencia a compresión de la roca, a medida que se va profundizando se aumenta los rpm y también la fuerza de empuje, lo cual genera que se desvíe el sondaje.
- **Profundidad del terreno:** Este factor es de suma importancia, debido que a medida que va aumentando la profundidad la probabilidad para que el sondaje se desvíe también aumenta.
- **Empuje:** Este parámetro influye en la desviación de taladros, al momento de ejercer mayor o menor fuerza de empuje que a su vez se ve limitada por la geología del terreno, esto sumando a la rotación provoca la desviación de la trayectoria.
- **Presión de avance:** Si se aplica una fuerza de avance insuficiente genera una pérdida de energía ocasionando percusión en vacío y si por el contrario la fuerza de avance es demasiado alta genera torsión, rotura de barras y atascamiento.
- **Experiencia del perforista:** Mientras más años de experiencia tenga el perforista más eficiente será la perforación de los sondajes, esto debido a que ya conoce los parámetros correctos para perforar en terrenos complicados, usa su conocimiento para solucionar problemas que se presentan en el momento y también sabe reducir la desviación del sondaje.
- **Estado de la máquina y accesorios:** Este es un factor muy importante, debido a que es lo principal que se debe tener en cuenta en un proyecto de exploración, ya que depende del tipo de terreno y la profundidad que se quiere llegar se eligen los equipos con características específicas para el terreno, como fuerza, presión, empuje, etc. y los accesorios siempre deben encontrarse en buen estado para que se pueda recuperar la muestra y, sobre todo, perforar con fluidez.

