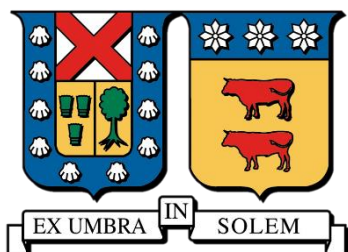


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y DE MATERIALES  
SANTIAGO DE CHILE



**MEJORAS EN LA UTILIZACIÓN OPERACIONAL DE LA FLOTA  
DE PERFORACIÓN EN MINA DOÑA INÉS DE COLLAHUASI.**

MICHELLE MACARENA CANCINO CASTILLO

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL DE MINAS

**Profesor Guía:**

Víctor Encina M.

**Comisión:**

Rodrigo Estay H.

Agosto 2022

*Dedicado a la niña que lo soñó,  
la adolescente que trabajó y  
la adulta que lo logró.*

## Resumen

La Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi requiere mejorar los valores de la utilización operacional de la flota de perforación, debido a que ningún mes del año 2020 se pudo alcanzar lo planificado por la administración.

La compañía consideraba 3 hipótesis que explicaban los bajos valores de utilización operacional, sin embargo, al analizarlas se concluyó que ninguna de ellas explicaba realmente el problema, razón por la cual, el alcance del trabajo debió ampliarse e investigar el proceso aguas arriba, detectando que la causa del incumplimiento del índice de utilización era la falta de sitio para que las perforadoras operen.

Para desarrollar el estudio se descargaron los estados de los equipos de perforación desde la plataforma Cat ® MineStar™, encontrando que el índice de utilización operacional se afecta principalmente por los tiempos de reservas y demoras programadas.

El análisis del proceso aguas arriba permitió comprender que el alto tiempo de reserva observado en los datos, corresponde mayoritariamente a que los sitios de perforación no están oportunamente preparados para ingresar con los equipos de perforación.

También se observó que el trabajo de preparación de sitios para perforar se lleva a cabo por una unidad organizacional distinta de la de perforación, lo cual puede explicar la descoordinación y desajuste de disponibilidad de sitios de perforación.

Finalmente se propone intervenir la organización y sus prioridades para asegurar la disponibilidad de sitios de perforación, con lo cual se lograría un aumento de la utilización operacional desde un 48,6% a un 55,8% superando el valor planificado de 54,9%.

## ***Abstract***

*Doña Inés de Collahuasi Mining Company needs to improve the values of the operational use of the drilling fleet, because no month of 2020 could achieve what was planned by the administration.*

*The company considered 3 hypotheses that explained the low values of operational use, however, when analyzing them, it was concluded that none of them really explained the problem, which is why the scope of the work had to be expanded and investigate the upstream process, detecting that the cause of the failure to meet the utilization rate was the lack of a site for the drills to operate.*

*To develop the study, the states of the drilling equipment were downloaded from the Cat MineStar platform, finding that the operational utilization rate is mainly affected by the scheduled reservation times and delays.*

*The analysis of the upstream process allowed us to understand that the high reserve time observed in the data corresponds mainly to the fact that the drilling sites are not timely prepared to enter with the drilling equipment.*

*It was also observed that the work of preparing drilling sites is carried out by organizational unit other than the drilling unit, which may explain the lack of coordination and mismatch in the availability of drilling sites.*

*Finally, it is proposed to intervene the organization and its priorities to ensure the availability of drilling sites, which would achieve an increase in operational utilization 48.6% to 55.8%, exceeding the planned value of 54.9%.*

# Lista de contenidos

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	<b>Objetivos</b> .....	2
1.1.1.	Objetivo general .....	2
1.1.2.	Objetivos específicos .....	2
1.2.	<b>Alcances</b> .....	3
2.	ANTECEDENTES .....	4
2.1.	<b>Historia</b> .....	4
2.2.	<b>Ubicación</b> .....	4
2.3.	<b>Cadena de Valor</b> .....	5
2.3.1.	Extracción y Chancado .....	6
2.3.2.	Molienda .....	6
2.3.3.	Flotación .....	6
2.3.4.	Transporte de concentrado al puerto .....	7
2.4.	<b>Perforación en Minería a Cielo Abierto</b> .....	8
2.4.1.	Tipos de Pozos .....	9
2.5.	<b>Tronadura en Minería a Cielo Abierto</b> .....	10
2.6.	<b>Flota de equipos de perforación en CMDIC</b> .....	12
2.6.1.	Flota Bucyrus 49 RIII y Flota Bucyrus 49 HR .....	12
2.6.2.	Flota Atlas Copco Pit Viper 351 y 271.....	12
2.6.3.	Flota Sandvick D75KS .....	13
2.6.4.	Flota Atlas Copco DML .....	13
2.6.5.	Flota CAT MD6640.....	13
2.7.	<b>Flota de equipos auxiliares en CMDIC</b> .....	14
2.7.1.	Camiones Aljibes .....	14
2.7.2.	Motoniveladoras .....	15
2.7.3.	Retroexcavadoras.....	15
2.7.4.	Tractor Neumático y Oruga .....	15
2.8.	<b>Norma ASARCO</b> .....	17
2.8.1.	Tiempos para Norma ASARCO.....	17
2.9.	<b>Índices Operacionales</b> .....	18
2.9.1.	Disponibilidad Física (DF).....	19
2.9.2.	Utilización Operacional (UO) .....	19

2.9.3.	Utilización Efectiva (UE) .....	19
2.9.4.	Rendimiento Operativo .....	20
<b>2.10.</b>	<b>Diagrama de Pareto .....</b>	<b>20</b>
<b>2.11.</b>	<b>Sistema CAT® MineStar™ .....</b>	<b>21</b>
<b>2.12.</b>	<b>Ciclo de Gestión de Riesgos .....</b>	<b>21</b>
2.12.1.	Planificación.....	22
2.12.2.	Ejecución.....	23
2.12.3.	Verificación .....	24
2.12.4.	Aprendizaje.....	24
<b>3.</b>	<b>ESTADO DE LA FLOTA DE PERFORACIÓN .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.</b>	<b>Base de datos.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.</b>	<b>Resultados obtenidos de la Data Base.....</b>	<b>27</b>
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS.....</b>	<b>33</b>
<b>5.</b>	<b>NUEVA HIPÓTESIS: FALTA DE SITIO PARA PERFORAR.....</b>	<b>36</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>39</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>41</b>
<b>8.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>42</b>
	<b>ANEXO A: ESTADOS PARA EQUIPOS DE PERFORACIÓN.....</b>	<b>43</b>

## Lista de Ilustraciones

<b>Ilustración 1:</b> Ubicación Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. Fuente: Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, 2021. ....	5
<b>Ilustración 2:</b> Diagrama de flujo del proceso que tienen los sulfuros y óxidos de cobre. Fuente: Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, 2021. ....	5
<b>Ilustración 3:</b> Ciclo de gestión de riesgos de CMDIC, con sus respectivas etapas. Fuente: Collahuasi. ....	22
<b>Ilustración 4:</b> Flota de perforación de CMDIC, donde se muestra los equipos de producción y contorno. Fuente: Informe gestión de perforadora diciembre 2020. ....	25
<b>Ilustración 5:</b> Gráfico de la Utilización Operativa de la flota de perforadoras. Fuente: Elaboración propia, 2021. ....	26
<b>Ilustración 6:</b> Diagrama de Pareto de las reservas para el año 2020. Fuente: Elaboración propia. ....	29
<b>Ilustración 7:</b> Diagrama de Pareto de las demoras programadas para el año 2020. Fuente: Elaboración propia. ....	29
<b>Ilustración 8:</b> Diagrama de Pareto demoras programadas para el año 2018. Fuente: Elaboración propia. ....	31
<b>Ilustración 9:</b> Diagrama de Pareto reservas para el año 2018. Fuente: Elaboración Propia. ....	32

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Resumen de los equipos de perforación con su respectivo modelo, símbolo y diámetro. Fuente: Elaboración propia 2021. ....	14
<b>Tabla 2:</b> Comparación entre las tractores orugas y los tractores neumáticos. Fuente: Elaboración propia 2021.....	16
<b>Tabla 3:</b> Resumen de los modelos y equipos auxiliares de la compañía, tanto para el año 2018 y 2020. Fuente: Elaboración propia.....	16
<b>Tabla 4:</b> Tiempos de perforación para Collahuasi, según norma ASARCO. Fuente: Elaboración Propia, 2021. ....	17
<b>Tabla 5:</b> Tiempos de demoras de la flota de perforación para el año 2020.....	27
<b>Tabla 6:</b> Detalle de las actividades que se clasificaron como reservas de la flota de perforación para el año 2020. Fuente: Elaboración propia 2021.....	27
<b>Tabla 7:</b> Detalle de las actividades que se clasificaron como demoras programadas de la flota de perforación para el año 2020. Fuente: Elaboración propia 2021.....	28
<b>Tabla 8:</b> Tiempos de demoras de la flota de perforación para el año 2018.....	30
<b>Tabla 9:</b> Detalle de las actividades que se clasificaron como reservas para la flota de perforación en el año 2018. Fuente: Elaboración propia 2021.....	30
<b>Tabla 10:</b> Detalle de las actividades que se clasificaron como demoras programadas para la flota de perforación en el año 2018. Fuente: Elaboración propia 2021.....	31
<b>Tabla 11:</b> Resumen de las actividades críticas para demoras programadas y reservas de la flota de perforación. Fuente: Elaboración propia 2021. ....	32
<b>Tabla 12:</b> Distribución de tiempos del año 2020 corregidos por las demoras programadas. Fuente: Elaboración propia.....	34
<b>Tabla 13:</b> Distribución de tiempos del año 2020 corregidos por las reservas. Fuente: Elaboración propia.....	34
<b>Tabla 14:</b> Detalle de las actividades que se clasificaron como demoras programadas para la flota de perforación en el mes de diciembre del 2020. Fuente: Elaboración propia. ....	36
<b>Tabla 15:</b> Valores de toneladas diseñadas y perforadas para el mes de diciembre del año 2020. Fuente: Elaboración propia 2021.....	37
<b>Tabla 17:</b> Toneladas perforadas en tiempo de reserva. Fuente: Elaboración propia 2021..	38
<b>Tabla 18:</b> Valores de la utilización operacional para los distintos escenarios. Fuente: Elaboración propia 2021.....	38

## Lista de Ecuaciones

<b>Ecuación 1:</b> Disponibilidad Física de los equipos de perforación.....	19
<b>Ecuación 2:</b> Utilización Operacional de los equipos de perforación.....	19
<b>Ecuación 3:</b> Utilización Efectiva de los equipos de perforación. ....	20
<b>Ecuación 4:</b> Rendimiento Operativo de los equipos de perforación. ....	20

# 1. INTRODUCCIÓN

La compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC) opera la mina a rajo abierto del mismo nombre en la región de Tarapacá, para lo cual cuenta con 16 equipos de perforación donde se distribuyen entre perforadoras de producción y contorno.

En el año 2020 la flota de perforación presentó una utilización operacional de 49,4% en circunstancias donde el valor presupuestado fue de 54,9%, situación que ya ha ocurrido en años anteriores observándose importantes fluctuaciones de este indicador en el tiempo por encima o debajo de lo esperado.

En este sentido, es que se ha realizado una memoria que buscó la solución a esta problemática, llegando a la conclusión que se debía realizar mejoras enfocadas en disminuir los tiempos de las demoras programadas. La memoria fue realizada por Paula Badilla en el año 2017, logrando aumentar la utilización operacional en un 31,5%.

