



# FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“IMPLEMENTACIÓN DE NUEVOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN CON CIRCULACIÓN REVERSA (RC) EN LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN TERRENOS FRACTURADOS.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera de Minas

**Autora:**

Bach. Camila Ruth Contreras Herrera

**Asesor:**

Ing. Víctor Eduardo, Álvarez León

Cajamarca - Perú

2020

## DEDICATORIA

La presente tesis la dedico a mis hijos Diego y Camila, por el inmenso amor que les tengo y ser mi más preciada inspiración en esta hermosa vida. A mi madre y a toda mi familia por darme el apoyo incondicional, a mi esposo Elvis que día a día me brinda su apoyo moral y sus experiencias en el trabajo del sector minero y lograr esta anhelada satisfacción profesional.

Camila Contreras

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios por darme la vida, amor, salud, y su luz que me ilumina y permite superar cualquier problema que se me presente en la vida, mi especial agradecimiento a todos los docentes de la UNP, por sus enseñanzas, conocimientos y afecto que me brindaron, para poder culminar con éxito esta nueva etapa profesional y compañeros de estudio, a las personas que trabajaban en perforación de circulación reversa que brindaron información Javier Enrique, Dávila Herrera, Elar Zea, Elvis Segura, que con sus consejos, apoyo y experiencia me ayudaron en el proceso de recopilar información real de todo el proceso.

Camila Contreras

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.1. Realidad problemática.....	10
1.2. Formulación del problema .....	14
1.3. Objetivos .....	15
1.3.1.    Objetivo general .....	15
1.3.2.    Objetivos específicos .....	15
1.4. Hipótesis.....	15
1.4.1.    Hipótesis general. ....	15
1.4.2.    Hipótesis específicas.....	15
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>16</b>
2.1. Tipo de investigación .....	16
2.2. Población y muestra .....	17
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17

2.3.1.	Para recolectar datos.....	17
2.3.2.	Para analizar datos.....	18
2.4.	Procedimiento.....	18
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>		<b>20</b>
3.1.	Logueo geológico de las características de la roca en terreno fracturado pozo exploratorio RC PEXN-18-07.....	20
3.2.	Parámetros de perforación utilizados en el pozo exploratorio RC PEXN-18-07....	23
3.2.1.	Parámetro. A.- Presión Hidrostática:.....	26
3.2.2.	Parámetro B.- Velocidad del barrido.....	28
3.2.3.	Parámetro C.- RPM. Velocidad de rotación.....	29
3.2.4.	Parámetro D.- WOP: Peso en la broca y parámetro E.-ROP: Razón velocidad de penetración.....	32
3.2.5.	Parámetro. F.- Torque (T).....	33
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>		<b>38</b>
4.1.	Discusión.....	38
4.2.	Conclusiones.....	40
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>42</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>45</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Logueo Detallado de Pozo con Problemas en Terrenos Fracturado.....	20
Tabla 2: Cuadro de Parámetros de Perforación con aire reverso (RC) .....	23
Tabla 3: Velocidad del Barrio establecido para el terreno de la zona minera .....	28
Tabla 4: Pesos y Velocidades de Rotación para Triconos en Formaciones Suaves y Medias .....	29
Tabla 5: Valores de Orientación del Peso Sobre el Tricono.....	33
Tabla 6: Comportamiento el Procedimiento Consta de los siguientes pasos .....	33
Tabla 7: Esfuerzo de Torsión .....	33
Tabla 8: Resumen de perforación del pozo exploratorio RC PEXN-18-07 .....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Reporte de problemas de perforación .....	14
<i>Figura 2:</i> Peso sobre la broca vs ROP vs WOB.....	31

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1:</b> Formula de parámetro.....	<b>25</b>
<b>Ecuación 2:</b> Cálculo de volumen del pozo .....	<b>26</b>
<b>Ecuación 3:</b> Cálculo del lavado de pozo.....	<b>27</b>
<b>Ecuación 4:</b> Cálculo de la Presión hidrostática .....	<b>27</b>
<b>Ecuación 5:</b> Velocidad del barrido .....	<b>28</b>



## RESUMEN

El objetivo de la investigación es implementar nuevos parámetros de perforación con circulación (RC) en la solución de problemas en terrenos fracturados. La perforación es una técnica útil y económica para la investigación geotécnica del subsuelo, se evalúa el seguimiento y análisis de los parámetros nuevos en la perforación de un pozo de dominio RC PEXN-18-07 realizado el 24/08/18 al 10/09/18, el pozo exploratorio se realizó con la finalidad de mejorar el conocimiento hidrogeológico, mineralización de la zona y minimizar el impacto de las aguas subterráneas en las operaciones de la empresa minera, los nuevos parámetros de perforación son una serie de medidas físicas que se apoyan en la investigación de (Pfister, 1985). Hace referencia a la dificultad con que se perfora un terreno fracturado y se evalúa propiedades físicas, mecánicas o hidrogeológicas del terreno. La investigación es no experimental descriptiva, según su finalidad es aplicada. La población son todos los pozos exploratorios perforados en terrenos fracturados en el 2018 por la empresa de perforación. La muestra son los parámetros de perforación con circulación (RC) que solucionan problemas de acondicionamiento en el pozo exploratorio de denominó PEXN-18-07. Para la perforación de este sondaje se utilizó una máquina de rotación inversa Maquina Schramm Modelo T 130 XD.

**Palabras clave:** Parámetros, perforaciones, terrenos fracturados.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática.

La perforación con circulación reversa (RC) fue desarrollada en forma continua en Australia en los años 1970 y es en la actualidad uno de los métodos preferidos para la exploración minera, la perforación de pozos exploratorios es necesario para la explotación de yacimientos y control de grado de minerales, es un método rápido y rentable de obtener muestras limpias de alta calidad en la exploración minera. (Valenzuela 2015).

En Chile se desarrolló perforaciones con circulación reversa (RC) a comienzos de la década de 1980 y en el contexto actual según el “Catastro de Empresas Exploradoras 2014” de Cochilco, Chile mantiene su posición como el quinto país más importante del mundo en materia de exploración, y en el proceso de perforación utiliza variables de perforación. (Sifuentes 2014).

Actualmente el Perú enfrenta uno de sus más grandes desafíos económicos del siglo XXI debido al descenso en la demanda de materias primas, el cierre de fronteras y el estado de emergencia que obliga la paralización total de casi todas las actividades productivas internas, especialmente los trabajos exploratorios de perforaciones de pozos exploratorios, los analistas en economía mostraron que la demanda de productos peruanos en China, La Unión Europea y Estados Unidos, que representan el 60% de las exportaciones no tradicionales del Perú, cayeron drásticamente este 2020 a causa de la pandemia del Covid-19 en el país. En este contexto, las campañas de perforación con aire reverso (RC) programadas para el 2020 están paralizadas (Blog cámara de minería 6 abril 2020).

La realidad problemática de perforar con aire reverso en terrenos de formaciones problemáticas y blandas, por lo que es común experimentar problemas de pérdida de circulación, tales como perforaciones fallidas, barras atascadas y casings atrapados en ciertos pozos, la corporación AMC BOS™ logró controlar con éxito zonas de fallas y formaciones cambiantes en un proyecto de exploración de oro en la IV región de Chile. La solución de problemas de perforación se disminuyó y aumento de la productividad, la reducción del consumo de agua y lodos se lograron mediante el control de la pérdida de circulación, previniendo así tener un torque alto de inestabilidad en el pozo. Como resultados, se duplicó el promedio de los metros perforados por día respecto a pozos similares, se redujo costo de fluidos de perforación hasta en un 26%, el torque permaneció constante y controlado, variando entre los 2000psi, AMC BOS™ entregó una alternativa a los métodos tradicionales de perdida circulación., se redujo el riesgo de perforaciones fallidas, barras atascadas y otros problemas de perforación a través de las complicadas zonas de fallas, se evitó el uso de cuñas manteniendo condiciones controladas. (AMC TM Drilling Optimisation).

Ante el escenario de contrataciones de expectativas económicas, sumados a la política general de las mineras de reducir sus gastos, las empresas mineras han debido enfrentar mayores exigencias. El país con mayores inversiones en exploración minera sigue siendo Canadá, aunque bajó su participación de 15,5% en 2012 a 13,3% en 2013. Le siguen en importancia Australia con 13,1% y Estados Unidos 7,2%. A nivel de regiones, Latinoamérica es la más importante, liderada por los países de México (6,1%), Chile (5,3%) y Perú (5,2%). En tanto, Canadá y Estados Unidos, perdió cuatro puntos a favor de las otras regiones del mundo.

Valenzuela A (2015) en su tesis de investigación “Equipo de sondaje de aire reverso para la investigación de minerales”. Define los parámetros importantes en el diseño de perforación según el tamaño del sondaje en las perforaciones con aire reverso los diámetros más comunes van desde 5 3/4" a 5 1/8. Indica que se debe tomar en cuenta la cantidad de aire comprimido disponible cuando se utiliza un martillo de fondo. Los diferentes tamaños de martillo requieren diferente volumen y presión de aire para operar apropiadamente. Generalmente cuando existen problemas de acondicionamiento se aumenta el tamaño del martillo, es necesario mayor volumen y menor presión para llegar al más alto rendimiento. Peso de la broca se recomienda dar cortos y rápidos golpes del pistón, la necesidad de mayor peso en la broca es eliminada. La velocidad de rotación debe ser monitoreada cuidadosamente, ya que de ella depende la vida útil del bit y torque de rotación para una broca de 5 pulgadas el torque requerido es de 22 (Kgm) por cada RPM de rotación, considerando que la velocidad de rotación es de 32 RPM el torque necesario es de 6900 Nm.

Aparicio A (2002) en su Proyecto o Tesina D'Especialitat “Análisis de la correlación entre parámetros de control en máquinas pilotadoras y las propiedades resistentes del terreno” en el capítulo 3 Análisis de la perforación los parámetros de la perforación aire reverso (RC). Establece parámetros relacionados con el proceso de perforación, como la presión sobre la corona, la velocidad de rotación, las propiedades del fluido de perforación y su velocidad de circulación. Estos son los principales elementos, en los que el operario puede intervenir dentro de las posibilidades del equipo. También establece otros parámetros relacionados con la respuesta del terreno como son la velocidad de penetración, par de rotación y presión de fluido. Explica que los parámetros dependen únicamente de las características del terreno. Los parámetros, puede llevarse

a cabo mediante mecanismos de tipo analógico o digitales. Los parámetros registrados son los siguientes: Presión de fluido (Pf) , Par de rotación (T) , Presión sobre la corona (F) , Velocidad de rotación (N) , Velocidad de penetración (V) , Fuerza de retención (Fr) Vibraciones en la sarta de perforación , Tiempo por cada 5 mm de penetración (t) Para un análisis más detallado puede combinarse los valores obtenidos, en ecuaciones más complejas que proporcionan parámetros que pueden ser puramente empíricos o con un significado físico, al perforar en terrenos fracturados.