**ANEXO 7:**

**SONDAJES PERFORADOS Y MEDIDOS CON EL GYRO REFLEX DURANTE LOS MESES DE ENERO, FEBRERO Y MARZO**

**Tabla 12: Lista de sondajes medidos con Gyro Reflex en un Proyecto Minero de Cajabamba 2020.**

SONDAJE	METROS (m)	MAQUINA	ESTE	NORTE	COTA	AZIMUT	DIP	% DE DESVIACIÓN	MISCLOSE (m)
SHA-D20-274M	130	CS14	807500,64	9157585,24	2897,51	228,94	-80,00	0,17%	0,22
SHA-D20-275P	370	LF90	807178,35	9157570,20	2962,84	90,59	-73,36	1,51%	5,58
SHA-D20-276M	145	CS14	807425,83	9157531,77	2918,21	14,91	-49,41	0,45%	0,65
SHA-D20-277M	105	CS14	807385,26	9157594,87	2906,52	36,62	-70,84	4,76%	5,23
SHA-D20-278M	100	CS14	807387,50	9157422,45	2937,50	36,63	-74,53	11,52%	11,52
SHA-D20-280M	110	CS14	807453,09	9157342,09	2938,71	216,25	-72,42	0,07%	0,08
SHA-D20-283M	135	CS14	807680,63	9157493,60	2882,28	215,06	-66,03	0,20%	0,27
SHA-D20-285M	130	CS14	807631,84	9157497,26	2890,95	19,83	-64,43	0,23%	0,29
SHA-R20-369	115	GEMEX RC	807989,16	9158144,79	2830,93	115,97	-55,05	2,60%	2,99
SHA-R20-370	115	GEMEX RC	807989,00	9158105,00	2830,00	140,00	-60,00	4,82%	5,54
SHA-R20-371	100	GEMEX RC	807994,84	9158028,20	2826,34	299,66	-74,37	0,52%	0,52
SHA-R20-372	110	GEMEX RC	807980,16	9157979,14	2828,70	119,35	-61,45	0,25%	0,28
SHA-R20-373	110	GEMEX RC	807947,39	9157939,77	2835,61	120,00	-59,00	0,77%	0,85
SHA-R20-375	75	GEMEX RC	807918,46	9157746,17	2830,16	34,19	-45,29	0,17%	0,13
SHA-R20-376	130	GEMEX RC	807942,45	915759,33	2848,71	36,60	-49,50	0,04%	0,06
SHA-R20-377	80	GEMEX RC	807972,81	9156821,98	2868,01	33,76	-76,52	5,12%	4,1
SHA-R20-378	95	GEMEX RC	808009,47	9156786,20	2867,97	35,24	-70,14	0,08%	0,08
SHA-R20-379	120	GEMEX RC	808006,00	9156781,19	2867,85	216,39	-60,05	0,13%	0,15
SHA-R20-380	145	GEMEX RC	807425,83	9157531,77	2918,21	14,91	-49,41	0,45%	0,65
SHA-R20-381	90	GEMEX RC	807991,20	9156803,80	2868,04	36,54	-69,61	5,56%	5,01
SHA-R20-382	100	GEMEX RC	807896,38	9156864,60	2868,01	20,35	-60,25	5,22%	5,22
SHA-R20-383	130	GEMEX RC	807781,42	9157025,07	2868,01	88,74	-86,67	0,09%	0,12
SHA-R20-384	120	GEMEX RC	807792,64	9157000,87	2876,06	33,56	-57,30	4,62%	5,55
SHA-R20-386	65	GEMEX RC	807985,84	9156940,08	2820,50	209,24	-44,85	0,92%	0,6
SHA-D20-279P	350	LF90	807413,25	9157420,03	2932,72	90,89	-73,37	0,63%	2,2
SHA-D20-281M	125	CS14	807541,18	9157305,84	2928,68	36,49	-56,52	0,05%	0,07
SHA-D20-282P	640	LF90	807397,63	9157142,10	2970,36	0,93	-65,15	0,20%	1,6
SHA-D20-284M	140	CS14	807709,88	9157361,28	2888,25	221,92	-78,09	0,43%	0,6
SHA-D20-286M	160	CS14	807593,82	9157544,13	2899,27	223,24	-88,52	7,11%	11,37
SHA-D20-287M	95	CS14	807224,76	9157190,93	3009,32	35,41	-57,69	25,85%	24,56
SHA-D20-288M	70	CS14	807137,75	9157241,45	3019,16	217,02	-67,04	7,15%	5,01
SHA-D20-289M	105	CS14	807160,32	9157186,59	3024,93	34,69	-51,10	0,07%	0,07
SHA-D20-290M	130	CS14	807191,72	9157667,18	2967,07	0,00	0,00	0,22%	0,28

## ANEXO 8:

### LÍMITES DE DESVIACIÓN DESIGNADOS POR EL SOFTWARE Y MISCLOSE

Estos datos se obtienen junto al reporte otorgado por el software una vez realizada la medición y el procesamiento de la data.

Tabla 13: Límites de desviación de sondajes

Depth [m]	Dip Survey 1	Dip Survey 2	Dip Comparison	Dip > 0.2°	Azimuth Survey 1	Azimuth Survey 2	Azimuth Comparison	Azimuth >
				Dip > 0.5°				Azimuth >
								0.7°
								1.0°
0	-50,30	-50,32	-0,02		14,91	14,91	0,00	
5	-50,33	-50,30	-0,02		14,58	14,66	-0,08	

FUENTE: Software Reflex

#### - LÍMITES PARA EL DIP (ÁNGULO)

Si el DIP se encuentra entre los ángulos  $>0.2^\circ$  y  $<0.5^\circ$ , se considera no desviado, pero si llegasen a sobrepasar el ángulo  $>0.5^\circ$ , son considerados ángulos desviados.

#### - LÍMITES DE AZIMUTH

Si el azimuth se encuentra dentro de  $>0.7^\circ$  y  $<1.0^\circ$  se considera un azimuth estable, sin embargo, si este llegase a sobrepasar  $>1.0^\circ$ , se considera una desviación.

### MISCLOSE

Es el porcentaje de desviación que presenta el sondaje, de acuerdo a la profundidad.

E.O.H Misclose - Meters			
Misclose @ 100 Meters	3,64 m	3,64%	Fail
Calculated Difference @ 1000m	36,42 m		

Figura 20: Misclose de desviación.

