



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“EVALUACIÓN DE LAS BROCAS TRICÓNICAS WLS 50-60-70 Y MT 60-70 EN RELACIÓN A LA PRODUCTIVIDAD Y COSTOS DE PERFORACIÓN DE UNA EMPRESA MINERA, CAJAMARCA 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Engels Rodrigo, Arribasplata Horna

Gian Carlos, Alvarado Gálvez

Asesor:

Ing. Rafael Napoleón, Ocas Boñon

Cajamarca - Perú

2020

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación está dedicado a nuestras familias, en especial a nuestros padres, abuelos y hermanos que son las personas que más amamos, quien con su amor y esfuerzo nos han permitido poder lograr nuestros objetivos, gracias por habernos inculcado el ejemplo de valentía y humildad.

Finalmente queremos dedicar este trabajo a todos nuestros amigos y demás personas que nos han apoyado en los momentos difíciles, siempre los llevaremos en nuestros corazones.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A nuestras madres quien han luchado para que podamos llegar a ser profesionales y habernos siempre guiado por el buen camino.

Así mismo agradecer a todas las personas que nos han apoyado y han hecho que este trabajo se realice con éxito, en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

## TABLA DE CONTENIDO

<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>RESUMEN.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>18</b>
2.1. Tipo de investigación .....	18
2.2. Población y muestra. ....	19
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	19
2.4. Procedimiento .....	21
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
3.1. Resultados del análisis entre el total de metros perforados con las brocas WLS 50-60-70 y MT 60-70.....	27
3.1.1. <i>Resultado del total de metros perforados por las brocas WLS 50-60-70</i> 277	
3.1.2. <i>Resultado del total de metros perforados por las brocas MT 60-70</i> .....	30
3.2. Resultados del análisis comparativo entre la duración de las brocas 9 7/8” y 10 5/8” en los tres tipos de terreno presente .....	33
3.2.1. <i>Duración de las brocas WLS con diámetro 9 7/8” y 10 5/8”</i> .....	34
3.2.2. <i>Duración de las brocas MT con diámetro 9 7/8” y 10 5/8”</i> .....	38
3.3. Resultados del análisis comparativo entre el costo de perforación y costo de las brocas WLS 50-60-70 con las MT 60-70.....	44
3.3.1. <i>Costo de Brocas WLS y MAMMOTH</i> .....	44
3.3.2. <i>Costo hora de equipos de perforación.</i> .....	45
3.3.3. <i>Costo de perforación (TDC)</i> .....	46

<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>54</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Total de metros perforados-roca suave WLS 50.....	27
Tabla 2: Total de metros perforados-roca media WLS 60.....	28
Tabla 3: Total de metros perforados-roca dura WLS 70.....	29
Tabla 4: Total de metros perforados-roca suave MT 60.....	30
Tabla 5: Total de metros perforados-roca media MT 60.....	30
Tabla 6: Total de metros perforados-roca dura MT 70.....	31
Tabla 7: Total de producción en metros perforados de las brocas WLS y MT.....	32
Tabla 8: Duración de las brocas WLS 9 7/8” roca-suave.....	34
Tabla 9: Duración de las brocas WLS 10 5/8” roca-suave.....	34
Tabla 10: Duración de las brocas WLS 9 7/8” roca-media.....	35
Tabla 11: Duración de las brocas WLS 10 5/8” roca-media.....	35
Tabla 12: Duración de las brocas WLS 9 7/8” roca-dura.....	37
Tabla 13: Duración de las brocas WLS 10 5/8” roca-dura.....	37
Tabla 14: Duración de las brocas MT 10 5/8” roca-suave.....	38
Tabla 15: Duración de las brocas MT 9 7/8” roca-media.....	39
Tabla 16: Duración de las brocas MT 10 5/8” roca-media.....	39
Tabla 17: Duración de las brocas MT 9 7/8” roca-dura.....	40
Tabla 18: Duración de las brocas MT 10 5/8” roca-dura.....	41
Tabla 19: Total de producción en metros perforados de las brocas 9 7/8” y 10 5/8” de WLS y MT.....	42
Tabla 20: Costo de las brocas WLS y MAMMOTH.....	44
Tabla 21: Costo hora de equipos de perforación.....	45
Tabla 22: Costo de perforación WLS y MAMMOTH.....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Formato para la toma de datos de perforación. ....	21
Ilustración 2: Perforadora DML-Atlas Copco. ....	22
Ilustración 3: Perforadora Pit Viper-Atlas Copco. ....	23
Ilustración 4: Broca desgastada por la operación del tricono. ....	24
Ilustración 5: Brocas WLS 50-60-70. ....	24
Ilustración 6: Broca tricónica MAMMOTH. ....	25
Ilustración 7: Producción de metros perforados brocas WLS VS Mammoth .....	33
Ilustración 8: Comparación de la duración de brocas WLS 9 7/8” Vs 10 5/8” roca suave .	34
Ilustración 9: Comparación de la duración de brocas WLS 9 7/8” Vs 10 5/8” roca media	36
Ilustración 10: Comparación de la duración de brocas WLS 9 7/8” Vs 10 5/8” roca dura	38
Ilustración 11: Comparación de la duración de brocas MT 9 7/8” Vs 10 5/8” roca media	40
Ilustración 12: Comparación de la duración de brocas MT 9 7/8” Vs 10 5/8” roca dura ....	42
Ilustración 13: Producción de metros perforados por las brocas 9 7/8” y 10 5/8” de WLS Vs las brocas 9 7/8” y 10 5/8” de MAMMOTH .....	43
Ilustración 14: Comparación del costo de las brocas WLS y MAMMOTH .....	44
Ilustración 15: Comparación del costo hora de equipos PIT VIPER y DML. ....	45

## RESUMEN

Este trabajo se desarrolló con la finalidad de identificar cuál de los dos tipos de brocas tienen una mejor productividad de taladros tomando en cuenta su costo y el TDC. Inicialmente, se contaba con dos empresas proveedoras WLS y MAMMOTH; las cuales proporcionaban brocas triconicas de tipo WLS 50-60-70 y MT 60-70 respectivamente, en el proceso de perforación la productividad de ambas tenía una diferencia significativa, por lo que se realizó el análisis comparativo entre el total de metros perforados con las brocas WLS 50-60-70 y las MT 60-70, las cuales obtuvieron un total de 222,090.18 m y 178,608.71 m respectivamente, estas cifras se obtuvieron sumando el total de metros perforados por cada broca en los 3 diferentes tipos de roca en el periodo de agosto a diciembre del año 2019.

De la misma forma los resultados obtenidos del análisis comparativo realizado entre los datos de la productividad de las brocas triconicas de 9 7/8” y 10 5/8” se obtuvo que tienen un periodo de duración estimado de 69,017.84 m las WLS de 9 7/8” y 153,072.34 m las WLS 10 5/8”; así como 24,614.68 m las brocas de MT de 9 7/8” y 153,994.03 m las brocas de MT de 10 5/8”.

Por último, se analizó los costos de las brocas y el TDC que generan tomando en cuenta la perforadora y los tipos de terreno presentes en la operación.

**Palabras clave:** Broca WLS, broca MT, producción, metros perforados, costo de perforación, TDC.



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La broca es la parte principal que se utiliza durante la perforación, tiene como función romper o dividir y está diseñado de acuerdo a su aplicación. En minería las brocas triconicas son indispensables, ya que son un sistema de tres brocas cónicas que trabajan independientemente, esto genera una mejor penetración de la roca, López (1980), nos dice que la broca triconica es la herramienta localizada en el extremo inferior de la sarta de perforación que se encarga de realizar el corte al macizo rocoso, durante el proceso de perforación rotativa, por efecto de la presión axial y rotación. Está conformado por tres conos rodantes que tienen insertos de carburo de tungsteno. Esta herramienta apareció en 1910, sin embargo, su utilización masiva se introdujo cuando se perfeccionaron los equipos de rotación en la década de los 60. Este tipo de perforación al principio se utilizó en rocas blandas o de poca resistencia, pero actualmente estos sistemas ya son competitivos en rocas duras. Con este sistema de perforación se alcanzan buenos rendimientos, del orden de 60-100 m/turno, en profundidades de hasta 200 m. Se utiliza en ingeniería civil con diámetros entre 100 y 300 mm. Sin embargo, estos límites se superan, por ejemplo, en perforaciones petrolíferas, donde en España se han superado los 4500 m de profundidad.

Según el Brochure de brocas triconicas Atlas Copco, tercera edición 2013, las brocas triconicas cuentan con tres conos cortadores que giran sobre su propio eje. Varían de acuerdo a su estructura de corte, y pueden tener dientes de acero fresados o de insertos de carburo de tungsteno siendo este último el que se detallará.

El trabajo que realiza las brocas triconicas se basa en la combinación de dos acciones:

**Indentación:** Los insertos del tricono penetran en la roca debido al empuje (Pulldown) sobre la roca. Este mecanismo equivale a la trituración de la roca.

**Corte:** Los fragmentos de la roca se forman debido al movimiento lateral de desgarre de los conos al girar sobre el fondo del taladro.

Los diferentes modelos de triconos de insertos son:

**Serie 40**, para formaciones suaves.

**Serie 50**, trabaja en formaciones suaves y medianas.

**Serie 60**, utilizados en formaciones medias.

**Serie 70**, usado en formaciones duras.

**Serie 80**, utilizado en formaciones muy duras.

La empresa dónde se tomaron los datos de campo presentaba algunos problemas durante el proceso de perforación. Inicialmente, se contaba con dos empresas proveedoras WLS y MAMMOTH; las cuales proporcionaban brocas triconicas de tipo WLS 50-60-70 y MT 60-70 respectivamente, en el proceso de perforación la productividad de ambas tenía una diferencia significativa, por lo que se decidió realizar un análisis comparativo para corroborar la productividad con relación a los costos de las brocas y así identificar la más óptima para el proceso extractivo de mineral en los tres tipos de terrenos presentes (suave, medio y duro). El seguimiento del rendimiento de las brocas se realizó durante el periodo de agosto hasta diciembre del año 2019, para lo cual se utilizaron los datos de las 2 perforadoras (DML y PIT VIPER) que se encuentran operativas.

Las brocas triconicas del proveedor WLS se presentan en las siguientes calidades:

**WLS 50:** Para roca suave tienen rodamientos pequeños e insertos largos. Los insertos están separados y los conos tienen un descentramiento grande para producir un efecto de desgarre elevado.

**WLS 60:** Para roca media presentan cojinetes de tamaño medio. La proyección de los insertos, espaciamiento y descentramiento son menores que en los triconos de formaciones blandas.

**WLS 70:** Para roca dura poseen cojinetes grandes, insertos cortos, resistentes y muy próximos unos de otros. Los conos tienen muy poco descentramiento para aumentar el avance por trituración, requiriéndose empujes muy importantes.