Portilla H. R1, Mejía Y. R2, Suarez D. A3 (2014), en su artículo científico en la revista de Revista Fuentes: El Reventón Energético Vol. 12 N° 2 de 2014 - Jul/Dic - pp 45/54. Titulado “Optimización de parámetros de perforación con MSE e impacto en la construcción de un pozo en el campo Yariguí – Cantagallo “La investigación detalla la optimización de la perforación de pozos, buscando la disminución de tiempos y en consecuencia costos operacionales a partir de la evaluación y optimización de los parámetros de perforación en tiempo real garantizando un mejor desempeño durante la perforación. El objetivo de la investigación es la evaluación en tiempo real y se presenta como una respuesta y solución a los retos y las necesidades actuales de la industria donde cada día se requiere no solo la visualización en tiempo real de todo el proceso de la perforación sino aumentar la eficiencia en la misma. La metodología MSE en tiempo real permite evaluar en una sola vista la eficiencia y la estabilidad de la energía consumida como respuesta a la combinación de los parámetros de perforación identificando tiempos invisibles y oportunidades de mejora.

La problemática que llevó a desarrollar la presente investigación son los reportes de los problemas en las perforaciones que se presentaron en el 2017, el cual se fue registrando

secuencialmente como se muestra en la imagen N°1 según el reporte de los perforistas, jefe de operaciones, ingeniero residente del proyecto, se registró información de las capacitaciones al personal de perforaciones para establecerá nuevos parámetros adecuados para el tipo de terreno que se perfora en la compañía minera.

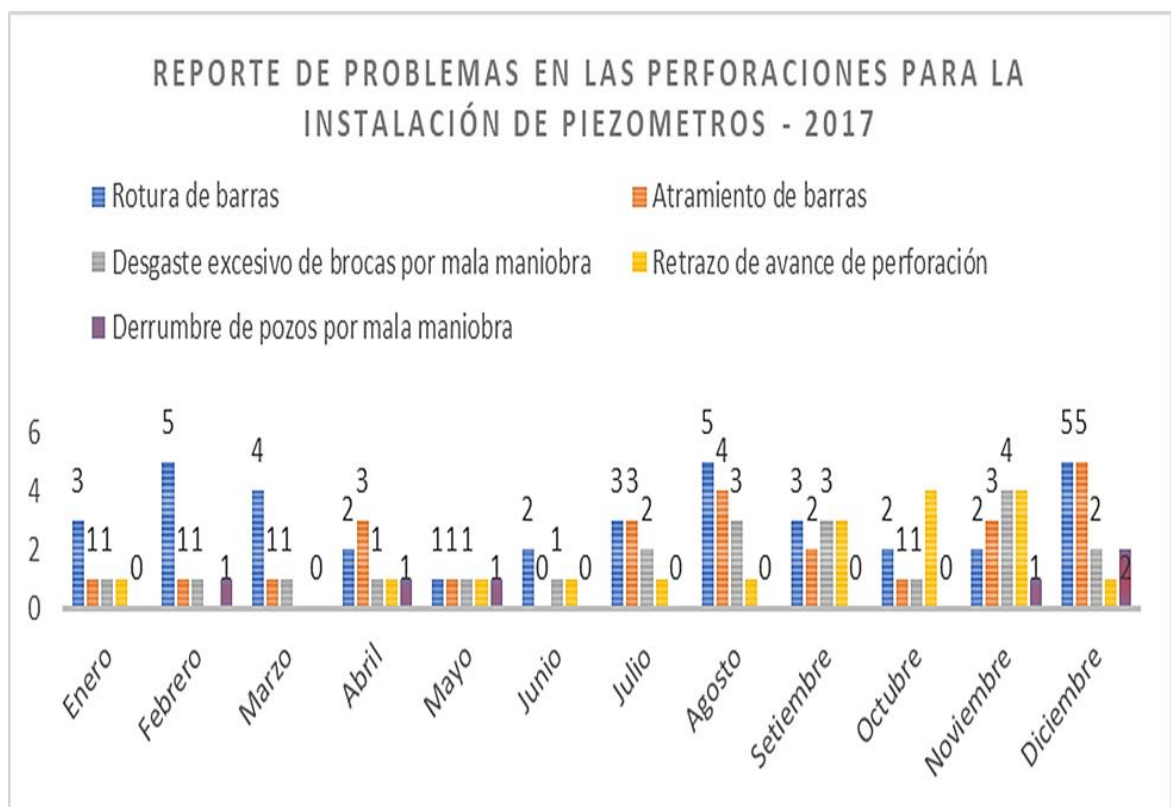


Figura 1: Reporte de problemas de perforación

Fuente: Elaboración propia.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son los nuevos parámetros de perforación con circulación reversa (RC) para dar solución a problemas en terrenos fracturados?

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo general

Implementar nuevos parámetros de perforación con circulación reversa (RC) en la solución de problemas en terrenos fracturados.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar a través del Logueo geológico las características de la roca en terreno fracturado del pozo exploratorio PEXB-18-07.
- Evaluar los nuevos parámetros de perforación (RC) en el acondicionamiento de pozos con problemas en terreno fracturado.

### 1.4. Hipótesis

#### 1.4.1. Hipótesis general.

Al implementar los parámetros de perforación como la presión hidrostática, velocidad de barrido, velocidad de rotación RPM, WOP peso de la broca, ROP razón de velocidad de penetración y Torque se perforará de forma exitosa y se disminuirá los costos con mejor avance en terrenos fracturados, blandos o arcillosos.

#### 1.4.2. Hipótesis específicas.

- Al describir el Logueo geológico se determinará las características de la roca en terreno fracturado.
- Con la Presión Hidrostática, velocidad de barrido, RPM velocidad de rotación, WOP peso de la broca, ROP razón de velocidad de penetración y el torque se solucionarán los problemas de perforación en terreno fracturados

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

La investigación según el nivel es no experimental descriptiva, según su finalidad es Aplicada.

Palella y Martins (2010) “El diseño no experimental es el que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. Explica que el investigador no sustituye intencionalmente las variables independientes. Se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos. Por lo tanto, en este diseño no se construye una situación específica si no que se observa las que existen”. (pag.87).

Chávez (2007) “En el diseño no experimental transversal o transeccional se obtiene información sobre determinada variable, para describir o analizar sus relaciones o incidencias de unas sobre otras en un momento o lapso” (pag.134).

Hernández y Col (2006) Describe este diseño como aquel que recolecta los datos en un momento en un tiempo único de la investigación y su propósito es describir la variable y analiza su incidencia e interrelación en un momento dado a través de una medición única (pág. 208).

El tipo de diseño de la investigación no experimental descriptivo tiene dos variables de medición: parámetros de perforación, terreno fracturados, que se detalla en el resumen



de perforación del pozo exploratorio RC PEXN-18 de cota de 3987.648 msnm, coordenadas UTM WGS84 Anexo (N°02.)

## 2.2. Población y muestra

- **Población:**

Todos los pozos exploratorios perforados en terrenos fracturados 2018 por la empresa de perforación RC.

- **Muestra**

El pozo exploratorio de denominó PEXN-18-07 perforado en terrenos fracturados 2018 por la empresa de perforación RC.

## 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

### 2.3.1. Para recolectar datos.

- Para obtener la información necesaria de los problemas de perforación en terrenos fracturados, se tomaron los reportes de acondicionamientos y torque de las perforaciones en el 2017 y las capacitaciones de los supervisores a los perforistas y ayudantes de la empresa de perforaciones. 10/08/2017 a 12/09/2018.
- Para obtener información sobre las implementaciones de los parámetros con circulación reversa (RC) se realizó la descripción de las capacitaciones de entrenamiento al personal supervisores, perforistas, ayudantes, ingeniero de seguridad, muestreros de la empresa de perforaciones desde 24/02/2018-02/07/2018.

### 2.3.2. Para analizar datos

Se analizaron las variables de perforación

La velocidad de rotación (RPM), fuerza de empuje, diámetro de perforación, velocidad y caudal del aire barrido, desgaste de la cabeza de rotación. Según el análisis de las variables de perforación con circulación (RC) dependen de un factor externo al sistema la dureza o resistencia de la roca. En el caso de la perforación rotativa, la evidencia indica la resistencia a la compresión de la roca y la velocidad de penetración. El análisis resulta conceptualmente coherente, atendiendo a la forma como se aplica la perforación con aire reverso (RC) en la energía a la roca, no existe una clasificación universalmente aceptada de las rocas en función de su resistencia a compresión, rocas blandas, medianas y duras. Otras más sofisticadas, incluyen hasta seis o siete categorías.

### 2.4. Procedimiento

- En gabinete se buscó información sobre perforación circulación reversa (RC), y procedió a la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los buscadores y repositorios virtuales de varias universidades.
- Se coordinó la solicitud de información a los supervisores de proyecto de perforación con circulación reversa, perforistas, muestreos, geólogos luego se recolectó información de perforación a cargo del proyecto
- Preparó el reporte de problemas de perforación para instalación de piezómetros 2017 en la zona minera.
- Se procesaron los datos de las variables de perforación con circulación reversa.

- Registrar y describir las charlas de entrenamiento de perforación en terrenos fracturados realizada por el ingeniero residente de la empresa minera.
- Establecer los nuevos parámetros de perforación con circulación reversa (RC) en terreno de la zona minera.
- Procesamiento y documentación del resumen de acondicionamiento de pozo exploratorio de denominó PEXN-18-07 en terrenos fracturados 2018 de la compañía minera.
- Recolección de evidencias y fotos del proyecto.
- Procesamiento y documentación de información utilizando MS Office.
- Redactar la investigación.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Logeo geológico de las características de la roca en terreno fracturado pozo exploratorio RC PEXN-18-07

**Tabla 1**

*Logeo Detallado de Pozo con Problemas en Terrenos Fracturado.*

PROFUNDIDAD (m)		LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
Desde (m)	Hasta (m)		
0.00	6.00	<b>GRAVA</b>	Grava arenosa marrón clara, con clastos subangulosos de andesita, monzonita, calizas alteradas, con matriz arenosa con contenidos de limos, OxFe (15%) y Arcillas marrones claras (10%).
6.00	10.00	<b>ARCILLA</b>	Arcilla marrón, plástica, con clastos subangulosos a subredondeados de monzonita, andesitas y calizas alteradas (matriz soportados), se aprecia OxFe amarillentos (5%).
10.00	18.00	<b>LIMO</b>	Limo café, con niveles arenosos centimétricos de arena media a gruesa, presencia de clastos subangulosos de roca alterada (matriz soportados), se aprecia OxFe (10%).
18.00	20.00	<b>ARCILLA</b>	Arcilla marrón, plástica, con clastos angulosos a subangulosos de monzonita, andesitas y calizas alteradas (matriz soportados), se aprecia OxFe amarillentos (5%).
20.00	24.00	<b>LIMO</b>	Limo café, con niveles arenosos centimétricos de arena media, presencia de clastos subangulosos de roca alterada (matriz soportados), se aprecia OxFe (10%).
24.00	30.00	<b>ARCILLA</b>	Arcilla marrón, plástica, con clastos angulosos a subangulosos de monzonita, andesitas y calizas alteradas (matriz soportados), se aprecia OxFe amarillentos (5%).
30.00	32.00	<b>GRAVA</b>	Grava arenosa marrón clara, con clastos subredondeado de andesita, monzonita, calizas alteradas, con matriz arenosa con contenidos de limos, OxFe (15%) y Arcillas marrones claras (10%).
32.00	38.00	<b>ARCILLA</b>	Arcilla café, plástica, con clastos angulosos a subangulosos de monzonita, andesitas y calizas alteradas (matriz soportados), se aprecia OxFe amarillentos (5%).
38.00	40.00	<b>GRAVA</b>	Grava arenosa marrón clara, con clastos subredondeado de andesita, monzonita, calizas alteradas, con matriz arenosa con contenidos de limos, OxFe (15%) y Arcillas marrones claras (5%).
40.00	48.00	<b>ARCILLA</b>	Arcilla café, plástica, con clastos angulosos a subangulosos de monzonita, andesitas y calizas alteradas (matriz soportados), se aprecia OxFe amarillentos (10%).
48.00	50.00	<b>GRAVA</b>	Grava arenosa marrón clara, con clastos subredondeado de andesita, monzonita, calizas alteradas, con matriz arenosa con contenidos de limos, OxFe (10%) y Arcillas marrones claras (40%).
50.00	54.00	<b>ARCILLA</b>	Arcilla marrón clara, semiplástica, con clastos angulosos de andesita, monzonita, calizas alteradas y vidrio volcánico translúcido (matriz soportados).