Sin embargo, luego de que la gestión anterior cesó, comenzaron nuevamente las variaciones del índice operacional produciendo incertidumbre por qué la utilización operacional no llegaba al valor planificado.

Es por esto, que la presente memoria de título comprende un completo estudio del ciclo de perforación utilizando la base de datos DISPATCH, con el propósito de determinar las causas de no alcanzar el Budget de la utilización operacional y además proponer un plan para que esta situación no vuelva a ocurrir.

Para llevar a cabo lo anterior es que se enfocará el análisis en las demoras de los equipos de perforación, más específicamente en las reservas y demoras programadas, con el fin de observar las actividades que componen estas demoras y así centrar el estudio en los tópicos que más tiempo de detención tengan.

## **1.1. Objetivos**

### 1.1.1. Objetivo general

- Mejorar la gestión de la operación mina para cumplir los planes de utilización operacional de perforadoras en mina a tajo abierto Doña Inés de Collahuasi.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Verificar las hipótesis de la administración respecto de las causas del incumplimiento de UO planeada.
- Depurar la base de datos de utilización de equipos de perforación.
- Analizar la estadística de tiempos de operación y el impacto de sus variaciones en la UO.
- Proponer un plan para aumentar la utilización operacional interviniendo las condiciones de operación que afectan la UO.

## **1.2. Alcances**

- Este estudio considera el análisis del proceso de perforación, con el fin de conocer a cabalidad sus operaciones y todo lo relacionado con el proceso unitario.
- Se enfocará en los tiempos de demoras de la flota de perforación, más específicamente en las actividades clasificadas como demoras programadas y reservas.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1. Historia**

La actividad comercial del distrito minero Collahuasi, se inició en 1880 con la exploración de los sistemas de vetas de cobre-plata de alta ley, la cual se vio interrumpida en el año 1930 por la crisis económica mundial. Las actividades en el área se reiniciaron en 1978, años en el cual se identificaron los componentes claves del yacimiento Rosario.

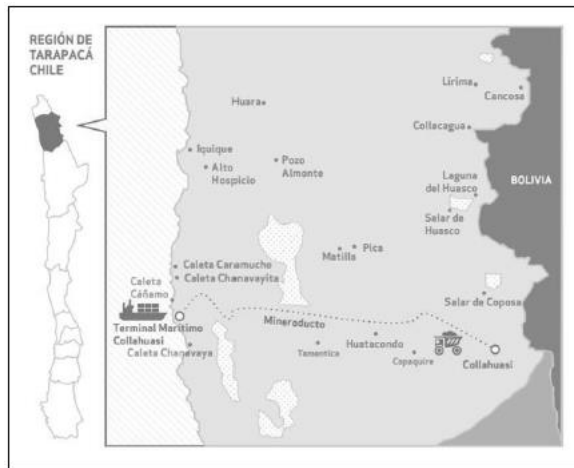
Posteriormente, en 1991, en una combinación de estudios basados en imágenes satelitales, levantamientos Aero fotogramétricos, terrestres y actividades de perforación de sondajes, dio como resultado el descubrimiento del yacimiento Ujina. Los Estudios de factibilidad y de impacto ambiental del Proyecto Collahuasi fueron aprobados en 1995. A fines de 1996, habiéndose suscrito los acuerdos relativos al financiamiento y comercialización, se inició la etapa de desarrollo y construcción.

Collahuasi inauguró su operación comercial el 7 de abril de 1999, y desde entonces se propuso desarrollar su actividad en base a políticas y prácticas de excelencia y que contribuyan al bienestar de la sociedad, el desarrollo económico y cuidado del medio ambiente.

La compañía Minera Doña Inés de Collahuasi es una sociedad contractual minera cuyos accionistas son: Anglo American plc (44%), Glencore (44%) y Japan Collahuasi (12%), las que están representadas en su directorio.

### **2.2. Ubicación**

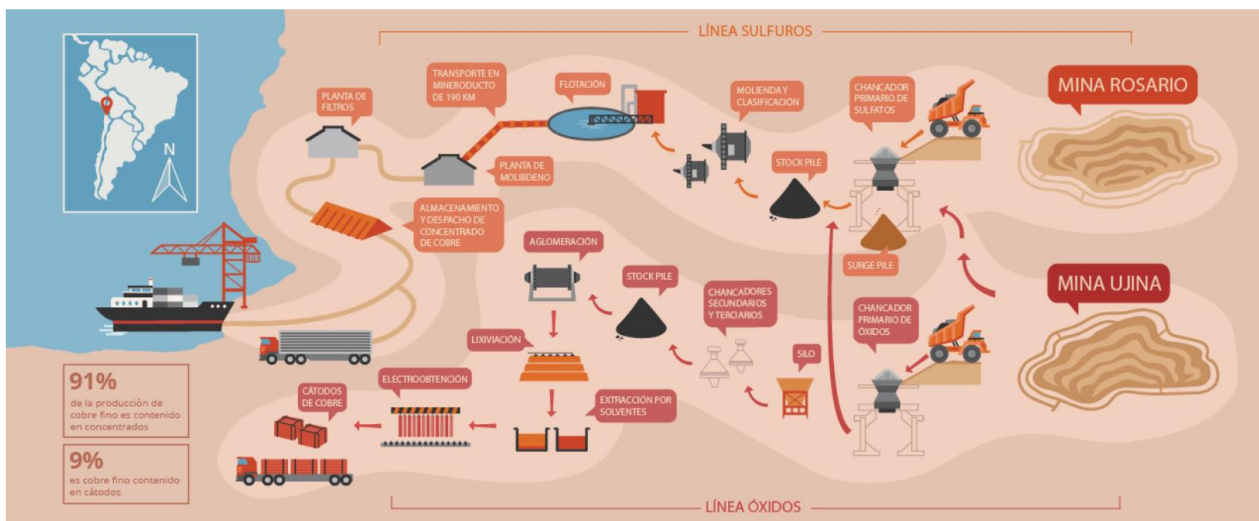
Los yacimientos de Collahuasi se emplazan en el altiplano del desierto de Atacama, a 4.400 msnm, una zona andina que se caracteriza por tener un clima lluvioso en verano y nevadas ocasionales en invierno. A 40 km de las operaciones de la mina se ubica el poblado de Huatacondo, y a 130 y 135 km las localidades de Pica y Matilla respectivamente, las que están rodeadas de zonas de alto valor por su diversidad biológica, como salares, humedales y bofedales. Ver ilustración 1.



**Ilustración 1:** Ubicación Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. Fuente: Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, 2021.

### 2.3. Cadena de Valor

Minera Collahuasi cuenta con dos áreas productivas, rajo Rosario y rajo Ujina, donde se extrae material para producir concentrado de cobre (Rosario) y material para la planta de Hidrometalurgia (Ujina) con el fin de producir cátodos de cobre. Hoy en día solo se opera con el rajo Rosario para producir concentrado de cobre. En la siguiente ilustración se puede visualizar las diferentes etapas que pasa el material dependiendo de donde se extrae.



**Ilustración 2:** Diagrama de flujo del proceso que tienen los sulfuros y óxidos de cobre. Fuente: Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, 2021.

El proceso comienza con la extracción del mineral proveniente del yacimiento y prosigue hacia las etapas de chancado primario, molienda, flotación, concentrado y embarque.

### 2.3.1. Extracción y Chancado

Estos procesos comienzan en el rajo donde se está extrayendo mineral, mediante explosivos para que las palas mecánicas carguen los camiones CAT 797 (capacidad 360 toneladas) que trasladan el material hacia el chancador primario, el cual es del tipo giratorio con una capacidad de 10.500 ton/hrs, éste es descargado en una correa transportadora que a su vez alimenta a una correa overland. Ésta última correa, descarga una serie de correas que finalmente descargan el mineral chancado en el acopio de mineral grueso, el cual posteriormente alimentará a la molienda SAG.

### 2.3.2. Molienda

La primera parte de la molienda se compone de 3 molinos SAG, para luego ser descargado a un Trommel, el cual se encarga de clasificar el mineral de acuerdo con su granulometría. El material de mayor tamaño se envía a un chancador de Pebbles mientras que los de menor tamaño se envían a los Hidrociclones, los que son alimentados por 8 bombas centrífugas (bombas bajo molino). El material de menor tamaño seleccionado por el hidrociclón se dirige a las celdas de flotación, mientras que las de mayor tamaño se recircula hacia los 4 molinos de bola para realizar otro proceso de molienda y posteriormente enviar a los hidrociclones.

### 2.3.3. Flotación

Este proceso es alimentado en su mayor porcentaje por descargas de los hidrociclones, y se compone de flotación primaria y flotación de barrido. El overflow generado en la etapa de molienda secundaria es enviado a flotación primaria, que se realizan en celdas convencionales tipo estanque, generando concentrado de cobre, que es conducido a la etapa de remolienda. En esta parte del proceso (flotación primaria) también se obtiene una cola primaria que constituye parte del relave global de la planta. La etapa de remolienda consta de baterías de hidrociclones trabajando en circuito abierto e inverso, es decir, el concentrado es previamente clasificado y la fracción gruesa es enviada al molino vertical. El producto remolido y el overflow de los hidrociclones de la etapa de remolienda, constituyen la alimentación a la flotación de limpieza, realiza en celdas del tipo columnas cuyo concentrado es el concentrado final que pasa al proceso de espesamiento. Para el proceso de espesamiento se necesitan 4 espesadores, los cuales obtienen concentraciones de 67% en sólidos, donde se recupera agua la cual es inyectada al proceso.

#### 2.3.4. Transporte de concentrado al puerto

Esta etapa comienza en los estanques de almacenamiento de concentrado, los cuales alimentan a la estación de bombeo PS1 donde se pasa a las bombas de precarga que dan la presión necesaria para pasar a las bombas GEHO. Estas bombas poseen un flujo máximo de  $118 \text{ m}^3/\text{h}$  y se pueden trabajar a una presión máxima de 24 Mpa. Las bombas se encargan de bombear, a través de un mineroducto de 8 pulgadas y otro de 7 pulgadas que tiene una longitud de 204 km, que llega al Puerto de Patache.

## 2.4. Perforación en Minería a Cielo Abierto

La perforación comprende el primer proceso de extracción del mineral, y tiene como finalidad abrir pozos, con la distribución y geometría adecuada dentro de los macizos, donde posteriormente se alojan las cargas de explosivos y sus accesorios iniciadores.

Los dos grandes métodos mecánicos de perforación de rocas son los rotopercutivos y los rotativos, los cuales se definen a continuación.

- Métodos rotopercutivos: son los más utilizados en casi todos los tipos de roca, tanto si el martillo se sitúa en cabeza como en el fondo del barreno.
- Métodos rotativos: se subdividen a su vez en dos grupos, según que la penetración se realice por trituración, empleando triconos, o por corte utilizando brocas especiales. El primer sistema se aplica en rocas de dureza media a alta y el segundo en rocas blandas.

La perforación a rotopercusión es el sistema más clásico de perforación de barrenos y su aparición en el tiempo coincide con el desarrollo industrial del siglo XIX. Este tipo de perforación se basa en la combinación de las siguientes acciones:

- Percusión: los impactos producidos por el golpeo del pistón originan unas ondas de choque que se transmiten a la broca a través del varillaje (en el martillo en cabeza) o directamente sobre ella (en el martillo en fondo).
- Rotación: con este movimiento se hace girar la broca para que los impactos se produzcan sobre la roca en distintas posiciones.
- Empuje: para mantener en contacto el útil de perforación con la roca se ejerce un empuje sobre la sarta de perforación.
- Barrido: el fluido de barrido permite extraer el detritus del fondo del barreno.