Por otro lado, las brocas triconicas del proveedor MAMMOTH poseen cojinetes grandes e insertos fabricados a base de carburo de tungsteno, la broca tricónica MT 60 se utiliza en terreno suave y medio, la MT 70 en terreno duro. Por ello, se debe seleccionar las brocas triconicas según las necesidades que se tengan y así poder conseguir una mayor productividad en la perforación.

Se entiende por productividad a la relación entre los recursos empleados y el resultado obtenido. El objetivo siempre es conseguir el máximo resultado posible con el mínimo de recursos, Marcelo (2014), nos indique que en el campo de la industria petrolera la productividad del pozo es un aspecto muy importante, ya que podemos planificar el desarrollo de los sistemas de producción, la instalación de equipos de levantamiento artificial y el costo económico de un determinado yacimiento.

Luisa (2015), comenta que uno de los temas que más interesan a los industriales de talleres pequeños o grandes, es como obtener un mayor rendimiento de sus equipos,

por ello, a continuación, se mencionan algunos factores que le ayudarán a aprovechar de una manera óptima sus herramientas y mejorar su productividad:

Aplicación adecuada de la broca.

Condiciones de la maquina a taladrar.

Condiciones adecuadas de la broca.

Valdés y Silvia (2016) indican que revisar el rendimiento de la broca es importante ya que eso le puede ofrecer información crítica que le ayudará a encontrar la broca correcta y mejorar la productividad. A fin de mejorar la estimación de la productividad de las perforadoras, se define que el rendimiento está afecto al tipo de roca y a la fase, mientras que la utilización efectiva es escrita en función de las demoras no programadas: traslado, tronadura, espera agua, cambio de aceros, corte de energía necesaria para la operación, espera de sitio para perforar y espera de energía/combustible.

La vida útil y productividad de una broca es muy importante, de ello depende los costos que se van considerar en el proceso de perforación, Wilson (2013), nos indica que el rendimiento de una broca se ve afectado por varias características de la formación rocosa incluyendo su resistencia. Quizás la manera más simple de seleccionar el tricono adecuado sea determinar el tipo de formación que se va a perforar, en cualquier caso, el método final para determinar el tipo de tricono es la experiencia que está dando la actual perforación. En las formaciones muy blandas los pesos se pueden reducir y todavía producir un buen rendimiento, el mejor método de determinar el peso óptimo sobre el tricono es dictado por la práctica de la perforación en cada caso. La velocidad de rotación variará en cada caso entre 50 a 80 R.P.M el aumento de la velocidad de

rotación aumentará la velocidad de penetración, pero al mismo tiempo aumentará el desgaste de los rodamientos y la estructura de corte, este efecto deberá ser observado en el proceso de evaluación de los resultados de variaciones de velocidad.

Todo equipo o accesorio que intervenga en algún proceso dentro de las operaciones que se realizan en mina, debe contar con un cronograma de mantenimiento para prolongar su vida útil, así como evitar algún percance generando tiempos muertos y pérdidas económicas para la empresa. Según Carhuavilca (2010), las maquinarias debido a su uso tienen un desgaste natural y van perdiendo su valor a través del tiempo, se les efectúe un adecuado mantenimiento o no, la productividad de las mismas tiende a disminuir y por ende los costos de mantenimiento y reparación son cada vez mayores, hasta llegar a un momento en que estas se consideren obsoletas; por lo que su propietario deberá preparar sistemáticamente un fondo de reserva, que permita restituir oportunamente dicho equipo; por uno nuevo o por cualquier otro equipo. Es importante indicar, así mismo, que para el análisis del costo de hora-máquina que se divulgan en las diferentes publicaciones especializadas; se consideran condiciones medias o promedio de trabajo; por lo que, cada vez que se está presupuestando un proyecto de obra, será necesario estudiar con cuidado las condiciones de trabajo y hacer las correspondientes modificaciones a las tarifas; utilizando para ello la experiencia y el sentido común del ingeniero encargado de elaborar el presupuesto correspondiente.

Gamarra (2011), nos indica en su trabajo de investigación que “Los costos de perforación en mina se calcula con los metros perforados, que realizan una columna de perforación, por el cual el costo de perforación está en relación a total de dólares de la columna de perforación entre los metros perforados por las columnas el KPI del

costo de perforación viene hacer (\$/m) , por lo tanto el costo de perforación es un costo directo y variable , si logramos disminuir este costo de perforación por consecuente obtendremos una disminución del costo total de mina”.

En la reducción de costos del proceso de perforación es importante analizar todos los factores presentes durante el proceso, Abanto (2016), plantea optimizar el mantenimiento de brocas de 45mm. Para su estudio uso datos de consumo de brocas de los meses de junio y julio sin optimizar el uso (antes) y los meses de agosto, setiembre y octubre optimizando el uso (después). En la cual antes la broca de 45mm y rimadora de 102 Sandvik venía presentando un rendimiento de 181m/broca 10% debajo de la vida útil y 172m/rimadora, 14% debajo de la vida útil dada por la empresa proveedora Sandvik (200m) para esta mina. Generando un costo de perforación promedio de 162.5\$/m siendo este mayor en 3.8\$/m más del precio unitario de perforación (158.7\$/m). Con ello se consiguió aumentar el rendimiento de broca de 45mm Sandvik en la perforación con jumbos en 42.5 %, es decir de 181 m/broca que se tenía inicialmente, se alcanzó un rendimiento de 258 m/broca, alcanzando un 29% más de su vida útil (de 200m/broca). Además, se redujo el costo de perforación en 4% equivalente a 6.4\$/m, de 162.5\$/m a 156\$/m promedio logrando un ahorro en tres meses de 6770.2\$ meses; que fue el ahorro esperado.

Sánchez y Llaique (2015), realizaron un trabajo de investigación que tuvo como objetivo principal determinar el Costo Total de Perforación (TDC), que permita la optimización de esta operación unitaria. Las pruebas de campo se realizaron en diferentes tajos de la mina. Los equipos y herramientas que se utilizaron son perforadoras de modelo PIT Viper 271 de la marca Atlas Copco y brocas tricónicas

PDB Tools Inc. de diámetro 10 5/8” cuyos Modelos son EX 722 (para terreno duro), EX 712 (para terreno medio), EX 532 (para terreno medio a suave), que son materia de estudio de esta investigación durante el año 2012 – 2013. La investigación analizó y evaluó una muestra de doce perforaciones aleatorias con los diferentes modelos de brocas, líneas arriba mencionadas para determinar la reducción del costo total de perforación (TDC); esto se logró con las nuevas tecnologías de brocas, las cuales son más resistentes al incremento significativo de la velocidad de penetración, además se suma a ello la correcta aplicación de los parámetros de perforación, reduciendo al TDC en 21.42% y 19.45% en terrenos duros y medio a suave respectivamente. Por lo tanto, estos modelos de brocas han dado buenos resultados, sobre todo en terrenos duros, ya que este presenta el costo más alto.

Sandvik Mining and Construcción (2006) nos dice que: “El mejor medio de determinar cuál es la broca ideal para utilizar es hacer una evaluación de los aspectos económicos. Las dos maneras más comunes de calcular el costo de perforación se conocen por las siglas TDC (Total Drilling Cost = Costo Total de Perforación)” (p.18).

Por ello, el TDC incluye el costo de la broca, el rendimiento por hora del equipo de perforación, pies o metros por hora y distancia perforada. Sin embargo, si tiene poco tiempo para la perforación y está dispuesto a manejar la flota de perforadoras debido a la productividad, el costo total de perforación (TDC) podría ser un buen criterio.

La variabilidad del lugar donde se perfora afecta directamente a los costos de operación no es lo mismo perforar en una roca competente que una roca incompetente o realizar limpieza de material bien granulado y bolones de roca los cuales hacen que

los equipos se esfuerces consuman más combustible y desgasten piezas de maquinarias prematuramente. (Ordoñez, 2011).

La justificación de la investigación va por el tema técnico en el cual se podrá probar técnicamente cuál de las brocas triconicas son más productiva, esto se basará en el total de metro perforados de cada broca triconica. Además, la justificación es económica, ya que se probará cuál de las dos brocas utilizadas dan más beneficios económicos a la empresa.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado es importante que las brocas triconicas utilizadas para la perforación en minería tengan un buen rendimiento, ya que esto se verá reflejado en la productividad de las mismas. Por ende, es fundamental realizar una correcta evaluación de las brocas triconicas para obtener una mejor productividad y costos de perforación.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál de las brocas triconicas WLS 50-60-70 y las MT 60-70 mejora a la productividad y costos de perforación de una empresa minera, Cajamarca 2020?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar las brocas WLS 50-60-70 y las MT 60-70 con relación a la productividad y costos de perforación que generan a la empresa.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar y comparar el total de metros acumulados perforados utilizando las brocas triconicas WLS 50-60-70 y MT 60-70 en los tres tipos de terreno (suave, medio y duro) presente.



- Realizar un análisis comparativo entre la productividad de las brocas triconicas de 9 7/8” y 10 5/8” de las empresas WLS y MT, en los tres tipos de terreno (suave, medio y duro) presente.
- Realizar un análisis comparativo entre los costos de las brocas (WLS 50-60-70 y MT 60-70) y costos de perforación que generan a la empresa.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

Al realizar la evaluación de la productividad y costo entre las brocas triconicas WLS 50-60-70 y las MT 60-70, se logrará determinar la más óptima para el proceso de perforación generando mayores utilidades a la empresa.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- Al determinar y comparar el total de metros acumulados perforados obtenidos por las brocas triconicas WLS 50-60-70 y las MT 60-70 se podrá establecer el tipo de broca que mejor rendimiento tiene trabajando en los tres tipos de terreno presentes.
- Con los resultados obtenidos del análisis comparativo entre la productividad de las brocas de 9 7/8” y 10 5/8 de ambas empresas proveedoras, se logrará identificar cuál de las empresas brinda un producto de mayor calidad.
- Al realizar el análisis comparativo entre el costo de las brocas triconicas WLS 50-60-70 y MT 60-70, se identificará la empresa proveedora que tiene el mejor costo en relación al rendimiento de su producto y costo durante el proceso de perforación.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación.

El proyecto corresponde a una investigación Aplicada, experimental con diseño cuasi experimental, debido a que se realiza la toma de datos correspondiente a la productividad de las brocas y el avance que desarrollan en 3 tipos de terreno diferente que se presenta en el macizo rocoso, estas son proporcionadas a la empresa minera por dos proveedores. Con estos datos se ha realizado un análisis comparativo de la productividad de las brocas proporcionadas por las empresas WLS y MAMMOTH, además de tomar en cuenta el factor de costo de perforación y costo de las mismas. Se tiene dos grupos de control: Los tipos de brocas triconicas y el tipo de terreno, que luego de la experimentación se tendrán resultados de un antes y un después, es decir que de las brocas triconicas actualmente en uso en la operación minera (WLS 50-60-70 y MAMMOTH 60-70), se tendrán resultados en relación a la productividad para así determinar las brocas triconicas más óptimas.

Vargas Cordero (2009), docente de la maestría en Orientación de la Universidad de Costa Rica, indica que el tipo de investigación aplicada se centra en el análisis y solución de problemas de varias índoles de la vida real, así como también se nutre de avances científicos y se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos. Es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; requiere obligatoriamente de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver.