PROFUNDIDAD (m)		LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
Desde (m)	Hasta (m)		
54.00	58.00	<b>ARCILLA</b>	Arcilla café, con niveles arenosos centimétricos de arena media, presencia de clastos subangulosos de roca alterada (matriz soportados), se aprecia OxFe (5%).
58.00	68.00	<b>ARENA</b>	Arena limosa marrón clara, compuesta por vidrio volcánico translúcido (30%), con clastos angulosos de andesita, calizas alteradas
68.00	70.00	<b>ARCILLA</b>	Arcilla beige amarillentas, plástica, con clastos de litología volcánica y caliza, presencia de OxFe (20%).
70.00	82.00	<b>CALIZA</b>	Caliza gris oscura a beige amarillenta, con cantidades mínimas de arcillas marrones amarillentas (5%) y OxFe amarillentos (20%).
82.00	94.00	<b>CALIZA</b>	Caliza gris beige amarillento a gris verdosas, con presencia de arcillas marrones amarillentas (10%) y OxFe amarillentos (5%).
94.00	124.00	<b>CALIZA</b>	Caliza gris clara con tonalidades gris verdosas, con venillas de Calcita y OxFe amarillentos (15%).
124.00	132.00	<b>CALIZA</b>	Caliza gris oscura, con venillas de Calcita y OxFe amarillentos (5%).
132.00	138.00	<b>CALIZA</b>	Caliza gris clara, con presencia de arcillas plásticas grises verdosas (15%).
138.00	144.00	<b>ARCILLA</b>	Arcillas gris verdosas, plásticas, con fragmentos de caliza gris clara de tonalidades grises verdosas (Posible zona de falla)
144.00	148.00	<b>CALIZA</b>	Caliza gris oscura con tonalidades gris verdosas, con presencia de OxFe amarillentos (10%)
148.00	150.00	<b>CALIZA + YESO</b>	Caliza gris clara a gris oscura con intercalaciones de yeso gris blanquecino, anhidrita grisácea a incolora.
150.00	152.00	<b>YESO</b>	Yeso blanquecino de textura granular y aspecto masivo.
152.00	154.00	<b>ANHIDRITA + YESO</b>	Anhidrita grisácea a incolora, de textura granular con intercalaciones de yesos, con fragmentos de caliza gris oscura a gris clara.
154.00	162.00	<b>ANHIDRITA + YESO</b>	Anhidrita grisácea a incolora, de textura granular con intercalaciones de yesos.
162.00	168.00	<b>CALIZA</b>	Caliza gris oscura, con intercalaciones de yesos con anhidrita, óxidos amarillentos.
168.00	176.00	<b>CALIZA + YESO</b>	Caliza gris oscura con presencia de yesos blancos de textura granular y posiblemente fibrosos.
176.00	186.00	<b>CALIZA + YESO</b>	Calizas grises clara a beige amarillentos, con intercalación de yeso blanquecino de textura granular.
186.00	192.00	<b>CALIZA + YESO</b>	Caliza gris clara a gris oscura, con presencia yeso de textura granular y fragmentos de diorita puntual.
192.00	202.00	<b>CALIZA</b>	Caliza gris clara o oscura, OxFe amarillentos
202.00	210.00	<b>CALIZA + YESO</b>	Caliza gris oscura con tonos beige amarillentos, con abundantes yesos de textura granular y venillas de yeso fibroso.
210.00	212.00	<b>ANHIDRITA + YESO</b>	Anhidrita grisácea a incolora con yesos de textura granular, con fragmentos de caliza gris oscura.
212.00	216.00	<b>ARCILLA</b>	Arcillas grisáceas ligeramente verdosas, con presencia de contenido de areniscas posiblemente tobas, material calcáreo y Hornfels. RELLENO DE FALLA
216.00	218.00	<b>ARENISCA</b>	Areniscas posiblemente tobas marrones oscuras con presencia de fragmentos de material calcáreo y arcillas grisáceas. RELLENO DE FALLA
218.00	220.00	<b>ARCILLA</b>	Arcillas grises verdosas con fragmentos de diorita fuertemente fracturada y arenisca de posible composición tobáceas.
220.00	250.00	<b>DIORITA</b>	Diorita gris verdosa, textura granular moderadamente alterada, de grano medio, con presencia de abundante epidota y OxFe amarillentos (10%).
25	254.00	<b>DIORITA + ARCILLAS</b>	Diorita gris verdosa, de textura granular con presencia de Epidota, Magnetita, diseminación de Py y presencia de arcillas gris verdosas (15%).
254.00	264.00	<b>DIORITA</b>	Diorita gris oscura verdosa, con presencia de Epidota, Magnetita y diseminación de Py.

Fuente: Empresa de perforaciones

Durante la perforación del pozo exploratorio se atravesó las litologías que se resumen en la tabla N°01 y se describe las muestras de la columna geológica del terreno en el Anexo N°18. Descripción litológica del proyecto del pozo exploratorio y el Anexo N° 06. Caja Chip. Muestras sin lavar/lavada Desde de 00m2 a 40m2 del taladro PEXN-18-17 son muestras trituradas para reconocer la zona de fractura, el tipo de roca, el color la alteración de los minerales. Durante la recuperación de muestra se evidencio material suelto de fracturas, o de relleno (calcita) en esta zona la parte superficial, es zona de formación Yauri en su mayoría arcilla con relicto de roca volcánica como son la andesita, riolitas esporádicas y conglomerado y en algunas zonas se encuentra diorita, caliza y al final la monzonita , luego a los 70 m hasta los 220 m formación ferro bamba se va encontrar caliza, con venillas de tramo de yeso ,tramos de arcilla posibles fallas delos 220 m hasta los 264 m encontramos roca intrusiva de litología diorita. El logueo nos muestra la descripción de la roca, del terreno fracturado, tamaño de los fragmentos, nos indica el tipo de terreno; En caliza la roca es solidad la muestra que se recupera durante la perforación está bien molida como la azúcar esto nos indica que la roca no tiene fractura. En Limo, arena, gravas la roca se perforó rápido las muestras fueron del tamaño de 2.5cm que indicó que el terreno esta fracturado, los fragmentos o detritos salieron más grande porque se trituraron más rápido, la maquina Schramm no tuvo tiempo de triturar las muestras, evidenciándose que el terreno esta fracturado desestabilizando el pozo generándose derrumbe y atrapamiento.

La prueba de caudal en el pozo exploratorio PEXN-18-17, se realizó a los 72 metros de profundidad en la que evidencio el nivel friático y se continuó tomando caudal cada 6 metros, y las prueba de Air Lift a los 259 m y a los 200 m.

### 3.2. Parámetros de perforación utilizados en el pozo exploratorio RC PEXN-18-07

**Tabla 2.**

*Cuadro de Parámetros de Perforación con aire reverso (RC).*

Profundidad (metros)		Perforación hh:mm hh:mm RPM		Tiempo de penetración ROP min	Torque (psi)	Presión de descarga durante la perforación (psi)	EQUIPO: Aditivos, Broca, RPM, torque, fallas de equipo, cambios de equipo, broca, etc. ROCA Y/O CONDICIONES Litología, movimiento de la máquina, cambios de circulación de fluidos
0	6	-	-	20	-	-	Limos
6	12	-	-	25	-	-	Limos
12	18	-	-	20	-	-	Arcillas con grava
18	24	-	-	20	-	-	Arcillas con grava
24	30	-	-	20	-	-	Arcillas
30	36	11:00	11:30	30	-	-	Arcillas
36	42	12:30	1:00	30	-	-	Arcillas
42	48	-	-	-	600	-	Arcillas
48	54	-	-	-	600	-	Arcillas
54	60	-	-	-	600	-	Arena con Limos
60	66	-	-	-	800	180	Limos, arenas y gravas.
66	72	-	-	-	800	180	Arcillas y Caliza
72	78	-	-	-	800	180	Caliza
78	84	10:25	10:55	30	1000	220	Caliza
84	90	11:05	11:40	35	1000	220	Caliza
90	96	1:00	1:30	30	1000	230	Caliza
96	102	1:40	2:25	45	1000	240	Caliza
102	108	3:35	4:25	50	1000	260	Caliza
108	114	4:35	5:05	30	1000	280	Caliza
114	120	5:10	5:40	30	1100	300	Caliza
120	126	5:45	6:05	20	1100	300	Caliza
126	132	6:10	6:30	20	1100	300	Caliza
132	138	9:10	9:30	20	800	220	Caliza y Arcillas
138	144	9:30	9:55	25	800	220	Arcillas (Zona de Falla)

144	150	10:30	11:20	50	800	220	Caliza
150	156	11:25	12:10	45	800	220	Anhidrita con Yesos
156	162	1:45	2:15	30	1000	180	Caliza con Yesos
162	168	2:20	3:25	65	1000	180	Caliza con Yesos
168	174	3:30	4:40	70	800	180	Caliza con Yesos
174	180	4:45	-	-	800	180	Caliza con Yesos
180	186	2:00	3:10	70	-	-	Caliza con Yesos
186	192	3:20	4:30	70	-	-	Caliza con Yesos
192	198	-	-	-	-	-	Caliza con pocos Yesos
198	204	-	-	-	-	-	Caliza con Yesos
204	210	-	-	-	-	-	Caliza con abundante Yeso
210	216	-	-	-	1500	-	Arcillas y Arenas Calcáreas (Relleno de Falla)
216	222	-	-	-	1500	-	Arcillas y Arenas (Zona de Contacto).
222	228	-	-	-	1500	-	Diorita
228	234	-	-	-	1500	-	Diorita
234	240	-	-	-	1500	-	Diorita
240	246	-	-	-	1500	-	Diorita
246	252	-	-	-	1500	-	Diorita
252	258	-	-	-	1500	-	Diorita
258	264	-	-	-	2000	-	Diorita

*Fuente: Empresa de perforaciones*

La energía específica utilizada durante la perforación del pozo exploratorio RC PEXN-18-07 se pierde a los 48m de perforación de trabajo procede a maniobrar el parámetro ROP, la razón de velocidad de penetración, se eleva el parámetro torque a los 48m a 600 psi y a presencia de terreno fracturado (limo arenas y gravas) con arcilla y caliza a los 72 m continua elevando el torque a 800 psi y el perforista registra y procede a controlar y se inicia el acondicionamiento del pozo con el parámetro presión



hidrostática, 375 psi, el RPM, WOB y ROP trabajan en forma correlativamente. Los parámetros son eficientes reducen costos y tiempo, que se consideran como indicativo de la eficiencia en un trabajo de explotación. Los parámetros según el aporte teórico de los investigadores se registran y se compararon con lo planeados en la investigación se buscan los efectos de la energía mecánica específica y crear una perforación exitosa en terrenos fracturados de rocas blandas según la investigación:

- Presión Hidrostática
- Velocidad del barrido
- $N = \text{RPM}$  velocidad de rotación (rps)
- $F = \text{WOP}$  peso en la broca (kN) (presión sobre la corona – fuerza de retención + peso de la sarta de perforación y de la corona) (kN)
- $V = \text{ROP}$  razón de velocidad de penetración (m/s)
- $T = \text{TORQUE}$  esfuerzo de penetración (kN.m)
- $D = \text{diámetro de perforación (m)}$  (Pfister, 1985).