Fuente: Software Reflex.

**ANEXO 9:**

**Costos de Perforación en un Proyecto Minero de Cajabamba 2020.**

En un Proyecto Minero de Cajabamba 2020 se valorizó con los siguientes costos los cuales son diferentes para cada tipo de perforación, diamantina y aire reverso.

*Tabla 14: Costos de Perforación Diamantina, según el diámetro y la profundidad en (US\$/m).*

COSTOS PERFORACIÓN DIAMANTINA		
DIÁMETRO DE PERFORCIÓN	UNIDAD	COSTO UNITARIO (US\$/m)
<b>PERFORACION PQ</b>		
Perforación de 0 - 100	<b>Metro</b>	<b>120,00</b>
Perforación de 100 - 200	<b>Metro</b>	<b>130,00</b>
Perforación de 200 - 300	<b>Metro</b>	<b>140,00</b>
Perforación de 300 - 400	<b>Metro</b>	<b>150,00</b>
<b>PERFORACION HQ</b>		
Perforación de 0 - 100	<b>Metro</b>	<b>115,00</b>
Perforación de 100 - 200	<b>Metro</b>	<b>120,00</b>
Perforación de 200 - 300	<b>Metro</b>	<b>125,00</b>
Perforación de 300 - 400	<b>Metro</b>	<b>130,00</b>
Perforación de 400 - 500	<b>Metro</b>	<b>140,00</b>
Perforación de 500 - 600	<b>Metro</b>	<b>150,00</b>
<b>PERFORACION NQ</b>		
Perforación de 0 - 100	<b>Metro</b>	<b>110,00</b>
Perforación de 100 - 200	<b>Metro</b>	<b>115,00</b>
Perforación de 200 - 300	<b>Metro</b>	<b>120,00</b>
Perforación de 300 - 400	<b>Metro</b>	<b>125,00</b>
Perforación de 400 - 500	<b>Metro</b>	<b>135,00</b>
Perforación de 500 - 600	<b>Metro</b>	<b>145,00</b>

Fuente: Valorización de un Proyecto Minero de Cajabamba 2019-2020.

En la tabla 14 podemos observar los costos por metro de perforación diamantina, en este precio está incluido la mano de obra, aditivos, equipos de protección personal, maquinaria, etc. Todo gasto que incurra en la perforación de un metro de terreno.

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

**Tabla 15: Costos unitarios de perforación Aire Reverso (US\$/m).**

PERFORACIÓN	UNIDAD	COSTO UNITARIO (US\$/m)
Materiales de instalación de Caising (40 pozos)	ML	100,00
0-100	Metro	124,00
100-200	Metro	134,00
200-300	Metro	144,00
300-400	Metro	154,00

Fuente: Valorización de un Proyecto Minero de Cajabamba 2019-2020.

En la tabla número 3 se puede observar los costos unitarios de metro perforado, en dónde se distingue que a medida que se va profundizando los costos van aumentando debido a los materiales que se van usando y su obvio incremento en las operaciones.

**Tabla 16: Costos particulares de la operación.**

TRABAJOS PRELIMINARES	UNI.	PRECIO UNITARIO (US\$)-DDH	PRECIO UNITARIO (US\$)-RC
Movilización	Global	7.000,00	14.325,00
Desmovilización	Global		14.325,00
Inducción de personal por equipo	Día	1.439,00	2.154,84
<b>ALQUILERES</b>			
Herramienta de Medición de Pozos - Réflex Magnéticos	Mes		1.750,00
Herramienta de Medición de Pozos - No magnético	Mes		4.400,00
Alquiler Camión Grúa 12 TN (Inc. OP)	Mes	7.157,00	14.314,00
Alquiler Cisterna de Agua (Inc. OP)	Mes		4.957,00
Alquiler de Cisterna Combustible (Incl. Cond	Mes		4.957,00
<b>OTROS</b>			
Stand By - Tormenta eléctrica	Hora	91,00	152,00
Stand By - Por voladura	Hora	91,00	152,00
Stand By - Indicación por minera (Pozas de sedimentación)	Hora	91,00	152,00

Fuente: Valorización de un Proyecto Minero de Cajabamba 2019-2020.