Según Palella y Martins, (2012) “El diseño experimental es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones

estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa” (p.86). Asimismo, es con diseño Cuasi experimental ya que, se realiza un análisis comparativo de la cantidad de metros perforados en los distintos tipos de terreno, tomando en cuenta los datos de las brocas utilizadas en el proceso de perforación.

## **2.2. Población y muestra.**

### **Población**

100 brocas triconicas que la empresa minera utilizo para el proceso de perforación.

### **Muestra**

50 brocas triconicas del proveedor WLS y 50 Brocas triconicas del proveedor MAMMOTH que utilizó la empresa minera desde agosto a diciembre para realizar las perforaciones.

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

### **2.3.1. Observación directa.**

Mediante la observación directa en campo se pudo notar la diferencia que se tenía en el avance de metros perforados y productividad correspondiente a las brocas triconicas WLS 50-60-70 y MT 60-70, esto debido a la productividad que ambas tenían en los 3 diferentes tipos de terreno identificado en el macizo rocoso dónde se desarrollan actualmente las operaciones.

Así mismo, la duración de las brocas de 9 7/8” y 10 5/8” de diámetro tenía un gran porcentaje de variación por lo cual se decidió realizar este trabajo de investigación.

### **2.3.2. Análisis documentario.**

Se investigó antecedentes de trabajos de investigación relacionados a la producción, costo y avance en metros perforados desarrollados por las brocas triconicas, así mismo se realizó la revisión de los trabajos preliminares para lo cual se utilizó los buscadores y bibliotecas virtuales.

### **2.3.3. Trabajo de campo.**

Para la recolección de datos se utilizó la técnica de documentación mediante registros físicos. En campo, se procedió al llenado de datos de manera escrita con ayuda del formato elaborado previamente (diámetro de la broca, taladro, perforadora, proveedor, mes), además se solicitó el apoyo de los operadores para llenar los demás parámetros correspondientes a la cantidad de metros a acumulados, duración y terreno (roca dura, media, suave). El proceso de toma de datos en campo se realizó durante los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2019.



Inicialmente se procede 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 repositorios virtuales.

Se reunió información de los equipos involucrados en el proceso de perforación, en este caso las perforadoras DML y PIT VIPER.

- **Perforadora DML Atlas Copco:**

DML es una unidad de perforación rotativa multifase montada sobre orugas, diseñada específicamente para la perforación de taladros de producción a profundidades de 53,3 m (175 pies) con un cambio de tubería de 30 pies y 62,5 m con el opcional cambio de tubería de 35 pies (10,7 m). (Atlas Copco 2012)



*Ilustración 2:* Perforadora DML-Atlas Copco.

Fuente: Manual de Atlas Copco.

- **Perforadora PIT VIPER Atlas Copco:**

El sistema de avance con cable del PV-351 genera 125.000 lb (56.700 kg) de carga en la broca y 60.000 lb/pie (267 kN) de pullback. La velocidad de retracción es de 158 pies/min (0.8 m/s). Se destacan un engranaje principal con un ancho de frente de 7" (178 mm) y motores de desplazamiento variable que permite ajustar los requerimientos de torque y rotación al tipo de roca a perforar. (Atlas Copco 2012)



*Ilustración 3:* Perforadora Pit Viper-Atlas Copco.

Fuente: Manual de Atlas Copco.

#### **2.4.2. Segunda fase: Campo.**

Se realizó el reconocimiento del tajo, los equipos de perforación y se realizó la toma de datos con respecto a los parámetros de las perforadoras y brocas, para lo cual se utilizó la plantilla de perforación mencionada en la “ilustración 6”.



*Ilustración 4:* Broca desgastada por la operación del tricono.

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos tomados en campo, relacionados a las brocas utilizadas en el proceso de perforación, se identificó el rango de trabajo de las brocas de WLS, datos que se detallan a continuación:

**WLS 50:** 1,000 – 5,000 Lbs por pulg. de diámetro: 70 – 120 R.P.M

**WLS 60:** 2,000 – 6,000 Lbs por pulg de diámetro: 60 – 100 R.P.M

**WLS 70:** 3,000 – 7,000 Lbs por pulg de diámetro: 50 – 90 R.P.M



*Ilustración 5:* Brocas WLS 50-60-70.

Fuente: Empresa Ferreycorp.



Las brocas triconicas del proveedor MAMMOTH poseen cojinetes grandes e insertos fabricados a base de carburo de tungsteno, la broca tricónica MT 60 se utiliza en terreno suave y medio, la MT 70 en terreno duro, así mismo se identifico el rango de trabajo de las brocas triconicas de MT datos que se detallan a continuación:

**MT 60 (en terreno suave):** 950 – 4,800 Lbs por pulg. de diámetro: 70 – 120 R.P.M

**MT 60 (en terreno duro):** 1,800 – 5,800 Lbs por pulg de diámetro: 60 – 100 R.P.M

**MT 70 (en terreno duro):** 2,900 – 7,000 Lbs por pulg de diámetro: 50 – 90 R.P.M



*Ilustración 6:* Broca tricónica MAMMOTH.

Fuente: Mammoth Drill Tools Perú.

### **2.4.3. Tercera fase: Gabinete.**

Por último, luego de haber tomado los datos en campo con ayuda del software Microsoft Excel, se procedió a realizar los análisis comparativos por medio de gráficos y tablas de forma digital, también se realizó una comparación entre el costo de las brocas y el costo de perforación TDC, generado por las mismas tomando en cuenta el modelo de la perforadora utilizada en la operación.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

#### 3.1. Resultados del análisis entre el total de metros perforados con las brocas WLS 50-60-70 y MT 60-70.

A continuación, se presenta los resultados del total de metros perforados por las brocas WLS 50-60-70 y TM 60-70, correspondientes a las empresas proveedoras WLS y MAMMOTH respectivamente, los datos se han tomado de acuerdo a cada tipo de terreno en el cual se ejecutaron las operaciones de perforación.

##### 3.1.1. Resultado del total de metros perforados por las brocas WLS 50-60-70.

Los datos se tomaron desde el mes de agosto hasta diciembre del año 2019.

##### Roca Suave:

Tabla 1: *Total de metros perforados-roca suave WLS 50.*

Mes	Diámetro	Serie	Terreno	Duración	Perforadora	Velocidad
Agosto	10 5/8"	50	Suave	10477.10	Pit Viper	74.647
Agosto	10 5/8"	50	Suave	7109.65	Pit Viper	77.085
Agosto	10 5/8"	50	Suave	10477.10	Pit Viper	78.131
Septiembre	10 5/8"	50	Suave	13637.30	Pit Viper	85.097
Septiembre	10 5/8"	50	Suave	13637.30	Pit Viper	91.580
Septiembre	9 7/8"	50	Suave	2539.13	DML	98.429
<b>Total</b>				<b>57877.58</b>		

Fuente: Datos de campo.

**Roca media:**

Tabla 2: *Total de metros perforados-roca media WLS 60.*

Mes	Diámetro	Serie	Terreno	Duración	Perforadora	Velocidad
Agosto	9 7/8”	60	Medio	1083.77	Pit Viper	41.637
Agosto	9 7/8”	60	Medio	3146.7	Pit Viper	42.233
Agosto	9 7/8”	60	Medio	3146.7	Pit Viper	44.788
Agosto	9 7/8”	60	Medio	2870.39	Pit Viper	46.000
Agosto	9 7/8”	60	Medio	3057.21	Pit Viper	46.632
Septiembre	10 5/8”	60	Medio	5906.08	Pit Viper	47.354
Septiembre	9 7/8”	60	Medio	2870.39	Pit Viper	47.873
Septiembre	10 5/8”	60	Medio	7642.56	Pit Viper	48.678
Septiembre	9 7/8”	60	Medio	3082.36	Pit Viper	50.609
Septiembre	9 7/8”	60	Medio	3082.36	Pit Viper	50.747
Septiembre	9 7/8”	60	Medio	4045.98	DML	51.922
Septiembre	10 5/8”	60	Medio	7642.56	Pit Viper	51.982
Septiembre	10 5/8”	60	Medio	7642.56	Pit Viper	52.407
Septiembre	10 5/8”	60	Medio	5361.12	Pit Viper	55.541
Septiembre	10 5/8”	60	Medio	7642.56	Pit Viper	55.586
Septiembre	10 5/8”	60	Medio	7642.56	Pit Viper	56.275
Octubre	10 5/8”	60	Medio	10088.2	Pit Viper	57.111
Octubre	10 5/8”	60	Medio	6255.26	Pit Viper	58.129
Octubre	9 7/8”	60	Medio	3082.36	Pit Viper	58.219
Octubre	10 5/8”	60	Medio	3251.81	Pit Viper	59.661
Octubre	9 7/8”	60	Medio	3989.84	DML	60.017
Noviembre	9 7/8”	60	Medio	3082.36	Pit Viper	63.362
Noviembre	10 5/8”	60	Medio	3251.81	Pit Viper	64.621
Noviembre	9 7/8”	60	Medio	3082.36	Pit Viper	64.825
Diciembre	9 7/8”	60	Medio	2831.24	DML	65.803
Diciembre	9 7/8”	60	Medio	1345.23	DML	66.792
<b>Total</b>				<b>116126.33</b>		

Fuente: Datos de campo.

**Roca dura:**

Tabla 3: *Total de metros perforados-roca dura WLS 70.*

Mes	Diámetro	Serie	Terreno	Duración	Perforadora	Velocidad
Agosto	9 7/8”	70	Duro	1730.53	Pit Viper	23.678
Agosto	9 7/8”	70	Duro	3698.68	Pit Viper	25.344
Agosto	10 5/8”	70	Duro	6044.69	Pit Viper	36.247
Agosto	9 7/8”	70	Duro	1254.76	Pit Viper	27.497
Agosto	10 5/8”	70	Duro	3438.42	Pit Viper	38.135
Septiembre	9 7/8”	70	Duro	1580.19	Pit Viper	28.536
Octubre	10 5/8”	70	Duro	2862.63	Pit Viper	38.748
Octubre	10 5/8”	70	Duro	6482.21	Pit Viper	38.876
Noviembre	9 7/8”	70	Duro	2756.12	DML	32.992
Noviembre	9 7/8”	70	Duro	2889.53	DML	34.894
Noviembre	9 7/8”	70	Duro	2504.96	Pit Viper	30.500
Noviembre	10 5/8”	70	Duro	1893.15	Pit Viper	31.229
Noviembre	9 7/8”	70	Duro	1871.3	Pit Viper	31.320
Noviembre	9 7/8”	70	Duro	1871.3	Pit Viper	31.479
Diciembre	10 5/8”	70	Duro	1206.05	Pit Viper	41.809
Diciembre	10 5/8”	70	Duro	3479.66	Pit Viper	37.262
Diciembre	9 7/8”	70	Duro	1436.46	DML	33.878
Diciembre	9 7/8”	70	Duro	1085.63	DML	34.989
<b>Total</b>				<b>48086.27</b>		

Fuente: Datos de campo.