### **Ecuación 1**

*Formula del parámetro*

$$t = N \times F \times \frac{D^2}{V \times T}$$

Los parámetros  $t$  hace referencia a la dificultad con que se perfora un terreno, es decir, la dificultad con que las partículas del material son erosionadas y transportadas fuera de la corona de perforación, de modo que un terreno arcilloso será difícil de perforar ya que la arcilla puede adherirse a la corona atascándola y reduciendo con ellos

su efectividad. Sin embargo, en un terreno arenoso, la arena puede ser fácilmente de perforar.

### 3.2.1. Parámetro. A.- Presión Hidrostática:

El sistema convencional es el sistema más seguro para acondicionar el pozo con problemas de terrenos fracturados es la última opción, consiste en la inyección de fluido (PH control, bentonita o Quil Gel ) teniendo en cuenta la propiedad de los fluidos y utilizando la medida establecida de acuerdo a la formula se prepararon en el nixer hidráulico, el fluido ingresa por la manguera hasta llegar al tricono retorna al exterior por el espacio anular y las tuberías para estabilizar las paredes del pozo.

#### Ecuación 2

*Cálculo de volumen del pozo.*

*Unidad de densidad:  $p = m/v \text{ kg/m}^3$*

$$\text{Formula } Vp = \frac{D^2}{4} \cdot \pi h \text{ (m3)}$$

$$\varnothing \text{ Broca} = 5 \frac{3}{4} \text{ ''}$$

Altura= 264 m

$$Vp = \frac{5,75^2}{1974} \times 264$$

$$Vp = 4,42m^3$$

### Ecuación 3

*Calculo del lavado de pozo*

$$\emptyset \text{ Broca} = 9\frac{7}{8} \text{ "}$$

$$D_{cpH} = 72 \text{ m}$$

*Problema*

$$\text{Vol. pozo sin tubería} = \frac{9.875^2}{1974} \times 72$$

$$\begin{aligned} \text{Vol pozo} &= 3,55\text{m}^3 \\ \text{lavado } 20\% &= 0.71 + 3.55 \\ &= 4.26 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

### Ecuación 4

*Calculo del parámetro Presión hidrostática*

Fórmula:

$$PSI = 0.052 \times \text{peso del lodo} \times \text{profundidad vertical verdadera (pies)}$$

$$= 0.54 \times 8.345 \frac{\text{lbm}}{\text{gl}} \times 264(0.3048) \text{pies}$$

$$= 375 \text{ pies}$$

### 3.2.2. Parámetro B.- Velocidad del barrido.

En el pozo exploratorio no se recupera muestra a los 48m a 72 m el material perforado (detritus) no es evacuado del fondo de pozo, mediante el aire Al incrementar la velocidad hace que el detritus desgaste prematuramente los aceros de perforación y el usar una velocidad menor provoca remolienda en el tricono por que el aire no es capaz de evacuar el 100% del detritus, quedando partículas remanentes y produciendo desgaste y en algunos casos atrapamiento de las barras. En el pozo exploratorio de dominio PEXN 18-07 se considerando el caudal real de aire en el pozo de 4 a 7 pies/ mn

**Tabla 3**

*Velocidad del Barrio establecido para el terreno de la zona minera*

Tipo de cutting para el terreno Antapaccay	Velocidad del barrido	
	m/s	Pies/min
Fino y minerales ligeros	25	5.000
Grueso y minerales pesados	35	7.000
Grueso y minerales pesados con alto contenido de agua	50	10.00

Nota: Corte de terreno

*Fuente: Empresa de perforaciones*

### **Ecuación 5**

*Velocidad del Barrido.*

Teniendo los siguientes datos:

Profundidad del pozo: 264 metros

Caudal compresor: 600 CFM

Diámetro del pozo:  $5 \frac{3\pi}{4}$

Diámetro de barra:  $4 \frac{1\pi}{2}$

$$\frac{CFM \times 183,35}{D^2 - d^2} = V$$

Reemplazamos:

$$\frac{600 \times 183,35}{5,75^2 - 4,5^2} = V$$

$$V = 8586 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$$

### 3.2.3. Parámetro C.- RPM. Velocidad de rotación.

En el pozo exploratorio RC PEXN-18-07. Es necesarias mover los botones (insertos) del tricono a la próxima posición de corte. Mientras más rápido se muevan a la siguiente posición, más rápido se avanzará con la perforación.

**Tabla 4**

*Pesos y Velocidades de Rotación para Triconos en Formaciones Suaves y Medias.*

Peso y velocidad recomendados para brocas de plaquitas típicas en formaciones medio blandas					
Formación	BIT Diámetro (pulgadas)	Alta velocidad / bajo peso		Baja velocidad / alto peso	
		Velocidad de rotación (rpm)	Peso en Bit (1000 ib)	Velocidad de rotación (rpm)	Peso en Bit (1000 ib)
Shale (Esquistos)	61/4 - 61/2	70	15-16	55	20-21
	77/8	70	23	55	32
Rocas caracterizadas por la preponderancia de minerales laminares que favorecen su	83/8 - 83/4	70	27-28	55	34-36
	91/2 - 97/8	70	30-32	55	39-40
	11	70	33	55	44
	121/4	70	34	55	44

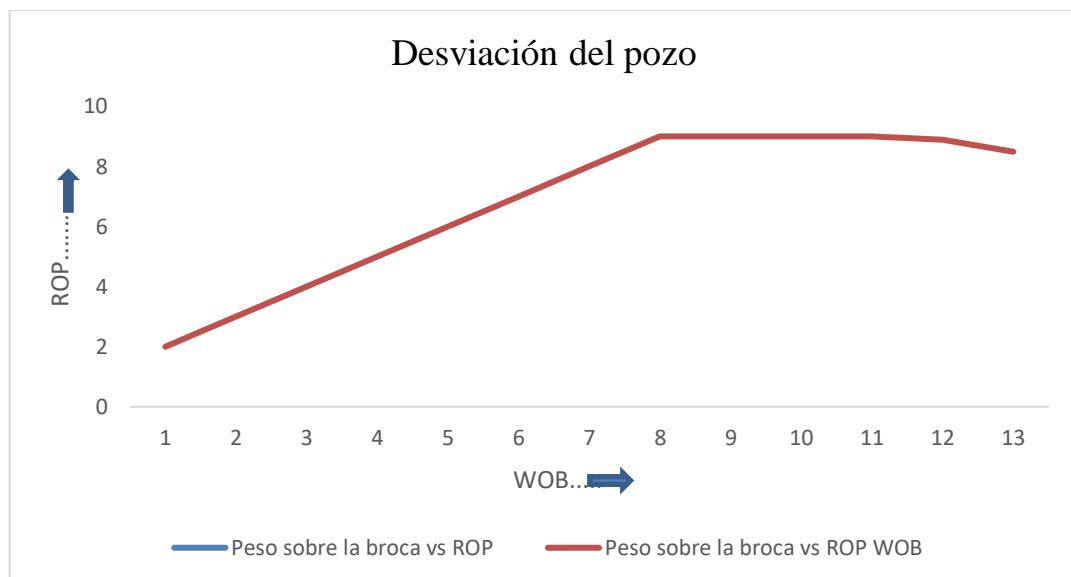
fragmentación en capas delgadas.

	21/4 - 61/2	65	20-21	45	27-28
	77/8	65	31	45	39
Limestone Dolomite (Calizas, Dolomita)	83/8 - 83/4	65	34-35	45	42-44
	91/2 - 97/8	65	38-40	45	48-49
	11	65	43	45	50
	121/4	65	47	45	53
	21/4 - 61/2	55	20-21	40	25-26
	77/8	55	31	40	35
Lutitas, calizas y arenas no consolidadas	83/8 - 83/4	55	34-35	40	39-40
Esquistos sin consolidar, Calizas y Arena)	91/2 - 97/8	55	38-40	40	44-45
	11	55	43	40	50
	121/4	55	47	40	54

Nota: Recomendaciones para rocas medios blandas en zonas fracturadas

Fuente: Empresa de perforaciones

El gráfico de dispersión es para comparar la formación de la roca y el diámetro del bit para que el perforista determine la velocidad alta o baja según el peso del bit.



WOP: Peso en la broca

ROP: Razón velocidad de penetración

*Figura 2: Peso sobre la broca vs ROP vs WOB*

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4. **Parámetro D.- WOP: Peso en la broca y parámetro E.-ROP: Razón velocidad de penetración.**

El gráfico permite mostrar que fue necesario controlar el parámetro WOB y ROP porque a mayor peso = mayor la probabilidad desviar pozo, el peso de hasta 10.000 lb/pulg de diámetro del bit, deben usarse para superar la resistencia compresiva de la roca, el peso sobre el tricono es el parámetro importante para perforar un pozo, con terrenos fracturados o que alternan capas suaves con duras desviaron el pozo exploratorio de dominio PEXN-18-07. Los perforistas que usan los nuevos parámetros conocen que el peso aplicado sobre la broca debe ser suficiente para sobrepasar la resistencia a la compresión de la roca, y la velocidad de penetración se incrementa proporcionalmente con el peso de la broca hasta alcanzar un pico máximo, en ese momento la velocidad de penetración decae por efecto del enterramiento de la estructura de corte (inserto). El peso correcto sobre el bit o el tricono es tan importante como una correcta velocidad de rotación (RPM). A medida que aumenta la profundidad del pozo exploratorio de dominio PEN-18-07 se agregaron nuevas barras de perforación, al reducir la presión de empuje para compensar el peso de las barras ya introducidas en el pozo y soplarlo por algunos segundos con el objeto de evitar contaminación de la muestra siguiente y atrapamiento de herramienta. el parámetro ROP razón de la velocidad de penetración en el pozo se incrementar de acuerdo al parámetro WOP peso de la broca, especialmente en terrenos fracturado debido a que es incierto puede pasar a la siguiente posición de corte más rápido, para mayor penetración en las formaciones de la roca son determinadas por la implementación de los nuevos parámetros en terrenos fracturados y se establece pruebas de perforabilidad llamadas drill ability test,



que buscan definir los valores combinados de RPM y WOB que maximicen el ROP, se trabajan inversamente proporcional.