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS  
TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE  
REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR  
DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO  
MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

En la tabla número 16 se puede observar los trabajos preliminares los cuales tenían un costo diferente al de la perforación, entre estos trabajos se destaca la movilización una vez terminada la perforación en un punto, la inducción del personal ingresante al proyecto, también el alquiler de las herramientas para medir la desviación de los sondajes, alquiler de equipos como grúa, cisterna para agua y una para combustible, finalmente los stand by o paradas de emergencia por tormenta eléctrica, por voladura o por indicación de minera.

## ANEXO 10

### Inversión de la empresa contratista para minimizar la desviación de los sondeos.

*Tabla 17: Inversión en el proyecto para controlar la desviación de los sondeos.*

INVERSIÓN EN LA REDUCCIÓN DE DESVIACIONES		
ITEM	UND	COSTO (US\$)
Herramienta de Medición de Pozos - Réflex Magnéticos	Mes	1.750,00
Herramienta de Medición de Pozos - No magnético	Mes	4.400,00
Técnico de Fluidos	Mes	1.439,00
Técnico de Medición de sondeos	Mes	1.350,00
TOTAL		8.939,00

Fuente: Informe Gerencial de un Proyecto Minero de Cajabamba 2020.

En la tabla número 18, podemos observar los gastos incurridos en el control de las desviaciones de los sondeos DDH y RC, entre estos costos podemos observar el realizado en el alquiler de dos herramientas de medición, una de ellas magnético y el otro no magnético, vale recalcar la diferencia entre estos equipos es la precisión existente, debido a que los equipos magnéticos pueden presentar fallos si en el terreno existen minerales magnéticos, mientras que al otro equipo no magnético esto no le afecta, también se realizó la contratación de una técnico de fluidos quien se encargó en verificar, capacitar y supervisar la forma correcta de mezclar los aditivos, el ratio de mezcla así como también encontrar el fluido ideal para el tipo de terreno presente, finalmente se requirió la presencia de un técnico de medición de sondeos, quien se encargó de capacitar al personal en el uso correcto de los equipos para así disminuir la desviación por error humano, también se encargó de la interpretación de los datos obtenidos durante las mediciones en el proyecto, todos estos gastos hicieron un total de 8939 US\$.

## ANEXO 11

➤ **Identificar los sondeos terminados y listos para medir la desviación.**

Una vez iniciada la campaña de perforación y como parte del contrato realizado por la empresa Redrilsa S.A. con el área de Geología de un Proyecto Minero de Cajabamba 2020, se realizaron las gestiones para adquirir el equipo Gyro Reflex, el cual nos ayudó a medir las desviaciones de los sondeos perforados. El objetivo y la idea de trabajo fue terminar un sondeo y medirlo inmediatamente antes de realizar la movilización y traslado de máquina hacia el siguiente punto de perforación, por lo cual, al momento de que el instrumento de medición llegó a proyecto, se procedió a detectar cuales fueron los sondeos que están culminando su perforación para medir su trayectoria y tener una idea de cómo se está llevando a cabo los trabajos. Una vez determinados los puntos a medir, se trasladó el equipo hacía plataforma de perforación.

➤ **Junto al técnico de Reflex, se armó el equipo de medición en plataforma de perforación.**

Para iniciar con el armado del instrumento de medición, se tuvo en cuenta las partes que lo componen, tenemos: Swivel, top sub, bottom sub, pressure barrel, antiroll sinker bar, bottom shock sub, réflex gyro, baterías.