Luego de observar los resultados obtenidos en relación a la cantidad de metros perforados por las brocas WLS 50-60-70 presentados en las tablas N° 01, 02 y 03, se tiene un total de 222,090.18 metros perforados en el periodo de agosto diciembre.

### 3.1.2. Resultado del total de metros perforados por las brocas MT 60-70.

Se presentan los resultados de la toma de datos correspondiente al total de metros perforados por las brocas MT 60-70 (MAMMOTH) en el periodo de agosto diciembre del año 2019 en los distintos tipos de terreno presentes.

#### Roca suave:

Tabla 4: *Total de metros perforados-roca suave MT 60.*

Mes	Diámetro	Serie	Terreno	Duración	Perforadora	Velocidad
Septiembre	10 5/8”	60	Suave	5548.57	Pit Viper	68.642
Septiembre	10 5/8”	60	Suave	5548.57	Pit Viper	69.260
Septiembre	10 5/8”	60	Suave	5548.57	Pit Viper	70.096
Septiembre	10 5/8”	60	Suave	5548.57	Pit Viper	70.244
Octubre	10 5/8”	60	Suave	5548.57	Pit Viper	70.521
Diciembre	10 5/8”	60	Suave	11006.8	Pit Viper	72.058
<b>Total</b>				<b>38749,65</b>		

Fuente: Datos de campo.

#### Roca media:

Tabla 5: *Total de metros perforados-roca media MT 60.*

Mes	Diámetro	Serie	Terreno	Duración	Perforadora	Velocidad
Agosto	10 5/8”	60	Medio	5296.55	Pit Viper	40.486
Agosto	10 5/8”	60	Medio	4440.81	Pit Viper	40.818
Agosto	10 5/8”	60	Medio	3750.71	Pit Viper	41.148
Agosto	10 5/8”	60	Medio	4440.81	Pit Viper	41.284
Agosto	10 5/8”	60	Medio	3750.71	Pit Viper	41.526
Septiembre	10 5/8”	60	Medio	3875.46	Pit Viper	41.536
Septiembre	9 7/8”	60	Medio	1457.68	Pit Viper	43.440
Septiembre	10 5/8”	60	Medio	7397.21	Pit Viper	43.575
Septiembre	10 5/8”	60	Medio	6787.55	Pit Viper	43.937
Septiembre	10 5/8”	60	Medio	3750.71	Pit Viper	44.906

Septiembre	9 7/8”	60	Medio	1457.68	Pit Viper	45.028
Septiembre	10 5/8”	60	Medio	6787.55	Pit Viper	45.397
Septiembre	9 7/8”	60	Medio	1457.68	Pit Viper	47.095
Septiembre	9 7/8”	60	Medio	1457.68	Pit Viper	47.337
Octubre	10 5/8”	60	Medio	5502.9	Pit Viper	47.600
Octubre	10 5/8”	60	Medio	5502.9	Pit Viper	48.000
Octubre	10 5/8”	60	Medio	3665.72	Pit Viper	49.551
Octubre	10 5/8”	60	Medio	1366.17	Pit Viper	51.672
Octubre	10 5/8”	60	Medio	1366.17	Pit Viper	53.504
Octubre	10 5/8”	60	Medio	6734.8	Pit Viper	55.824
Noviembre	10 5/8”	60	Medio	5372.94	Pit Viper	56.201
Noviembre	10 5/8”	60	Medio	5372.94	Pit Viper	61.340
Noviembre	10 5/8”	60	Medio	1676.57	Pit Viper	61.575
Noviembre	10 5/8”	60	Medio	1676.57	Pit Viper	61.749
Diciembre	10 5/8”	60	Medio	7863.17	Pit Viper	66.963
Diciembre	10 5/8”	60	Medio	4744.06	Pit Viper	67.880
<b>Total</b>				<b>106953.7</b>		

Fuente: Datos de campo.

### Roca dura:

Tabla 6: *Total de metros perforados-roca dura MT 70.*

Mes	Diámetro	Serie	Terreno	Duración	Perforadora	Velocidad
Agosto	9 7/8”	70	Duro	1943.06	DML	21.762
Agosto	9 7/8”	70	Duro	1812.26	DML	23.253
Agosto	9 7/8”	70	Duro	2373.19	Pit Viper	28.523
Agosto	9 7/8”	70	Duro	613.86	Pit Viper	29.638
Agosto	9 7/8”	70	Duro	613.86	Pit Viper	29.707
Septiembre	9 7/8”	70	Duro	1078.09	Pit Viper	34.069
Septiembre	9 7/8”	70	Duro	1078.09	Pit Viper	34.562
Septiembre	9 7/8”	70	Duro	1078.09	Pit Viper	34.800
Octubre	10 5/8”	70	Duro	2629.62	Pit Viper	35.369

Noviembre	10 5/8”	70	Duro	2629.62	Pit Viper	36.607
Noviembre	10 5/8”	70	Duro	2215.54	Pit Viper	38.169
Noviembre	9 7/8”	70	Duro	2888.56	DML	38.985
Noviembre	10 5/8”	70	Duro	2215.54	Pit Viper	39.037
Noviembre	10 5/8”	70	Duro	2215.54	Pit Viper	39.609
Noviembre	10 5/8”	70	Duro	2215.54	Pit Viper	39.620
Diciembre	9 7/8”	70	Duro	1768.3	DML	39.685
Diciembre	9 7/8”	70	Duro	1768.3	DML	39.924
Diciembre	9 7/8”	70	Duro	1768.3	DML	40.301
<b>Total</b>				<b>32905,36</b>		

Fuente: Datos de campo.

Luego de observar los resultados obtenidos en relación a la cantidad de metros perforados por las brocas MT 60-70 presentados en las tablas N° 04, 05 y 06, se tiene un total de 178,608.71 metros perforados en el periodo de agosto diciembre. Teniendo los datos del total de metros perforados de las brocas WLS 50-60-70 y MT 60-70 se realizó un análisis comparativo entre la cantidad de metros perforados.

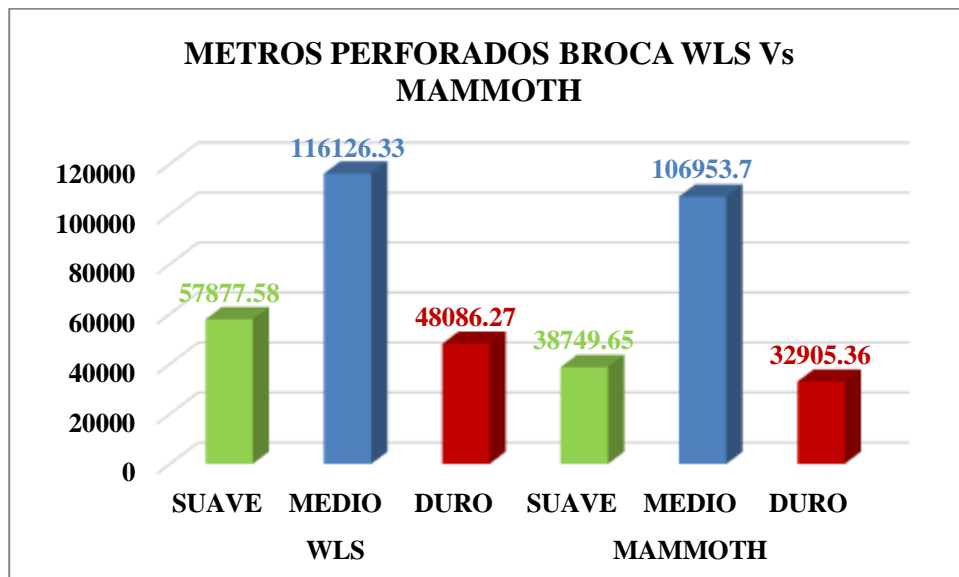
Tabla 7: *Total de producción en metros perforados de las brocas WLS y MT.*

PROVEEDOR	TERRENO	N° de Brocas Triconicas	METROS PERFORADOS
WLS	SUAVE	6	57877.58
	MEDIO	26	116126.33
	DURO	18	48086.27
MAMMOTH	SUAVE	6	38749.65
	MEDIO	26	106953.7
	DURO	18	32905.36

Fuente: Datos de campo.



Según los datos mostrados se observa que las brocas WLS 50-60-70 en comparación con las MT 60-70 tienen una mayor producción de metros perforados, siendo la diferencia de 43,481.47 metros perforados. Esta diferencia se debe a que a su rápido desgaste en algunos periodos de tiempo se optó por utilizar solo las brocas WLS, debido a su larga duración y mejor rendimiento. A continuación, se muestra un gráfico comparativo de la productividad de ambas brocas:



*Ilustración 7:* Producción de metros perforados brocas WLS VS MAMMOTH

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Resultados del análisis comparativo entre la duración de las brocas 9 7/8” y 10 5/8” en los tres tipos de terreno presente.

Se presentan los resultados de la duración de las brocas 9 7/8” y 10 5/8” en metros según el tipo de terreno en el que realizaron las perforaciones.

### 3.2.1. Duración de las brocas WLS con diámetro 9 7/8” y 10 5/8”.

#### Roca suave:

Tabla 8: Duración de las brocas WLS 9 7/8” roca-suave.

Proveedor	Diámetro	Terreno	Duración	Velocidad
Wls	9 7/8”	Suave	2539.13	98.429
<b>TOTAL</b>			<b>2593.13</b>	

Fuente: Datos de campo.

Tabla 9: Duración de las brocas WLS 10 5/8” roca-suave.

Proveedor	Diámetro	Terreno	Duración	Velocidad
Wls	10 5/8”	Suave	10477,10	74.647
Wls	10 5/8”	Suave	7109,65	77.086
Wls	10 5/8”	Suave	10477,10	78.132
Wls	10 5/8”	Suave	13637,30	85.098
Wls	10 5/8”	Suave	13637,30	91.580
<b>TOTAL</b>			<b>55338.45</b>	

Fuente: Datos de campo.