**Tabla 5**

*Valores de Orientación del Peso Sobre el Tricono.*

Formación rocosa	Peso sobre el tricono	
	Libras (lb) (*)	Kilogramos (Kg) (**)
Blanda	1000- 4000	500- 1800
Mediana	2000- 5000	900- 2300
Dura	3000- 6000	1400- 2700
Muy dura	5000- 8000	2300- 3600

**Nota:** (\*) Valores por cada pulgada de diámetro del tricono.

(\*\*) Valores por cada 25 mm. De diámetro del tricono.

*Fuente: Empresa de perforaciones.*

**Tabla 6**

*Comportamiento el Procedimiento Consta de los siguientes pasos*

WOB (libras x 1000)	Tiempo (Seg)	Largo (pies)	ROP (Calculadas)
50	59	0,50	30,5
45	62	0,50	29,0
40	68	0,60	31,8
35	74	0,48	23,4
30	78	0,45	20,8
50	60	0,50	30,0

*Fuente: Empresa de perforaciones.*

### 3.2.5. Parámetro. F.- Torque (T)

**Tabla 7**

*Esfuerzo de Torsión*

Torque	500 rpm a 600 rpm	Esfuerzo normal de torsión
	1000 rpm a 1500 rpm	Esfuerzo de torsión

*Fuente: Empresa de perforaciones.*

El parámetro  $\tau$  hace referencia a la dificultad con que se perforó en el pozo exploratorio de dominio PEXN-18-07 en terreno fracturado, se inició con 600psi a 48 m y a los 78m la maquina Schramm Modelo T 130 XD elevó el esfuerzo de torsión de 800 psi y luego hasta 2000 psi a los 264 m, luego la dificultad con que las partículas del material es erosionada y transportadas fuera de la corona de perforación, en un terreno fracturado y arcilloso se adhirieron a la corona atascándola y reduciendo la efectividad de la perforación elevando el esfuerzo de torsión, los nuevos parámetros se implementan al perforar en terrenos fracturados y arcillosos.

**Tabla 8**

*Resumen de perforación del pozo exploratorio RC PEXN-18-07*

FECHA	TURNO	Ø PERFORACIÓN (Pulg)	PROFUNDIDAD DE PERFORACIÓN		OBSERVACIONES
			DESDE	HASTA	
24/08/2018	Noc he	-	-	-	Movilización de equipos a plataforma, armado de accesorios y mantenimiento programado de la Máquina. Desarmado de máquina para traslado desde el Taller de la empresa de perforaciones a la Plataforma PEXN 18 07 e instalación de Máquina y Equipos de perforación, estandarización, instalación de Geomenbrana y Perforación con Tricono 5 ¾” Ø.
25/08/2018	Día	5 ¾”	0.00	30.00	Excavación de zanja para detritos, bajado de barras con tricono 5 ¾” Ø, acondicionamiento de sondaje, perforación con tricono 5 ¾” Ø, sacado de barras con tricono, bajado de barras con tricono 5 ¾” Ø y perforando con tricono 5 ¾” Ø.
	Noc he	5 ¾”	30.00	42.00	
/08/2018	Día26	5 ¾”	42.00	78.00	Se inicia acondicionando el sondaje por problemas de derrumbe, perforación con tricono 5 ¾” Ø y sacado de barras para iniciar ensanchamiento con tricono 9 7/8” Ø. Se inicia ensanchado con tricono 9 7/8” Ø de 0.00m hasta los 18.00m, sistema convencional, sacado de tubería por tricono tapado y se continúa ensanchado con tricono 9 7/8” Ø desde los 18.00 hasta los 48.00m
	Noc he	-	-	-	
27/08/2018	Día	-	-	-	Se inicia con acondicionamiento del sondaje con tricono 9 7/8” Ø desde los 48.00 hasta los 72.00m, se saca barras para la instalación de Casing de 7” Ø desde los 0.00m hasta los 72.00m. Inyección de material Cutting y Yeso, instalación de Pipa y Manguera de desfogue, bajando barras con tricono 5 ¾” Ø, perforación con tricono 5 ¾” Ø y prueba de caudales.
	Noc he	5 ¾”	78.00	132.00	
28/08/2018	Día	5 ¾”	132.00	180.00	Se inicia perforación con tricono 5 ¾” Ø, instalación de geomembrana en la tercera poza, medición del nivel freático y se continúa perforando con tricono 5 ¾” Ø. Se inicia con sacado de barras y tricono 5 ¾” Ø, mantenimiento correctivo de la máquina de perforación, bajado de barras, acondicionamiento de sondaje y perforación con tricono 5 ¾” Ø.
	Noc he	5 ¾”	180.00	196.00	
29/08/2018	Día	5 ¾”	196.00	228.00	Se continúa perforación con tricono 5 ¾” Ø y mantenimiento de fuga de aceite de cabezal de rotación de la máquina.
	Noc he	-	-	-	

30/08/ 2018	Día	5 ¾”	228. 00	246.00	Solucionando fuga de aceite hidráulico, se prosigue a acondicionar el pozo y se continúa la perforación con tricono 5 ¾”.
	Noc he	5 ¾”	246. 00	264.00	Se continúa perforación con tricono 5 ¾”, prueba de caudales y se prosigue a sacar tubería atrapada.
31/08/ 2018	Día	-	-	-	Se acondiciona pozo por posibles derrumbes, reparación de fuga de aceite hidráulico del cabezal y se continúa con el acondicionamiento hasta los 264.00, realizando la primera prueba de Airlift a los 259.00m y la segunda prueba de Airlift a los 200.00m.
	Noc he	-	-	-	Se inicia con acondicionamiento del sondaje, se saca barras por problemas de atrapamiento y torque elevado, habilitación de accesorios HWT para iniciar acondicionamiento para continuar con la instalación del piezómetro.
1/09/2 018	Día				Se acondiciona pozo por derrumbe de 138m hasta los 182m, se hecha grava de 6 a 10mm hasta los 175.60m, se baja pvc de 0.00m hasta los 175.60m, se inicia engravillado hasta los 170m.
	Noc he				Se continúa con el engravillado hasta los 130m, se retira HWT hasta los 114m, pvc desciende 1.5m.
2/09/2 018	Día				Se inicia guardia inyectando cemento con yeso, se deja fraguar para empaqueta el pvc, se logra recuperar 16 tuberías de 5.8m y 1 tubería de 4m.
	Noc he				Se intenta encapsular el pvc pero no baja más de 30cm, se procede a retirar toda la tubería HWT por encontrarse tapada, se prepara fluido y se vuelve a bajar tubería libre hasta los 120m, se acondicionando pozo hasta los 182m.
3/09/2 018	Día				Se continúa con el rescate del pv, logrando recuperarse 15m de pvc, retirándose toda la tubería Hwt.
	Noc he				Se baja tubería HWT libre hasta los 120m, se acondiciona con fluido hasta los 198m. Se baja pozometro y este llega hasta los 217m, se inyecta grava de 6 a 10mm quedando el techo en 200.30m. Se procede a bajar tubería pvc de 1 1/2" hasta los 199.00m.
4/09/2 018	Día				Se inyecta grava de 2 a 4mm, por un tema de derrumbe se engravilla lentamente. Retirándose HWT a la par.
	Noc he				Se continúa inyectando grava de 2 a 4mm. Retirándose HWT a la par.
5/09/2 018	Día				Se continúa inyectando grava de 2 a 4mm. Retirándose HWT a la par.
	Noc he				Se continúa engravillando, el pvc desciende 15cm por ende se procede a bajar pozometro llegando hasta los 115m, para verificar si se encuentra dañado se procede a levantar el pvc y se constata que el pozometro desciente. Por la poca resistencia que presenta el pvc ranurado, tiende a recostarse con facilidad lo cual provocó la descendencia.

---

6/09/2018	Día Noc he Día	Se continúa inyectando grava de 2 a 4mm. Se baja pozometro por medio del pvc. Se continúa inyectando grava de 2 a 4mm. Se baja pozometro por medio del pvc. Se continúa inyectando grava de 2 a 4mm.
7/09/2018	Noc he	Se continua con el engravillado hasta los 78.50m, se sacan barras faber, se procede a inyectar bentonita 3/8" hasta los 77m.
8/09/2018	Día Noc he	Se continúa con el inyectado de bentonita hasta los 60m, se hace una cama de grava y se procede a bajar la 2da línea de pvc hasta los 60.14m. Se continúa con el engravillado hasta los 42m, se retira casing y se continúa con el engravillado hasta los 33m. Se continua engravillando hasta los 10m, se inyecta bentonita hasta lo 5m y se termina inyectando cutting.
9/09/2018	Día Noc he	Se procede a realizar el lavado de pozo, se baja manguera de 1/2" hasta los 150m sin retorno, se sube la manguera hasta los 50m sin retorno. Se baja manguera hasta los 150m, se lava sin retorno; se sube hasta los 100m, se lava y sin retorno. Se procede a lavar la línea B a los 40m y se tiene retorno.
10/09/2018	Día	Desinstalación de máquina, se coloca la tapa y loza.

---

*Fuente: Empresa de perforaciones.*

Es el resumen de toda la perforación del pozo de exploración de dominio PEXN-18-07 explica el trabajo realizada del turno de día y de noche desde el 24/08/2018 a 10/09/2020 detalla el resumen de toda la perforación con tricono, 5 3/4" Ø. y 9 7/8" Ø, acondicionamiento y derrumbe en la que se detalla y explica el trabajo de los problemas de perforación, luego que se perforo hasta los 264 m se construyó 2 piezómetro casa grande(piezómetro casa grande línea A y piezómetro casa grande línea B)

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

### 4.1. Discusión

En relación al primer objetivo específico de determinar las características de la roca mediante el control del logue geológico indica presencia de terreno fracturado con la presencia de limo arena y gravas luego arcilla y fallas desestabilizando el pozo a los 72 m como se evidencia en los resultados, con profundidad de 264 m. Se reportó terreno fracturado caracterizado por presencia de acuífero poroso Fisurado / Karstico por el tipo de terreno y libre confinado/colgado por el grado de presión de la roca, de tipo inconsolidado Aluvial, (Material suelto de diferente granulometría).

El objetivo de la investigación se evidencia al evaluar la implementación de los problemas de derrumbe y acondicionamiento del pozo exploratorio. Al estabilizar el pozo con sistema convencional con el nuevo parámetro de presión hidrostática, luego se sacó la tubería por tricono tapado luego se continuó perforando con el ensanchado del pozo con tricono 9 7/8" Ø desde los 00 m hasta 70 m, al encontrar el consolidado roca de macizo rocoso (MR) (caliza, arenisca, lutita, yeso, conglomerado, monzonita, volcánico, brecha, diorita, Hornfels, mármol, cuarcita, skarn), la dureza de la roca que se encontró (muy duro, duro, moderadamente duro, suelto, suave).

Peso sobre la broca (WOB) y RPM velocidad de rotación se mantuvo estable dentro del rango propuesto de acuerdo a los parámetros utilizados en pozos anteriores y se concluyó utilizar el parámetro del WOB peso de la broca de acuerdo a la tabla N 5. Sobre el Tricono.

La investigación se apoya en lo descrito por Teale (1965), donde establece las variables de operación: velocidad de rotación, fuerza de empuje diámetro de perforación

velocidad e caudal o barrio desgaste de la cabeza de rotación en su libro de investigación detalla las recomendaciones de del análisis de perforación en la perforación de un sondeo de 70 m en un terreno constituido por una alternancia de limolitas y areniscas (sondeo BH-1). Tiene relación con los parámetros que se aplican en terrenos fracturados con circulación reversa (RC).