Por otra parte, los principales componentes de un sistema de perforación son los siguientes:

- Perforadora: corresponde al chasis del equipo, en donde se encuentra el tren de rodaje, la cabina y la torre donde se colocan los accesorios y aceros de perforación.
- Varillaje: es el medio de transmisión de energía, fuerza de empuje y rotación, al tricono para generar el pozo de perforación de acuerdo con la profundidad deseada. A su vez, el varillaje se subdivide en:
  - Amortiguador: tiene como función absorber vibraciones e impactos.
  - Adaptador superior: protege el amortiguador y acopla elementos de diferentes diámetros y roscas.

- Barras: transmiten energía de rotación y empuje desde el cabezal hasta la herramienta de corte, el tricono o martillo.
- Adaptador de tricono: une la columna de barras con el tricono, protege la barra iniciadora del flujo de material, por lo que posee recubrimiento abrasivo.
- Anillo guía: su función principal es mantener centrada la columna de barras mientras se está perforando.
- Broca o Bit: corresponde al accesorio que se ubica en el extremo inferior de las barras. Tiene por función ejercer la fuerza de rotación y empuje sobre la misma roca, ya que está en contacto con ella.
- Barrido: corresponde al fluido que se inyecta en la perforación y que tiene por finalidad la limpieza y evacuación del detritus que se ha producido durante la perforación y enfriar a broca.

#### 2.4.1. Tipos de Pozos

Los tipos de perforación utilizados en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC), ordenados desde a pared del banco son:

- Perforación de Pozos Buffer: el objetivo de estos pozos es cuidar la pared. Se perforan a 3 metros de la línea de programa. Los diámetros de perforación fluctúan entre 6 ¾ y 7 7/8 pulgadas. Estos pozos son cargados con explosivos de baja densidad. No cuentan con pasadura, por lo tanto, la profundidad de los pozos son 15 metros. Las mallas de perforación son pequeñas con un Burden de 4 a 5 metros y Espaciamiento entre 4 a 6 metros.
- Perforación de Pozos Amortiguados: la tronadura amortiguada se define como el diseño que genera el mínimo daño posible detrás de la última fila. Los diámetros de perforación se encuentran en 7 7/8 y 10 5/8 pulgadas. La pasadura depende del tipo de roca que se esté perforando. Se utilizan explosivos de baja densidad. El Burden es de 6 metros aproximadamente al igual que el espaciamiento.
- Perforación de Pozos de Producción: el objetivo principal de estos pozos es lograr la fragmentación. El Burden y espaciamiento utilizando depende del tipo de roca que se esté perforando y en la fase que se encuentre, por lo general es entre 8x10 o 10x12. Los diámetros de perforación utilizados son grandes de 12 ¼ pulgadas. Se cargan con Anfos pesados.

## 2.5. Tronadura en Minería a Cielo Abierto

En relación con la tronadura en minería a cielo abierto es un proceso que busca la fragmentación óptima del macizo rocoso para el arranque del mineral, a través del uso eficiente de la energía liberada de un determinado explosivo, teniendo muy en cuenta los requerimientos de los procesos siguientes y minimizando el daño en las paredes futuras del rajo.

En el diseño de tronadura, se deben conocer conceptos claves.

- **Burden:** se define como la distancia más corta desde el pozo de perforación a la cara libre. La cara libre se considera normalmente como la cara original del banco o bien como una cara interna creada por una hilera de pozos que han sido disparados previamente con un retardo anterior, la selección de barden apropiado es una de las decisiones más importantes que hay que hacer en cualquier diseño de tronaduras. Si los barden son demasiados pequeños, la roca es lanzada a una distancia considerable de la cara. Los niveles de golpe de aire son altos y la fragmentación puede resultar demasiado fina, por el otro lado si los barden son muy grandes, dará como resultado el rompimiento trasero y el bronqueo de la cara final (lanzamiento de material hacia atrás). Los barden excesivos causan un exceso de confinamiento en los pozos, lo que da como resultado niveles de vibración significativamente más altos por kilogramo que explosivo utilizado.
- **Espaciamiento:** es la distancia entre pozos de una misma fila que se disparan con un mismo retardo o con retardos diferentes y mayores en la misma fila. Se calcula en relación con la longitud del barden, a la secuencia de encendido y el tiempo de retardo entre pozos. Al igual que con el barden, espaciamientos muy pequeños producen un exceso de trituración y caracterización en la boca del pozo, lomos al pie de la cara libre y bloques de gran tamaño en el tramo del barden. Por otro lado, espaciamientos excesivos producen fracturación inadecuada, lomos al pie de banco y una cara libre frontal muy irregular. En la práctica, normalmente es igual al barden para malla de perforación cuadrada  $E=B$  y de  $E=1,3$  a  $1,5B$  para malla rectangular o alterna.

En la compañía se utilizan los siguientes tipos de tronadura:

- **Tronadura Amortiguada:** provee algún control sobre el número de fragmentos y la dirección en la cual estos vuelan, esto permite que el equipo de carguío se ubique muy cerca de la detonación sin mayor riesgo. Usualmente se ocupan diámetros menores de perforación y mallas más reducidas con respecto a la tronadura de producción. Posee cargas menores de explosivos y desacopladas.

- Tronadura de Producción: el objetivo de la tronadura de producción, como su nombre lo indica, es la separación del mineral de interés del macizo rocoso, además de disminuir el tamaño de las rocas con el objetivo de hacer más fácil su transporte al área de producción.

## **2.6. Flota de equipos de perforación en CMDIC**

CMDIC tiene variados modelos de equipos de perforación, los cuales dependen de la labor y el sector donde se trabajará. Estos equipos son del tipo hidráulicos o eléctricos y varían en los diámetros dentro del rango 7 7/8 a 12 1/4 pulgadas de diámetro.

### **2.6.1. Flota Bucyrus 49 RIII y Flota Bucyrus 49 HR**

Equipo de perforación de roca dura que se utiliza en minas a cielo abierto para perforaciones rotativas que luego se llenan con cargas y se disparan para romper la roca y facilitar la excavación con palas y dragalinas. El equipo puede perforar agujeros de hasta 400 mm (16 pulgadas) de diámetro, además, se pueden inclinar hasta 25° y la altura del mástil suele ser de 198,8 metros (65 pies). El motor de perforación está fijado a un carro que sube y baja por el mástil mediante un sistema de piñón y cremallera.

La compañía posee 1 perforadora Bucyrus 49RIII: PO-01, y 4 perforadoras Bucyrus 49 HR: PO-07, PO-12, PO-15 y PO-19, las cuales se utilizan para pozos de producción, con un diámetro de 12 1/4 pulgadas, además, de que la perforadora PO-19 también opera con diámetro 10 5/8 pulgadas.

### **2.6.2. Flota Atlas Copco Pit Viper 351 y 271**

El equipo de perforación de barrenos de voladuras Pit Viper 351 puede usarse en perforación de barrenos inclinados o verticales. Utiliza la perforación Single Pass, que produce un rendimiento mucho mayor con la eliminación del cambio de barra y reduce el riesgo de errores operativos. La torre Single Pass de 19,8 metros (65 pies) ofrece una capacidad de profundidad total de 41 metros (135 pies) utilizando un carrusel de 2 barras con cuatro barras de 10,7 metro (35 pies).

CMDIC, cuenta con 2 equipos de perforación de este tipo: PO-18 y PO-26, las cuales perforan con un diámetro de 12 1/4 pulgadas y son utilizadas para pozos de producción.

En relación con el equipo de perforación Pit Viper 271, corresponde a una perforadora rotativa o con martillo en fondo hasta 270 milímetros (10 5/8 pulgadas), cuenta con una capacidad de carga sobre la broca de 34 toneladas y puede perforar un barreno limpio de 16,8 metros (55 pies) en una pasada. La torre Single Pass de 16,8 metros (55 pies) ofrece una capacidad de profundidad total de 32 metros (105 pies) utilizando un carrusel de 2 barras con cuatro barras de 7,62 metros (25 pies).

CMDIC posee 1 perforadora Pit Viper 271, PO-17. El equipo perfora con diámetro de 10 5/8 pulgadas y se utiliza para pozos de producción, también puede ser utilizada en pozos inclinados y auscultamiento. La compañía utiliza una barra por lo que evita tiempos involucrados en cambios de barras para perforar.

### 2.6.3. Flota Sandvick D75KS

Perforadora rotativa Multi Pass, la cual opera con diésel. Perforar pozos con un diámetro de 229 a 279 milímetros (9 a 11 pulgadas) con una profundidad de hasta 53 metros (173 pies).

La compañía cuenta con 2 equipos de este tipo, PO-13 y PO-16, las que se utilizan en pozos de contorno con un diámetro de 7 7/8 pulgadas.

### 2.6.4. Flota Atlas Copco DML

La perforadora DML de Atlas Copco, es un equipo de perforación rotativa Multi Pass montado sobre orugas y con accionamiento hidráulico, diseñado específicamente para barrenos de voladura para producción con profundidades de 53,3 metros (175 pies) con un cambio de barra de 30 pies y de 62,5 metros (205 pies) con un cambio de barra operacional de 10,7 metros (35 pies).

CMIDC posee 3 perforadoras Atlas Copco DML, PO-20, PO-21 y PO-22, las que se utilizan para los pozos de contorno con un diámetro de 7 7/8 pulgadas.

### 2.6.5. Flota CAT MD6640

Corresponde a una perforadora giratoria, eléctrica Single Pass, perfora pozos de diámetro 244 a 406 milímetros (9,6 a 16 pulgadas) con una carga de broca de hasta 64 toneladas. El mástil es de 19,8 metros. Además, perfora agujeros en ángulo de 25° en incrementos de 5°.

Los equipos que posee la compañía de este modelo son 3: PO-23, PO-24 y PO-25, los cuales son utilizados para pozos de producción y operan con un diámetro de 12 ¼ pulgadas.

A modo de resumen se presenta la **Tabla 1**, donde se especifica el símbolo de cada equipo, su modelo y su diámetro.

**Tabla 1:** Resumen de los equipos de perforación con su respectivo modelo, símbolo y diámetro. Fuente: Elaboración propia 2021.

<b>Símbolo Equipo</b>	<b>Modelo Equipo</b>	<b>Tipo de Equipo</b>	<b>Diámetro [pulgadas]</b>
PO01	Bucyrus 49RIII	Eléctrica	12 ¼
PO07	Bucyrus 49 HR	Eléctrica	12 ¼
PO12	Bucyrus 49 HD	Eléctrica	12 ¼
PO13	D75KS	Diesel	7 7/8
PO15	Bucyrus 49 HR	Eléctrica	12 ¼
PO16	D75KS	Diesel	7 7/8
PO17	Pit Viper 271	Diesel	10 5/8
PO18	Pit Viper 351	Diesel	12 ¼
PO19	Bucyrus 49 HR	Eléctrica	12 ¼; 10 5/8
PO20	DML	Diesel	7 7/8
PO21	DML	Diesel	7 7/8
PO22	DML	Diesel	7 7/8
PO23	CAT MD6640	Eléctrica	12 ¼
PO24	CAT MD6640	Eléctrica	12 ¼
PO25	CAT MD6640	Eléctrica	12 ¼
PO26	Pit Viper 351	Diesel	12 ¼

Es importante mencionar que los equipos de perforación expuestos en la **Tabla 1** corresponden tanto para el año 2020 como para el año 2018.