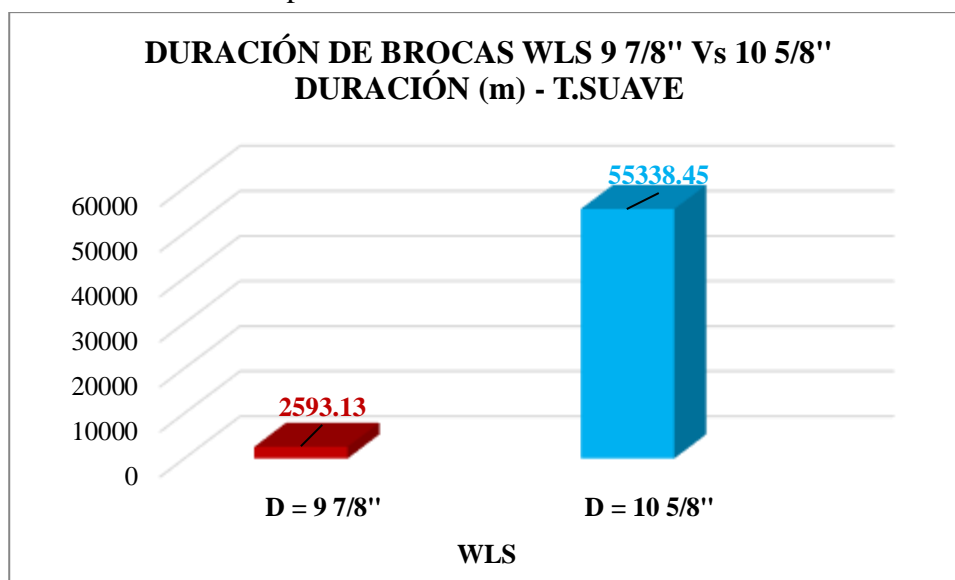


Ilustración 8: Comparación de la duración de brocas WLS 9 7/8” VS 10 5/8” roca suave.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos obtenidos en campo con relación a la duración de las brocas, según la ilustración 8 las brocas WLS de 10 5/8” de diámetro muestran una mayor duración en terreno suave.

**Roca media:**

Tabla 10: *Duración de las brocas WLS 9 7/8” roca-media.*

Proveedor	Diámetro	Terreno	Duración	Velocidad
Wls	9 7/8”	Medio	1083,77	41.637
Wls	9 7/8”	Medio	3146,7	42.233
Wls	9 7/8”	Medio	3146,7	44.788
Wls	9 7/8”	Medio	2870,39	46.000
Wls	9 7/8”	Medio	3057,21	46.632
Wls	9 7/8”	Medio	2870,39	47.873
Wls	9 7/8”	Medio	3082,36	50.609
Wls	9 7/8”	Medio	3082,36	50.747
Wls	9 7/8”	Medio	4045,98	51.922
Wls	9 7/8”	Medio	3082,36	58.219
Wls	9 7/8”	Medio	3989,84	60.017
Wls	9 7/8”	Medio	3082,36	63.362
Wls	9 7/8”	Medio	3082,36	64.825
Wls	9 7/8”	Medio	2831,24	65.803
Wls	9 7/8”	Medio	1345,23	66.792
<b>TOTAL</b>			<b>43799.25</b>	

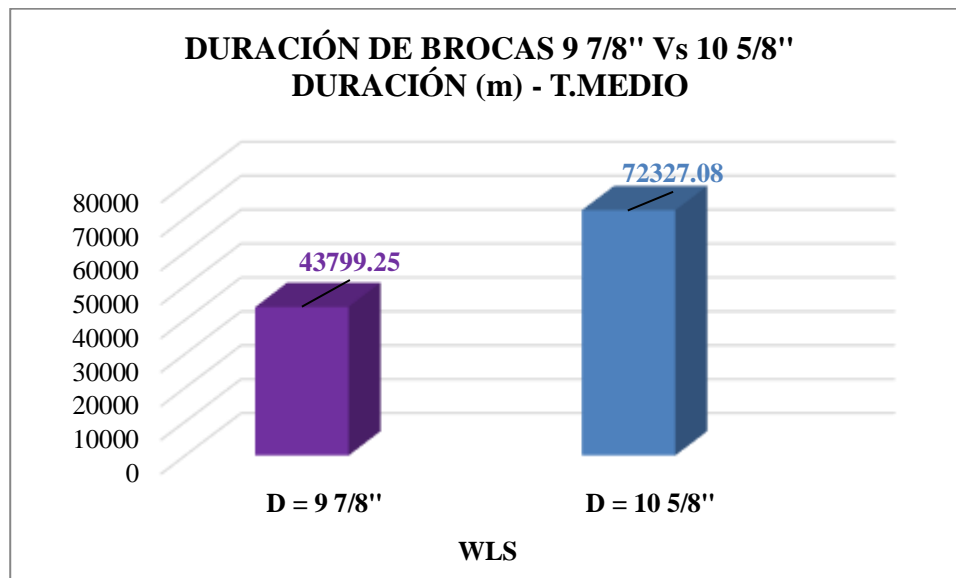
Fuente: Datos de campo.

Tabla 11: *Duración de las brocas WLS 10 5/8” roca-media.*

Proveedor	Diámetro	Terreno	Duración	Velocidad
Wls	10 5/8”	Medio	5906,08	47.354
Wls	10 5/8”	Medio	7642,56	48.678
Wls	10 5/8”	Medio	7642,56	51.982
Wls	10 5/8”	Medio	7642,56	52.407

Wls	10 5/8”	Medio	5361,12	55.541
Wls	10 5/8”	Medio	7642,56	55.586
Wls	10 5/8”	Medio	7642,56	56.275
Wls	10 5/8”	Medio	10088,2	57.111
Wls	10 5/8”	Medio	6255,26	58.129
Wls	10 5/8”	Medio	3251,81	59.661
Wls	10 5/8”	Medio	3251,81	64.621
<b>TOTAL</b>			<b>72327.08</b>	

Fuente: Datos de campo.



*Ilustración 9:* Comparación de la duración de brocas WLS 9 7/8” Vs 10 5/8” roca media.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos obtenidos en campo en relación a la duración de las brocas, según la ilustración 9 las brocas WLS de 10 5/8” de diámetro muestran una mayor duración en terreno medio.

**Roca dura:**

Tabla 12: *Duración de las brocas WLS 9 7/8” roca-dura.*

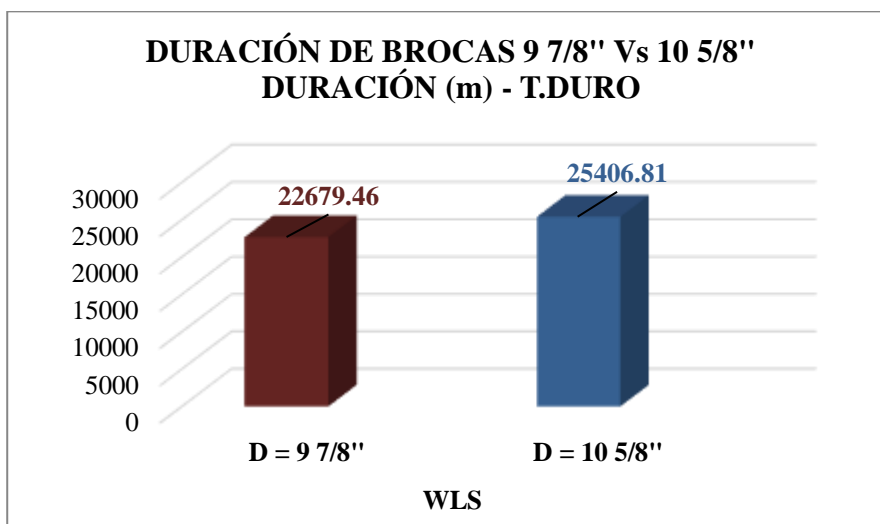
Proveedor	Diámetro	Terreno	Duración	Velocidad
Wls	9 7/8”	Duro	1730,53	23.678
Wls	9 7/8”	Duro	3698,68	25.344
Wls	9 7/8”	Duro	1254,76	27.497
Wls	9 7/8”	Duro	1580,19	28.536
Wls	9 7/8”	Duro	2756,12	32.992
Wls	9 7/8”	Duro	2889,53	34.894
Wls	9 7/8”	Duro	2504,96	30.500
Wls	9 7/8”	Duro	1871,3	31.320
Wls	9 7/8”	Duro	1871,3	31.479
Wls	9 7/8”	Duro	1436,46	33.878
Wls	9 7/8”	Duro	1085,63	34.989
<b>TOTAL</b>			<b>22679.46</b>	

Fuente: Datos de campo.

Tabla 13: *Duración de las brocas WLS 10 5/8” roca-dura.*

Proveedor	Diámetro	Terreno	Duración	Velocidad
Wls	10 5/8”	Duro	6044,69	36.247
Wls	10 5/8”	Duro	3438,42	38.135
Wls	10 5/8”	Duro	2862,63	38.748
Wls	10 5/8”	Duro	6482,21	38.876
Wls	10 5/8”	Duro	1893,15	31.229
Wls	10 5/8”	Duro	1206,05	41.809
Wls	10 5/8”	Duro	3479,66	37.262
<b>TOTAL</b>			<b>25406.81</b>	

Fuente: Datos de campo.



*Ilustración 10:* Comparación de la duración de brocas WLS 9 7/8" VS 10 5/8" roca dura.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos obtenidos en campo en relación a la duración de las brocas, según la ilustración 10 las brocas WLS de 10 5/8" de diámetro muestran una mayor duración en terreno duro.

### 3.2.2. Duración de las brocas MT con diámetro 9 7/8" y 10 5/8".

#### Roca suave:

Tabla 14: *Duración de las brocas MT 10 5/8" roca-suave.*

Proveedor	Diámetro	Terreno	Duración	Velocidad
Mammoth	10 5/8"	Suave	5548.57	68.642
Mammoth	10 5/8"	Suave	5548.57	69.260
Mammoth	10 5/8"	Suave	5548.57	70.096
Mammoth	10 5/8"	Suave	5548.57	70.244
Mammoth	10 5/8"	Suave	5548.57	70.521
Mammoth	10 5/8"	Suave	11006.8	72.058
<b>TOTAL</b>			<b>38749.65</b>	

Fuente: Datos de campo.

De acuerdo a los datos obtenidos, en roca suave, únicamente se ha utilizado brocas MT de 10 5/8” de diámetro.

**Roca media:**

Tabla 15: *Duración de las brocas MT 9 7/8” roca-media.*

Proveedor	Diámetro	Terreno	Duración	Velocidad
Mammoth	9 7/8”	Medio	1457.68	43.440
Mammoth	9 7/8”	Medio	1457.68	45.028
Mammoth	9 7/8”	Medio	1457.68	47.095
Mammoth	9 7/8”	Medio	1457.68	47.337
<b>TOTAL</b>			<b>5830.72</b>	

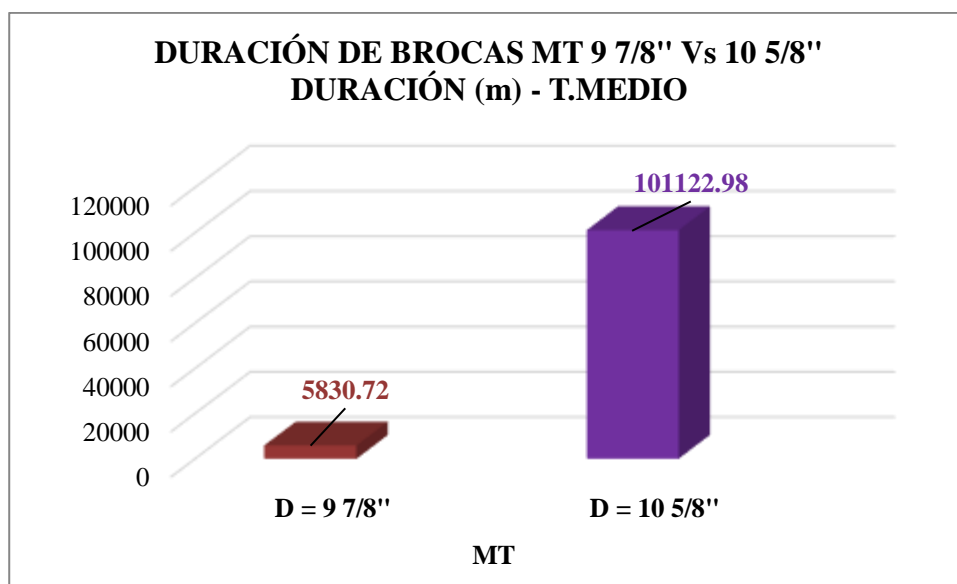
Fuente: Datos de campo.