Está relacionado con utilizar algunos parámetros de la investigación de Portilla H. R1, Mejía Y. R2, Suarez D. A3 (2014), que concluye en la recopilación de buenos resultados en pozo Yarigui 548 indica sobre la energía mecánica específica en relación con tiempos ROP manteniéndose constante los parámetros de perforación según indican los autores, indicando que el pozo se perforo cómo el más rápido de la historia de alcanzar profundidad de 8020 pies en 6 días de los 10,75 totales asegurando las mejores prácticas operativas, optimizando parámetros con la energía específica de MSE (energía mecánica específica) es una fórmula de energía mecánica para optimizar los parámetros de perforación en la que concluye identificando parámetros críticos que al manejar parámetros controlados durante la perforación de toda la zona ,se obtiene una ROP muy similar a la obtenida con la práctica de perforaciones en pozos anteriores de reducir parámetros solo al inicio e ir incrementándolos hasta restablecer los normales, los parámetros controlados por MSE representan mayor eficiencia: menos energía gastada y mayor integridad de las herramientas de fondo, en la investigación también permite mantener la presión en la tubería más baja y lejana del límite de seguridad de las bombas, y en la prueba de perforabilidad donde se evaluaron los parámetro redujeron el caudal de 650 a 620 GPM por lo que se evidencia una reducción importante en el MSE del pozo 549 sin un cambio notorio en la ROP, los parámetros que se utilizaron en la litología de Chert 30%, arena conglomeratica 40%, arena 20%. No presenta relación

con el macizo rocoso del terreno fracturado del pozo exploratorio de dominio PEXN-18-07 presencia de limo arena y gravas luego arcilla y fallas desestabilizaron al pozo en la investigación

#### 4.2. Conclusiones.

Se realizó el análisis de la columna litográfica de la zona fracturada durante la perforación se cortó 70 m de depósitos (in consolidado) arcillas con gravas, de los 70.00 m a 212.00 m se corta caliza con venillas y tramos de yeso, de los 212.00 m a 220.00 m tenemos un tramo de arcillas (posible zona de falla), y de 220.00 m a 264.00 m se cortó roca intrusiva de litología diorita gris oscura verdosa con algunos tramos de arcillas grises. En la que se determinó el logueo geológico con la entrega de muestra de 14 cajas chip al cliente secos y lavados de la maquina SCHARMM 134 del metraje 0.00m hasta 264.00 m. durante el logueo geológico se realizaron las pruebas de caudales durante la perforación se realizaron cada barra (6m), se registró un nivel saturado medible a partir de los 72m, dando un promedio de 5.31 l/s. también se realizó una prueba de Air Lift, dando el siguiente resultado: 259 m con una presión de 300 Psi, se obtuvo un caudal promedio de 5.03 l/s. y 200 m con una presión de 260 Psi, se obtuvo un caudal promedio de 6.21 l/s.

Se realizó la evaluación de la implementación de los nuevos parámetros de circulación reversa en la solución de problemas de acondicionamiento del pozo exploratorio de denominó PEXN-18, con parámetro A.- Presión hidrostática, circulación del fluido de acondicionamiento de lavado de pozo de  $4.26 m^3$  con presión hidrostática de 375 pies, parámetro B.- La velocidad del barrido de 4 a 7 pies/min, parámetro C.- RPM



velocidad de rotación es de 30 a 40 mn , Parámetro D.- WOP , Peso en la broca con y parámetro E.- Parámetro de ROP Razón velocidad de penetración con un promedio de 30,5 mn, en terrenos Inconsolidado, los parámetros WOP y ROP trabajan inversamente proporcionalmente en una constante a mayor peso menor velocidad y a menor peso mayor velocidad.

## REFERENCIAS

- Aparicio Morales. Ángel (2009) Análisis de la correlación entre parámetros de control en máquinas pilotadoras y las propiedades resistentes del terreno. Projecte o tesina D'Especialitat. Universidad politécnica de Catalunya – Barcelona.
- Barreto Alccacchua, E (2018) “Supervisión, identificación de peligros y evaluación de riesgos operacionales en el control de los procesos de sondaje diamantino e. e. Redrilsa S.A.C. mina Constancia” Tesis de ingeniería de minas Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Barra Ortega. F (2016) “Servicios de ingeniería en perforación de sondajes” plan de negocios para optar al grado de magíster en administración Universidad de Chile.
- Bolívar, J.G.Tovar,C.D.Rodríguez, P.Castillo, y V.Ciccola(2001)”Erosionabilidad y compresibilidad de revoques de fluidos perforación y sus efectos en la cementación de pozos” IV Seminario de fluidos de perforación y completación-Venezuela
- Calcina Pari. Diony (2019) “Evaluación de rendimientos de broca tricónica de diámetro 6 3/4” en el tajo norte de sociedad minera el brocal, Colquijirca” Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de ingeniería de minas Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Chara Hanco Mario Santos (2018) “*Optimización del NPV aplicando la temporalidad del modelo económico para incrementar el beneficio en compañía minera Antapaccay S.A.*” Tesis para optar el título profesional de

Ingeniero Minas. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa

Chira J, Ríos C, Trelles G y Villareal (2018) “*Estimación de potencial minero metalúrgico del Perú y su contribución económica al estado acumulada al 2050*” INGEMMET

Gonzales Cabrero. Diego. (2010)” Evaluación de los parámetros de perforación en barrenos y correlación con la geología del terreno” Titulación grado en ingeniería de recursos energéticos combustible y explosivos Escuela técnica superior ingeniero de minas y energía

Lambert B. Ángel (2008)” Manual de sondeo de perforación de pozos sistemas Rotary Rotopercusión.

Martínez W. Otero Lecaros L. y Marchena A. (2018) “*GE33A-4: Estudio Metalogenético de la Faja magmática Jurásico – Cretácica, asociado a los depósitos minerales tipo IOCG y Pórfidos entre Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna*”. Bloque Sur INGEMMET.

Lambert B. A (2002) *Manual de Sondeos Perforación de de pozos Sistema Rotary y Rotopercusión*

López Jimeno. (2006) “*Manual de Sondeos. Tecnología de perforación*” Volumen I. Editor: Carlos López Jimeno. ETS de Ingenieros de Minas. Madrid 2006

Martínez W. Valladares A., Otero Lecaros L., Marchena A.,y León W.(2017) “*Geología y controles Tectono Magmáticos de los Sistemas Porfiríticos en el Arco Magmático Occidental Sur de Perú*” INGEMMET- DREM,

Monsalve Lemuñir. T. (2013) *Manual Aire Reverso Numa, práctico y fácil para entender la perforación AR.*

Núñez, Martín. (1977). “*Métodos y técnicas modernas de sondeos de investigación minera*”

Saico A, y Ramos G, (2019) “*Determinación de los parámetros óptimos en el proceso de flotación de minerales sulfurados de cobre arcilloso de la zona de Espinar – Yauri*” Tesis para optar el título profesional de ingeniera química. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Rodríguez Malaver. J. (2019) *Estudio geotécnico para tajo, Proyecto Coroccohuayco - Cusco - Perú* Título Profesional de Ingeniero Geólogo Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Valenzuela P. Alejandro Valenzuela P. (2015) “*Equipo de sondaje de aire reverso para la investigación de minerales*” Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Facultad de Ingeniería

## ANEXOS

### Anexo N°01. Ubicación del pozo exploratorio



Fuente: Empresa perforación mina.

### Anexo N°02. Coordenadas de la Perforación.

<b>COORDENADAS UTM WGS84</b>		
<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>	<b>ALTURA</b>
243376	8345926	3987.648

### Anexo N°03. Dominios Litológicos

Clasificación		Roca	Descripción litológica	
			Sin recuperación	
Cuaternario		Cuaternario	Cobertura aluvial	
Rocas ígneas	Post-Mineral	Latita	Latita	
		Andesita	Andesita basáltica	
	Intra-mineral tardío			Monzonita Biotítico (MZB)
		Porfido	Monzonítico	Stockwork Cuarzo en Monzonita Biotítico (MZB)
		Biotítico		Endoskan en Monzonita Biotita (MZB)
	Intra-mineral	Brecha	Magmática/	Brecha Magmática/ Hidrotermal
		Hidrotermal		
				Monzonita Hornblenda Bitita (MZHB)
				Endoskam Monzonita Hornblenda Biotita (MZHB)
		Pórfido hornbléndico	Monzonítico	Stockwork Cuarzo en Monzonita Hornblenda Biotita (MZHB)
		Monzonita Hornblenda Biotita Porfirítico (MZHBP)		
		Endoskam Monzonita Hornblenda Biotita Porfirítico (MZHBP)		
Pre mineral	Diorita	Diorita	Diorita	
			Stockwork Cuarzo en Diorita	
			Monzonita de Cuarzo (MZQ)	
	Endoskam en Diorita		Endoskam en Diorita	
	Exoskam		Exoskam CuT $\geq 0.2\%$	
			Exoskam en clásticos, entre o continuidad con el 71	
			Mármol con calcosilicatos CuT $\geq 0,2\%$ , entre o continuidad con el 71	
			Mármol, entre o continuidad con el 71	

“Implementación de nuevos parámetros de perforación con circulación reversa (RC) en la solución de problemas en terrenos fracturados.”

		Evaporita, Yeso, Anhidrita, entre o continuidad con el 71
Rocas Metasomáticas	Exoskarn Seco	Exoskarn CuT < 0.2%
		Evaporita, Yeso, Anhidrita, entre o continuidad con el 81
		Exoskarn en clásticos, entre o continuidad con el 81
Rocas Sedimentarias	Mármol con Calcosilicatos + Ley	Mármol con calcosilicatos CuT $\geq$ 0.2%
		Evaporita, Yeso, Anhidrita, entre o continuidad con el 44
		Exoskarn en clásticos, entre o continuidad con el 44
Rocas Metamórficas	Mármol	Caliza o Mármol con Chert
		Caliza
Rocas Metamórficas		Mármol Gris
		Mármol Blanco
		Mármol con calcosilicatos, CuT < 0.2%
		Evaporita, Yeso, Anhidrita, entre o continuidad con el 27, 41,42,43,44
Rocas Metamórficas	Hornfels	Hornfels
		Lutita/ Lionita Calcárea
		Exoskarn en clásticos, entre o continuidad con el 49
Rocas Metamórficas		Evaporita, Yeso, Anhidrita, entre o continuidad con el 47,49 y 72
	Cuarcita	Cuarcita
		Arenisca
		Evaporita, Yeso, Anhidrita, entre o continuidad con el 50 y 28

Fuente. Área de geología de la empresa minera

#### Anexo N° 04. Máquina perforadora aire reverso (RC)



Fuente: Empresa perforación mina.