➤ **Conectar y calibrar el equipo de medición.**

Una vez conectado el equipo Gyro Reflex, la configuración del equipo consta de calibrarlo usando un dispositivo remoto, en este caso una Tablet, en ella se colocaron los datos del sondeo, cómo nombre, localización, proyecto, etc. También se configuró la profundidad a la que se tomarían los datos, generalmente se realiza cada 5 metros, esto significa que cada esa distancia el equipo se detendrá por un tiempo

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

de 20 segundos y tomará datos de su localización, este, norte y azimut, este proceso se repite durante toda la medición tanto de entrada (in hole), como de salida (out hole). Luego se colocó el instrumento en posición estable, ya que se tuvo que realizar giros de 360° lentamente sin detención desde una posición inicial hasta llegar a la misma, durante tres veces, como parte de su configuración.

➤ **Colocar el instrumento de medición en el “over shot” para su descenso.**

Se elevó el cable “over shot” y se acopló el instrumento a este para que ingrese en el sondaje e inicie la medición. Al momento que se realizaron las maniobras, se evitó que el equipo sufra golpes ya que podía dañar y afectar el equipo dentro del Pressure Barril.

El equipo bajó por medio del tubo interior del sondaje, esto se realizó con el objetivo de que el equipo no pase a través de la broca o corona evitando su pérdida.

Luego de esto, se realizó la marca en el cable para tener referencia y controlar los metros de avance hasta completar la distancia requerida o también se puede usar cuenta metros, un accesorio del gyro réflex que va marcando la distancia en la que se encontraba el equipo en profundidad.

➤ **Medir la desviación tanto de entrada (In) como de salida (Out).**

Al bajar el winche wireline junto con el equipo el contador de metros inició en 0 m., pulsando la opción “Mark First Station” el cual inició un conteo regresivo de 10 segundos, en dónde se grabó la primera estación, luego descendió por 5 metros los cuales fueron configurados anteriormente, al llegar a esta distancia se detuvo el equipo, sin producir ningún movimiento para que de esta manera se obtengan los datos correctos, se repitió la misma acción hasta llegar a la profundidad deseada, una vez ahí se presionó la opción “Stop survey”.

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

Luego que se realizó la medición de entrada, se debió medir la salida, en este caso se realiza el mismo procedimiento, con la única diferencia es que el cable wireline subió y el contador de metros cambió a negativo, se tuvo que detener el equipo cada 5 metros como al inicio, hasta llegar a la superficie en dónde se dio por terminada la medición.

En esta tarea se recomendó realizar el avance del intervalo en forma constante tanto de entrada como de salida, evitando detenciones bruscas, esto con el objetivo de que los datos sean precisos y no varíen en ninguna estación o parada del instrumento.

➤ **Exportar los datos obtenidos hacia un usb.**

Una vez que finalizó la medición y con el equipo fuera de la máquina y del sondaje, se realizó la extracción de los datos obtenidos, para esto, se dejó el gyro en posición estable y usando el software se grabó los datos en una fuente o memoria externa, este paso demoró unos minutos ya que el equipo debe estabilizarse. Una vez extraído lo que necesitamos se procedió a desarmar el gyro y guardar.

➤ **Procesar la información e interpretar.**

La información obtenida se procesó usando el software Reflex, en el cual se cargaron los datos de la medición tanto de entrada como salida, aquí tuvimos acceso a una tabla con el metraje del sondaje, el dip, azimuth, este, norte y cota, los cuales nos ayudaron a comprender el camino o dirección que tomó nuestro sondaje.

En este software nosotros pudimos extraer un reporte en Excel con toda la información que requeríamos, gráficos y tablas, los cuales nos ayudaron a determinar si existió desviación y de cuanto fue, en este caso se nos presentó un intervalo de máximos y mínimos el cual nos ayudó a interpretar mejor los datos.

➤ **Calcular los costos negativos de los sondeos desviados**

En este apartado se procedió a calcular los costos negativos de los sondeos desviados, usando los datos de los costos de perforación (ANEXO 6), se calculó los metros desviados por el precio de cada uno, de acuerdo al tipo de línea y tipo de perforación.

➤ **Identificar las causas de la desviación de los sondeos.**

Una vez conociendo las desviaciones y su magnitud, el área de supervisión de operaciones a cargo del proyecto, se dedicó a identificar las causas que provocaron que los sondeos tomen trayectorias no deseadas.