Tabla 16: *Duración de las brocas MT 10 5/8” roca-media.*

Proveedor	Diámetro	Terreno	Duración	Velocidad
Mammoth	10 5/8”	Medio	5296.55	40.486
Mammoth	10 5/8”	Medio	4440.81	40.818
Mammoth	10 5/8”	Medio	3750.71	41.148
Mammoth	10 5/8”	Medio	4440.81	41.284
Mammoth	10 5/8”	Medio	3750.71	41.526
Mammoth	10 5/8”	Medio	3875.46	41.536
Mammoth	10 5/8”	Medio	7397.21	43.575
Mammoth	10 5/8”	Medio	6787.55	43.937
Mammoth	10 5/8”	Medio	3750.71	44.906
Mammoth	10 5/8”	Medio	6787.55	45.397
Mammoth	10 5/8”	Medio	5502.9	47.600
Mammoth	10 5/8”	Medio	5502.9	48.000
Mammoth	10 5/8”	Medio	3665.72	49.551
Mammoth	10 5/8”	Medio	1366.17	51.672
Mammoth	10 5/8”	Medio	1366.17	53.504
Mammoth	10 5/8”	Medio	6734.8	55.824
Mammoth	10 5/8”	Medio	5372.94	56.201

Mammoth	10 5/8”	Medio	5372.94	61.340
Mammoth	10 5/8”	Medio	1676.57	61.575
Mammoth	10 5/8”	Medio	1676.57	61.749
Mammoth	10 5/8”	Medio	7863.17	66.963
Mammoth	10 5/8”	Medio	4744.06	67.880
<b>TOTAL</b>			<b>101122.98</b>	

Fuente: Datos de campo.



*Ilustración 11:* Comparación de la duración de brocas MT 9 7/8” Vs 10 5/8” roca media.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos obtenidos en campo en relación a la duración de las brocas, según la ilustración 11 las brocas MT de 10 5/8" de diámetro muestran una mayor duración en terreno medio.

### Roca dura:

Tabla 17: *Duración de las brocas MT 9 7/8” roca-dura.*

Proveedor	Diámetro	Terreno	Duración	Velocidad
Mammoth	9 7/8”	Duro	1943,06	21.762
Mammoth	9 7/8”	Duro	1812,26	23.253



Mammoth	9 7/8”	Duro	2373,19	28.523
Mammoth	9 7/8”	Duro	613,86	29.638
Mammoth	9 7/8”	Duro	613,86	29.707
Mammoth	9 7/8”	Duro	1078,09	34.069
Mammoth	9 7/8”	Duro	1078,09	34.562
Mammoth	9 7/8”	Duro	1078,09	34.800
Mammoth	9 7/8”	Duro	2888,56	38.985
Mammoth	9 7/8”	Duro	1768,3	39.685
Mammoth	9 7/8”	Duro	1768,3	39.924
Mammoth	9 7/8”	Duro	1768,3	40.301
<b>TOTAL</b>			<b>18783.96</b>	

Fuente: Datos de campo.

Tabla 18: *Duración de las brocas MT 10 5/8” roca-dura.*

Proveedor	Diámetro	Terreno	Duración	Velocidad
Mammoth	10 5/8”	Duro	2629.62	35.369
Mammoth	10 5/8”	Duro	2629.62	36.607
Mammoth	10 5/8”	Duro	2215.54	38.169
Mammoth	10 5/8”	Duro	2215.54	39.037
Mammoth	10 5/8”	Duro	2215.54	39.609
Mammoth	10 5/8”	Duro	2215.54	39.620
<b>TOTAL</b>			<b>14121.4</b>	

Fuente: Datos de campo.

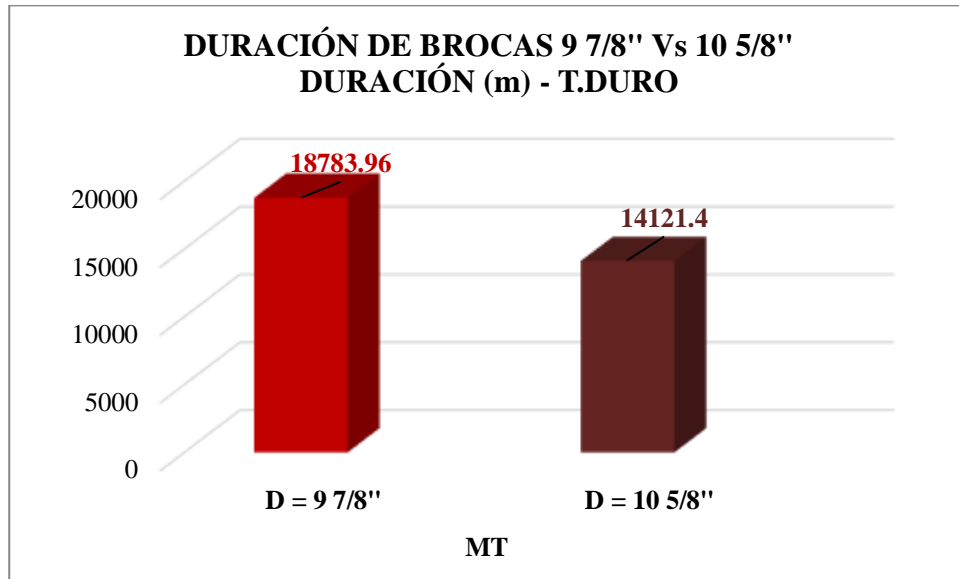


Ilustración 12: Comparación de la duración de brocas MT 9 7/8" Vs 10 5/8" roca dura.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos obtenidos en campo en relación a la duración de las brocas, según la ilustración 12 las brocas MT de 9 7/8" de diámetro muestran una mayor duración en terreno duro.

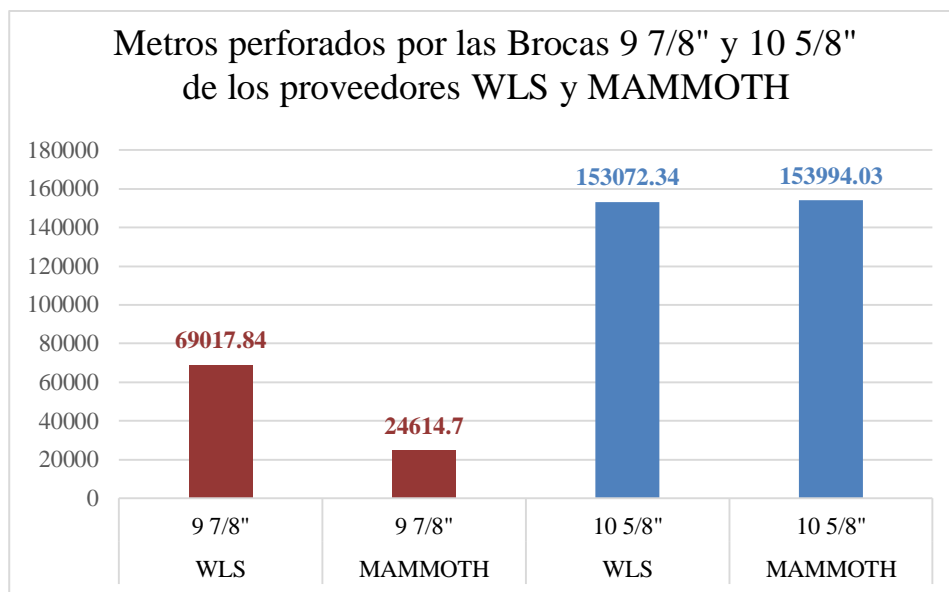
Teniendo los datos del total de metros perforados de las brocas 9 7/8" y 10 5/8" de los proveedores WLS y MAMMOTH se realizó un análisis comparativo entre la cantidad de metros perforados.

Tabla 19: Total de producción en metros perforados de las brocas 9 7/8" y 10 5/8" de WLS y MT.

PROVEEDOR	Diámetro	N° de Brocas Triconicas	METROS PERFORADOS
WLS	9 7/8"	27	69017.84
	10 5/8"	23	153072.34
MAMMOTH	9 7/8"	16	24614.68
	10 5/8"	34	153994.03

Fuente: Datos de campo.

Según los datos mostrados se observa que las brocas 10 5/8” de MT en comparación con las 10 5/8” de WLS tienen una mayor producción de metros perforados, siendo la diferencia de 921.69 m metros perforados. Esta diferencia se debe a que el proveedor MT utilizó 11 brocas más de dicho diámetro en comparación a la cantidad de brocas utilizadas por WLS, por lo que las brocas triconicas de 10 5/8” de WLS son más productivas, ya que la diferencia de metros es poca habiendo utilizado 11 brocas menos. A continuación, se muestra un gráfico comparativo de la productividad de las brocas 9 7/8” y 10 5/8” de ambos proveedores:



*Ilustración 13:* Producción de metros perforados por las brocas 9 7/8” y 10 5/8” de WLS Vs las brocas 9 7/8” y 10 5/8” de MAMMOTH.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Resultados del análisis comparativo entre el costo de perforación y costo de las brocas WLS 50-60-70 con las MT 60-70.

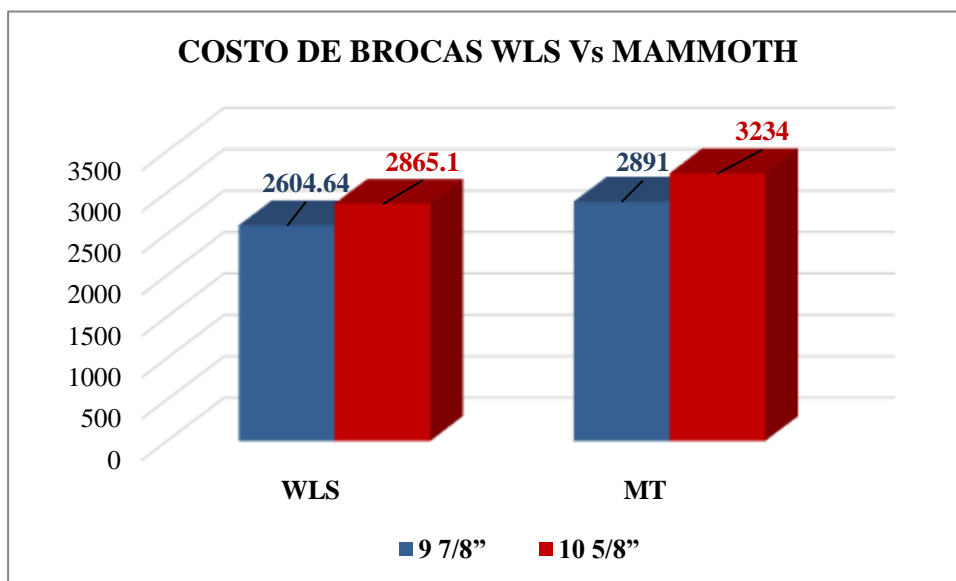
A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis comparativo realizado entre el costo de las brocas WLS 50-60-70 y TM 60-70.