## **2.7. Flota de equipos auxiliares en CMDIC**

### **2.7.1. Camiones Aljibes**

Estos equipos son camiones adosados con un estanque llamado cisterna, el que contiene los distintos líquidos, son equipos de apoyo o también llamados auxiliares utilizados en obras civiles y también en minería, para el regadío de caminos, carpetas de rorado y zonas de trabajo, esta acción se realiza para evitar y controlar la polución presente en el ambiente de trabajo, también son utilizados para el transporte de diferentes tipos de líquidos (H<sub>2</sub>O, leche, combustibles líquidos, gases y también asfalto para caminos).

### 2.7.2. Motoniveladoras

Este equipo es utilizado para repartir, nivelar, cortar o dar la pendiente necesaria a suelos donde se esté realizando una labor de trabajo, también es utilizado para el corte de taludes y así darle la pendiente requerida según el trabajo realizado, es considerado como equipo auxiliar ya que no realiza labores netamente de producción.

### 2.7.3. Retroexcavadoras

Una retroexcavadora es un equipo que posee una cuchara cargadora en la parte frontal. Este cucharón tiene una gran capacidad de carga y puede empujar, nivelar, recoger y cargar diferentes materiales. Al mismo tiempo, el equipo posee en la parte posterior un brazo excavador para cavar. En promedio, este suele tener una profundidad de excavación de 4 metros. Sin embargo, este brazo puede llegar a tener una extensión máxima que llega hasta los 7 metros.

Este completo diseño, que integra dos funciones diferentes en un solo equipo, permite que la retroexcavadora puede desenvolverse en diferentes operaciones.

### 2.7.4. Tractor Neumático y Oruga

En general, todas las operaciones mineras se utilizan equipos de apoyo para realizar las etapas de perforación, tronadura, carguío y transporte, con el principal objetivo de hacer la operación de la mina más segura y eficiente. Uno de estos equipos son los tractores de neumático (wheeldozers) y oruga (Bulldozers), estos últimos son los más conocidos y empleados como unidades de empuje, tanto en minería como en la obra pública. Los tractores de neumáticos se diferencian bastante en su diseño con respecto a los anteriores, además del distinto tren de rodaje, los de oruga tienen un chasis rígido frente al articulado de los de neumático (frecuentemente los tractores neumáticos son una adaptación de las palas cargadoras). La diferencia operativa principal es la fuerza que pueden ejercer para la excavación.

Los tractores son equipos de una gran versatilidad, por lo que su campo de actuación, además del que le corresponde como unidad auxiliar, se centra en los trabajos de arranque y transporte, que son efectuados por el escarificador o riper y por la hoja de empuje respectivamente, los cuales van montados y accionados por el tractor.

El tractor está diseñado para realizar trabajos con la hoja topadora de empuje en corte, acarreo y descarga. Realiza excavaciones, nivelación de sitios, peinados de talud, apilado y desmonte.

A modo de comparación, se presenta la **Tabla 2** donde se visualizan algunas características comparativas de los tractores neumáticos y orugas.

*Tabla 2: Comparación entre las tractores orugas y los tractores neumáticos. Fuente: Elaboración propia 2021.*

<b>Tractores Orugas</b>	<b>Tractor Neumático</b>
Mayor flotación	Mayor movilidad no daña el pavimento
Mayor tracción	Mejor estabilidad con estabilizadores
Mejor movilidad para terrenos difíciles	Nivelación de la maquina con estabilizadores
Mejor función con gran volumen de tierra	Trabaja mejor en un río, suelos granulares

Para conocer los modelos de los tractores se detallarán sus especificaciones técnicas uno a uno.

*Tabla 3: Resumen de los modelos y equipos auxiliares de la compañía, tanto para el año 2018 y 2020. Fuente: Elaboración propia.*

<b>Modelo de Equipo</b>	<b>2018</b>	<b>2020</b>
<b>Camión Aljibe</b>		
Komatsu HD 785	CR04, CR05, CR06, CR07, CR08, CR09	CR04, CR05, CR06, CR07, CR08, CR09
Komatsu 830	CR10	CR10
<b>Motoniveladora</b>		
CAT-16H	MO06, MO07, MO08	MO19
CAT-16M	MO12, MO13, MO14, MO15, MO16	MO12, MO13, MO14, MO15, MO16, MO20
CAT 24H	MO09, MO10	MO09, MO10
CAT 24M	MO17	MO17
CAT 140M	-	MO18
<b>Retroexcavadora</b>		
KMS PC300	RE01, RE02, RE03, RE08, RE09	RE08, RE09
KMS PC600	RE04, RE05, RE06	RE04, RE05, RE06
<b>Tractor Neumático</b>		
CAT 834G	TN08, TN09	TN19
CAT 834H	TN12	TN12
CAT 854G	TN06, TN07, TN10, TN11	-
CAT 854K	TN13, TN14, TN15, TN16, TN17, TN18	TN13, TN14, TN15, TN16, TN17, TN18, TN20, TN21, TN22
<b>Tractor Orugas</b>		
CAT D10R	TO10, TO11, TO12, TO13	TO13, TO27, TO28, TO29
CAT D11R	TO07, TO08, TO09, TO14	TO14

CAT D11T	TO16 TO17, TO18, TO19, TO20, TO21, TO22	TO16 TO17, TO18, TO19, TO20, TO21, TO22, TO24, TO25, TO26
<b>Total de equipos</b>	<b>54 equipos</b>	<b>49 equipos</b>

## 2.8. Norma ASARCO

La Norma ASARCO (American Smelting & Refining Co.) es el marco de referencia utilizado para la definición de definición de conceptos y distribución de los tiempos en que el equipo, máquina o instalación incurren durante la operación. Con los adecuados ajustes a la realidad operacional de la mina, pondera una serie de variables y proporciona indicadores del comportamiento y rendimiento de los equipos empleados a la extracción, beneficio e industrialización de los minerales.

Como es habitual en la industria minera, cada compañía define su propia nomenclatura de medición de los tiempos de operación basado en la Norma ASARCO. En la **Tabla 4** se muestra la diferenciación de tiempos para CMDIC.

*Tabla 4: Tiempos de perforación para Collahuasi, según norma ASARCO. Fuente: Elaboración Propia, 2021.*

<b>Tiempo Nominal</b>			
Tiempo Disponible			Fuera de Servicio
Tiempo Operativo		Demoras Programadas	Reservas
Tiempo Efectivo	Demoras No Programadas		

### 2.8.1. Tiempos para Norma ASARCO

A continuación, se presenta la definición de tiempos para ASARCO.

- **Tiempo Nominal:** espacio de tiempo en que se realiza la medición (espacio muestral). Éste dependerá del tiempo de continuidad de la faena productiva.

- Fuera de servicio (Panne): espacio de tiempo en que el equipo no se encuentra disponible ya sea por una mantención programada o imprevistos de tipo mecánico. También puede llamarsele “tiempo en Panne”.
- Tiempo Disponible: espacio de tiempo en que el equipo se encuentra electromecánicamente habilitado para operar.
- Reserva: espacio de tiempo en que el equipo, estando en condiciones electromecánicas para la operación, no es utilizado en labores productivas, ya sea por falta de operador o superávit de equipos en ese momento.
- Tiempo Operativo: espacio de tiempo en que el equipo se encuentra operado en faena (con operador).
- Demoras Programadas: espacio de tiempo en que el equipo no opera debido a actividades normadas por ley, tales como hora de colación o cambio de turno.
- Demoras No Programadas: espacio de tiempo en que el equipo no opera debido a condiciones propias de la operación o ineficiencias de ésta, tales como carga de combustible de los equipos, acomodo o limpieza de algún lugar de la faena (sitios de carguío, rampas, vías de tránsito), entre otras.
- Pérdidas Operacionales: espacio de tiempo en que el equipo no puede operar, debido a la espera de equipo complementario, por ejemplo: sistemas de cámaras de televisión.
- Tiempo Efectivo: espacio de tiempo en que el equipo se encuentra realizando aquellas tareas para las cuales fue adquirido y diseñado.

## **2.9. Índices Operacionales**

Corresponden a parámetros de medición del desempeño de los equipos o infraestructura, basándose en el uso de los tiempos. También llamados KPI's (Key Performance Indicator), son usados para comprar en un período de tiempo, las metas y objetivos planificados. Además, nos ayudan a: identificar el estado del sistema y a optimizar procesos.

### 2.9.1. Disponibilidad Física (DF)

Corresponde a la fracción del tiempo nominal, medida en porcentaje, en que el equipo o infraestructura se encuentra disponible para operar, es decir, se encuentra en condiciones electromecánicas adecuadas para la operación.

*Ecuación 1: Disponibilidad Física de los equipos de perforación.*

$$DF (\%) = \frac{\textit{Tiempo Disponible}}{\textit{Tiempo Nominal}} * 100\%$$

### 2.9.2. Utilización Operacional (UO)

Corresponde a la fracción del tiempo disponible, medida en porcentaje, en que el equipo o infraestructura se encuentra operando.

*Ecuación 2: Utilización Operacional de los equipos de perforación.*

$$UO (\%) = \frac{\textit{Tiempo Operativo}}{\textit{Tiempo Disponible}} * 100\%$$

### 2.9.3. Utilización Efectiva (UE)

Corresponde a la fracción del tiempo operativo, medida en porcentaje, en que el equipo o infraestructura se encuentra efectivamente produciendo.

*Ecuación 3: Utilización Efectiva de los equipos de perforación.*

$$UE (\%) = \frac{\text{Tiempo Efectivo}}{\text{Tiempo Operativo}} * 100\%$$

2

#### 2.9.4. Rendimiento Operativo

Corresponde al indicador de producción realizada, en metros, por el equipo en una unidad de tiempo operativo.

*Ecuación 4: Rendimiento Operativo de los equipos de perforación.*

$$\text{Rendimiento Operativo} \left( \frac{\text{mts}}{\text{Hop}} \right) = \frac{\text{Metros Perforadas}}{\text{Horas Nominales} * \text{DF} * \text{UO}}$$

## 2.10. Diagrama de Pareto

El Diagrama de Pareto constituye un sencillo y gráfico método de análisis que permite discriminar entre las causas más importantes de un problema (los pocos y vitales) y las que lo son menos (los muchos y triviales).

Las ventajas del Diagrama de Pareto pueden resumirse en:

- Permite centrarse en los aspectos cuya mejora tendrá más impacto, optimizando por tanto los esfuerzos.
- Proporciona una visión simple y rápida de la importancia relativa de los problemas.
- Ayuda a evitar que se empeoren algunas causas al tratar de solucionar otras y ser resueltas.
- Su visión gráfica del análisis de fácil de comprender y estimula al equipo para continuar con la mejora.

Básicamente, el Diagrama de Pareto nos indica que el 20% de las acciones producen el 80% de los resultados, mientras que el 80% que nos resta solamente produciría el 20% de los resultados.

## **2.11. Sistema CAT ® MineStar ™**

Cat ® MineStar ™ es un sistema de software que trabaja en los equipos de perforación, en el que el operador interactúa, ingresando y extrayendo datos necesarios para el correcto funcionamiento del equipo. Se recoge información detallada, en tiempo real, la que sirve para trabajar en pro de una mayor productividad, eficiencia y rentabilidad de la operación.