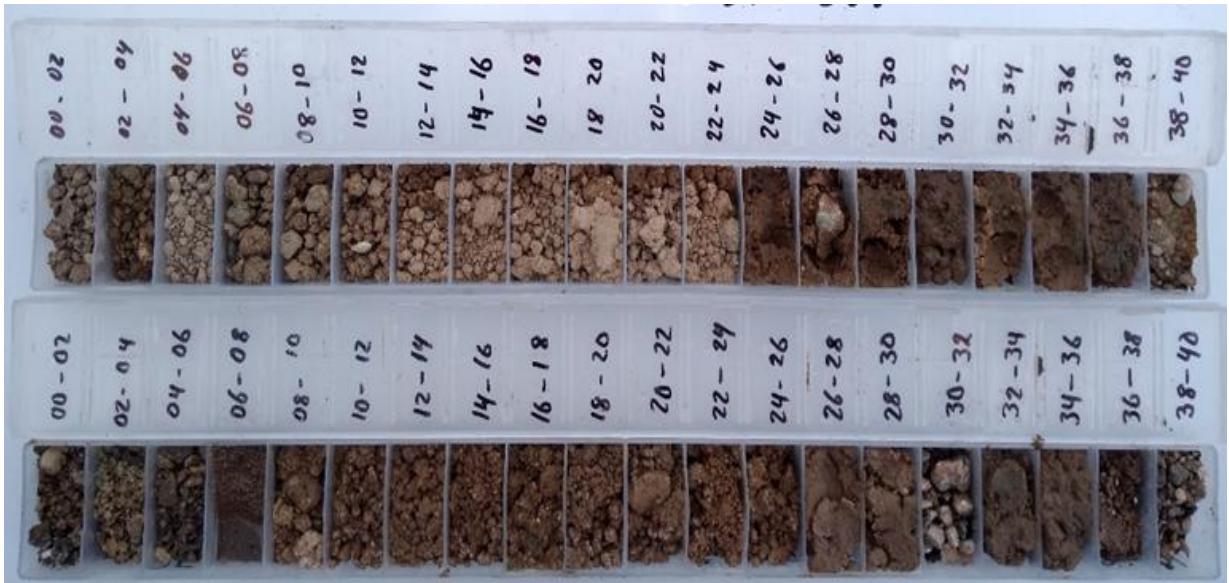
#### Anexo N° 05. Plataforma de perforación



Fuente: Empresa de perforaciones



Anexo N° 06. Caja Chip. Muestras sin lavar/lavada Desde de 00m<sup>2</sup> a 40m<sup>2</sup> del taladro PEXN-18-17



Fuente: Empresa de perforaciones.

Anexo N° 07. Tricono después de perforar



Fuente: Empresa de perforaciones

Anexo N° 08. PH del agua en la zona minera



Fuente: Empresa de perforaciones.

Anexo N° 09. Embudo de Marsh, para medir la viscosidad



Fuente: Empresa de perforaciones

### Anexo N° 10. Jarra de fluidos buen rendimiento de los aditivos



Fuente: Empresa de perforaciones

### Anexo N° 11. Corrida de caudal en la perforación

Puldn PSI (Presión hacia abajo)	HoleBaug PSI El peso hacia atrás)	RPM Rotación	Torque PSI	Viscosidad de Flujo	CAUDAL				Presión de aire (PSI)	Nivel de agua	
					T1	T2	T3	LT/S		Nf	Hora
500	2,500	40	800		3,52	3,71	3,55	6,40	350		
500	2,500	40	800		3,57	3,77	3,50	6,37	350		
500	2,500	40	800		3,80	3,60	3,70	6,21	350	09:30	21:00
500	2,500	40	800		2,69	2,84	2,76	7,23	350		
500	2,500	40	800		2,74	2,56	2,93	7,29	350		
500	2,500	40	800		2,84	3,13	2,76	6,88	350		

Nota: la prueba de caudal se realiza cada 6m<sup>2</sup>.

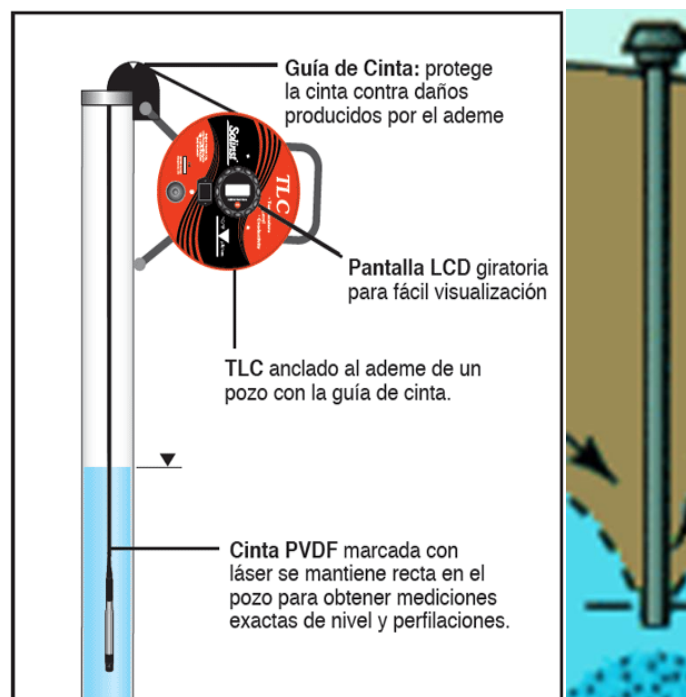
Fuente: Empresa de perforaciones

Anexo N° 12. Prueba de Caudal se realizó durante la perforación y Air Lift al término del taladro



Fuente.: Empresa de perforación.

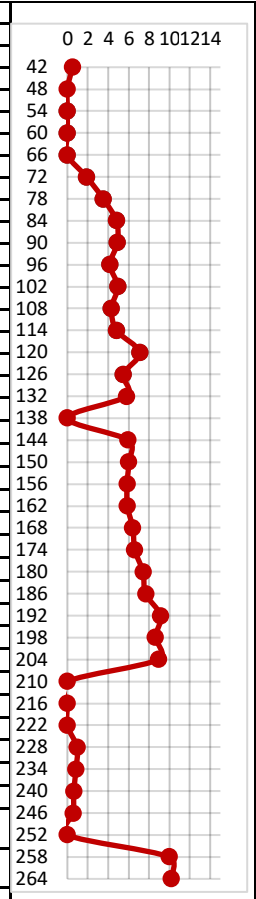
Anexo N° 13. Wáter level nivel freático y el nivel pizometrico- dentro del PBC.



Fuente.: Empresa de perforación

Anexo N°14. Prueba de caudal

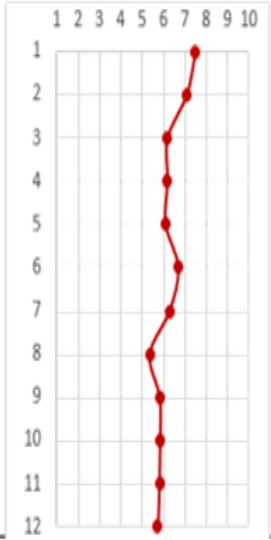
PROFUNDIDAD AD	VOLUMEN	PRESION	TIEMPOS (seg.)			TIEMPO PROMEDIO	CAUDALES	OBSERVACIONES	Q (Litros/segundo)
			1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba				
(m.)	(lts.)	(PSI)					(lts./seg.)		
42	23	180	-	-	-	-	0.50	Limos	
48	23	180	-	-	-	-	0.00	Limos	
54	23	180	-	-	-	-	0.00	Arcillas con grava	
60	23	180	-	-	-	-	0.00	Arcillas con grava	
66	23	180	-	-	-	-	0.00	Arcillas	
72	23	180	12.47	12.12	12.14	12.24	1.88	Arcillas	
78	23	200	6.62	6.42	6.52	6.52	3.53	Arcillas	
84	23	220	4.82	4.88	4.69	4.80	4.79	Arcillas	
90	23	220	4.81	4.94	4.32	4.69	4.90	Arcillas	
96	23	230	5.59	5.38	5.50	5.49	4.19	Arena con Limos	
102	23	240	5.19	4.50	4.31	4.67	4.93	Limos, arenas y gravas.	
108	23	260	5.53	4.81	5.59	5.31	4.33	Arcillas y Caliza	
114	23	280	5.44	4.25	4.59	4.76	4.83	Caliza	
120	23	300	3.18	3.25	3.30	3.24	7.09	Caliza	
126	23	300	4.00	4.31	4.25	4.19	5.49	Caliza	
132	23	300	4.19	4.00	3.75	3.98	5.78	Caliza	
138	23	220	-	-	-	-	0.00	Caliza	
144	23	260	3.95	3.87	3.78	3.87	5.95	Caliza	
150	23	260	3.85	3.89	3.71	3.82	6.03	Caliza	
156	23	260	4.00	3.87	3.93	3.93	5.85	Caliza	
162	23	260	4.09	3.78	3.87	3.91	5.88	Caliza	
168	23	260	3.28	3.67	3.80	3.58	6.42	Caliza	
174	23	260	3.69	3.59	3.16	3.48	6.61	Caliza y Arcillas	
180	23	260	3.02	3.20	3.09	3.10	7.41	Arcillas (Zona de Falla)	
186	23	260	3.07	3.02	2.90	3.00	7.68	Caliza	
192	23	260	2.53	2.59	2.44	2.52	9.13	Anhidrita con Yesos	
198	23	260	2.82	2.69	2.49	2.67	8.63	Caliza con Yesos	
204	23	260	2.98	2.30	2.43	2.57	8.95	Caliza con Yesos	
210	23	320	-	-	-	-	0.00	Caliza con Yesos	
216	23	320	-	-	-	-	0.00	Caliza con Yesos	
222	23	320	-	-	-	-	0.00	Caliza con Yesos	
228	23	320	23.00	24.96	25.25	24.40	0.94	Caliza con Yesos	
234	23	320	27.18	26.28	27.82	27.09	0.85	Caliza con pocos Yesos	
240	23	320	37.10	36.90	36.30	36.77	0.63	Caliza con Yesos	
246	23	320	40.64	40.25	40.32	40.40	0.57	Caliza con abundante Yeso	
252	23	340	-	-	-	-	0.00	Arcillas y Arenas Calcáreas (Relleno de Falla)	
258	23	340	2.22	2.29	2.41	2.31	9.97	Arcillas y Arenas (Zona de Contacto).	
264	23	340	2.38	2.12	2.28	2.26	10.18	Diorita	
						<b>PROMEDIO</b>	<b>5.31</b>		



Fuente: empresa de perforaciones

Anexo N°15. Prueba de AIR LIFT N°01

PRUEBA	TIEMPOS (min.)		VOLUMEN (lts.)	PRESI ON (PSI)	TIEMPOS (seg.)			PROMEDI O TIEMPOS	CAUDAL ES (lts./seg.)	
	De	A			1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba			
200.00 metros	1	5:40	5:45	23	260	2.84	3.06	3.30	3.07	7.50
	2	5:45	5:50	23		3.12	3.02	3.40	3.24	7.09
	3	5:50	6:00	23		3.90	3.63	3.59	3.72	6.19
	4	6:00	6:05	23		3.45	3.80	3.62	3.72	6.18
	5	6:05	6:10	23		3.78	3.73	3.91	3.78	6.09
	6	6:10	6:15	23		3.28	3.39	3.82	3.44	6.69
	7	6:15	6:20	23		3.65	3.40	3.65	3.66	6.28
	8	6:20	6:25	23		3.87	4.30	3.94	4.30	5.34
	9	6:25	6:30	23		4.01	3.95	4.74	3.96	5.81
	10	6:30	6:35	23		3.90	4.01	3.91	3.94	5.84
	11	6:35	6:40	23		4.20	4.09	3.59	3.96	5.81
	12	6:40	6:45	23		4.01	4.00	4.02	4.01	5.74
PROMEDIO									6.21	



Fuente: Empresa de perforaciones.