#### 3.3.1. Costo de Brocas WLS y MAMMOTH.

Tabla 20: *Costo de las brocas WLS y MAMMOTH.*

DIAMETRO	WLS (S/.)	MAMMOTH (S/.)
9 7/8”	2604.64	2891
10 5/8”	2865.1	3234

Fuente: Área de perforación y voladura.



*Ilustración 14:* Comparación del costo de las brocas WLS y MAMMOTH.

Fuente: Área de perforación y voladura.

Como se observa en la ilustración 14 el costo de las brocas WLS es menor al de las MT (MAMMOTH), y de acuerdo con los resultados de producción en metros perforados y duración tenemos que las WLS demuestran un mejor avance y mayor durabilidad.

### 3.3.2. Costo hora de equipos de perforación.

Se presenta los resultados del costo hora de la perforadora PIT VIPER y DML.

Tabla 21: *Costo hora de equipos de perforación.*

	<b>COSTO PERFORADORA HORA(S/)</b>
PIT VIPER	196.2
DML	180.5

Fuente: Área de perforación y voladura.

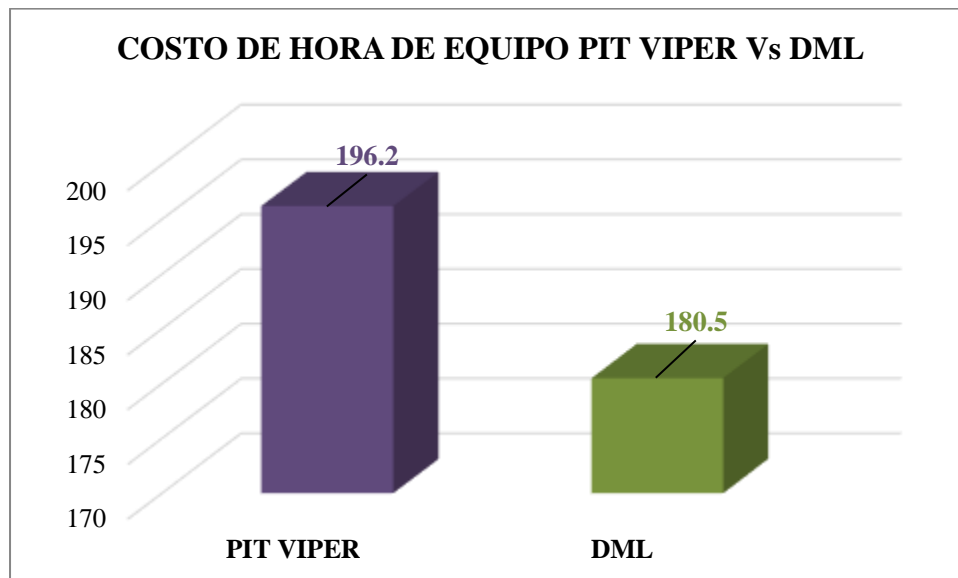


Ilustración 15: Comparación del costo hora de equipos PIT VIPER y DML.

Fuente: Área de perforación y voladura.

Según los datos encontrados con respecto al costo hora máquina, se observa en la tabla N° 20 que el costo hora de PIT VIPER es mayor en comparación con los costos hora del equipo DML.

### 3.3.3. Costo de perforación (TDC).

Se presenta los resultados del costo de perforación calculado, según el tipo de perforadora que se ha empleado con cada broca.

Tabla 22: *Costo de perforación WLS y MAMMOTH.*

PROVEEDOR	PERFORADORA	D.BROCA	TERRENO	TDC
	PIT VIPER	10 5/8”	DURO	5.35
WLS	PIT VIPER	10 5/8”	MEDIO	3.59
	PIT VIPER	10 5/8”	SUAVE	2.46
	PIT VIPER	10 5/8”	DURO	5.38
MAMMOTH	PIT VIPER	10 5/8”	MEDIO	3.93
	PIT VIPER	10 5/8”	SUAVE	2.88
WLS	DML	9 7/8”	DURO	5.41
MAMMOTH	DML	9 7/8”	DURO	5.55

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos encontrados con respecto al TDC, se observa en la tabla N° 21 que el costo total de perforación utilizando la perforadora PIT VIPER con las brocas 10 5/8” de WLS son menores en comparación con los costos generados por las brocas 10 5/8” de MT. Así mismo, el TDC utilizando la perforadora DML con las brocas 9 7/8” de WLS es menor con respecto a los costos generados por las brocas 9 7/8” de MT (MAMMOTH).

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

En los resultados obtenidos se puede observar algunas diferencias considerables en relación a la cantidad total de metros perforados, la variación se da principalmente por las condiciones del terreno. Las brocas WLS muestran una variación de 58,248.75 m entre la cantidad de metros perforados en roca media y suave, lo cual indica que en roca media se tiene un mejor avance de perforación; además de una variación de 68,040.06 m entre la cantidad de metros perforados en roca media y dura, esto indica que las brocas WLS muestran una mejor productividad y avance cuando se trabaja en roca dura. Por el contrario, las brocas MT demuestran un mejor rendimiento trabajando en roca media, lo que nos permite afirmar lo señalado por Wilson (2013), quien nos indica que “El rendimiento de una broca se ve afectado por varias características de la formación rocosa incluyendo su resistencia. Quizás la manera más simple de seleccionar el tricono adecuado sea determinar el tipo de formación que se va a perforar, en cualquier caso, el método final para determinar el tipo de tricono es la experiencia que está dando la actual perforación. En las formaciones muy blandas los pesos se pueden reducir y todavía producir un buen rendimiento, el mejor método de determinar el peso óptimo sobre el tricono es dictado por la práctica de la perforación en cada caso”. Así mismo, Wilson en su investigación señala que, a mayor rendimiento, mayor será la productividad de las brocas triconicas.

Debido a los distintos tipos de roca presentes en la operación se tiene grandes diferencias en la productividad, lo cual se genera porque los tipos de broca triconicas utilizadas tienen diferente competencia al momento de ejecutar la perforación, esto

afecta directamente a los costos ya que se disminuye la producción de los taladros, es decir, hay menor cantidad de metros perforados. Esto nos permite apoyar lo indicado por Ordoñez (2011) el cual señala que “La variabilidad del lugar donde se perfora afecta directamente a los costos de operación no es lo mismo perforar en una roca competente que una roca incompetente o realizar limpieza de material bien granulado y bolones de roca los cuales hacen que los equipos se esfuerces consuman más combustible y desgasten piezas de maquinarias prematuramente”.

Para realizar el cálculo del TDC respecto a cada broca se tuvo que reunir la información del total de metros perforados que realizaron las brocas WLS y MT tomando en cuenta el tipo de perforadora que se utilizó para el proceso de perforación, esto nos permite apoyar lo señalado por Gamarra (2011) él nos indica en su trabajo de investigación que, los costos de perforación en mina se calcula con los metros perforados, que realizan una columna de perforación, por el cual el costo de perforación está en relación a total de dólares de la columna de perforación entre los metros perforados por las columnas el KPI del costo de perforación viene hacer (\$/m) , por lo tanto el costo de perforación es un costo directo y variable , si logramos disminuir este costo de perforación por consecuente obtendremos una disminución del costo total de mina.

La limitación de la investigación consiste en que no se tiene una herramienta estadística para realizar la prueba de hipótesis en la cual se tiene a la variable independiente (Tipo de broca triconica) que es cualitativa; por otro lado, se tiene dos variables dependientes (productividad y costos de perforación) que son variables cuantitativas.



Se recomienda seguir la investigación con otros tipos de brocas, diámetros y proveedores, además de utilizar diferentes perforadoras y probar las brocas en otro tipo de yacimiento, ya que la investigación se realizó en un yacimiento epitermal de alta sulfuración.

#### 4.2 Conclusiones

- Se realizó el análisis comparativo entre el total de metros perforados con las 50 brocas triconicas de WLS 50-60-70 y las 50 brocas triconicas de MT 60-70, las cuales obtuvieron un total de 222,090.18 m y 178,608.71 m respectivamente, estas cifras se obtuvieron sumando el total de metros perforados por cada broca en los 3 diferentes tipos de roca en el periodo de agosto a diciembre del año 2019. Esto nos indica que las brocas triconicas de WLS 50-60-70 son más productivas, ya que presentan 43,481.47 m más perforados.
- Los resultados del análisis comparativo realizado entre los datos de la productividad de las brocas triconicas de 9 7/8” y 10 5/8” se obtuvo que tienen una productividad estimada de 69,017.84 m para 27 brocas de WLS de 9 7/8” y 153,072.34 m para 23 brocas de WLS de 10 5/8”; así como 24,614.68 m para 16 brocas de MT de 9 7/8” y 153,994.03 m para 34 brocas MT 10 5/8”. Esto demuestra que las brocas triconicas de 10 5/8” de WLS son más productivas, ya que las cantidades utilizadas de esas brocas son 23 de WLS vs 34 de MT, demostrando que, pese a que las brocas MT muestra una mayor productividad, las de WLS son más productivas, puesto que solo hay una diferencia de 921.69 m empleando 11 brocas menos. Por otro lado, para las brocas de 9 7/8” no se puede calcular una productividad adecuada,

puesto que hay desigualdad entre las cantidades de brocas utilizadas de ambos proveedores.

- Del análisis comparativo realizado al costo de las brocas WLS y MT, se tiene que el costo es de S/. 2,604.64 y S/. 2,865.1 las brocas WLS de 9 7/8” y 10 5/8” respectivamente, así como S/. 2,891 y S/. 3,234 las brocas MT de 9 7/8” y 10 5/8” respectivamente. Mostrando que las brocas triconicas de WLS presentan un ahorro de 9.91% para las brocas de 9 7/8” y 11.41% para las brocas de 10 5/8” en comparación a las de MT.
- Con los resultados obtenidos se pudo calcular el costo total de perforación (TDC) promedio utilizando las perforadora PIT VIPER y DML con las brocas 10 5/8” y 9 7/8”, teniendo un TDC promedio de 3.80 para las brocas de WLS de 10 5/8” y un TDC promedio de 4.07 para las brocas de MT de 10 5/8” con la perforadora PIT VIPER, mientras que utilizando las perforadora DML se obtuvo un TDC de 5.41 para las brocas de WLS de 9 7/8” y un TDC de 5.55 para las brocas de MT de 9 7/8” comprobándose que las brocas triconicas de WLS optimiza la productividad y mejora los costos de perforación, produciendo un mayor beneficio para la empresa.