Algunas ventajas del sistema Cat ® MineStar ™:

- Una visión global de toda la operación con información de la máquina en tiempo real y gestión de la productividad.
- Permite la gestión de la operación de perforación a través del uso de tecnología de guía avanzado.
- Proporciona datos críticos del estado de máquina, ayudando a identificar potenciales problemas en el equipo mucho antes de fracaso.

En este estudio, se extrae información de Cat ® MineStar ™ Fleet V4.0.7 y Cat ® MineStar ™ Terrain.

## **2.12. Ciclo de Gestión de Riesgos**

En Collahuasi, el ciclo de gestión de riesgos se ha convertido en la filosofía cómo, en conjunto con los colaboradores y las empresas de servicios, se entiende que el reducir la incertidumbre de sus procesos, tanto a nivel de la seguridad de los trabajadores propios como en la confiabilidad de sus activos.

El método, en aplicación desde el 2014, ha permitido ir avanzando en minimizar la variabilidad de sus procesos y eliminar la incertidumbre.

Específicamente en el modelo del ciclo de gestión de riesgos, están definidos cuatro grandes ámbitos: planificación, ejecución, verificación y comunicación, y finalmente aprendizaje. A continuación, se puede visualizar las etapas, anteriormente mencionadas, del ciclo de gestión de riesgo.



*Ilustración 3: Ciclo de gestión de riesgos de CMDIC, con sus respectivas etapas. Fuente: Collahuasi.*

En cada ámbito se definen las herramientas respectivas que dan vida al ciclo:

### 2.12.1. Planificación

- La herramienta mapa de procesos que define la cadena de valor de la compañía y sus procesos de apoyo.
- La matriz integrada de riesgos, que permite identificar y evaluar riesgos a nivel de personas, negocio, medio ambiente y comunidad.
- Finalmente, controles y mitigación, estando insertos los estándares de prevención de fatalidades y de seguridad, medio ambiente, salud y operaciones que permiten controlar y minimizar los riesgos en los procesos.

En esta etapa, se debe dar cumplimiento a:

Caja N°1 (Mapa del proceso); confección e identificación de sus mapas de procesos (identificación de su producto o servicio, definición de sus respectivos procesos – subprocesos – actividades – tareas – con sus respectivas entradas y salidas). Se utiliza un instructivo para la confección de

mapas de procesos en las áreas de trabajo CMDIC, se sugiere adoptar un método único como puede ser SIPOC.

Caja N°2 (Matriz de riesgos); confección de matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos asociados a los procesos constructivos a desarrollar acorde al procedimiento “Procedimiento CEO-PES-003 confección matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos CMDIC” de evaluación de riesgos de CMDIC. Se requiere que esta matriz a lo menos incluya por cada proceso, subproceso y/o actividad los riesgos asociados a su respectiva criticidad, ámbito, incorporando controles blandos y duros, según jerarquía de control de riesgos y comprometiendo su efectividad, insertando en su programa aquellas actividades que resulten de revisar requerimientos EPF (estándares de prevención de fatalidades), aprendizaje de incidentes que difunda la vicepresidencia de procesos a través del documento “Aprendizaje de los principales accidentes e incidentes ocurridos en CMDIC asociados a actividades posibles”

Caja N°3 (Planes de mitigación y control); el responsable debe, como resultado de la identificación de peligros y riesgos, confeccionar planes, programas y procedimientos de trabajos e instructivos específicos para asegurar el desarrollo de actividades en terreno incorporando los controles propuestos en Caja N°2, generando lo necesario para controlar los riesgos identificados.

### 2.12.2. Ejecución

La ejecución es el qué y cómo debe considerar un trabajador al realizar las actividades y tareas que las componen, con especial énfasis en la aplicación de los controles antes definidos. Un gran avance en la compañía es que desde mayo 2015 se inició un proceso de construcción de estos documentos con los propios trabajadores.

Caja N°4 (Procedimiento de trabajo); el dueño del proceso deberá asegurar al inicio de la actividad la documentación requerida por el CGR (Ciclo de Gestión de Riesgos) asegurando la materialización de los compromisos y garantizando el entendimiento por parte del personal que ejecuta la actividad. En esta etapa que es el desarrollo y ejecución de lo contratado debe generarse acorde a lo planificado y acorde a la necesidad de desarrollo de la construcción, montaje e implementación de los servicios contratados u otra actividad asociada.

Para la ejecución se debe considerar entre otras lo entregado en los documentos integrantes y el material de desarrollo de ingeniería y diseño, completándose con las experiencias del proponente en buenas prácticas, legislación y normativa vigente como todo aquello que permita asegurar la confiabilidad del proceso de construcción.

Dentro de las herramientas de gestión requeridas y solicitadas por CMDIC son las herramientas de: i) reunión de inicio de turno seguro (RITUS) y ii) las de gestión de riesgos en terreno (GRT).

### 2.12.3. Verificación

Ejecutando a través de herramienta que integra el cumplimiento de estándares antes de efectuar una actividad (Verificación autorización trabajo seguro). Modificado e implementado en Agosto del 2015.

Caja N°5 (Verificación y Autorización); el dueño de área deberá aplicar la herramienta de verificación y de control necesarias para dar fiel cumplimiento a lo contratado y que es reflejo de la planificación previa como ejecución posterior de los trabajos.

Se deben considerar alertas preventivas y de gestión oportuna, a lo menos las que se establecen como “verificación y autorización de trabajo seguro” (V.A.T.S.), documento a través del cual, la supervisión solicitante, ejecutora y dueño de área y/o equipos verifican que los controles establecidos en la etapa de “planificación” del ciclo de gestión de riesgos permiten la ejecución de la actividad con los riesgos controlados y dentro de las herramientas de gestión requeridas solicitadas por CMDIC a lo menos y no excluyentes, las de gestión de riesgos en terreno (GRT), y las identifica en estándares de construcción.

### 2.12.4. Aprendizaje

El aprendizaje retroalimenta constantemente al modelo y se nutre de la investigación de incidentes, la gestión de riesgo en terreno (GRT) y reunión de inicio de turnos seguro (RITUS), estas últimas se realizan diariamente por la supervisión y trabajadores.

El dueño de área deberá asegurar en el desarrollo de sus procesos, la Caja N°6 como partes integrales donde se debe entregar los aprendizajes tanto propios como los que CMDIC difunda a través de su organización, tal como los documento “Aprendizaje de los principales accidentes e incidentes ocurridos en CMDIC asociados a actividades posibles en vicepresidencia de procesos y otra área de la compañía”.

Todo el ciclo, en un ambiente de seguimiento permanente, ha permitido progresar considerablemente en la protección de personas y negocio.

### 3. ESTADO DE LA FLOTA DE PERFORACIÓN

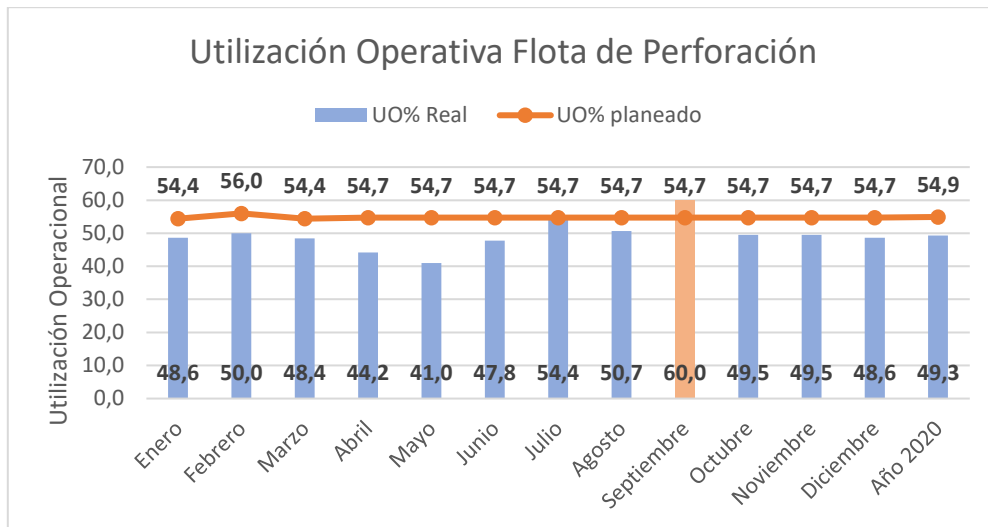
La flota de perforación de la compañía está compuesta por 16 perforadoras, de las cuales 11 son para producción y 5 son equipos de contorno. Lo anterior se especifica en la **Ilustración 4**.



*Ilustración 4: Flota de perforación de CMDIC, donde se muestra los equipos de producción y contorno. Fuente: Informe gestión de perforadora diciembre 2020.*

El estudio de la utilización operacional se centrará en los años 2020 y 2018, lo anterior se debe a que la compañía necesita subir sus indicadores en el año 2020 pero el tiempo indicado no corresponde a un periodo normal, es decir, se ha visto interrumpida su dotación de operadores en planta debido a la pandemia de Covid-19. Es por lo anterior, que se eligió el año 2018 donde las condiciones de trabajo no se vieron afectadas, con el fin de visualizar el comportamiento de los tiempos de la flota de perforación.

Los valores de la utilización operacional esperados para el año 2020 por parte de la compañía se presentan en la **Ilustración 5**.



**Ilustración 5:** Gráfico de la Utilización Operativa de la flota de perforadoras. Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se puede apreciar en la **Ilustración 5**, en el mes de septiembre la utilización operacional superó el valor esperado por la compañía, pero el resto de los meses del año el índice operacional estuvo por debajo de dichos valores. Es aquí donde se presenta un problema para CMDIC ya que el no cumplimiento del Budget durante los meses de año 2020 esto se traduce en pérdidas para la compañía.

### 3.1. Base de datos

Para dar inicio al estudio fue necesario interactuar con la plataforma Cat ® MineStar™ y así extraer los datos requeridos, los cuales corresponden a los tiempos de demoras de los equipos de perforación, más específicamente los tiempos de demoras programadas y reservas de la flota. Lo anterior se justifica debido a que como se expresa en la **Ecuación 2**, la utilización operacional depende del tiempo disponible el cual se divide en tiempo operativo, demoras programadas y reservas, como se especifica en la **Tabla 4**.

Una vez extraídos los datos de las demoras programadas y reservas de los años 2018 y 2020 se conformó la base de datos para iniciar los análisis pertinentes.

### 3.2. Resultados obtenidos de la Data Base

Con el procesamiento de los datos se obtuvo lo siguiente para cada uno de los años en estudio (2018 y 2020). En primer lugar, se tiene el año 2020, donde se especifica la cantidad de horas por cada tipo de estado de los equipos.

*Tabla 5: Tiempos de demoras de la flota de perforación para el año 2020.*

<b>T. Efectivo (hrs)</b>	<b>Demoras No Programadas (hrs)</b>	<b>Demoras Programadas (hrs)</b>	<b>Reservas (hrs)</b>	<b>Pannes (hrs)</b>	<b>Nominal (hrs)</b>
53.665	10.997	24.158	25.013	26.327	140.160
38,3%	7,8%	17,2%	17,8%	18,8%	-

Luego de dividir cada uno de los tipos de demoras y determinar el porcentaje al cual corresponde de las horas nominales, se comenzó a determinar que actividades componen las demoras programadas y reservas. Para ello, se tuvo que realizar un trabajo detallado de separación y agrupación de los datos, del cual se obtuvo la **Tabla 6** y **Tabla 7**.