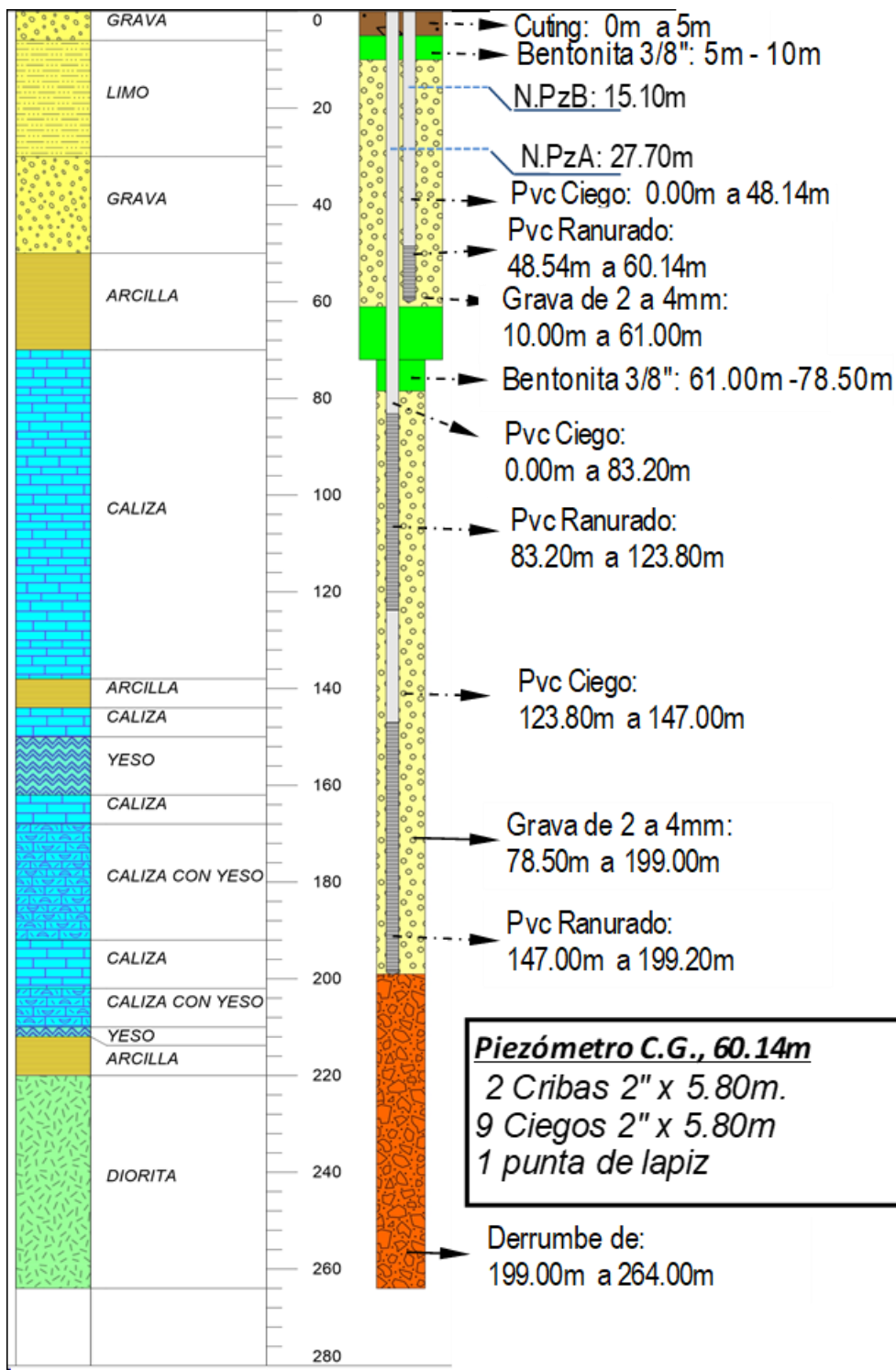
Anexo N°16. Prueba de AIR LIFT N°02

PRUEBA	TIEMPOS (min.)		VOLUMEN (lts.)	PRESI ON (PSI)	TIEMPOS (seg.)			PROMEDI O TIEMPOS	CAUDAL ES (lts./seg.)	
	De	A			1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba			
259.00 metros	1	3:35	3:40	23	300	30.87	7.46	8.43	15.59	1.48
	2	3:40	3:45	23		10.50	10.15	10.13	10.26	2.24
	3	3:45	3:50	23		6.58	7.04	7.69	7.10	3.24
	4	3:50	3:55	23		6.21	5.02	9.00	6.74	3.41
	5	3:55	4:00	23		5.80	6.37	5.88	6.02	3.82
	6	4:00	4:05	23		4.68	2.09	2.76	3.18	7.24
	7	4:05	4:10	23		4.34	4.21	3.56	4.04	5.70
	8	4:10	4:15	23		3.62	3.37	4.21	3.73	6.16
	9	4:15	4:20	23		3.38	3.23	3.25	3.29	7.00
	10	4:20	4:25	23		3.95	3.55	3.67	3.72	6.18
	11	4:25	4:30	23		3.52	3.50	3.45	3.49	6.59
	12	4:30	4:35	23		3.82	4.35	3.65	3.94	5.84
	13	4:35	4:40	23		3.37	3.31	3.86	3.51	6.55
PROMEDIO									5.03	



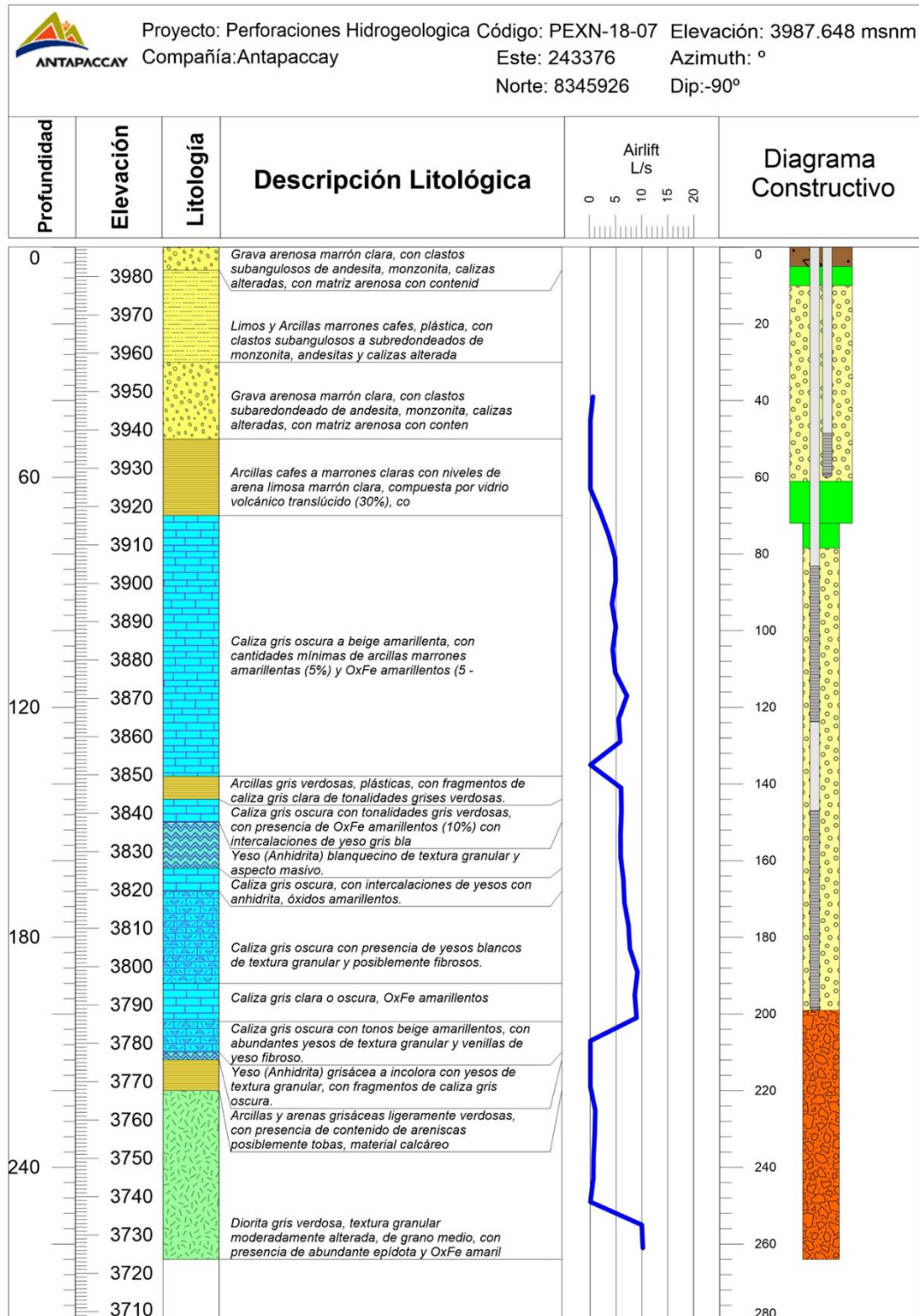
Fuente: Empresa de perforaciones

Anexo N° 17. Esquema de Instalación de pozos Casa grande de dos líneas



Fuente: Empresa de perforación

Anexo N°18. Descripción litológica del proyecto del pozo exploratorio PENX 18-07



Fuente: Empresa de perforaciones



Anexo N° 19. Iniciando plataforma nueva con la maquina turno en el pozo de sondeo PEXN-18-07



Fuente: Empresa de perforaciones

Anexo N° 20. Máquina perforadora y al costado está la poza de sedimentación



Fuente. Empresa de perforaciones

Anexo N° 21. Bolsas de bentonita para acondicionar el pozo cuando existe problema de atrapamiento de barras



Fuente. Empresa de perforaciones

Anexo N° 22. Mesa de trabajo máquina perforadora SCHRAMM modelo T 685WS



Fuente. Empresa de perforaciones

Anexo N° 23. Llaves manuales tipo u para colocar en los flat de las barras faber



Fuente. Empresa de perforaciones.

Anexo N°24. Triconos de perforación de 5 3/4



Fuente. Empresa de perforaciones.

Anexo N° 25. Bit o broca que perfora máquina perforadora SCHRAMM modelo T 685WS



Fuente. Empresa de perforaciones.

Anexo N°26. Martillo de percusión de perforadora SCHRAMM modelo T 685WS



Fuente. Empresa de perforaciones.

Anexo N°27. Ciclón o colector de polvo, donde cae la muestra que viene de la manguera cutting de 4"



Fuente. Empresa de perforaciones.

Anexo N° 28. El ciclón conectado la manguera cutting



Fuente. Empresa de perforaciones

#### Anexo N° 29. NIXER Equipo para preparar fluido



Fuente. Empresa de perforaciones

#### Anexo N° 30. Instalación de Piezómetro Casa Grande



Fuente. Empresa de perforaciones

Anexo N°31 Inyectado de grava de 2 a 4 mm



Fuente. Empresa de perforaciones

Anexo N°32 Monumentación del Piezómetro PEXN-18-07



Fuente. Empresa de perforaciones