Se evaluó cada uno de los elementos que intervinieron en los trabajos de perforación diamantina o aire reverso y su influencia en la desviación de los sondeos. Se revisó antecedentes de proyectos de perforación realizados en la zona por otras empresas para de esta manera llegar al problema y buscar la correcta solución.

➤ **Supervisar las plataformas de desviación**

Esta labor estuvo netamente vinculada a los supervisores de operaciones, quienes además de sus labores diarias, se encargaron de verificar el correcto control de los parámetros de perforación, así como también aportar con soluciones a los problemas que se presentaban, por ejemplo: atrapamiento de tuberías, torque elevado, problemas con la circulación del lodo en el pozo, etc. Estos inconvenientes mencionados anteriormente influyeron directamente en la desviación de los sondeos.

➤ **Verificar experiencia de los perforistas.**

Al inicio del proyecto se realizó una convocatoria de personal para las labores de perforistas diamanta/ aire reverso y ayudantes de perforista, así como también se incorporaron al proyecto personas que venían de otra mina y que tenían contrato aún

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Y AIRE REVERSO PARA DISMINUIR COSTOS POR DESVIACIÓN DE SONDAJES EN UN PROYECTO MINERO DE CAJABAMBA 2020”.

con la empresa contratista, todo este personal pasó por filtros en dónde se evaluaba su conocimiento en las labores de perforación DDH y RC, también se evaluó su desempeño en terrenos tan característicos como el de Shahuindo.

➤ **Verificar el estado de las máquinas de perforación.**

Si bien es cierto, al inicio de cada proyecto de perforación, juntamente con el área de geología, se realiza el requerimiento de las máquinas adecuadas para el tipo de terreno a perforar, máquinas que cuentan con las capacidades y fuerza, para penetrar la roca sin ningún problema y así llegar al objetivo, de acuerdo al tipo de perforación que se realizará, pero debido a los problemas presentados de desviación, se realizará una revisión de los sistemas hidráulicos, de rotación y eléctricos de las máquinas, para esto se contó con la ayuda de un profesional en tema, quien realizará una evaluación del estado de las máquinas perforadoras y de esta manera, prever algún inconveniente que se presente a futuro.

➤ **Conocer las características del terreno a perforar**

En este paso se pidió un informe al área de geología con estudios previos realizados en el terreno y así tener conocimiento de las características geológicas y mecánicas del terreno.

➤ **Verificar el uso correcto de las coronas de perforación y/o bits.**

Se realizó una inspección para verificar el uso correcto de las coronas y bits en los trabajos de perforación, se evaluó la serie de las brocas, el diámetro, vida útil y el récord de metros perforados por cada accesorio tanto en DDH y RC.

➤ **Contratar un técnico de fluidos de perforación.**

Se contó con un experto de fluidos de perforación para supervisar las labores de mezclado de fluido, así como también, capacitar a las personas encargada de esta labor.

➤ **Controlar los parámetros de perforación de acuerdo con las características del terreno**

Una vez conocidas las características del terreno, se supervisó las labores de perforación, teniendo en cuenta la fuerza, la presión, el torque que se aplicó y la cantidad de fluido que se inyectó en el pozo, esto se realizó en todas las plataformas de perforación, en las dos guardias. Así como también se tuvo en cuenta las capacidades de las máquinas, gracias a esto tendremos un trabajo adecuado y de calidad.

➤ **Verificar el desgaste de los accesorios de perforación después de cada corrida.**

Después de cada corrida perforada y una vez que la muestra ya es extraída se revisó los accesorios de perforación de manera rápida, para verificar si existió algún desgaste o quemado de los diamantes.

➤ **Reducir los costos de perforación.**

Teniendo en cuenta los parámetros de perforación correctos que se debieron aplicar, así como también el conocimiento ya adquirido sobre las características del terreno, se procedió a perforar los siguientes sondeos en donde se comprobó que no existía desviación lo cual evito que los costos sean negativos.