*Tabla 6: Detalle de las actividades que se clasificaron como reservas de la flota de perforación para el año 2020. Fuente: Elaboración propia 2021.*

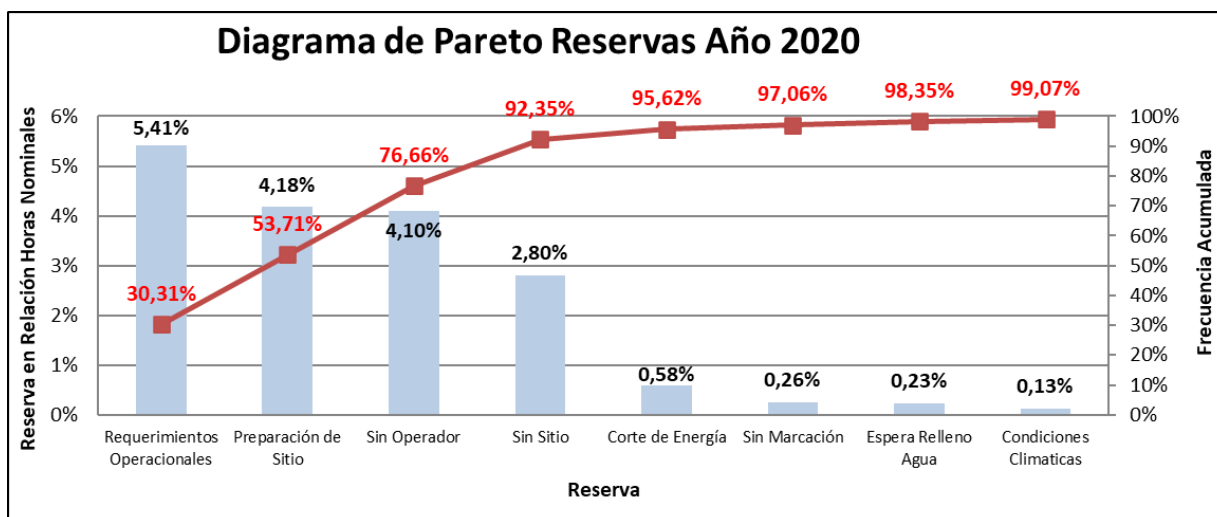
<b>Actividades</b>	<b>Horas</b>	<b>Reserva con relación a Horas Nominales</b>
Requerimientos Operacionales	7580,85	5,41%
Preparación de Sitio	5852,85	4,18%
Sin Operador	5740,17	4,10%
Sin Sitio	3925,16	2,80%
Corte de energía	818,31	0,58%
Sin marcas	358,84	0,26%
Espera relleno de agua	323,68	0,23%
Condiciones climáticas adversas	177,24	0,13%
Espera relleno de combustible	91,10	0,06%
Sin cobertura GPS	81,67	0,06%
Reunión	17,83	0,01%
Otros	16,73	0,01%
Espera cama baja	14,41	0,01%
Sin cobertura DISPACH	5,51	0,00%

Corte energía externo mina	4,27	0,00%
Operador en traslado	0,21	0,00%
<b>Reservas</b>	<b>25.013</b>	<b>17,85%</b>

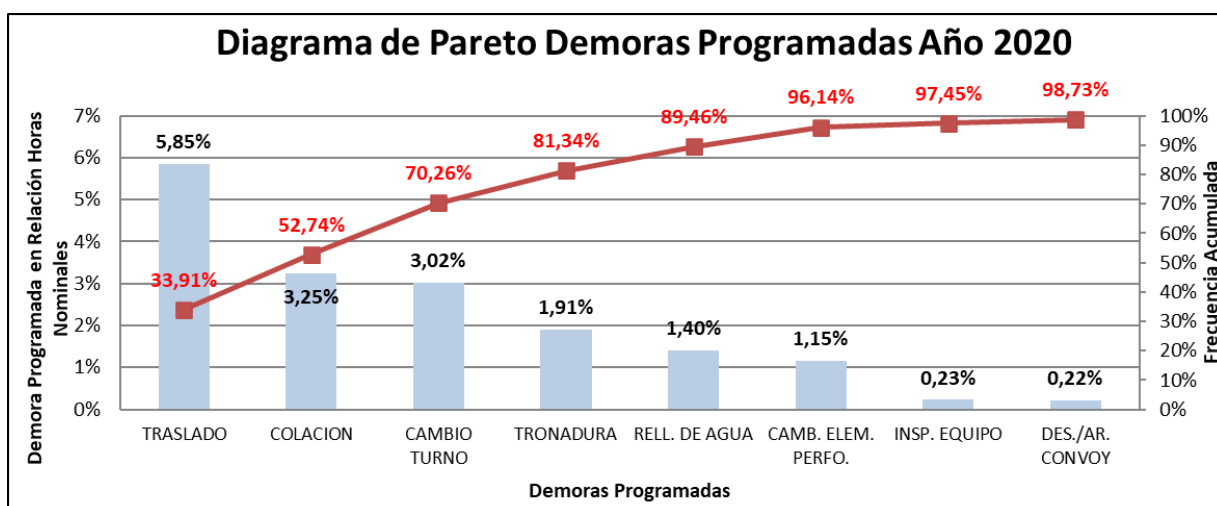
**Tabla 7:** Detalle de las actividades que se clasificaron como demoras programadas de la flota de perforación para el año 2020.  
Fuente: Elaboración propia 2021.

<b>Actividades</b>	<b>Horas</b>	<b>Demoras Programadas con relación a Horas Nominales</b>
Traslado	8192,74	5,85%
Colación	4549,26	3,25%
Cambio de Turno	4232,22	3,02%
Tronadura	2677,21	1,91%
Relleno de agua	1960,08	1,40%
Cambio elemento de perforación	1613,87	1,15%
Armado / Desarme convoy	317,78	0,23%
Relleno de combustible	307,53	0,22%
Inspección del equipo	276,65	0,20%
Rotación de barras	20,28	0,01%
UNDEF	7,39	0,01%
Despeje por tronadura	1,67	0,00%
Relleno de aceite o agua	1,03	0,00%
Tricono tapado	0,58	0,00%
<b>Demoras Programadas</b>	<b>24.158</b>	<b>17,24%</b>

Por otro lado, se realizó un diagrama de Pareto tanto para las demoras programadas como para las reservas de la flota de perforación para el año 2020. Estos diagramas ayudarán a establecer cuáles son las actividades donde se concentra la mayor de cantidad de tiempo sin operar para los equipos. Los resultados obtenidos se visualizan en **Ilustración 6** e **Ilustración 7**.



*Ilustración 6: Diagrama de Pareto de las reservas para el año 2020. Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 7: Diagrama de Pareto de las demoras programadas para el año 2020. Fuente: Elaboración propia.*

Ahora bien, para el año 2018 se realizó el mismo trabajo que para el año 2020 y los resultados se presentan a continuación. La distribución de los tiempos para la flota de perforación para el año 2018 se compone como se muestra en la **Tabla 8**.

*Tabla 8: Tiempos de demoras de la flota de perforación para el año 2018.*

<b>T. Efectivo (hrs)</b>	<b>Demoras No Programadas (hrs)</b>	<b>Demoras Programadas (hrs)</b>	<b>Reservas (hrs)</b>	<b>Pannes (hrs)</b>	<b>Nominal (hrs)</b>
51.739	11.191	22.217	26.437	28.576	140.160
36,9%	8,0%	15,9%	18,9%	18,9%	-

Con relación a las actividades que componen las reservas y demoras programadas están detalladas en la **Tabla 9** y **Tabla 10**.

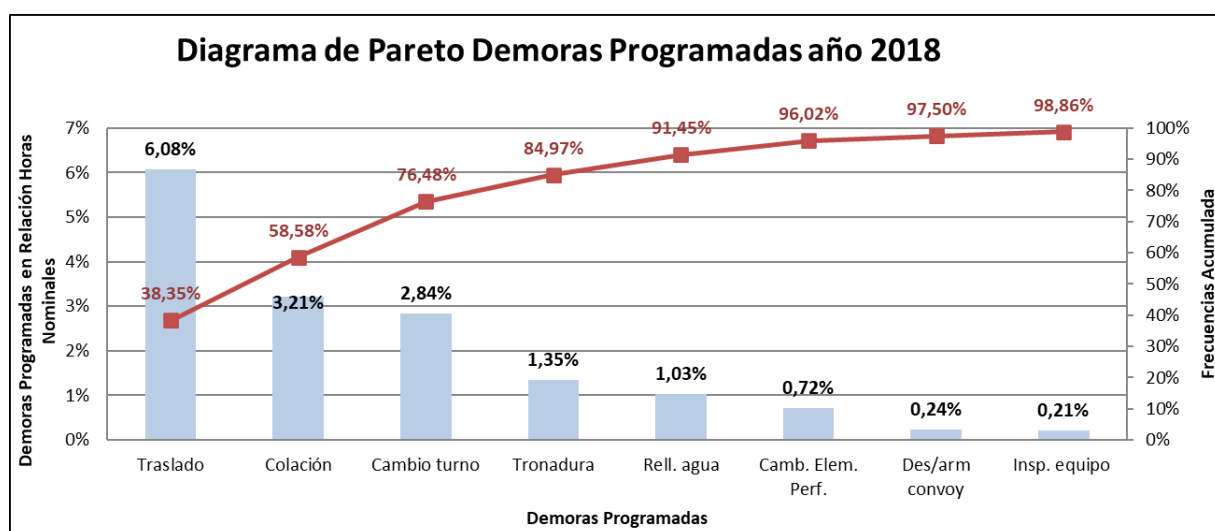
*Tabla 9: Detalle de las actividades que se clasificaron como reservas para la flota de perforación en el año 2018. Fuente: Elaboración propia 2021.*

<b>Actividades</b>	<b>Horas</b>	<b>Reserva con relación a Horas Nominales</b>
Sin sitio	6885,34	4,91%
Requerimientos operacionales	6547,88	4,67%
Preparación de sitio	5647,74	4,03%
Sin operador	4852,68	3,46%
Corte de energía	836,35	0,60%
Condiciones climáticas	709,88	0,51%
Sin marcas	331,13	0,24%
Espera relleno de agua	250,09	0,18%
Espera relleno de combustible	168,35	0,12%
Sin cobertura	124,06	0,09%
Espera cama baja	41,15	0,03%
Otros	38,70	0,03%
Reunión	3,22	0,00%
<b>Reservas</b>	<b>26.437</b>	<b>18,86%</b>