## REFERENCIAS

- Abanto, J; Vásquez, J. (2016). *Reducción de costos en las operaciones unitarias de perforación y voladura optimizando el mantenimiento de brocas de 45mm, rimadoras de 102mm y el consumo de explosivo en las labores de desarrollo que realiza la empresa CONMICIV S.A.C en CMH S.A.* (tesis pregrado). Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.
- Atlas Copco. (2012). *Blasthole Drilling in Open Pit Mining*. (Third edition), recuperado de:[http://www.atlascopco.com/blastholedrillsus/media/blasthole\\_reference\\_book/](http://www.atlascopco.com/blastholedrillsus/media/blasthole_reference_book/).
- Carhuavilca, C. (2010). *Elementos para Determinación del Costo Horario de los Equipos y Maquinas del Sector Construcción*. Exposición Sobre Los Alcances de la Norma Técnica. Perú.
- Llaique, A; Sánchez, W. (2015). *Determinación del costo total de perforación para optimizar esta operación unitaria en mina modelo a tajo abierto, Cajamarca – Perú, 2015*. (tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.
- Ordoñez, C. (2011). *Costos de Perforación y Voladura de Rocas*. Cámara Minera del Perú  
Diplomado de Gestión de Costos en Minería. Cámara Minera de Perú.

Palella, S. & Martins, F. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa*, Florencia, Venezuela. Recuperado de <https://www.docsity.com/es/disenio-tipo-nivel-y-modalidad-de-palella-y-martins/2733947/>

Vargas, R. (2009). *La Investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Vol. (33), p.161.

Wilson, C. (2013). *Estudio de comparación entre rendimientos en brocas de 12 ¼” en yacimientos skarn a tajo abierto para selección óptima*. (tesis pregrado). Universidad nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.

Calcina, D. (2019). *Evaluación de rendimientos de broca triconica de diámetro 6 ¾” en el tajo norte de sociedad minera el Brocal* (tesis pregrado). Universidad nacional de Altiplano. Puno, Perú.

Lopez, C., Lopez, E., Pernia, J. & Pla, F. (2003). *Manual de Perforacion y Voladura de Rocas*. Edicion Instituto Geologico y Minero de España; Madrid.  
Recuperado de <https://es.scribd.co/documents/317978295/MANUAL-DE-PERFORACION-LOPEZ-JIMENO-pdf>

Valdés S.; Silvia T. (2016). *Metodología de Cálculo de productividad de perforación y mejoras de gestión en minas a cielo abierto, aplicado a DRT, Chile*.

2016. (tesis de pregrado). Repositorio Académico de la Universidad de Chile.

Luisa C. (2015). *Utilice correctamente las brocas helicoidales, Argentina*. Recuperado de <https://docplayer.es/11454784-Utilice-correctamente-las-brocas-helicoidales.html>

## ANEXOS

Anexo N° 01: Especificaciones técnicas de la perforadora DML Atlas Copco,

<b>Especificaciones técnicas</b>	<b>Imperial</b>	<b>Métrico</b>
Series de productos	Serie DM	Serie DM
Método de perforación	Rotativa y martillo en fondo – Multi Pass	Rotativa y martillo en fondo – Multi Pass
Diámetro del barreno	5,88 - 10,62 inch	149 - 270 mm
Empuje hidráulico	60000 lbf	267 kN
Tracción hidráulica	22000 lbf	98 kN
Peso sobre la broca	60000 lb	27200 kg
Profundidad en una pasada	27,4 ft	8,5 m
Profundidad en una pasada, opción	32,4 ft	10 m
Profundidad máxima de barreno	175 ft	53,5 m
Profundidad de barreno máxima, opción	205 ft	62,5 m
Peso estimado	87000 - 110000 lb	39,5 - 50 t
Compresor	1,600 cfm @ 110 psi	45.3 m <sup>3</sup> /min @ 7.6 bar
Rotación de CABEZAL	161 R.P.M.	161 R.P.M.
Torque de rotación	7,200 lbf-ft	9,762 Nm
Altura de Torre	590 inch	14.99 m
Ancho de estructura	201 inch	5.11 m.
Largo de estructura solo chasis	387 inch	8.83 m.
Largo de estructura con torre echada	583 inch	14.99 m.
Altura con torre echada	221 inch	5.61 m.
Altura de cabina	143 inch	3.63 m.

Fuente: Atlas Copco 2012.

Anexo N° 02: Especificaciones técnicas de la perforadora PIT VIPER Atlas Copco,

Datos técnicos		
Método de Perforación	Rotativa y DTH - Single pass	
Diámetro de Perforación	10 5/8 in - 16 in	270 mm - 406 mm
Pulldown hidráulico	120,000 lbf	534 kN
Peso sobre la broca	125,000 lb	56,700 kg
Pullback hidráulico	60,000 lbf	267 kN
Profundidad single pass	65 ft	19.8 m
Máxima profundidad de barrenado	135 ft	41.1 m
Velocidad de avance	127 - 158 ft/min	0.6 - 0.8 m/s
Cabeza rotativa, torque	19,000 lbf-ft	25.7 kNm
Peso estimado	385,000 lb - 415,000 lb	175,000 kg - 188,000 kg
Dimensiones con torre arriba		
Longitud	53 ft 10 in	16.4 m
Altura	103 ft 9 in	31.6 m
Ancho	26 ft 8 1/2 in	8.1 m
Dimensiones con torre abajo		
Longitud	98 ft	29.9 m
Altura	27 ft 11 in	8.5 m

Gama de compresores		
Rotativa baja presión	3,000 cfm@110psi / 84.9m³/min@7.6 bar	
Rotativa baja presión (motor eléctrico)	3,200 cfm@110psi / 90.6m³/min@7.6 bar	
Rotativa baja presión	3,800 cfm@110psi / 107.6m³/min@7.6 bar	
Motor (Tier II)		
Caterpillar	3512	1650HP@1800RPM (1230kW)
Cummins	QSK45	1500HP@1800RPM (1119kW)
Motor Weg	6811	1400HP / 1044kW@ 50 or 60 Hz
Especificación de tubos de perforación		
Diámetro de tubo de perforación	Diámetros de broca sugeridos	Rosca
8 5/8" (219 mm)	10 5/8" - 11"	6" BECO
9 1/4" (235 mm)	11" - 12 1/4"	6" BECO
10 3/4" (273 mm)	12 1/4" - 13"	8" BECO
12 3/4" (324 mm)	15" - 16"	8" BECO
13 3/8" (340 mm)	16"	10" BECO

Para más información visite [www.atlascopco.com/blastholedrills](http://www.atlascopco.com/blastholedrills)

Fuente: Atlas Copco 2012.

Anexo N° 03: Características de la Roca.

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)\rho}}$$

Datos geotécnicos entregados

Characteristics of rock	
Tipo de Roca / Rock Type	SM
Densidad / rock density (KN/m3)	25
*Rock strength* (young modulus, UCS, tensile, Poisson's ratio, internal friction angle)	
Young Modulus (Gpa)	15.7
Unconfined compressive strength (Mpa)	110
Tensile strength (Mpa)	13.22
Poisson's ration	0.25
Fracture frequency	10 f/m aprox, depende el grado de alteración de la roca
RQD	34.9
RMR	46

CLASIFICACIÓN DE INGENIERIA PARA ROCA INSITU								
CLASIFICACIÓN GENERAL				Vp ROCA INTACTA	Vp MACIZO ROCOSO	DESCRIPCIÓN		
RQD (%)	RQD (%) Real	Indice de velocidad	Indice de velocidad REAL	Velocidad Sísmica (m/s)	Velocidad Sísmica (m/s)	Velocidad Sísmica (m/s)	Descripción	Descripción Sísmica
0-25		0.00 - 0.20		2400		1446	Muy Pobre	Baja Velocidad
25-50	34.9	0.20 - 0.40	0.28	2,400 - 3,500	2745		Pobre	Baja Velocidad
50-75		0.40 - 0.60		3,500 - 4,300			Moderada	Velocidad Intermedia
75-90		0.60 - 0.80		4,300 - 4,900			Buena	Alta Velocidad
90-100		0.80 - 1.00		4,900 - 6,700			Excelente	Alta Velocidad

Fuente: Área de Geotecnia.

Anexo N° 04: Fotos en campo.



Foto 1: Tajo en operación.



Foto 2: Material desbrozado producto de la voladura.





Foto 3: Recolección de datos en campo.



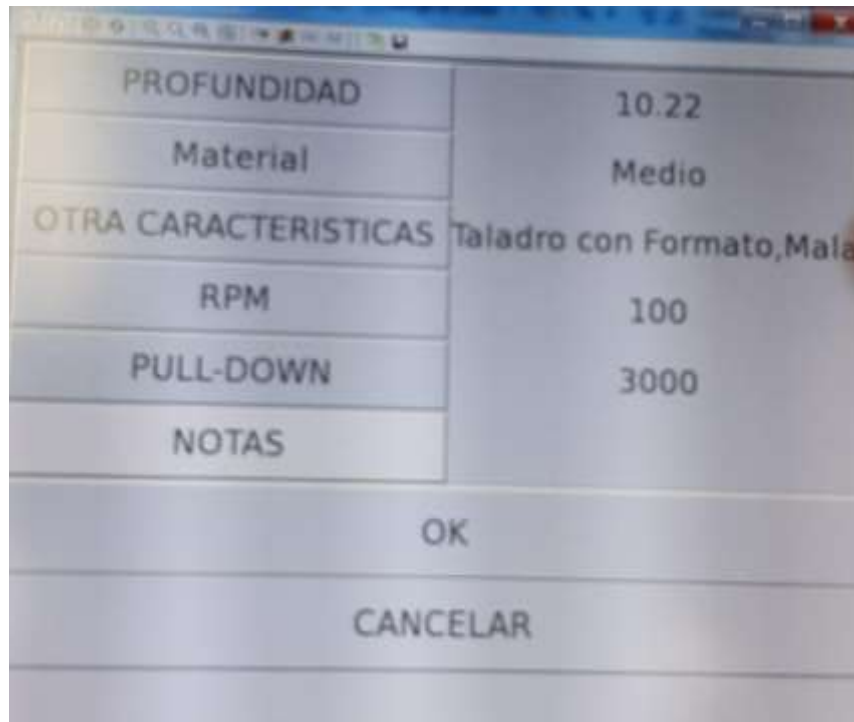
Foto 4: Validación de datos recolectado en campo.



Foto 5: Data de Perforadora PIT VIPER.



Foto 6: Data de Perforadora PIT VIPER.



PROFUNDIDAD	10.22
Material	Medio
OTRA CARACTERISTICAS	Taladro con Formato, Mala
RPM	100
PULL-DOWN	3000
NOTAS	
OK	
CANCELAR	

Foto 7: Data de Perforadora DML.