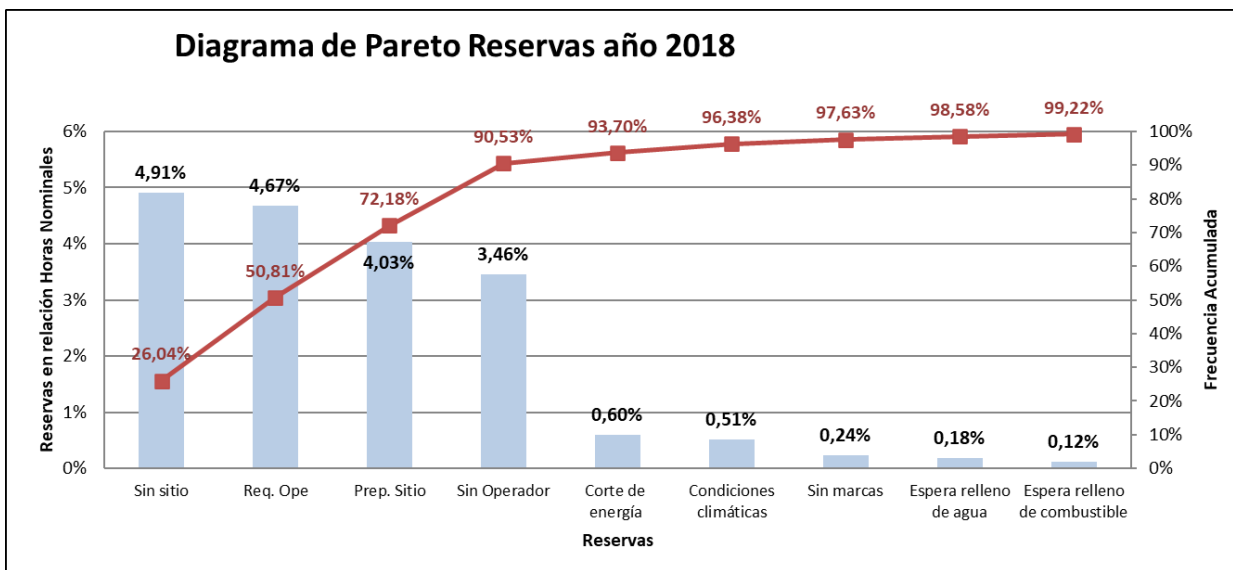
**Tabla 10:** Detalle de las actividades que se clasificaron como demoras programadas para la flota de perforación en el año 2018.  
Fuente: Elaboración propia 2021.

Actividades	Horas	Demoras Programadas con relación a Horas Nominales
Traslado	8519,80	6,08%
Colación	4494,77	3,21%
Cambio de Turno	3977,35	2,84%
Tronadura	1885,80	1,35%
Relleno de agua	1440,24	1,03%
Cambio de elemento de perforación	1013,75	0,72%
Armado/ Desarme convoy	329,97	0,24%
Inspección de equipo	300,85	0,21%
Relleno de combustible	249,06	0,18%
Rotación de barras	5,03	0,00%
Relleno de aceite tricono	0,01	0,00%
Tricono tapado	0,00	0,00%
<b>Demoras Programadas</b>	<b>22.217</b>	<b>15,85%</b>

Para determinar los focos críticos de los tipos de demoras estudiados, se realizaron los diagramas de Pareto correspondientes al año 2018. Estos diagramas se presentan en la **Ilustración 8** e **Ilustración 9**.



**Ilustración 8:** Diagrama de Pareto demoras programadas para el año 2018. Fuente: Elaboración propia.



*Ilustración 9: Diagrama de Pareto reservas para el año 2018. Fuente: Elaboración Propia.*

A modo resumen de las actividades que se consideran como focos críticos de las demoras programadas y las reservas, se presenta la **Tabla 11**.

*Tabla 11: Resumen de las actividades críticas para demoras programadas y reservas de la flota de perforación. Fuente: Elaboración propia 2021.*

Año / Tipo de Demora	Reservas	Demoras Programadas
2018	- Sin sitio	- Traslado
	- Requerimientos operacionales	- Colación
	- Preparación de sitio	- Cambio de turno
	- Sin operador	
2020	- Requerimientos operacionales	- Traslado
	- Preparación de sitio	- Colación
	- Sin operador	- Cambio de turno
	- Sin sitio	

## 4. ANÁLISIS

La compañía propone 3 hipótesis que explicarían el déficit de utilización operacional y que deberían intervenir para lograr su cumplimiento.

En primer lugar, se dispone que el efecto de la pandemia y su impacto en la dotación de operadores en faena disminuyó los tiempos de producción de las perforadoras, produciendo así los bajos valores de utilización operacional. Es por esto por lo que se eligió el año 2018, debido a que no posee ningún tipo de eventualidad en sus tiempos de producción, para realizar una comparación y ver el efecto que tuvo la pandemia en el año 2020.

La distribución de tiempos de perforación se determinó separando y agrupando los tipos de demoras tales como panne, reserva, demora programada y demora no programada, mientras que el tiempo nominal se obtuvo con el cálculo de número de equipos de perforación por las horas que se cuentan para trabajar. Como se visualiza en las **Tabla 5** y **Tabla 8** los tiempos nominales son los mismos, lo cual se debe a que para estos años se contaba con la misma cantidad de equipos de perforación.

Por otro lado, se tiene que los tiempos operativos de los años en estudios son los siguientes: 64.662 horas corresponden al año 2020, mientras que el año 2018 presenta un total de 62.930 horas. Estas horas operativas se traducen en utilidades operacionales similares; 46% para el año 2020 y 45% para el año 2018. Al analizar estos números se puede determinar que en el 2020 se presentan un mayor valor para el tiempo operativo, considerando el mismo número de horas nominales. Con lo anterior es que se descarta esta primera hipótesis de la compañía.

La segunda hipótesis que tenía la compañía es el efecto de la mala categorización en datos de demoras programadas. Para comenzar con el análisis de este punto fue necesario agrupar los tiempos de las demoras programadas para el año 2020. Donde al revisar con atención efectivamente existen actividades mal categorizadas, las cuales son: relleno de agua, relleno de combustible, inspección del equipo, relleno de aceite o agua y tricono tapado. Estos códigos de razón corresponden a demoras no programadas al ser actividades propias del proceso unitario. Lo anterior se corrobora comparando estas actividades con el listado del **Anexo A**: estados para equipos de perforación. Si los tiempos de estas actividades mal imputadas se suman al tiempo operacional existiría un cambio en la distribución de tiempos, el cual se presenta a continuación:

*Tabla 12: Distribución de tiempos del año 2020 corregidos por las demoras programadas. Fuente: Elaboración propia.*

<b>T. Efectivo</b> <b>(hrs)</b>	<b>Demoras No</b> <b>Programadas</b> <b>(hrs)</b>	<b>Demoras</b> <b>Programadas</b> <b>(hrs)</b>	<b>Reservas</b> <b>(hrs)</b>	<b>Pannes</b> <b>(hrs)</b>	<b>Nominal</b> <b>(hrs)</b>
53.665	<b>13.543</b>	<b>21.611</b>	25.013	26.327	140.160
38,3%	<b>9,7%</b>	<b>15,4%</b>	17,8%	18,8%	-

Como se puede apreciar en la **Tabla 12**, el tiempo para las demoras no programadas subió en 2.547 horas, las que correspondían a las actividades mal categorizadas. Al cambiar la distribución de tiempo es coherente decir que la utilización operacional también cambiará. Este cambio se traduce de un 46% a un 48%, el cual no es suficiente para llegar al valor planificado por la compañía. Por lo tanto, esta hipótesis también es descartada.

La tercera hipótesis corresponde al efecto de la mala categorización en datos de reservas. Una vez agrupados los tiempos de reservas, se comienza con la minuciosa revisión de los códigos de razón clasificados como reservas. Donde efectivamente existen actividades mal imputadas tales como: corte de energía, espera relleno de agua, espera relleno de combustible y corte de energía externo mina. Al igual que en el caso de las demoras programadas, estos tópicos deberían estar categorizados en la sección de demoras no programadas. Es por esto por lo que se realiza la correcta clasificación de estos tiempos en el tipo de demora que corresponde, dando así una nueva distribución de tiempos.

*Tabla 13: Distribución de tiempos del año 2020 corregidos por las reservas. Fuente: Elaboración propia.*

<b>T. Efectivo</b> <b>(hrs)</b>	<b>Demoras No</b> <b>Programadas</b> <b>(hrs)</b>	<b>Demoras</b> <b>Programadas</b> <b>(hrs)</b>	<b>Reservas</b> <b>(hrs)</b>	<b>Pannes</b> <b>(hrs)</b>	<b>Nominal</b> <b>(hrs)</b>
53.665	<b>14.780</b>	<b>21.611</b>	<b>23.776</b>	26.327	140.160
38,3%	<b>10,5%</b>	<b>15,4%</b>	<b>17,0%</b>	18,8%	-

En la **Tabla 13**, se puede verificar como 1.237 horas fueron recategorizadas desde las reservas a las demoras no programadas. Esta nueva clasificación de las actividades mencionadas anteriormente tiene una repercusión en el índice operacional, el cual tuvo un aumento de 48% a un

48,8%. Donde este número no es suficiente para alcanzar el valor planificado por la compañía. Es por este que esta hipótesis es descartada.

Los diagramas de Pareto fueron realizados con la finalidad de conocer los focos críticos tanto para las reservas como para las demoras programadas, ya que según la teoría se enfocará el estudio en el 20% de las actividades que produzcan el 80% de los cambios. Basándose en esto, los diagramas arrojaron que los focos críticos son los presentados en **Tabla 11**. Como se puede apreciar las actividades críticas se repiten en los dos años analizados lo cual da una idea general de la flota de perforación. Si se analiza más a fondo, las reservas para ambos años corresponden a actividades relacionadas con el trabajo previo a comenzar la perforación, es decir, servicios mina. Lo anterior se justifica debido a que las actividades sin sitio y preparación de sitio hacen alusión exclusiva a la falta de patio que tiene las perforadoras para trabajar, mientras que el código de razón sin operador se refiere a que el operador se debe bajar de la perforadora para así preparar su patio, ya que el personal de perforación se comparte con el de servicios mina.

En relación con las demoras programadas, las actividades son las mismas en ambos años y no entrega información sobre el proceso mismo de la perforación, en lugar de eso indica los tiempos que se disponen en actividades ajenas al proceso mismo de la perforación, es decir, tiempo invertido en el traslado de los trabajadores ya sea para su hora de colación y el cambio de turno correspondiente.

Debido a que las hipótesis presentadas por la compañía fueron descartadas y tomando en consideración los focos críticos que arrojaron los diagramas de Pareto, es que se desarrollará una nueva hipótesis: la causa es la falta de sitio para perforar.

## 5. NUEVA HIPÓTESIS: FALTA DE SITIO PARA PERFORAR

Esta nueva hipótesis propone que los valores de la utilización operacional no se cumplieron debido a que los equipos de perforación no tenían sitio para perforar. Es por esto por lo que se realizará el análisis de las reservas, ya que en esta categoría los equipos se encuentran operativamente listos para realizar sus funciones. Se escogió el mes de diciembre del año 2020 como muestra del análisis con el fin de simplificar los cálculos, ya que como se pudo observar el comportamiento de la flota de perforación fue análogo en todos los meses del año 2020. El detalle de las reservas para el mes de control es el siguiente:

*Tabla 14: Detalle de las actividades que se clasificaron como demoras programadas para la flota de perforación en el mes de diciembre del 2020. Fuente: Elaboración propia.*

Actividades	Horas	Reserva con relación a Horas Nominales
Requerimientos operacionales	827,94	6,96%
Preparación de Sitio	430,21	3,61%
Sin Sitio	350,19	2,94%
Sin Operador	101,12	0,85%
Sin Cobertura GPS	21,51	0,18%
Corte de Energía	18,80	0,16%
Sin Marcación	9,85	0,08%
Reunión	4,49	0,04%
Espera Relleno Combustible	0,88	0,01%
Condiciones Climáticas	0,32	0,00%
<b>Reservas</b>	<b>1765,31</b>	<b>14,83%</b>

Como se puede observar en la **Tabla 14** las actividades de preparación de sitio y sin sitio vuelven a aparecer dentro de las actividades más influyentes en las reservas. Ahora bien, la interrogante que surge es ¿por qué no hay sitio para operar? La respuesta es muy directa, y es porque servicios mina no ha entregado los sitios para que los equipos puedan operar.

Recordemos que la Vicepresidencia Mina esta a cargo de servicios mina, perforación & tronadura, carguío y transporte, donde los operadores son destinamos en primer lugar a las áreas de carguío y transporte, luego para perforación & tronadura y finalmente a servicios mina, la cual se encarga de actividades como desarrollo de rampas, limpieza de bermas, plataformas de perforación, reparación

de caminos, entre otros. Hay ocasiones donde carguío y transporte necesita de más operadores para cumplir con sus planes de producción, y estos operadores son sacados del área de servicios mina dejando en pausa sus actividades. Es aquí donde el efecto dominó repercute en la flota de perforación ya que servicios mina no puede terminar los sitios para que éstas puedan realizar sus operaciones.

¿Cómo es que la falta de sitio para perforar puede influir en la capacidad de producción de la flota de perforación? Esta interrogante aparece de manera natural si consideramos que las perforadoras se encuentran en estado de reserva porque no están los patios de perforación listos para que se pueda operar. La capacidad de producción se mide según la demanda de perforación, que corresponde a la cantidad de metros que debe perforar la flota de perforación. Para esto será necesario examinar minuciosamente cuales fueron las mallas perforadas por los equipos y así determinar los metros perforados (toneladas perforadas) y los metros diseñados (toneladas diseñadas), los cuales se conocen por las dimensiones de la malla de perforación, más específicamente el burden y espaciamientos ya que con estos datos más el largo de la perforación se puede conocer el volumen de influencia de la tronadura. Lo anterior resulta muy útil debido a que se trabajará bajo el concepto de toneladas diseñadas y toneladas requeridas.

En la **Tabla 15** se visualiza el resultado de los cálculos, tanto para metros y toneladas de diseño y perforación como para la diferencia que existió entre éstas últimas.

*Tabla 15: Valores de toneladas diseñadas y perforadas para el mes de diciembre del año 2020. Fuente: Elaboración propia 2021.*

	<b>Metros diseñados [m]</b>	<b>Metros perforados [m]</b>	<b>Toneladas diseñadas [kton]</b>	<b>Toneladas perforadas [kton]</b>	<b>Toneladas faltantes [kton]</b>
<b>Total Diciembre 2020</b>	102.297	98.725	266	257	9

Se está en lo correcto decir que la flota de perforación estuvo en reserva 780,40 horas porque el patio de perforación no estaba listo para que se perforará, pero si en lugar de estar en reserva ese tiempo se hubiese estado perforando, ¿es posible que la demanda de perforación se cumpliera?

Para conocer la respuesta a esta interrogante es necesario determinar cuantos metros se perforarían en el tiempo que se estuvo en reserva por preparación de sitio (430,21 horas) y sin sitio (350,19 horas). Es importante saber que para el mes de diciembre del 2020 la flota de perforación tuvo una

razón de 0,64 metros perforados por minuto. Con este valor se puede calcular las toneladas perforadas, las cuales se sumarían al total de toneladas entregadas para el mes de diciembre.

**Tabla 16:** Toneladas perforadas en tiempo de reserva. Fuente: Elaboración propia 2021.

<b>Reserva</b>	<b>Horas de reserva</b>	<b>Toneladas perforadas [kton]</b>
<b>Preparación de Sitio</b>	430,21	43
<b>Sin Sitio</b>	350,19	35
<b>Total</b>	780,40	78

Con los valores expuesto en la **Tabla 16** y conociendo que las toneladas faltantes para completar la demanda de perforación en el mes de diciembre del 2020 fueron 9 [kton], es preciso afirmar que si las perforadoras no se hubiesen encontrado en reserva por preparación de patio o por no tener sitio donde perforar se hubiese cumplido con el plan de perforación e incluso existiría una holgura en dicha demanda.

Por otro lado, el impacto que se tendría en la utilización operacional si en dichas horas se hubiese estado perforando sería el siguiente:

**Tabla 17:** Valores de la utilización operacional para los distintos escenarios. Fuente: Elaboración propia 2021.

<b>UO%</b>	<b>UO%</b>	<b>UO%</b>	<b>UO%</b>
<b>Mes Diciembre</b>	<b>Preparación de sitio</b>	<b>Sin sitio</b>	<b>Total</b>
48,6%	52,6%	51,8%	55,8%

Como se puede visualizar en la **Tabla 17**, el aumento de la utilización operacional es del 4,0% para la actividad de preparación de sitio mientras que para sin sitio es de 3,2%. Esto considerando que las horas presentadas en la **Tabla 16**, se trabajaran en su totalidad.

Con todo lo expuesto hasta aquí se tiene que la solución para los valores bajos de utilización operacional en la flota de perforación es priorizar trabajos de servicios mina para garantizar disponibilidad de sitio para perforar.

## 6. CONCLUSIONES

Las 3 hipótesis planteadas por la administración para explicar los bajos valores de la utilización operacional son las siguientes: efecto pandemia, efecto de la mala categorización en datos de las demoras programadas y efecto de la mala categorización en datos de las reservas.

En relación con el efecto de la pandemia es que el estudio se centro en los años 2020 y 2018, donde la distribución de tiempos para cada uno de ellos indicó que el tiempo nominal es exactamente igual el cual corresponde a 140.160 horas, mientras que el tiempo operativo es mayor en el año 2020. Estos valores indican que el hecho de la disminución de operadores en faena producto de la pandemia no interfirió en los tiempos de producción de los equipos, por lo que la primera hipótesis fue descartada.

Para la segunda hipótesis, se realizó la correcta categorización de las actividades mal clasificadas y esto conllevó a una disminución del tiempo de las demoras programadas y a un aumento del tiempo de demoras programadas a 13.543 horas. Esta nueva composición de tiempos de demoras no fue suficiente para lograr el valor planeado de utilización operacional, ya que el índice operacional subió de 46% a 48%. Por lo tanto, esta hipótesis también fue rechazada.

La hipótesis de efecto de la mala categorización en datos de reservas se reclasificaron las actividades corte de energía, espera de relleno de agua, espera de relleno de combustible y corte de energía externo mina en demoras no programadas, lo que produjo un nuevo aumento del tiempo de esta demora a 14.780 horas, además, de producir un aumento de la utilización operacional de 48% a 48,8%. Como se puede ver el nuevo valor alcanzado para la UO no es suficiente para alcanzar el planificado de 54,9%, por lo que se descarta esta hipótesis.

Con el fin de proponer una nueva hipótesis: la falta de sitio para perforar es que se analizaron las reservas para el mes de diciembre, donde salieron nuevamente las actividades preparación de sitio y sin sitio dentro de las más influyentes con un total de 780,40 horas de reserva.

Si se logra recuperar ese tiempo de reserva, donde el equipo se encuentra en óptimas condiciones para operar, se adicionarían 78 [kton] a la producción del mes de diciembre que tenía un déficit de 9 [kton], cumpliendo ampliamente la demanda de perforación para el mes en control, además, de aumentar la utilización operacional de 48,6% a 55,8% superando el valor planificado por la administración de un 54,9%.

Es aquí donde queda en manifiesto que el problema de la utilización operacional de la flota de perforación no es intrínseco del proceso de perforación, sino más bien del proceso anterior a éste

el cual corresponde al área de servicios de mina. Esto se debe a que, si los equipos contaran con los patios de perforación listos y dispuestos para operar, se cumpliría con la demanda de perforación y con las planificaciones de la utilización operacional.

Es por esto por lo que se propone priorizar trabajos de servicios mina para garantizar disponibilidad de sitio para perforar.

## **7. RECOMENDACIONES**

Para evitar que la utilización operacional no alcance los valores planificados nuevamente, se plantean las siguientes recomendaciones: disminuir las opciones de registro de datos al operador y proponer un menú para evitar la mala categorización de las actividades en los distintos tipos de demoras, y priorizar trabajos de servicios para garantizar disponibilidad de sitio para perforar.

## 8. REFERENCIAS

- [1] Carola Cerda Zamudio. (2016). Análisis de riesgo asociado a incertidumbre operacional en planes mineros para minería a cielo abierto. Santiago de Chile
- [2] Carolina Jara Galleguillos. (2017). Desarrollar y validar una metodología de implementación de proyectos operacionales en la VP procesos, que responda al ciclo de gestión de riesgos de compañía minera Doña Inés de Collahuasi. Santiago de Chile.
- [3] CAT. (2012). Motor Grader 16H.
- [4] CAT. (2002). Motor Grader 16m.
- [5] CAT. (2002). Motor Grader 24M.
- [6] CAT. (2002). Motor Grader 140H.
- [7] CAT. (2002). Motor Grader 24H.
- [8] CAT. (2012). Tractor topador de ruedas 854K.
- [9] CAT. (2010). Tractor de Cadenas D11T/D11T CD.
- [10] Enaex Servicios S.A. (2021). Manual parámetros de diseño de perforación de tronaduras en rajo Rosario. Iquique.
- [11] Komatsu. (2010). Electric Drive Truck 830E-AC.
- [12] Komatsu. (2010). Electric Drive Truck HD785-7E.
- [13] Komatsu. (2010). Electric Drive Truck HD785-7.
- [14] Komatsu. (2010). Excavadora Hidráulica PC300-8 PC300LC-8.
- [15] Komatsu. (2010). Excavadora Hidráulica PC600-6.
- [16] López Jimeno. (2003). Manual de perforación y voladura de rocas. Madrid. Instituto Geológico y Minero de España.
- [17] Valeria González Vargas. (2018). Modelo evaluativo para el cálculo de flota de equipos de carguío y transporte en compañía minera Doña Inés de Collahuasi. Santiago de Chile.

# ANEXO A: ESTADOS PARA EQUIPOS DE PERFORACIÓN

La compañía utiliza para definir y distribuir los tiempos en que el equipo incurre durante la operación, la norma ASARCO (American Smelting & Refining Co). Los códigos empleados en el proceso de perforación y asociados a la norma ASARCO son:

## **Tiempo Efectivo:**

- Perforando
- Retiro de la barra de perforación

## **Demoras No Programadas:**

- Aseo maquinas
- Atrapamiento de aceros
- Cambio fila
- Cambio malla
- Cambio pozo
- Corte energía por requerimiento operacional
- Espera relleno agua
- Incidente/ Accidente
- Movimiento de cables
- Operador en instrucción
- Servicio higiénico
- System off
- Tricono tapado
- Inspección de equipo
- Relleno aceite tricono
- Relleno agua
- Relleno de combustible
- Sin cobertura GPS
- Corte de energía externas

- Espera relleno combustible

**Demoras Programadas:**

- Cambio elemento de perforación
- Cambio turno
- Colación
- Armado/ Desarme convoy
- Rotación de barras
- Traslado
- Tronadura

**Reservas:**

- Condiciones climáticas adversas
- Espera cama baja
- Preparación de sitio perforación
- Requerimientos operacionales
- Reunión
- Sin marcas sin operador
- Sin sitio de perforación

**Panne o Fuera de servicio:**

- Panne de mantención
- Panne eléctrica
- Panne GSO
- Panne mantención programada
- Panne mecánica
- Panne operacional